

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและประสิทธิผลของโครงการเชื่อมกันทรายและคลื่น
บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SHORELINE CHANGES AND THE EFFECTIVENESS OF JETTIES PROJECT AT THE
PRANBURI RIVER MOUTH, PRACHUAP KHIRI KHAN PROVINCE



Miss Nathamon Phanomphongphaisarn

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Water Resources Engineering

Department of Water Resources Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและประสิทธิผลของโครงการเชื่อม กันทรายและคลื่น บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์
โดย	น.ส.ณัฐมน พนมพงค์ไพศาล
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.บุศวรรณ บิตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

----- คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

----- ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์)

----- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.บุศวรรณ บิตร)

----- กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธา)

----- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักรวิชัย)

ณัฐมน พนมพงศ์ไพศาล : การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและประสิทธิผลของโครงการเชื่อมกันทรายและคลื่น บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. (SHORELINE CHANGES AND THE EFFECTIVENESS OF JETTIES PROJECT AT THE PRANBURI RIVER MOUTH, PRACHUAP KHIRI KHAN PROVINCE) อ. ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.บุศวรรณ บิตร

การวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาและติดตามผลของโครงการเชื่อมกันทรายและคลื่นที่ร่องน้ำปราณบุรี จ. ประจวบคีรีขันธ์ ต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งปราณบุรี 2) ประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง One-Line Model ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และ 3) ศึกษาแนวทางปรับปรุงการพิจารณาตัวแปรทางสมุทรศาสตร์ ที่ใช้ในขั้นตอนการศึกษาและออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง โดยมีพื้นที่ศึกษาครอบคลุมชายฝั่งตั้งแต่บริเวณเขาตะเกียบ ถึง เขาเกาะโหลก จ. ประจวบคีรีขันธ์ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ GENESIS ในการศึกษาประสิทธิภาพการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง อันเนื่องมาจากเชื่อมกันทรายและคลื่นฯ รวมถึงใช้ในการทดสอบอิทธิพลของตัวแปรทางสมุทรศาสตร์ อันได้แก่ ชนิดของข้อมูลคลื่น ระดับน้ำขึ้นลง และปริมาณตะกอนแม่น้ำ ที่มีผลต่อความแม่นยำของการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งปราณบุรีด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ก่อนการก่อสร้างเชื่อมกันทรายและคลื่นฯ แนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ระบบกลุ่มหาด (Z1 ถึง Z4) ค่อนข้างมีเสถียรภาพ (อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมีค่าน้อยกว่า ± 1.0 ม./ปี) ยกเว้นบริเวณปากน้ำปราณบุรี (Z3 และ Z4) ที่มีการงอกเพิ่มของชายฝั่งเฉลี่ยประมาณ 0.6 และ 0.33 เฮกตาร์/ปี ที่ด้านเหนือและด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรีตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ช่วงปี 2541-2561 พบว่าเชื่อมกันทรายและคลื่นฯ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะกลุ่มหาด Z3 และ Z4 โดยทำให้เกิดการสะสมตัวของแนวชายฝั่งด้านเหนือและด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรี ส่งผลให้มีพื้นที่เพิ่มขึ้นประมาณ 0.48 และ 0.28 เฮกตาร์/ปี ตามลำดับ ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง ในขั้นตอนการศึกษาและออกแบบโครงการ โดยมีความคลาดเคลื่อนของแนวชายฝั่งทำนายอยู่ระหว่าง 2-13,000% สำหรับผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรทางสมุทรศาสตร์ ต่อผลการทำนายแนวชายฝั่งปราณบุรีด้วยแบบจำลอง GENESIS พบว่าการใช้ข้อมูลคลื่นลมจากการตรวจวัด ทำให้ผลการทำนายแนวชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำ มีความถูกต้องเพิ่มขึ้น 93% ส่วนชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 3,800% ในขณะที่ลักษณะระดับน้ำขึ้นน้ำลงและตะกอนแม่น้ำปราณบุรี ส่งผลต่อรูปร่างแนวชายฝั่งคาดการณ์อย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากชายฝั่งปราณบุรีมีพิสัยของน้ำขึ้นน้ำลงน้อย (เฉลี่ย 1.2 ม.) แต่ความลาดชันชายหาดสูง (1:4) รวมถึงปริมาณตะกอนแม่น้ำมีน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณตะกอนชายฝั่ง (น้อยกว่า 10%)

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5970410321 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEYWORD: COASTAL STRUCTURE, ONE-LINE MODEL, WAVE HINDCASTING, SEDIMENT CHARACTERISTICS,
MONITORING

Nathamon Phanomphongphaisarn : SHORELINE CHANGES AND THE EFFECTIVENESS OF JETTIES
PROJECT AT THE PRANBURI RIVER MOUTH, PRACHUAP KHIRI KHAN PROVINCE. Advisor: BUTSAWAN
BIDORN

The objectives of this research are i) to study and monitor the effects of the Pranburi Jetties project on Pranburi's shoreline, Prachaup Khiri Khan Province, Thailand, ii) to evaluate the accuracy of One-Line Model (OLM) for predicting the shoreline change, and iii) to study the use of oceanographic parameters for improving the coastal engineering study and design processes. The numerical model (GENESIS) was used to evaluate the effectiveness of prediction on shoreline change due to the construction of the Pranburi Jetties. It also was used to test the effects of parameters such as the type of wave data, tidal water level, and riverine sediment on the accuracy of numerical model on predicting the Pranburi's shoreline change.

The results indicated that the Pranburi's coast could be divided into four littoral zones (Z1-Z4). Prior to the Pranburi Jetties construction, the coast can be considered a stable beach since the shoreline change rate was less than ± 1.0 m/y except for the shoreline near the Pranburi River mouth (in Z3 and Z4). The northern and the southern shores of the river mouth experienced shoreline at the rate of 0.6 and 0.33 ha/yr, respectively. Regarding the results from shoreline analysis during 1998-2018, the jetties have caused shoreline change only in the Z3 and Z4. Shoreline accumulation was still observed at the northern coast of the river mouth with the accretion rate of 0.48 ha/yr and at the southern coast with the rate of 0.28 ha/yr, which disagreed with the shoreline changes predicted by the OLM in the project's feasibility study and design report. The errors of predicted shoreline varied between 2 and 13,000%. Results from the study of the influence of oceanographic parameters on the accuracy of GENESIS shoreline prediction indicated that using observed wave data in shoreline change modeling can increase the accuracy of shoreline prediction at the northern coast of the Pranburi river mouth of 93%. In comparison, the predicted shoreline on the southern coast still contained errors with an average of 3,800%. Meanwhile, by including the tidal water level and sediment data from the Pranburi River as the input data, the accuracy of model prediction was not significantly improved because of the low tidal range (1.2 m on average) and steep beach slope (1:4). Additionally, the sediment supply from the Pranburi River was small amount compared to the longshore sediment transport (less than 10%)

Field of Study: Water Resources Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและประสิทธิผลของโครงการเชื่อมกันทรายและคลื่น บริเวณปากแม่น้ำปาดมบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์นี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ หลายท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่มีประโยชน์ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.บุศวรรณ บิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้โอกาส ให้คำปรึกษา คอยชี้แนะ สนับสนุน ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องระหว่างการจัดทำวิทยานิพนธ์ และได้กรุณาสั่งสอนและให้ข้อคิดในการดำเนินชีวิตและการทำงาน อันเป็นประโยชน์สูงสุดที่ข้าพเจ้าได้รับระหว่างศึกษาในระดับปริญญาโทมาตั้งแต่ต้น ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์ รศ.ดร.เสรี จันทโรยธา และ รศ.ดร.ชัยพันธ์ รักรวิชัย ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาสละเวลาในการให้คำแนะนำ ปรึกษาและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์นี้ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณกรมแผนที่ทหาร กรมเจ้าท่า กรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ได้กรุณาให้การอนุเคราะห์ข้อมูลอันมีคุณค่า และเป็นประโยชน์อย่างมากเพื่อใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยสหวิทยาการเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (WISE RU) และภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และให้การสนับสนุนช่วยเหลือค่าใช้จ่ายในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ค่าเล่าเรียน ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำประปา และการจัดซื้อสิ่งจำเป็นต่าง ๆ สำหรับการจัดทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการศึกษาเพื่อทำหน้าที่ผู้ช่วยวิจัย (GUCUG17) และทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช เพื่อสนับสนุนการวิจัยบางส่วนสำหรับงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทมาตั้งแต่ต้นที่ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ นายเมธาฤทธิ์ แนมสัย Mr.Kimhuy Sok นายวิทธิ เจริญฤกษ์ถวิล และนายคมกริช บิตร ที่ได้ช่วยเหลือข้าพเจ้าในการสำรวจเก็บข้อมูลในภาคสนาม วิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนการเตรียมรูปเล่มวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณครอบครัวพนมพงศ์ไพศาล ที่ให้ความรักความเข้าใจ ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจระหว่างการศึกษาระดับปริญญาโทของข้าพเจ้า รวมทั้งขอขอบคุณนายปฐมินทร์ บุญดำเนินพานิช ที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอด

บุคคลต่าง ๆ ที่กล่าวมาเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จ และข้าพเจ้าขอขอบคุณบุคคลอื่น ๆ ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือข้าพเจ้ามาตลอด ด้วยความจริงใจของข้าพเจ้า

ณัฐมน พนมพงศ์ไพศาล

สารบัญ

	หน้า
.....ค	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....ค	ค
.....ง	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง	ง
กิตติกรรมประกาศ.....จ	จ
สารบัญ.....ฉ	ฉ
สารบัญตาราง.....ญ	ญ
สารบัญรูป.....ฉ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ..... 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 2	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา..... 2	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา..... 4	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ..... 4	4
บทที่ 2 การศึกษาที่ผ่านมาและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา..... 5	5
2.1 การศึกษาที่ผ่านมา..... 5	5
2.1.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ผ่านมา..... 5	5
2.1.1 การศึกษาอัตราการทับถมของตะกอนด้วยเทคนิคนิวเคลียร์..... 8	8
2.1.3 การศึกษาและออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งที่ผ่านมา..... 12	12
2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา..... 18	18
2.2.1 กลศาสตร์ของคลื่น..... 18	18

2.2.2	กระบวนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	22
2.2.3	หัวหาดและอ่าวสมดุล	25
2.2.4	การออกแบบโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง	25
2.2.5	การวิเคราะห์อัตราการทำถมของตะกอนด้วยเทคนิคนิวเคลียร์	27
2.2.6	แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	32
บทที่ 3 วิธีการศึกษา.....		38
3.1	การรวบรวมข้อมูลและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง	38
3.2	การสำรวจภาคสนามและการศึกษาลักษณะตะกอนชายฝั่ง	38
3.2.1	การสำรวจสภาพชายฝั่งปัจจุบันและการเก็บตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง	38
3.2.2	การวิเคราะห์ลักษณะตะกอนชายฝั่ง	42
3.2.3	การวิเคราะห์อายุและอัตราการทำถมของตะกอนด้วยวิธีตะกั่ว-210 (²¹⁰ Pb radiometric dating technique).....	43
3.3	การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	45
3.4	การศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์	49
3.4.1	ข้อมูลนำเข้า (input data)	51
3.4.2	การสร้างแบบจำลอง	55
3.5	การประเมินประสิทธิผลของโครงการ และความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองคณิตศาสตร์ ของ เขื่อนกันทรายและคลื่นฯ	67
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....		68
4.1	สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา.....	68
4.1.1	สภาพภูมิประเทศและระบบลุ่มน้ำ	68
4.1.2	สภาพอุตุ-อุทกวิทยา.....	72
4.1.3	สภาพสมุทรศาสตร์.....	75
4.1.4	สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	75

4.2 สถิติข้อมูลอุณหภูมิมหาวิทยาลัย อุทกศาสตร์ และสมุทรศาสตร์.....	76
4.2.1 สถิติข้อมูลลมจากสถานีตรวจอากาศ.....	77
4.2.3 สถิติข้อมูลคลื่นจากหุ่นสมุทรศาสตร์.....	83
4.2.4 ลักษณะระดับน้ำขึ้นน้ำลง.....	85
4.3 ลักษณะตะกอนชายฝั่งและอัตราการทับถมของตะกอนด้วยเทคนิคนิวเคลียร์.....	86
4.3.1. ลักษณะตะกอนชายฝั่ง.....	87
4.3.2 อัตราการทับถมของตะกอนด้วยเทคนิคนิวเคลียร์.....	89
4.4 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์.....	94
4.4.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนการก่อสร้างโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ.....	95
4.4.2 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ.....	97
4.5 การจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์.....	99
4.5.1 ผลการจำลองพื้นที่ชายฝั่งปราณบุรีด้วยโมดูล GRIDGEN.....	99
4.5.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพคลื่นในพื้นที่ศึกษาด้วยแบบจำลอง STWAVE.....	100
4.5.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยแบบจำลอง GENESIS.....	103
4.5.4 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในกรณีศึกษาต่าง ๆ.....	105
4.5.5 ประสิทธิภาพของการใช้แบบจำลอง One-Line model ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง.....	123
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา.....	132
5.1 ลักษณะและความผันแปรของตะกอนชายฝั่งปราณบุรี.....	132
5.2 การทับถมของตะกอนบริเวณเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ.....	133
5.3 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปราณบุรีเนื่องจากโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ.....	134
5.4 ประสิทธิภาพของการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากข้อมูลโครงการ.....	139
5.5 ตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่น.....	141

5.6 แนวทางการปรับปรุงตัวแปรสมุทรศาสตร์เพื่อการออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง 144

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 147

6.1 ลักษณะตะกอนชายฝั่งปราณบุรี และอัตราการทับถมของตะกอนบริเวณโครงการ 147

6.2 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปราณบุรีก่อนและหลังการทำโครงการเชื่อมกันทรายและคลื่น 147

6.3 ประสิทธิภาพการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของโครงการเชื่อมกันทรายและคลื่นฯ.. 148

6.4 ตัวแปรทางสมุทรศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเชื่อมกันทรายและคลื่น..... 149

6.5 แนวทางการปรับปรุงตัวแปรสมุทรศาสตร์ ในการออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง 150

6.6 บทความตีพิมพ์ทางวิชาการ..... 150

6.7 ข้อเสนอแนะ 151

บรรณานุกรม 153

ภาคผนวก ก. ผลการสำรวจพื้นที่ศึกษา บริเวณเขาตะเกียบถึงเขากะโหลก 164

ภาคผนวก ข. สถิติข้อมูลอุทุนิยมวิทยา อุทกศาสตร์ และสมุทรศาสตร์ 169

ภาคผนวก ค. คุณสมบัติตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง 191

ภาคผนวก ง. การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอน 211

ภาคผนวก จ. บทความตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ..... 219

ประวัติผู้เขียน 237

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 การศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง.....	9
ตาราง 2.2 การศึกษาและออกแบบทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งที่ผ่านมาของประเทศไทย.....	15
ตาราง 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	39
ตาราง 3.2 ประเภทข้อมูล แหล่งข้อมูล ความละเอียด และความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ในการศึกษา การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่ศึกษา	45
ตาราง 3.3 ข้อมูลสำหรับการออกแบบโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ (กรมเจ้าท่า, 2539a)	51
ตาราง 3.4 ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์.....	53
ตาราง 3.5 การกำหนดข้อมูลสำหรับแบบจำลองสภาพพื้นที่ทองทะเล (Grid Generator module)..	55
ตาราง 3.6 ข้อมูลที่กำหนดสำหรับแบบจำลองสนามคลื่นบริเวณชายฝั่ง	59
ตาราง 3.7 ค่า K1 และ K2 ในการศึกษาที่ผ่านมา	62
ตาราง 3.8 ข้อมูลที่กำหนดสำหรับแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	62
ตาราง 4.1 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ จ.ประจวบคีรีขันธ์ ในรอบ 30 ปี โดย กรมอุตุนิยมวิทยา	73
ตาราง 4.2 ข้อมูลพายุที่เคลื่อนผ่านพื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์	76
ตาราง 4.3 สรุปข้อมูลคลื่นที่สถานีตรวจวัดทุ่นสมุทรศาสตร์หัวหิน ระหว่างปี 2540-2543.....	83
ตาราง 4.4 ค่าสถิติข้อมูลความสูงคลื่นในช่วงต่าง ๆ จากสถานีตรวจวัดทุ่นสมุทรศาสตร์หัวหิน ระหว่าง ปี 2540-2543	84
ตาราง 4.5 ค่าสถิติข้อมูลคาบเวลากคลื่นในช่วงต่าง ๆ จากสถานีตรวจวัดทุ่นสมุทรศาสตร์หัวหิน ระหว่างปี 2540-2543.....	85
ตาราง 4.6 สถิติระดับน้ำที่สถานีคลองวาฬ ระหว่างปี 2550-2556 (ค.ศ. 2007-2013).....	86
ตาราง 4.7 คุณสมบัติของตัวอย่างตะกอนชายฝั่งปราณบุรี ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (SW) และ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (NE).....	87
ตาราง 4.8 สรุปข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างตะกอนแนวลึก	90
ตาราง 4.9 ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ²¹⁰ Pb ในตัวอย่างดิน core 2	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตาราง 4.10 ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{210}Pb ในตัวอย่างดิน core 4....	93
ตาราง 4.11 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนและหลังการทำโครงการเขื่อนกันทรายและ คลื่นฯ.....	95
ตาราง 4.12 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ในกรณีศึกษา 1.1	107
ตาราง 4.13 ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งก่อนมีโครงการ กรณีศึกษา 1.1.....	107
ตาราง 4.14 ผลการเปรียบเทียบแนวชายฝั่งจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ (2.1-2.5), ข้อมูลโครงการ (Project) และภาพถ่ายเทียม (Image) ในปี 2552	112
ตาราง 4.15 ผลการเปรียบเทียบแนวชายฝั่งจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ (2.1-2.5), ข้อมูลโครงการ (Project) และภาพถ่ายเทียม (Image) ในปี 2561	113
ตาราง 4.16 ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนสะสมตามแนวชายฝั่ง หลังก่อสร้างโครงการเขื่อนกัน ทรายและคลื่นฯ ปี 2552 (ค.ศ. 2009) และมี 2561 (ค.ศ. 2018).....	114
ตาราง 4.17 ระยะแนวชายฝั่งและร้อยละของความแตกต่าง ระหว่างกรณีศึกษา 2.1 และข้อมูล โครงการ.....	117
ตาราง 4.18 ระยะแนวชายฝั่งและร้อยละของความแตกต่าง ระหว่างกรณีศึกษา 2.1 และ 2.2	118
ตาราง 4.19 ระยะแนวชายฝั่งและร้อยละของความแตกต่าง ระหว่างกรณีศึกษา 2.1 และ 2.3	120
ตาราง 4.20 ระยะแนวชายฝั่งและร้อยละของความแตกต่าง ระหว่างกรณีศึกษา 2.3 และ 2.4	122
ตาราง 4.21 ระยะแนวชายฝั่งและร้อยละของความแตกต่าง ระหว่างกรณีศึกษา 2.4 และ 2.5	123
ตาราง 4.22 สรุปผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระยะยาวภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ.....	124
ตาราง 4.23 ผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระหว่างข้อมูลภาพถ่ายและข้อมูลคาดการณ์ ของโครงการ	127
ตาราง 4.24 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลภาพถ่ายและข้อมูลคาดการณ์ของโครงการที่ ชายฝั่งด้านเหนือ (N) และด้านใต้ (S) ของโครงการ	128
ตาราง 4.25 ระยะแนวชายฝั่งเปลี่ยนแปลงสุทธิและร้อยละของความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูล ภาพถ่ายและข้อมูลจากการศึกษานี้ที่ชายฝั่งด้านเหนือ (N) และด้านใต้ (S) ของโครงการ.....	131

สารบัญรูป

หน้า

รูป 1.1 พื้นที่ศึกษาบริเวณเขาตะเกียบถึงเขากะโหลก จ.ประจวบคีรีขันธ์.....	3
รูป 2.1 การจำแนกคลื่นโดยใช้ความลึกสัมพัทธ์	19
รูป 2.2 การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำในน้ำตื้นและน้ำลึก.....	20
รูป 2.3 การหักเหของคลื่น (wave refraction).....	20
รูป 2.4 การสะท้อนของคลื่น (wave reflection).....	21
รูป 2.5 การเลี้ยวเบนของคลื่น (wave diffraction).....	21
รูป 2.6 รูปตัดตามยาวของชายฝั่ง.....	22
รูป 2.7 กระแสน้ำบริเวณชายฝั่ง.....	23
รูป 2.8 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากคลื่นพายุ.....	24
รูป 2.9 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากโครงสร้างที่ยื่นตั้งฉากกับชายฝั่ง	24
รูป 2.10 ผลการศึกษาอ่าวสมดุล.....	26
รูป 2.11 เส้นทาง (pathway) การเกิดและการเดินทางของ ²¹⁰ Pb	31
รูป 2.12 ฝั่งการคำนวณของแบบจำลอง GENESIS และ RCPWAVE/STWAVE.....	33
รูป 2.13 ภาพร่างสำหรับการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง.....	35
รูป 3.1 ขั้นตอนการวิจัย	38
รูป 3.2 ตำแหน่งการเก็บข้อมูลตะกอนชายฝั่ง.....	40
รูป 3.3 การเก็บตัวอย่างตะกอนผิวดินตามแนวชายฝั่ง.....	40
รูป 3.4 การเก็บตัวอย่างแท่งตะกอน (sediment core) บริเวณปากน้ำปราณบุรี.....	41
รูป 3.5 องค์ประกอบที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยซอฟต์แวร์ DSAS.....	46
รูป 3.6 ตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยวิธี NSM.....	47
รูป 3.7 ตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยวิธี EPR	47
รูป 3.8 ตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยวิธี WLR.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูป 3.9 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองพื้นที่ศึกษาใน Grid Generator module.....	56
รูป 3.10 รูปแบบการเตรียมข้อมูลคลื่นเพื่อนำเข้าในโมดูล WWWL.....	57
รูป 3.11 การเตรียมและกำหนดข้อมูลคลื่นในโมดูล WWWL.....	58
รูป 3.12 การนำเข้าข้อมูลในโมดูล WISPH3	58
รูป 3.13 ผลที่ได้จากโมดูล SPECGEN.....	60
รูป 3.14 การนำเข้าข้อมูลและรูปแบบการประมวลผลในแบบจำลอง GENESIS.....	64
รูป 3.15 การนำเข้าและการกำหนดข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลงในโมดูล WWWL	64
รูป 4.1 สภาพภูมิประเทศของกลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์	68
รูป 4.2 ระบบลุ่มน้ำสาขาของกลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์.....	69
รูป 4.3 เชื่อมกันทรายและคลื่นและเชื่อมกันคลื่นที่บริเวณปากน้ำปราณบุรี.....	70
รูป 4.4 ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยในกลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์.....	73
รูป 4.5 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยในกลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์.....	73
รูป 4.6 พื้นที่ศึกษาบริเวณเขาตะเกียบถึงเขากะโหลก และตำแหน่งสถานีตรวจวัดข้อมูล.....	77
รูป 4.7 ผังทิศทางและความเร็วลม ในช่วงปี 2524-2535 ที่สถานีตรวจอากาศหัวหิน.....	78
รูป 4.8 ผังทิศทางและความเร็วลม ในช่วงปี 2540-2543 ที่สถานีตรวจอากาศหัวหิน.....	79
รูป 4.9 ผังทิศทางและความเร็วลม ในช่วงปี 2540-2535 ที่ทุ่งสมุทรศาสตร์หัวหิน	81
รูป 4.10 ข้อมูลอนุกรมเวลา (time-series) ของคลื่นจากทุ่งสมุทรศาสตร์หัวหิน.....	83
รูป 4.11 ข้อมูลอนุกรมเวลา (time-series) ของระดับน้ำขึ้นลงที่สถานีคลองวาฬ จ.ประจวบคีรีขันธ์ ปี 2554 (ค.ศ. 2011)	85
รูป 4.12 ก) ขนาดตะกอนเฉลี่ย (median grain size) และ ข) การคัดขนาด (sorting) ของตัวอย่าง ตะกอนตามแนวชายฝั่งในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ.....	87
รูป 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับความลึก	90

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูป 4.14 กราฟแสดงกัมมันตภาพของ 210Po ตามความลึกของชั้นดิน ตัวอย่างตะกอนบริเวณด้านเหนือปากน้ำปราณบุรี.....	92
รูป 4.15 กราฟแสดงกัมมันตภาพของ 210Po ตามความลึกของชั้นดิน ตัวอย่างตะกอนบริเวณด้านใต้ปากน้ำปราณบุรี	93
รูป 4.16 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระหว่างปี 2510-2561 (ค.ศ. 1967-2018).....	95
รูป 4.17 สภาพพื้นที่ศึกษาที่ได้จากแบบจำลอง GRIDGEN	99
รูป 4.18 กราฟแสดงร้อยละของข้อมูลคลื่นที่ได้จากการวิเคราะห์	100
รูป 4.19 ลักษณะคลื่นที่เกิดขึ้นแบ่งตาม ก) ความสูงคลื่น และข) คาบเวลาคคลื่น ในทิศทางต่าง ๆ	101
รูป 4.20 ผลการศึกษาจากแบบจำลอง SPECGEN ในระบบพิกัดเชิงขั้ว	102
รูป 4.21 ผลจากแบบจำลอง STWAVE ในกรณีก่อนมีโครงสร้าง (ปี 2510).....	103
รูป 4.22 ผลจากแบบจำลอง STWAVE ในกรณีหลังมีโครงสร้าง (ปี 2541).....	103
รูป 4.23 องค์ประกอบภาพของแบบจำลอง GENESIS.....	104
รูป 4.24 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลอง GENESIS กรณีศึกษา 1.1 ในปีต่าง ๆ	105
รูป 4.25 แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนในกรณีก่อนมีโครงการ.....	106
รูป 4.26 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลอง GENESIS กรณีศึกษา 2.1	107
รูป 4.27 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลอง GENESIS กรณีศึกษา 2.2	107
รูป 4.28 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลอง GENESIS กรณีศึกษา 2.3	108
รูป 4.29 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลอง GENESIS กรณีศึกษา 2.4	108
รูป 4.30 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลอง GENESIS กรณีศึกษา 2.5	108
รูป 4.31 เปรียบเทียบแนวชายฝั่งที่ใช้ในการศึกษา ก) ปี 2552 (ค.ศ. 2009) และ ข) ปี 2561 (ค.ศ. 2018) ระหว่างข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม (Image) แนวชายฝั่งคาดการณ์ของกรมเจ้าท่า (Project) และผลจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ในกรณีศึกษา 2.1-2.5	110

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูป 4.32 แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนในกรณีต่าง ๆ หลังมีโครงการ.....113

รูป 4.33 ภาพเปรียบเทียบระหว่างแนวชายฝั่งคาดการณ์ของโครงการและแนวชายฝั่งจากภาพถ่าย
บริเวณปากน้ำปราณบุรี (transect 95-150).....125

รูป 5.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณปากน้ำปราณบุรีตั้งแต่ปี 2510 ถึง 2561..... 136

รูป 5.2 โครงสร้างและความเสียหายบริเวณชายฝั่ง Z3 และ Z4.....138



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พื้นที่ชายฝั่งทะเลเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ การประมง การท่องเที่ยว และเป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพ (Neelamani, 2018; กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2548, 2558) หนึ่งในสัณฐานวิทยาชายฝั่งที่สำคัญทางด้านเศรษฐกิจและการประมง คือ ปากแม่น้ำ (river mouth) ซึ่งเป็นบริเวณชายฝั่งที่เชื่อมต่อระหว่างทะเลและแม่น้ำ มีการผสมกัน (mixing) ระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืด และตะกอนที่ถูกพัดพามาจากทั้งสองแหล่ง การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ (spatial variation) ของบริเวณนี้เกิดขึ้นเนื่องจากลักษณะทางกายภาพ และกระบวนการทางด้านอุทกพลศาสตร์ (hydrodynamic processes) เช่น กระแสน้ำขึ้นน้ำลง (tidal currents) คลื่น (wave) และสภาพความลึกท้องน้ำ (bathymetry) ซึ่งการเกิดการกัดเซาะและการสะสมของตะกอนบริเวณปากแม่น้ำทำให้ท้องน้ำเกิดการตื้นเขิน และชายฝั่งมีการเปลี่ยนรูปไปจากเดิม (Bell et al., 2000; Villars et al., 2001; Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2009) อันเป็นอุปสรรคต่อการสัญจรทางน้ำ ชาวประมงไม่สามารถผ่านเข้า-ออกปากแม่น้ำได้ตามปกติ เมื่อจับสัตว์น้ำมาต้องนำไปทำการขนถ่ายที่ท่าเรืออื่น ส่งผลให้เกิดความสูญเสียของมูลค่าสัตว์น้ำอย่างมีนัยสำคัญ (กรมเจ้าท่า, 2539a)

เขื่อนกันทรายและคลื่น (jetties) เป็นโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งที่นิยมนำมาใช้ลดความเสียหาย หรือแก้ปัญหาการตื้นเขินบริเวณปากแม่น้ำ (Hickson et al., 1950; U.S. Army Corps of Engineers, 1986; Scarfe et al., 2003; Chrzastowski, 2004; Campbell et al., 2005; Rosati, 2005; U.S. Army Corps of Engineers, 2008a, 2011c; Eriksson et al., 2014) โดยเขื่อนกันทรายและคลื่นเป็นโครงสร้างที่สร้างติดชายฝั่ง ยื่นตั้งฉากออกไปในทะเล ทำหน้าควบคุมให้ตะกอนจากแม่น้ำถูกพัดพาไปตามความยาวของโครงสร้าง และไปทับถมนอกชายฝั่ง (Sorensen, 2006; UN Environment, 2017) ในการออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งจะต้องพิจารณาถึงเสถียรภาพ (stability) และฟังก์ชัน (functionable) ของโครงสร้างนั้น ๆ (Sorensen, 2006) หลังจากการก่อสร้างยังต้องทำการตรวจสอบและติดตามผล (monitoring) ซึ่งเป็นอีกขั้นตอนที่สำคัญในงานทางด้านวิศวกรรมชายฝั่ง (U.S. Army Corps of Engineers, 1986, 1992, 2011b) โดยการตรวจสอบและติดตามผล แบ่งเป็นการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างโครงสร้างที่สร้างแล้วเสร็จกับโครงสร้างที่ออกแบบไว้ และการประเมินประสิทธิผลของโครงการ ซึ่งข้อมูลที่ได้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุงวิธีการออกแบบโครงสร้างสำหรับโครงการอื่น ๆ และเพื่อเพิ่มประสิทธิผลของโครงสร้างให้ดีขึ้น (Nairn et al., 2004; U.S. Army Corps of Engineers, 2008a)

การศึกษาวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ มุ่งเน้นศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันของหาดปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ โดยใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกล (remote sensing) และสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geoinformatics system) และประเมินประสิทธิผลเขื่อนกันทรายและคลื่น ที่ร่องน้ำปราณบุรี (ต่อจากนี้ไปจะเรียกว่า “เขื่อนกันทรายและคลื่นฯ”) ด้วยการเปรียบเทียบกับแนวชายฝั่งที่คาดการณ์ไว้ในขั้นตอนของการศึกษาและออกแบบโครงการ และชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริง ภายหลังจากก่อสร้าง นอกจากนี้ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการออกแบบ ได้ถูกนำมาตรวจสอบความเหมาะสมในการใช้เป็นตัวแทนข้อมูลการออกแบบ ผลการศึกษาครั้งนี้ทำให้เกิดความเข้าใจในกระบวนการการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณหาดปราณบุรี ต.ปากน้ำปราณ อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ รวมถึงได้องค์ความรู้และแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงการออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่น และโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งชนิดอื่น ๆ ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

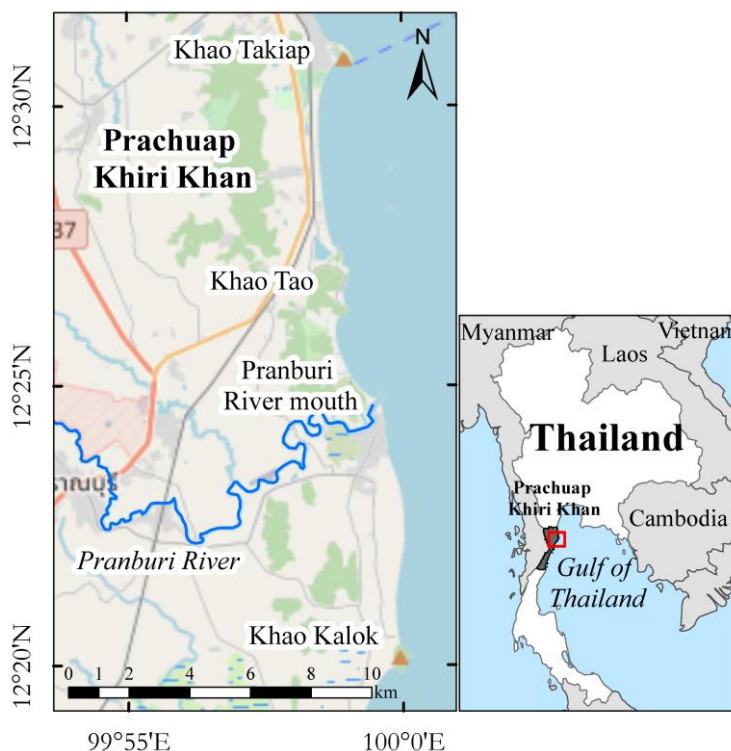
- 1) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในอดีตและการทับถมของตะกอน เนื่องจากโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ โดยใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลร่วมกับการทดลองใช้เทคนิคนิวเคลียร์
- 2) ศึกษาการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์
- 3) ศึกษาตัวแปรสมุทรศาสตร์ อุทกศาสตร์ และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่น
- 4) ศึกษาประสิทธิผลของโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ
- 5) เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงการใช้ข้อมูลสมุทรศาสตร์ และอุทกศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายเทียม ระหว่างปี 2510-2561 บริเวณเขาตะเกียบ ($12^{\circ} 31'N$, $99^{\circ} 58'E$) ถึงเขากะโหลก ($12^{\circ} 20'N$, $100^{\circ} 0'E$) รวมทั้งบริเวณปากน้ำปราณบุรี อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ เป็นระยะทางประมาณ 20 กม. ดังรูป 1.1
- 2) ศึกษาลักษณะตะกอนโดยการสำรวจภาคสนามจากตัวอย่างตะกอนผิวดิน โดยการวิเคราะห์หาชนิด ขนาด และการกระจายตัว ใช้วิธีการวิเคราะห์ขนาดตะกอนมาตรฐาน (standard soil particle-size analysis) และศึกษาอัตราการทับถมของตะกอนจากตัวอย่างตะกอนใน

แนวลึก (sediment cores) นำมาวิเคราะห์อายุ และอัตราการทับถมของตะกอน ด้วยเทคนิค นิวเคลียร์

- 3) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งเนื่องจากโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ Generalized Model for Simulating Shoreline Change (GENESIS) Version 2.01 โดยใช้ข้อมูลการศึกษาและออกแบบโครงการฯ ร่วมกับข้อมูลที่รวบรวมได้จากหน่วยงานต่าง ๆ และรายงานที่เกี่ยวข้อง เช่น ระดับความลึกท้องทะเลจากกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ ข้อมูลระดับน้ำจากกรมเจ้าท่า ข้อมูลลมในแผ่นดินจากกรมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลคลื่นที่วัดโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (หรือในชื่อก่อนหน้า “สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ”) ที่สถานีหุ่นตรวจวัดหัวหิน (ปี 2540-2543) เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง
- 4) ประเมินประสิทธิผลเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ จากการเปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งแนวชายฝั่งที่คาดการณ์ไว้ ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ กับตำแหน่งแนวชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริง โดยพิจารณาจากรูปแบบการเปลี่ยนแปลง อัตราการเปลี่ยนแปลง และร้อยละความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลทั้งสอง
- 5) ศึกษาการปรับปรุงข้อมูล ที่ใช้ประกอบการออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่น โดยพิจารณา 3 ตัวแปรคือ ข้อมูลคลื่น ข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลง และข้อมูลตะกอนแม่น้ำปราณบุรี เป็นหลัก



รูป 1.1 พื้นที่ศึกษาบริเวณเขาตะเกียบถึงเขากะโหลก จ.ประจวบคีรีขันธ์

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

- 1) รวบรวมการศึกษาและรายงานที่เกี่ยวข้อง เช่น การวิเคราะห์อายุและอัตราการทับถมของตะกอน ด้วยเทคนิคทางนิวเคลียร์ เทคนิคการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ เช่น โปรแกรม Coastal Engineering Design and Analysis System (CEDAS), ซอฟต์แวร์ Geographic Information System (ArcGIS), และซอฟต์แวร์ Digital Shoreline Analysis System (DSAS) เป็นต้น
- 2) รวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานและการศึกษาที่ผ่านมา เช่น ข้อมูลสภาพพื้นที่ชายฝั่งทางกายภาพ ข้อมูลอุทกวิทยา ข้อมูลอุทกศาสตร์ และข้อมูลสมุทรศาสตร์ เป็นต้น
- 3) สสำรวจสภาพชายฝั่งปัจจุบัน และเก็บตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง แล้วนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาลักษณะตะกอนและการทับถมของตะกอนในพื้นที่ศึกษา
- 4) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งตั้งแต่ปี 2510 ถึงปี 2561 จากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม ด้วยเทคนิคการซ้อนภาพ โดยใช้ซอฟต์แวร์ ArcGIS และวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งปีต่าง ๆ ด้วยซอฟต์แวร์ DSAS
- 5) เตรียมข้อมูลนำเข้า และสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง (แบบจำลอง GENESIS ใน CEDAS) สอบเทียบมาตรฐาน (calibrate) และทวนสอบ (verify) แบบจำลอง กับแนวชายฝั่งที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม และจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในกรณีต่าง ๆ
- 6) ประเมินประสิทธิผลของโครงสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ จากข้อมูลแนวชายฝั่งก่อนและหลังจากการก่อสร้างโครงการฯ
- 7) ศึกษาแนวทางการปรับปรุงตัวแปรสมุทรศาสตร์ที่ใช้ในการออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่น
- 8) สรุปผลการศึกษาและจัดทำรูปเล่ม
- 9) จัดทำบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) เข้าใจพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง และลักษณะการทับถมของตะกอน เนื่องจากโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ
- 2) สามารถประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งได้
- 3) ทราบระดับความสำคัญของตัวแปรสมุทรศาสตร์ ที่ใช้ในการออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ สำหรับพื้นที่ชายฝั่งปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์
- 4) ทราบประสิทธิผลของโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ
- 5) ได้แนวทางในการปรับปรุง ตัวแปรทางสมุทรศาสตร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิผลในการออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง

บทที่ 2

การศึกษาที่ผ่านมาและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

2.1 การศึกษาที่ผ่านมา

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้รวบรวมข้อมูลและการศึกษาที่ผ่านมาที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัยในด้านต่าง ๆ อันประกอบด้วยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ในพื้นที่ศึกษาจากหน่วยงานต่าง ๆ เทคนิคและวิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน การศึกษาอัตราการทับถมของตะกอนด้วยเทคนิคนิวเคลียร์ และการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และวิธีการออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ผ่านมา

1) รายงานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์

กรมทรัพยากรธรณี (2545) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณปากน้ำปราณบุรี ถึงบ้านหนองเก่า (ด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรี ประมาณ 1 กิโลเมตร (กม.)) จ.ประจวบคีรีขันธ์ โดยการเปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศใน ปี 2510 และ 2540 ผลการศึกษาระบุว่าพื้นที่ดังกล่าว มีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ยประมาณ 2-3 เมตร/ปี (ม./ปี) ในช่วงเวลา 30 ปี หาดทรายถูกกัดเซาะจากแนวชายฝั่งเดิมประมาณ 100 เมตร (ม.) ในรายงานระบุว่า ชาวบ้านพบว่าชายฝั่งถูกกัดเซาะมาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะชายฝั่งตั้งแต่บริเวณบ้านหนองเสือ (ด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรี ประมาณ 5 กม.) ถึงบ้านปรือใหญ่ (ด้านเหนือของเขากะโหลก ประมาณ 1 กม.) มีอัตราการกัดเซาะปานกลาง (1-2 ม./ปี) โดยพบการกัดเซาะตามแนวชายฝั่งเป็นระยะทางประมาณ 1.5 กม. โดยการกัดเซาะเป็นผลจากคลื่นลม เนื่องจากชายฝั่งบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่เปิดโล่ง

Choowong et al. (2009) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมวิทยาชายหาด อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ (ด้านใต้เขื่อนกันทรายและคลื่นฯ) โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียมปี 2002 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนสุทธิอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ จากการเปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศ พบว่าด้านเหนือมีสิ่งแวดล้อมวิทยาแบบสันดอนจะงอยทราย (sand spit) มีพื้นที่เพิ่มขึ้นประมาณ 47,263 ตารางเมตร (ตร.ม.) และด้านใต้พบพื้นที่กัดเซาะหายไปประมาณ 79,085 ตร.ม. ซึ่งคาดว่าถูกพัดพาไปสะสมตัวที่ด้านเหนือ นอกจากนี้จากการสำรวจระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2546 ถึง เมษายน 2547 พบว่าหน้าหาดมีลักษณะเอียงออกไปทางทะเล ในขณะที่ช่วง เมษายน 2547 ถึง พฤศจิกายน 2547 พบการสะสมของตะกอน แต่ไม่ส่งผลให้สิ่งแวดล้อมวิทยาของชายหาดเปลี่ยนแปลง สรุปผลได้ว่าในช่วงปี 2546-2547 พบการกัดเซาะของแนวชายฝั่งเพียงเล็กน้อย

กรมทรัพยากรธรณี (2557) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยภาพถ่ายดาวเทียม ในช่วงปี 2552, 2555, และ 2556 ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ปากน้ำปราณ จนถึงบ้านปรือน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์ ผลการศึกษาพบว่าโดยเฉลี่ยพื้นที่ชายฝั่งเกิดการสะสมตัวมากกว่าการกัดเซาะ บริเวณที่มีการสะสมตัวของตะกอนชายหาดเด่นชัด ได้แก่ บริเวณวนอุทยานปราณบุรี เนื่องจากมีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นหินทิ้ง (breakwater) จำนวน 3 ตัว และบริเวณบ้านปรือน้อย ที่มีการสร้างกำแพงกันคลื่นยาวมากกว่า 2,000 ม. โดยกรมโยธาธิการและผังเมือง เมื่อปีงบประมาณ 2554 ส่งผลให้บริเวณนี้มีลักษณะชายหาดแบบคงสภาพ ในขณะที่บริเวณด้านใต้เขื่อนกันทรายและคลื่นฯ พบปัญหาการกัดเซาะปานกลาง (1-5 ม./ปี)

2) เทคนิคและวิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในอดีต

Dolan et al. (1978) สรุปว่าการวิเคราะห์เส้นแนวชายฝั่งโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศ (aerial photograph) เป็นวิธีเดียว (ในยุคนั้น) ที่ให้รายละเอียดด้านตำแหน่ง และเวลา เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทำแผนที่ โดยเลือกใช้เส้นระดับน้ำสูงสุด (high water line) เป็นตัวแทนเส้นแนวชายฝั่ง เนื่องจากเป็นเส้นที่สังเกตได้ง่ายทั้งในภาพขาวดำและภาพสี และเป็นเส้นตรงที่มีความต่อเนื่องตลอดชายหาด

U.S. Geological Survey (1993) นำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับ digital orthophoto ซึ่งเป็นภาพถ่ายทางอากาศที่มีการปรับแก้ ความสูงต่ำของภูมิประเทศ (terrain relief) และความเอียงจากกล้องบันทึกภาพ (camera tilts) โดยข้อมูลที่ใช้ในการปรับแก้ประกอบไปด้วย ตำแหน่งพิกัดอ้างอิง (ground control points), พารามิเตอร์ในการปรับแก้ของกล้องที่บันทึกภาพ, ระดับความสูงของพื้นที่, และภาพดิจิทัลที่ได้จากการสแกนภาพถ่ายทางอากาศที่มีความละเอียดสูง โดยภาพ digital orthophoto สามารถใช้เป็นภาพฐานเพื่อปรับแก้แผนที่ภูมิประเทศ (topographic map) และแผนที่แบบราบ (planimetric map) ได้

Moore (2000) รวบรวมวิธีการสร้างเส้นชายฝั่ง การประเมินความคลาดเคลื่อนของเส้นชายฝั่งอันเกิดจากแหล่งข้อมูลที่ใช่ และวิธีวิเคราะห์ข้อมูล ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าข้อมูลแผนที่ ที่ได้จากการสำรวจ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนขึ้นอยู่กับวิธีการสำรวจในขณะนั้น ๆ รวมถึงลักษณะของกระดาศที่มีการบิดเบี้ยว โค้งงอ หรือผิดรูป เป็นสาเหตุทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ส่วนภาพถ่ายทางอากาศ มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการบิดเบี้ยว (distortion) ของเลนส์ และองค์การบินถ่ายภาพ ความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ข้อมูลเกิดจากการเลือกใช้เส้นแทนเส้นชายฝั่ง และอุปกรณ์ในการสร้างแผนที่ที่ไม่เหมาะสม ผลการศึกษาระบุว่าวิธีการสร้างเส้นชายฝั่งโดยใช้ซอฟต์แวร์ Digital Shoreline Mapping System (DSMS) ร่วมกับซอฟต์แวร์ Digital Shoreline

Analysis System (DSAS) เป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือสูง และใช้ทรัพยากรน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ เช่น วิธี softcopy photogrammetry ซึ่งในยุคนี้ต้องใช้งบประมาณสูง และใช้เวลามากกว่า หรือวิธี point measurement ที่ใช้งบประมาณและเวลาน้อยกว่า แต่ผลการศึกษาที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนจากขั้นตอนการถ่ายภาพ และการจัดทำภาพถ่าย เป็นต้น

Elizabeth et al. (2005) รวบรวมรายงานการศึกษาต่าง ๆ เพื่อหาคำนิยามและวิธีการลากเส้นชายฝั่ง โดยในทางทฤษฎี เส้นชายฝั่งคือเส้นที่เป็นแนวรอยต่อระหว่างแผ่นดินและน้ำ แต่ในความเป็นจริงตำแหน่งเส้นชายฝั่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เนื่องจากอิทธิพลของระดับน้ำบริเวณชายฝั่ง แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เส้นชายฝั่งได้แก่ ภาพถ่ายในอดีต แผนที่ชายฝั่ง ภาพถ่ายทางอากาศ การสำรวจชายหาด และข้อมูลดาวเทียม ซึ่งมีข้อจำกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์แตกต่างกันไป เช่น การใช้ข้อมูลภาพถ่ายต้องทำการปรับแก้ภาพจากความบิดเบี้ยว ในขั้นตอนการถ่ายภาพและจัดทำภาพ หรือการใช้ข้อมูลจากแผนที่ชายฝั่งมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนได้จากขนาดของภาพ (scale) ระดับอ้างอิง (datum) การยับ ย่น หด และฉีกขาดของแผนที่ หรือมาตรฐานการสำรวจที่แตกต่างกัน เป็นต้น จากตัวอย่างรายงานที่รวบรวมส่วนใหญ่เลือกใช้แนวโครงสร้าง ลักษณะธรณีสัณฐาน และแนวรอยต่อที่เปียกและแห้ง (wet/dry line) เป็นเกณฑ์ในการเลือกเส้นตำแหน่งแนวชายฝั่ง

Bidorn (2016) ศึกษาสาเหตุการถอยร่นของแผ่นดินบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม เป็นข้อมูลนำเข้าในโปรแกรม ArcGIS 10.1 และใช้โปรแกรม DSAS v.4.3 ในการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เลือกตัวแทนเส้นชายฝั่งโดยใช้ขอบแนวป่าชายเลน และในบางพื้นที่เลือกใช้แนวโครงสร้างชายฝั่ง เป็นตัวแทนชายฝั่งที่เกิดจากการสร้างของมนุษย์ (man-made shoreline) และคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยใช้วิธี weighted linear regression และ linear regression

Bidorn et al. (2018b) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม ร่วมกับโปรแกรม ArcGIS 10.4 และ DSAS ในการวิเคราะห์ผลกระทบของการก่อสร้างท่าเรือมาบตาพุดต่อแนวชายฝั่งอ่าวระยอง จ.ระยอง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการก่อสร้างท่าเทียบเรือมาบตาพุด ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะ ตามแนวชายฝั่งด้านตะวันตกและตะวันออกของท่าเทียบเรือ เป็นระยะทาง 3 กม. และ 5 กม. ตามลำดับ ทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งจำนวนมาก เพื่อรักษาเสถียรภาพชายฝั่งอ่าวระยอง ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระบุว่าปัจจุบันพบว่าชายฝั่งอ่าวระยองได้ปรับเข้าสู่สมดุลใหม่แล้ว

Phanomphongphaisarn et al. (2019) ศึกษาประวัติการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในอดีตบริเวณ อ.ทับสะแก จ.ประจวบคีรีขันธ์ จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายดาวเทียม ระหว่างปี

1966-2017 ร่วมกับการสำรวจในภาคสนาม โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.4 และ DSAS เพื่อวิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ผลการศึกษาระบุว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า ± 1.0 ม./ปี นอกจากนี้ในช่วงระหว่างปี 2003-2017 มากกว่าครึ่งของชายฝั่งที่เคยประสบปัญหาการกัดเซาะ ในอดีต ถูกเปลี่ยนเป็นชายฝั่งแบบสะสมตัว ซึ่งดูเหมือนมีความสอดคล้องกับช่วงเวลาของการพัฒนา และรักษาเสถียรสภาพชายฝั่ง

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเป็นปัญหาที่ทั่วโลกให้ความสำคัญ เนื่องจากประชากรมากกว่า 1 ใน 3 ของโลกอาศัยอยู่ในเขตชายฝั่ง (coastal zone) (United Nations Environmental Programme (UNEP), 2006) ดังนั้นการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจึงมีอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ อดีตถึงปัจจุบัน เนื่องจากชายฝั่งเป็นพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวสูงที่ผ่านมาจึงมีความพยายามในการ พัฒนาเทคนิค และวิธีการเพื่อให้สามารถประเมินการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งให้มีความแม่นยำมากขึ้น ทั้งในมิติของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา และเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ให้ความ น่าเชื่อถือมากขึ้น สำหรับตัวอย่างข้อมูลและเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั่วโลก ในช่วงปี 2522 ถึงปัจจุบัน สรุปได้ดังตาราง 2.1

2.1.1 การศึกษาอัตราการทับถมของตะกอนด้วยเทคนิคนิวเคลียร์

Nittrouer et al. (1979) ศึกษาอัตราการทับถมของตะกอนที่ไหล่ทวีปวอชิงตัน (Washington shelf) โดยการหาอายุทางธรณีกาล (geochronology) ด้วยเทคนิคตะกั่ว-210 (^{210}Pb) ผลการศึกษาระบุว่าผลวิเคราะห์ที่ได้จากวิธี ^{210}Pb และการสังเกตจากข้อมูลทางตะกอนวิทยา ชี้ให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวไม่เพียงแต่จะสามารถประเมินอัตราการสะสมตัวของตะกอนยุคใหม่ (modern sediment) ได้ แต่ยังสามารถเข้าใจถึงกระบวนการการสะสมตัวของตะกอนเช่นกัน และวิธี ^{210}Pb จะเป็นเครื่องมือ ที่สำคัญในการศึกษาเกี่ยวกับการสะสมตัวของตะกอนยุคใหม่ในอนาคต

Srisuksawad et al. (1997) ศึกษาการสะสมตัวของตะกอนในอ่าวไทย โดยทำการเก็บ ตัวอย่างแท่งตะกอนครอบคลุมทั่วทั้งอ่าวไทยจำนวน 22 ตัวอย่าง โดยเลือกใช้วิธี ^{210}Pb ในการ ประเมินอัตราการสะสมตัวของตะกอนปัจจุบัน (recent sediment) ผลการศึกษาระบุว่าบริเวณอ่าว ไทยตอนบน มีอัตราการสะสมตัวของตะกอนผันแปรระหว่าง 270 ถึง 490 มิลลิกรัม/ตาราง เซนติเมตร/ปี (มก./ตร.ซม./ปี) โดยตะกอนจากแม่น้ำรวมถึงของเสีย (pollutants) บริเวณกรุงเทพฯ ที่ ไหลลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยามีแนวโน้มที่จะมาทับถมในบริเวณที่มีการสะสมตัวสูง และดูเหมือนว่าจะไม่ ถูกพัดพาต่อไปยังบริเวณกลางอ่าวไทย เนื่องจากมีอัตราการสะสมตัวน้อยกว่าประมาณ 2-3 เท่า (64-190 มก./ตร.ซม./ปี) ของบริเวณอ่าวไทยตอนบน

ตาราง 2.1 การศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

ปี พ.ศ. (ค.ศ.)	ผู้ศึกษา/หน่วยงาน	ข้อมูลที่ใช้ (ปี)	Base map	โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา	ค่าความคลาด เคลื่อน	แนวทางการลากเส้นชายฝั่ง	วิธีการคำนวณการ เปลี่ยนแปลงชายฝั่ง
2522 (1979)	Dolan et al.	- U.S. Geological Survey topographic maps 1:24,000 - สำรจากสนาม, แผนที่และตารางข้อมูล	-	orthogonal grid mapping system	±25 m	เส้นระดับน้ำสูงสุด, แนวคลื่นพายุซัดฝั่ง และแนวต้นไม้หรือพืชพรรณ	-
2524 (1981)	Penland and Boyd	- U.S. Coast and Geodetic Survey 1:80,000 (1869-1956) - Aerial photo 1:10,000 – (1979) - National Ocean Survey T-charts	-	-	-	เส้นระดับน้ำสูงสุด	-
2539b (1996)	กรมเจ้าท่า	- Topographic map 1:50,000 - SPOT resolution 20x20 m - Aerial photo 1:20,000	-	- ERDAS - GIS	RMSE < 1.5	-	-
2551b (2008)	กรมทรัพยากรธรณี	- SPOT 5 resolution 10x10 m – (2550) - Aerial photo 1:20,000, 1:50,000 – (2517, 2532, 2538) - Garmin GPSMAP 76CS	-	-	-	-	-
2552 (2009)	Maiti and Battacharya	- Survey of India 1:50,000 – (1973) - Landsat: TM, ETM, ASTER, MSS - Topographic map	-	-	-	-	-
2552 (2009)	Chooiwong et al.	- IKONOS, Landsat 5TM - Aerial photo 1:50,000 –(2545)	-	-	-	-	-
2555 (2012)	กรมทรัพยากรธรณี	- THEOS 1:25,000 – (2553, 2554) - Aerial photo 1:25,000 – (2545)	-	- ENVI 4.2 - ArcView 3.3	-	แนวต้นไม้หรือพืชพรรณ	-
2555 (2012)	Faiboon, Pradit, and Ripharing	- SPOT-5, THEOS resolution 2.0-2.5 m – (2550, 2552, 2554) - Aerial photo 1:15,000, 1:4,000 – (2510, 2517, 2532, 2538, 2545)	-	- ERDAS IMAGINE V.9.1 - ArcView GIS V.3.3	RMSE < 1	แนวต้นไม้หรือพืชพรรณ	-

ตาราง 2.1 (ต่อ) การศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

ปี พ.ศ. (ค.ศ.)	ผู้ศึกษา/หน่วยงาน	ข้อมูลที่ใช้ (ปี)	Base map	โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา	ค่าความคลาดเคลื่อน	แนวทางการลดความคลาดเคลื่อน	วิธีการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง
2556 (2013)	Ford	- KONOS, QuickBird, WorldView-2, GeoEye-1 - Aerial photo 1:5,000, 1:8,000 1:20,000 – (1945, 1975, 1978)	-	- ArcGIS 10.0 - DSAS	total 1.35 – 2.96 m	-	NSM, EPR, WLR
2556 (2013)	Mujabar and Chandrasekar	- Multi-date satellite data of Indian Remote Sensing (IRS) satellites – (1999, 2000, 2003, 2005, 2006) - Topographic map 1:50,000	Topographic map	- ERDAS IMAGINE V.9.1 - ArcGIS 9.2	-	-	-
2557a (2014)	กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง	Google Earth – (2554, 2557)	-	Arcmap 10.1	-	แนวเขตพื้นที่พรอน, โครงสร้างถาวร, และเนินทรายชายฝั่ง	-
2558 (2015)	Natesan et al.	- Landsat: MSS, TM, ETM, OLI – (1978, 1990, 2000, 2010, 2014)	-	- ERDAS IMAGINE V.8.5 - Arc GIS 10.1 - DSAS	RMSE < 0.2 pixel	เส้นระดับน้ำสูงสุด	EPR, LRR
2558 (2015)	Asian Disaster Preparedness	- Topographic map 1:50,000 - Google Earth –(2558) - กรมแผนที่ทหาร และกรมที่ดิน – (2517, 2538, 2545, 2553)	the ortho-image maps of 2002	- GIS - GENESIS - MEPBAY	RMSE ±1.0	เส้นแนวเปียก-แห้ง เป็นเส้นระดับน้ำต่ำสุด (lowest water level)	-
2559 (2016)	Kermani, et al.	- Quick-bird – (2014)	-	- ERDAS IMAGINE V.8.5 - ArcGIS 9.2 - DSAS	-	เส้นระดับน้ำสูงสุด	EPR, LRR, WLR
2559 (2016)	Selvan et al.	- Landsat 5, 7, Cartosat-1, Resourcesat 1, 2 - Aerial photo – (1964, 1970, 1986) - GPS Survey – (2017)	Aerial photo	- ERDAS IMAGINE 2013 - ArcGIS 9.3	-	เส้นระดับน้ำสูงสุด และโครงสร้างติดชายฝั่ง	NSM, EPR, WLR

EPR= End Point Rate, LRR = Linear Regression Rate, WLR=Weighted Linear Regression Rate, NSM= Net Shoreline Movement

ตาราง 2.1 (ต่อ) การศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

ปี พ.ศ. (ค.ศ.)	ผู้ศึกษา/หน่วยงาน	ข้อมูลที่ใช้(ปี)	Base map	โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา	ค่าความคลาดเคลื่อน	แนวทางการลากเส้นชายฝั่ง	วิธีการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง
2561 (2018)	Martinez et al.	- Google Earth Pro – (2003, 2004, 2009, 2013, 2016) - Landsat: MSS, TM, ETM, OLI, TIRS	-	- ArcGIS 10.4 - DSAS 4.3	-	เส้นระดับน้ำสูงสุด	EPR
2561 (2018)	Zhang et al.	- Aerial photo –(1957, 1967, 1977, 1990, 1996) - Google Earth Pro – (2002, 2004, 2006, 2011, 2014, 2016)	-	-	-	เส้นระดับน้ำสูงสุด	EPR
2561 (2018b)	Bidom and Rukvichai	- Aerial photo –(1953, 1967, 1976, 1994, 2002) - Google Earth Pro – (2006, 2009, 2014, 2017)	-	- ArcGIS 10.4 - DSAS 4.4	-	เส้นระดับน้ำสูงสุด, แนวพืชรวม, และโครงสร้างตึดยฝั่ง	EPR, WLR, LRR
2561 (2018a)	Bidom et al.	- Aerial photo –(1966, 1976, 1994, 1997) - Google Earth Pro –(2002, 2003, 2013, 2014, 2015, 2017)	Orthophoto (2002)	- ArcGIS 10.4 - DSAS 4.4	RMSE 1.0-9.5	เส้นระดับน้ำสูงสุด, แนวพืชรวม, และโครงสร้างตึดยฝั่ง	EPR, WLR, LRR
2562 (2019)	Phanomphongphaisarn et al.	- Survey of India (1983) toposheet – (2013 to 2016) - Aerial photo – (2013 to 2016)	Orthophoto (2015)	- ArcGIS 10.4 - DSAS 4.3	RMSE < 1 m	เส้นระดับน้ำสูงสุด, แนวพืชรวม, และโครงสร้างตึดยฝั่ง	EPR, LRR, NSM
2562 (2019)	Nithu et al.	- SPOT5 1:10,000 – (2003, 2011, 2012)	-	- ArcGIS - DSAS	-	-	EPR, LRR
2562 (2019)	Besset et al.	Satellite images – (1984 to 2019)	-	- DSAS	-	แนวพืชรวม	-
2563 (2020)	Pollard et al.		-	- ArcGIS 10 - DSAS 3.2	-	Water line	LRR, WLR

EPR= End Point Rate, LRR = Linear Regression Rate, WLR=Weighted Linear Regression Rate, NSM= Net Shoreline Movement

Swarzenski (2014) รายงานว่าปัจจุบันเกือบทั้งหมดของการศึกษาเกี่ยวกับการทับถมทางด้านสมุทรศาสตร์ หรือเกี่ยวกับน้ำบนดิน (limnologic) เลือกใช้วิธีตะกั่ว-210 (^{210}Pb) ซึ่งเป็นหนึ่งในหลายตัวชี้วัดทางธรณีกาล (geochronometers) ในการศึกษา โดยมีขนาดตัวอย่างตะกอนเป็นข้อจำกัดในการวิเคราะห์ เนื่องจากความผกผันระหว่างพื้นผิวของอนุภาค (particle surface area) และขนาดอนุภาค (particle size) โดยปกติตะกอนดินเลน (muddy) จะให้ค่าตรวจวัด ^{210}Pb ได้สูงที่สุด (highest activities) วิธีการนี้เหมาะสำหรับการหาอายุในช่วงไม่เกิน 100-200 ปีที่ผ่านมา และมีความคลาดเคลื่อนผันแปรตั้งแต่อย่างน้อยกว่า 1 ปี ถึงเกือบ 10 ปี

บุศวรรณ บิตร และคณะ (2562) ศึกษาอัตราการทับถมของตะกอนชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนด้านเหนือ ด้วยเทคนิคการหาอายุตะกอนด้วยวิธี ^{210}Pb จากนั้นนำมาคำนวณหาอัตราการทับถมของตะกอนชายฝั่ง และเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในอดีต พบว่าบริเวณใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยา มีค่าของกัมมันตภาพทั้งหมดที่ปรับแก้ค่าการสลายตัวแล้ว (decay corrected $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$) ผันแปรอยู่ระหว่าง 0.5-2.99 ครั้ง/นาทีก/กรัม มีอัตราการทับถมของตะกอนน้อย และเพิ่มขึ้นเมื่อห่างจากชายฝั่งออกไป โดยชายฝั่งด้านตะวันตกมีอัตราการทับถมระหว่าง 0.5-1.6 เซนติเมตร/ปี (ซม./ปี) ส่วนชายฝั่งด้านตะวันออกมีอัตราการทับถม 0.5-1.9 ซม./ปี นอกจากนี้ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการก่อสร้างเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ รวมถึงการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ไม่มีผลต่อรูปแบบการทับถมของตะกอนบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนด้านเหนือ

2.1.3 การศึกษาและออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งที่ผ่านมา

U.S. Army Corps of Engineers (1986) ระบุว่าข้อมูลและการศึกษาที่ใช้ในการออกแบบเขื่อนกันคลื่น (breakwaters) และเขื่อนกันทรายและคลื่น (jetties) ประกอบด้วย ข้อมูลระดับน้ำ, ลม, คลื่น, กระแสน้ำ, ธรณีเทคนิค, วัสดุก่อสร้างและแหล่งที่มา, สภาพการเกิดก้อนน้ำแข็ง (Ice condition), การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง, สภาพก่อนการก่อสร้างและผลกระทบจากการก่อสร้าง, การสำรวจ, การก่อสร้าง, ข้อมูลอายุโครงการ (design life), การขุดลอกและการกำจัดขยะ (dredging and disposal), แผ่นดินไหว, ผลกระทบจากเรือ (vessel impact), ผลกระทบสิ่งแวดล้อม, การสร้างแบบจำลอง และการดำเนินการและการซ่อมบำรุง (operation and maintenance)

U.S. Army Corps of Engineers (1992) แนะนำเกณฑ์ในการออกแบบคันดักตะกอน (groin) ซึ่งเป็นโครงสร้างชายฝั่งที่มีรูปแบบการใช้งานเช่นเดียวกับเขื่อนกันทรายและคลื่น (jetties) ดังนี้ 1) ความยาวของโครงสร้างไม่ควรเกินบริเวณที่เป็น surf zone 2) ความสูงโครงสร้างขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น วัสดุก่อสร้าง การเคลื่อนที่ของตะกอนข้ามโครงสร้าง การสะท้อน (reflection) ของคลื่น และปริมาณจุดพักหลบคลื่น (sheltering from wave) 3) ระยะห่างระหว่างโครงสร้างพิจารณา

จากทิศทางการเคลื่อนและการเคลื่อนที่ของตะกอน และ 4) ค่าการซึมผ่านได้ (permeability) ซึ่งไม่มีค่าที่แน่นอนขึ้นอยู่กับวัสดุและการออกแบบ

บุศวรรณ โพธิทอง (2542) ศึกษาเกณฑ์ในการออกแบบคันดักตะกอน (groin) แบบทึบน้ำ ที่วางตัวตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง โดยใช้แบบจำลองทางกายภาพ (physical model) จากผลการศึกษาพบว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ได้แก่ มุมคลื่นที่กระทำต่อแนวชายฝั่ง ระยะห่างระหว่างโครงสร้าง และความชันคลื่น ตามลำดับ ตัวแปรในการออกแบบคันดักตะกอน ได้แก่ ความยาวของโครงสร้าง ความสูงของโครงสร้าง ระยะห่างระหว่างโครงสร้าง มุมที่โครงสร้างกระทำต่อชายหาด ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านโครงสร้างได้ และการออกแบบรูปแบบพิเศษ

Shibutani et al. (2007) ใช้แบบจำลอง One-Line model (OLM) ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ทำเทียบเรือประมง Kunnui เมืองฮอกไกโด ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งก่อสร้างแล้วเสร็จในปี 1994 ในกรณีก่อนมีการทำ beach nourishment ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของตะกอน K_1 เท่ากับ 0.2 และ K_2 เท่ากับ 0.32 โดยมีขนาดตะกอนเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 และความลึกทั้งหมด (total depth) เท่ากับ 10 ม. ซึ่งเป็นผลรวมของความสูงเนินทราย (berm height) และความลึกประสิทธิผล (depth of closure) ผลการศึกษาระบุว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบ tombolo ด้านหลังท่าเทียบเรือซึ่งสอดคล้องกับแนวชายฝั่งที่เปลี่ยนแปลงจริง ต่อมาทำการจำลองในกรณีมีการทำ beach nourishment โดยผันแปรขนาดตะกอนเฉลี่ยที่ 0.1, 0.25, และ 0.4 มิลลิเมตร (มม.) พบว่าผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมีการผันแปรตามขนาดเฉลี่ยของตะกอนที่เปลี่ยนแปลงไป

Van Rijn (2013) ศึกษาเกณฑ์ในการออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่น และเขื่อนกันคลื่น (breakwater) และเสนอว่าประสิทธิภาพ (efficiency) ของเขื่อนกันทรายและคลื่น ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความยาวโครงสร้างกับความกว้างชายฝั่ง โดยความยาวโครงสร้างไม่ควรเกินบริเวณ surf zone เพราะจะไปขัดขวางการถ่ายเททรายตามธรรมชาติ (natural sand bypassing) โครงสร้างควรออกแบบให้มีสันเขื่อนสูง น้ำซึมผ่านไม่ได้ (impermeable) วางตัวตั้งฉากกับชายฝั่งเพื่อนำพาตะกอนจากฝั่งออกสู่ทะเล ความกว้างโครงสร้างสันเขื่อนอย่างน้อย 5 ม. และสูงอย่างน้อย 0.5 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลาง เขื่อนกันคลื่นควรมีความยาวอย่างน้อยเป็นสองเท่าของความยาวคลื่นออกแบบ (design wave length) โดยความกว้างช่องระหว่างโครงสร้างควรน้อยกว่าความยาวคลื่นออกแบบ และตำแหน่งของโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของชายฝั่งที่ต้องการ จากการศึกษาพบว่ารูปแบบชายฝั่งด้านหลังโครงสร้างขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างความกว้างเขื่อน (L) และระยะห่างเขื่อนกับชายฝั่ง (D) ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ 1) tombolo มีค่า $L/D > 3$, 2) salient มีค่า $L/D = 0.5$ ถึง 1 และ 3) ชายฝั่งที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง มีค่า $L/D < 0.2$

Kakisina et al. (2016) ศึกษาการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ที่ชายฝั่งด้านเหนือของ Ambon bay ประเทศอินโดนีเซีย โดยใช้แบบจำลอง GENESIS เพื่อหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการถดถอยของแนวชายฝั่ง และแนวทางในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยในการศึกษาได้จำลองกรณีศึกษา 3 กรณี ได้แก่ 1) ไม่มีโครงสร้างป้องกัน 2) มีชุดคันดักตะกอน (groin series) และ 3) มีคันดินตะกอนและกำแพงกันคลื่น ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองกรณีที่ 2 คาดว่าจะสามารถลดอัตราการเคลื่อนตัวของตะกอนได้มากที่สุด โดยข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองได้แก่ ข้อมูลคลื่นสังเคราะห์จากข้อมูลลม ระหว่างปี ค.ศ. 2002-2012 ด้วยซอฟต์แวร์ Lake Environment version 7 ในการสร้าง wave rose และ wind rose สำหรับข้อมูลกระแสน้ำและสภาพท้องน้ำ ที่ใช้ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เลือกใช้ข้อมูลการสำรวจในภาคสนาม

จากตาราง 2.2 แสดงสรุปการศึกษาและออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งที่ผ่านมา บางส่วนของประเทศไทย ในช่วงปี 2533-2560 ซึ่งพบว่าในการศึกษาและออกแบบโครงการที่ผ่านมา นิยมใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของคลื่น ตะกอน และการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยข้อมูลนำเข้าแบบจำลองได้จากการรวบรวม และวิเคราะห์ผลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ได้แก่ กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมแผนที่ทหาร กรมเจ้าท่า และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เป็นต้น รวมทั้งข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม โดยการศึกษาส่วนใหญ่เลือกใช้ข้อมูลคลื่นออกแบบจากการวิเคราะห์ข้อมูลลม (wave hindcasting) แล้วนำมาปรับแก้กับข้อมูลคลื่นจากหุ่นสมุทรศาสตร์ เพื่อใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์การออกแบบโครงการ และแก้ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง

ตาราง 2.2 การศึกษาและออกแบบทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งที่ผ่านมาของประเทศไทย

ปี	2533	2534	2539b	2539a	2542
หน่วยงาน (พื้นที่ศึกษา)	กรมเจ้าท่า (ปัตตานี)	กรมเจ้าท่า (ชุมพร)	กรมเจ้าท่า (ประเทศไทย)	กรมเจ้าท่า (ประจวบคีรีขันธ์)	กรมเจ้าท่า (ระยอง)
โครงสร้าง/การศึกษา	เขื่อนกันทราย และคลื่น	เขื่อนกันทราย และคลื่น	เขื่อนกันคลื่น	เขื่อนกันทราย และคลื่น	เขื่อนกันทรายและ คลื่น
คลื่น (ปี)	คลื่นจากทะเลจีนใต้ (2492-2525) ศึกษา โดย SMEC.	สำรวจภาคสนามโดย ใช้ Stadia Wave Record	ทฤษฎีสมุทรศาสตร์ จาก สำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ	ทฤษฎีสมุทรศาสตร์ สำนักงาน สถานีหัว หิน THAI-7 (2537) จากคณะกรรมการ วิจัยแห่งชาติ	ข้อมูลโครงการ ก่อสร้างท่าเรือมาบตา พุด (2541)
ลม (ปี)	กรมอุตุนิยมวิทยา ราย 3 ชม. (2494-2523)	กรมอุตุนิยมวิทยา ราย 3 ชม. (2524-2532)	กรมอุตุนิยมวิทยา ราย 3 ชม.	กรมอุตุนิยมวิทยา ราย 3 ชม. (2524-2535)	กรมอุตุนิยมวิทยา (2524-2540)
ระดับน้ำขึ้นน้ำลง (ปี)	- กรมอุทกศาสตร์ - กรมเจ้าท่า	-	กรมอุทกศาสตร์	กรมอุทกศาสตร์ (2535-2537)	กรมเจ้าท่า
ปริมาณตะกอน (ปี)	เก็บตัวอย่างตะกอน แขวนลอยใน ภาคสนาม	- เก็บตัวอย่างตะกอน ที่ความลึกน้ำ 3 ระดับ - กรมเจ้าท่า (2533)	-	สำรวจภาคสนาม	ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณตะกอน แขวนลอยรายปีเฉลี่ย กับพื้นที่ลุ่มน้ำ
กระแสน้ำชายฝั่ง (ปี)	สำรวจภาคสนามโดย ใช้หุ่นลอย	สำรวจภาคสนามโดย ใช้หุ่นลอย	กรมอุทกศาสตร์	สำรวจภาคสนามโดย ใช้หุ่นลอย	-
สภาพท้องน้ำ (ปี)	- กรมอุทกศาสตร์ ทหารเรือ (2503- 2525) - การสำรวจภาคสนาม	-	-	สำรวจภาคสนาม	-
แนวชายฝั่ง (ปี)	-	-	-	-	-
ข้อมูลคลื่นออกแบบ	H_s : 2.1 m T_s : 12.6 s	JONSWAP RT: 50 yr. H_s : 4.6 m, T_s : 12.6 s	-	JONSWAP RT: 50 yr. H_s : 3.75 m, T_s : 9 s	PM method RT: 50 yr. H_s : 3.3 m, T_s : 9 s
แบบจำลองการ เคลื่อนตัวของคลื่น มวลน้ำ และ กระแสน้ำชายฝั่ง	-	RCPWAVE, 1986	-	RCPWAVE, 1986	-
แบบจำลอง การศึกษาการ เปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	-	One-line model	-	One-line model	One-line model
การวิเคราะห์ปริมาณ ตะกอนเนื่องจากคลื่น	-	Shore Protection Manual (1984)	-	Shore Protection Manual (1984)	Shore Protection Manual (1984)

หมายเหตุ RT= Return Period, H_s = Significant wave height , T_s = Significant wave period

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ หรือในชื่อปัจจุบัน สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

ตาราง 2.2 (ต่อ) การศึกษาและออกแบบทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งที่ผ่านมาของประเทศไทย

ปี	2546	2549	2549	2550	2551
หน่วยงาน (พื้นที่ศึกษา)	สำนักงานนโยบายและ แผนสิ่งแวดล้อม (เพชรบุรี- ประจวบคีรีขันธ์)	กรมเจ้าท่า (นราธิวาส)	กรมทรัพยากรธรณี (อำเภอไทยและอันดา มัน)	สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร	กรมเจ้าท่า (นครศรีธรรมราช)
โครงสร้าง/การศึกษา	ปัญหาการกัดเซาะ ชายฝั่ง	เขื่อนกั้นคลื่นนอก ชายฝั่ง	ปัญหาการกัดเซาะ ชายฝั่ง	คันดักตะกอน	ปัญหาการกัดเซาะ ชายฝั่ง
คลื่น (ปี)	ทฤษฎีสมุทศาสตร์สถานี หัวหิน (2536-2542), เพชรบุรี (2539-2542) จากสำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ	ทฤษฎีสมุทศาสตร์ สงขลา จาก สำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ	เครื่องมือ AWH-16M Wave Height Recorder	เครื่องวัดคลื่นแบบ Stadia ติดตามการขึ้น ลงของเป่าวัดคลื่น (วัน ละ 12 ครั้ง) รวมทั้งวัด ความเร็วและทิศทาง ลมด้วย	ทฤษฎีสมุทศาสตร์ สถานีนครศรีธรรมราช (2540-2541)
ลม (ปี)	กรมอุตุนิยมวิทยา (2524-2543)	กรมอุตุนิยมวิทยา (2524-2545)	-	สถานีนำร่อง (2527-2547)	กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีนครศรีธรรมราช
ระดับน้ำขึ้นน้ำลง (ปี)	กรมเจ้าท่า และกรม อุทกศาสตร์ : สถานี ปากแม่น้ำแม่กลอง บ้านแหลม, หัวหิน, ปากแม่น้ำปราณบุรี, เกาะหลัก	กรมเจ้าท่า	กรมเจ้าท่า	-	กรมเจ้าท่า สถานี ปากน้ำปากพอง
ปริมาณตะกอน	-	-	-	-	-
กระแสน้ำชายฝั่ง (ปี)	ทฤษฎีสมุทศาสตร์หัวหิน (2536-2542) , เพชรบุรี (2539-2542)	-	สำรวจภาคสนาม	-	-
สภาพท้องน้ำ (ปี)	-	สำรวจภาคสนาม	สำรวจภาคสนาม	-	-
แนวชายฝั่ง (ปี)	-	-	ภาพถ่ายทางอากาศ (2538, 2545)	ภาพถ่ายทางอากาศ (2532, 2537, 2543)	ภาพถ่ายทางอากาศ (2517-2538)
ข้อมูลคลื่นออกแบบ	JONSWAP	JONSWAP RT: 50 yr. H_s : 3.45 m, T_s : 8.5 s	WAM Model RT: 50 yr. H_s : 3.8 m, T_s : 9.8 s	JONSWAP	JONSWAP RT: 50 yr. H_s : 3.8 m, T_s : 9.8 s
แบบจำลองการเคลื่อน ตัวของคลื่น มวลน้ำ และกระแสน้ำชายฝั่ง	- RCPWAVE model - AIT Wave model	RCPWAVE, 1986	-	MIKE 21	RCPWAVE
แบบจำลองการศึกษา การเปลี่ยนแปลง ชายฝั่ง	GENESIS ($K_1=0.4$, $K_2=0.2-0.3$) ใช้คลื่นวัดจริงใน การศึกษา	GENESIS	GENESIS	GENESIS ($K_1=1.5$, $K_2=0.9$)	GENESIS ($K_1=0.25$, $K_2=0.55$)
การวิเคราะห์ปริมาณ ตะกอนเนื่องจากคลื่น	-	-	Shore Protection Manual (1984)	MIKE 21	Shore Protection Manual (1984)

หมายเหตุ RT= Return Period, H_s = Significant wave height , T_s = Significant wave period

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ หรือในชื่อปัจจุบัน สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

ตาราง 2.2 (ต่อ) การศึกษาและออกแบบทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งที่ผ่านมาของประเทศไทย

ปี	2553	2554	2556	2558	2560
หน่วยงาน (พื้นที่ศึกษา)	กรมทรัพยากรทาง ทะเลและชายฝั่ง (สมุทรปราการ)	กรมทรัพยากรทาง ทะเลและชายฝั่ง (เพชรบุรี)	กรมเจ้าท่า (ตราด)	กรมเจ้าท่า (สงขลา)	กรมเจ้าท่า (ประจวบคีรีขันธ์)
โครงสร้าง/การศึกษา	โครงสร้างป้องกันการ กัดเซาะชายฝั่ง	ปัญหาการกัดเซาะ ชายฝั่ง	ท่าเทียบเรือ	เขื่อนป้องกันการกัด เซาะชายฝั่ง	เขื่อนกันทรายและ คลื่น
คลื่น (ปี)	กรมอุตุณิยมหาวิทยาลัย	ทุนสมุทรศาสตร์สถานี หัวหิน และเพชรบุรี จากสำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ	ทุนสมุทรศาสตร์สถานี เกาะช้าง (2541- 2544) จากสำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ	สำนักงานพัฒนา เทคโนโลยีอวกาศและ ภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2540-2541)	ทุนสมุทรศาสตร์สถานี เกาะตา ๕.ค. 2536
ลม (ปี)	กรมอุตุณิยมหาวิทยาลัย สถานีปากน้ำ (2494- 2553)	กรมอุตุณิยมหาวิทยาลัย สถานี (2524-2554)	กรมอุตุณิยมหาวิทยาลัย สถานีคลองใหญ่ (2524-2554)	-	กรมอุตุณิยมหาวิทยาลัย สถานีสตอ. ประจวบคีรีขันธ์ (2524-2555)
ระดับน้ำขึ้นน้ำลง (ปี)	กรมอุทกศาสตร์ ที่ ป้อมพระจุลและปาก แม่น้ำท่าจีน (2553)	กรมเจ้าท่าสถานีบ้าน แหลมและปราณบุรี	กรมเจ้าท่าสถานีคลอง ใหญ่และแหลมงอบ	กรมเจ้าท่า สถานี สงขลา	กรมเจ้าท่าสถานีคลอง คลองวาฬ
ปริมาณตะกอน (ปี)	ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณตะกอน แขวนลอยรายที่ไหลลง สู่อ่าวไทยกับอัตราการ ไหล	-	-	-	-
กระแสน้ำชายฝั่ง (ปี)	สำรวจภาคสนาม	-	-	สำรวจภาคสนาม	-
สภาพท้องน้ำ (ปี)	สำรวจภาคสนาม	สำรวจภาคสนาม	-	-	กรมอุทกศาสตร์ ระหว่าง 203 (2539)
แนวชายฝั่ง (ปี)	- แผนที่ภูมิประเทศ - ภาพถ่ายทางอากาศ - SPOT-5	-	-	- ภาพถ่ายเทียม - ภาพถ่ายทางอากาศ	- ภาพถ่ายเทียม - ภาพถ่ายทางอากาศ
ข้อมูลคลื่นออกแบบ	JONSWAP RT: 50 yr. H _s : 2.6 m, T _s : 8.2 s	JONSWAP	JONSWAP	RT: 50 yr. H _s : 3.7 m, T _s : 9.4 s	JONSWAP RT: 50 yr. H _s : 2.44 m, T _s : 8.0 s
แบบจำลองการ เคลื่อนตัวของคลื่น มวน้ำ และ กระแสน้ำชายฝั่ง	Marine Meteorology Analysis in the Gulf of Thailand	WINDWAVE	- AQUASEA - STWAVE	- RCPWAVE - WAM	-CGWAVE
แบบจำลอง การศึกษาการ เปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	GENESIS	GENESIS (K1=0.9, K2=0.5, d ₅₀ =0.25 mm)	GENESIS	GENESIS (K1=0.35, K2=0.7)	-
การวิเคราะห์ปริมาณ ตะกอนเนื่องจากคลื่น	-	-	-	Shore Protection Manual (1984)	Shore Protection Manual (1984)

หมายเหตุ RT= Return Period, H_s= Significant wave height , T_s= Significant wave period

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ หรือในชื่อปัจจุบัน สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

2.2.1 กลศาสตร์ของคลื่น

คลื่นเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลน้ำที่ถูกรบกวนโดยลม การเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์ การสั่นสะเทือนจากท้องทะเล หรือแรงดึงดูดระหว่างดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ ในมหาสมุทรคลื่นมากกว่า 90% เกิดจากลม ขนาดและความรุนแรงของคลื่นขึ้นอยู่กับความเร็ว และระยะเวลาที่ลมพัดผ่านพื้นที่ผิวน้ำ (U.S. Army Corps of Engineering, 1984a; Sorensen, 2006)

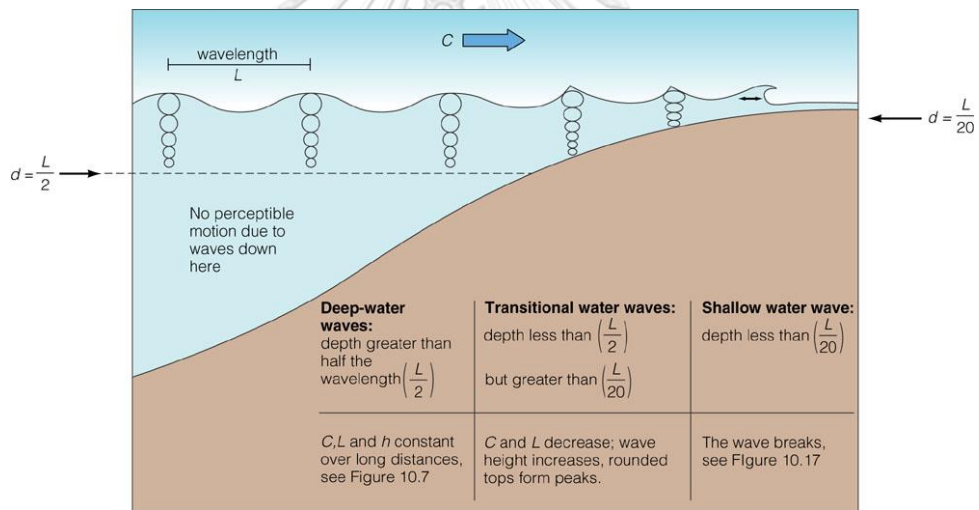
ชนิดของคลื่นสามารถจำแนกโดยใช้อัตราส่วนระหว่างความลึกน้ำ (d) และความยาวคลื่น (L) (relative depth, d/L) ได้ 3 ชนิด คือคลื่นในน้ำลึก, คลื่นในน้ำลึกปานกลาง, และคลื่นในน้ำตื้น ดังรูป 2.1 คลื่นในน้ำลึก (deep water wave, $d/L > 0.5$) มีคุณสมบัติของคลื่นได้แก่ ความเร็วคลื่น (wave celerity, C), ความยาวคลื่น (wavelength, L) และความสูงคลื่น (wave height, H) คงที่ วงโคจรของอนุภาคน้ำ (trajectories) เป็นรูปวงกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลางของวงที่ผิวน้ำอิสระ (orbit) เท่ากับความสูงคลื่น และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงโคจรจะลดลงแบบเลขชี้กำลัง (exponential) จนกระทั่งถึงระดับที่ความลึกมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น หลังจากความลึกดังกล่าว การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำอันเนื่องมาจากอิทธิพลของคลื่นมีน้อยมาก การเคลื่อนที่ของตะกอนสุทธิเท่ากับศูนย์ (U.S. Army Corps of Engineering, 1984a; Sorensen, 2006; U.S. Army Corps of Engineers, 2008d)

เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณน้ำลึกปานกลาง (transitional water waves, $0.04 < d/L < 0.50$) ลักษณะของคลื่นจะเปลี่ยนไปเนื่องจากอิทธิพลของน้ำตื้น (shoaling effect) คลื่นในบริเวณนี้จะมี ความยาวคลื่นสั้นลง ความสูงคลื่นสูงขึ้น ความเร็วคลื่นลดลง แต่คาบเวลาคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง วงโคจรของอนุภาคน้ำเป็นวงรี (ellipse) โดยมีแกนหลัก (major axis) อยู่ในแนวราบขนานกับท้องน้ำ และแกนรอง (minor axis) อยู่ในแนวตั้ง วงโคจรของอนุภาคจะมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ตามความลึก จนกระทั่งเป็นเส้นตรงที่บริเวณท้องน้ำ (รูป 2.2) ทำให้ตะกอนที่ท้องน้ำมีการเคลื่อนที่ (U.S. Army Corps of Engineering, 1984a; Sorensen, 2006; U.S. Army Corps of Engineers, 2008d)

เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณน้ำตื้น (shallow water wave, $d/L < 0.04$) ซึ่งความลึกนี้ไม่เพียงพอที่จะถ่ายพลังงานคลื่น ทำให้คลื่นเกิดการแตกตัว (wave breaking) บริเวณนี้จะเกิดการปั่นป่วน (turbulence) มาก เนื่องจากการถ่ายทอดพลังงานคลื่นทำให้ตะกอนท้องน้ำเคลื่อนที่

ตะกอนขนาดเล็กจะถูกยกตัวขึ้น และพัดพาในสภาพแขวนลอย (suspension) (U.S. Army Corps of Engineering, 1984a; Sorensen, 2006; U.S. Army Corps of Engineers, 2008d)

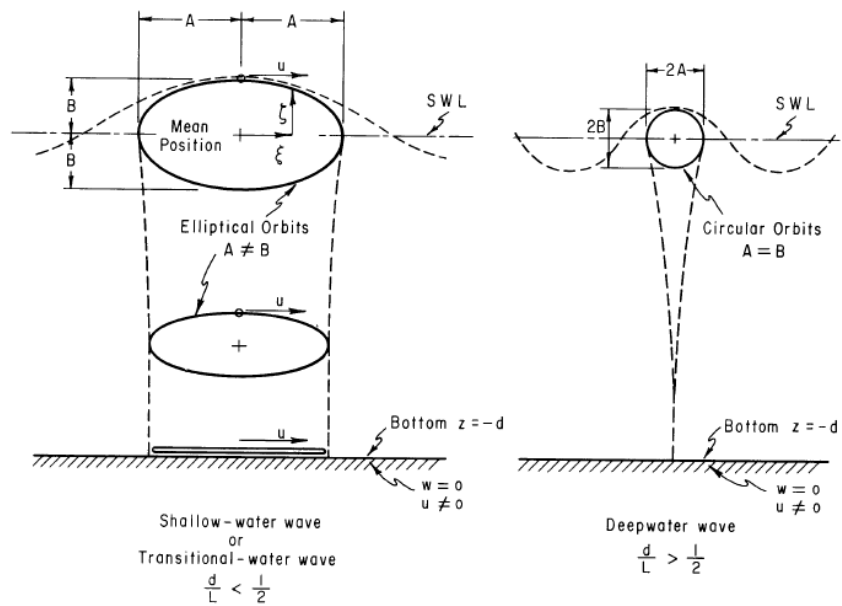
ปรากฏการณ์เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ จากบริเวณน้ำลึกเข้าสู่ น้ำตื้นปานกลางและน้ำตื้น คลื่นจะเกิดการหักเห (wave refraction) เมื่อทิศทางเคลื่อนที่ของคลื่น (wave orthogonal) ทำมุมกับเส้นระดับท้องน้ำ ความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนตัวจะขึ้นอยู่กับความลึกของท้องน้ำ ณ ตำแหน่งนั้น ๆ แนวสันคลื่น (wave crest) ที่ตำแหน่งที่ลึกกว่า จะมีความเร็วคลื่นมากกว่าที่แนวสันคลื่นที่ตื้น ส่งผลให้แนวสันคลื่นเกิดการบิดแนว หรือเรียกว่าการหักเห ดังรูป 2.3 นอกจากนี้ยังมีปรากฏการณ์อื่น ๆ ได้แก่ การสะท้อนของคลื่น (wave reflection) เนื่องจากคลื่นปะทะหัวหาด (headland) หรือโครงสร้างชายฝั่ง ดังรูป 2.4 และการกระจายของคลื่น (wave diffraction) เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านช่องว่างระหว่างหัวหาดหรือโครงสร้างที่ขวางทิศทางคลื่น (Sorensen, 2006; U.S. Army Corps of Engineers, 2008a) ดังรูป 2.5



© 2005 Brooks/Cole - Thomson

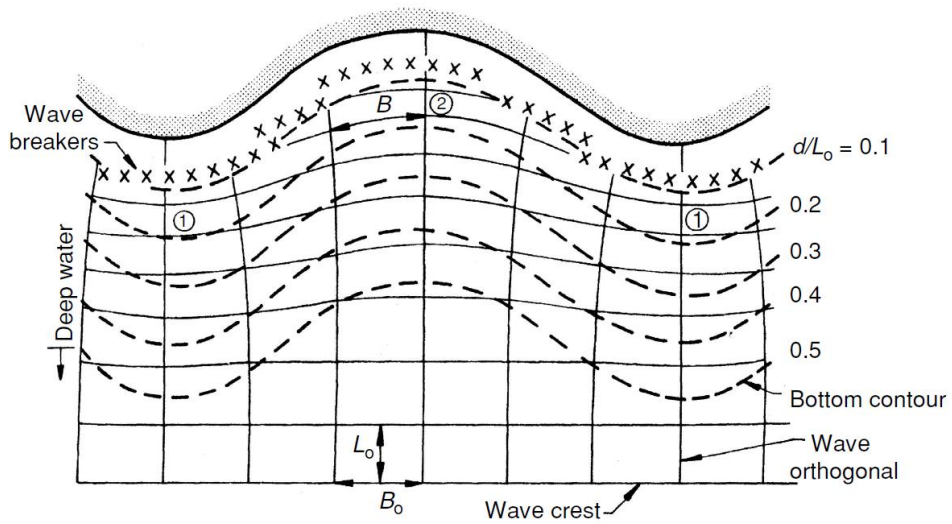
ที่มา : www.kennesaw.edu

รูป 2.1 การจำแนกคลื่นโดยใช้ความลึกสัมพัทธ์



ที่มา : U.S. Army Corps of Engineering (1984a)

รูป 2.2 การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำในน้ำตื้นและน้ำลึก



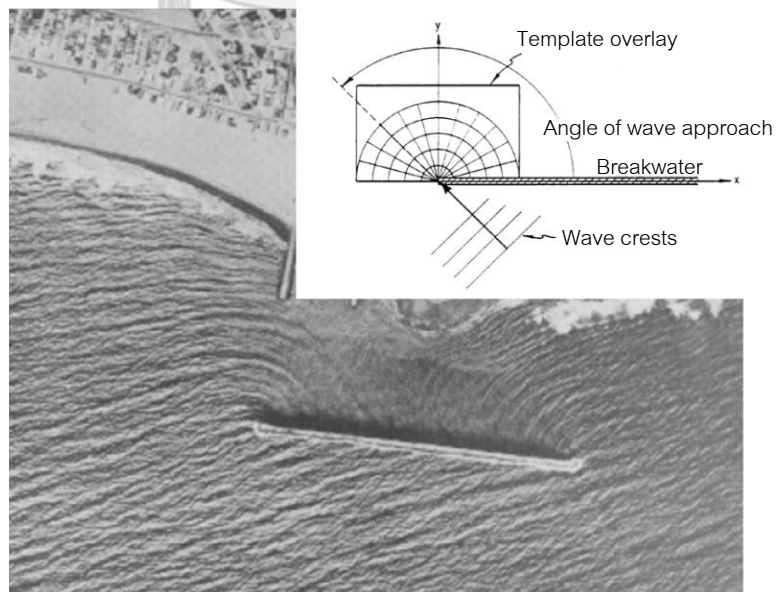
ที่มา : Sorensen (2006)

รูป 2.3 การหักเหของคลื่น (wave refraction)



ที่มา : U.S. Army Corps of Engineering (1984a)

รูป 2.4 การสะท้อนของคลื่น (wave reflection)

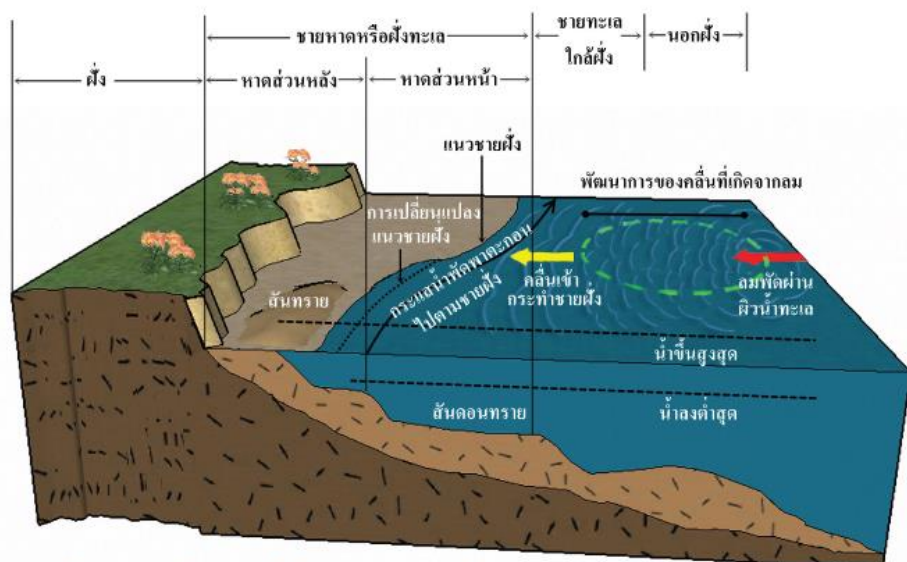


ที่มา : U.S. Army Corps of Engineering (1984a)

รูป 2.5 การเลี้ยวเบนของคลื่น (wave diffraction)

2.2.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่เข้าและออกในพื้นที่ ในการศึกษาทางวิศวกรรมชายฝั่งได้แบ่งชายฝั่งออกเป็นส่วน ๆ แสดงในรูปตัดตามยาวของชายฝั่ง ดังรูป 2.6 ในธรรมชาติการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล ตัวแปรสำคัญที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้แก่ คลื่นและกระแสน้ำ บริเวณที่มีการงอกของแผ่นดิน แสดงว่ามีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนเข้าสู่พื้นที่มากกว่าที่เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ ในทางตรงข้าม บริเวณที่เกิดการถดถอยของแผ่นดิน แสดงว่ามีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนออกจากพื้นที่มากกว่าเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ ในขณะที่บริเวณที่มีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนเข้าสู่พื้นที่เท่ากับที่เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ บริเวณนั้นชายฝั่งจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง (Sorensen, 2006; กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557b)



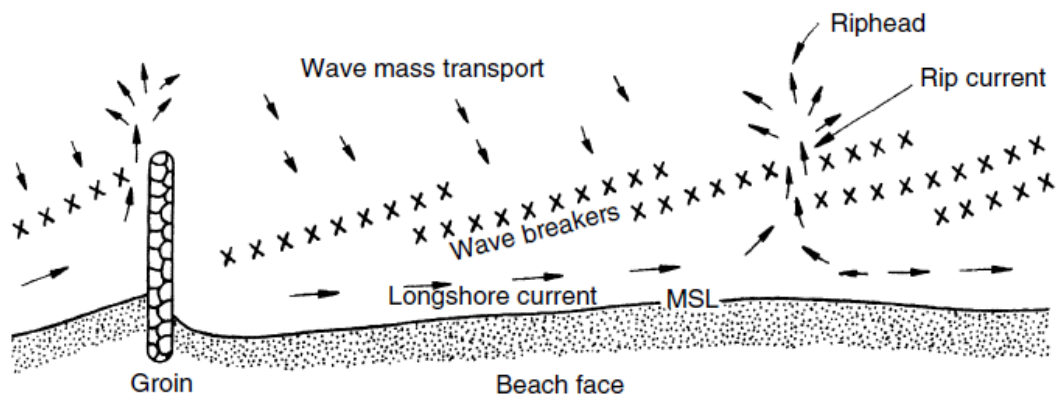
ที่มา : กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557b)

รูป 2.6 รูปตัดตามยาวของชายฝั่ง

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณน้ำตื้น จะเกิดการแตกตัวก่อให้เกิดการปั่นป่วนของกระแสน้ำ ส่งผลให้ตะกอนในบริเวณนี้ถูกยกตัว และพาพัดไปกับกระแสน้ำ คลื่นที่เคลื่อนตัวทำมุมกับแนวชายฝั่ง ก่อให้เกิดกระแสน้ำ 2 ชนิด ได้แก่ กระแสน้ำในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง (onshore-offshore current) และกระแสน้ำในแนวชายฝั่ง (longshore current) (Sorensen, 2006; กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557b) ดังรูป 2.7 ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง (onshore-offshore sediment transport) และการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง (longshore sediment transport) การเคลื่อนที่ของตะกอนมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งทั้งใน

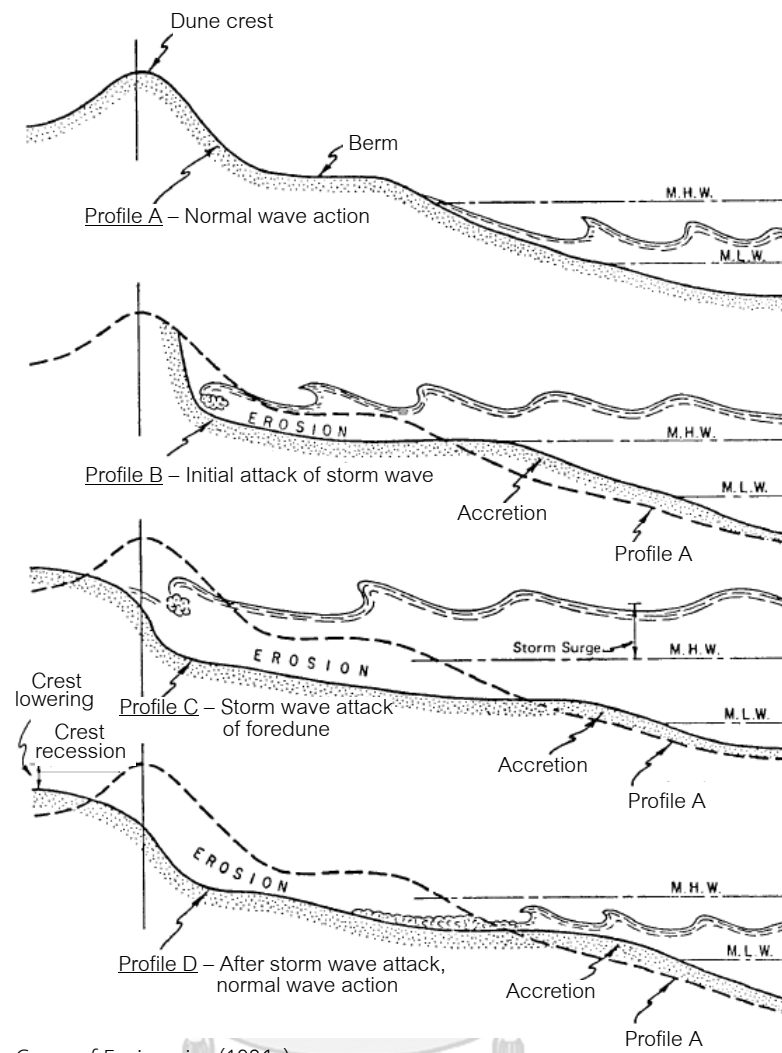
ระยะสั้น (short term) และระยะยาว (long term) สำหรับการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้นจะเกิดขึ้นตามฤดูกาล โดยในช่วงฤดูพายุ คลื่นพายุ (storm wave) ที่มีพลังงานสูง เคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่ง พลังงานของคลื่นจะทำให้เกิดการกัดเซาะ และตะกอนถูกพัดพาออกจากชายฝั่งไปสะสมตัวในทะเล ในฤดูที่พายุสงบ คลื่นขนาดเล็กที่มีพลังงานน้อยกว่าจะค่อย ๆ พัดพาตะกอนกลับเข้าสู่ชายฝั่งอีกครั้ง (Sorensen, 2006) ดังรูป 2.8 ในขณะที่ตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง จะถูกกระแสน้ำในแนวขนานกับชายฝั่ง (longshore current) พัดพาไปตกสะสมตัวบริเวณอื่น ขึ้นอยู่กับความเร็วของกระแสน้ำและขนาดตะกอน ส่งผลให้ชายฝั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว

ถ้ากระแสน้ำในแนวชายฝั่ง (longshore current) ถูกรบกวนหรือขัดขวางการเคลื่อนที่ โดยหัวหาด (headland) หรือโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง เช่น คันดักตะกอน (groin) หรือ เขื่อนกันทรายและคลื่น (jetties) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ยื่นตั้งจากแนวชายฝั่งออกไปในทะเล จะส่งผลให้ชายฝั่งปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่ ตะกอนจะตกทับถมบริเวณด้านเหนือน้ำของเขื่อน (upcoast, ตำแหน่ง A ในรูป 2.9) ส่วนบริเวณด้านท้ายน้ำของเขื่อน (downcoast, ตำแหน่ง C ในรูป 2.9) จะเกิดการถอยร่นของชายฝั่งเนื่องจากไม่มีตะกอนด้านเหนือน้ำมาเติมในพื้นที่ (U.S. Army Corps of Engineers, 1992)



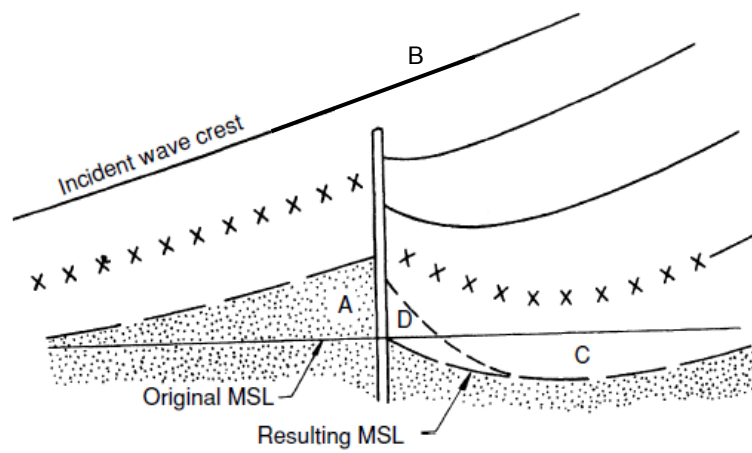
ที่มา : Sorensen (2006)

รูป 2.7 กระแสน้ำบริเวณชายฝั่ง



ที่มา : U.S. Army Corps of Engineering (1984a)

รูป 2.8 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากคลื่นพายุ



ที่มา : Sorensen (2006)

รูป 2.9 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากโครงสร้างที่ยื่นตั้งฉากกับชายฝั่ง

2.2.3 หัวหาดและอ่าวสมดุล

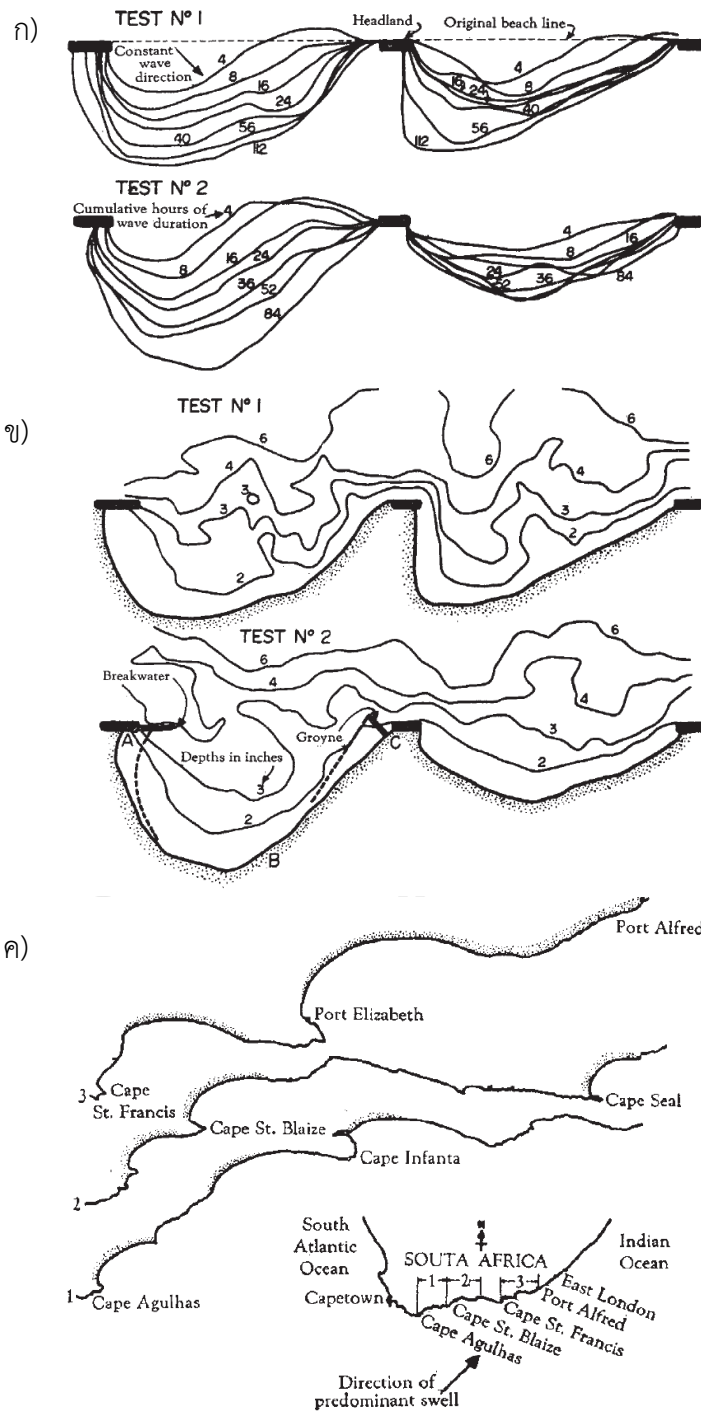
หัวหาด (headland) เป็นโครงสร้างกำบังคลื่นให้แก่ชายฝั่ง ซึ่งอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น เกาะ แนวปะการัง หรือโขดหิน หรือเกิดจากมนุษย์สร้างขึ้น เช่น เขื่อนกันคลื่น (breakwater) และ คันดักตะกอน (groins) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าปะทะหัวหาด พลังงานคลื่นบางส่วนจะถูกสลายไป คลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านด้านข้างหัวหาดเข้าสู่แนวชายฝั่งจะเกิดการกระจายตัว และการหักเหเข้าสู่บริเวณด้านหลังของหัวหาด ส่งผลให้พลังงานคลื่นที่เคลื่อนเข้าสู่ชายฝั่งลดลง ในกรณีที่หัวหาดตั้งอยู่บริเวณนอกชายฝั่ง (offshore) จะส่งผลให้มีตะกอนทรายตกสะสมตัวบริเวณชายฝั่งด้านหลังหัวหาด เรียก ลักษณะแบบนี้ว่า “Tombolo” การเกิด Tombolo นี้ขึ้นกับตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ คุณสมบัติของคลื่น การเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ขนาด และตำแหน่งของหัวหาด (U.S. Army Corps of Engineers, 1992, 2008b)

ในธรรมชาติบริเวณที่มีการกัดเซาะของชายฝั่งระหว่างหัวหาด จะเกิดการเว้าเป็นอ่าวขึ้น ถ้าหัวหาดทั้งสองแห่งมีความแข็งแรงเพียงพอ ต่อการต้านทานแรงกระทำของคลื่น แนวชายฝั่งระหว่างหัวหาดปรับเข้าสู่สมดุล เรียกว่า อ่าวสมดุล (equilibrium bay) ซึ่งรูปร่างของอ่าวสมดุลขึ้นอยู่กับคลื่น และการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง จากการศึกษาของ Silvester (1974) โดยการทดลองในแบบจำลอง เริ่มให้หาดทรายมีลักษณะตรงยาว และจำลองหัวหาด 3 จุด ดังรูป 2.10 เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าตะกอนทรายที่บริเวณแนวชายฝั่งด้านเหนือน้ำได้หายไป เกิดเป็นอ่าวสมดุลรูปครึ่งหัวใจ หรือที่เรียกว่า “crenulated bay” เนื่องจากการแตกตัวของคลื่นขนานกับชายฝั่งตลอดทั้งอ่าว ส่งผลให้ไม่เกิดเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง ทำให้อ่าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไป

2.2.4 การออกแบบโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง

เขื่อนกันทรายและคลื่นเป็นโครงสร้างที่บริเวณปากแม่น้ำหรือคลอง ที่ยื่นตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อป้องกันการตกตะกอนในร่องน้ำ ที่ทำให้เกิดการตื้นเขินของปากแม่น้ำ ส่งผลต่อการคมนาคมเข้าออกปากแม่น้ำ (U.S. Army Corps of Engineers, 2003) โดยปกติเขื่อนกันทรายและคลื่นมักก่อสร้างเป็นคู่ บางครั้งก่อสร้างร่วมกับเขื่อนกันคลื่น เพื่อป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณท้ายน้ำ (U.S. Army Corps of Engineers, 2008a) โครงสร้างชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับคันดักตะกอน (groin) เพราะมีส่วนติดกับชายฝั่งและยื่นออกไปในทะเล ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบคันดักตะกอน หรือเขื่อนกันทรายและคลื่น ประกอบด้วย ปัจจัยทางชลศาสตร์, การ

คมนาคมทางน้ำ, โครงสร้าง, ลักษณะตะกอน, และการดูแลรักษา โดยมีรายละเอียดดังนี้ (U.S. Army Corps of Engineers, 1986)



ที่มา : Silvester (1960)

รูป 2.10 ผลการศึกษาอ่าวสมดุลง

ก) การเกิดอ่าวรูปครึ่งหัวใจจากการทดลองด้วยแบบจำลอง

ข) เส้นชั้นความลึกในระหว่างการทดลอง ค) การเกิดอ่าวสมดุลงที่ชายฝั่ง South Africa

- ปัจจัยทางชลศาสตร์ประกอบด้วยลักษณะคลื่น ลม และกระแสน้ำ รวมถึงอิทธิพลของน้ำจืดบริเวณปากแม่น้ำในพื้นที่ศึกษา
- ปัจจัยทางการคมนาคมทางน้ำ เป็นการพิจารณาผลกระทบจากลม คลื่น น้ำขึ้นน้ำลง และกระแสน้ำ ที่มีผลต่อร่องการเดินเรือ ขนาดของช่องเดินเรือพิจารณาจากขนาดของเรือ และจำนวนช่องทาง (lane) ที่ใช้ผ่านเข้าออก นอกจากนี้ควรคำนึงถึงผลกระทบจากโครงสร้างท่าเรือด้วย
- ปัจจัยด้านโครงสร้าง โดยในการออกแบบความยาว และระยะห่างระหว่างโครงสร้าง ต้องคำนึงถึงความเร็วของกระแสน้ำที่เพียงพอจะทำให้ตะกอนเคลื่อนที่ออกจากร่องน้ำ ไม่ทำให้อ่าวตื้นเขิน รวมทั้งพิจารณาขนาดของเรือที่จะผ่านเข้าออกด้วย ทั้งนี้ในการออกแบบความสูงโครงสร้างจะพิจารณาจากข้อมูลความสูงคลื่นนอกแบบ คลื่นยกตัว (wave runup) และคลื่นข้ามสันเขื่อน (overtopping wave)
- ปัจจัยทางตะกอนซึ่งพิจารณาทั้ง ข้อมูลปริมาณตะกอนเคลื่อนที่สุทธิตามแนวชายฝั่ง (net longshore transport) และปริมาณตะกอนทั้งหมดที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง (gross longshore transport)
- ปัจจัยในการดูแลรักษา เช่น ในบางกรณีที่มีระยะห่างระหว่างโครงสร้างมาก จำเป็นต้องทำการขุดลอกร่องน้ำ หรือทำการเติมทรายบริเวณหลังเขื่อน เพื่อรักษาเสถียรของโครงสร้างและชลศาสตร์ของคลื่น เป็นต้น

2.2.5 การวิเคราะห์อัตราการทับถมของตะกอนด้วยเทคนิคนิวเคลียร์

กระบวนการสะสมของตะกอน (sedimentation) ถูกนิยามว่าเป็น กระบวนการโดยรวมของอนุภาคตะกอนที่เคลื่อนที่ (transport) เรียงตัว (emplacement) ถูกเอาออกไป (removal) และถูกอนุรักษ์ (preservation) ไว้บน/จากท้องทะเล (Mckee et al., 1983) จากนิยามดังกล่าวนี้ ยังไม่เห็นขั้นตอนหรือระยะ (phase) ของกระบวนการตกตะกอนที่ชัดเจน โดยระยะที่หนึ่ง คือ การตกตะกอน (deposition) ซึ่งหมายถึง การเรียงตัวอยู่ชั่วคราว (temporary emplacement) และการดำรงอยู่

(preservation) บนท้องน้ำ เป็นการก่อดำของตะกอนที่มีระยะเวลาค่อนข้างสั้น ส่วนการสะสมตัวของตะกอน (sediment accumulation) เป็นระยะหรือขั้นตอนที่มีช่วงเวลานานกว่า โดยเป็นผลของการตกตะกอนหรือถูกพัดพาออกไปของอนุภาคตะกอน และนำไปสู่การรักษาสภาพไว้เป็นชั้นดิน (strata) อนุภาคของตะกอนสามารถถูกพัดพาออกจากพื้นที่เกิดขึ้นได้จากหลายกลไก เช่น การกัดเซาะทางกายภาพ (physical erosion) การฟุ้งตัวของตะกอนทางชีววิทยา (biological resuspension) และการสลายตัวของตะกอนทางเคมี (chemical dissolution)

วิธีการโดยทั่วไปในการหาอัตราการทับถมของตะกอน คือ เทคนิคการวัดตะกอนในที่ (in situ technique) ซึ่งใช้ศึกษาการสะสมตัวของตะกอนระยะสั้น โดยอุปกรณ์ดักตะกอน (sediment trap) ซึ่งโดยทั่วไปจะถูกติดตั้งในทะเล อ่าว หรือ ทะเลสาบ ในสภาวะเงื่อนไขตามธรรมชาติ (Faas et al., 1988; Lund-Hansen et al., 1999; Roos et al., 2006) สำหรับอัตราการสะสมของตะกอนที่ประกอบด้วยตะกอนที่มีอายุมากกว่าร้อยปี สามารถหาได้โดยวิธีการทางไอโซโทป (isotope method) ที่ใช้การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{210}Pb ในดินตะกอนเท่านั้น (Appleby et al., 1992; Appleby, 1997)

การวิเคราะห์อายุตะกอนด้วยเทคนิคตะกั่ว-210 (^{210}Pb sediment dating)

^{210}Pb มีค่าครึ่งชีวิตยาวประมาณ 22.3 ปี ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการหาอายุของตะกอนที่เกิดขึ้นในช่วงประมาณหนึ่งศตวรรษ ^{210}Pb เป็นนิวไคลด์ลูกลำดับที่ 6 ของ ^{226}Ra แต่นิวไคลด์ลูกที่เกิดการสลายตัวระหว่างนี้ (intermediate nuclide) มีค่าครึ่งชีวิตค่อนข้างสั้น เช่น ^{222}Rn ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 3 วัน เป็นนิวไคลด์ลูกที่มีอายุยาวที่สุด การมีอยู่ของนิวไคลด์ของ ^{226}Ra ในการสลายตัวต่อเนื่อง (decay chain) นั้นมีความสำคัญ เพราะเป็นก๊าซเฉื่อย (noble gas) ดังนั้นมันสามารถแพร่กระจายสู่บรรยากาศได้ ส่วน ^{210}Pb เกิดจากการสลายตัวของ ^{226}Ra ที่อยู่ในบรรยากาศ และถูกทำให้ออกจากชั้นบรรยากาศอย่างรวดเร็วโดยถูกดูดซึม (absorb) เข้าไปอยู่ในละอองน้ำในบรรยากาศ (aerosol) และถูกทำให้ไปสัมผัสกับดินตะกอน โดยเป็นได้ทั้งทางการตกตะกอนแบบเปียก (wet deposition) หรือแบบแห้ง (dry deposition) ซึ่งในที่สุดตะกอนใหม่จะมีกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{210}Pb ส่วนเกิน (excess) เพิ่มจากตะกอนเก่าที่มีกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{210}Pb สมดุลกับแอกทิวิตีของนิวเคลียสแม่ (^{226}Ra) ที่มีอายุยาวนาน การสลายตัวของ “excess ^{210}Pb ” หรือเรียกอีกอย่างว่า “unsupported ^{210}Pb ” จะให้ความหมายในการระบุอายุ (dating) ของตะกอนใหม่ รวมถึงหิมะและน้ำแข็ง ที่มีอายุน้อยกว่า 100-200 ปี เนื่องจากจำนวนที่มีอยู่ (abundance) ของ ^{210}Pb มีค่าต่ำ กัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{210}Pb จึงมักถูกหาโดยใช้ counting spectrometry มากกว่าการใช้ mass spectrometry และเนื่องจากเส้นทางที่ ^{210}Pb จะมาสัมผัสกับตะกอนอาจแตกต่างจากตะกั่วเสถียร (stable Pb) การ

เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง ^{210}Pb กับไอโซโทปอื่น ๆ ของตะกั่วจึงไม่มีประโยชน์ในการวิเคราะห์อายุตะกอน

สมการความสัมพันธ์ของ unsupported ^{210}Pb สามารถเขียนได้ตามสมการ 2.1

$$\left(^{210}\text{Pb}\right)_u = \left(^{210}\text{Pb}\right)_u^0 e^{-\lambda t} \quad (2.1)$$

ในการคำนวณอายุของตะกอนซึ่งมีการอัดแน่นโดยน้ำหนักของตัวเอง (compaction) ทำให้ความหนาแน่นของตะกอนเพิ่มขึ้นตามความลึก ดังนั้นมวลของตะกอน (sedimentary mass) ที่อยู่เหนือระดับที่พิจารณา z_i จะไม่เป็นฟังก์ชันเส้นตรง กับความลึก z ดังนั้นการคำนวณอายุหรืออัตราการทับถมของตะกอน จึงมีความจำเป็นต้องปรับแก้ค่าความแน่นอันเนื่องมาจากน้ำหนักของตะกอนเอง โดยใช้การวัดและพิจารณาการเปลี่ยนความหนาแน่น (หรือสิ่งที่ทดแทนกันได้ เช่น ความพรุน (porosity) ของตัวอย่างดิน) ในการปรับแก้ สำหรับความแน่นตัวของตะกอนจะทำการแทนค่าความลึก (depth) ด้วยความลึกเชิงมวล (mass-depth) ซึ่งมีหน่วยเป็น ความลึกต่อหน่วยพื้นที่ เมื่อนิยามให้ Δm_i คือ มวลของตะกอนที่ช่วงความลึกย่อย Δz_i ในแท่งตัวอย่างตะกอน (sediment core) และความลึกเชิงมวล (m_i) ที่ความลึก (z_i) คือมวลทั้งหมด (ต่อพื้นที่หน้าตัดของแท่งตะกอน) เหนือระดับ z_i

เนื่องจาก ^{210}Pb จากบรรยากาศสามารถมาเกาะสะสมที่อนุภาคตะกอนได้จากทั้งกระบวนการตกสะสมแบบเปียกและแบบแห้ง ดังแสดงในรูป 2.11 ดังนั้นการประเมินอายุของตะกอนด้วยวิธี ^{210}Pb จะสมมติกระบวนการที่ ^{210}Pb จะสะสมในอนุภาคตะกอนในหลายแนวทาง เช่น ถ้า ^{210}Pb ในตะกอนทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมดตกจากบรรยากาศมาสะสมบนพื้นผิวของอ่างเก็บน้ำ หรือทะเลสาบทั้งแบบเปียกและแห้ง อาจสมมติว่าการไหล (flux) ของ ^{210}Pb มาสู่ตะกอนมีค่าคงที่ และมีค่าไม่ขึ้นกับอัตราการตกสะสมของตะกอน ซึ่งแนวทางนี้เรียกว่า Constant Flux หรือ Constant Rate of Supply model (CRS model) แต่ถ้าหาก Pb ที่ถูกดูดซับเข้าสู่อนุภาคของตะกอนและถูกพัดพาโดยแม่น้ำไปยังทะเลสาบ เป็นแหล่งของ ^{210}Pb หลัก ซึ่งในกรณีนี้สามารถสมมติให้ อนุภาคตะกอนเหล่านี้มีค่าความเข้มข้นของ ^{210}Pb เท่ากัน และแนวทางนี้เรียกว่า Constant Activity หรือ Constant Initial Concentration model (CIC model) อีกแนวทางที่เป็นไปได้คือ อัตราการสะสมของมวลตะกอน (sedimentary flux) มีค่าคงที่ แต่ ^{210}Pb flux มีค่าผันแปร เรียกว่า Constant Sedimentation model นอกจากนี้ยังมีแนวทางอีกทางหนึ่งที่เป็นไปได้คือ Constant Flux-Constant Sedimentation model (CF:CS model) ซึ่งเป็นแนวทางที่ง่ายที่สุดเพราะคาดการณ์ว่ากัมมันตภาพของ ^{210}Pb ลดลงตามความลึกอย่างเลขชี้กำลัง (exponential decrease) เมื่อการ

แน่นตัวของตะกอนถูกนำมาพิจารณาไปด้วย ซึ่งแต่ละแนวทางหรือ model จะมีข้อได้เปรียบและข้อด้อยแตกต่างกันไป

ใน Constant Activity model ค่ากัมมันตภาพ หรือ ความแรงรังสี (activity) ของ ^{210}Pb ที่ผิว (^{210}Pb)⁰ มีค่าคงที่ ดังนั้นความแรงรังสีที่ระดับความลึก i จะเป็นไปตามสมการ 2.2 และอายุของตะกอนในชั้นความลึกนั้น ๆ อาจถูกคำนวณได้โดยสมการ 2.3 (เนื่องจากสมการต่อไปนี้จะสนใจเฉพาะความแรงรังสีของ unsupported ^{210}Pb เท่านั้น และจะละสัญลักษณ์ u ในสมการต่อไปนี้ไป) สำหรับค่ากัมมันตภาพเริ่มต้น (initial activity) ของ ^{210}Pb สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการถดถอยระหว่าง $\ln(^{210}\text{Pb})$ และ ความลึก (ที่มีการปรับแก้ความแน่นของดินแล้ว) และหาจุดตัดที่ความลึกเท่ากับ 0

$$t_i = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{(^{210}\text{Pb})^0}{(^{210}\text{Pb})_i} \quad (2.2)$$

ใน Constant Flux model ค่าของ ^{210}Pb flux ที่ผิวของชั้นตะกอน ถูกสมมติให้มีค่าคงที่และไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการทับถมของตะกอน (mass accumulation rate, r) ดังนั้นที่เวลาของการทับถมตะกอนชั้นที่ i การทับถมของ ^{210}Pb ทั้งหมดในตะกอนที่อยู่ในชั้นต่ำกว่า i ($A(0)$) จะมีค่าคงที่ โดยที่ $A(0)$ ถูกนิยามโดยสมการที่ 2.3

$$A(0) = \int_0^\infty (^{210}\text{Pb}) dm \quad (2.3)$$

เมื่อ m คือ ความลึกเชิงมวล (mass-depth) ดังนั้น ความแรงรังสีทั้งหมดที่อยู่ต่ำกว่าตะกอนชั้นที่ i จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$A(0) = \int_0^\infty (^{210}\text{Pb})_i dm_i \quad (2.4)$$

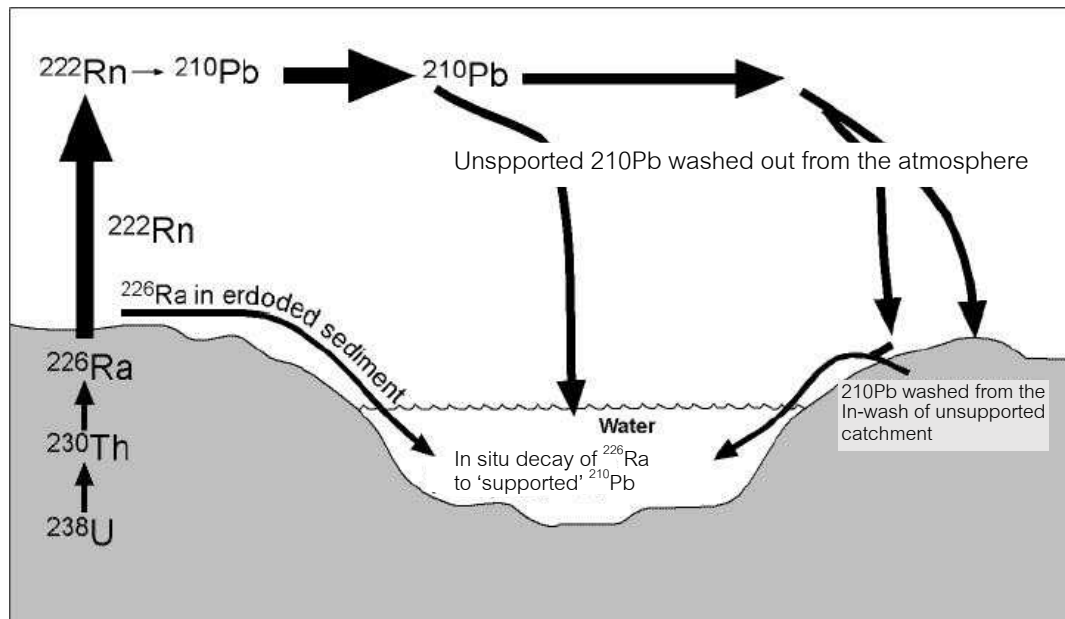
ซึ่งจัดให้อยู่ในรูปสมการยกกำลัง ได้ดังสมการที่ 2.5

$$A(0) = A(0)e^{-\lambda t} \quad (2.5)$$

และอายุของตะกอนชั้นที่ i จะสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.6

$$t_i = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A(0)}{A(i)} \quad (2.6)$$

แนวทางหรือโมเดลนี้ต้องการการหาค่า ^{210}Pb ที่มีอยู่ (^{210}Pb inventory) ในแห่งตัวอย่าง ตะกอน ในทางปฏิบัติอาจหมายถึงมีอยู่ยาวนานถึง 100-200 ปี (ขึ้นอยู่กับความอ่อนไหวของวิธีการ วิเคราะห์ที่ใช้) ถ้าตัวอย่างตะกอนไม่ถูกเก็บจนครบคลุมช่วงเวลาดังกล่าว ก็อาจจะสามารถใช้การ คาดการณ์จากแนวโน้มความสัมพันธ์ที่มีอยู่ (extrapolate) จนถึงความลึกที่มีค่า unsupported ^{210}Pb เท่ากับ 0



ที่มา : Simsek et al. (2014)

รูป 2.11 เส้นทาง (pathway) การเกิดและการเดินทางของ ^{210}Pb

สำหรับ Constant Flux - Constant Sedimentation model หรือ CF:CS model นั้น ค่าของความเข้มข้นเริ่มต้น (initial concentration) จะถูกสมมติให้มีค่าคงที่ และค่ากัมมันตภาพจะลดลงแบบเลขชี้กำลัง (exponentially decrease) กับความลึกเชิงมวล ถ้า r คือ อัตราการสะสมเชิงมวล และ m คือ ความลึกเชิงมวล ถ้าให้ $t = m/r$ จากสมการ 2.1 สามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการ 2.7

$$(^{210}\text{Pb}) = (^{210}\text{Pb})^0 e^{-\lambda_{210}m/r} \quad (2.7)$$

ดังนั้น unsupported ^{210}Pb จะสลายตัวตามความลึกด้วยรูปแบบเลขชี้กำลัง (exponential) หากใส่ \log ทั้งสองข้างของสมการ ดังแสดงในสมการ 2.8

$$\ln(^{210}\text{Pb})_i = \ln(^{210}\text{Pb})^0 - \frac{\lambda_{210}}{r} m_i \quad (2.8)$$

สมการที่ 2.8 เป็นสมการเส้นตรง เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\ln(^{210}\text{Pb})$ กับ mass-depth โดย $\ln(^{210}\text{Pb})^0$ คือจุดตัดแกน (intercept) และ $-\gamma_{210}/r$ คือความชันของกราฟ เมื่อประยุกต์ใช้สมการถดถอยเชิงเส้นกับข้อมูลในรูปแบบสมการที่ 2.8 ทั้งความชันและจุดตัดแกนจะสามารถหาค่าได้ และจากค่าความชันที่ได้จะนำไปสู่การคำนวณค่า r หรือ อัตราการสะสมตัวเชิงมวลของตะกอน

2.2.6 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง รวมทั้งผลกระทบของการใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่ง โปรแกรม Coastal Engineering Design and Analysis System (CEDAS) ซึ่งถูกพัฒนาโดย U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (U.S. Army Corps of Engineers, 1989) เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง ภายใน CEDAS ประกอบด้วย 3 โมดูล ได้แก่ 1) General Engineering Module 2) Inlet Processes Module และ 3) Beach Processes Module การสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเป็นส่วนหนึ่งของ Beach Processes Module โดยใช้แบบจำลองที่เรียกว่า Nearshore Evolution Modeling System (NEMOS) ในการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระยะยาวเนื่องจากสภาพคลื่น โครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง และกิจกรรมทางวิศวกรรมอื่น ๆ เช่น การเสริมทรายชายหาด (beach nourishment) เป็นต้น (Veritech Enterprises, 2018)

ภายในแบบจำลอง NEMOS ประกอบด้วยชุดโปรแกรมย่อย เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองต่าง ๆ ได้แก่ โปรแกรม Grid Generator เพื่อสร้างแบบจำลองพื้นที่ศึกษา โปรแกรม Regional Coastal Processes Wave (RCPWAVE) และ Steady-State Spectral Wave Model (STWAVE) เพื่อวิเคราะห์และจำลองคลื่น และโปรแกรม Generalized Model for Simulating Shoreline Change (GENESIS) เพื่อใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะยาว ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนตัวของตะกอนชายฝั่ง แบบจำลองนี้สามารถใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการก่อสร้างโครงสร้างบริเวณชายฝั่ง (coastal structures) และการเสริมทรายบริเวณชายหาด (beach nourishment) โดยใช้ระบบการคำนวณแบบ 1 มิติ ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง ได้แก่ ข้อมูลคลื่นนอกชายฝั่ง ลักษณะรูปร่างของชายหาด รายละเอียดของโครงสร้างชายฝั่ง การถมทรายบริเวณชายหาด เป็นต้น (Veritech Enterprises, 2018)

การคำนวณการเคลื่อนตัวของคลื่นจากน้ำลึกมาที่ตำแหน่งอ้างอิง สามารถคำนวณโดยใช้แบบจำลอง RCPWAVE ที่พัฒนาจากทฤษฎี linear-wave theory หรือ STWAVE ที่พัฒนาภายใต้สมมติฐานว่าคลื่นในธรรมชาติมีปฏิสัมพันธ์กันแบบ stochastic nonlinear (U.S. Army Corps of

Engineers, 2002a) สำหรับการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของแบบจำลอง GENESIS แสดงไว้ในรูป 2.12

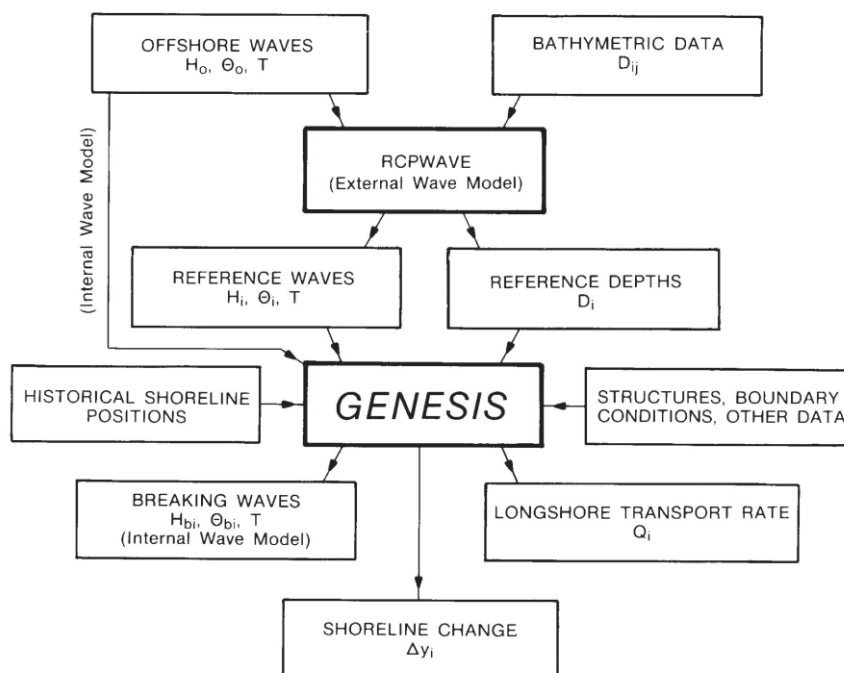
สมมติฐานและข้อจำกัดของแบบจำลอง GENESIS สำหรับการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมีดังต่อไปนี้

สมมติฐานของแบบจำลอง GENESIS

- 1) รูปร่างหน้าตัดชายฝั่ง (beach profile) มีลักษณะเป็นรูปร่างสมดุลง
- 2) ขอบเขตการเคลื่อนตัวของแนวชายฝั่งเข้า-ออก เป็นค่าคงที่
- 3) ตะกอนทรายเคลื่อนตัวตามแนวชายฝั่งเนื่องจากการกระทำของคลื่นแตกตัว (breaking wave)
- 4) ไม่พิจารณาผลของกระแสน้ำชายฝั่ง
- 5) การเคลื่อนที่ของตะกอนต้งฉากกับชายฝั่งน้อยมาก เมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ของตะกอนขนานชายฝั่ง

ข้อจำกัดของแบบจำลอง GENESIS

- 1) ไม่สามารถคำนวณการสะท้อนกลับ (reflection) ของคลื่นเนื่องจากโครงสร้าง
- 2) ไม่สามารถวิเคราะห์การพัฒนาของชายฝั่งแบบ Tombolo
- 3) มีข้อจำกัดปลีกย่อยในการวางตำแหน่ง กำหนดรูปร่าง และมุมของโครงสร้าง
- 4) ข้อจำกัดพื้นฐานของทฤษฎีการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เช่น รูปร่างหน้าตัดชายฝั่งมีค่าคงที่ และตะกอนเคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่งเนื่องจากการกระทำของคลื่นแตกตัว เป็นต้น



ที่มา : U.S. Army Corps of Engineers (1989)

รูป 2.12 ผังการคำนวณของแบบจำลอง GENESIS และ RCPWAVE/STWAVE

หลักการของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

1) การคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

หลักการพื้นฐานของการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งคือ หลักการอนุรักษ์ปริมาตรทราย (conservation of sand volume) โดยกำหนดให้แกน Y เป็นตำแหน่งที่ตั้งฉากกับชายฝั่งยื่นออกไปในทะเล (offshore direction) และแกน X เป็นแกนที่ขนานกับแนวชายฝั่ง (alongshore direction) ดังแสดงในรูป 2.13 โดยสมมติให้รูปร่างหน้าตัดชายฝั่งไม่มีการเปลี่ยนแปลง สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในส่วนย่อยคำนวณโดยใช้สมการ 2.9 และพิจารณาปริมาณตะกอนที่เข้าและออกในพื้นที่ตามแนวแกน X และแกน Y จากสมการ 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ สำหรับผลรวมปริมาณตะกอนคำนวณได้จากสมการ 2.12

$$\Delta V = \Delta x \Delta y (D_B + D_C) \quad (2.9)$$

โดยที่ ΔV คือ ปริมาณตะกอนที่เปลี่ยนแปลง

Δx คือ ความยาวของแต่ละส่วนย่อยในการคำนวณ

Δy คือ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งแนวชายฝั่ง

D_B คือ ระดับความสูงของคันดิน (berm height)

D_C คือ ความลึกประสิทธิผล (depth of closure)

แกน X
$$\Delta Q \Delta t = \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right) \Delta x \Delta t \quad (2.10)$$

โดยที่ ΔQ คือ อัตราการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงของตะกอน

Δt คือ ช่วงเวลาที่คำนวณ

แกน Y
$$q = q_s + q_o \quad (2.11)$$

โดยที่ q_s คือ อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนในทิศทางจากชายฝั่งสู่ทะเล

q_o คือ อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนในทิศทางจากทะเลสู่ชายฝั่ง

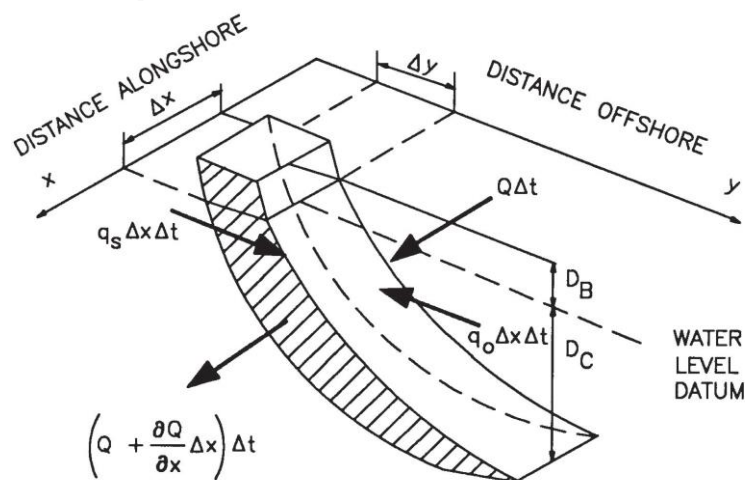
พิจารณาทั้งแกน x และแกน y

$$\Delta V = \Delta x \Delta y (D_B + D_C) = \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right) \Delta x \Delta t + q \Delta x \Delta t \quad (2.12)$$

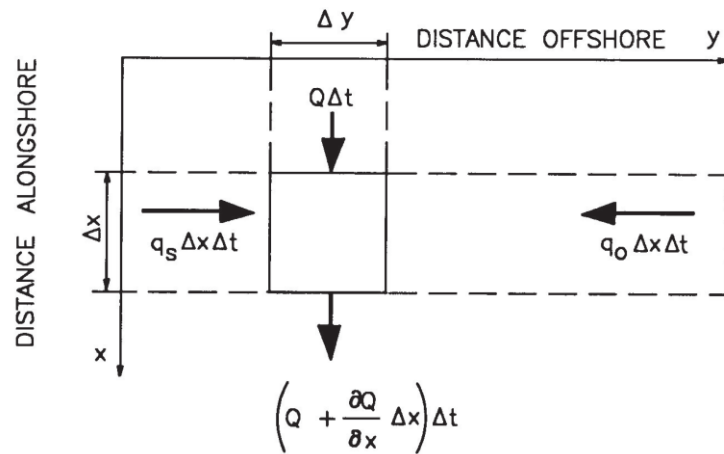
ที่ $\Delta t \rightarrow 0$ จะได้ผลดังสมการ 2.13

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{(D_B + D_C)} \left[\frac{\partial Q}{\partial x} - q \right] = 0 \quad (2.13)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) ภาพตัดขวาง



ข) ภาพแปลน

ที่มา : U.S. Army Corps of Engineers (1989)

รูป 2.13 ภาพร่างสำหรับการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

2) การคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงตะกอนชายฝั่ง

สมการการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายเนื่องจากคลื่นและกระแสน้ำชายฝั่ง สามารถคำนวณได้ตั้งสมการที่ 2.14 โดยตัวแปร a_1 และ a_2 สามารถคำนวณได้ตั้งสมการที่ 2.15 และ 2.16 ตามลำดับ

$$Q = (H^2 C_g)_b \left[a_1 \sin 2\theta_{bs} - a_2 \cos \theta_{bx} \frac{\partial H}{\partial x} \right]_b \quad (2.14)$$

โดยที่	H	คือ ความสูงคลื่น
	C_g	คือ ความเร็วของกลุ่มคลื่น (wave group speed)
	b	คือ ตัวห้อยที่บ่งบอกถึงสภาวะการแตกตัวของคลื่น
	θ_{bs}	คือ มุมที่คลื่นแตกตัวทำกับแนวชายฝั่ง

$$a_1 = \frac{K_1}{16 \left(\frac{\rho_s}{\rho - 1} \right) (1 - P) (1.416)^{5/2}} \quad (2.15)$$

และ

$$a_2 = \frac{K_2}{8 \left(\frac{\rho_s}{\rho - 1} \right) (1 - P) \tan \beta (1.416)^{7/2}} \quad (2.16)$$

โดยที่ K_1, K_2 คือ สัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของตะกอน

- ρ_s คือ ความหนาแน่นของทราย (มีค่า 2.65×10^3 กก./ลบ.ม. สำหรับทรายแก้ว)
- ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (มีค่า 1.03×10^3 กก./ลบ.ม. สำหรับน้ำทะเล)
- P คือ ความพรุนของทรายที่ท้องน้ำ (มีค่า 0.4)
- $\tan\beta$ คือ ค่าเฉลี่ยความลาดชันท้องน้ำจากแนวชายฝั่งถึงระดับความลึกที่ตะกอนเริ่มเคลื่อนตัว

ค่า K_1, K_2 เป็นค่าที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ในการสอบเทียบมาตรฐาน (calibration) กับแนวชายฝั่งจริง โดยค่า K_1 เป็นค่าคงที่สำหรับการเคลื่อนที่ของมวลทรายเนื่องจากคลื่น ค่าที่แนะนำในแบบจำลองมีค่าระหว่าง 0.58-0.77 ส่วนค่า K_2 เป็นค่าคงที่สำหรับการเคลื่อนที่ของมวลทรายเนื่องจากกระแสน้ำชายฝั่ง และควรมีค่าประมาณ 0.5-1.0 เท่าของ K_1



บทที่ 3 วิธีการศึกษา

3.1 การรวบรวมข้อมูลและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและประเมินการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง ลักษณะตะกอนชายฝั่ง และประสิทธิผลของเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ครั้งนี้ใช้ข้อมูลสภาพพื้นที่ชายฝั่งทางกายภาพ ข้อมูลอุทกวิทยา ข้อมูลอุทกศาสตร์ และสมุทรศาสตร์ ของระบบแม่น้ำและชายฝั่งของอ่าวปราณบุรี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเท่าที่มีการศึกษา และบันทึกไว้โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในตาราง 3.1 สำหรับแนวทางและขั้นตอนในการศึกษา สามารถสรุปได้ตามรูป 3.1

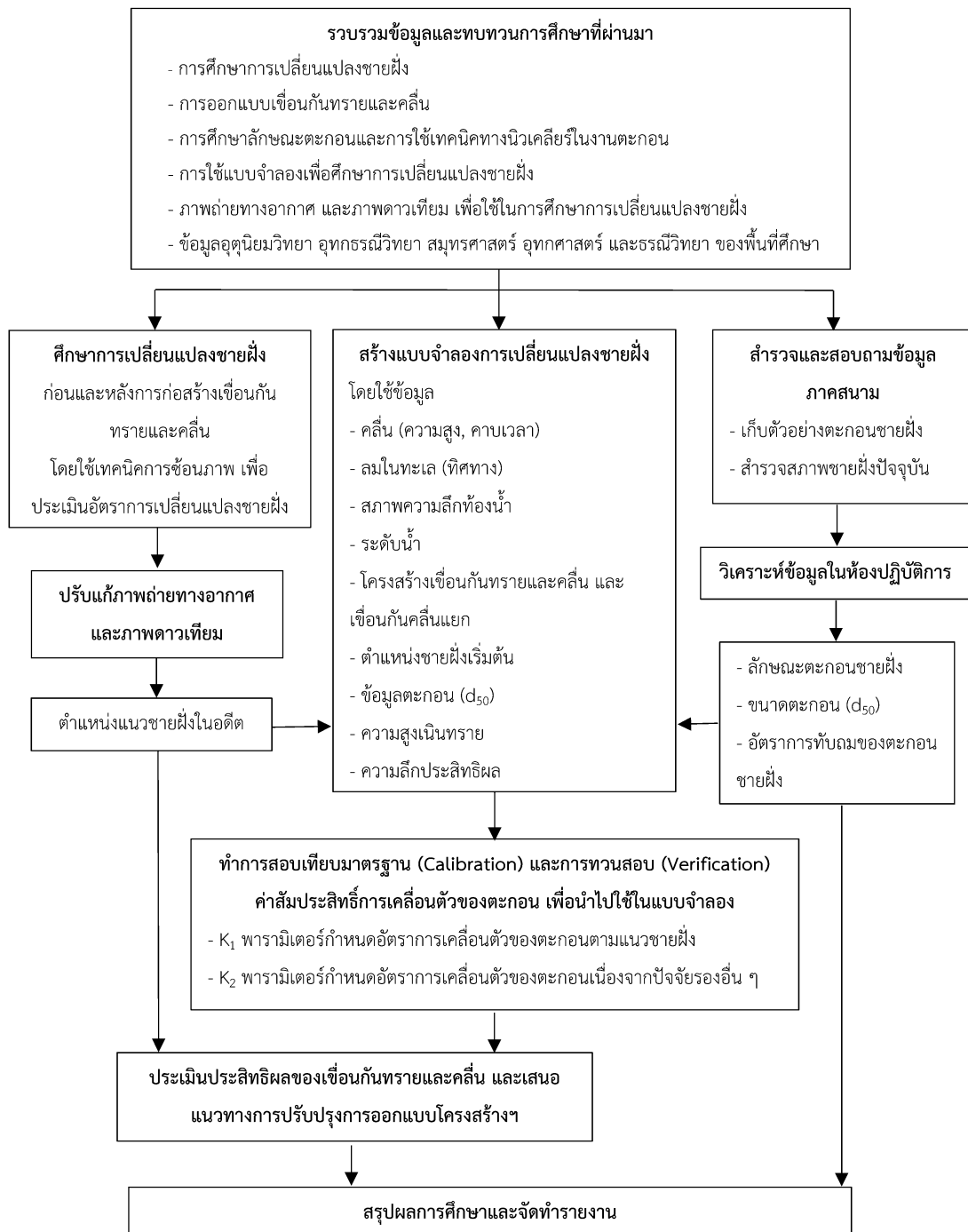
3.2 การสำรวจภาคสนามและการศึกษาลักษณะตะกอนชายฝั่ง

การสำรวจภาคสนามในการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ตรวจสอบสภาพชายฝั่งปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง 2) เก็บตัวอย่างตะกอนชายฝั่งเพื่อศึกษาลักษณะตะกอน และขนาดของตะกอนบริเวณชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา โดยข้อมูลลักษณะตะกอนชายฝั่งเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อการทำนายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และ 3) เก็บตัวอย่างตะกอนในแนวลึก (sediment cores) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาอัตราการทับถมของตะกอนชายฝั่ง ด้วยเทคนิคตะกั่ว-210 (^{210}Pb radiometric dating) สำหรับรายละเอียดในการสำรวจและศึกษาลักษณะตะกอนชายฝั่ง มีดังต่อไปนี้

3.2.1 การสำรวจสภาพชายฝั่งปัจจุบันและการเก็บตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง

ในการวิจัยครั้งนี้ ทำการสำรวจสภาพชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งจ.ประจวบคีรีขันธ์ ตั้งแต่เขาตะเกียบ จนถึงเขากะโหลก (รูป 3.2ก) รวมระยะทางประมาณ 20 กม. เป็นจำนวน 3 ครั้ง คือ ระหว่างวันที่ 6-7 มิถุนายน 2561 วันที่ 21-22 กันยายน 2561 และวันที่ 2-4 มกราคม 2562 เพื่อให้ครอบคลุมสภาพชายฝั่งทั้งในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ในการสำรวจได้เก็บข้อมูลสภาพชายฝั่งปัจจุบัน ด้วยวิธีการบันทึกภาพถ่ายแบบดิจิทัล เพื่อใช้ประกอบการศึกษาในขั้นตอนการแปลผลข้อมูลชายฝั่ง จากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม (แสดงในภาคผนวก ก) รวมถึงใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ และเก็บตัวอย่างตะกอนชายฝั่งผิวดิน (surface beach sediment) ที่ตำแหน่งเดียวกันไปพร้อมกัน ซึ่งตัวอย่างตะกอนชายฝั่งผิวดินถูกเก็บจากท้องน้ำบริเวณ surf zone (รูป 3.3ก-ข) ในช่วงความหนาประมาณ 10-20 เซนติเมตร (ซม.) จากผิวดิน (รูป 3.3ค) สำหรับการเก็บตัวอย่างตะกอน ได้เก็บตัวอย่างตลอดแนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 ฤดู

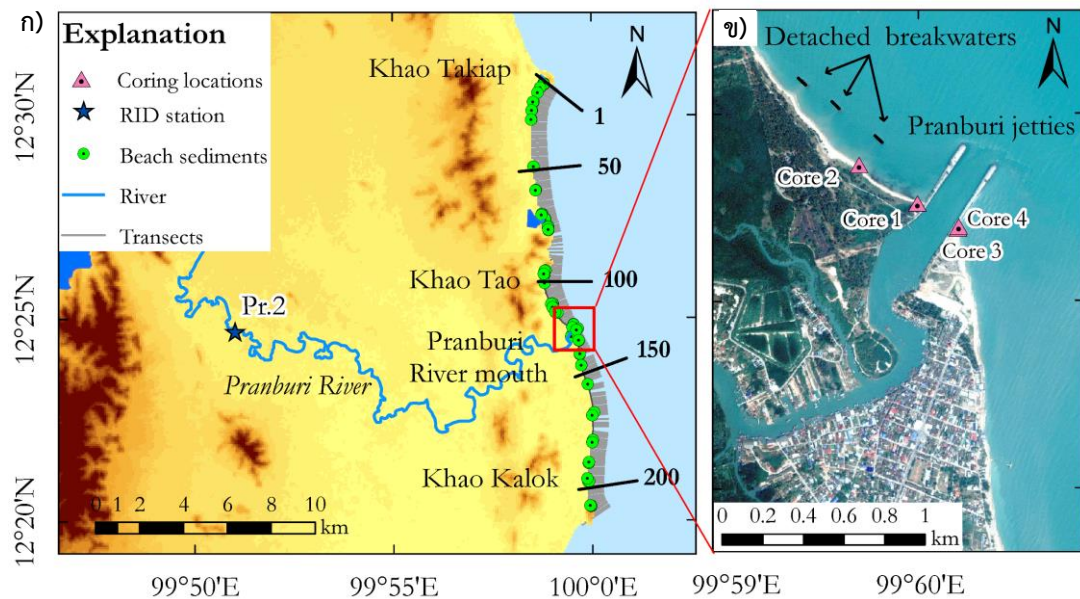
แบ่งเป็นตัวอย่างตะกอนช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ระหว่างเดือนตุลาคม ถึงมกราคม) จำนวน 25 ตัวอย่าง และมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ระหว่างเดือนเมษายน ถึงสิงหาคม) จำนวน 46 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 71 ตัวอย่าง โดยตำแหน่งสำรวจสภาพชายฝั่งและเก็บตัวอย่างตะกอนชายฝั่งในการศึกษาครั้งนี้ แสดงในรูป 3.2ก



รูป 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

ตาราง 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูล	ที่มา	รายละเอียด	ระยะเวลาของข้อมูล	หมายเหตุ
ภาพถ่ายทางอากาศ	กรมแผนที่ทหาร	มาตราส่วน 1:25,000	ปี 2510	ใช้ในการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนและหลังการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ
		มาตราส่วน 1:15,000	ปี 2519, 2526	
		มาตราส่วน 1:50,000	ปี 2537, 2541	
ภาพถ่ายเทียม	Google Earth Pro	มาตราส่วน 1:700	ปี 2552-2561	
ตะกอนชายฝั่ง	การสำรวจภาคสนาม	ขนาดของตะกอน (D_{50})	- 6 ถึง 7 มิ.ย 2561 - 21 ถึง 22 ก.ย 2561 - 2 ถึง 4 ม.ค 2562	ใช้ในการศึกษาลักษณะตะกอนตามแนวชายฝั่งและเป็นข้อมูลนำเข้าสู่สำหรับแบบจำลอง GENESIS
ความลึกท้องทะเล	กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ	แผนที่เดินเรือระหว่าง 246 โดยกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ	ปี 2527	
		แผนที่ร่องน้ำแม่น้ำปราณบุรี โดย กรมเจ้าท่า	ปี 2529, 2539	
ลม ราย 3 ชม. (ความเร็วและทิศทาง)	กรมอุตุนิยมวิทยา	สถานีตรวจอากาศหัวหิน (500202/48475)	ปี 2524-2535	ใช้เป็นข้อมูลประกอบการศึกษาและนำเข้าสู่สำหรับแบบจำลอง GRIDGEN, STWAVE และ GENESIS
ระดับน้ำขึ้น-น้ำลง รายชั่วโมง	กรมเจ้าท่า	สถานีคลองวาฬ จ.ประจวบคีรีขันธ์	ปี 2554	
ข้อมูลตะกอนแม่น้ำปราณบุรี	กรมชลประทาน	สถานี Pr.2	ปี 2507-2511	
คลื่น (ความสูงและคาบเวลา) และลม (ความเร็วและทิศทาง) ราย 6 ชั่วโมง	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	พืชมุทรศาสตร์หัวหิน	ปี 2540-2543	
โครงสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่น และเขื่อนกันคลื่นแยก	กรมเจ้าท่า	รายงานโครงการศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐกิจวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อมเพื่อการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่น ที่ร่องน้ำปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์	ปี 2539	ใช้ข้อมูลออกแบบในการสร้างแบบจำลองโครงสร้าง ด้วยแบบจำลอง GENESIS



ก) ตำแหน่งเก็บตัวอย่างตะกอนผิวดิน ข) ตำแหน่งเก็บตัวอย่างตะกอนแนวลิ้น

รูป 3.2 ตำแหน่งการเก็บข้อมูลตะกอนชายฝั่ง

นอกจากการเก็บตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง ยังมีการเก็บตัวอย่างตะกอนในแนวลิ้น (sediment core) เพื่อการทดลองศึกษาอัตราการทับถมของตะกอนชายฝั่ง บริเวณด้านเหนือและด้านใต้ของเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ โดยใช้เทคนิค ^{210}Pb มีการเก็บแท่งตัวอย่างตะกอนตามแนวลิ้น (sediment core) จำนวน 4 แท่ง แบ่งเป็นด้านเหนือของโครงสร้างจำนวน 2 แท่ง (core 1 และ core 2) และด้านใต้ อีก 2 แท่ง (core 3 และ core 4) โดยความลึกของตะกอนที่เก็บได้ผันแปรอยู่ระหว่าง 70-115 ซม. สำหรับตำแหน่งการเก็บตัวอย่างแท่งตะกอน และการเก็บตัวอย่าง แสดงในรูป 3.2ข และรูป 3.4 ตามลำดับ

CHULALONGKORN UNIVERSITY



ก) การเก็บตัวอย่างตะกอน

ข) ตัวอย่างตะกอน

ค) ความลึกการเก็บตัวอย่าง

รูป 3.3 การเก็บตัวอย่างตะกอนผิวดินตามแนวชายฝั่ง



รูป 3.4 การเก็บตัวอย่างแท่งตะกอน (sediment core) บริเวณปากน้ำปราณบุรี
 ก) core 1, ข) core 2, ค) core 3, และ ง) core 4

3.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะตะกอนชายฝั่ง

ตัวอย่างตะกอนผิวดินทั้ง 71 ตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจในหัวข้อ 3.2.1 ถูกนำมาหา ชนิด ขนาด และการกระจายตัวของตะกอน ตามแนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา ในห้องปฏิบัติการตามวิธีการ วิเคราะห์ขนาดตะกอน มาตรฐาน ASTM D422 (U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1960) และผลการวิเคราะห์ขนาดของตะกอน (d) จากห้องปฏิบัติการ (หน่วย มม.) ถูก แปลงให้อยู่ในหน่วย phi (ϕ) ด้วยสมการที่ 3.1 เพื่อนำไปวิเคราะห์ชนิดของตะกอนด้วยเกณฑ์ของ Wentworth (Wentworth, 1922; Guy, 1977; McLachlan et al., 2018) สำหรับค่ามัธยฐานของ ขนาดตะกอน (median, D_{50}) คือขนาดตะกอนที่เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 50 ส่วนค่าเฉลี่ยของขนาดตะกอน (mean, M_z) และค่าการคัดขนาดของตะกอน (sorting, σ_1) คำนวณได้จากวิธีของ Folk and Ward (1957) (Folk et al., 1957; Rashedi. et al., 2016; Mohtar. et al., 2017) ตามสมการที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

$$\phi = -\log_2 d \quad (3.1)$$

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad (3.2)$$

$$\sigma_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \quad (3.3)$$

โดยที่ $\phi 5, \phi 16, \phi 50, \phi 84$, และ $\phi 95$ คือขนาดตะกอนที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 16, 50, 84 และ 95 ในหน่วย phi ตามลำดับ

3.2.3 การวิเคราะห์อายุและอัตราการทับถมของตะกอนด้วยวิธีตะกั่ว-210 (^{210}Pb radiometric dating technique)

แท่งตัวอย่างตะกอนแนวลึก (sediment cores) ที่เก็บได้ ถูกนำมาตัดแบ่ง (sub-section) โดยการดันและตัดตัวอย่างคงสภาพ (undisturbed sample) ทุกระยะ 1 ซม. สำหรับตัวอย่างที่ตัดแบ่งแล้ว ถูกนำไปชั่งน้ำหนัก (weight of wet soil, W) และอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส จนแห้งและชั่งน้ำหนักตัวอย่างอีกครั้ง (weight of dry soil, W_s) การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนแนวลึก มีรายละเอียดดังนี้

1) ความหนาแน่นรวม (total density) คือ สัดส่วนของน้ำหนักดินเปียกต่อปริมาตรตัวอย่างทั้งหมด ทดสอบโดยทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินเปียก และวัดปริมาตรของตัวอย่าง โดยมีสมการการคำนวณดังสมการที่ 3.4

$$\rho = \frac{W}{V} \quad (3.4)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นรวม (bulk density)
 W = น้ำหนักเปียกของดิน (weight of wet soil)
 V = ปริมาตรทั้งหมดของตัวอย่างดิน (total volume)

2) ความหนาแน่นแห้ง (dry bulk density) คือ สัดส่วนของน้ำหนักดินแห้งต่อปริมาตรทั้งหมด ทดสอบโดยทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินอบแห้ง และวัดปริมาตรของตัวอย่างก่อนอบแห้ง โดยมีสมการการคำนวณ ดังสมการที่ 3.5

$$\rho_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.5)$$

เมื่อ ρ_d = ความหนาแน่นแห้ง (dry density)
 W_s = น้ำหนักแห้งของดิน (weight of dry soil)
 V = ปริมาตรทั้งหมดของตัวอย่างดิน (total volume)

3) ปริมาณน้ำในดิน (water content) คือ ร้อยละของสัดส่วนน้ำหนักน้ำในมวลดินต่อน้ำหนักทั้งหมด ทดสอบโดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินเปียกและตัวอย่างดินอบแห้ง โดยมีการคำนวณดังสมการที่ 3.6 ดังนี้

$$\%w = \frac{w-w_s}{w} \times 100 = \frac{w_w}{w} \times 100 \quad (3.6)$$

เมื่อ	$\%w$	=	ปริมาณน้ำ (water content)
	W	=	น้ำหนักเปียกของดิน (weight of wet soil)
	w_s	=	น้ำหนักแห้งของดิน (weight of dry soil)
	w_w	=	น้ำหนักน้ำในมวลดิน (weight of water) = $W-w_s$

4) ความพรุน (porosity) คือ สัดส่วนของปริมาตรโพรงดินต่อปริมาตรทั้งหมด โดยมีสมการการคำนวณดังสมการที่ 3.7

$$n = \frac{v_v}{v} = \frac{v - \frac{w_s}{G_s \rho_w}}{v} \quad (3.7)$$

เมื่อ	n	=	ความพรุน (porosity)
	v	=	ปริมาตรทั้งหมดของดิน (total volume)
	v_v	=	ปริมาตรโพรงดิน (volume of void)
	w_s	=	น้ำหนักแห้งของดิน (weight of dry soil)
	G_s	=	ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (specific gravity)
	ρ_w	=	ความหนาแน่นของน้ำ (water density)

ส่วนในการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{210}Pb ในตัวอย่างดิน ได้เลือกตัวอย่างตะกอนที่ชั้นความลึกห่างกันประมาณ 5 ซม. มาวิเคราะห์หาตัวแทนอายุของชั้นตะกอนตามความลึก

สำหรับค่ากัมมันตภาพของตะกั่ว-210 (^{210}Pb activities) ที่มีอยู่ในตัวอย่างชั้นดิน หาโดยการวัดค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{210}Po ในตัวอย่างดิน ซึ่งเป็นนิวไคลด์หลาน (granddaughter) ของ ^{210}Pb ด้วยเครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ (alpha spectrometer) โดยต้องมีการเตรียมตัวอย่างก่อนเข้าสู่กระบวนการวัดค่า ^{210}Po ดังนี้

1) ใช้ตัวอย่างดิน 1 กรัม จากแต่ละชั้นดินที่ต้องการพิจารณา นำมารีฟลักซ์ (reflux) พร้อมกับกรดไนตริกเข้มข้น (concentrated HNO_3) เป็นระยะเวลา 4-8 ชั่วโมง

2) หลังจากนั้นแยกส่วนที่เป็นของแข็งที่หลงเหลือ (residual solid) อยู่ในสารละลายโดยการทำให้แยกชั้นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงสาร (centrifuge machine) ส่วนสารละลายกรดไนตริกจะถูกทำให้เปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) โดยการเติม HCl และกำจัด HNO_3 ด้วยกระบวนการระเหย (evaporation)

3) จากนั้นเติมสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี (reducing agents) เพื่อป้องกันการรบกวนของธาตุเหล็ก (Fe) และโลหะอื่น ๆ ที่อาจปะปนมาในตัวอย่างดิน แล้วตามด้วยการปรับตัวอย่างที่เตรียมให้มีค่า pH = 1 เมื่อค่าความเป็นกรดของตัวอย่างมีค่าตามต้องการแล้ว โพลเนียม (Po) จะถูกปล่อยให้เกาะกับแผ่นเงินขนาด 15x15 มม. ด้วยตัวเอง (self-plated) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง

4) แผ่นเงินที่มี Po เกาะอยู่จะถูกนำไปนับค่าความแรงของ Po ด้วยเครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น Octete-Plus alpha spectrometer ซึ่งผลิตโดยบริษัท Ortec ต่อไป

ส่วนค่ากัมมันตภาพ ^{210}Pb ที่มีอยู่ในตัวอย่างดินชั้นนั้น ๆ จะถูกคำนวณได้จาก การปรับแก้ค่าการสลายตัว (decay correction) ย้อนกลับจากวันที่วัดค่ากลับไปยังวันที่เก็บตัวอย่างดิน หลังจากพิจารณาว่า supported ^{210}Pb ที่มีอยู่ในแต่ละแท่งตัวอย่างตะกอนแล้ว ส่วนอายุของตะกอนและอัตราการทับถมของตะกอนจะเลือกใช้แบบจำลอง (มีรายละเอียดในบทที่ 2) ที่สอดคล้องกับรูปแบบการกระจายตัวของกัมมันตภาพ ^{210}Pb ตามแนวลึกในแต่ละตัวอย่างแท่งตะกอน เพื่อประเมินอายุตะกอนและอัตราการทับถมของตะกอนในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่ศึกษา

3.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

การศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของ จ.ประจวบคีรีขันธ์ ก่อนและหลังจากมีเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ใช้ข้อมูลแนวชายฝั่งที่ประเมินจากภาพถ่ายทางอากาศและภาพจากข้อมูลดาวเทียม ที่บันทึกได้ในช่วงปี 2510-2561 ดังแสดงในตาราง 3.2 ในการศึกษาครั้งนี้ ข้อมูลภาพทั้งหมดที่รวบรวมได้ถูกปรับตำแหน่งให้อยู่ในระบบพิกัด Universal Transverse Mercator (UTM) และมีพื้นหลักฐานแบบ World Geodetic System 1984 (WGS84) เพื่อปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลภาพที่เกิดจากการบิดเบี้ยว (distortion) ของเลนส์ กระจกการบินถ่ายภาพ และ/หรือการโค้งงอ หรือผิดรูปของกระดาษ ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS รุ่นที่ 10.4 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) (Dolan et al., 1978; Kermani et al., 2016; Bidorn et al., 2018a) โดยใช้ภาพ orthophotograph ในปี 2558 เป็นภาพฐาน (base map) (Asian Disaster Preparedness Center, 2015; Bidorn et al., 2018a; Castelle et al., 2018;

Saleem et al., 2019) ในการตรึงพิกัดด้วยเทคนิคการซ้อนภาพ ค่าความคลาดเคลื่อนของภาพในปีต่าง ๆ ที่ปรับแก้แล้ว (ค่า RMSE) แสดงดังตาราง 3.2 จากนั้นแนวชายฝั่งแต่ละช่วงปีที่มีข้อมูลจะถูกเขียนขึ้น (digitize) โดยใช้แนวของพืชพรรณชายฝั่ง (vegetation line) และแนวโครงสร้างชายฝั่ง (artificial shoreline) ที่ปรากฏในภาพถ่ายหรือภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้ตรึงพิกัดแล้ว (Zhang et al., 2014; กรมทรัพยากรธรณี, 2557) โดยเส้นแนวชายฝั่งที่ได้ จะถูกใช้เป็นตัวแทนเส้นชายฝั่ง แต่ละช่วงปีที่มีข้อมูลของพื้นที่ศึกษา

ตาราง 3.2 ประเภทข้อมูล แหล่งข้อมูล ความละเอียด และความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่ศึกษา

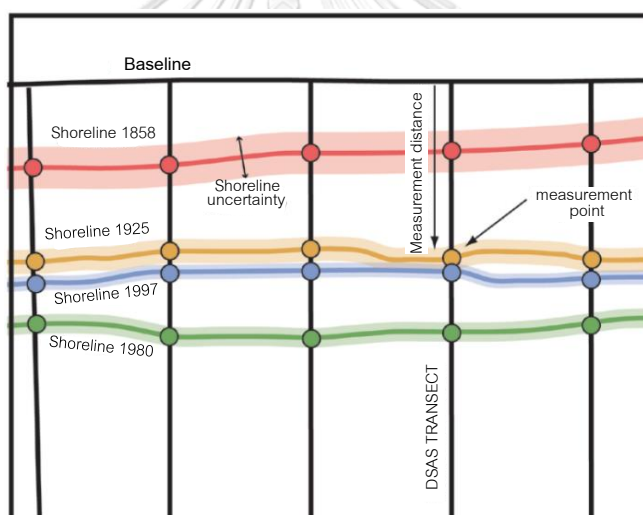
ปี พ.ศ. (ค.ศ.)	ประเภทข้อมูล	แหล่งข้อมูล	ขนาดภาพ (ม.)	ขนาดพิกเซล (ม.)	RMSE (ม.)
2510 (1967)	ภาพถ่ายทางอากาศ	กรมแผนที่ทหาร	1:50,000	1.20	2.95
2519 (1976)	ภาพถ่ายทางอากาศ	กรมแผนที่ทหาร	1:50,000	0.40	0.84
2526 (1983)	ภาพถ่ายทางอากาศ	กรมแผนที่ทหาร	1:50,000	0.40	0.82
2537 (1994)	ภาพถ่ายทางอากาศ	กรมแผนที่ทหาร	1:50,000	1.25	1.32
2541 (1998)	ภาพถ่ายทางอากาศ	กรมแผนที่ทหาร	1:50,000	1.11	1.01
2552 (2009)	ภาพถ่ายดาวเทียม	Google Earth Pro	1:700	0.90	0.40
2555 (2012)	ภาพถ่ายดาวเทียม	Google Earth Pro	1:700	1.00	0.51
2556 (2013)	ภาพถ่ายดาวเทียม	Google Earth Pro	1:700	1.50	0.78
2557 (2014)	ภาพถ่ายดาวเทียม	Google Earth Pro	1:700	0.90	0.50
2558 (2015)	ภาพ orthophotograph	กรมแผนที่ทหาร	1:50,000	1.50	0.00
2559 (2016)	ภาพถ่ายดาวเทียม	Google Earth Pro	1:700	0.90	0.50
2560 (2017)	ภาพถ่ายดาวเทียม	Google Earth Pro	1:700	0.90	0.46
2561 (2018)	ภาพถ่ายดาวเทียม	Google Earth Pro	1:700	1.20	0.63

หมายเหตุ RMSE = Root Mean Square Error

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง (shoreline change) ของพื้นที่ศึกษา ใช้วิธีการเปรียบเทียบระยะห่างแนวชายฝั่งแต่ละช่วงปี ที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม ด้วยซอฟต์แวร์ DSAS รุ่น 4.3 ซึ่งเป็นโมดูลเพิ่มเติม (extension module) ที่ทำงานบนซอฟต์แวร์ ArcGIS โดยซอฟต์แวร์สามารถคำนวณระยะการเปลี่ยนแปลงระหว่างแนวชายฝั่งในแต่ละช่วงเวลา และตามตำแหน่งชายฝั่งที่กำหนดได้ สำหรับ DSAS ถูกพัฒนาขึ้นโดย สำนักงานธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Geological Surveys, USGS) (Himmelstoss, 2009) ในซอฟต์แวร์ DSAS มีขั้นตอนในการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งหลัก ๆ ดังต่อไปนี้ 1) กำหนดเส้นฐาน (baseline) ซึ่งจะถูกใช้เป็นเส้นอ้างอิงในการคำนวณตำแหน่งของแนวชายฝั่งแต่ละปี 2) สร้างเส้นตั้งฉากระหว่างเส้นฐานกับเส้นชายฝั่งต่าง ๆ ในแต่ละพื้นที่หน้าตัดย่อย (transect) ตามระยะห่างที่

กำหนดโดยผู้ใช้ และ 3) คำนวณระยะการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง (Himmelstoss, 2009) ซึ่งองค์ประกอบของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ซอฟต์แวร์ DSAS แสดงดังใน รูป 3.5

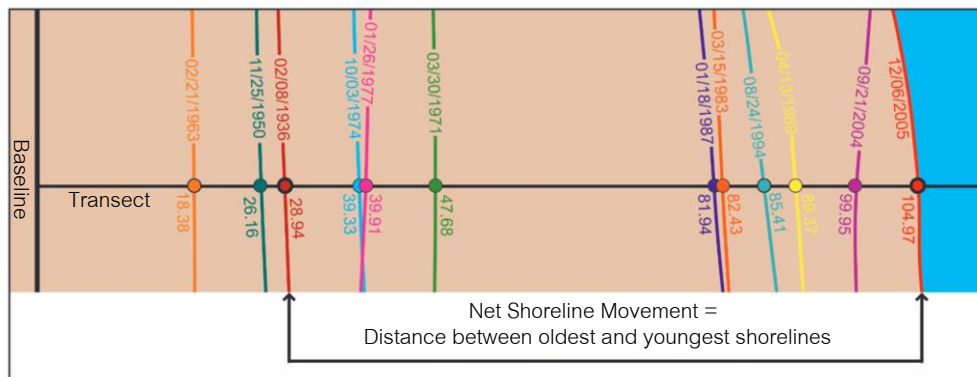
สำหรับการประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง ได้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง ตั้งแต่เขาตะเกียบจนถึงเขากะโหลก โดยกำหนดระยะห่าง (transect) ทุก ๆ 100 ม. ตามแนวชายฝั่ง รวมจำนวน transect ทั้งสิ้นประมาณ 210 transect ดังแสดงในรูป 3.2ก แบ่งการศึกษาออกเป็นการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะสั้น ซึ่งทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งรายปีเท่าที่มีข้อมูล และการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระยะยาวแบ่งเป็น การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนทำโครงการระหว่างปี 2510-2537 และการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังมีโครงการ ระหว่างปี 2541-2561 โดยวิธีการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในซอฟต์แวร์ DSAS ที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยวิธี Net Shoreline Movement (NSM), วิธี END Point Rate (EPR) และวิธี Weighted Linear Regression Rate (WLR) ซึ่งแต่ละวิธีมีหลักการโดยย่อดังนี้



ที่มา : Himmelstoss (2009)

รูป 3.5 องค์ประกอบที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยซอฟต์แวร์ DSAS

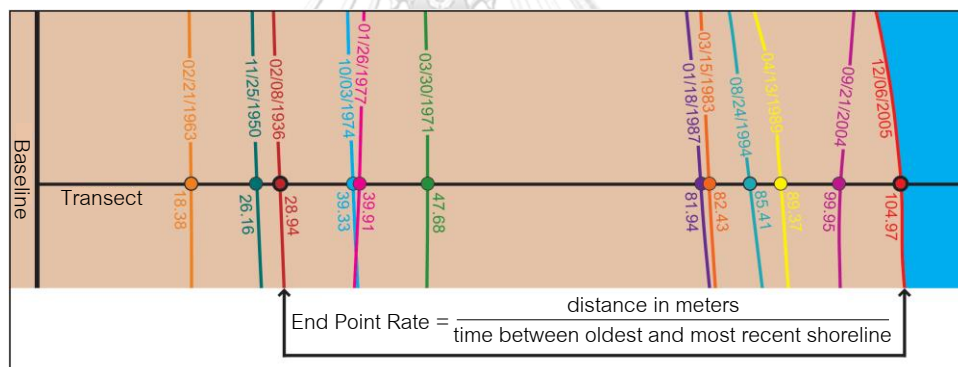
วิธี Net Shoreline Movement method (NSM) เป็นการรายงานระยะทาง (distance) ของการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ไม่ใช่อัตราของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดย DSAS จะคำนวณค่าระยะห่างระหว่างแนวชายฝั่งที่เก่าที่สุด (oldest) และแนวชายฝั่งล่าสุด (youngest) สำหรับแต่ละ transect สำหรับตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยวิธี NSM แสดงในรูป 3.6 ในการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธี NSM ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในช่วงเวลาที่สนใจ



ที่มา : Himmelstoss (2009)

รูป 3.6 ตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยวิธี NSM

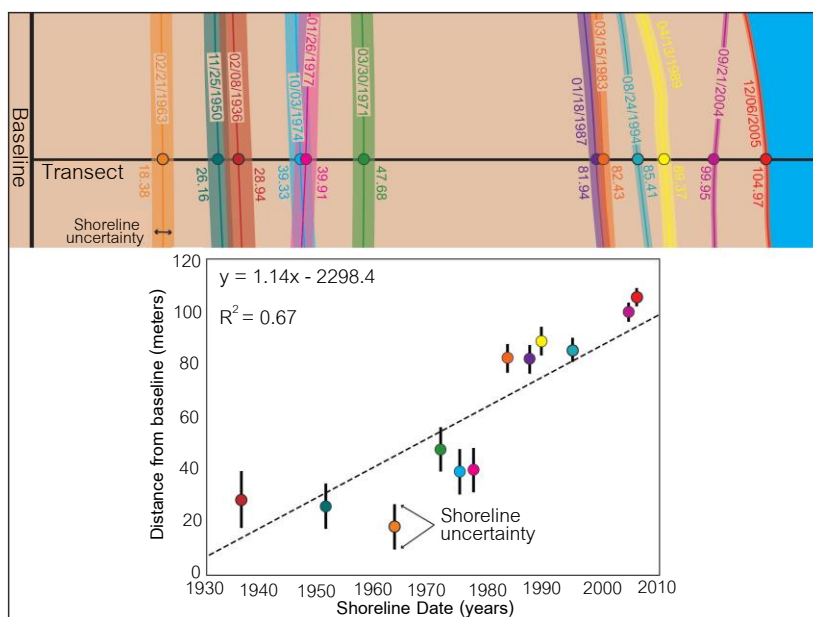
วิธี End Point Rate (EPR) เป็นวิธีคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากการนำระยะห่างระหว่างแนวชายฝั่งที่เก่าที่สุด (oldest) และแนวชายฝั่งล่าสุด (youngest) ที่อยู่บนเส้น transect เดียวกันหารด้วยช่วงเวลา (ปี) ระหว่างสองแนวชายฝั่ง ดังแสดงในรูป 3.7 สำหรับการศึกษารั้งนี้ เลือกใช้วิธี EPR ในการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงระยะสั้นในพื้นที่ศึกษา



ที่มา : Himmelstoss (2009)

รูป 3.7 ตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยวิธี EPR

สำหรับการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยวิธี Weighted Linear Regression Rate (WLR) เป็นการหาสถิติของอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยใช้ข้อมูลที่มีการถ่วงน้ำหนักในการสร้างสมการเส้นตรง ซึ่งข้อมูลที่มีค่าความไม่แน่นอนสูงจะได้รับการถ่วงน้ำหนักในการคำนวณสมการเส้นตรงน้อยกว่าข้อมูลที่มีความไม่แน่นอนต่ำกว่า มีผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่คำนวณได้มีความแม่นยำมากขึ้น ดังแสดงในรูป 3.8 โดยวิธีนี้ถูกใช้สำหรับการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งระยะยาวในการศึกษารั้งนี้



ที่มา : Himmelstoss (2009)

รูป 3.8 ตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยวิธี WLR

3.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

การศึกษาความอ่อนไหวของการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ One-Line Model (OLM) ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง รวมถึงผลกระทบของโครงสร้างต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในครั้งนี้ เลือกใช้แบบจำลอง GENESIS ซึ่งเป็นโมดูลย่อยของแบบจำลอง NEMOS ในโปรแกรม CEDAS เวอร์ชัน 2.01 โดยแบบจำลอง GENESIS เป็นแบบจำลองที่ใช้คำนวณการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง อันเนื่องจากการกระทำของคลื่น (wave action) เป็นหลัก และสามารถประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการมีโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง เช่น คันดักตะกอน (groins) เชือกกันทรายและคลื่น (jetties) เชือกกันคลื่นแยก (detached breakwaters) กำแพงกันคลื่น (seawalls) และการถมชายหาด (beach fills) ซึ่งแบบจำลอง GENESIS ใน CEDAS เวอร์ชัน 2.01 นี้สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งภายใต้เงื่อนไขของ คลื่น ระดับน้ำ และตะกอนแม่น้ำ รวมถึงผลของโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งได้

เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องในการทำนายแนวชายฝั่ง ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ นั้นมีอยู่หลายปัจจัย เช่น คุณภาพ (quality) และความพอเพียง (sufficient) ของข้อมูลนำเข้า (input data) เงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) และข้อจำกัด (limitations) ของแบบจำลอง เป็นต้น สำหรับการวางแผนและออกแบบโครงสร้างชายฝั่งของประเทศไทยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มักประสบปัญหาข้อจำกัดด้านข้อมูลเป็นหลัก เนื่องจากข้อมูลนำเข้าหลัก เช่น ข้อมูลอุทกศาสตร์ (ลักษณะท้องทะเล และระดับน้ำทะเล) ข้อมูลสมุทรศาสตร์ (ลักษณะคลื่น และกระแสน้ำ) และข้อมูล

ตะกอน (ทั้งจากแม่น้ำและชายฝั่ง) ของประเทศไทยมีอยู่อย่างจำกัดมาก เพราะขาดหน่วยงานรับผิดชอบหลัก อีกทั้งการเก็บข้อมูลในทะเลที่มีค่าใช้จ่ายในการสำรวจข้อมูลสูงมาก อีกทั้งต้องการการเก็บข้อมูลที่ต่อเนื่องและเป็นระยะเวลานาน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือทางสถิติ เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลแต่ละชนิดมีสูงมาก และมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กันเองอีกด้วย ทำให้การศึกษาและออกแบบโครงการพัฒนาและป้องกันชายฝั่งของประเทศ มีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นจากข้อมูลพื้นฐานอื่น ที่มีการบันทึกข้อมูลยาวนาน เช่น การสังเคราะห์ข้อมูลคลื่นจากข้อมูลลม ที่ตรวจวัดโดยสถานีตรวจอากาศที่ตั้งอยู่ในแผ่นดิน และการประเมินปริมาณตะกอนจากแม่น้ำที่ไหลลงสู่ชายฝั่ง จากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลตะกอนแขวนลอย และข้อมูลอัตราการไหลในแม่น้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม จากความซับซ้อนของกระบวนการชายฝั่งและแม่น้ำ ทำให้ข้อมูลที่ได้จากการสังเคราะห์ดังกล่าวมักเกิดความคลาดเคลื่อนสูงมาก อันจะส่งผลโดยตรงกับผลการศึกษาที่ประเมินได้จากแบบจำลอง

สำหรับการศึกษาคั้งนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิผลของแบบจำลอง OLM ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง อันเนื่องจากการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ 1) การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของตะกอน (K1, K2) เนื่องจากเป็นค่าจำเป็นสำหรับปรับแก้แบบจำลอง GENESIS ซึ่งไม่มีข้อมูลในรายงานการสร้างแบบจำลอง 2) การทดสอบความอ่อนไหว (sensitivity) ของแบบจำลอง OLM ในการทำนายแนวชายฝั่งต่อคุณภาพของตัวแทนข้อมูล คือ ข้อมูลคลื่น ซึ่งใช้ข้อมูลคลื่นที่สังเคราะห์จากข้อมูลลมในแผ่นดิน (wind over land) ในขั้นตอนการศึกษาออกแบบโครงการ และข้อมูลคลื่นลมที่ตรวจวัดในทะเลซึ่งที่ได้จากการศึกษาคั้งนี้ และ 3) การทดสอบความอ่อนไหว ของแบบจำลองต่อเงื่อนไขที่ใช้สร้างแบบจำลอง คือ เงื่อนไขระดับน้ำ ปริมาณตะกอนแม่น้ำ และโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง (เขื่อนกันคลื่น) ที่ไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาในขั้นตอนการออกแบบโครงการ ดังนั้นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อทดสอบความอ่อนไหวของแบบจำลอง มีจำนวนทั้งสิ้น 7 กรณีศึกษา โดยแยกเป็นการสร้างแบบจำลองชายฝั่งในช่วงก่อนมีโครงการ (ปี 2510-2537) จำนวน 2 กรณีศึกษาย่อย และการสร้างแบบจำลองชายฝั่งในช่วงหลังจากมีโครงการ (ปี 2541-2561) จำนวน 5 กรณีศึกษาย่อย ดังต่อไปนี้

กรณีศึกษา 1 การประเมินการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในช่วงก่อนมีเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ (ปี 2510-2537)

กรณีศึกษา 1.1 : ประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของตะกอน (K1)

กรณีศึกษา 1.2 : ศึกษาความอ่อนไหวของแบบจำลองต่ออิทธิพลของตะกอนจากแม่น้ำปราณบุรี

กรณีศึกษา 2 การประเมินการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในช่วงหลังมีเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ (ปี 2541-2561)

กรณีศึกษา 2.1 : ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีมีเขื่อนกันทรายและคลื่นต่อข้อมูลคลื่นสำรวจ

กรณีศึกษา 2.2 : ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีมีเขื่อนกันทรายและคลื่น ต่ออิทธิพลของตะกอนจากแม่น้ำปราณบุรี

กรณีศึกษา 2.3 : ประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของตะกอน (K1, K2) และความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีมีเขื่อนกันทรายและคลื่น และการสร้างเขื่อนกันคลื่นป้องกันชายฝั่งด้านเหนือ

กรณีศึกษา 2.4 : ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีมีเขื่อนกันทรายและคลื่น และการสร้างเขื่อนกันคลื่นป้องกันชายฝั่งด้านเหนือ ภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำขึ้น-ลง

กรณีศึกษา 2.5 : ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีมีเขื่อนกันทรายและคลื่น และการสร้างเขื่อนกันคลื่นป้องกันชายฝั่งด้านเหนือ ภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำขึ้น-ลง และตะกอนจากแม่น้ำปราณบุรี

สำหรับข้อมูลและวิธีการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการศึกษาครั้งนี้ มีรายละเอียดดังหัวข้อย่อยต่อไปนี้

3.4.1 ข้อมูลนำเข้า (input data)

ในการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง ด้วยแบบจำลอง GENESIS ในโปรแกรม NEMOS นั้น ต้องการข้อมูลนำเข้าหลักที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองได้แก่ 1) ข้อมูลระดับพื้นที่ท้องทะเล (bathymetry) 2) ข้อมูลลักษณะคลื่น (ความสูงคลื่น คาบเวลาคลื่น และทิศทางเคลื่อนที่ของคลื่น) และ 3) ตำแหน่งแนวชายฝั่งเริ่มต้น (initial shoreline position) โดยโปรแกรมมีความสามารถในการคำนวณผลของระดับน้ำขึ้นลง (tidal effect) และตะกอนที่เพิ่มเข้าสู่ระบบชายฝั่ง (sediment sources) ได้ด้วย ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดเป็นข้อมูลนำเข้าเพิ่มเติมได้ ส่วนในกรณีการจำลองการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง อันเนื่องจากโครงสร้างชายฝั่ง โปรแกรม GENESIS ต้องการข้อมูลนำเข้าเพิ่มเติมในส่วนของตำแหน่ง (position) และขนาด (dimension) ของโครงสร้างที่ต้องการศึกษา

ตาราง 3.3 ข้อมูลสำหรับการออกแบบโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ (กรมเจ้าท่า, 2539a)

Designed parameter	Method / data	
Wave data	Hua Hin oceanographic buoy (THAI-7)	
- Period	1994	
- Significant wave height (H_s) (m)	0.5-1.5	
- Significant wave period (T_s) (s)	2-3	
Wind data	Hua Hin meteorological station	
- Period	1981-1992 (12 years)	
Wave hindcasting data	JONSWAP method	
- Return periods (yr)	50	
- Significant wave height (H_s) (m)	3.75	
- Significant wave period (T_s) (s)	4.0-9.0	
- Direction (degree) (percent occurrence)	45° (3.4%), 90° (5.3%), 135° (4.5%), 157° (3.4%)	
Water level		
- Mean highest high water (m MSL)	0.86	
- Lowest low water (m MSL)	-1.74	
Dredging		
- Maximum volume (m^3/yr)	465,025	
- Average volume (m^3/yr)	153,940	
- Minimum volume (m^3/yr)	7,000	
Longshore sediment transport	Shore Protection Manual Method (1984)	
- Northward (m^3/yr)	74,750	
- Southward (m^3/yr)	63,794	
- Gross (m^3/yr)	138,544	
- Net (m^3/yr)	10,956 (northward)	
Sediment properties		
- Pranburi River mouth	Silty clay (<0.0625 mm)	
- 1-km from Pranburi River mouth	Silty fine-coarse sand (0.0078-1.0 mm)	
Shoreline change model parameters	One-Line model	
- Depth of closer (m)	1.0	
- Wave breaking (degree)	16°	
- Longshore sediment transport (m^3/yr)	10,955	
- Length of jetty (m)	800	
Structural design parameters	Jetty	Detached breakwaters
Type	Rubble Mound	Rubble Mound
Number of structures	2	3
Length of structure (m)	800(north), 860(south)	60
Distance between structures (m)	220	140-190
Depth at tip of structure (m)	3.0	<1.0
Structure head (m)	4.9	4.9

การศึกษานี้อ้างอิงข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้างแบบจำลอง ตามรายงานของกรมเจ้าท่า (2539a) โดยมีรายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและออกแบบโครงการตามตาราง 3.1 และตาราง 3.3 ตามลำดับ สำหรับข้อมูลนำเข้าแบบจำลองที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทั้ง 7 กรณีศึกษา สรุปไว้ในตาราง 3.4 ในการศึกษาครั้งนี้ ข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งอันเนื่องมาจากเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ด้วยโปรแกรม GENESIS ประกอบด้วย ข้อมูลคลื่นจากทึนสมุทรศาสตร์ สำหรับใช้พิจารณาความอ่อนไหวของแบบจำลองในเชิงคุณภาพของตัวแทนข้อมูล ส่วนข้อมูล

ระดับน้ำขึ้นน้ำลง ข้อมูลปริมาณตะกอนแม่น้ำ และข้อมูลโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง ถูกใช้เพื่อศึกษาความอ่อนไหวของแบบจำลองต่อเงื่อนไขการสร้างแบบจำลอง สำหรับรายละเอียดของข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการศึกษามีดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลคลื่น ในรูปแบบ ASCII file โดยมีรายละเอียดของ วันและเวลาของข้อมูลตรวจวัด, ความสูงคลื่น, คาบเวลาคลื่น และทิศทางที่คลื่นเคลื่อนที่ ข้อมูลคลื่นที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลความสูงคลื่น และคาบเวลาคลื่น ราย 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นข้อมูลเท่าที่มีบันทึกโดยทุ่นหัวหิน ระหว่างปี 2540-2543 แต่เนื่องจากไม่มีการวัดทิศทางคลื่น ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ข้อมูลทิศทางลมที่วัดได้ที่ทุ่นหัวหิน ในช่วงเวลาเดียวกันเป็นตัวแทนทิศทางคลื่น อีกทั้งข้อมูลคลื่นที่ตรวจวัดได้ไม่ต่อเนื่องตลอดทั้งปี เนื่องจากอุปกรณ์การวัด/บันทึกข้อมูลขัดข้อง ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในช่วงเวลาเดียวกันของปีข้างเคียงทดแทน เพื่อให้ได้ตัวแทนข้อมูลลักษณะคลื่นในพื้นที่ศึกษาครบหนึ่งปี ในการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปราณบุรี

2) ข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลง ในรูปแบบ ASCII file เช่นกัน โดยมีข้อมูลวันและเวลาของข้อมูลตรวจวัด ค่าระดับน้ำ สำหรับการศึกษานี้ ใช้ข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมง ที่บันทึกได้ที่สถานีคลองวาว โดย กรมเจ้าท่า ที่มีการบันทึกไว้ในช่วงปี 2549-2557 ในการศึกษาเลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำในปี 2554 ซึ่งเป็นปีที่มีการบันทึกค่าระดับน้ำครบสมบูรณ์ตลอดทั้งปี อย่างไรก็ตามข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในแบบจำลอง เป็นข้อมูลระดับน้ำ ราย 6 ชั่วโมง เพื่อให้สอดคล้องกับช่วงเวลาคำนวณ (time step) ที่กำหนดในแบบจำลอง GENESIS

3) ข้อมูลปริมาณตะกอนแม่น้ำ ซึ่งเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่มีผลต่อรูปร่าง และลักษณะชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ แต่มักถูกละเลยในขั้นตอนการจำลองการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง ในการพิจารณาผลของปริมาณตะกอนแม่น้ำ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปราณบุรีในครั้งนี้ ได้ประยุกต์ใช้คำสั่งการถมชายหาด (Beach fills) เนื่องจากแบบจำลอง GENESIS ไม่มีคำสั่งในการนำเข้าข้อมูลตะกอนแม่น้ำโดยตรง โดยสามารถนำเข้าข้อมูลได้ 50 ช่วงเวลา ซึ่งข้อมูลปริมาณตะกอนที่ใช้ในการศึกษานี้ ใช้ข้อมูลปริมาณตะกอนจากแม่น้ำปราณบุรี ซึ่งเป็นแหล่งตะกอนแม่น้ำหลักของพื้นที่ศึกษา โดยประเมินจากข้อมูลตะกอนแขวนลอยที่สถานีอุทกวิทยา Pr.2 ของกรมชลประทาน (รูป 3.2 ก) ซึ่งวัดข้อมูลตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำปราณบุรี ระหว่างปี 2507-2511 จากข้อมูลตะกอนพบว่ามีปริมาณตะกอนแขวนลอยรายปีเฉลี่ย มีค่าประมาณ 9,693 ตัน/ปี (3,786 ลูกบาศก์เมตร/ปี (ลบ.ม./ปี)) (กรมชลประทาน, 2555) โดยกำหนดนำเข้าข้อมูลแบบค่าคงที่รายเดือน

ตาราง 3.4 ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์

ข้อมูลนำเข้า	ชนิดและแหล่งข้อมูล	แบบจำลองที่ต้องการข้อมูล	หมายเหตุ
ระดับท้องน้ำ	1) แผนที่ร่องน้ำแม่น้ำปราณบุรี ปี 2529 โดย กรมเจ้าท่า 2) แผนที่เดินเรือหัวหิน ระบุว่า 246 ปี 2527 โดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ 3) แผนที่ร่องน้ำแม่น้ำปราณบุรี ปี 2539 โดย กรมเจ้าท่า	Grid Generator	1) ใช้ในกรณีศึกษา 1.1 และ 1.2 2) ใช้ในกรณีศึกษา 1.1 และ 1.2 3) ใช้ในกรณีศึกษา 2.1 ถึง 2.5
แนวชายฝั่ง	1) ปี 2510 (จากภาพถ่ายทางอากาศ) 2) ปี 2541 (จากภาพถ่ายทางอากาศ)	Grid Generator สำหรับเส้นแนวชายฝั่งเริ่มต้น	1) ใช้ในกรณีศึกษา 1.1 และ 1.2 2) ใช้ในกรณีศึกษา 2.1 ถึง 2.5
	3) ปี 2526 (จากภาพถ่ายทางอากาศ) 4) ปี 2537 (จากภาพถ่ายทางอากาศ) 5) ปี 2552 (จากภาพถ่ายทางอากาศ) 6) ปี 2561 (จากภาพถ่ายทางอากาศ)	GENESIS สำหรับการสอบเทียบมาตรฐาน (calibrate) และทวนสอบ (verify)	3) และ 4) ใช้ในกรณีศึกษา 1.1 และ 1.2 5) และ 6) ใช้ในกรณีศึกษา 2.1 ถึง 2.5
คลื่น	1) ความสูงคลื่น และคาบเวลาคลิ้น จากหุ่นหัวหิน ราย 6 ชั่วโมง ระหว่างปี 2540-2543 โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) 2) ทิศทางคลื่น จากทิศทางลมที่ตรวจวัดโดยหุ่นหัวหิน ราย 6 ชั่วโมง ระหว่างปี 2540-2543 โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	เตรียมข้อมูลในโมดูล WWWL, WISPH3, WSAV, SPECGEN สำหรับนำเข้าในโมดูล STWAVE เพื่อสร้างข้อมูลสนามคลื่น (wave field)	ใช้ในทุกรณีศึกษา
ระดับน้ำ	สถานีคลองวาฬ จ.ประจวบคีรีขันธ์ ราย 6 ชั่วโมง ปี 2554 โดย กรมเจ้าท่า	GENESIS	ใช้ในกรณีศึกษา 2.4 และ 2.5
ตะกอนแม่น้ำ	สถานีตะกอนแขวนลอย Pr.2 ปี 2507-2511 โดย กรมชลประทาน	GENESIS ในคำสั่ง beach fills	ใช้ในกรณีศึกษา 1.2, 2.2 และ 2.5
โครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง	1) เชือกกันทรายและคลื่น	1) GENESIS ในคำสั่ง Diffracting Groins and Jetties	1) ใช้ในกรณีศึกษา 2.1 ถึง 2.5
	2) เชือกกันคลื่นแยก	2) GENESIS ในคำสั่ง Detached Breakwaters	2) ใช้ในกรณีศึกษา 2.3 ถึง 2.5

4) ข้อมูลโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง ประกอบด้วยเขื่อนกันทรายและคลื่น จำนวน 2 ตัว และเขื่อนกันคลื่นแยกจำนวน 3 ตัว โดยในการจำลองเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ในแบบจำลอง GENESIS กำหนดให้โครงสร้างเป็นชนิด Diffracting Groins and Jetties เนื่องจากปลายของโครงสร้างอยู่ไกลกว่าแนวความลึกประสิทธิผล (depth of closure) ส่วนการจำลองเขื่อนกันคลื่นแยก ที่ก่อสร้างอยู่ด้านเหนือของเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ กำหนดให้โครงสร้างเป็นแบบเขื่อนกันคลื่นแยก (detached breakwaters) โดยเลือกใช้เงื่อนไข Constant transmission สำหรับสร้างแบบจำลองในกรณีไม่พิจารณาอิทธิพลของระดับน้ำขึ้นน้ำลง ได้แก่ กรณีศึกษา 2.3 และเลือกใช้เงื่อนไข Variable transmission ในการสร้างแบบจำลองในกรณีพิจารณาอิทธิพลของระดับน้ำขึ้นน้ำลง ได้แก่ กรณีศึกษา 2.4 และ 2.5 โดยขนาดของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งทั้งสองแบบ กำหนดตามข้อมูลการออกแบบของโครงการ (ตาราง 3.3)

3.4.2 การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง ด้วยแบบจำลอง GENESIS ของโปรแกรม NEMOS ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งการดำเนินการเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) การสร้างแบบจำลองพื้นที่ศึกษา ด้วยโมดูล Grid Generator 2) การจำลองสนามคลื่น (wave field) บริเวณชายฝั่งจากข้อมูลคลื่นในน้ำลึก (deep water wave data) ด้วยโมดูล STWAVE และ 3) การจำลองการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง GENESIS ซึ่งใช้ข้อมูลนำเข้าจากส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 สำหรับวิธีการดำเนินงานทั้ง 3 ส่วน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

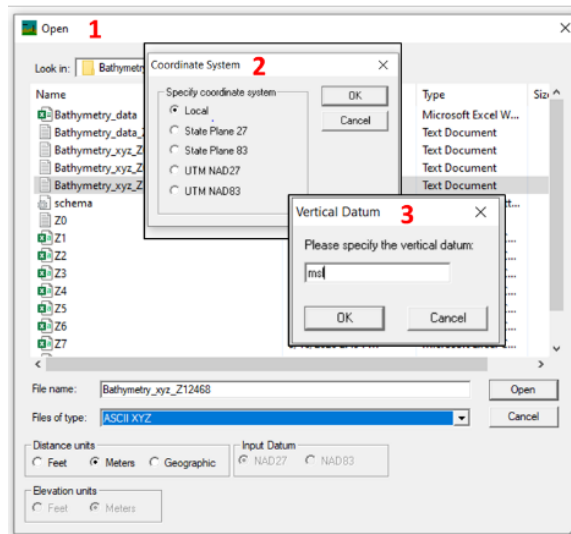
1) การสร้างแบบจำลองพื้นที่ศึกษาชายฝั่งปราณบุรี

โปรแกรม Grid Generation ใน NEMOS เป็นโปรแกรมสำหรับการสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ศึกษา โดยข้อมูลนำเข้าเพื่อการสร้างแบบจำลองครั้งนี้ ประกอบด้วย ข้อมูลสภาพความลึกท้องทะเล (bathymetry) ที่ได้จากแผนที่ร่องน้ำแม่น้ำปราณบุรีปี 2529 ร่วมกับแผนที่เดินเรือหัวหินปี 2527 และข้อมูลตำแหน่งแนวชายฝั่งเริ่มต้น ซึ่งใช้แนวชายฝั่งที่วิเคราะห์ได้จากภาพถ่ายทางอากาศปี 2510 สำหรับการจำลองสภาพชายฝั่งกรณีก่อนมีการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ส่วนการจำลองสภาพชายฝั่งเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ภายหลังการก่อสร้างโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ใช้ข้อมูลสภาพความลึกท้องทะเล (bathymetry) ที่ได้จากแผนที่ร่องน้ำแม่น้ำปราณบุรีปี 2539 และข้อมูลตำแหน่งแนวชายฝั่งเริ่มต้น ที่วิเคราะห์ได้จากภาพถ่ายทางอากาศปี 2541 จากนั้นกำหนดพิกัดและขอบเขตของพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้ประกอบในการจำลองสนามคลื่น (wave field) สำหรับใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยแบบจำลอง GENESIS ต่อไป โดยการสร้างแบบจำลองพื้นที่ศึกษา มีขั้นตอนดังนี้

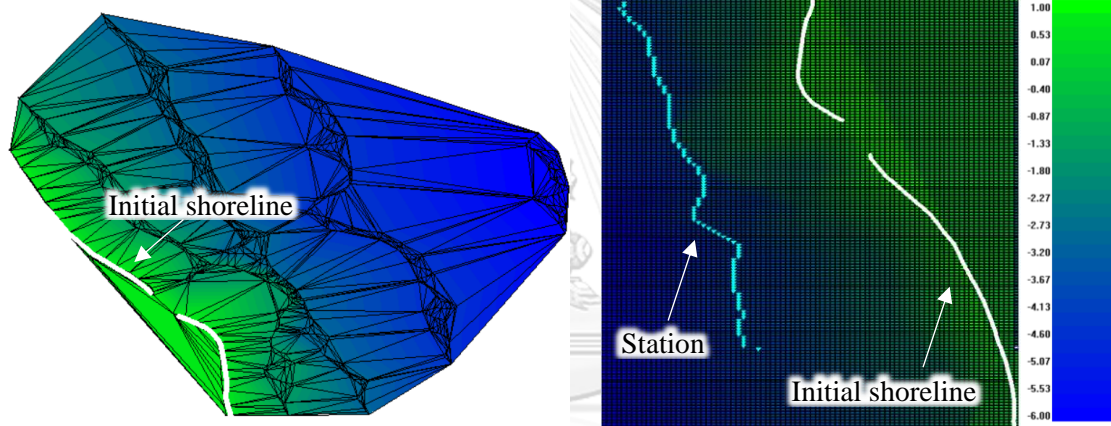
- 1) เตรียมข้อมูลความลึกท้องน้ำบริเวณพื้นที่ศึกษาในรูปแบบ ASCII file ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลพิกัดตำแหน่งในรูปแบบ UTM coordinate system และความลึกน้ำ (ม.)
- 2) นำเข้าข้อมูลตำแหน่งและความลึกท้องน้ำ (ASCII file) ในโมดูล Grid Generation (รูป 3.9ก) จากนั้นกำหนดข้อมูลและขอบเขตพื้นที่ศึกษา เพื่อสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ท้องทะเลของพื้นที่ศึกษา (รูป 3.9ข) โดยมีข้อมูลนำเข้าดังแสดงในตาราง 3.5
- 3) นำเข้าเส้นแนวชายฝั่งเริ่มต้น (รูป 3.9ข) เพื่อใช้ประกอบการกำหนดขอบเขตความยาวชายฝั่งที่ศึกษา และทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงข้อมูลคลื่น (stations) (รูป 3.9ค และ ตาราง 3.5)
- 4) บันทึกข้อมูลแบบจำลอง และส่งออกข้อมูลในรูปแบบไฟล์ Spatial Domain file, Station file, และ GENESIS Spatial Domain file ซึ่งจะถูกใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในโปรแกรม STWAVE เพื่อจำลองสนามคลื่น (wave field) บริเวณชายฝั่ง และแบบจำลอง GENESIS สำหรับการจำลองการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง ต่อไป

ตาราง 3.5 การกำหนดข้อมูลสำหรับแบบจำลองสภาพพื้นที่ท้องทะเล (Grid Generator module)

Data	Input data
Distance units	Meters
Specify coordinate system	Local
Vertical Datum	MSL
Rectangular Grid Specification	
Grid types	Delta X/ Delta Y
Values of DX, DY	25 , 25
Region Definition	
- X0: / Y0:	608749 / 1374935
- RX: / RY:	2212 / 3861
- Azimuth	260
GENESIS Grid Specifications	
- X-axis length (m)	2500
- Contour depth at first station (m)	4
- Stations should be created ever (nth point)	1



ก) ขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลระดับพื้นท้องทะเล (bathymetry)



ข) การจำลองสภาพพื้นท้องทะเล

ค) สภาพจำลองพื้นที่ศึกษา

รูป 3.9 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองพื้นที่ศึกษาใน Grid Generator module

2) การจำลองสนามคลื่นบริเวณชายฝั่ง

การจำลองสนามคลื่น (wave field) บริเวณชายฝั่ง จากข้อมูลคลื่นในน้ำลึก ทำได้โดยการประมวลผลข้อมูลความสูงคลื่น คาบเวลคลื่น และทิศทางคลื่นที่วัดได้ในน้ำลึก ผ่านโมดูลย่อยที่ประกอบด้วยโมดูล WWWL, WISPH3, WSAV, SPECGEN และ STWAVE ตามลำดับ โดยข้อมูลคลื่นในน้ำลึกที่ใช้ในการจำลองสนามคลื่นบริเวณชายฝั่งในการศึกษานี้ คือ ข้อมูลคลื่นตัวแทนจากหุ่นหัวหิน (1 ปี) โดยเตรียมข้อมูลคลื่นในน้ำลึกให้อยู่ในรูปแบบ ASCII file นำเข้าผ่านโมดูลต่าง ๆ รวมทั้งปรับแก้ทิศทางของข้อมูลให้สอดคล้องกับแบบจำลอง จากนั้นแปลงข้อมูลคลื่นที่วิเคราะห์ได้ให้อยู่ในรูปความถี่ (spectrum) ซึ่งจะถูกใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในโปรแกรม STWAVE เพื่อจำลองสนามคลื่นบริเวณชายฝั่ง ขั้นตอนในการจำลองสนามคลื่น มีดังต่อไปนี้

1. เตรียมข้อมูลนำเข้าแบบจำลองประกอบด้วยความสูงคลื่น คาบเวลาคคลื่น และทิศทางคลื่น จากทუნสมุทรศาสตร์ในช่วงเวลาเดียวกัน ให้อยู่ในรูปแบบ ASCII file โดยมีรูปแบบการเตรียมข้อมูลดังแสดงในรูป 3.10
2. นำเข้าข้อมูลคลื่นที่เตรียมในรูปแบบ ASCII file ในโมดูล **WWWL** (รูป 3.11ก) และกำหนดข้อมูลตำแหน่งของทუნสมุทรศาสตร์ (รูป 3.11ข) และข้อมูลคลื่น (รูป 3.11ค และตาราง 3.6) บันทึกข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ NC file
3. นำเข้าข้อมูลคลื่นในรูปแบบ NC file ในโมดูล **WISPH3** เพื่อแปลงข้อมูลคลื่นน้ำลึกจากทუნสมุทรศาสตร์มาที่ตำแหน่งอ้างอิงข้อมูลคลื่น โดยการกำหนดข้อมูลในแบบจำลอง WISPH3 แสดงในรูป 3.12 และตาราง 3.6 จากนั้นประมวลผลแบบจำลอง (run) และบันทึกผล (ผลจากแบบจำลองจะให้ข้อมูลคลื่นในระบบ Shore Reference 3)
4. ทำการปรับแก้ทิศทางคลื่น (convert direction) จากระบบ Shore Reference 3 ($Az_x=170$) เป็น Local Polar ($Az_x=170+90=260$) โดยใช้โมดูล **WWWL**
5. นำเข้าข้อมูลคลื่นที่อยู่ในระบบ Local Polar ในโมดูล **WSAV** เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสถิติคลื่น จากนั้นนำเข้าข้อมูลสถิติคลื่นในโมดูล **SPECGEN** โดยมีการกำหนดข้อมูลดังตาราง 3.6 และผลการคำนวณที่ได้แสดงในรูป 3.13
6. นำเข้าข้อมูลในโปรแกรม **STWAVE** ประกอบด้วย ข้อมูลคลื่น ในรูปแบบ Spectrum file, ข้อมูลพื้นที่ศึกษา ในรูปแบบ Spatial domain และตำแหน่งอ้างอิงข้อมูลคลื่น (Station file) จากนั้นประมวลผลแบบจำลอง และบันทึกผล เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง GENESIS

Typical ASCII file

Import ASCII File (Time Series Format)					
— Parameter Toggles —					
	# of obs	Tag Type	Water Level	Waves	Wind
Line 1: header	1460	2	0	1	0
	Date	Time	H (m)	T (sec)	R (deg)
Line 2: 1st obs	19760108	0	0.5	4	30
Line 3: 2nd obs	19760108	600	0.5	4	30
Line 4: 3rd obs	19760108	1200	1.5	5	30
Line 5: 4th obs	19760108	1800	2.5	5	30
Etc.					

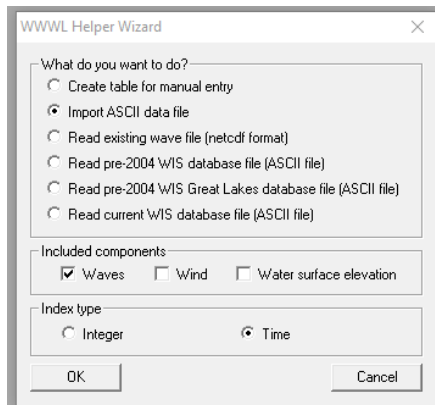
1460	2	0	1	0	
19970101		0	0.31	2.81	326.25
19970101		600	0.78	3.44	348.75
19970101		1200	0.94	3.44	19.69
19970101		1800	0.62	3.12	348.75
19970102		0	0.31	2.81	334.69
19970102		600	0.47	3.12	331.88
19970102		1200	0.78	3.12	357.19
19970102		1800	0.62	3.12	16.88
19970103		0	0.31	3.12	340.31
19970103		600	0.31	2.81	30.94
19970103		1200	0.78	3.12	14.06
19970103		1800	0.78	3.75	16.88

ที่มา : Veritech Enterprises (online)

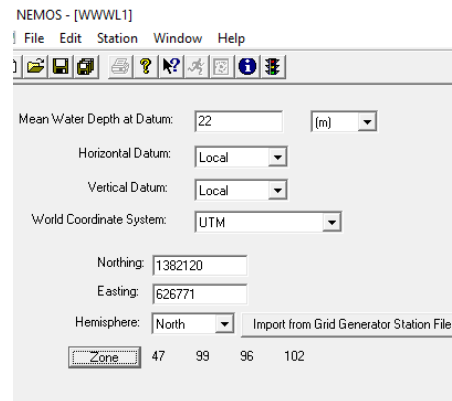
ก) ภาพอธิบายการเตรียมข้อมูล

ข) ตัวอย่างข้อมูลคลื่นที่เตรียมนำเข้าในแบบจำลอง

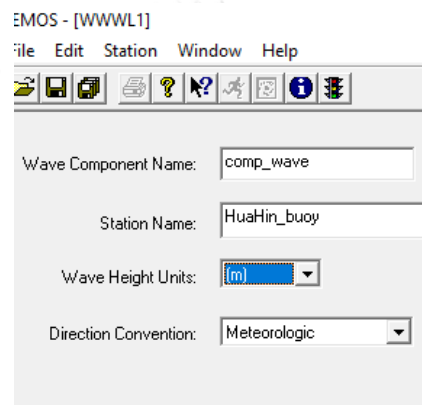
รูป 3.10 รูปแบบการเตรียมข้อมูลคลื่นเพื่อนำเข้าในโมดูล WWWL



ก) การนำเข้า ASCII file ในโมดูล WWWL

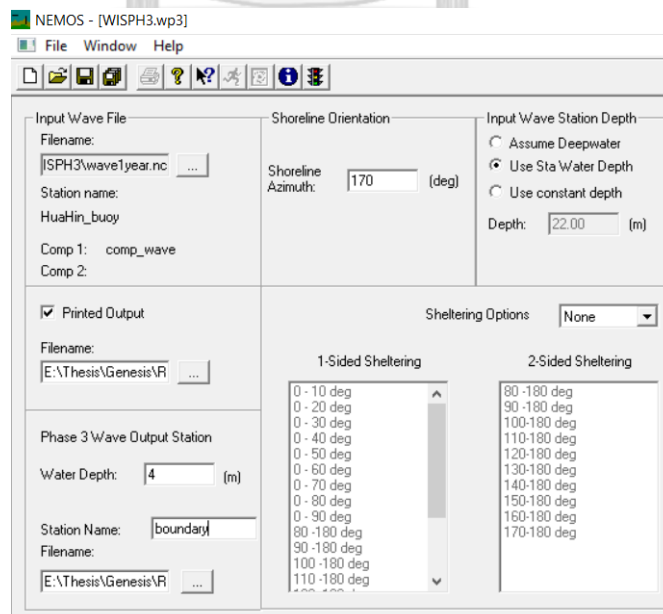


ข) กำหนดข้อมูลที่ตำแหน่งคลื่นนำเข้า



ค) กำหนดรูปแบบอ้างอิงของข้อมูล

รูป 3.11 การเตรียมและกำหนดข้อมูลคลื่นในโมดูล WWWL



รูป 3.12 การนำเข้าข้อมูลในโมดูล WISPH3

ตาราง 3.6 ข้อมูลที่กำหนดสำหรับแบบจำลองสนามคลื่นบริเวณชายฝั่ง

Data	Input data
Module: WWWL	
Location	
- Mean Water Depth at Datum (m)	22
- Horizontal Datum	Local
- Vertical Datum	MSL
- World Coordinate System	UTM
Northing/Easting	1382120 / 626771
Hemisphere	North
Wave	
- Wave Height Units:	Meter
- Direction Convention:	Meteorologic
Module: WISPH3	
Phase 3 Wave Output station: water depth (m)	4
Shoreline Azimuth	170
Module: SPECGEN	
Frequency Parameters	
- Number of frequencies (No.)	30
- Min	0.05
- Delta	0.01
- Constant gamma	3.3
- Constant nn.	4

Derive Theoretical Spectra from (H, T, theta)

Index Type
 None Integer Date/Time

Station X location: 0 Station Y location: 0

No. f(hz) Angle (deg)
 30 35

Min: 0.05 -85 Constant gamma: 3.3 Apply

Delta: 0.01 5 Constant nn: 4 Apply

Conserve energy

Water depth: 4 (m) Azimuth: 260 (deg fr N)

Index	H(m)	T (sec)	Local Angle (deg)	Gamma	nn
10101	0.280	2.320	73.050	3.300	4
20101	0.280	2.320	45.600	3.300	4
30101	0.280	2.320	4.450	3.300	4
40101	0.280	2.320	-46.890	3.300	4
50101	0.280	2.320	-75.300	3.300	4
60101	0.280	2.320	-90.000	3.300	4
10201	0.280	5.430	73.050	3.300	4
20201	0.280	5.430	45.600	3.300	4
30201	0.280	5.430	4.450	3.300	4

รูป 3.13 ผลที่ได้จากโมดูล SPECGEN

3) การจำลองการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง

ผลการจำลองพื้นที่ศึกษาที่ได้จากแบบจำลอง Grid Generator และข้อมูลสนามคลื่นในน้ำตื้นที่ได้จากโปรแกรม STWAVE จะถูกใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง GENESIS เพื่อใช้ประกอบการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อการทำนายการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยในการศึกษานี้พิจารณา 3 ปัจจัย อันได้แก่ ระดับน้ำขึ้นน้ำลง ปริมาณตะกอนแม่น้ำ และโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอน (K1, K2) ที่เหมาะสมกับแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปรมาณบุรี จากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าค่า K1 และ K2 ที่แนะนำ และเคยถูกนำมาใช้ในการศึกษาในพื้นที่ข้างเคียง มีค่าดังตาราง 3.7 สำหรับขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอนสำหรับกรณีศึกษาโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ มีดังต่อไปนี้

1. นำเข้าข้อมูลสภาพพื้นที่ศึกษา (ไฟล์ GENESIS Spatial Domain ที่ได้จากแบบจำลอง Grid Generator) เพื่อสร้างพื้นที่ศึกษาในแบบจำลอง GENESIS
2. กำหนดรูปแบบการประมวลผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ในหน้าต่างคำสั่ง GENESIS Configuration ประกอบด้วย 1) ชื่อแบบจำลอง 2) หน่วยที่ใช้สร้างแบบจำลอง 3) ระยะเวลาในการคำนวณ ได้แก่ วันที่เริ่มต้น/สิ้นสุดการคำนวณ ช่วงเวลาในการคำนวณ

(time step) และช่วงเวลาในการบันทึกข้อมูล 4) ข้อมูลคลื่น 5) station file และ 6) ข้อมูลระดับน้ำ โดยมีรายละเอียดข้อมูลนำเข้าในการศึกษาครั้งนี้ สรุปได้ดังตารางที่ 3.8 และรูปที่ 3.14ก

3. กำหนดข้อมูลตะกอนและค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอน (K_1 , K_2) ในหน้าต่างคำสั่ง Sand, Beach & Transport (ตาราง 3.8 และรูป 3.14ข) สำหรับการศึกษาค่า K_1 และ K_2 ที่เหมาะสมกับพื้นที่ชายฝั่งปราณบุรี จะแสดงรายละเอียดต่อไป
4. นำเข้าข้อมูลแนวชายฝั่งอ้างอิงในปีที่ต้องการพิจารณาในหน้าต่างคำสั่ง Shoreline > Reference จากนั้นกำหนดเวลา และวันที่ของข้อมูลแนวชายฝั่ง และทำการแปลงพิกัดตำแหน่งของแนวชายฝั่งที่หน้าต่าง Coordinate Transformation ให้สอดคล้องกับแบบจำลอง (รูป 3.14ค)
5. กำหนดข้อมูลเงื่อนไขของเขต (boundary condition) ของแบบจำลอง โดยกำหนดให้จำลองคลื่นแบบ External และกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาทั้งด้านซ้ายและขวาของชายฝั่งเป็นแบบ pinned
6. กำหนดข้อมูลเชื่อมกันทรายและคลื่นในหน้าต่างคำสั่ง Diffracting Groins and Jetties และ/หรือเชื่อมกันคลื่นนอกชายฝั่งในหน้าต่าง Detached Breakwater
7. เตรียมไฟล์ข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลง ที่สถานีคลองวาฬจำนวน 1 ปี (ปี 2554) ราย 6 ชั่วโมง ให้อยู่ในรูปแบบ ASCII file จากนั้นนำเข้าในโมดูล WWWL (รูป 3.15ก) และกำหนดรายละเอียดข้อมูลสถานีวัดระดับน้ำ (รูป 3.15ข) จากนั้นบันทึกข้อมูลในรูปแบบ NC file เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง GENESIS (กรณีศึกษา 2.4 และ 2.5)
8. นำเข้าข้อมูลการถมชายหาด ในหน้าต่างคำสั่ง Beach fills (กรณีศึกษา 2.2 และ 2.5) บันทึกข้อมูล และประมวลผลแบบจำลอง (run)

ตาราง 3.7 ค่า K1 และ K2 ในการศึกษาที่ผ่านมา

Publisher	Book name	K1	K2
US Army Corps of Engineers, 1989	GENESIS: Generalized model for simulation shoreline change (Report 1 Technical reference)	0.58 - 0.77	0.5K1 - 1.0K1
US Army Corps of Engineers, 2002b	Longshore sediment transport	$K = 1.4e^{(-2.5D_{50})}$	-
สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2546	โครงการศึกษาแผนแม่บทการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล ตั้งแต่ปากแม่น้ำเพชรบุรี จ. เพชรบุรี ถึงปากแม่น้ำปราณบุรี จ. ประจวบคีรีขันธ์	0.44	0.2 - 0.3

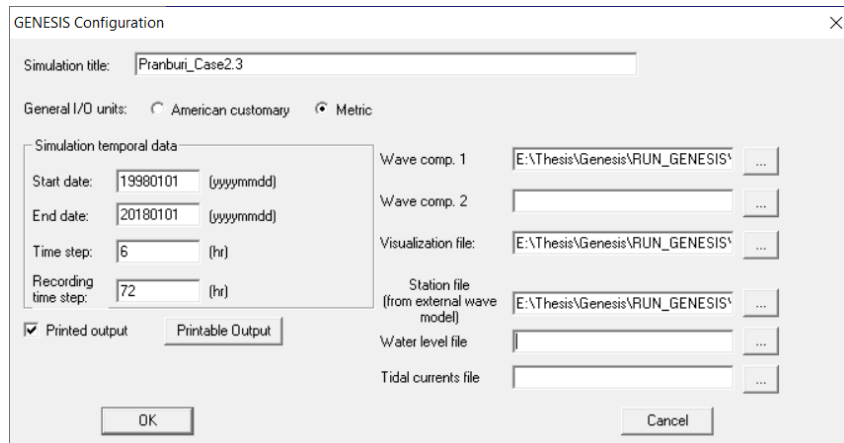
ตาราง 3.8 ข้อมูลที่กำหนดสำหรับแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

Data	Input data	Remark
GENESIS Configuration		
General I/O units	Metric	
Simulation temporal data		
- Start date to End date (yyyymmdd)	1) 19670101 to 19940101 2) 19980101 to 20180101	1) case no. 1.1 and 1.2 2) case no. 2.1 to 2.5
- Time step (hr)	6	
- Recording time step (hr)	72	
Wave comp.	1-year wave data (NC file)	All cases
Station file	Station file from STWAVE model	All cases
Water level file	1-year water level data (NC file)	Case no. 2.4 and 2.5
Sand, Beach, & transport		
- Effective grain size (mm)	0.4	All cases
- Average berm height (m)	1	All cases
- Closure depth (m)	-1	All cases
- K1, K2	0.5, 0.3	All cases

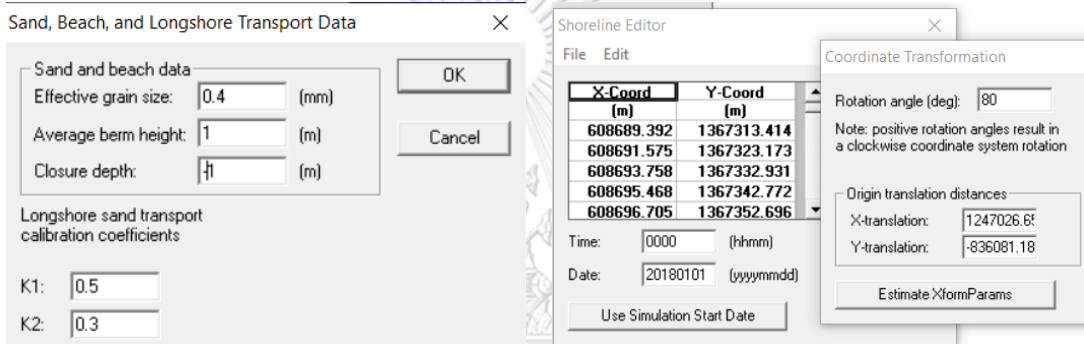
ขั้นตอนการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอน

เนื่องจากในการจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง GENESIS ต้องกำหนดค่าประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของตะกอน (K1, K2) ซึ่งเป็นค่าปรับแก้อัตราการเคลื่อนตัวของตะกอนตามแนวชายฝั่ง อย่างไรก็ตามในรายงานการศึกษาและออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ (กรมเจ้าท่า, 2539a) ไม่มีการระบุค่าดังกล่าว ในการศึกษาจึงต้องทำการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ K1 และ K2 ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปราณบุรี โดยมีสมมติฐานในการสร้างแบบจำลองเพื่อหาค่าปรับแก้ดังนี้

1. เนื่องจากเป็นการทำนายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนทำโครงการ ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ณ เวลานั้นควรเป็นข้อมูลก่อนปี 2539 จึงเลือกใช้เส้นแนวชายฝั่งก่อนหน้านั้น ได้แก่ปี 2510 เป็นแนวชายฝั่งเริ่มต้น และแนวชายฝั่งปี 2526 และ 2537 เป็นแนวชายฝั่งสำหรับการสอบเทียบมาตรฐาน (calibrate) และทวนสอบ (verify) ตามลำดับ
2. เนื่องจากสภาพพื้นที่ท้องทะเลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง จึงเลือกใช้ข้อมูลสภาพพื้นที่ท้องทะเลในอดีตเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง ได้แก่ แผนที่ร่องน้ำแม่น้ำปราณบุรี (ปี 2529) และแผนที่เดินเรือหัวหิน ระวัง 246 (ปี 2527)
3. เนื่องจากพารามิเตอร์บางรายการไม่มีการตรวจวัด/บันทึกในช่วงเวลาก่อนมีการก่อสร้างโครงการ จึงเลือกใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้ในปัจจุบันเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อสร้างแบบจำลอง ได้แก่ ข้อมูลคลื่น และข้อมูลตะกอน เป็นต้น
4. เนื่องจากค่า K2 เป็นค่าปรับแก้สำหรับการเคลื่อนที่ของตะกอนเนื่องจากกระแสน้ำชายฝั่ง และการเลี้ยวเบนของคลื่นเนื่องจากโครงสร้าง (U.S. Army Corps of Engineers, 1989) ดังนั้นในการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในกรณีก่อนมีโครงสร้าง (กรณีศึกษา 1.1) จึงกำหนดให้ค่า $K2=0$ และคำนวณหาค่า K2 ที่เหมาะสมจากกรณีศึกษา 2.3



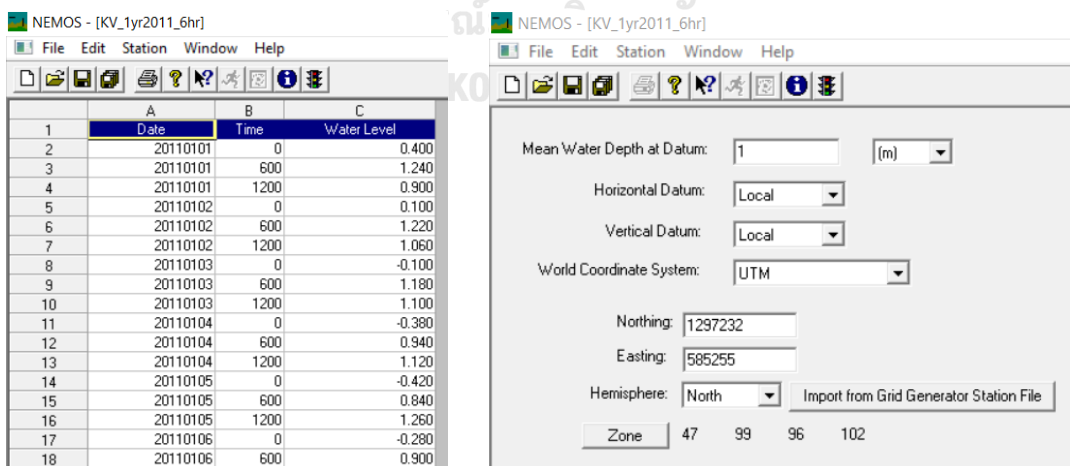
ก) การกำหนดข้อมูลนำเข้าและรูปแบบการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง



ข) การกำหนดข้อมูลตะกอนชายฝั่ง

ค) การนำเข้าข้อมูลแนวชายฝั่งอ้างอิง

รูป 3.14 การนำเข้าข้อมูลและรูปแบบการประมวลผลในแบบจำลอง GENESIS



ก) ตัวอย่างข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลง

ข) กำหนดข้อมูลที่ตำแหน่งสถานีวัดระดับน้ำ

รูป 3.15 การนำเข้าและการกำหนดข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลงในโมดูล WWWW

จากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมา (ตาราง 3.7) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งที่เหมาะสมในการศึกษานี้มีค่า K1 ระหว่าง 0.4 ถึง 0.8 โดยในขั้นตอนการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในกรณีก่อนมีเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ (กรณีศึกษา 1.1) กำหนดให้แนวชายฝั่งปี 2510 เป็นแนวชายฝั่งเริ่มต้น และสร้างแบบจำลองที่กำหนดค่า K1 เท่ากับ 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, และ 0.8 ตามลำดับ และค่า K2 เท่ากับ 0 จากนั้นสอบเทียบแนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลองทั้งหมดกับแนวชายฝั่งจริงในปี 2526 และทวนสอบแนวชายฝั่งคาดการณ์กับแนวชายฝั่งจริงในปี 2537 ผลการสร้างแบบจำลองในกรณีศึกษาต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าที่ค่า K1 ต่าง ๆ ให้ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลเปรียบเทียบที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่าง 5.2-6.4% ในปี 2526 และ 7.9-9.7% ในปี 2537 ในการศึกษาจึงเลือกใช้ค่า K1 เท่ากับ 0.5 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 5.5% และ 8.4% ในปี 2526 และ 2537 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินค่า K ตามข้อเสนอแนะของ U.S. Army Corps of Engineers (2002b)

สำหรับค่าปรับแก้ K2 หาได้จากการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในกรณีศึกษา 2.3 ซึ่งมีการจำลองทั้งเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ และเขื่อนกันคลื่นแยก โดยกำหนดให้แนวชายฝั่งปี 2541 เป็นแนวชายฝั่งเริ่มต้น จากนั้นสอบเทียบแนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลองทั้งหมดในปีที่ 11 กับแนวชายฝั่งจริงในปี 2552 และทวนสอบแนวชายฝั่งคาดการณ์ในปีที่ 20 กับแนวชายฝั่งจริงในปี 2561 โดยขั้นตอนการสร้างแบบจำลองกำหนดให้ค่า K1 เท่ากับ 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, และ 0.8 และ K2 เท่ากับ 0 เพื่อศึกษาผลของโครงสร้างต่อค่าปรับแก้ K1 พบว่าที่ค่า K1 ต่าง ๆ ให้ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการเปรียบเทียบที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 8.9-11% ในปี 2552 และ 9.4-13.3% ในปี 2561 ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ค่า K1 เท่ากับ 0.5 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 9.1% และ 9.6% ในปี 2552 และ 2561 ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลการศึกษาในกรณีก่อนมีโครงการ ในการหาค่าปรับแก้ K2 กำหนดให้มีค่านำเข้าในแบบจำลองเท่ากับ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, และ 0.9 ที่ค่า K1=0.5 พบว่าแนวชายฝั่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า K2 เท่ากับ 0.3 ที่สอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ U.S. Army Corps of Engineers (1989) โดยการเลือกใช้ค่า K1 เท่ากับ 0.5 และ K2 เท่ากับ 0.3 จะทำให้แบบจำลองจะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในปี 2552 และ 2561 เท่ากับ 9.2% และ 9.7% ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดในการหาค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของตะกอน (K1, K2) แสดงในภาคผนวก ง

ส่วนผลลัพธ์ (output) จากแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง GENESIS ประกอบด้วยตำแหน่งแนวชายฝั่งที่เปลี่ยนแปลงไป และปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งรายปี ในช่วงปีที่ผู้ใช้ (user) กำหนด ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดให้แบบจำลอง GENESIS คำนวณการ

เปลี่ยนแปลงชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา สำหรับปี 2510-2537 และปี 2541-2561 เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิผลของเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ โดยมีรายละเอียดในหัวข้อ 3.5

3.5 การประเมินประสิทธิผลของโครงการ และความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ

ในการศึกษาประสิทธิผลของการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ต่อการรักษาเสถียรภาพชายฝั่ง รวมถึงผลกระทบของโครงสร้างต่อการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์นั้น ประสิทธิภาพของโครงการถูกวิเคราะห์ โดยการเปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งแนวชายฝั่งที่คาดการณ์ไว้ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ (กรมเจ้าท่า, 2539a) กับตำแหน่งแนวชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริงภายหลังการก่อสร้างโครงการ ซึ่งประเมินได้จากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การเปรียบเทียบรูปแบบ อัตราการเปลี่ยนแปลง และร้อยละความคลาดเคลื่อน (percent error) ของแนวชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริงก่อนและหลังจากการก่อสร้างโครงการ เพื่อศึกษาผลกระทบของโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ต่อแนวชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์ที่เกิดขึ้นจริง ส่วนการประเมินประสิทธิผลของการใช้แบบจำลอง OLM ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง โดยความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการคาดการณ์ และผลการตอบสนองของชายฝั่งจริง คำนวณได้จากสมการ 3.8

$$\text{Percent error} = \frac{|S_a - S_p|}{S_a} \times 100\% \quad (3.8)$$

โดยที่ S_a คือข้อมูลแนวชายฝั่งเปลี่ยนแปลงจริง

S_p คือข้อมูลแนวชายฝั่งคาดการณ์

สำหรับการประเมินความแตกต่างของแนวชายฝั่งคาดการณ์ที่ได้จากการนำข้อมูลคลื่น ข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลตะกอนแม่น้ำ และโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นแยก สามารถประเมินได้จากการเปรียบเทียบแนวชายฝั่งระหว่างกรณีศึกษา 2.1 ถึง 2.5 เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาการวางแผนและออกแบบโครงสร้างชายฝั่งในเชิงวิศวกรรม โดยพิจารณาจากระยะแตกต่างสุทธิระหว่างแนวชายฝั่ง และร้อยละความแตกต่าง (percent different) (สมการที่ 3.9) ของแนวชายฝั่งที่พิจารณา

$$\text{Percent different} = \frac{|V_1 - V_2|}{\left(\frac{V_1 + V_2}{2}\right)} \times 100\% \quad (3.9)$$

โดยที่ V_1 คือข้อมูลแนวชายฝั่งแนวที่ 1

V_2 คือข้อมูลแนวชายฝั่งแนวที่ 2

บทที่ 4

ผลการศึกษา

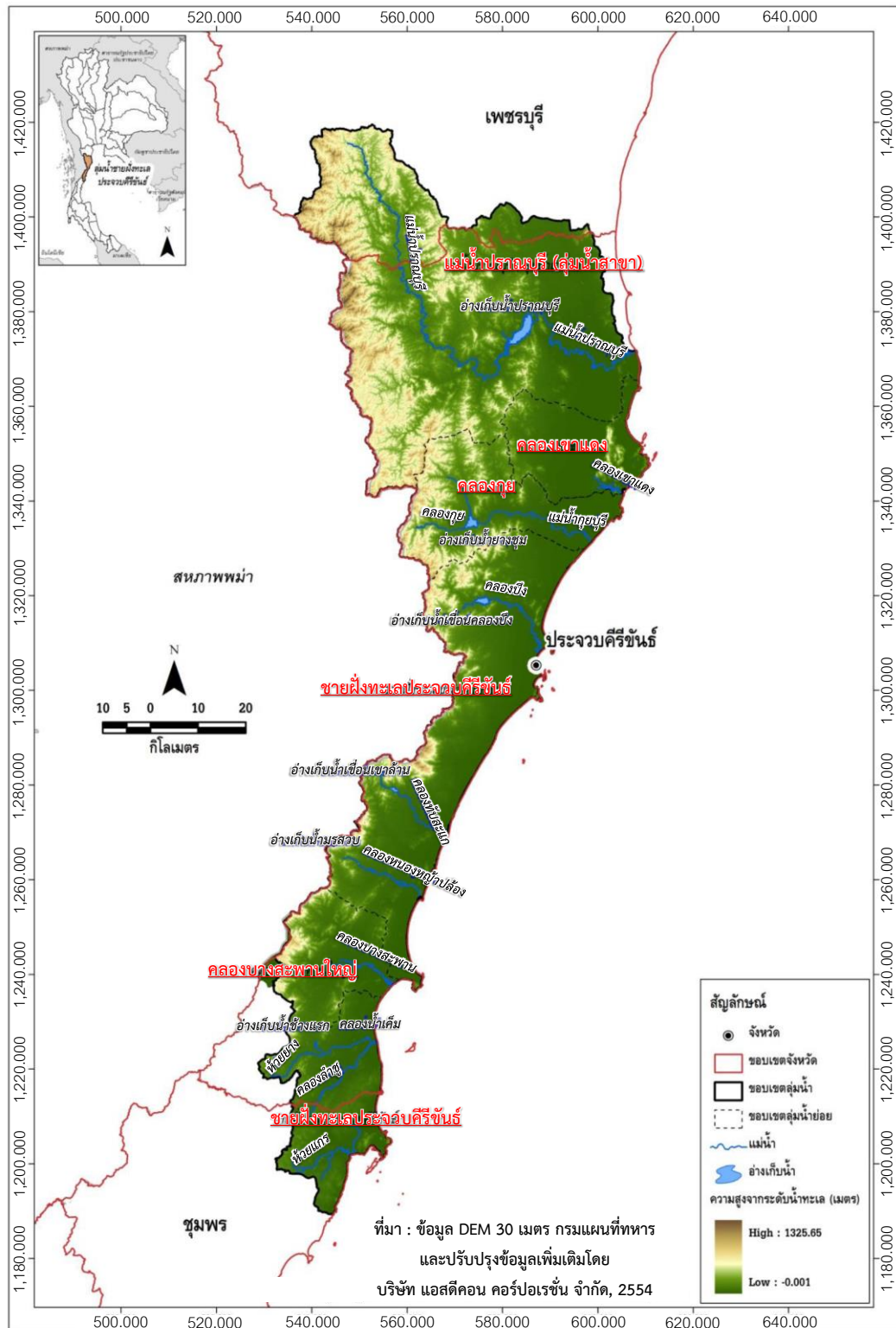
4.1 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาชายฝั่งปราณบุรีอยู่ในบริเวณชายฝั่งทะเล จ.ประจวบคีรีขันธ์ ตั้งอยู่ในเขตลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปราณบุรี ซึ่งเป็นหนึ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์ โดยผลการศึกษาลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษาได้มาจากการรวบรวมข้อมูลจากรายงานการศึกษาต่าง ๆ ประกอบด้วย สภาพภูมิประเทศ และระบบลุ่มน้ำ สภาพอุทุนิยมวิทยา อุทกวิทยา สภาพสมุทรศาสตร์ และสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาดังนี้

4.1.1 สภาพภูมิประเทศและระบบลุ่มน้ำ

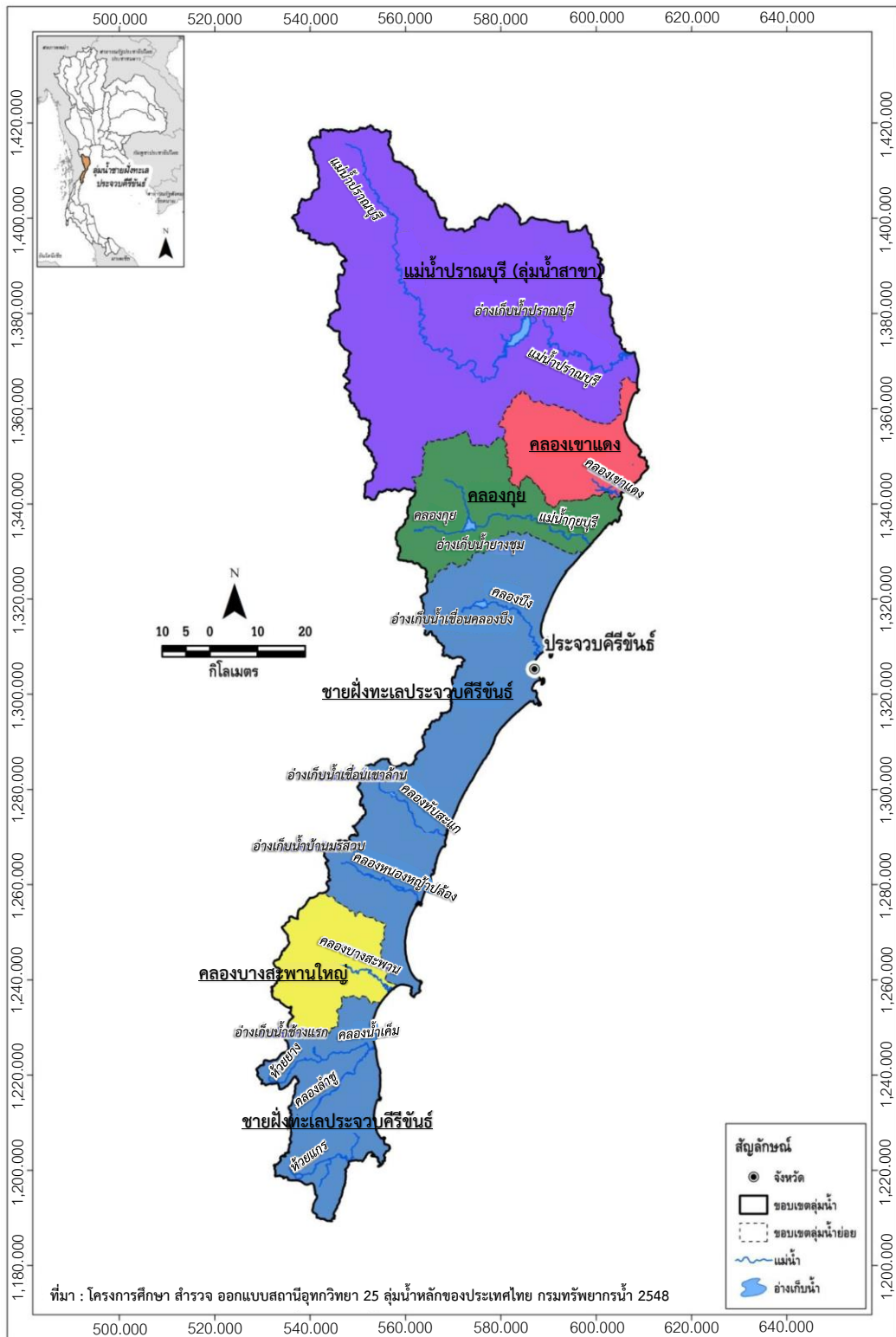
ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์ ตั้งอยู่บริเวณที่แคบที่สุดของประเทศไทย และอยู่ทางใต้สุดของภาคตะวันตก มีพื้นที่ลุ่มน้ำรวมทั้งสิ้นประมาณ 7,097 ตารางกิโลเมตร (ตร.กม.) ครอบคลุม 3 จังหวัด ได้แก่ เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และชุมพร ลักษณะลุ่มน้ำเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบยาววางตัวตามแนวเหนือ-ใต้ ตั้งอยู่ระหว่างเทือกเขาตะนาวศรีและอ่าวไทย ทางทิศตะวันตกมีเทือกเขาตะนาวศรีเป็นพรมแดนระหว่างประเทศไทยและพม่า ทางทิศตะวันออกติดต่อกับทะเลอ่าวไทย ด้านเหนือติดต่อกับ จ.เพชรบุรี และด้านทิศใต้ติดกับ จ.ชุมพร ดังแสดงในรูป 4.1 (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (สสนก.)), 2555)

ระบบลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์แบ่งออกเป็น 5 ลุ่มน้ำสาขาที่อิสระจากกัน คือ 1) ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปราณบุรี 2) ลุ่มน้ำสาขาคลองเขาแดง 3) ลุ่มน้ำสาขาคลองกุย 4) ลุ่มน้ำสาขาคลองบางสะพานใหญ่ และ 5) ลุ่มน้ำสาขาชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์ โดยพื้นที่ศึกษานี้ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปราณบุรี ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 2,991 ตร.กม. (42.14% ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด) ครอบคลุม อ.แก่งกระจาน ท่ายาง และชะอำ ใน จ.เพชรบุรี และ อ.หัวหิน ปราณบุรี กิ่งอ.สามร้อยยอด และกุยบุรี ใน จ.ประจวบคีรีขันธ์ ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปราณบุรี มีแม่น้ำปราณบุรีเป็นแม่น้ำสายหลัก ต้นน้ำไหลมาจากเทือกเขาตะนาวศรีที่เป็นพรมแดนระหว่างประเทศไทยและประเทศพม่า โดยไหลจากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออก ลงสู่อ่าวไทยที่ปากน้ำปราณบุรี (รูป 4.2) แม่น้ำปราณบุรีมีความยาวประมาณ 189 กม. ตอนบนของแม่น้ำมีความลาดชันมาก และค่อนข้างราบในตอนล่าง ความลาดชันเฉลี่ยของแม่น้ำประมาณ 1:590



ที่มา : สสนก. (2555)

รูป 4.1 สภาพภูมิประเทศของกลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์



ที่มา : สสนก. (2555)

รูป 4.2 ระบบลุ่มน้ำสาขาของกลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์

ชายฝั่งทะเล จ.ประจวบคีรีขันธ์มีความยาวประมาณ 247 กม. วางตัวในแนวเกือบทิศเหนือ-ใต้ ส่วนมากมีลักษณะเป็นชายหาดที่ขนานกับแผ่นดิน ประกอบด้วยพื้นที่ชายฝั่งทะเลแบบหาดทราย (178 กม.) หาดทรายปนโคลน (9 กม.) หาดโคลน (1.8 กม.) หาดหิน (0.9 กม.) หัวหาด (55 กม.) และชายฝั่งที่เป็นปากแม่น้ำ (2 กม.) (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561) ลักษณะตะกอนชายฝั่งประกอบด้วยทราย กรวด ทรายแป้ง มีเศษเปลือกหอย ปะการัง และเศษซากพืช กระจายตัวตั้งแต่ อ.หัวหิน ถึง อ.บางสะพาน (กรมทรัพยากรธรณี, 2551a)

สำหรับชายฝั่งทะเลบริเวณปากน้ำปราณบุรีซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ ครอบคลุมตั้งแต่เขาตะเกียบจนถึงเขากะโหลก รวมระยะทางประมาณ 20 กม. ดังแสดงในรูป 1.1 จากการสำรวจภาคสนามพบว่าชายหาดตลอดแนวเป็นหาดทราย บริเวณปากแม่น้ำพบว่ามีเขื่อนกันทรายและคลื่นติดตั้งอยู่ทั้ง 2 ฝั่งของปากแม่น้ำ ยาวประมาณ 800 ม. ซึ่งสร้างเสร็จในปี 2542 (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2546) และพบเขื่อนกันคลื่น (breakwater) จำนวน 3 ตัว แต่ละตัวยาวประมาณ 60 ม. ตั้งอยู่บริเวณด้านเหนือของปากแม่น้ำถัดจากเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการรอกของชายฝั่งในบริเวณด้านหน้าเขื่อนกันทรายและคลื่นทั้ง 2 ฝั่ง และชายฝั่งบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น ดังแสดงในรูป 4.3



รูป 4.3 เขื่อนกันทรายและคลื่นและเขื่อนกันคลื่นที่บริเวณปากน้ำปราณบุรี

4.1.2 สภาพอุตุ-อุทกวิทยา

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์ อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และพายุจรจากทะเลจีนใต้และอ่าวไทย ส่งผลให้เกิดฤดูกาล 3 ฤดู คือฤดูร้อนในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม ฤดูฝนในช่วงเดือนมิถุนายนถึงตุลาคม และฤดูหนาวในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงมกราคม (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2546) อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี มีค่าประมาณ 27.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเดือนเมษายน วัดได้ 34.4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ในช่วงเดือนมกราคม วัดได้ 21.1 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี ร้อยละ 76.5 โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ ร้อยละ 87.9 และ 62 ตามลำดับ ส่วนปริมาณการระเหยโดยเฉลี่ยตลอดทั้งปี มีค่า 1,647.8 มม. ค่าความครึ้มของเมฆโดยเฉลี่ย 6.3 อ็อกต้า และมีความเร็วลมโดยเฉลี่ยประมาณ 2.8 นอต (ตาราง 4.1) (กรมอุตุวิทยามหาวิทยาลัย, 2017)

ปริมาณฝนในลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์ อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งผลให้เกิดฤดูฝนในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม โดยมีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย 1,117 มม. ปริมาณฝนสูงสุดเกิดในเดือนตุลาคม มีปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย 234 มม. ดังแสดงในรูป 4.4

ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์ เกิดขึ้นชัดเจนในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน โดยมีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย 1,727 ล้านลูกบาศก์เมตร (ลบ.ม.) ปริมาณน้ำท่าสูงสุดเกิดในเดือนตุลาคม มีปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย 332 ล้าน ลบ.ม. ดังแสดงในรูป 4.5 (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (สสนก.), 2555)

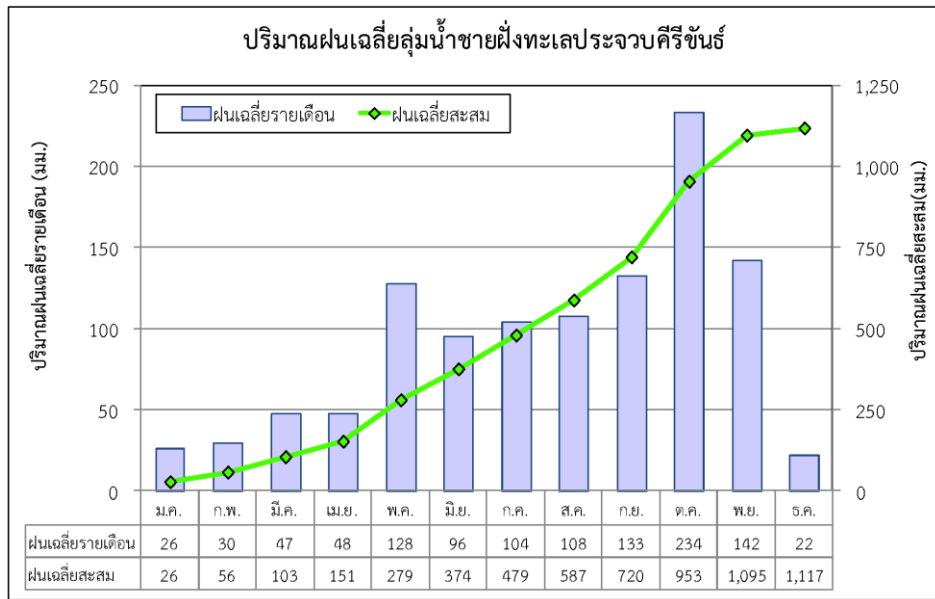
ปริมาณตะกอนในลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์ ยังไม่มีการศึกษาอย่างเป็นระบบ เนื่องจากข้อมูลตะกอนมีอยู่อย่างจำกัด จากการศึกษาของ สสนก. (2555) พบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยรายปีเฉลี่ย (Q_s) มีความสัมพันธ์กับพื้นที่รับน้ำ (A) ในรูปของสมการ $Q_s = 2.0011A^{1.7059}$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.55 จากการศึกษาข้อมูลตะกอนแขวนลอยเท่าที่มีการบันทึกไว้โดยจากกรมชลประทาน พบว่ามีการวัดข้อมูลตะกอนแขวนลอยอยู่ 2 สถานี โดยสถานี Pr.2 ตั้งอยู่เหนือปากน้ำปราณบุรีประมาณ 37 กม. ตามแนวลำน้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9,693 ตัน/ปี สํารวจในปี 2507-2511 และสถานี Pr.3A ซึ่งอยู่ด้านท้ายเขื่อนปราณบุรี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 151,203 ตัน/ปี สํารวจในปี 2512-2513 (กรมชลประทาน, 2555)

ตาราง 4.1 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ จ.ประจวบคีรีขันธ์ ในรอบ 30 ปี โดย กรมอุตุนิยมวิทยา

CLIMATOLOGICAL DATA FOR THE PERIOD 1988-2017

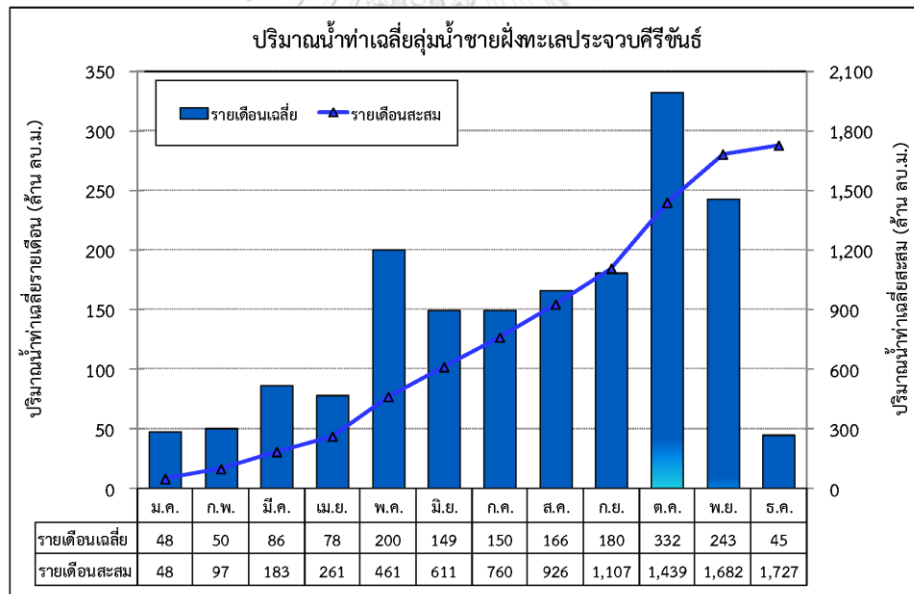
Station PRACHUAP KHIRIKHAN Elevation of station above MSL 4.00 Meters
 Index 48500 Height of barometer above MSL 5.90 Meters
 Station Latitude 11° 50' 0.0" N Height of Thermometer above ground 1.20 Meters
 Longitude 99° 50' 0.0" E Height of wind vane above ground 11.50 Meters
 Height of raingauge 1.00 Meters

Elements	N-Years	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Annual
Pressure(hPa)	30	1012.20	1011.60	1010.40	1009.00	1007.70	1007.40	1007.50	1007.80	1008.50	1009.80	1010.80	1012.10	1009.57
Mean Daily Range	30	3.90	4.00	4.20	4.20	3.90	3.40	3.40	3.50	4.10	4.20	4.00	3.90	3.89
Ext.Max.	29	1020.70	1020.41	1021.22	1016.74	1017.76	1014.51	1014.11	1013.82	1015.88	1016.19	1017.81	1020.65	1021.22
Ext.Min.	29	1005.07	1004.62	1002.20	1001.41	1001.79	1000.64	1000.14	1001.11	1001.43	999.00	998.05	1003.20	998.05
Temperature(Celsius)	30	31.1	32.1	33.0	34.4	34.0	33.3	32.6	32.5	32.7	31.7	31.4	30.7	32.5
Ext.Max.	30	35.5	37.8	39.4	40.0	39.5	39.4	38.0	37.6	37.6	37.0	36.2	36.0	40.0
Mean Min.	30	21.1	22.0	23.6	25.1	25.5	25.5	25.0	25.0	24.8	24.0	23.3	21.7	23.9
Ext.Min.	30	14.5	15.3	18.0	22.0	22.7	20.9	21.9	22.0	22.0	17.9	16.7	14.6	14.5
Mean	30	25.8	26.8	28.1	29.4	29.1	28.6	28.0	28.0	27.9	27.2	26.9	25.8	27.6
Dew Point Temp.(Celsius)	30	20.7	22.2	23.5	24.6	24.4	23.7	23.4	23.3	23.4	23.7	22.0	19.8	22.9
Mean	30	75	77	77	77	77	76	77	77	77	82	76	71	76.5
Mean Max.	30	88	90	90	88	88	86	88	87	88	92	87	83	87.9
Mean Min.	30	59	61	63	62	62	62	63	63	63	68	62	56	62.0
Ext.Min.	30	31	22	29	35	33	38	40	42	39	44	33	26	22.0
Mean	30	6.1	6.8	7.9	9.5	10.7	10.8	10.4	10.4	10.5	8.8	7.3	6.5	8.8
07.00LST	30	5.5	5.8	7.0	8.6	10.3	10.5	10.1	10.1	10.3	8.4	6.8	6.2	8.3
Mean	30	4.5	4.4	4.7	5.2	7.0	7.9	8.3	8.2	8.1	7.5	5.8	4.5	6.3
Prev. Wind	30	NE	S	S	S	W	W	W	W	W	N,NE	N	N	-
Mean	30	2.4	2.5	2.9	2.8	2.5	2.9	2.9	2.9	2.5	1.9	3.4	3.7	2.8
Max.	30	28.0	32.0	35.0	40.0	40.0	36.0	33.0	31.0	35.0	35.0	40.0	29.0	40.0
Total	30	131.5	128.7	158.7	166.3	155.5	139.2	130.3	130.4	125.5	112.5	127.9	141.3	1647.8
Total	30	45.6	19.9	78.5	60.0	114.4	87.0	118.2	89.1	99.7	231.0	135.3	21.9	1100.6
Num. of Days	30	3.6	3.2	4.9	4.9	12.7	14.9	17.2	16.2	14.3	17.2	7.3	2.7	119.1
Daily Max.	30	244.7	43.3	169.6	88.7	199.8	49.5	89.9	45.5	73.1	296.9	181.9	54.6	296.9
Mean	6	-	-	-	-	5.0	-	-	-	-	-	-	-	5.0
Fog	30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Haze	30	19.1	13.1	10.5	5.7	0.6	0.2	0.2	0.3	0.2	4.7	15.5	22.0	92.1
Hail	30	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	1.1
ThunderStorm	30	0.4	0.4	1.7	3.1	5.3	2.8	2.3	1.9	2.8	6.4	2.7	0.6	30.4
Squall	30	0.2	0.1	0.0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	1.7



ที่มา : สสนก. (2555)

รูป 4.4 ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยในกลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์



ที่มา : สสนก. (2555)

รูป 4.5 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยในกลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์

4.1.3 สภาพสมุทรศาสตร์

จากการศึกษาของสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (2546) รายงานว่าสภาพสมุทรศาสตร์บริเวณชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์ ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีคลื่นส่วนใหญ่มาจากทิศเหนือ (N) ถึงตะวันออกเฉียงเหนือเฉียงเหนือ (NNW) เป็นหลัก โดยคลื่นส่วนใหญ่ (มากกว่า 80%) มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.1-1.0 ม. ส่วนในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้คลื่นส่วนใหญ่เคลื่อนที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ถึงทิศตะวันตกเฉียงใต้เฉียงตะวันตก (WSW) โดยมีความสูงคลื่นส่วนใหญ่ (มากกว่า 80%) อยู่ระหว่าง 0.1-1.0 ม. สำหรับในช่วงอิทธิพลของลมมรสุมเปลี่ยนแปลงคลื่นส่วนใหญ่มาจากทิศใต้ (S) ถึงทิศใต้เฉียงใต้ตะวันตก (SSW) และคลื่นส่วนใหญ่มีความสูงไม่เกิน 1 ม.

สำหรับระดับน้ำขึ้นน้ำลงในพื้นที่ศึกษา สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (2546) รายงานผลการวิเคราะห์ระดับน้ำที่สถานีหัวหินในช่วงปี 2518-2536 ว่าพื้นที่ชายฝั่งหัวหินมีระดับน้ำขึ้นน้ำลงสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 1.53 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (ม.รทก.) และ -1.74 ม.รทก. ตามลำดับ และมีค่าระดับน้ำลงเฉลี่ยประมาณ -0.65 ม.รทก.

จากสถิติพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย รอบ 67 ปี (ปี 2494-2561) รวบรวมโดย กรมอุตุนิยมวิทยา พบว่าพายุที่เคลื่อนผ่านพื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์ มีจำนวนทั้งสิ้น 22 ลูก โดยแบ่งเป็นพายุไต้ฝุ่น 5 ลูก พายุโซนร้อน 7 ลูก และพายุดีเปรสชัน 10 ลูก ดังมีรายละเอียดข้อมูลพายุที่รวบรวมได้แสดงไว้ในตาราง 4.2 สำหรับพายุส่วนใหญ่พบว่าเกิดในช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน เป็นหลัก

4.1.4 สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

สำหรับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง จ.ประจวบคีรีขันธ์ที่ผ่านมา กรมทรัพยากรธรณี (2551a) รายงานว่า ประมาณ 0.5% ของความยาวชายฝั่ง จ.ประจวบคีรีขันธ์ เกิดการกัดเซาะรุนแรง (>5 ม./ปี) โดยพบบริเวณบ้านหนองเก่า-บ้านหนองเสือ อ.ปราณบุรี ส่วนชายฝั่งที่มีอัตราการกัดเซาะปานกลาง (1-5 ม./ปี) พบว่าเกิดขึ้นประมาณ 22% ของแนวชายฝั่ง เช่นที่ อ.หัวหิน พบการกัดเซาะชายฝั่งที่บริเวณบ้านเสาธง-บ้านเขาตะเกียบ บ้านเขาเต่า และ อ.ปราณบุรีพบที่ ชายฝั่งปากน้ำปราณ-บ้านหนองเก่า บ้านหนองเสือ-บ้านปรือใหญ่ นอกจากนี้ประมาณ 4% ของแนวชายฝั่งทั้งหมดเป็นชายฝั่งแบบสะสมตัวโดย พบที่บริเวณหาดปราณบุรี ชายฝั่งเขากะโหลก อ.ปราณบุรี

ตาราง 4.2 ข้อมูลพายุที่เคลื่อนผ่านพื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์

ลำดับที่	ปี	ชื่อพายุ	ช่วงเวลา
1	2495	พายุโซนร้อน SHIRLEY (5216)	16-17 ต.ค.
2	2499	พายุโซนร้อน (56XX)	14 พ.ย.
3	2501	พายุดีเปรสชัน	20 ต.ค.
4	2507	ไต้ฝุ่น KATE (6430)	18 พ.ย.
5	2508	พายุดีเปรสชัน	15-19 ก.ย.
6	2510	พายุดีเปรสชัน	5-6 ต.ค.
7	2511	พายุโซนร้อน HESTER (6820)	21-22 ต.ค.
8	2516	พายุดีเปรสชัน	5 ต.ค.
9	2516	พายุโซนร้อน SARAH (7319)	13 พ.ย.
10	2516	พายุโซนร้อน THELMA (7320)	18-19 พ.ย.
11	2532	ไต้ฝุ่น GAY (8929)	4 พ.ย.
12	2534	พายุดีเปรสชัน	27 ต.ค.
13	2535	ไต้ฝุ่น ANGELA (9224)	30 ต.ค.
14	2539	พายุดีเปรสชัน	30 ต.ค.
15	2539	พายุโซนร้อน ERNIE (9625)	18 พ.ย.
16	2540	ไต้ฝุ่น LINDA (9728)	4 พ.ย.
17	2541	พายุโซนร้อน CHIP (9813)	17 พ.ย.
18	2542	พายุดีเปรสชัน	25 ต.ค.
19	2546	พายุดีเปรสชัน	24 ต.ค.
20	2549	ไต้ฝุ่น DURIAN (0621)	6 ธ.ค.
21	2550	พายุดีเปรสชัน	1 พ.ค.
22	2561	พายุดีเปรสชัน	20 ต.ค.

4.2 สถิติข้อมูลอุตุนิยมวิทยา อุทกศาสตร์ และสมุทรศาสตร์

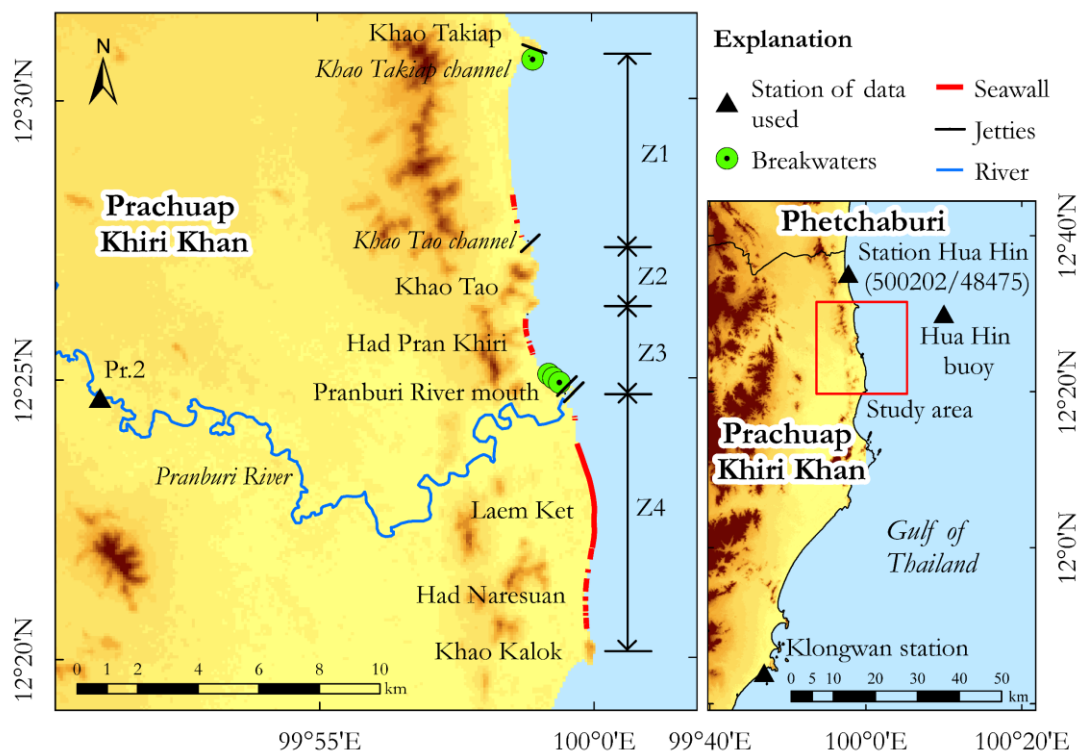
ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ GENESIS มีข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา อุทกศาสตร์ และสมุทรศาสตร์ของพื้นที่ศึกษา ที่ต้องการเพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (input data) สำหรับการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง รวมถึงใช้เพื่อประกอบการวิเคราะห์ผลการศึกษาในครั้งนี้ โดยพารามิเตอร์หลักที่ถูกนำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ข้อมูลลม

(ทิศทาง) ข้อมูลลักษณะคลื่น (ความสูงคลื่น และคาบเวลาคลื่น) ข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลง โดยรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตามตาราง 3.1 สำหรับผลการวิเคราะห์สถิติของพารามิเตอร์ดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

4.2.1 สถิติข้อมูลลมจากสถานีตรวจอากาศ

การจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง GENESIS นั้น ข้อมูลลักษณะคลื่นเป็นข้อมูลนำเข้าหลักในการสร้างแบบจำลอง อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาความเหมาะสมในการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ (กรมเจ้าท่า, 2539a) ข้อมูลคลื่นตรวจวัดที่ทุ่นหัวหิน ภายใต้โครงการ SEAWATCH มีจำกัด เพียง 1 ปี ดังนั้นในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง อันเนื่องมาจากเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ด้วยแบบจำลอง GENESIS จึงเลือกใช้ข้อมูลคลื่นทำนาย (hindcasting wave) จากข้อมูลลม โดยการศึกษาครั้งนั้นเลือกใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศหัวหินของกรมอุตุนิยมวิทยา ช่วงปี 2524-2535 ในการสังเคราะห์เป็นข้อมูลสภาพคลื่นตัวแทนในช่วง 12 ปี สำหรับใช้ประกอบการศึกษาและออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ดังนั้นในการศึกษานี้ได้รวบรวมข้อมูลลมราย 3 ชั่วโมง (ความเร็วและทิศทาง) ระหว่างปี 2524-2535 ของสถานีตรวจอากาศหัวหิน (500202/48475) ซึ่งตั้งอยู่ที่ตำแหน่ง $99^{\circ} 57.23'E$ และ $12^{\circ} 34.68'N$ (รูป 4.6) (ห่างจากชายฝั่งประมาณ 400 ม.) เพื่อนำมาวิเคราะห์สถิติข้อมูลลมบนบก สำหรับใช้ประกอบการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะข้อมูลบนบก และข้อมูลลมในทะเลในพื้นที่ศึกษา รูป 4.7 แสดงผังทิศทางและความเร็วลม (wind rose) ที่บันทึกได้ที่สถานีตรวจอากาศหัวหิน โดยผลวิเคราะห์สถิติข้อมูลลมที่สถานีตรวจอากาศหัวหิน สรุปได้ดังนี้ (รายละเอียดข้อมูลสถิติลม แสดงในตาราง ข.1-4 ภาคผนวก ข.1)

ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างเดือนตุลาคม ถึง มกราคม ลมส่วนใหญ่ (43%) มีทิศทางมาจากทิศ N-NE โดย 72% ของข้อมูลลมในช่วงนี้ มีความเร็วประมาณ 0.1-5 นอต และอีก 25% มีความเร็วประมาณ 5-10 นอต สำหรับช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนเมษายน ถึง สิงหาคม) ลมประมาณ 57% มาจากทิศ SW-W และส่วนใหญ่มีความเร็วลมระหว่าง 0.1-5 นอต (70%) และ 5-10 นอต (28%) ส่วนในช่วงมรสุมเปลี่ยนแปลง (Transition monsoon) ซึ่งอยู่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง กรกฎาคม ลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศ SE-SW เป็นหลัก (66%) โดยมีความเร็วลมระหว่าง 0.1-5 นอต อยู่ 63% และมีความเร็ว 5-10 นอต อยู่ 33% จากสถิติข้อมูลลมในช่วง 12 ปีที่พิจารณา พบว่าลมส่วนใหญ่พัดมาในทิศ SW-W (31%) และมีความเร็วระหว่าง 0.1-5 นอตเป็นส่วนมาก (68%) สำหรับความเร็วลมสูงสุดเคยบันทึกได้ มีค่า 49 นอต

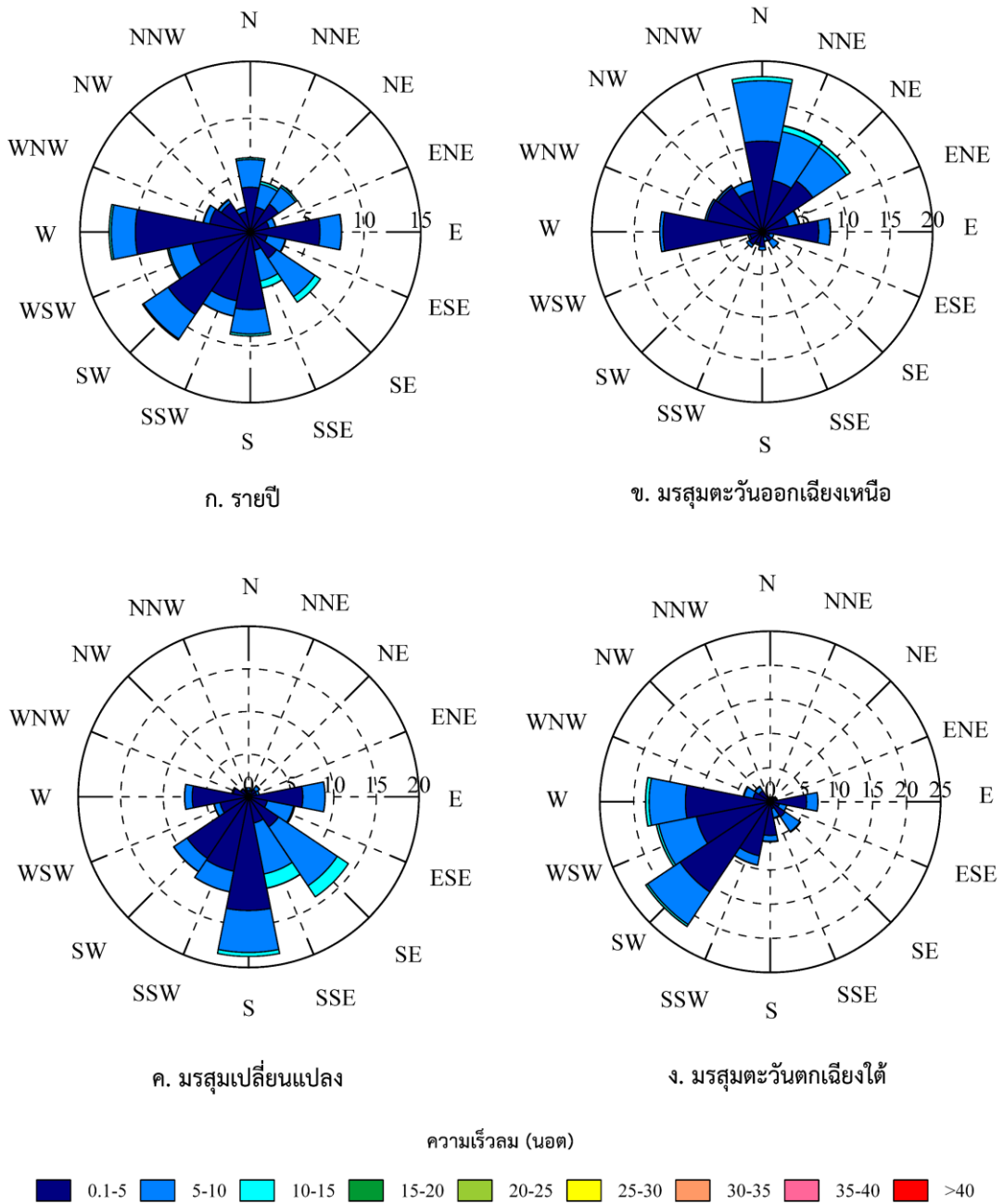


รูป 4.6 พื้นที่ศึกษาบริเวณเขาตะเกียบถึงเขากะโหลก และตำแหน่งสถานีตรวจวัดข้อมูล

นอกจากนี้ เนื่องจากข้อมูลคลื่นจากทุ่นตรวจวัดไม่มีบันทึกข้อมูลทิศทางคลื่น ในการศึกษานี้ จึงเลือกใช้ข้อมูลทิศทางลมจากทุ่นหัวหิน ระหว่างปี 2540-2543 เป็นตัวแทนทิศทางคลื่นที่นำเข้ามาแบบจำลอง ดังนั้นจึงรวบรวมข้อมูลลมราย 3 ชั่วโมง ของสถานีตรวจอากาศหัวหิน ระหว่างปี 2540-2543 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะข้อมูลลมที่ตรวจวัดได้ระหว่างสถานีในทะเลและสถานีบนบก รูป 4.8 แสดงผังทิศทางและความเร็วลม (wind rose) ที่บันทึกได้ที่สถานีตรวจอากาศหัวหินที่รวบรวมได้ โดยผลวิเคราะห์สถิติข้อมูลลมที่สถานีตรวจอากาศหัวหิน สรุปได้ดังนี้ (รายละเอียดข้อมูลสถิติลมดังแสดงในตาราง ข.5-8 ในภาคผนวก ข.1

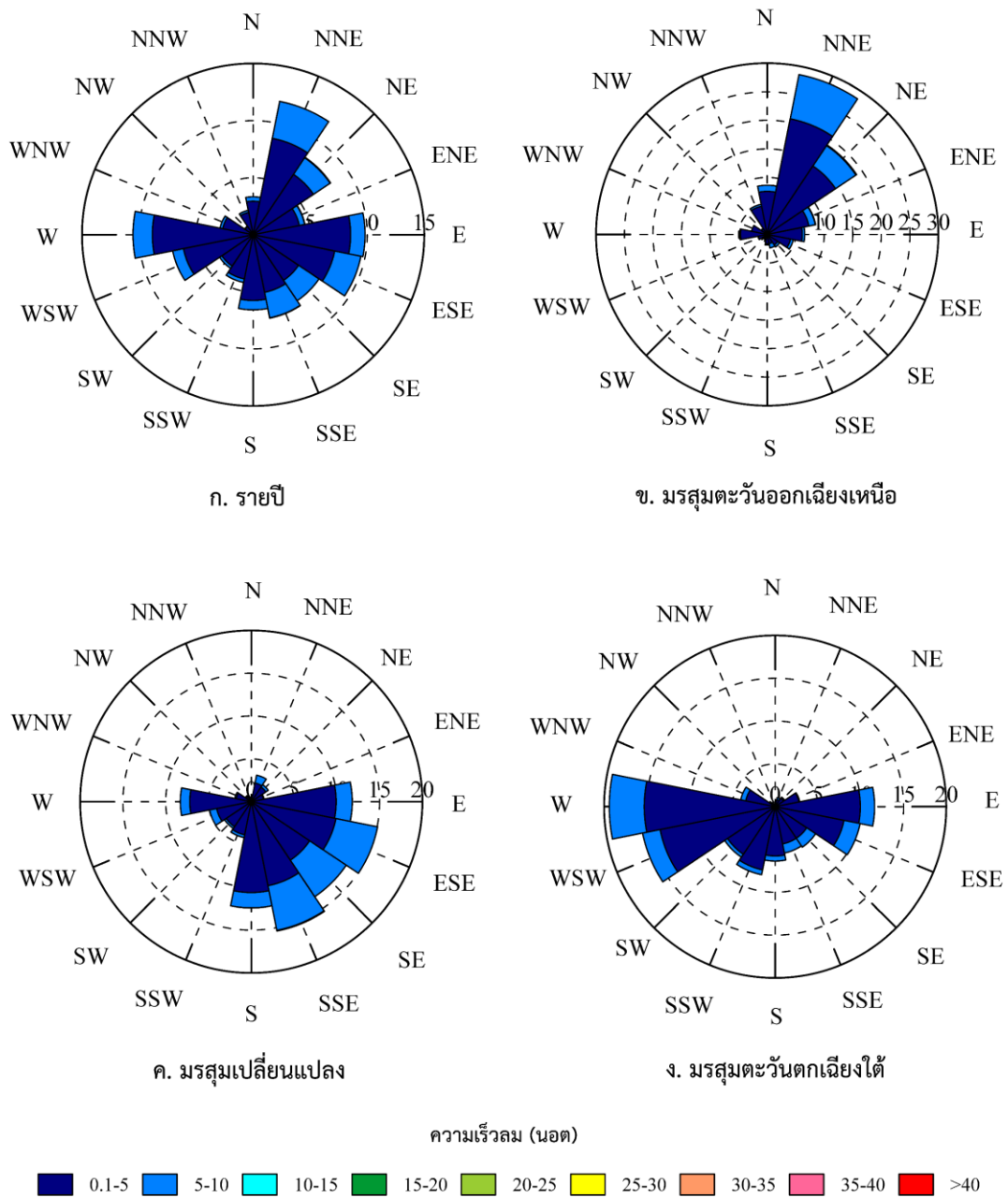
ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมส่วนใหญ่ (47%) มีทิศทางมาจาก NNE-NE โดย 82% ของข้อมูลลมในช่วงนี้มีความเร็วประมาณ 0.1-5 นอต และอีก 17% มีความเร็วประมาณ 5-10 นอต สำหรับช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมประมาณ 35% มาจากทิศ WSW-W และส่วนใหญ่มีความเร็วลมระหว่าง 0.1-5 นอต (85%) และ 5-10 นอต (15%) ส่วนในช่วงมรสุมเปลี่ยนแปลง ลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศ E-S เป็นหลัก (68%) โดยมีความเร็วลมระหว่าง 0.1-5 นอต อยู่ 76% และมีความเร็ว 5-10 นอต อยู่ 23% จากสถิติข้อมูลลมในช่วง 4 ปีที่พิจารณา พบว่าลมส่วนใหญ่พัดมาในทิศ NNE-NE (20%) และ E-ESE (19%) มีความเร็วระหว่าง 0.1-5 นอตเป็นส่วนมาก (82%) สำหรับความเร็วลมสูงสุดเคยบันทึกได้ มีค่า 15 นอต

ข้อมูลลมจากสถานีตรวจอากาศหัวหิน ระหว่างปี 2524-2535



รูป 4.7 ผังทิศทางและความเร็วลม ในช่วงปี 2524-2535 ที่สถานีตรวจอากาศหัวหิน

ข้อมูลลมจากสถานีตรวจอากาศหัวหิน ระหว่างปี 2540-2543



รูป 4.8 ฝั่งทิศทางและความเร็วลม ในช่วงปี 2540-2543 ที่สถานีตรวจอากาศหัวหิน

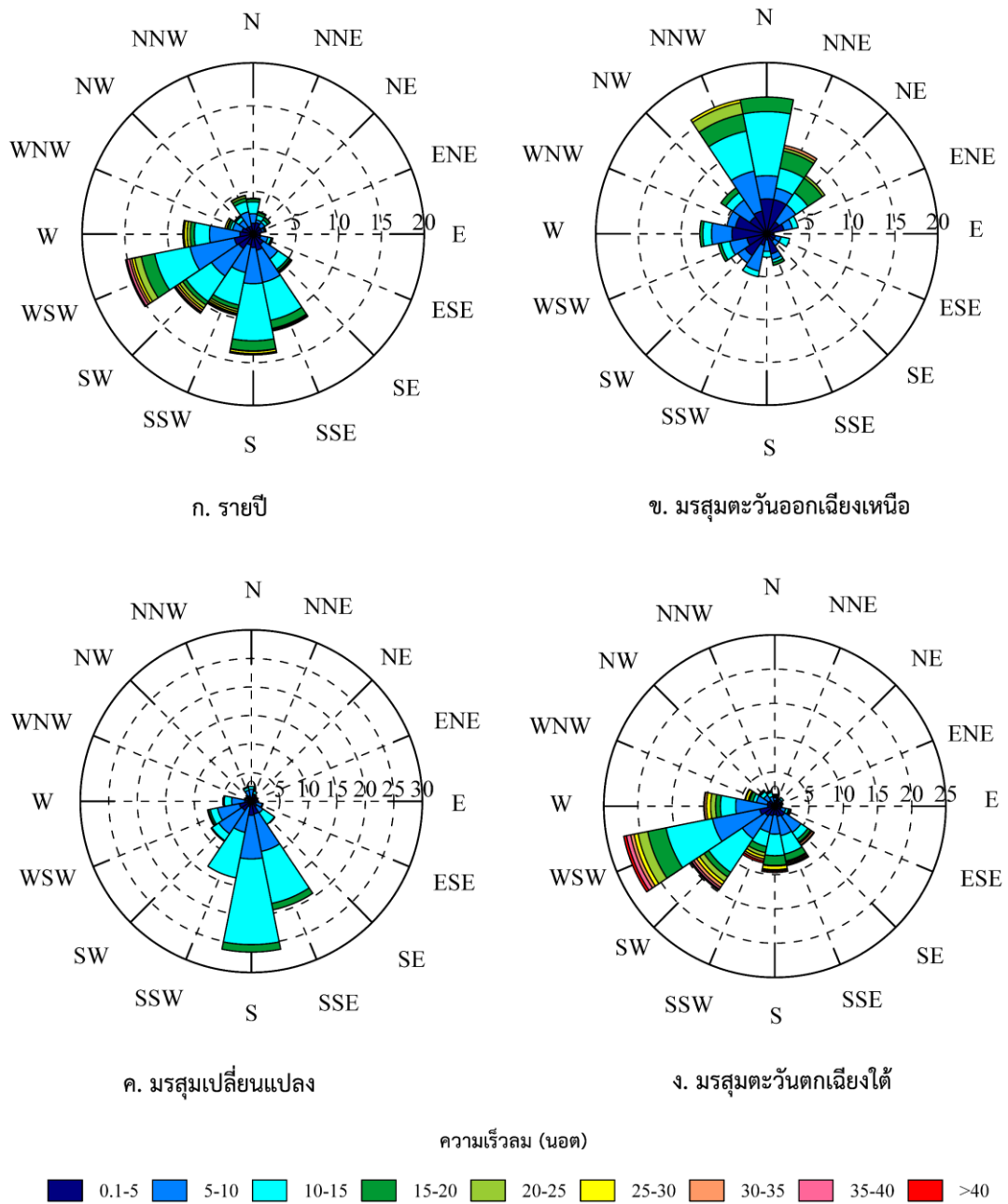
4.2.2 สถิติข้อมูลลมจากทุ่นสมุทรศาสตร์

จากการรวบรวมข้อมูลลมในทะเลบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ศึกษา พบว่ามีการวัดข้อมูลลมในพื้นที่ทะเลอ่าวไทยโดยทุ่นหัวหิน ซึ่งเป็นหนึ่งในทุ่นสมุทรศาสตร์ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) โดยตำแหน่งทุ่นหัวหินอยู่ที่ $100^{\circ}10'E$ และ $12^{\circ}31'N$ ซึ่งห่างจากปากน้ำปราณบุรีไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณ 20 กม. (รูป 4.6) และจุดที่ทุ่นตั้งอยู่มีความลึกประมาณ 18-22 ม. สำหรับข้อมูลลมที่รวบรวมได้จากทุ่นสมุทรศาสตร์หัวหินในการศึกษาคั้งนี้เป็นข้อมูลความเร็วลมและทิศทางลม ราย 6 ชั่วโมง ที่บันทึกระหว่างปี 2540-2543 จากการตรวจสอบความต่อเนื่องของข้อมูลทุ่นที่รวบรวมได้พบว่า ข้อมูลลมที่บันทึกได้มีความสมบูรณ์และต่อเนื่องเพียง 50% ของช่วงเวลาที่วัดข้อมูล โดยในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ข้อมูลวัดได้มีประมาณ 68% ของช่วงเวลาที่วัดข้อมูล ส่วนในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง มีการบันทึกข้อมูลได้เพียง 51% และ 36% ตามลำดับ โดยรูป 4.9 แสดงผังทิศทางและความเร็วลม (wind rose) ที่ทุ่นหัวหินในช่วง 3 ปีของข้อมูลที่รวบรวมได้ และผลการวิเคราะห์สถิติข้อมูลลมที่ทุ่นหัวหิน สามารถสรุปได้ดังนี้ (แสดงใน ตาราง ข.9-12 ภาคผนวก ข.2)

ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมส่วนใหญ่ (50%) มีทิศทางมาจาก NNW-NE โดย 37% ของข้อมูลลมในช่วงนี้ความเร็วประมาณ 0.1-5 นอต อีก 27% และ 23% มีความเร็วประมาณ 5-10 นอต และ 10-15 นอต ตามลำดับ สำหรับช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมประมาณ 48% มาจากทิศ SW-W และส่วนใหญ่มีความเร็วลมระหว่าง 5-10 นอต (32%) และ 10-15 นอต (27%) ส่วนในช่วงมรสุมเปลี่ยนแปลง ลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศ SSE-SSW เป็นหลัก (59%) โดยมีความเร็วลมระหว่าง 10-15 นอต อยู่ 41% และมีความเร็ว 5-10 นอต อยู่ 36% จากสถิติข้อมูลลมในช่วง 4 ปีที่พิจารณาพบว่าลมส่วนใหญ่พัดมาในทิศ SSE-WSW (61%) และ มีความเร็วระหว่าง 5 -15 นอตเป็นส่วนมาก (64%) สำหรับความเร็วลมสูงสุดเคยบันทึกได้ มีค่าประมาณ 45 นอต

นอกจากนี้ จากผลการศึกษาสถิติลมในทะเลเปรียบเทียบกับข้อมูลลมบนแผ่นดิน พบว่าในแต่ละฤดูมรสุมมีทิศทางที่ลมพัดผ่านใกล้เคียงกัน โดยในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศ NNW-NE ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ลมพัดมาจากทิศ SW-W และในช่วงมรสุมเปลี่ยนแปลง ส่วนใหญ่ลมพัดมาในจากทิศ ESE-S อย่างไรก็ตามข้อมูลลมในทะเลจากทุ่นศาสตร์และลมบนบกระหว่างปี 2540-2543 มีทิศทางของลมรายปีที่เกือบตรงข้ามกัน โดยลมบนบกส่วนใหญ่พัดมาจากทิศ N-E ในขณะที่ลมในทะเลส่วนใหญ่มีทิศ SSE-WSW สำหรับความเร็วลมพบว่า ลมในทะเลมีความเร็วลมมากกว่าลมบก

ข้อมูลลมจากท่อนสมุทรศาสตร์หัวหิน ระหว่างปี 2540-2543



รูป 4.9 ฝั่งทิศทางและความเร็วลม ในช่วงปี 2540-2543 ที่ท่อนสมุทรศาสตร์หัวหิน

4.2.3 สถิติข้อมูลคลื่นจากทุ่นสมุทรศาสตร์

จากการรวบรวมข้อมูลคลื่นในพื้นที่ศึกษา พบว่าในช่วงปี 2540-2543 ทุ่นสมุทรศาสตร์หัวหิน มีการวัดลักษณะของคลื่นไว้ โดยข้อมูลที่บันทึกได้ ประกอบด้วย ข้อมูลความสูงคลื่น (wave height, H) และคาบเวลาคคลื่น (wave period, T) ราย 6 ชั่วโมง แต่ไม่มีการวัดทิศทางคลื่น (direction) จากการตรวจสอบข้อมูลที่รวบรวมได้ พบว่าข้อมูลที่บันทึกได้มีเพียงประมาณ 50% ของช่วงเวลาที่วัด ข้อมูล ดังแสดงในตาราง 4.3 และรูป 4.10 พบว่าในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ข้อมูลที่วัดได้มีความสมบูรณ์ประมาณ 67% ของช่วงเวลาการวัดข้อมูล ส่วนช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง สามารถบันทึกข้อมูลได้ประมาณ 51% และ 36% ของช่วงเวลาการวัดข้อมูล ตามลำดับ สำหรับผลการวิเคราะห์สถิติความสูงคลื่น (ตาราง 4.4) และสถิติคาบเวลาคคลื่น (ตาราง 4.5) ที่บันทึกได้ที่ทุ่นหัวหิน พบว่าคลื่นส่วนใหญ่ (61%) มีความสูงในช่วง 0.1-0.5 ม. รองลงมาคือ คลื่นขนาด 0.5-1.0 ม. คิดเป็น 33% ของข้อมูล ส่วนคลื่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 1.0 ม. ขึ้นไป เกิดขึ้นน้อยกว่า 6% ของข้อมูลทั้งหมด คาบเวลาของคลื่นที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ (63%) มีค่าอยู่ในช่วง 3-4 วินาที สำหรับสถิติความสูงและคาบเวลาคคลื่นรายฤดูกาล สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

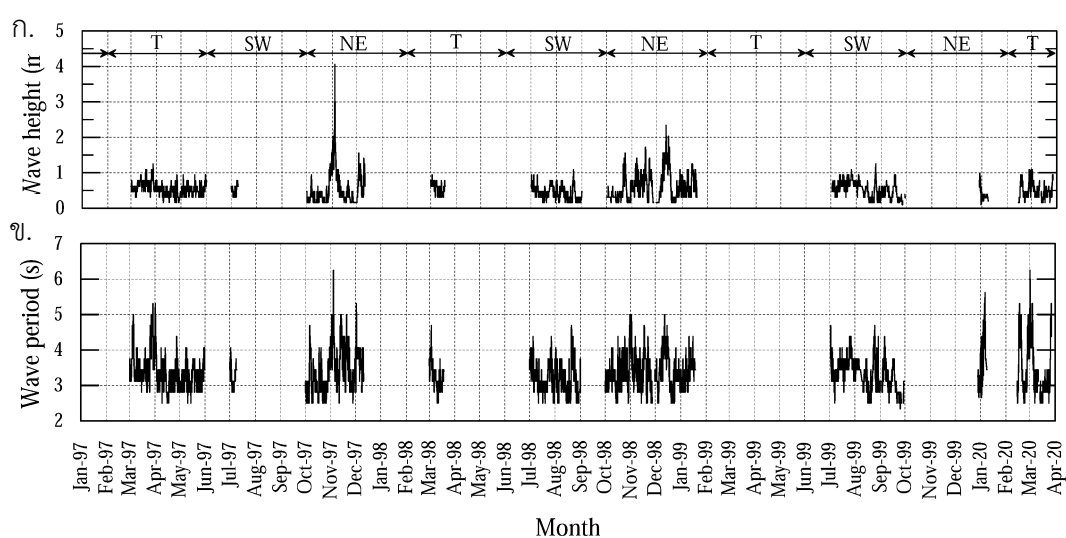
ตาราง 4.3 สรุปข้อมูลคลื่นที่สถานีตรวจวัดทุ่นสมุทรศาสตร์หัวหิน ระหว่างปี 2540-2543

Data	Wave height (m)				Wave period (s)			
	All	NE	T	SW	All	NE	T	SW
Number of data	2,380	753	647	980	2380	753	647	980
Missing data	2,347	723	1,140	484	2,347	723	1,140	484
Total data	4,727	1,476	1,787	1,464	4,727	1,476	1,787	1,464
Percent data recorded	50.3	51.0	36.2	66.9	50.3	51.0	36.2	66.9
Wave data								
Max	4.06	4.06	1.25	1.25	6.25	6.25	6.25	5.31
Mean	0.52	0.58	0.54	0.46	3.36	3.44	3.41	3.27
Min	0.10	0.10	0.16	0.10	2.34	2.50	2.50	2.34
SD	0.30	0.43	0.20	0.21	0.54	0.58	0.60	0.45

จากข้อมูลคลื่นเท่าที่รวบรวมได้พบว่า ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ คลื่นส่วนใหญ่ (59% ของข้อมูล) มีความสูงในช่วง 0.1-0.5 ม. สำหรับการเกิดคลื่นที่มีช่วงความสูงระหว่าง 0.5-1.5 ม. คิดเป็น 37% ของข้อมูล ส่วนคลื่นที่มีความสูงมากกว่า 1.5 ม. เกิดขึ้นประมาณ 4% นอกจากนี้ยังพบว่าคลื่นที่บันทึกได้ส่วนใหญ่ มีคาบเวลาคคลื่นประมาณ 3-4 วินาที (58%) สำหรับความสูงคลื่นสูงสุด

ที่มีการบันทึกไว้ได้ มีค่าประมาณ 4.06 ม. โดยเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน 2540 ซึ่งเป็นช่วงที่พายุไต้ฝุ่นลินดาพัดผ่านอ่าวไทย

ส่วนในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ คลื่นส่วนใหญ่ (67% ของข้อมูล) มีความสูงประมาณ 0-0.5 ม. และมีคลื่นที่มีความสูงในช่วง 0.5-1.5 ม. เกิดขึ้นประมาณ 33% โดยความสูงคลื่นสูงสุดที่บันทึกได้ในช่วงฤดูนี้มีค่า 1.25 ม. โดยคลื่นส่วนใหญ่ (67%) ที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูนี้มีคาบเวลาคลื่นประมาณ 3-4 วินาที สำหรับคลื่นในช่วงฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง จากข้อมูลที่รวบรวมได้พบว่า คลื่นส่วนใหญ่ (54%) มีความสูงคลื่นประมาณ 0.1-0.5 ม. ในขณะที่คลื่นที่มีความสูงอยู่ระหว่าง 0.5-1.25 ม. เกิดขึ้นรวมกันประมาณ 45% ความสูงคลื่นสูงสุดที่วัดได้ในช่วงฤดูนี้มีค่า 1.25 ม. และคลื่นส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้น (64%) มีคาบเวลาประมาณ 3-4 วินาที



รูป 4.10 ข้อมูลอนุกรมเวลา (time-series) ของคลื่นจากทุ่นสมุทรศาสตร์หัวหิน

ตาราง 4.4 ค่าสถิติข้อมูลความสูงคลื่นในช่วงต่าง ๆ จากสถานีตรวจวัดทุ่นสมุทรศาสตร์หัวหิน ระหว่างปี 2540-2543

Monsoon	Wave height (m) (%)										Total
	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	
NE	447 (59.36)	192 (25.50)	84 (11.16)	24 (3.19)	4 (0.53)	1 (0.13)	-	-	1 (0.13)	-	753 (100)
T	352 (54.40)	282 (43.59)	13 (2.01)	-	-	-	-	-	-	-	647 (100)
SW	653 (66.63)	321 (32.76)	6 (0.61)	-	-	-	-	-	-	-	980 (100)
Total	1,452 (61.01)	795 (33.40)	103 (4.33)	24 (1.01)	4 (0.17)	1 (0.04)	-	-	1 (0.04)	-	2,380 (100)

Remark: NE= Northeast monsoon, T= Transitional monsoon, SW= Southwest monsoon

ตาราง 4.5 ค่าสถิติข้อมูลคาบเวลาคลิ้งในช่วงต่าง ๆ จากสถานีตรวจวัดหุนสมุทรศาสตร์หัวหิน ระหว่างปี 2540-2543

Monsoon	Wave period (s) (%)									Total
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	
NE	-	-	165 (21.91)	437 (58.03)	145 (19.26)	5 (0.66)	1 (0.13)	-	-	753 (100)
T	-	-	134 (20.71)	412 (20.71)	91 (63.68)	9 (1.39)	1 (0.15)	-	-	647 (100)
SW	-	-	254 (25.92)	655 (25.92)	70 (66.84)	1 (0.1)	-	-	-	980 (100)
Total	-	-	553 (23.24)	1504 (63.19)	306 (12.86)	15 (0.63)	2 (0.08)	-	-	2,380 (100)

Remark: NE= Northeast monsoon, T= Transitional monsoon, SW= Southwest monsoon

ในการศึกษาครั้งนี้ต้องการข้อมูลคลิ้งที่มีความต่อเนื่องอย่างน้อย 1 ปี เพื่อใช้เป็นตัวแทนลักษณะคลิ้งที่เกิดขึ้นในพื้นที่ สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง โดยแบบจำลอง GENESIS ซึ่งจากข้อมูลที่รวบรวมได้ แม้จะมีจำนวนข้อมูลบันทึกอยู่ในช่วง 4 ปี แต่ยังขาดความต่อเนื่องของข้อมูล ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้ข้อมูลคลิ้งของปี 2540 เป็นหลัก เนื่องจากมีความสมบูรณ์ของข้อมูลมากที่สุด ส่วนข้อมูลที่ขาดหายไปในแต่ละเดือนได้ใช้ข้อมูลที่มีการวัดในปี 2541-2543 มาทดแทน เพื่อให้ได้ข้อมูลตัวแทนคลิ้งของทะเลหัวหินที่ต่อเนื่องครบ 1 ปี สำหรับใช้ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยแบบจำลอง GENESIS โดยข้อมูลลักษณะคลิ้งราย 6 ชั่วโมงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แสดงไว้ในภาคผนวก ข.3

4.2.4 ลักษณะระดับน้ำขึ้นน้ำลง

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง GENESIS สามารถจำลองการตอบสนองของแนวชายฝั่ง อันเนื่องมาจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงได้ ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งอันเนื่องมาจากเขื่อนกันทรายและคลิ้งฯ โดยพิจารณาอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งในขั้นตอนการศึกษาและออกแบบโครงการ ไม่ได้พิจารณาพารามิเตอร์นี้ในการจำลองแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ จากการรวบรวมข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลง พบว่ามีสถานีวัดระดับน้ำเพียง 1 สถานีที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษา คือ สถานีวัดระดับน้ำคลองวาฬ ของกรมเจ้าท่า ตั้งอยู่ที่ท่าเทียบเรือคลองวาฬ ต.คลองวาฬ อ.เมือง จ.ประจวบคีรีขันธ์ ($99^{\circ} 46.94'E$ และ $11^{\circ} 44.03'N$) ซึ่งมีการบันทึกข้อมูลระดับน้ำในช่วงปี 2549-2557 (ค.ศ. 2006-2014) อย่างไรก็ตามเนื่องจากปี 2549 และ 2557 (ค.ศ. 2006 และ 2014) มีการบันทึกข้อมูลในช่วงสั้น ๆ จึงไม่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้

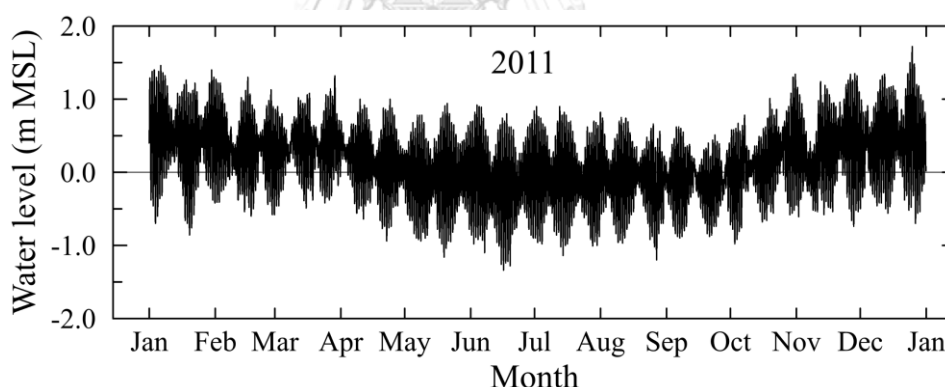
ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำขึ้นลงในปี 2554 (ค.ศ.2011) เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองคณิตศาสตร์ เนื่องจากเป็นปีที่มีข้อมูลต่อเนื่อง และครบสมบูรณ์ตลอดทั้งปี ดังแสดงในรูป 4.11 ส่วนกราฟแสดงระดับน้ำรายเดือนที่สถานีคลองวาฬ ปี 2554 (ค.ศ. 2011) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

นี้ แสดงในภาคผนวก ข.4 สำหรับผลวิเคราะห์สถิติของข้อมูลระดับน้ำที่ใช้ในการศึกษา พบว่า ระดับน้ำสูงสุดมีค่า 1.72 ม.รทก. และระดับน้ำต่ำสุด -1.34 ม.รทก. โดยมีพิสัย (range) น้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย 1.2 ม. และค่าพิสัยของน้ำขึ้นน้ำลงสูงสุดมีค่า 2.2 ม. (ตาราง 4.6)

ตาราง 4.6 สถิติระดับน้ำที่สถานีคลองวาฬ ระหว่างปี 2550-2556 (ค.ศ. 2007-2013)

Water level	Klongwan station						
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
H'est H.W. (m MSL)	1.56	1.62	1.54	1.58	1.72	1.45	1.46
M.H.H.W. (m MSL)	1.19	1.25	1.15	1.19	1.14	0.98	0.99
M.L.H.W. (m MSL)	-1.03	-0.98	-1.03	-0.93	-0.92	-0.95	-0.87
L'est L.W. (m MSL)	-1.40	-1.46	-1.22	-1.18	-1.34	-1.38	-1.30
Max range (m)	2.23	2.40	2.32	2.26	2.18	2.12	2.18
Avg max range (m)	2.22	2.23	2.18	2.12	2.06	1.92	1.85
Avg range (m)	1.37	1.34	1.31	1.31	1.21	1.16	1.08

Remark: H'est H.W.= Highest High Water, M.H.H.W.= Mean Higher Water, M.L.L.W.= Mean Lower Low Water, L'est L.W.= Lowest Low Water



รูป 4.11 ข้อมูลอนุกรมเวลา (time-series) ของระดับน้ำขึ้นลงที่สถานีคลองวาฬ
จ.ประจวบคีรีขันธ์ ปี 2554 (ค.ศ. 2011)

4.3 ลักษณะตะกอนชายฝั่งและอัตราการทับถมของตะกอนด้วยเทคนิคนิวเคลียร์

ในการศึกษาลักษณะตะกอนชายฝั่งและอัตราการทับถมของตะกอนด้วยเทคนิคนิวเคลียร์ ได้สำรวจภาคสนามและเก็บตัวอย่างตะกอนผิวดิน นำมาวิเคราะห์หาชนิด ขนาด และการกระจายตัวตามวิธีการวิเคราะห์ขนาดตะกอน (soil particle-size analysis) มาตรฐาน ASTM D422 และเก็บตัวอย่างตะกอนในแนวลึก (sediment cores) นำมาวิเคราะห์อายุและอัตราการทับถมของตะกอน

ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์ด้วยวิธีตะกั่ว-210 (^{210}Pb radiometric dating technique) รายละเอียดของผลการศึกษามีดังต่อไปนี้

4.3.1. ลักษณะตะกอนชายฝั่ง

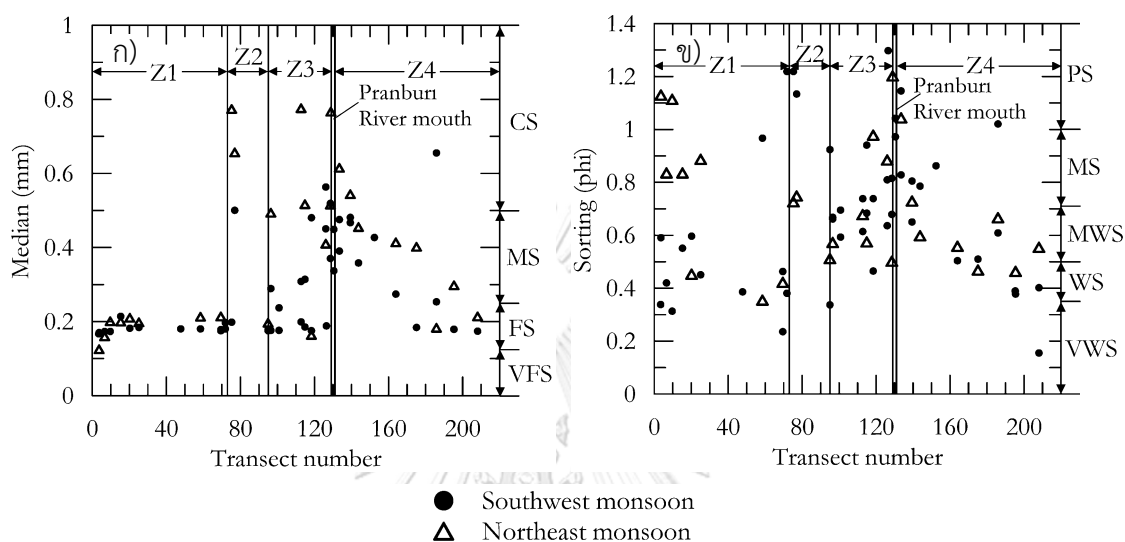
ข้อมูลลักษณะตะกอนชายฝั่งเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์สำคัญ ที่ใช้ในการศึกษากระบวนการชายฝั่ง รวมทั้งการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง ซึ่งที่ผ่านมาข้อมูลลักษณะตะกอนและความผันแปรของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ในพื้นที่ศึกษาไม่เคยมีการศึกษามาก่อน จากการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างตะกอน จำนวน 71 ตัวอย่าง ที่เก็บตามแนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา (ครอบคลุมสภาพชายฝั่งในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และมรสุมตะวันตกเฉียงใต้) ผลการวิเคราะห์ขนาดตะกอน (grain size analysis) จากห้องปฏิบัติการ สามารถสรุปค่าขนาดตะกอนเฉลี่ย (median) และการคัดขนาด (sorting) ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ได้ดังตาราง 4.7 ส่วนข้อมูลขนาดตะกอนเฉลี่ยและการคัดขนาดของตะกอนตามแนวชายฝั่งแสดงในรูป 4.12 สำหรับลักษณะการกระจายตัวของตัวอย่างตะกอนทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ค.

ตาราง 4.7 คุณสมบัติของตัวอย่างตะกอนชายฝั่งปราณบุรี ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (SW) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)

Properties		Z1		Z2		Z3		Z4	
		SW	NE	SW	NE	SW	NE	SW	NE
Median (mm)	Max	0.21	0.21	0.50	0.77	0.56	0.78	0.66	0.77
	Mean	0.18	0.19	0.35	0.72	0.29	0.47	0.35	0.44
	Min	0.17	0.13	0.20	0.66	0.18	0.16	0.17	0.18
	SD	0.01	0.03	0.21	0.08	0.13	0.22	0.15	0.18
Mean (mm)	Max	0.26	0.22	0.42	0.72	0.54	0.76	0.62	0.81
	Mean	0.19	0.19	0.37	0.67	0.27	0.42	0.31	0.41
	Min	0.16	0.14	0.33	0.62	0.18	0.16	0.17	0.17
	SD	0.03	0.03	0.06	0.07	0.10	0.21	0.13	0.21
Sorting (phi)	Max	0.97	1.13	1.22	0.75	1.30	0.98	1.15	1.20
	Mean	0.48	0.75	1.18	0.74	0.73	0.74	0.66	0.68
	Min	0.24	0.36	1.13	0.73	0.47	0.57	0.15	0.30
	SD	0.20	0.31	0.06	0.02	0.22	0.08	0.26	0.25

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งการผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนตามแนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาเป็น 4 ส่วน ตามชนิดของระบบหาด (littoral zone) ที่แตกต่างกันของพื้นที่ศึกษา คือ Z1, Z2, Z3 และ Z4 ดังแสดงในรูป 4.6 โดยส่วน Z1 เริ่มตั้งแต่เขาตะเกียบถึงเขาเต่า (transect 1-73) ระยะทางประมาณ 7.3 กม. และส่วน Z2 เป็นชายฝั่ง pocket beaches ที่เกิดขึ้นบริเวณเขาเต่า (transect

77-79 และ 85-89) รวมระยะทางประมาณ 0.8 กม. ส่วน Z3 เริ่มตั้งแต่หาดปราณบุรีถึงปากน้ำปราณบุรี (transect 95-129) ความยาวชายฝั่งประมาณ 3.4 กม. และส่วน Z4 เริ่มตั้งแต่ปากน้ำปราณบุรีไปสิ้นสุดที่เขากะโหลก (transect 130-210) รวมระยะทางประมาณ 8.0 กม. สำหรับผลการศึกษาลักษณะตะกอนในแต่ละพื้นที่ย่อย สรุปได้ดังต่อไปนี้



รูป 4.12 ก) ขนาดตะกอนเฉลี่ย (median grain size) และ ข) การคัดขนาด (sorting) ของตัวอย่างตะกอนตามแนวชายฝั่งในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (VFS = very fine sand, FS = fine sand, MS = medium sand, CS = coarse sand, VWS = very well sorted, WS = well-sorted, MWS = moderately well sorted, MS = moderately sorted, PS = poorly sorted)

จากตาราง 4.7 ตะกอนที่พบตามแนวชายฝั่ง Z1 มีลักษณะเป็นทรายละเอียด (fine sand) โดยมีขนาดตะกอนเฉลี่ย (d_{50}) ผันแปรระหว่าง 0.13 ถึง 0.21 มม. เมื่อเปรียบเทียบขนาดของตะกอนเฉลี่ยในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่ามีขนาดตะกอนเฉลี่ยใกล้เคียงกัน สำหรับลักษณะตะกอนที่พบตามแนวชายฝั่ง Z2 เป็นตะกอนทรายขนาดกลางถึงทรายหยาบ (medium to coarse sand) มีขนาดตะกอนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.35-0.72 มม. โดยช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ตะกอนตามแนวชายฝั่งส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นทรายขนาดกลาง แต่ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ตะกอนชายฝั่งมีลักษณะเป็นทรายหยาบ ส่วนชายฝั่ง Z3 และ Z4 มีลักษณะตะกอนชายฝั่งที่มีขนาดค่อนข้างใกล้เคียงกัน และมีความผันแปรตามฤดูกาล ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ชายฝั่งมีลักษณะเป็นทรายขนาดกลาง และมีขนาดของตะกอนเฉลี่ยประมาณ 0.29-0.35 มม. ส่วนในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ตะกอนตามแนวชายฝั่งทั้งสองส่วนมีลักษณะเป็นทรายหยาบ โดยมีขนาดตะกอนเฉลี่ย ประมาณ 0.44-0.47 มม. นอกจากนี้ยังพบว่าตะกอนชายฝั่งของ

ทั้ง Z3 และ Z4 ที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำจะมีขนาดใหญ่ และลดขนาดลงตามระยะทางที่ห่างออกมาจากปากแม่น้ำ ทั้งในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (รูป 4.12ก.)

ผลการศึกษาการคัดขนาดตะกอน (ตาราง 4.7) พบว่าในตะกอนชายฝั่ง Z1, Z3, และ Z4 มีค่าเฉลี่ยการคัดขนาดตะกอนอยู่ในช่วง 0.48 ถึง 0.75 ซึ่งหมายถึงตะกอนมีการคัดขนาดปานกลางถึงค่อนข้างดี (moderately well sorted ถึง moderately sorted) หรือชายฝั่งประกอบด้วยตะกอนที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (uniform) ในขณะที่ Z2 มีค่าการคัดขนาดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.74 ถึง 1.18 ซึ่งหมายถึงตะกอนมีการคัดขนาดตะกอนปานกลางถึงน้อย (moderately ถึง poorly sorted) หรือชายฝั่งมีขนาดของตะกอนที่ค่อนข้างแตกต่างกัน จากรูป 4.12ข พบว่าตะกอนชายฝั่งที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำ จะมีการคัดขนาดที่แยกว่า (ตะกอนมีการคละขนาดกัน) ตะกอนที่อยู่ห่างจากปากแม่น้ำทั้งในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

4.3.2 อัตราการทับถมของตะกอนด้วยเทคนิคนิวเคลียร์

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทดลองนำเทคนิคนิวเคลียร์มาใช้ในการศึกษาการสะสมตัวของตะกอนชายฝั่ง เพื่อประกอบการศึกษากระบวนการขบวนการชายฝั่ง โดยเทคนิคที่เลือกใช้คือ การหาอายุและอัตราการสะสมตัวของตะกอนด้วยเทคนิค ^{210}Pb โดยการสมมติว่าเกิดการสมดุลกัมมันตรังสีถาวร (secular equilibrium) ระหว่าง ^{210}Pb และ ^{210}Po ที่มีค่าครึ่งชีวิต 22.3 ปี และ 138.4 วัน ตามลำดับ ค่าของกัมมันตรังสีทั้งหมด (total radiometric activity) ของ ^{210}Pb สามารถประเมินได้จากการวัดค่ากัมมันตภาพของ ^{210}Po ในตัวอย่างตะกอนแทนได้ (Zaborska et al., 2007) (ซึ่งการเกิดสมดุลถาวรนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ เมื่อครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่มีค่ามากกว่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์ลูกมาก ๆ นั้นหมายความว่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์แม่เปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก แม้ว่าเวลาจะผ่านไปนาน จนเกิดสภาวะที่กัมมันตภาพของนิวไคลด์ลูกเท่ากับนิวไคลด์แม่ขึ้นได้

ในการศึกษาครั้งนี้ ตัวอย่างตะกอนแนวลึก 4 แห่ง ที่เก็บตัวอย่างในพื้นที่ทับถมบริเวณปากแม่น้ำ เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น (basic properties) ของตัวอย่างตะกอนตามแนวความลึกอันได้แก่ ความหนาแน่นแห้ง (dry density) ปริมาณน้ำ (Water Content) และความพรุน (Porosity) สามารถสรุปได้ดังตาราง 4.8 และความสัมพันธ์ระหว่างความลึกกับคุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนทั้ง 4 ตัวอย่าง แสดงในรูป 4.13 ก-ง จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของตะกอน สามารถสรุปได้ว่าลักษณะตะกอนในแนวตั้งที่ตกตะกอนบริเวณเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ มีค่าความหนาแน่นรวมและหนาแน่นแห้งใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.42-1.62 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (กรัม/ลบ.ซม.) และ 1.32-1.45 กรัม/ลบ.ซม. ส่วนปริมาณน้ำมีค่าเฉลี่ย 6.74-11.46% โดยมีแนวโน้มเพิ่ม

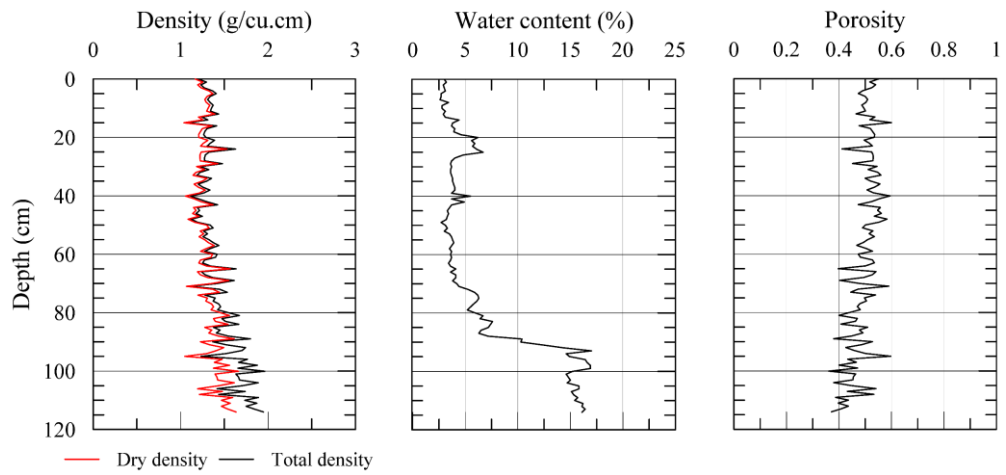
สูงขึ้นตามความลึก สำหรับค่าความพรุนเฉลี่ยมีค่าระหว่าง 0.44-0.49 ซึ่งค่าของความหนาแน่นแห้งจะถูกใช้ในการคำนวณอายุตะกอนและอัตราการตกตะกอนด้วยเทคนิค ^{210}Pb

ตาราง 4.8 สรุปข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างตะกอนแนวลึก

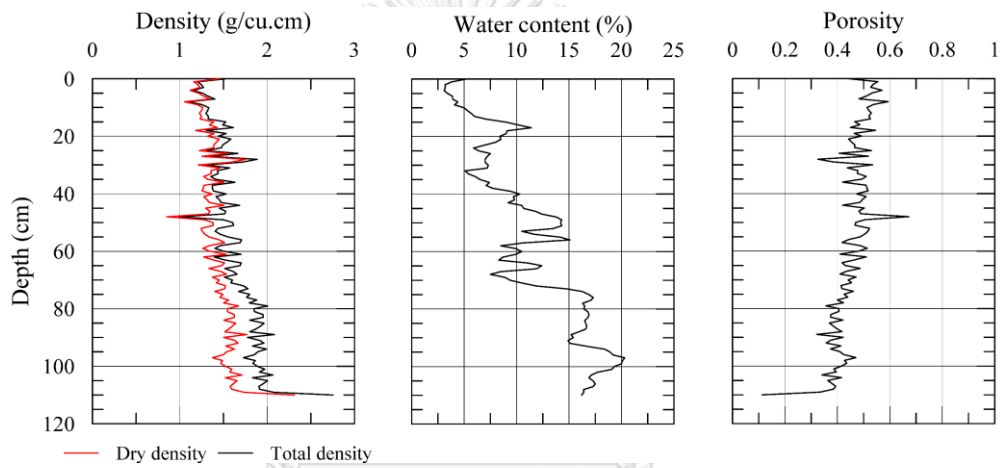
Core no.	Depth (cm)		Total Density (g/cm ³)	Dry Density (g/cm ³)	Water Content	Porosity
1	115	Max	1.96	1.66	17.00	0.60
		Mean	1.42	1.32	6.74	0.49
		Min	1.08	1.04	2.60	0.36
2	111	Max	2.76	2.31	20.30	0.67
		Mean	1.62	1.42	11.46	0.45
		Min	0.99	0.85	3.10	0.11
3	70	Max	2.80	2.31	17.60	0.71
		Mean	1.57	1.42	9.02	0.45
		Min	0.80	0.76	4.10	0.11
4	94	Max	2.28	2.01	21.20	0.81
		Mean	1.61	1.45	9.30	0.44
		Min	0.62	0.50	2.60	0.23

จากการพิจารณาคุณสมบัติรวมถึงความยาวของตัวอย่างตะกอนที่เก็บได้ ตะกอน core 2 ซึ่งมีแนวโน้มของค่าความหนาแน่นแห้งเพิ่มขึ้นที่ชัดเจนมากกว่า core 1 ถูกเลือกเพื่อนำมาวิเคราะห์อัตราการทับถมของตะกอนที่บริเวณชายฝั่งด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรี และ core 4 ที่มีความยาวตัวอย่างมากกว่า core 3 ถูกเลือกเพื่อนำมาวิเคราะห์อัตราการทับถมของชายฝั่งด้านใต้ของเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ตามลำดับ โดยในการศึกษาครั้งนี้เลือกวิเคราะห์ ค่ากัมมันตภาพของ ^{210}Po ที่มีอยู่ในชั้นตะกอนความหนา 1 ซม. ที่ระยะ 1, 5, 10, 51, 55 และ 60 ซม. ของตัวอย่างตะกอน core 2 และ core 4 โดยค่ากัมมันตภาพ ^{210}Po ตามความลึกของ core 2 และ core 4 แสดงในตาราง 4.9 และตาราง 4.10 และรูป 4.14 ถึง รูป 4.15 ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์และการประเมินการทับถมของตะกอนในตัวอย่างดินแต่ละตำแหน่ง สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

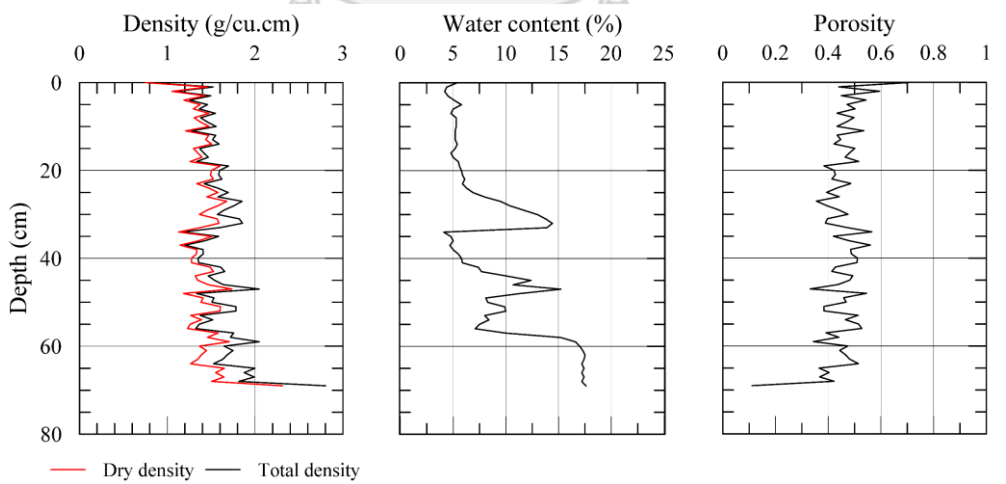
ตัวอย่าง core 2 ซึ่งเป็นตัวแทนตะกอนชายฝั่งบริเวณปากน้ำปราณบุรี ด้านเหนือของเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ (รูป 3.2) การเก็บตัวอย่างได้ตะกอนความยาว 1.11 ม. ตัวอย่างจากชั้นดินระหว่างชั้นที่ 1, 5, 10, 51, 55 และ 60 ซม. จากผิวดิน จำนวน 6 ชั้น ถูกนำมาวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{210}Pb ได้ผลดังตาราง 4.8 ซึ่งมีค่าของกัมมันตรังสีทั้งหมด (total) ที่ปรับแก้ค่าการสลายตัวแล้ว (Decay corrected ^{210}Pb) ผันแปรระหว่าง 0.21-0.32 ครั้ง/นาที/กรัม (disintegration per minute per gram, dpm/g) รูป 4.14 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของ ^{210}Pb ทั้งหมด (^{210}Pb) ตามความลึก ซึ่งพบว่ารูปแบบความผันแปรของค่ากัมมันตภาพทั้งหมดตามความลึกของตัวอย่างดินจากตำแหน่ง core 2 มีค่าน้อยมากและไม่พบแนวโน้มของค่า ^{210}Pb ที่เพิ่มขึ้น



ก) core 1

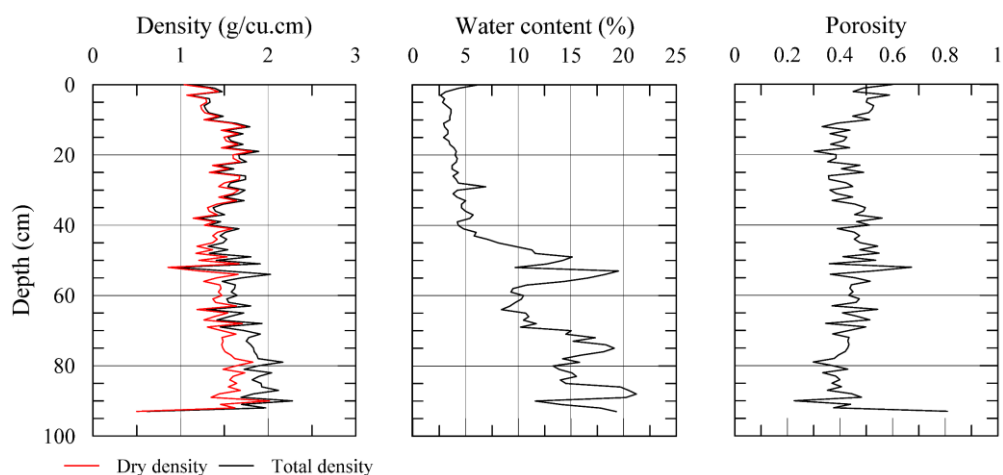


ข) core 2



ค) core 3

รูป 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับความลึก



ง) core 4

รูป 4.13 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับความลึก

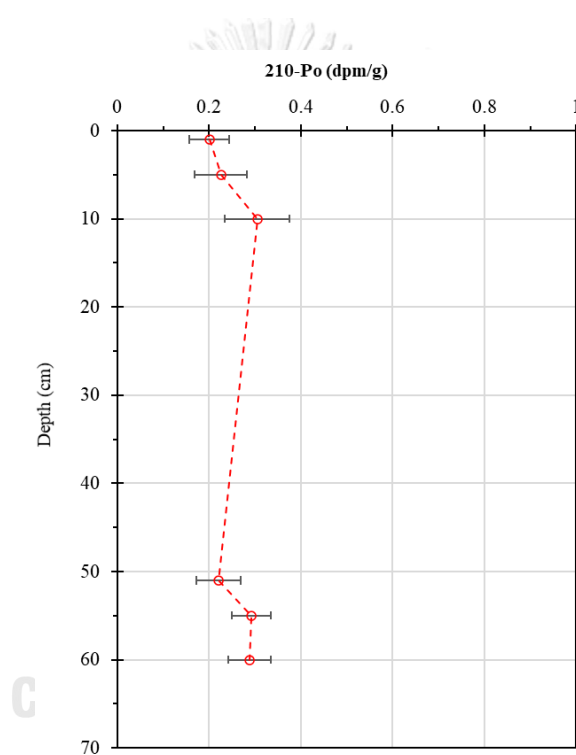
ส่วนตาราง 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{210}Pb ของตัวอย่างตะกอนชั้นที่ 1, 5, 10, 51, 55 และ 60 ซม. จากผิวดินของ core 4 (ความยาว 9.4 ม.) ที่เก็บตัวอย่างจากชายฝั่งด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรี (รูป 3.2) ซึ่งมีค่าของกัมมันตรังสีทั้งหมด ที่ปรับแก้ค่าการสลายตัวแล้ว (Decay corrected ^{210}Pb) ผันแปรระหว่าง 0.25-0.42 dpm/g รูป 4.15 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของ ^{210}Pb ทั้งหมดตามความลึก ซึ่งพบว่ารูปแบบความผันแปรของค่ากัมมันตภาพทั้งหมดตามความลึกของตัวอย่างดินจากตำแหน่ง core 4 มีค่าน้อยมากและไม่พบแนวโน้มของค่า ^{210}Pb ที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ core 2

ตาราง 4.9 ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{210}Pb ในตัวอย่างดิน core 2

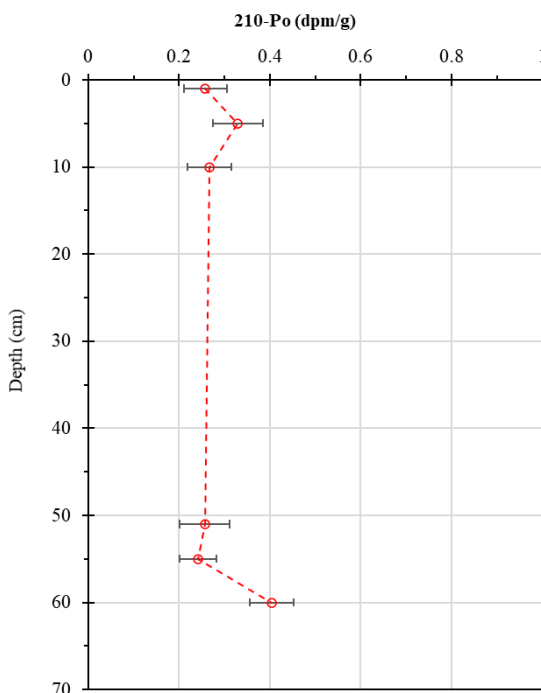
Sample no.	Start depth (cm)	End depth (cm)	Mid-point (cm)	Half slice thick-ness (cm)	Dry bulk density (g/cm^3)	Total ^{210}Po (dpm/g)	^{210}Pb decay corrected activity (dpm/g)	^{210}Pb decay corrected activity (Bq/kg)
1	0	1	0.5	0.5	1.45	0.200 ± 0.044	0.21 ± 0.05	3 ± 0.76
5	4	5	4.5	0.5	1.12	0.226 ± 0.057	0.24 ± 0.06	4 ± 0.99
10	9	10	9.5	0.5	1.20	0.305 ± 0.071	0.32 ± 0.07	5 ± 1.23
51	50	51	50.5	0.5	1.38	0.220 ± 0.049	0.23 ± 0.05	4 ± 0.85
55	54	55	54.5	0.5	1.29	0.292 ± 0.043	0.31 ± 0.04	5 ± 0.75
60	59	60	59.5	0.5	1.26	0.288 ± 0.046	0.30 ± 0.05	5 ± 0.80

ตาราง 4.10 ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{210}Pb ในตัวอย่างดิน core 4

Sample no.	Start depth (cm)	End depth (cm)	Mid-point (cm)	Half slice thick-ness (cm)	Dry bulk density (g/cm^3)	Total ^{210}Po (dpm/g)	^{210}Pb decay corrected activity (dpm/g)	^{210}Pb decay corrected activity (Bq/kg)
1	0	1	0.5	0.5	1.04	0.270 ± 0.047	0.27 ± 0.05	4 ± 0.82
5	4	5	4.5	0.5	1.29	0.345 ± 0.055	0.34 ± 0.06	6 ± 0.96
10	9	10	9.5	0.5	1.44	0.279 ± 0.049	0.28 ± 0.05	5 ± 0.85
51	50	51	50.5	0.5	1.21	0.269 ± 0.055	0.27 ± 0.06	4 ± 0.97
55	54	55	54.5	0.5	1.66	0.253 ± 0.040	0.25 ± 0.04	4 ± 0.70
60	59	60	59.5	0.5	1.43	0.423 ± 0.049	0.42 ± 0.05	7 ± 0.85



รูป 4.14 กราฟแสดงกัมมันตภาพของ ^{210}Po ตามความลึกของชั้นดิน ตัวอย่างตะกอนบริเวณด้านเหนือปากน้ำปราณบุรี



รูป 4.15 กราฟแสดงกัมมันตภาพของ ^{210}Po ตามความลึกของชั้นดิน
ตัวอย่างตะกอนบริเวณด้านใต้ปากน้ำปราณบุรี

4.4 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ถึงรูปแบบการวิวัฒนาการ (evolution) ของแนวชายฝั่งบริเวณชายฝั่งปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ ในช่วง 50 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี 2510-2561 ซึ่งเป็นช่วงที่ครอบคลุมสภาพชายฝั่งก่อนการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ที่ก่อสร้างในปี 2541 และสภาพชายฝั่งหลังจากการก่อสร้างโครงสร้าง ในการศึกษานี้ ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งก่อนการก่อสร้างโครงการ (ปี 2510-2537) เป็นข้อมูลสำคัญในการติดตามประสิทธิผลของการใช้โครงสร้างชายฝั่ง ในการสร้างเสถียรภาพชายฝั่งปราณบุรี และการติดตามผลของการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายการตอบสนองชายฝั่งต่อมาตรการทางวิศวกรรมที่ออกแบบ (ปี 2541-2561) สำหรับพื้นที่การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งปราณบุรี แบ่งเป็น 4 ระบบกลุ่มหาด (littoral cells) ตามที่แสดงไว้ในหัวข้อ 4.3

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนและหลังการก่อสร้างโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ทั้งระยะการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง และสถิติการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง สำหรับพื้นที่ย่อย Z1-Z4 แสดงดังตาราง 4.11 โดยเครื่องหมายบวก (+) ในตาราง แสดงถึงชายฝั่งแบบสะสมตัว ในขณะที่เครื่องหมายลบ (-) แสดงถึงชายฝั่งแบบถดถอย รูป 4.16ก) แสดงระยะการเปลี่ยนแปลงของ

แนวชายฝั่งตั้งแต่ปี 2519 ถึง 2561 (ค.ศ.1976 -2018) เทียบกับแนวชายฝั่งปี 2510 (ค.ศ. 1967) และรูป 4.16ข. แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยช่วงก่อนและหลังการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ สำหรับผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาก่อนและหลังจากการก่อสร้างโครงการ มีรายละเอียดในหัวข้อย่อยต่อไปนี้

ตาราง 4.11 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนและหลังการทำโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ

Data	Pre-construction (1967-1994)					Post-construction (1998-2018)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Total	Z1	Z2	Z3	Z4	Total
Number of transects	73	8	34	80	195	73	8	34	80	195
Maximum shoreline retreat (m)	-11	-6	-15	-27	-27	-8	-11	-9	-23	-23
Maximum shoreline advance (m)	24	17	216	181	216	142	10	250	300	300
Land loss area (ha)	0.5	0.03	1.1	7.5	9.1	1.1	0.2	0.3	0.8	2.4
Land growth area (ha)	4.4	1.0	16.2	9.0	30.6	3.2	0.5	9.6	13.6*	26.9
Area recession (percent)	11	3	6	45	23	26	29	3	6	8
Area accretion (percent)	89	97	94	55	77	74	71	97	94	92
Shoreline recession (percent)	29	25	29	54	40	42	56	26	25	31
Shoreline accretion (percent)	71	75	71	46	60	58	44	74	75	69
Shoreline change rate (m/yr)										
- Mean shoreline change rate	0.3	0.3	1.2	0.4	0.5	0.3	-0.1	1.5	0.9	0.7
- Maximum retreat rate	-0.4	-0.2	-0.6	-1.0	-1.0	-0.4	-0.6	-0.5	-1.2	-1.2
- Mean retreat rate	-0.2	-0.1	-0.2	-0.5	-0.4	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2
- Maximum accretion rate	0.9	0.6	8.0	6.7	8.0	7.1	0.5	12.5	15.0	15.0
- Mean accretion rate	0.4	0.5	2.0	1.3	1.0	0.7	0.2	2.1	1.2	1.2

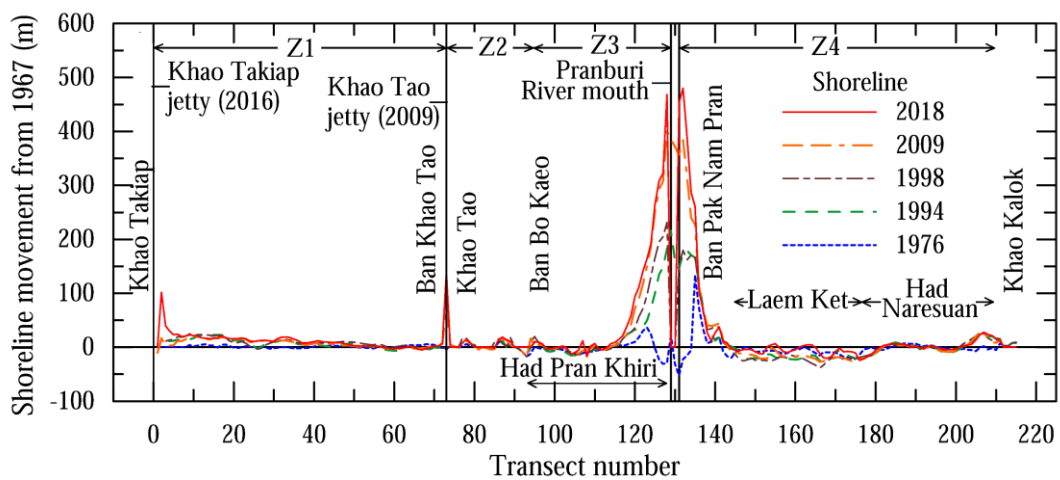
Remark:

13.6* ha is sum of land accretion from impact of jetty (5.65 ha) and land reclamation at Laeam Ket (7.95 ha)

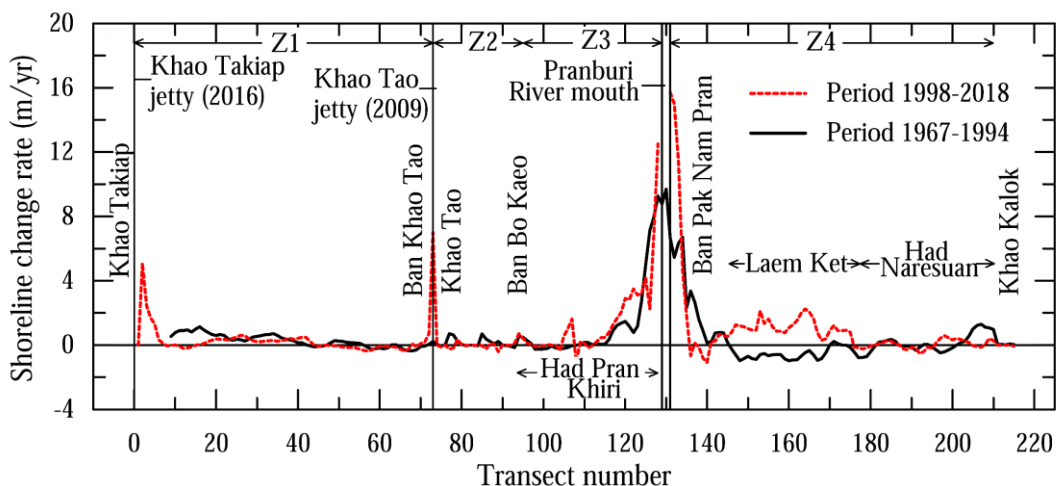
4.4.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนการก่อสร้างโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในช่วง 27 ปีก่อนการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ (ปี 2510-2537/ ค.ศ. 1967-1994) ในตาราง 4.11 พบว่า 60% ของแนวชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาตั้งแต่เขาตะเกียบจนถึงเขากะโหลกเป็นชายฝั่งแบบสะสมตัว มีอัตราการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งเฉลี่ยประมาณ 0.5 ม./ปี ระยะงอกเพิ่มของชายฝั่งสูงสุดประมาณ 216 ม. (8 ม./ปี) พบที่บริเวณปากน้ำปราณบุรี ในขณะที่ระยะถอยร่นสูงสุดของแนวชายฝั่งมีค่าประมาณ -27 ม. (-1 ม./ปี) เกิดขึ้นที่บริเวณแหลมเกด (transect 167) ดังแสดงในรูป 4.16ก ในช่วง 27 ปีก่อนการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ แนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงทั้งแบบงอกเพิ่มและถดถอย โดยมีพื้นที่ชายฝั่งงอกเพิ่มประมาณ 31 เฮกตาร์ และมีการสูญเสียชายฝั่งรวม -9 เฮกตาร์ ตามลำดับ โดยมี 53% ของพื้นที่ที่งอกเพิ่ม (16 เฮกตาร์) พบว่าเกิดขึ้นในพื้นที่ย่อย Z3 ในขณะที่ 82% ของพื้นที่ชายฝั่งที่สูญเสียไป (-7.5 เฮกตาร์) เกิดขึ้นที่ชายฝั่งของ Z4 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในช่วงก่อนการก่อสร้างโครงการของพื้นที่ย่อย สรุปได้ดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งใน Z1 (ตาราง 4.11) ก่อนมีโครงการพบว่า ประมาณ 70% ของแนวชายฝั่ง Z1 เป็นชายฝั่งแบบสะสมตัว มีอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ย ประมาณ ± 1 ม./ปี พบระยะการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งสูงสุดประมาณ 24 ม. ที่บริเวณด้านเหนือของพื้นที่ Z1 และพบการถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุดประมาณ -11 ม. ที่บริเวณด้านใต้ของพื้นที่ โดยการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในช่วง 27 ปีก่อนการก่อสร้างโครงการของ Z1 พบว่าประมาณ 90% ของพื้นที่ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบงอกเพิ่ม (4.4 เฮกตาร์) ในขณะที่อีก 11% เกิดการกัดเซาะของแนวชายฝั่งทำให้สูญเสียพื้นที่ประมาณ -0.5 เฮกตาร์



ก) ระยะการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งเทียบกับปี 2510 (ค.ศ. 1967)



ข) อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในช่วงก่อนและหลังการทำโครงการ

รูป 4.16 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระหว่างปี 2510-2561 (ค.ศ. 1967-2018)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งใน Z2 ก่อนก่อสร้างโครงการเชื่อมกันทรายและคลื่นฯ ซึ่งมีลักษณะเป็น pocket beach พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ (รูป 4.16ก) มีอัตราการ

เปลี่ยนแปลงชายฝั่งประมาณ ± 1 ม./ปี ผลการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งชี้ให้เห็นว่า 75% ของแนวชายฝั่ง Z2 เป็นชายฝั่งแบบสะสมตัว และพบระยะงอกของชายฝั่งสูงสุดประมาณ 17 ม. ส่วนระยะถดถอยชายฝั่งสูงสุด มีระยะทางประมาณ -6 ม. ในช่วงเวลา 27 ปีก่อนการก่อสร้างโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ พบว่า Z2 มีพื้นที่ชายฝั่งเพิ่มขึ้นประมาณ 1 เฮกตาร์ คิดเป็นประมาณ 97% ของพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด

ส่วนชายฝั่ง Z3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในช่วงก่อนการก่อสร้างโครงการพบว่าประมาณ 71% ของแนวชายฝั่ง Z3 เกิดการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่ง โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยประมาณ 1.2 ม./ปี สำหรับพื้นที่ที่พบว่ามีอัตราการงอกเพิ่มสูงสุดมีระยะสะสมตัวยาว 216 ม. (8 ม./ปี) ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่น (รูป 4.16ก) ส่วนพื้นที่ที่เกิดการกัดเซาะสูงสุด (-15 ม.: -0.6 ม./ปี) บนพื้นที่ชายฝั่ง Z3 พบที่บริเวณด้านเหนือของหาดปราณคีรี รวมในช่วงเวลา 27 ปีก่อนการก่อสร้างโครงการชายฝั่ง Z3 มีการสะสมตัวของชายฝั่งรวมเป็นพื้นที่ 16.2 เฮกตาร์ และมีการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งเนื่องจากการกัดเซาะ ประมาณ -1.1 เฮกตาร์

สำหรับชายฝั่ง Z4 พบว่าแนวชายฝั่งกว่า 50% เกิดกัดเซาะของชายฝั่ง โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณแหลมเกต (รูป 4.16ก) โดยอัตราการกัดเซาะของแนวชายฝั่งเฉลี่ยทั้งพื้นที่มีค่าประมาณ -0.5 ม./ปี พื้นที่แนวชายฝั่งอีกเกือบ 50% มีการงอกเพิ่มด้วยอัตราเฉลี่ยประมาณ 1.3 ม./ปี สำหรับพื้นที่ที่มีการงอกเพิ่มของชายฝั่งสูงสุดพบที่บริเวณปากน้ำปราณบุรี (180 ม.) ด้วยอัตราการงอกของพื้นที่ชายฝั่ง 6.7 ม./ปี ในช่วง 27 ปีก่อนมีโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ชายฝั่ง Z4 เกิดการงอกเพิ่มของชายฝั่งคิดเป็นพื้นที่ 9 เฮกตาร์ ในขณะที่มีการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งอันเนื่องจากการกัดเซาะประมาณ -7.5 เฮกตาร์ ซึ่งคิดเป็นกว่า 80% ของพื้นที่การสูญเสียชายฝั่งทั้งหมดของพื้นที่ศึกษา (-9.1 เฮกตาร์)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ

จากผลการวิเคราะห์ตำแหน่งแนวชายฝั่งหลังการก่อสร้างโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ตั้งแต่ปี 2541-2561 (ค.ศ. 1998-2018) ในตาราง 4.11 พบว่าหลังจากการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ในปี 2541 (ค.ศ. 1998) แนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาที่เกิดการถดถอยลดลงจาก 40% เหลือ 31% และแนวชายฝั่งส่วนใหญ่เกิดการสะสมตัว และมีอัตราการงอกเพิ่มของพื้นที่เพิ่มจาก 1.13 เฮกตาร์/ปี ในช่วงก่อนการก่อสร้างโครงการ เป็น 1.34 เฮกตาร์/ปี หลังจากก่อสร้างโครงการ ส่งผลให้มีพื้นที่เพิ่มขึ้นในช่วง 20 ปี ประมาณ 27 เฮกตาร์ นอกจากนี้อัตราการถดถอยของพื้นที่ชายฝั่งโดยรวมยังลดลงจาก -0.34 เฮกตาร์/ปี เป็น -0.12 เฮกตาร์/ปี ส่งผลให้การสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งในช่วง

20 ปีหลังจากการก่อสร้างโครงการ มีประมาณ -2.4 เฮกตาร์ สำหรับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในแต่ละพื้นที่ย่อยหลังจากมีโครงการ สามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการศึกษากการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งใน Z1 หลังจากการก่อสร้างโครงการ (ตาราง 4.11) แสดงให้เห็นว่าอัตราการกัดเซาะชายฝั่งเฉลี่ยของพื้นที่ลดลงเหลือ -0.1 ม./ปี แต่มีแนวชายฝั่งที่เกิดการถดถอยเพิ่มขึ้นจาก 29% ก่อนการก่อสร้างโครงการ เป็น 42% ภายหลังจากการก่อสร้าง ส่งผลให้อัตราการถดถอยของพื้นที่เพิ่มขึ้นจาก -0.02 เฮกตาร์/ปี ก่อนก่อสร้างโครงการ เป็น -0.05 เฮกตาร์/ปี หลังจากการก่อสร้าง ทำให้สูญเสียพื้นที่ชายฝั่งเพิ่มขึ้น -1.1 เฮกตาร์ ในขณะที่อัตราการสะสมตัวของพื้นที่ชายฝั่งมีค่าคงเดิมคือ 1.6 เฮกตาร์/ปี ทำให้มีพื้นที่ชายฝั่งเพิ่มขึ้นเป็น 3.2 เฮกตาร์ ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง Z1 ยังชี้ให้เห็นว่า อัตราการเพิ่มของแนวชายฝั่งสูงสุดที่พบที่ Z1 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จาก 0.9 ม./ปี เป็น 7 ม./ปี (140 ม.) โดยระยะงอกเพิ่มสูงสุดพบที่ชายฝั่งบริเวณบ้านเขาเต่า (transect 73: รูป 4.16ก)

จากการวิเคราะห์แนวชายฝั่งใน Z2 หลังจากการก่อสร้างโครงการ พบว่าแม้ว่าแนวชายฝั่งของ Z2 เกิดการถดถอยเพิ่มขึ้นเป็น 56% แต่เนื่องจากมีอัตราการกัดเซาะและการงอกเพิ่มของชายฝั่งเฉลี่ยที่ไม่มีนัยสำคัญ (± 0.2 ม./ปี) ทำให้หลังการก่อสร้างโครงการอัตราเฉลี่ยการสะสมตัวของชายฝั่งมีค่าเพียง 0.2 ม./ปี ซึ่งมีนัยสำคัญน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ย่อยอื่น ๆ โดยชายฝั่งเกิดการสะสมตัวสูงสุดเพียง 10 ม. หลังจากก่อสร้างโครงการไปแล้วถึง 20 ปี

สำหรับผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งใน Z3 หลังจากมีโครงการ ชี้ให้เห็นว่าแนวชายฝั่งที่เกิดการถดถอยลดลงจาก 29% เหลือ 26% หลังจากการก่อสร้างโครงการ โดยพื้นที่กัดเซาะส่วนใหญ่พบที่บริเวณด้านเหนือของพื้นที่ Z3 อย่างไรก็ตามอัตราการกัดเซาะของชายฝั่งเฉลี่ยตลอดพื้นที่ชายฝั่งยังคงมีค่าคงเดิม (-0.2 ม./ปี) อัตราการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งเฉลี่ยของพื้นที่ Z3 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากเดิม 2.0 ม./ปี ก่อนการก่อสร้าง เป็น 2.1 ม./ปี หลังจากการก่อสร้าง โดยบริเวณที่พบการสะสมตัวของชายฝั่งสูงสุดอยู่บริเวณใกล้กับปากน้ำปราณบุรี โดยมีการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งสูงสุดถึง 250 ม. ตรงบริเวณชายฝั่งที่ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ หลังจากการก่อสร้างโครงการเป็นระยะเวลา 20 ปี อัตราเฉลี่ยการสะสมตัวของพื้นที่ชายฝั่งลดลงเล็กน้อยจาก 0.6 เฮกตาร์/ปี เป็น 0.5 เฮกตาร์/ปี

ส่วนผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง Z4 แสดงให้เห็นว่าหลังการก่อสร้างโครงการ แนวชายฝั่งที่เกิดการสะสมตัวเพิ่มขึ้นจากเดิม 46% ก่อนการก่อสร้าง เป็น 75% ในช่วง 20 ปีหลังจากโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ สร้างแล้วเสร็จ ถึงแม้ว่าอัตราการงอกเพิ่มของชายฝั่งเฉลี่ยของทั้งพื้นที่จะลดลงเล็กน้อยจาก 1.3 ม./ปี ก่อนการก่อสร้าง เป็น 1.2 ม./ปี หลังจากการ

ก่อสร้าง แต่พบการรอกของพื้นที่ชายฝั่งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเพิ่มจากเดิม 9 เฮกตาร์ เป็น 13.6 เฮกตาร์ หลังจากการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ คิดเป็นพื้นที่ชายฝั่งที่งอกเพิ่มประมาณ 50% ของพื้นที่ชายฝั่งที่งอกเพิ่มรวมทั้งพื้นที่ศึกษาหลังการทำโครงการ ซึ่งแบ่งเป็นพื้นที่งอกเพิ่มเนื่องจากอิทธิพลของเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ เป็นพื้นที่ประมาณ 5.65 เฮกตาร์ และจากการปรับปรุงพื้นที่ (land reclamation) บริเวณแหลมเกตประมาณ 7.95 เฮกตาร์ ชายฝั่งที่มีการรอกเพิ่มสูงสุด (300 ม.) เกิดขึ้นที่บริเวณชายฝั่งด้านใต้โครงสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ (รูป 4.16ก) ภายหลังจากก่อสร้างโครงการยังพบว่าอัตราการกัดเซาะเฉลี่ยของพื้นที่ ลดลงจากเดิม -0.5 ม./ปี เหลือ -0.3 ม./ปี

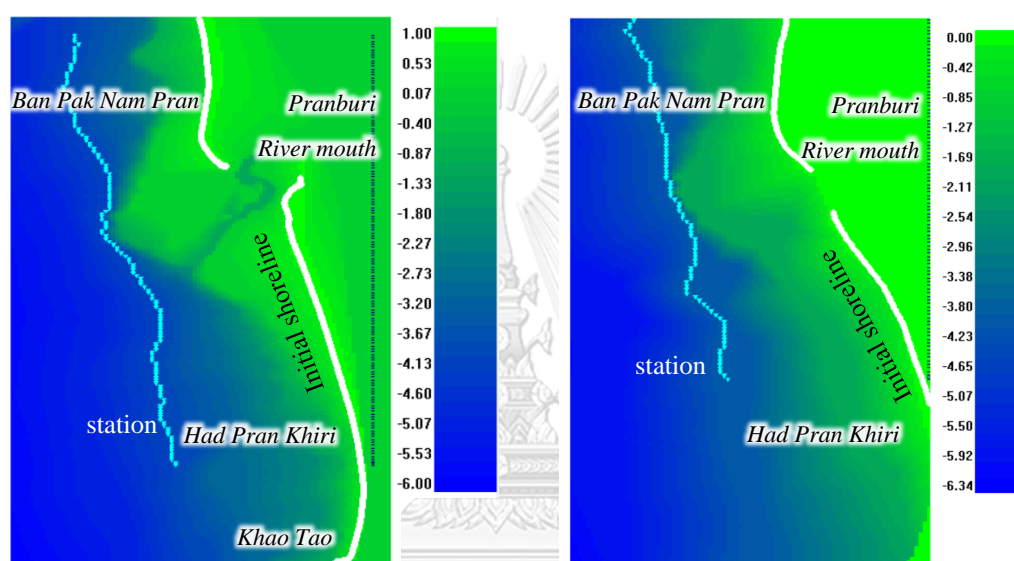
4.5 การจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลองคณิตศาสตร์ OLM เป็นหนึ่งในเครื่องมือ (tools) ที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการศึกษาและออกแบบโครงสร้างป้องกันชายฝั่งอย่างแพร่หลาย ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพื่อใช้ในการหามาตรการที่เหมาะสมกับโครงการพัฒนาและแก้ไขปัญหาในพื้นที่ชายฝั่งหนึ่ง ๆ สำหรับการศึกษาระบบเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ แบบจำลอง OLM ทั่วไป เช่น GENESIS ได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง เพื่อกำหนดขนาดและตำแหน่งของเขื่อนกันทรายและคลื่นที่เหมาะสม (กรมเจ้าท่า, 2539a) สำหรับคุณภาพและจำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้ในขั้นตอนศึกษา และออกแบบโครงการ อยู่ภายใต้ข้อจำกัดของข้อมูลที่มีอยู่ในขณะนั้น ในการวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์และคุณภาพข้อมูล ที่มีผลต่อการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ GENESIS ภายใต้อุปกรณ์ NEMOS โดยผลการศึกษาในแต่ละขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง สำหรับกรณีศึกษาเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ด้วยโปรแกรม NEMOS แสดงได้ดังหัวข้อย่อย ต่อไปนี้

4.5.1 ผลการจำลองพื้นที่ชายฝั่งปรมาณบุรีด้วยโมดูล GRIDGEN

การศึกษานี้จำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งใน 2 กรณีหลัก ได้แก่ กรณีศึกษา 1 ก่อนมีการก่อสร้างโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ จำลองเพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอน และกรณีศึกษา 2 หลังมีการก่อสร้างโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ จำลองเพื่อศึกษาประสิทธิผลของโครงการ และปรับปรุงการออกแบบ ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของชายฝั่งจริง จึงเลือกใช้ข้อมูลระดับพื้นที่ท้องทะเลแต่ละช่วงเวลาในการสร้างพื้นที่ศึกษาเพื่อนำเข้าแบบจำลอง GENESIS

ผลการศึกษาพบว่าข้อมูลแผนที่เดินเรือของกรมอุทกศาสตร์ ราว 246 (ปี 2527) ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองก่อนมีโครงการ มีขอบเขตครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างมากกว่าแผนที่ร่องน้ำแม่น้ำปราณบุรี ของกรมเจ้าท่า ซึ่งถูกใช้ในการออกแบบโครงการ ส่งผลให้สภาพพื้นที่ศึกษาที่ได้จากโมดูล GRIDGEN ในกรณีก่อนมีโครงการจึงมีความยาวชายฝั่งด้านเหนือมากกว่า โดยมีความยาวทั้งหมดประมาณ 4.5 กม. ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งตั้งแต่หาดปราณคีรีถึงบ้านปากน้ำปราณ (transect 100-145) ในขณะที่พื้นที่ศึกษากรณีหลังมีโครงการมีความยาวชายฝั่งประมาณ 2.5 กม. ครอบคลุมบางส่วนของหาดปราณคีรีถึงบ้านปากน้ำปราณ (transect 117-142) เช่นกัน ดังแสดงในรูป 4.17



ก) กรณีศึกษา 1.1-1.2

ข) กรณีศึกษา 2.1-2.5

รูป 4.17 สภาพพื้นที่ศึกษาที่ได้จากแบบจำลอง GRIDGEN

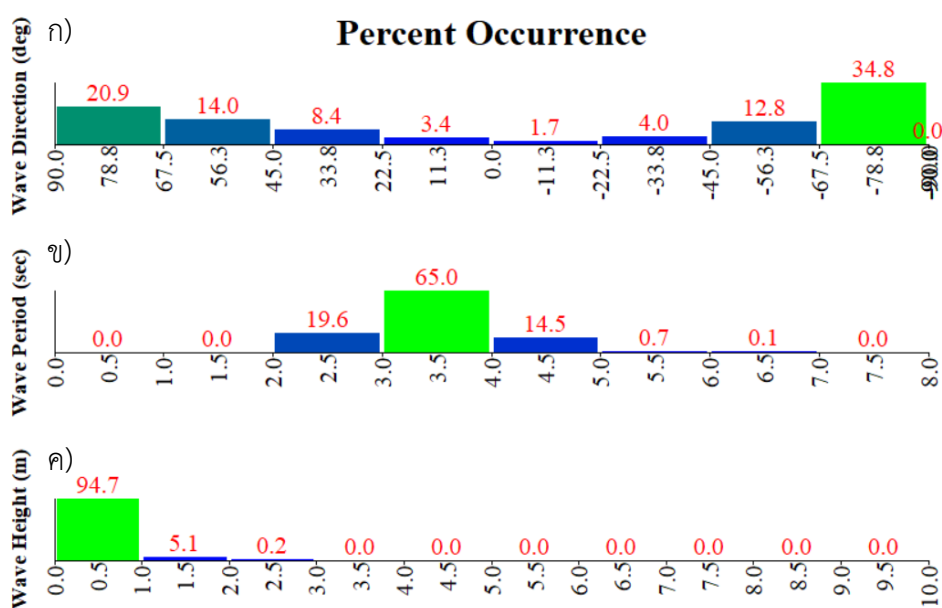
4.5.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพคลื่นในพื้นที่ศึกษาด้วยแบบจำลอง STWAVE

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพคลื่นในพื้นที่ศึกษาด้วยแบบจำลอง STWAVE ประกอบด้วย ผลการวิเคราะห์สถิติด้วยโมดูล WSAV ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของคลื่นด้วยโมดูล SPECGEN และผลการวิเคราะห์สนามคลื่นสำหรับพื้นที่ศึกษาด้วยแบบจำลอง STWAVE รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

1) ผลการวิเคราะห์สถิติด้วยโมดูล WSAV

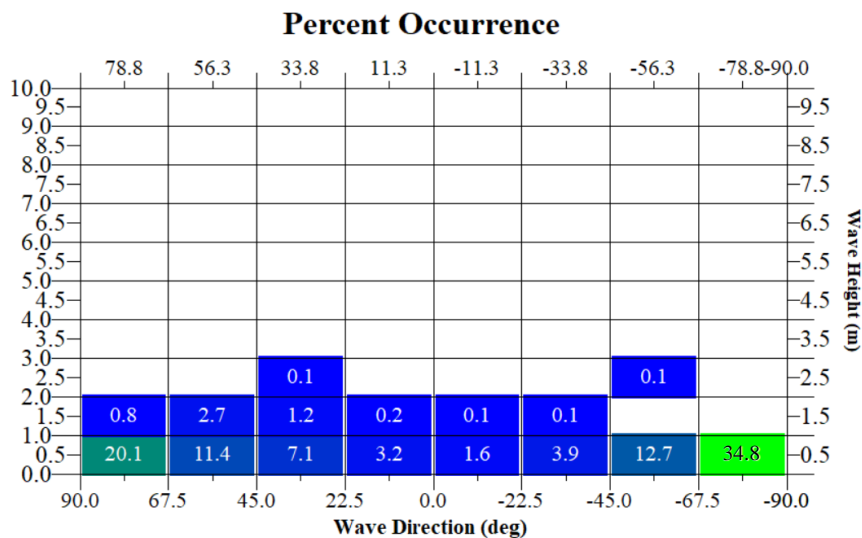
ข้อมูลทางสถิติของคลื่นที่นำเข้าไปในแบบจำลองประกอบด้วยทิศทางคลื่น คาบเวลาคลื่น และ ความสูงคลื่นตามลำดับ แสดงในรูป 4.18 ทิศทางคลื่นที่แสดงเป็นทิศทางคลื่นที่ถูกปรับแก้แล้ว เป็นการอ้างอิงทิศทางกับแนวชายฝั่ง โดยที่ 90 องศา และ -90 องศา คือด้านเหนือและด้านใต้ของแนวชายฝั่ง ตามลำดับ ในขณะที่ 0 องศา คือทิศทางที่ตั้งฉากแนวชายฝั่ง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าคลื่น

ที่เคลื่อนที่เข้าฝั่งมากกว่าครึ่งของทั้งหมด เป็นคลื่นที่มาจากด้านใต้ (-22.5 ถึง -90 องศา) ของชายฝั่ง (51.6%) คลื่นที่เหลือเป็นคลื่นที่มาจากด้านเหนือ (90 ถึง 22.5 องศา) ของชายฝั่งประมาณ 43.3% และมาจากด้านตะวันออก (22.5 ถึง -22.5 องศา) เพียงเล็กน้อย (5.1%) คลื่นส่วนใหญ่มีคาบเวลาคลื่นระหว่าง 3-4 วินาที (65%) และคลื่นเกือบ 95% มีความสูงไม่เกิน 1 ม. เมื่อพิจารณาลักษณะของคลื่นตามทิศทางที่เข้าฝั่ง (รูป 4.19) พบว่าคลื่นส่วนใหญ่ที่เคลื่อนที่มาจากทั้งสามทิศทางมีความสูงคลื่นน้อยกว่า 1 ม. และคลื่นที่สูงมากกว่า 1 ม. ส่วนใหญ่เป็นคลื่นที่มาจากด้านเหนือ (4.8%) สำหรับคาบเวลาคลื่นส่วนใหญ่ของทั้งสามทิศทางมีคาบเวลาระหว่าง 3-4 วินาที

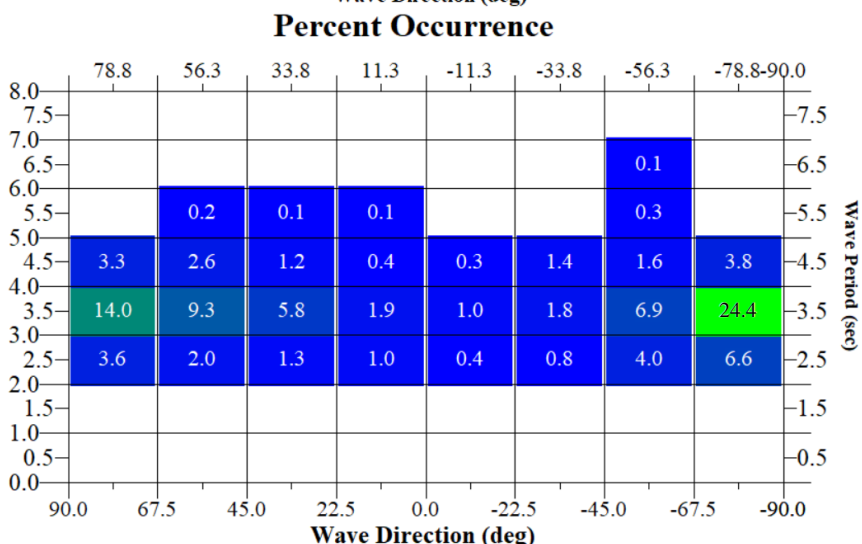


รูป 4.18 กราฟแสดงร้อยละของข้อมูลคลื่นที่ได้จากการวิเคราะห์
ก) ทิศทางคลื่น, ข) คาบเวลาคลื่น, และ ค) ความสูงคลื่น

ก)



ข)



รูป 4.19 ลักษณะคลื่นที่เกิดขึ้นแบ่งตาม ก) ความสูงคลื่น และ ข) คาบเวลาคลื่น ในทิศทางต่าง ๆ

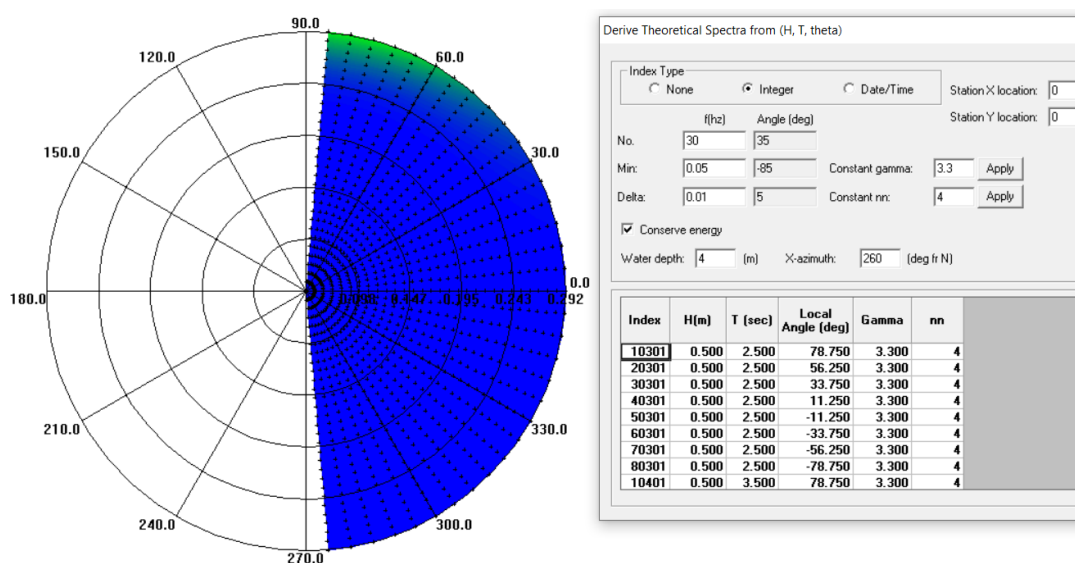
2) ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของคลื่นด้วยโมดูล SPECGEN

SPECGEN เป็นโปรแกรมที่ใช้เตรียมข้อมูลคลื่นให้อยู่ในรูปแบบของความถี่คลื่น ก่อนนำเข้าสู่แบบจำลอง STWAVE ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง SPECGEN แสดงดังรูป 4.20 เป็นการแสดงพลังงานความถี่คลื่นในระบบพิกัดเชิงขั้ว (polar coordinate) โดยมีพลังงานคลื่นเคลื่อนที่เข้ามาในทิศ 78.75 องศา

3) ผลการวิเคราะห์สนามคลื่นสำหรับพื้นที่ศึกษาด้วยแบบจำลอง STWAVE

ข้อมูลคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งซึ่งได้จากแบบจำลอง STWAVE เป็นข้อมูลคลื่นที่ประมวลผลร่วมกับสภาพพื้นท้องทะเลที่ได้จากแบบจำลอง GRIDGEN และแสดงผลของแบบจำลองผ่านทางโมดูล WMV รูป 4.21 แสดงข้อมูลพื้นที่ศึกษาในกรณีก่อนมีโครงการ แบ่งเป็นภาพจำลองเส้น

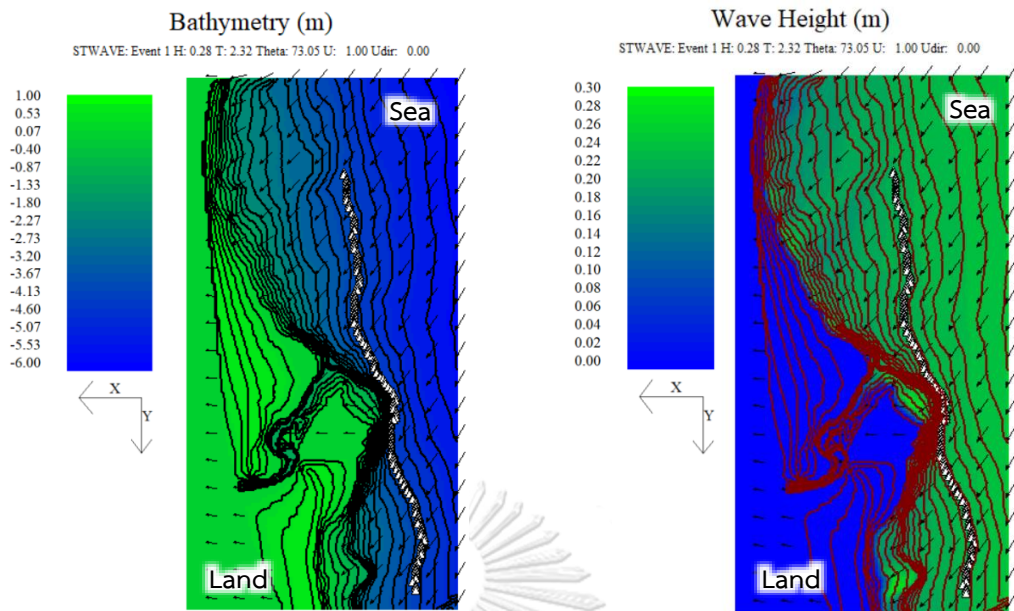
ชั้นความสูง (contour) ของท้องทะเล (รูป 4.21ก) และเส้นชั้นความสูงคลื่น (รูป 4.21ข) ซึ่งเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่มาจากทิศ 73 องศา แนวสีขาวคือตำแหน่ง station ที่กำหนดในแบบจำลอง GRIDGEN สำหรับรูป 4.22 เป็นแบบจำลอง STWAVE ในสภาพพื้นที่ศึกษาสำหรับกรณีหลังมีการดำเนินโครงการแบ่งเป็นภาพเส้นชั้นความสูงพื้นท้องทะเล และเส้นชั้นความสูงคลื่นเช่นเดียวกัน แต่เป็นภาพแสดงคลื่นที่เคลื่อนที่มาจากทิศ -90 องศา (ด้านใต้ของแนวชายฝั่ง) จากภาพจะเห็นว่าคลื่นจากนอกชายฝั่งเคลื่อนที่เข้ามาทำมุมกับแนวชายฝั่ง จากนั้นจะได้รับอิทธิพลจากสภาพพื้นท้องทะเล ทำให้คลื่น มีการปรับทิศทางและมีความสูงลดลงเมื่อเข้าใกล้ชายฝั่ง



รูป 4.20 ผลการศึกษาจากแบบจำลอง SPECGEN ในระบบพิกัดเชิงขั้ว

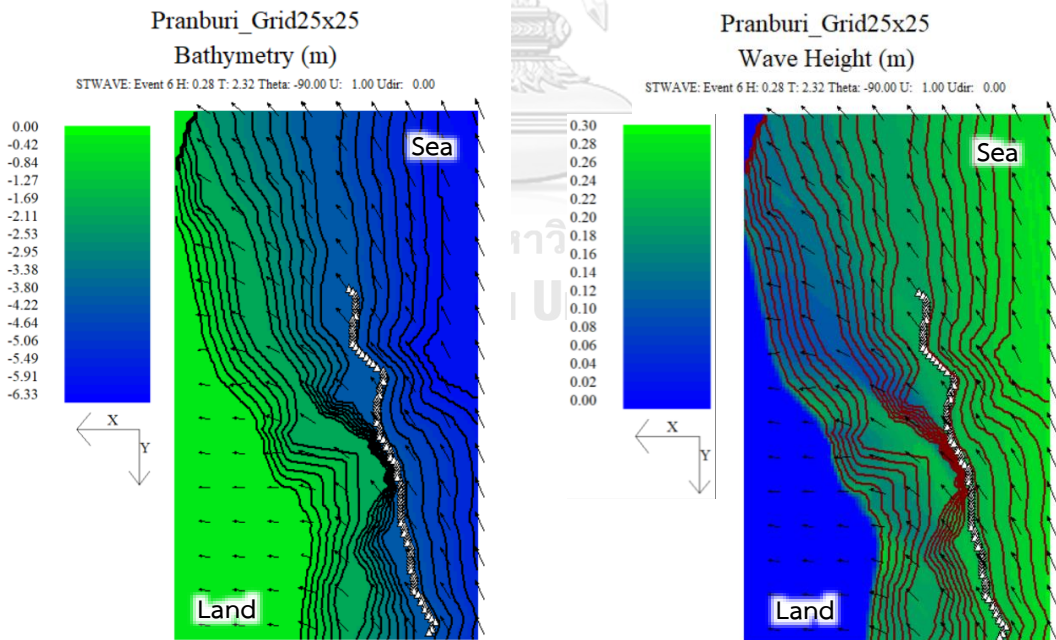
4.5.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยแบบจำลอง GENESIS

ผลการศึกษาที่ได้จากแบบจำลอง GENESIS ประกอบด้วย ตำแหน่งแนวชายฝั่งที่เปลี่ยนแปลงไป และปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งรายปี สำหรับการแสดงผลของแบบจำลอง GENESIS ในการศึกษาครั้งนี้ มีผลนำเสนอตั้งรูป 4.23 ประกอบด้วยรูปร่างของแนวชายฝั่งเริ่มต้น เชื่อกันทรายและคลื่น และเชื่อกันคลื่นแยก โดยลูกศรในภาพแสดงทิศเหนือจริง (true north) ของพื้นที่ศึกษา (รูป 4.23ก) หลังการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง แบบจำลองจะแสดงแนวชายฝั่งเริ่มต้น (initial shoreline) และแนวชายฝั่งที่เปลี่ยนแปลงไป (current shoreline) นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถนำเข้าแนวชายฝั่งอ้างอิง (reference shoreline) เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งได้ ดังรูป 4.23ข



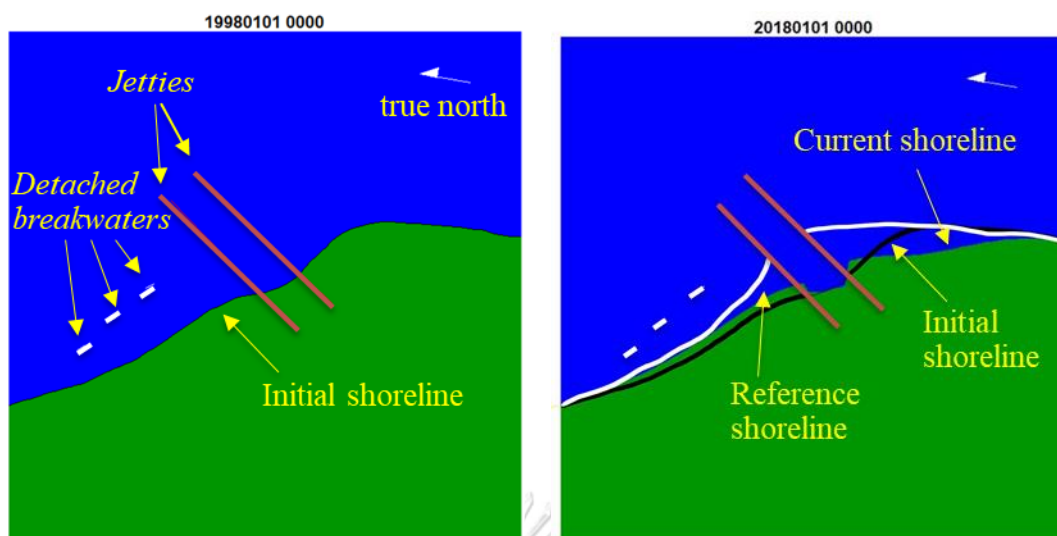
ก) ภาพจำลองเส้นชั้นความสูงของสภาพท้องน้ำ กับทิศทางการคลื่น (ทิศ 73 องศา) ข) ภาพจำลองเส้นชั้นความสูงของความสูงคลื่น และทิศทางการคลื่น (ทิศ 73 องศา)

รูป 4.21 ผลจากแบบจำลอง STWAVE ในกรณีก่อนมีโครงสร้าง (ปี 2510)



ก) ภาพจำลองเส้นชั้นความสูงของสภาพท้องน้ำ กับทิศทางการคลื่น (ทิศ -90 องศา) ข) ภาพจำลองเส้นชั้นความสูงของความสูงคลื่น และทิศทางการคลื่น (ทิศ -90 องศา)

รูป 4.22 ผลจากแบบจำลอง STWAVE ในกรณีหลังมีโครงสร้าง (ปี 2541)



ก) ภาพชายฝั่งปีที่ 1

ข) ภาพชายฝั่งปีที่ 11

รูป 4.23 องค์ประกอบภาพของแบบจำลอง GENESIS

4.5.4 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในกรณีศึกษาต่าง ๆ

ในการศึกษานี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณีหลัก ได้แก่ กรณีศึกษา 1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนมีโครงการ (ปี 2510-2537) และกรณีศึกษา 2 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังมีโครงการ (ปี 2541-2561) สำหรับกรณีศึกษา 1 เป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอน และทดสอบความอ่อนไหวของแบบจำลองต่อข้อมูลตะกอนแม่น้ำ ในขณะที่แบบจำลองกรณีศึกษา 2 ได้สร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาความอ่อนไหวของแบบจำลองต่อคุณภาพข้อมูลคลื่นและชนิดข้อมูลที่นำเข้าไปในแบบจำลอง ประกอบด้วย ข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลง ข้อมูลตะกอนแม่น้ำ และโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นแยก (รายละเอียดกรณีศึกษาแสดงในหัวข้อ 3.4) มีผลการศึกษาดังนี้

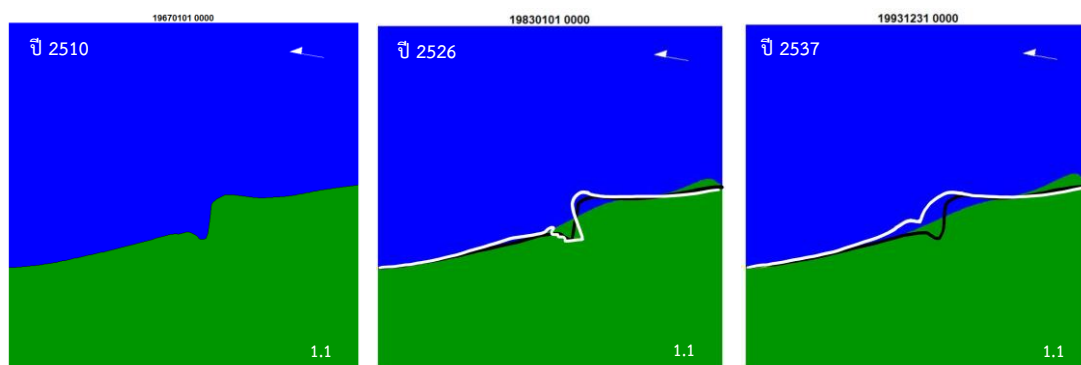
1) กรณีศึกษา 1 ก่อนมีโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ (ปี 2510-2537)

กรณีศึกษา 1 ก่อนมีโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณีศึกษาย่อย ได้แก่ กรณีศึกษา 1.1 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอน (K1) และกรณีศึกษา 1.2 เพื่อทดสอบความอ่อนไหวของแบบจำลองต่อข้อมูลตะกอนแม่น้ำ ผลการศึกษาพบว่าในกรณีกรณีศึกษา 1.1 ค่า K1 ที่เหมาะสมในการศึกษานี้มีค่า $K1=0.5$ (แสดงในภาคผนวก ง) รูปร่างชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลอง GENESIS แสดงผลดังรูป 4.24 ผลจากแบบจำลองพบว่าในระยะยาวบริเวณปากน้ำปราณบุรีจะมีตะกอนมาสะสมจนเต็ม ได้แนวชายฝั่งใหม่ที่ขนานไปกับแนวชายฝั่งเดิม อีกทั้งชายฝั่งด้านใต้ปากแม่น้ำที่มีลักษณะยื่นออกไปในทะเล เมื่อเวลาผ่านไปจะถูกกัดเซาะหายไป ด้วยอัตรา -12 ม./ปี ส่งผลให้สูญเสียพื้นที่ไปประมาณ -7 เฮกตาร์ ในช่วง 16 ปีแรก (ปี 2526/ ค.ศ. 1983)

และอัตราการถดถอยจะลดลงเหลือ -7.9 ม./ปี รวมเป็นพื้นที่หายไปประมาณ -8.9 เฮกตาร์ ในปีที่ 27 (ปี 2537/ ค.ศ. 1994) นอกจากนี้ด้านใต้ของพื้นที่ศึกษาพบว่า ชายฝั่งงอกด้วยอัตราเฉลี่ย 3.7 ม./ปี มีพื้นที่เพิ่มขึ้น 12.4 เฮกตาร์ ในขณะที่ชายฝั่งด้านเหนือปากน้ำปราณบุรี มีการงอกของชายฝั่งบริเวณใกล้ปากแม่น้ำด้วยอัตรา 3.3 ม./ปี ในปีที่ 16 และลดลงเหลือ 2.43 ม./ปี ในปีที่ 27 ส่วนชายฝั่งด้านเหนือปากน้ำปราณบุรีมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่มีนัยสำคัญ ($<\pm 1$ ม./ปี) (ตาราง 4.12)

ตาราง 4.13 แสดงอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนสะสมรายปี สำหรับกรณีศึกษาต่าง ๆ โดยปริมาณตะกอนที่เป็นค่าบวก (+) หมายถึงตะกอนมีทิศทางการเคลื่อนที่จากด้านเหนือไปด้านใต้ (N-S) และค่าที่ติดลบ (-) หมายถึงปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่จากทิศใต้ไปทิศเหนือ (S-N) ยกเว้นอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนรวม (Gross sediment transport) ที่ไม่พิจารณาทิศทางที่ตะกอนเคลื่อนที่ และรูป 4.25 แสดงปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนสะสมในตำแหน่งต่าง ๆ ตามความยาวชายฝั่ง โดยสีน้ำเงินคืออัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนรวม สีเขียวคืออัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนสุทธิ สีแดงคืออัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนไปด้านเหนือ (S-N) และสีชมพูคืออัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนไปทางใต้ (N-S) ในปี 2526 (ค.ศ. 1983) พื้นที่ศึกษามีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนรวมประมาณ 2,901,325 ลบ.ม./ปี อัตราการเคลื่อนที่สุทธิ 2,113,477 ลบ.ม./ปี จากเหนือไปใต้ (N-S) ต่อมาในปี 2537 (ค.ศ. 1994) อัตราการเคลื่อนที่รวมลดลงประมาณ 1.8% และมีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนสุทธิลดลง 3.3% โดยยังมีทิศทางการเคลื่อนที่คงเดิมจากด้านเหนือไปด้านใต้ (N-S)

สำหรับผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในกรณีศึกษา 1.2 ที่มีการเพิ่มข้อมูลตะกอนแม่น้ำในแบบจำลอง เนื่องจากแบบจำลอง GENESIS นี้ไม่สามารถนำเข้าข้อมูลตะกอนแม่น้ำได้โดยตรง จึงประยุกต์ใช้การนำเข้าข้อมูลตะกอนแม่น้ำในรูปแบบของการถมชายหาด (beach fills) แทน อย่างไรก็ตามพบว่าไม่สามารถประมวลผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในกรณีนี้ได้



รูป 4.24 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลอง GENESIS กรณีศึกษา 1.1 ในปีต่าง ๆ

ตาราง 4.12 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ในกรณีศึกษา 1.1

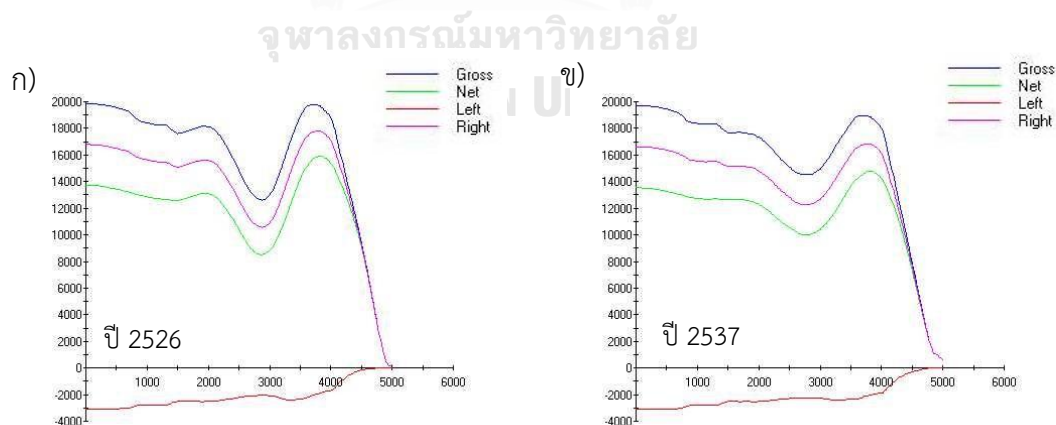
Case 1.1	1983		1994	
	N	S	N	S
Area change (ha)				
Area recession	0.72	7.09	0.36	8.92
Area accretion	1.31	7.57	1.97	12.42
Shoreline change (m/yr)				
Mean shoreline change	0.13	0.07	0.20	0.59
Maximum retreat rate	-0.98	-12.09	-0.36	-7.90
Mean retreat rate	-0.67	-7.05	-0.22	-4.25
Maximum accretion rate	3.30	8.70	2.43	7.64
Mean accretion rate	0.43	3.38	0.34	3.68

Remark: N= Northern coast, S= Southern coast

ตาราง 4.13 ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งก่อนมีโครงการ กรณีศึกษา 1.1

Volume of Sediment transport (m ³)	1983			1994		
	Northern	Southern	All	Northern	Southern	All
Gross	1,850,255	1,102,918	2,953,173	1,828,733	1,072,592	2,901,325
Net	1,300,023	886,426	2,186,449	1,274,211	839,266	2,113,477
S-N	-275,116	-108,246	-383,362	-277,261	-116,663	-393,924
N-S	1,575,139	994,672	2,569,811	1,551,472	955,929	2,507,401

Remark: Northern= Northern coast, Southern= Southern coast, All = Northern and Southern coast
S-N = sediment transport from south to north, N-S = sediment transport from north to south

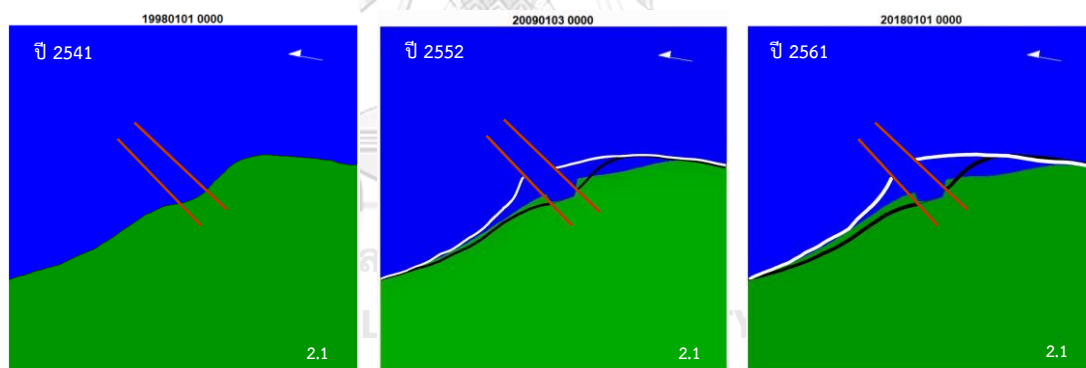


รูป 4.25 แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนในกรณีก่อนมีโครงการ

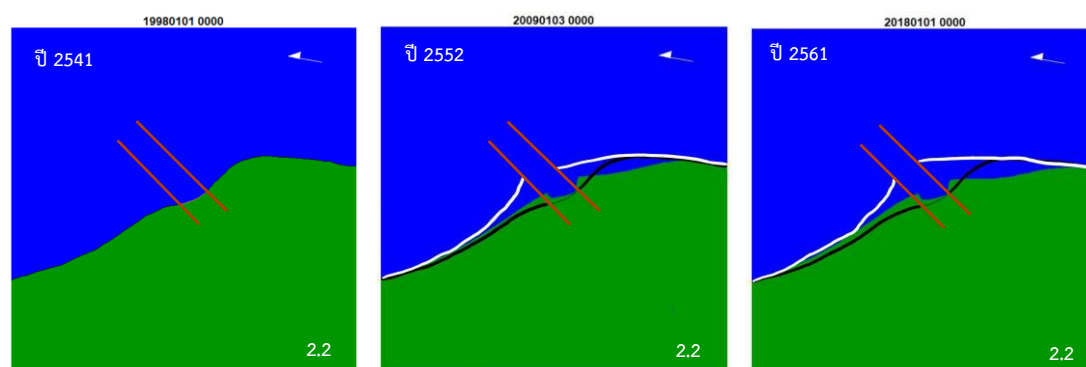
ก) ปี 2526 และ ข) ปี 2537

2) กรณีศึกษา 2 หลังมีโครงการเขื่อนกั้นทรายและคลื่นฯ (ปี 2541-2561)

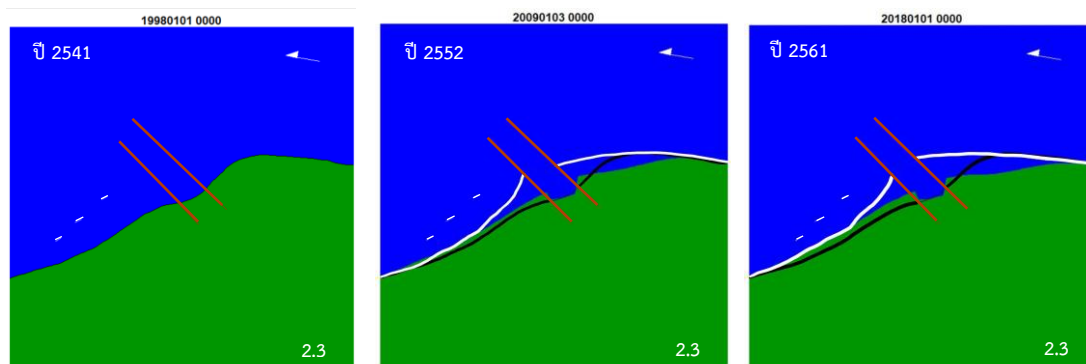
การศึกษาในกรณีศึกษา 2 เป็นการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังมีโครงการเขื่อนกั้นทรายและคลื่นฯ โดยใช้ข้อมูลสภาพพื้นที่ศึกษาที่จำลองได้จากแบบจำลอง GRIDGEN และข้อมูลสนามคลื่นที่ได้จากแบบจำลอง STWAVE นำเข้าในแบบจำลอง GENESIS รวมทั้งกำหนดตำแหน่งและขนาดของโครงสร้างตามข้อมูลออกแบบของโครงการ (ตาราง 3.3) สำหรับการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ต่อผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง โดยพิจารณาผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในปีที่ 11 (ปี 2552/ ค.ศ. 2009) และปีที่ 20 (ปี 2561/ ค.ศ. 2018) หลังมีการก่อสร้างเขื่อนกั้นทรายและคลื่นฯ ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 5 กรณีศึกษาย่อย ประกอบด้วยกรณีศึกษา 2.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งภายใต้เงื่อนไขชนิดข้อมูลคลื่นนำเข้า 2.2 การเปลี่ยนแปลงภายใต้อิทธิพลของตะกอนแม่น้ำ 2.3 การเปลี่ยนแปลงภายใต้อิทธิพลของเขื่อนกั้นคลื่น 2.4 การเปลี่ยนแปลงภายใต้อิทธิพลของเขื่อนกั้นคลื่นและน้ำขึ้นน้ำลง และ 2.5 การเปลี่ยนแปลงภายใต้อิทธิพลของเขื่อนกั้นคลื่น น้ำขึ้นน้ำลง และตะกอนแม่น้ำ โดยผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งปรากฏสำหรับแต่ละกรณีศึกษาที่ได้จากแบบจำลอง GENESIS แสดงผลดังรูป 4.26-4.30 ตามลำดับ และมีรายละเอียดดังนี้



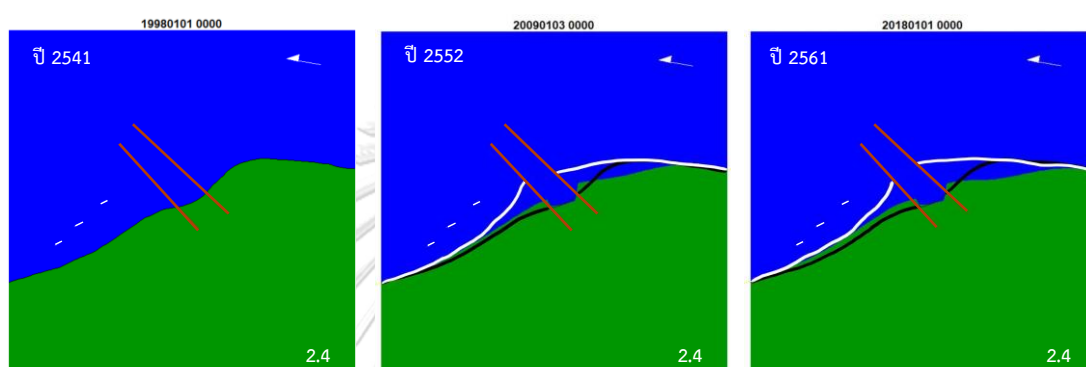
รูป 4.26 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลอง GENESIS กรณีศึกษา 2.1



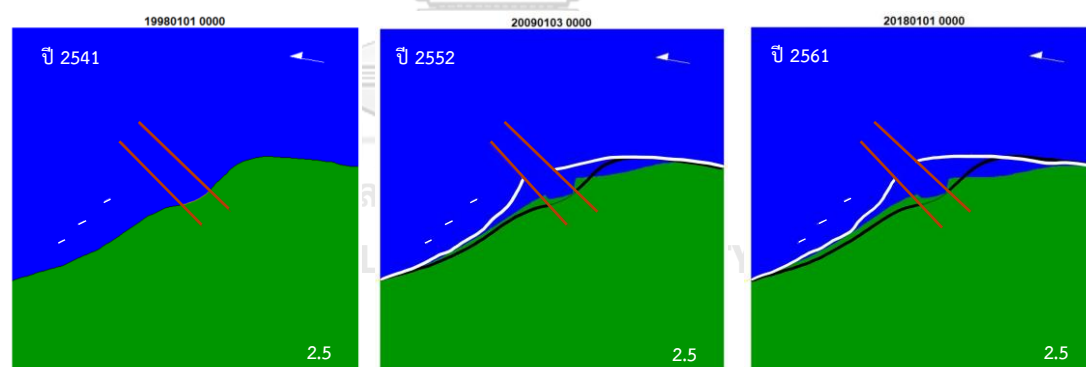
รูป 4.27 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลอง GENESIS กรณีศึกษา 2.2



รูป 4.28 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลอง GENESIS กรณีศึกษา 2.3



รูป 4.29 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลอง GENESIS กรณีศึกษา 2.4



รูป 4.30 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลอง GENESIS กรณีศึกษา 2.5

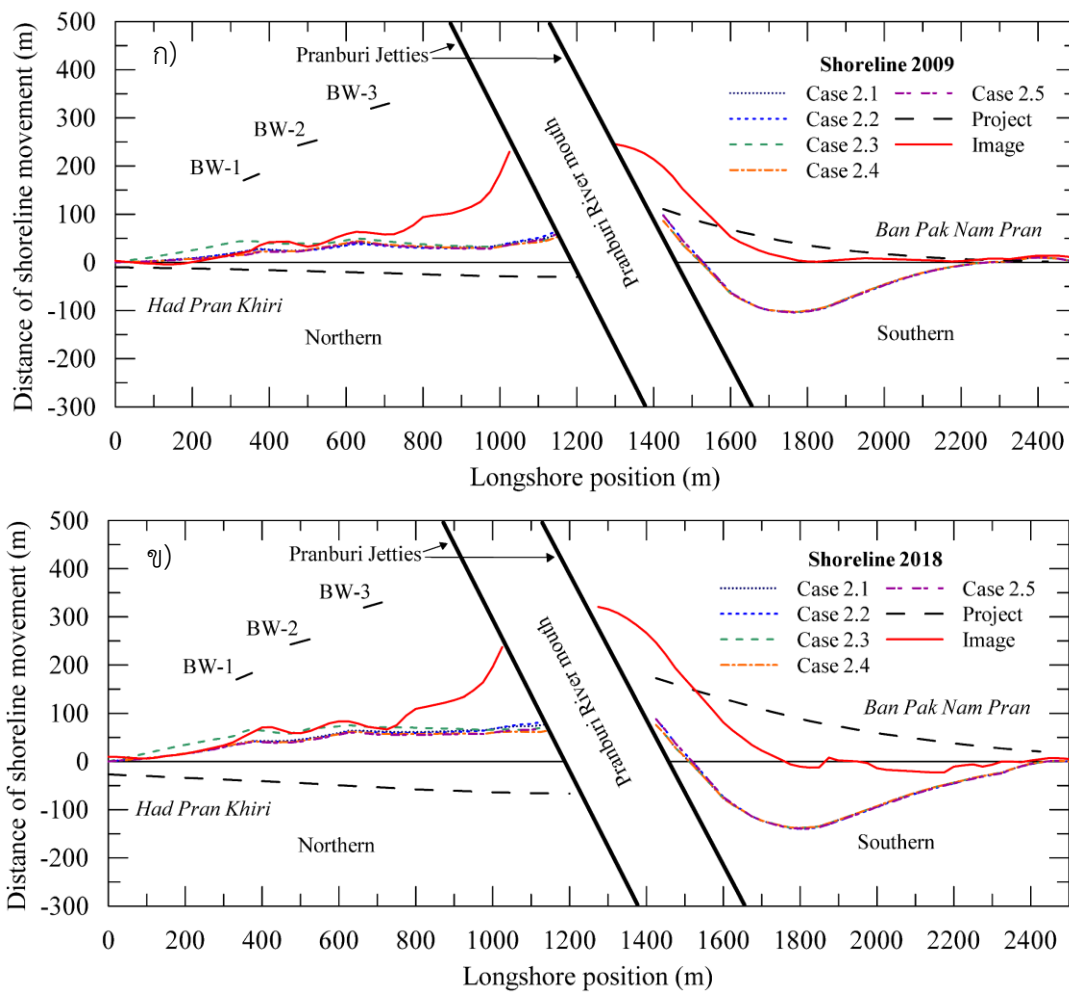
รูป 4.31 แสดงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากปี 2541 (ค.ศ. 1998) ถึงปี 2552 (ค.ศ. 2009) และ 2561 (ค.ศ. 2018) โดยมีพื้นที่ศึกษาครอบคลุมตั้งแต่หาดปราณศิริ ถึง บ้านปากน้ำปราณ (transect 117-142) คิดเป็นระยะทางประมาณ 2.5 กม. เส้นที่บนทาสีแดงแสดงตำแหน่งชายฝั่งที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม ในขณะที่เส้นประคือแนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งแบ่งเป็นแนวชายฝั่งจำลองในขั้นตอนการออกแบบของโครงการ (เส้นประสีดำ) และแนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลอง GENESIS ในกรณีศึกษาต่าง ๆ จากผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในปี 2552 (ค.ศ. 2009) และ 2561 (ค.ศ. 2018) พบว่าผลทำนายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ได้จาก

แบบจำลอง GENESIS ในกรณีศึกษาต่าง ๆ ให้ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งชายฝั่งด้านเหนือและชายฝั่งด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรี

ตาราง 4.14 และตาราง 4.15 แสดงผลสรุปการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในกรณีศึกษาต่าง ๆ ในปี 2552 (ค.ศ. 2009) และปี 2561 (ค.ศ. 2018) ตามลำดับ พบว่าหลังการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ในปี 2552 (ค.ศ. 2009) ชายฝั่งด้านเหนือจะงอกออกไปในทะเลด้วยอัตราเฉลี่ย 2-3 ม./ปี ส่งผลให้มีพื้นที่เพิ่มขึ้นประมาณ 3-4 เฮกตาร์ มีระยะสะสมตัวสูงสุดประมาณ 66 ม. (6 ม./ปี) และลดลงไปทางด้านเหนือห่างจากโครงสร้าง สำหรับชายฝั่งด้านใต้ส่วนใหญ่ (70%) พบการถดถอยของแนวชายฝั่ง ด้วยอัตราถดถอยเฉลี่ย -5 ม./ปี มีพื้นที่หายไปประมาณ -4 เฮกตาร์ (-0.36 เฮกตาร์/ปี) ชายฝั่งกัดเซาะสูงสุดเป็นระยะทางประมาณ -104 ม. (-9.4 ม./ปี) ในขณะที่บริเวณที่ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ชายฝั่งงอกด้วยอัตราเฉลี่ย 1.3 ม./ปี มีพื้นที่เพิ่มขึ้นประมาณ 0.5 เฮกตาร์ และมีระยะงอกสูงสุดประมาณ 73 ม. (6.6 ม./ปี)

ต่อมาในปี 2561 (ค.ศ. 2018) ชายฝั่งด้านเหนือยังคงงอกออกไปในทะเล ด้วยอัตราเฉลี่ยคงที่ และมีพื้นที่เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 5.5 เฮกตาร์ อย่างไรก็ตามชายฝั่งมีระยะสะสมตัวสูงสุดลดลงเหลือ 80 ม. (4 ม./ปี) ในขณะที่ด้านใต้มีแนวชายฝั่งถดถอยเพิ่มขึ้นเป็น 86% ของชายฝั่งทั้งหมด แต่มีอัตราถดถอยเฉลี่ยและถดถอยสูงสุดลดลงเหลือ -3.7 ม./ปี และ -6.9 ม./ปี ตามลำดับ บริเวณด้านหลังโครงสร้างมีอัตราการสะสมตัวลดลงเช่นกัน โดยมีอัตราที่บดบังน้อยกว่า 1 ม./ปี และมีพื้นที่สะสมลดลงประมาณ 50% จากปีที่ 11 ส่งผลให้มีพื้นที่หายไปรวมทั้งหมดประมาณ -7 เฮกตาร์

ตาราง 4.16 ในปี 2552 (ค.ศ. 2009) มีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนสะสมรวมผันแปรระหว่าง 911,446 – 1,085,381 ลบ.ม. มีปริมาณตะกอนสุทธิระหว่าง 439,743 – 505,387 ลบ.ม. และมีทิศทางการเคลื่อนที่จากเหนือไปใต้ (N-S) ทั้งในชายฝั่งด้านเหนือและด้านใต้ ต่อมาในปี 2561 (ค.ศ. 2018) พบว่าอัตราการรวมการเคลื่อนที่ของตะกอนลดลงเกือบ 80% ในทุกกรณีศึกษา และมีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนสุทธิจากด้านใต้ไปด้านเหนือ (S-N) รูป 4.32 แสดงภาพปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งในกรณีหลังมีโครงการฯ ในปี 2552 (ค.ศ. 2009) และ 2561 (ค.ศ. 2018) ซึ่งเห็นได้ว่าในกรณีที่มีการจำลองเขื่อนกันคลื่นแยกที่ชายฝั่งด้านเหนือ (กรณีศึกษา 2.3-2.5) โครงสร้างดังกล่าวจะมีผลต่อรูปแบบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนอย่างชัดเจน และบริเวณร่องน้ำปราณบุรี (บริเวณกลางภาพ) ไม่พบการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญในทุกกรณีศึกษา



รูป 4.31 เปรียบเทียบแนวชายฝั่งที่ใช้ในการศึกษา ก) ปี 2552 (ค.ศ. 2009) และ ข) ปี 2561 (ค.ศ. 2018) ระหว่างข้อมูลจากภาพถ่ายเทียม (Image) แนวชายฝั่งคาดการณ์ของกรมเจ้าท่า (Project) และผลจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ในกรณีศึกษา 2.1-2.5

ตาราง 4.14 ผลการเปรียบเทียบแนวชายฝั่งจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ (2.1-2.5), ข้อมูลโครงการ (Project) และภาพถ่ายเทียม (Image) ในปี 2552

Year 2009	2.1		2.2		2.3		2.4		2.5		Project		Image	
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
Percentage of shoreline change														
Recession	0	70	0	67.4	0	69.8	0	69.8	0	69.0	100	0	-	-
Accretion	100	30.2	100	32.6	100	30.2	100	30.2	100	30.9	0	100	-	-
Inverse direction	13.0	69.7	13.0	67.4	13.0	69.8	13.0	69.8	13.0	69	100	0	-	-
Area change (ha)														
Recession area	0.0	-4.1	0.0	-4.1	0.0	-4.1	0.0	-4.1	0.0	-4.1	-2.5	0.0	-0.04	0.0
Accretion area	3.2	0.3	3.2	0.6	4.1	0.5	3.0	0.5	3.0	0.6	0.0	3.4	6.8	3.6
Total	3.2	4.4	3.2	4.7	4.1	4.6	3.0	4.6	3.0	4.7	2.5	3.4	6.8	3.6
Shoreline recession (m)														
Max	0.0	-103.1	0.0	-104.5	0.0	-103.1	0.0	-103.0	0.0	-104.5	-30.7	0.0	-4.6	0.0
Mean	-	-54.7	0.0	-57.2	-	-54.7	0.0	-54.7	0.0	-57.2	-20.7	-	-2.8	-
Min	0.0	-1.1	0.0	-1.5	0.0	-1.1	0.0	-103.0	0.0	-1.5	-10.1	0.0	-0.3	0.0
SD	-	36.4	0.0	35.9	-	36.4	0.0	36.4	0.0	35.9	7.3	-	1.5	-
Shoreline accretion (m)														
Max	59.3	62.4	66.1	72.6	54.7	62.4	53.0	62.4	59.8	72.6	0.0	110.3	228.8	235
Mean	27.1	13.8	26.6	14.9	35.2	13.8	25.7	13.8	25.2	14.9	-	36	74.9	42.6
Min	0.7	0.4	0.7	0.1	2.8	0.4	0.7	0.4	0.7	0.0	0.0	1.7	0.2	1.3
SD	14.1	18.2	14.6	21.3	11.7	18.3	14.0	18.3	14.5	21.3	-	36.2	60.3	68.1
Rate of shoreline change (m/yr)														
Mean	2.4	-3.1	2.4	-3.1	3.1	-3.1	2.3	-3.1	2.2	-3.1	-1.9	3.3	5.9	2.4
Max. retreat	0.0	-9.4	0.0	-9.5	0.0	-9.4	0.0	-9.4	0.0	-9.5	-2.8	-	-0.4	-
Mean retreat	-	-5.0	-	-5.2	0.0	-5.0	-	-5.0	-	-5.2	-1.9	-	-0.3	-
Max.accretion	5.4	5.7	6.0	6.6	5.0	5.7	4.8	5.7	5.4	6.6	-	10.0	20.8	16.2
Mean accretion	2.4	1.3	2.4	1.4	3.2	1.3	2.3	1.3	2.3	1.4	-	3.3	6.8	2.4

Remark: Project = Predicted shoreline from Marine Dept., Image = Shoreline from satellite image, N = Northern coast, S = Southern coast, A = Northern and Southern coast

ตาราง 4.15 ผลการเปรียบเทียบแนวชายฝั่งจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ (2.1-2.5), ข้อมูลโครงการ (Project) และภาพถ่ายเทียม (Image) ในปี 2561

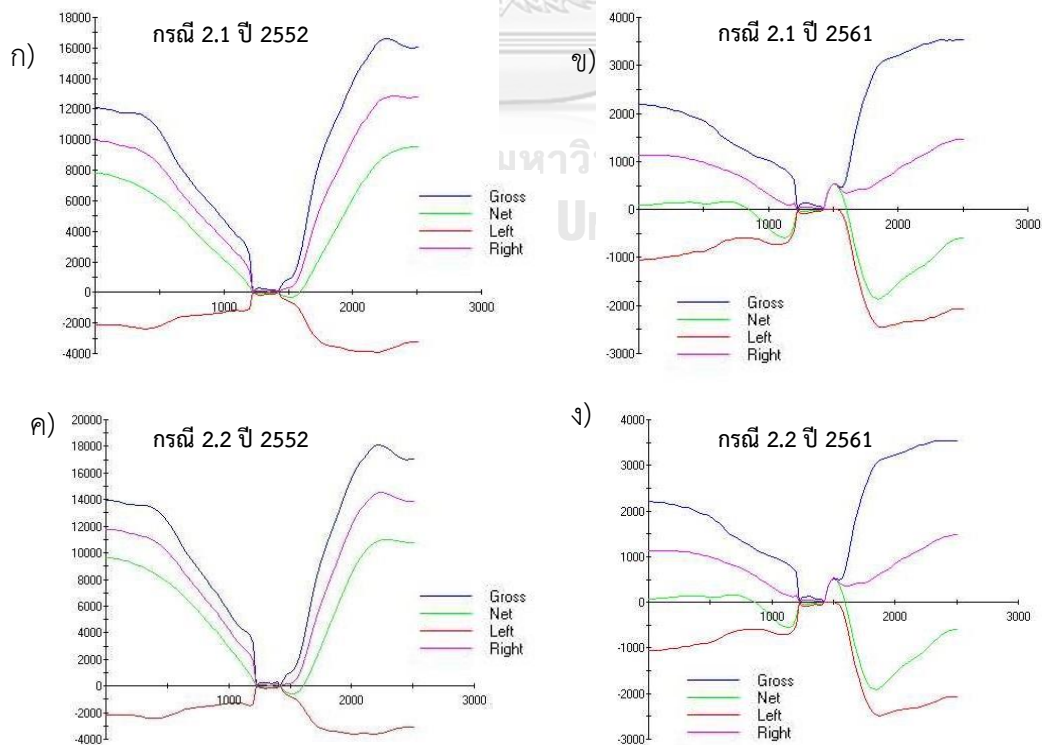
Year 2018	2.1		2.2		2.3		2.4		2.5		Project		Image	
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
Percentage of shoreline change														
Recession	0	86.1	0	86.1	0	86.1	0	86.1	0	86.1	100	0	-	-
Accretion	100	13.9	100	13.9	100	13.9	100	13.9	100	13.9	0	100	-	-
Inverse direction	0	37.2	0	37.2	0	37.2	0	37.2	0	37.2	100	50	-	-
Area change (ha)														
Recession area	0.0	-6.9	0.0	-7.0	0.0	-6.9	0.0	-6.9	0.0	-7.0	-5.9	0.0	0.0	-0.6
Accretion area	5.5	0.2	5.5	0.4	6.6	0.3	5.1	0.3	5.0	0.4	0.0	7.9	8.6	5.5
Total	5.5	7.1	5.5	7.4	6.6	7.2	5.1	7.2	5.0	7.4	5.9	7.9	8.6	6.1
Shoreline recession (m)														
Max	0.0	-138	0.0	-139	0.0	-138	0.0	-138	0.0	-139	-66.7	0.0	0.0	-22.8
Mean	-	-74.9	0.0	-75.6	-	-74.9	-	-74.9	0.0	-75.6	-48.8	-	-	-12.0
Min	0.0	-1.9	0.0	-2.4	0.0	-1.9	0.0	-1.9	0.0	-2.4	-27.4	0.0	0.0	-0.2
SD	-	44.6	0.0	45.3	-	44.6	-	44.6	0.0	45.3	13.9	-	-	7.6
Shoreline accretion (m)														
Max	80.0	54.0	88.1	64.4	75.3	54.1	64.6	54.1	72.8	64.4	0.0	172.2	236.8	296.4
Mean	47.0	18.7	46.5	24.0	56.9	18.8	43.3	18.8	42.8	24.1	-	80.3	70.7	90.8
Min	1.7	0.9	1.6	0.8	4.3	0.9	1.7	0.9	1.6	0.7	0.00	20.2	5.6	0.1
SD	22.8	22.8	23.3	27.2	19.6	22.8	19.7	22.8	20.1	27.2	-	50.9	53.6	103.0
Rate of shoreline change (m/yr)														
Mean	2.3	-3.1	2.3	-3.1	2.8	-3.1	2.2	-3.1	2.1	-3.1	-2.4	4.0	5.0	1.2
Max. retreat	0.0	-6.9	0.0	-7.0	0.0	-6.9	0.0	-6.9	0.0	-7.0	-3.3	-	-	-1.1
Mean retreat	-	-3.7	-	-3.8	-	-3.7	-	-3.7	-	-3.8	-2.4	-	-	-0.6
Max. accretion	4.0	2.7	4.4	3.2	3.8	2.7	3.2	2.7	3.6	3.2	-	8.6	18.6	11.1
Mean accretion	2.3	0.9	2.3	1.2	2.8	0.9	2.2	0.9	2.1	1.2	-	4.0	5.0	2.5

Remark: Project = Predicted shoreline from Marine Dept., Image = Shoreline from satellite image, N = Northern coast, S = Southern coast, A = Northern and Southern coast

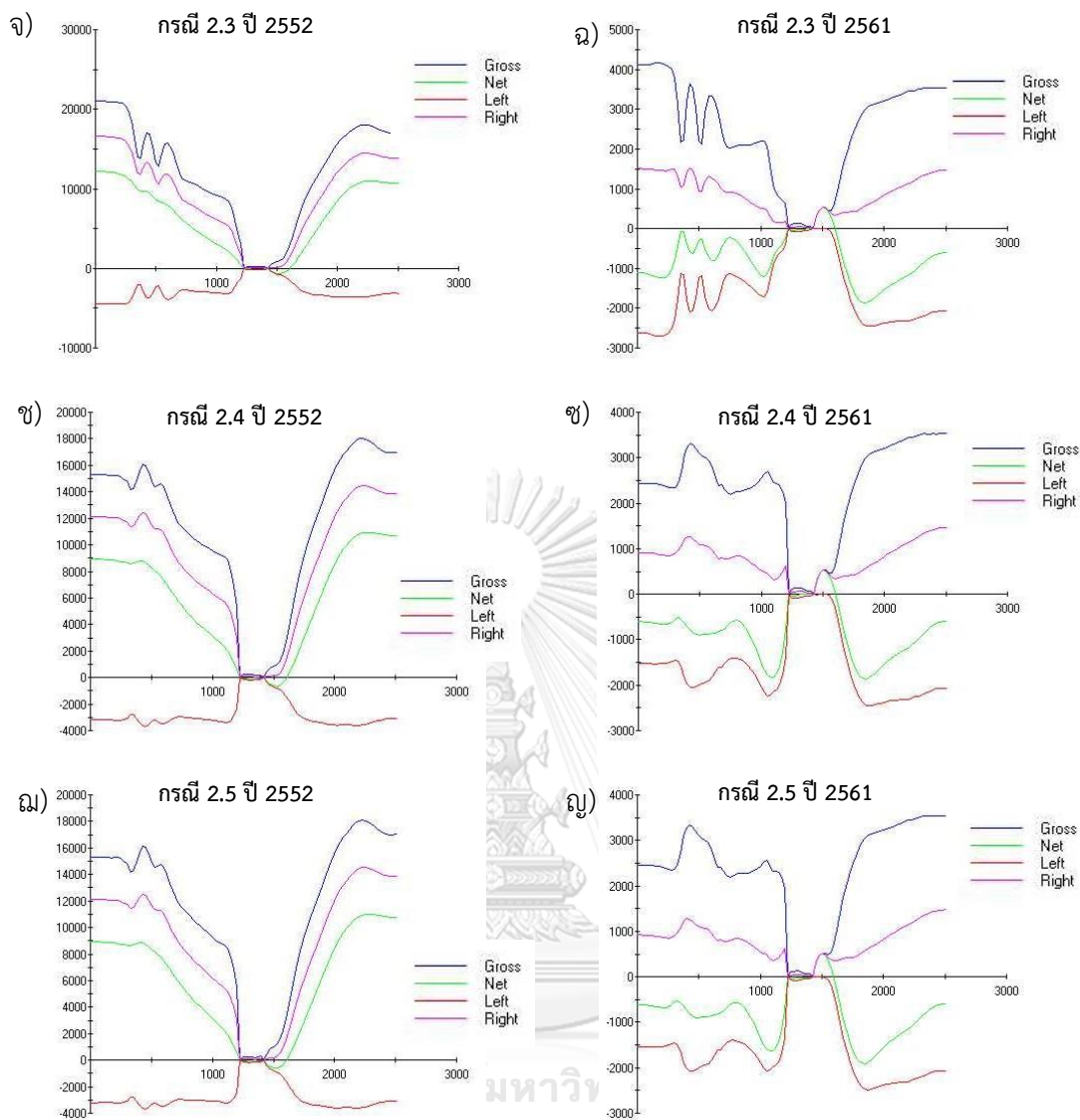
ตาราง 4.16 ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนสะสมตามแนวชายฝั่ง หลังก่อสร้างโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ปี 2552 (ค.ศ. 2009) และมี 2561 (ค.ศ. 2018)

Case no.	Area	Volume of longshore sediment transport in 2009 (m ³)				Volume of longshore sediment transport in 2018 (m ³)			
		Gross	Net	S-N	N-S	Gross	Net	S-N	N-S
2.1	Northern	412,903	241,587	-85,658	327,245	75,615	-243	-37,929	37,686
	Southern	498,543	232,613	-132,965	365,578	116,486	-41,198	-78,842	37,644
	All	911,446	474,200	-218,623	692,823	192,101	-41,441	-116,771	75,330
2.2	Northern	416,064	243,388	-86,338	329,726	76,362	98	-38,132	38,230
	Southern	502,375	232,603	-134,886	367,489	117,616	-42,208	-79,912	37,704
	All	918,439	475,991	-221,224	697,215	193,978	-42,110	-118,044	75,934
2.3	Northern	586,988	272,926	-157,031	429,957	132,912	-34,664	-83,788	49,124
	Southern	498,393	232,461	-132,966	365,427	116,472	-41,216	-78,844	37,628
	All	1,085,381	505,387	-289,997	795,384	249,384	-75,880	-162,632	86,752
2.4	Northern	510,398	207,320	-151,539	358,859	119,975	-41,567	-80,771	39,204
	Southern	498,359	232,423	-132,968	365,391	116,447	-41,249	-78,848	37,599
	All	1,008,757	439,743	-284,507	724,250	236,422	-82,816	-159,619	76,803
2.5	Northern	510,503	209,111	-150,696	359,807	119,389	-39,823	-79,606	39,783
	Southern	502,190	232,408	-134,891	367,299	117,588	-42,232	-79,910	37,678
	All	1,012,693	441,519	-285,587	727,106	236,977	-82,055	-159,516	77,461

Remark: S-N = sediment transported from south to north, N-S = sediment transported from north to south. Northern = northern coast, Southern = southern coast, All = northern and southern coast



รูป 4.32 แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนในกรณีต่าง ๆ หลังมีโครงการ



รูป 4.32 (ต่อ) แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนในกรณีต่าง ๆ หลังมีโครงการ

3) อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการคาดการณ์แนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง One-Line Model

ในการทดสอบอิทธิพลของข้อมูลทางสมุทรศาสตร์ อุทกศาสตร์ ต่อผลการคาดการณ์แนวชายฝั่งของแบบจำลอง GENESIS ซึ่งเป็นแบบจำลอง OLM ในการศึกษาครั้งนี้ พิจารณาเงื่อนไขของการศึกษา 5 เงื่อนไข โดยมีรายละเอียดของผลการศึกษาสําหรับแต่ละเงื่อนไข ดังต่อไปนี้

(1) ภายใต้งบเงื่อนไขสภาพคลื่นจากข้อมูลทุนสมุทรศาสตร์หัวหิน

เนื่องจากจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยมักประสบปัญหาการขาดแคลนข้อมูลคลื่นสำรวจ ทำให้ต้องใช้ข้อมูลคลื่นที่ประเมินจากข้อมูลลม ซึ่งมักใช้ข้อมูลลมจากสถานีตรวจวัดที่ตั้งอยู่บนแผ่นดิน เนื่องจากข้อมูลลมในทะเลนั้นมีอยู่น้อยมาก สำหรับโครงการศึกษาและออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ก็เป็นหนึ่งในโครงการที่ใช้ข้อมูลลมจากสถานีตรวจอากาศหัวหินที่ตั้งอยู่บนแผ่นดิน ในขั้นตอนการศึกษาของการก่อสร้างโครงการ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งปราณบุรี โดยใช้ข้อมูลคลื่นและลมในทะเลจากทุนหัวหิน (กรณีศึกษา 2.1) เพื่อเปรียบเทียบกับแนวชายฝั่งคาดการณ์ ที่ได้จากขั้นตอนการศึกษาและออกแบบโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ (กรมเจ้าท่า, 2539a) ในการศึกษาถึงคุณภาพข้อมูลคลื่น ที่มีต่อประสิทธิภาพการทำนายแนวชายฝั่งของแบบจำลองคณิตศาสตร์ จากการเปรียบเทียบรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระหว่างกรณีศึกษา 2.1 (ใช้ข้อมูลคลื่นทุนหัวหิน) กับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งคาดการณ์ ที่ได้ในขั้นตอนการศึกษาและออกแบบโครงการ ซึ่งใช้ข้อมูลคลื่นที่สังเคราะห์จากข้อมูลลมที่สถานีหัวหิน พบว่าให้ผลการทำนายรูปแบบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้านเหนือ และด้านใต้ของเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลการจำลองแนวชายฝั่งในปี 2561 (ค.ศ. 2018) จากการศึกษาครั้งนี้ (กรณีศึกษา 2.1) คาดการณ์ว่าแนวชายฝั่งด้านเหนือจะยื่นออกไปในทะเลด้วยอัตราเฉลี่ยประมาณ 2.3 ม./ปี ส่วนแนวชายฝั่งด้านใต้ส่วนใหญ่จะเกิดการถดถอยด้วยอัตราเฉลี่ย -3.7 ม./ปี ซึ่งตรงข้ามกับผลการจำลองแนวชายฝั่งที่ได้จากการศึกษาของโครงการ ที่คาดการณ์ว่าแนวชายฝั่งด้านเหนือจะถดถอยด้วยอัตราเฉลี่ย -2.4 ม./ปี และชายฝั่งด้านใต้จะมีตะกอนมาทับถมด้วยอัตราเฉลี่ย 4 ม./ปี

ตาราง 4.17 แสดงค่าระยะแตกต่างของแนวชายฝั่งคาดการณ์ จากแบบจำลองอันเนื่องจากการใช้ข้อมูลคลื่นที่ต่างกัน โดยพบว่าผลการคาดการณ์แนวชายฝั่งปราณบุรี สำหรับปี 2552 (ค.ศ. 2009) ที่ใช้ข้อมูลคลื่นที่ต่างกันจะให้ผลทำนายตำแหน่งแนวชายฝั่งที่ต่างกัน 14-65 ม. สำหรับแนวชายฝั่งด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรี และ 2-147 ม. สำหรับแนวชายฝั่งด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรี และเมื่อเวลาผ่านไปตำแหน่งแนวชายฝั่งคาดการณ์จะแตกต่างกันเพิ่มมากขึ้น โดยตำแหน่งชายฝั่งที่ทำนายในปี 2561 (ค.ศ. 2018) ที่เกิดจากการใช้ข้อมูลคลื่นทั้งสองชนิด มีความแตกต่างกันได้มากถึง 133 และ 232 ม. ที่ด้านเหนือและด้านใต้ของปากแม่น้ำ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าร้อยละของความแตกต่าง (percent different) ระหว่างผลการจำลองแนวชายฝั่งด้านเหนือปากแม่น้ำ จากข้อมูลคลื่นทั้งสองข้อมูล เพิ่มขึ้นจาก 43% สำหรับแนวชายฝั่งทำนายในปี 2552 (ค.ศ. 2009) เป็น 27% สำหรับแนวชายฝั่งปี 2561 (ค.ศ. 2018) ส่วนแนวชายฝั่งด้านใต้ของปาก

แม่น้ำ ร้อยละความแตกต่างระหว่างแนวชายฝั่งคาดการณ์จากทั้ง 2 กรณี ลดลงจาก 160% ในปี 2561 (ค.ศ. 2009) เป็น 58% ที่ในปี 2561 (ค.ศ. 2018)

ตาราง 4.17 ระยะแนวชายฝั่งและร้อยละของความแตกต่าง ระหว่างกรณีศึกษา 2.1 และข้อมูลโครงการ

Case 2.1 and Project design		2009			2018		
		Northern	Southern	All	Northern	Southern	All
Absolute shoreline change (m)	Max	65.0	147.2	147.2	132.7	232.0	232.0
	Mean	42.2	69.3	57.2	87.0	140.2	140.2
	Min	14.1	1.7	1.7	27.4	22.1	22.1
	SD	17.4	57.2	43.0	36.8	74.9	74.9
Percent different	Max	125.2	627.2	627.2	130	170.5	170.5
	Mean	43.3	159.9	101.6	27	58.2	42.6
	Min	15.2	18.2	15.2	1.0	9.8	1.0
	SD	31.6	182.7	140.9	41.3	59.4	52.3

Remark: Northern = Northern coast, Southern = Southern coast, All = Northern and Southern coast

(2) ภายใต้เงื่อนไขอิทธิพลของตะกอนจากแม่น้ำปราณบุรี

ตะกอนแม่น้ำเป็นหนึ่งในแหล่งตะกอนที่ให้กับชายฝั่ง (sediment source) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อรูปร่างของแนวชายฝั่งได้ อย่างไรก็ตาม ที่ผ่านมาข้อมูลปริมาณตะกอนแม่น้ำในประเทศไทยที่ไหลลงสู่ทะเลนั้นไม่มีการตรวจวัดมาก่อน เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่สูงและต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการสำรวจจึงจะได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือ ดังนั้นในขั้นตอนการศึกษาและพัฒนาโครงการบริเวณชายฝั่งของประเทศไทยที่ผ่านมา จึงมักไม่พิจารณาข้อมูลตะกอน ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ หรือพิจารณาเป็นสัดส่วนกับอัตราการไหลและข้อมูลตะกอนแขวนลอยเท่านั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาว่าข้อมูลตะกอนมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง อันเนื่องจากการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ อย่างไร (กรณีศึกษา 2.2)

ผลการจำลองแนวชายฝั่งระยะยาวกรณีมีเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ โดยพิจารณาข้อมูลตะกอนแม่น้ำปราณบุรีเป็นข้อมูลนำเข้า แสดงในตาราง 4.15 จากการเปรียบเทียบผลการจำลองแนวชายฝั่งกรณีศึกษา 2.1 และกรณีศึกษา 2.2 ซึ่งเป็นการจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งแบบไม่พิจารณา และพิจารณาข้อมูลตะกอนแม่น้ำ พบว่าแนวชายฝั่งคาดการณ์ด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรีกรณีศึกษาที่ 2.2 มีอัตราการทับถมเฉลี่ย 2.3 ม./ปี และมีพื้นที่สะสมตัว 5.5 เฮกตาร์ เช่นเดียวกันกับกรณีศึกษา 2.1 อย่างไรก็ตาม ผลการจำลองแนวชายฝั่งในกรณีที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าเกิดระยะสะสมตัวของแนวชายฝั่งสูงสุดเพิ่มขึ้นจาก 80 ม. (กรณีศึกษาที่ 2.1) เป็น 88 ม. (กรณีศึกษาที่ 2.2) คิดเป็นประมาณ 10% ในบริเวณชายฝั่งด้านเหนือที่ติดกับโครงสร้าง ในขณะที่ผลการจำลองแนวชายฝั่งคาดการณ์ด้านใต้ของปากแม่น้ำในกรณีศึกษา 2.2 มีอัตราเฉลี่ยการงอกของชายฝั่งเพิ่มขึ้นเป็น

1.2 ม./ปี (กรณีศึกษาที่ 2.1 มีค่า 0.9 ม./ปี) และพบระยะสะสมตัวสูงสุดเพิ่มขึ้นที่บริเวณชายฝั่งด้านใต้ที่ติดกับโครงสร้างเป็น 64.4 ม. จากเดิม 54 ม. ในกรณีศึกษาที่ 2.1 หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 19% ส่งผลให้พื้นที่ทับถมคาตการณ์ในบริเวณที่ติดกับโครงสร้างเพิ่มขึ้น 2 เท่า (จาก 0.2 เฮกตาร์ เป็น 0.4 เฮกตาร์) นอกจากนี้พบว่า จากผลการคาตการณ์แนวชายฝั่ง กรณีศึกษาที่ 2.2 แสดงค่าระยะถดถอยของแนวชายฝั่งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (-1.0 ม.) ส่งผลให้มีพื้นที่ถดถอยคาตการณ์เพิ่มขึ้น 0.1 เฮกตาร์จากกรณีศึกษาที่ 2.1

เมื่อพิจารณาอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนสะสมตามแนวชายฝั่ง (ตาราง 4.16) พบว่าอัตราการเคลื่อนที่รวมของตะกอน (gross sediment transport rate) ในกรณีศึกษาที่ 2.2 ไม่แตกต่างจากกรณีศึกษา 2.1 อย่างมีนัยสำคัญ ($\pm 1\%$) และมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของตะกอนสุทธิ (net sediment transport) จากเหนือไปใต้ (N-S) เหมือนกันในอัตราที่ใกล้เคียงกัน

ตาราง 4.18 แสดงผลการเปรียบเทียบระยะแตกต่างสุทธิของชายฝั่ง และความคลาดเคลื่อนระหว่างกรณีศึกษา 2.1 และ 2.2 พบว่าเมื่อนำเข้าข้อมูลตะกอนแม่น้ำในแบบจำลอง ในปี 2552 (ค.ศ. 2009) ชายฝั่งด้านเหนือและด้านใต้จะให้ผลทำนายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งแตกต่างกันเฉลี่ยประมาณ 1.0 ม. และ 1.5 ม. ตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีระยะแตกต่างกันเพิ่มขึ้นเป็น 1.3 ม. และ 2.0 ม. ที่ด้านเหนือและด้านใต้ อย่างไรก็ตามพบว่าค่าแตกต่างเฉลี่ยของทั้งพื้นที่ศึกษาลดลงจาก 19% เป็น 6.0%

ตาราง 4.18 ระยะแนวชายฝั่งและร้อยละของความแตกต่าง ระหว่างกรณีศึกษา 2.1 และ 2.2

Case 2.1 and 2.2		2009			2018		
		Northern	Southern	All	Northern	Southern	All
Absolute shoreline change (m)	Max	2.3	8.6	8.59	2.3	8.9	8.9
	Mean	1.0	1.5	1.3	1.3	2.0	1.6
	Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	SD	0.8	1.8	1.4	0.8	1.8	1.5
Percent different	Max	7.5	982.0	982	4.3	71.6	71.6
	Mean	3.9	33.8	19.0	3.3	8.6	6.0
	Min	1.4	0.1	0.1	0.0	0.2	0.0
	SD	2.0	153.6	109.7	0.8	15.2	11.1

Remark: Northern = Northern coast, Southern = Southern coast, All = Northern and Southern coast

(3) ภายใต้ง่อนไขมีเขื่อนกันทรายและคลื่น และเขื่อนกันคลื่นแยก

ในขั้นตอนการศึกษาและออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ (กรมเจ้าท่า, 2539a) พบว่ามีการใช้แบบจำลองในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งอันเนื่องมาจากเขื่อนกันทรายและคลื่นเท่านั้น ซึ่งผลการจำลองแนวชายฝั่งในขั้นตอนดังกล่าว คาตการณ์ว่าจะเกิดการถอยร่นของแนวชายฝั่งด้านเหนืออย่างมีนัยสำคัญ จึงมีข้อเสนอแนะให้ก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นแยก เพื่อบรรเทาผลกระทบที่

คาดว่าจะเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม ในรายงานการศึกษาโครงการเชื่อมกันทรายและคลื่นฯ ไม่มีการศึกษา และจำลองแนวชายฝั่งสำหรับกรณีการติดตั้งเชื่อมกันคลื่นแยก ที่ถูกก่อสร้างพร้อมกันกับเชื่อมกัน ทรายและคลื่น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ที่พิจารณาทั้ง การก่อสร้างโครงสร้างเชื่อมกันทรายและคลื่น และเชื่อมกันคลื่นแยก จำนวน 3 ตัว ที่สร้างบริเวณ ชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำ (กรณีศึกษา 2.3)

สำหรับผลการจำลองแนวชายฝั่งระยะยาวในกรณีนี้ สรุปได้ดังตาราง 4.15 เมื่อเปรียบเทียบ แนวชายฝั่งที่จำลองได้จากกรณีศึกษา 2.3 กับกรณีศึกษา 2.1 ซึ่งเป็นกรณีที่ไม่พิจารณาเชื่อมกันคลื่น แยกพบว่า ชายฝั่งคาดการณ์ทางด้านเหนือ สำหรับกรณีศึกษา 2.3 แตกต่างจากกรณีศึกษา 2.1 อย่าง มีนัยสำคัญ โดยผลของแนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลองกรณีศึกษา 2.3 คาดการณ์ว่าจะทำให้มีอัตราการ เปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของแนวชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำ เพิ่มขึ้นเป็น 2.8 ม./ปี (กรณีศึกษาที่ 2.1 มีค่า 2.3 ม./ปี) เกิดพื้นที่สะสมตัวเพิ่มขึ้นจาก 5.5 เฮกตาร์ เป็น 6.6 เฮกตาร์ (เพิ่มขึ้น 20%) อย่างไรก็ตามแนวชายฝั่งจำลองในกรณีศึกษา 2.3 มีค่าระยะงอกเพิ่มสูงสุดลดลงกว่า กรณีศึกษา 2.1 ประมาณ 4.7 ม. ในขณะที่ชายฝั่งด้านใต้พบว่าแนวชายฝั่งทั้งกรณีศึกษา 2.1 และกรณีศึกษา 2.3 ไม่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 4.16 แสดงผลการคาดการณ์อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ใน กรณีศึกษา 2.3 ซึ่งพบว่า มีค่าปริมาณตะกอนเคลื่อนที่รวมสะสมตามแนวชายฝั่ง ด้านเหนือของ ปากน้ำปราณบุรี เพิ่มมากขึ้นกว่ากรณีศึกษา 2.1 ประมาณ 42% และมีค่าปริมาณตะกอนสุทธิเพิ่มขึ้น มากกว่า 13% โดยเคลื่อนที่จากทิศเหนือลงมายังทิศใต้ (N-S) ในขณะที่ค่าอัตราการเคลื่อนที่ของ ตะกอนจากทิศใต้ขึ้นไปทางทิศเหนือ (S-N) และทิศเหนือลงมายังทิศใต้ (N-S) เพิ่มขึ้น 83% และ 31% จากกรณีศึกษา 2.1 ตามลำดับ ส่งผลให้พื้นที่แนวชายฝั่งด้านเหนือในกรณีศึกษา 2.3 มีปริมาณตะกอน ที่เคลื่อนที่ขึ้นเหนือ (S-N) ประมาณ 26.7% ซึ่งมากกว่าในกรณีศึกษา 2.1 อยู่ประมาณ 6% (20.7%) ส่วนที่ชายฝั่งด้านใต้แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอน สำหรับกรณีการจำลอง แนวชายฝั่งในปี 2561 (ค.ศ. 2018) พบว่าค่าอัตราการเคลื่อนที่รวมของตะกอนในกรณีศึกษา 2.3 เพิ่ม จากกรณีศึกษา 2.1 ประมาณ 76% และมีทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนสุทธิจากด้านใต้ไปด้าน เหนือ (S-N) นอกจากนี้พบว่าร้อยละของการเคลื่อนที่ของตะกอนจากด้านใต้ไปด้านเหนือ (S-N) ใน กรณีศึกษา 2.3 (63%) มากกว่ากรณีศึกษา 2.1 (50%)

ตาราง 4.19 แสดงระยะและร้อยละของความแตกต่างระหว่างแนวชายฝั่งคาดการณ์ระหว่าง กรณีศึกษา 2.1 และ 2.3 โดยพบว่าเมื่อเพิ่มโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นแยก 3 ตัวที่ชายฝั่งด้านเหนือปาก แม่น้ำในแบบจำลอง ระยะการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งจะแตกต่างจากกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่นแยก

โดยเฉลี่ยประมาณ 9.7 ม. สำหรับการจำลองแนวชายฝั่งปี 2552 (ค.ศ. 2009) และประมาณ 12 ม. สำหรับการจำลองแนวชายฝั่งปี 2561 (ค.ศ. 2018) ในขณะที่ผลการจำลองแนวชายฝั่งบริเวณด้านใต้ของปากแม่น้ำที่ได้จากทั้ง 2 กรณีศึกษา ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ผลการจำลองแนวชายฝั่งจากแบบจำลองทั้งสองกรณี จะมีความแตกต่างลดลงจาก 48% ในช่วงแรก เหลือต่างกัน 37% ในปี 2561 (ค.ศ. 2018)

ตาราง 4.19 ระยะแนวชายฝั่งและร้อยละของความแตกต่าง ระหว่างกรณีศึกษา 2.1 และ 2.3

Case 2.1 and 2.3		2009			2018		
		Northern	Southern	All	Northern	Southern	All
Absolute shoreline change (m)	Max	22.5	0.1	22.5	24.5	0.1	24.5
	Mean	9.7	0.0	4.7	12.0	0.0	5.9
	Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	SD	6.4	0.0	6.6	6.6	0.0	7.6
Percent different	Max	126.9	25	126.9	90.8	1.0	90.8
	Mean	48.3	0.2	24.0	36.6	0.1	18.2
	Min	0.9	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
	SD	40.7	0.5	37.3	28.6	0.2	27.1

Remark: Northern = Northern coast, Southern = Southern coast, All = Northern and Southern coast

(4) ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง เชื่อมกันทรายเป็นและคลื่น เชื่อมกันคลื่นแยก และน้ำขึ้นน้ำลง

ระดับน้ำขึ้นน้ำลงเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง ซึ่งแม้ว่าในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งแบบ OLM ทั่วไป เช่น GENESIS จะมีทางเลือกนี้ให้แก่ผู้ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองที่พิจารณาอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์แนวชายฝั่งของแบบจำลองก็ตาม ปัจจัยเรื่องระดับน้ำขึ้นน้ำลงมักไม่ถูกนำมาพิจารณาในขั้นตอนการจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้พิจารณาอิทธิพลของระดับน้ำขึ้นน้ำลงต่อแนวชายฝั่งคาดการณ์ โดยการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งปราณบุรี กรณีมีเชื่อมกันทรายเป็นและคลื่น และเชื่อมกันคลื่นแยก 3 ตัว ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (กรณีศึกษา 2.4) ซึ่งผลการจำลองแนวชายฝั่งระยะยาวในกรณีนี้ สรุปได้ดังตาราง 4.15 เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองชายฝั่งกรณีศึกษา 2.4 และกรณีศึกษา 2.3 (ไม่พิจารณาอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง) พบว่าแนวชายฝั่งด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรีที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองกรณีมีความแตกต่างกัน โดยแนวชายฝั่งคาดการณ์ที่พิจารณาอิทธิพลของระดับน้ำขึ้นน้ำลง ส่งผลให้อัตราเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจาก 2.8 ม./ปี (กรณีไม่พิจารณาอิทธิพลของระดับน้ำขึ้นน้ำลง) ลดลงเหลือ 2.2 ม./ปี และมีผลทำให้พื้นที่ชายฝั่งสะสมลดลง 23% (จาก 6.6 เฮกตาร์ สำหรับกรณีศึกษา 2.3 เหลือ 5.1 เฮกตาร์ สำหรับกรณีศึกษา 2.4) นอกจากนี้ยังพบว่าแนวชายฝั่งที่จำลองได้จากกรณีศึกษา 2.4 มีระยะสะสมสูงสุดของแนวชายฝั่งประมาณ 65 ม. ซึ่งลดลง

จากกรณีศึกษา 2.3 ที่มีระยะ 75.3 ม. (ลดลง 14%) ในบริเวณที่ติดกับโครงสร้าง สำหรับแนวชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ ระหว่างแนวชายฝั่งที่คาดการณ์ได้จากกรณีศึกษาทั้งสอง

เมื่อพิจารณาอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ที่จำลองได้จากกรณีศึกษา 2.4 เปรียบเทียบกับกรณีศึกษา 2.3 พบว่าการพิจารณาอิทธิพลของระดับน้ำในแบบจำลอง ส่งผลให้แนวชายฝั่งด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรี ในปี 2552 (ค.ศ. 2009) มีค่าปริมาณตะกอนเคลื่อนที่รวมลดลง 13% เมื่อเทียบกับกรณีไม่พิจารณาระดับน้ำขึ้นน้ำลง และส่งผลให้ค่าปริมาณตะกอนสุทธิลดลง 24% โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนสุทธิยังคงเดิมในทั้งสองกรณี ส่วนอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนจากด้านใต้ไปด้านเหนือ (S-N) และด้านเหนือไปด้านใต้ (N-S) สำหรับกรณีศึกษา 2.4 พบว่า มีค่าลดลงจากกรณีศึกษา 2.3 อยู่ 3.5% และ 16.5% ตามลำดับ และส่งผลให้มีร้อยละการเคลื่อนที่ของตะกอนจากใต้ไปเหนือ (S-N) เพิ่มขึ้นเป็น 29.7% จากเดิมในกรณีศึกษา 2.3 มีค่าประมาณ 26.7% ส่วนผลการศึกษาจำลองแนวชายฝั่งด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรีในกรณีศึกษา 2.4 นั้นให้ค่าที่แตกต่างกับกรณีศึกษา 2.3 อย่างไม่มีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแนวชายฝั่งที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลองสำหรับกรณีศึกษา 2.3 และ 2.4 (ตาราง 4.20) พบว่าการพิจารณาข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลงในการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ ให้ผลการทำนายเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำในปี 2552 (ค.ศ. 2009) แตกต่างจากกรณีผลของระดับน้ำขึ้นน้ำลง (กรณีศึกษา 2.3) อยู่ประมาณ 10.4 ม. และค่าความแตกต่างระหว่างทั้ง 2 กรณี เพิ่มขึ้นเป็น 14.4 ม. ในปี 2561 (ค.ศ. 2018) อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ระยะแนวชายฝั่งสะสมตัวสูงสุดกลับมีค่าลดลงจากเดิม 29.4 ม. (กรณีศึกษา 2.3) เป็น 25.7 ม. ที่บริเวณด้านหลังเขื่อนกันคลื่น หากพิจารณาผลของน้ำขึ้นน้ำลงในการจำลองชายฝั่ง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความแตกต่างของผลการจำลองระหว่างทั้งสองกรณี จะลดลงจาก 132% ในการจำลองช่วงแรก เหลือ 88% ในช่วงหลัง อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การพิจารณาระดับน้ำขึ้นลงในการจำลองแนวชายฝั่งปราณบุรี ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 4.20 ระยะแนวชายฝั่งและร้อยละของความแตกต่าง ระหว่างกรณีศึกษา 2.3 และ 2.4

Case 2.3 and 2.4		2009			2018		
		Northern	Southern	All	Northern	Southern	All
Absolute shoreline change (m)	Max	29.4	0.0	29.4	25.7	0.1	25.7
	Mean	10.4	0.0	5.1	14.4	0.02	7.0
	Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	SD	7.9	0.0	7.6	5.8	0.02	8.3
Percent different	Max	132.2	2.5	132.2	87.6	0.7	87.6
	Mean	53.9	0.2	26.7	40.5	0.1	20.0
	Min	7.6	0.0	0.0	10.1	0.0	0.0
	SD	46.4	0.4	42.2	24.5	0.1	26.6

Remark: Northern = Northern coast, Southern = Southern coast, All = Northern and Southern coast

(5) ภายใต้เงื่อนไขมีเขื่อนกันทรายและคลื่น เขื่อนกันคลื่นแยก น้ำขึ้นน้ำลง และตะกอนแม่น้ำ

ในการศึกษาครั้งนี้ สร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งโดยพิจารณาทั้งอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและตะกอนแม่น้ำ (กรณีศึกษา 2.5) เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้งสองต่อการทำนายการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งของแบบจำลองคณิตศาสตร์ OLM โดยผลการจำลองแนวชายฝั่งระยะยาวกรณีนี้ สรุปได้ดังตาราง 4.15 จากการเปรียบเทียบแนวชายฝั่งในกรณีศึกษา 2.5 (พิจารณาทั้งผลของระดับน้ำขึ้นน้ำลง และตะกอนแม่น้ำ) กับแนวชายฝั่งกรณีศึกษา 2.4 พบว่าเมื่อเพิ่มข้อมูลตะกอนแม่น้ำในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง แนวชายฝั่งคาดการณ์ที่ได้จากแบบจำลองกรณีศึกษา 2.5 แตกต่างจากกรณีศึกษา 2.4 อย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยลดลงจากกรณีศึกษา 2.4 เพียง 0.1 ม./ปี แต่มีค่าระยะแนวชายฝั่งสะสมตัวสูงสุดเพิ่มขึ้นจากกรณีศึกษา 2.4 (64.6 ม.) เป็น 72.8 ม. หรือเพิ่มขึ้น 12.7% อย่างไรก็ตาม พื้นที่ชายฝั่งทับถมของชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำ ที่ได้จากกรณีศึกษา 2.5 มีค่าน้อยกว่ากรณีศึกษา 2.4 ประมาณ 0.1 เฮกตาร์ ส่วนผลการจำลองแนวชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำในกรณีศึกษา 2.5 มีอัตราเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเท่ากับกรณีศึกษา 2.4 แต่ค่าระยะการสะสมของแนวชายฝั่งสูงสุดเพิ่มขึ้นจากกรณีศึกษา 2.4 (54.1 ม.) เป็น 64.4 ม. หรือเพิ่มขึ้น 19% ส่งผลให้มีพื้นที่ทับถมของแนวชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำมากกว่ากรณีศึกษา 2.4 อยู่ 0.1 เฮกตาร์ นอกจากนี้แนวชายฝั่งจำลองของกรณีศึกษา 2.5 ยังมีค่าอัตราการถดถอยเฉลี่ยของแนวชายฝั่งเพิ่มขึ้นกว่ากรณีศึกษา 2.4 อยู่ -0.1 ม./ปี และส่งผลให้มีค่าพื้นที่ชายฝั่งที่สูญเสียประมาณ -0.1 เฮกตาร์

เมื่อพิจารณาผลการคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนจากแบบจำลอง ทั้งในกรณีศึกษา 2.5 และ 2.4 (ตาราง 4.16) การพิจารณาหรือไม่พิจารณาปริมาณตะกอนแม่น้ำ ร่วมกับระดับน้ำขึ้นน้ำลงในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปราณบุรี ไม่ทำให้ปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่งปราณบุรี ทั้งด้านเหนือและด้านใต้ของปากแม่น้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($\pm 1\%$)

ตาราง 4.21 แสดงระยะและร้อยละของความแตกต่างระหว่างแนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลองกรณีศึกษา 2.4 และ 2.5 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการพิจารณาข้อมูลตะกอนแม่น้ำเพิ่มในแบบจำลองทำให้แนวชายฝั่งคาดการณ์เฉลี่ย แตกต่างไปจากกรณีไม่พิจารณาข้อมูลตะกอนแม่น้ำอยู่ประมาณ 2 ม. และมีผลต่างสูงสุดประมาณ 10 ม. ในบริเวณที่ติดกับโครงสร้าง โดยแนวชายฝั่งคาดการณ์จากแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งทั้งสองกรณี จะมีค่าความแตกต่างลดลงจาก 18.4% สำหรับปี 2552 (ค.ศ. 2009) เหลือ 6.1% ในปี 2561 (ค.ศ.2018)

ตาราง 4.21 ระยะแนวชายฝั่งและร้อยละของความแตกต่าง ระหว่างกรณีศึกษา 2.4 และ 2.5

Case 2.4 and 2.5		2009			2018		
		Northern	Southern	All	Northern	Southern	All
Absolute shoreline change (m)	Max	1.9	8.6	8.6	1.9	9.0	9.0
	Mean	1.0	1.7	1.3	1.2	2.0	1.6
	Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	SD	0.7	2.2	1.4	0.6	1.9	1.4
Percent different	Max	6.8	880.6	880.6	6.1	73.5	73.5
	Mean	4.9	31.6	18.4	3.5	8.7	6.1
	Min	0.2	0.1	0.1	0.5	0.2	0.2
	SD	1.2	138.3	98.7	1.2	15.4	11.2

Remark: Northern = Northern coast, Southern = Southern coast, All = Northern and Southern coast

ผลการศึกษาปัจจัยทางสมุทรศาสตร์ อุทกศาสตร์ และโครงสร้างต่อการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั้ง 5 กรณี ของแบบจำลอง GENESIS ซึ่งเป็นแบบจำลอง OLM ชี้ให้เห็นว่าข้อมูลคลื่นเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ในขณะที่การนำเข้าข้อมูลประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลง ข้อมูลตะกอนแม่น้ำ และเขื่อนกั้นคลื่นแยก ในการศึกษาไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูลคลื่นสมมติจริง ผลการศึกษาและผลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยสรุปแสดงดังตาราง 4.22

4.5.5 ประสิทธิภาพของการใช้แบบจำลอง One-Line model ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

ในการศึกษาครั้งนี้ ประสิทธิภาพของการใช้แบบจำลอง OLM ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ประเมินได้จากค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างแนวชายฝั่งจริงหลังจากการก่อสร้างโครงการ กับแนวชายฝั่งทำนายภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบโครงการ และแนวชายฝั่งทำนายภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังต่อไปนี้

ตาราง 4.22 สรุปผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระยะยาวภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ

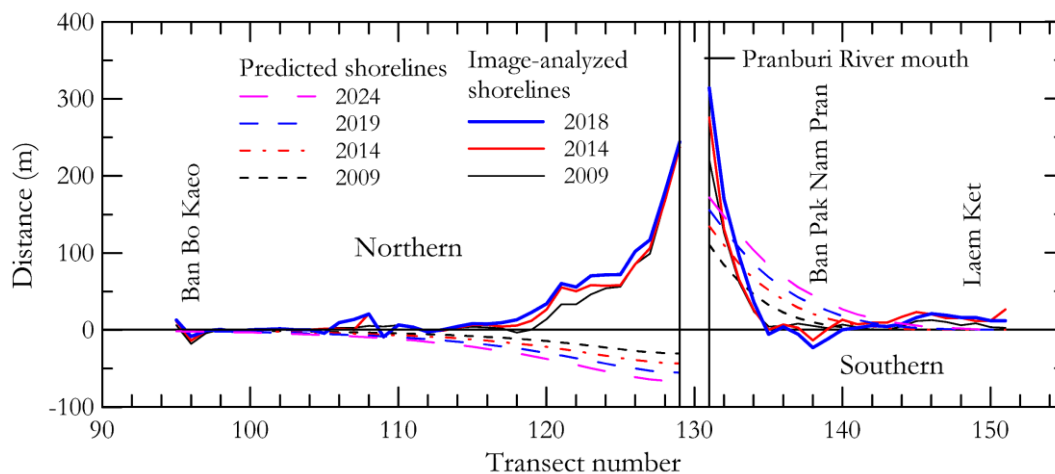
เงื่อนไข	กรณีศึกษาเปรียบเทียบ	ชายฝั่งด้านเหนือ	ชายฝั่งด้านใต้
ข้อมูลคลื่นวัดจริง	กรณีศึกษา 2.1 และรายงานออกแบบของโครงการ	รูปแบบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง* ตรงข้ามกันทั้งหมด	ส่วนใหญ่ (>80%) มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งต่างกัน
นำเข้าข้อมูลตะกอนแม่น้ำในแบบจำลองที่มีเงื่อนไขทรายและคลื่น	กรณีศึกษา 2.1 และ 2.2	- อัตราการการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยคงเดิม - ระยะงอกสูงสุดของชายฝั่งเพิ่มขึ้น 10% - พื้นที่สะสมตัวคงเดิม	- อัตราการการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยคงเดิม - ระยะงอกสูงสุดของชายฝั่งเพิ่มขึ้น 19% - พื้นที่สะสมตัวเพิ่มขึ้น 50%
จำลองเงื่อนไขคลื่นแยกที่ด้านเหนือของปากแม่น้ำ	กรณีศึกษา 2.1 และ 2.3	- อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเพิ่มขึ้น 22% - พื้นที่ทับถมเพิ่มขึ้น 20% - ระยะงอกสูงสุดของชายฝั่งลดลง 6% - Net LST** เพิ่มขึ้น 13%	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ
นำเข้าข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลงและเงื่อนไขคลื่นแยกที่ด้านเหนือปากแม่น้ำ	กรณีศึกษา 2.3 และ 2.4	- อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งลดลง 21% - พื้นที่ทับถมลดลง 23% - ระยะงอกสูงสุดของชายฝั่งลดลง 14% - Net LST ลดลง 24%	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ
นำเข้าข้อมูลตะกอนแม่น้ำ น้ำขึ้นน้ำลง และเงื่อนไขคลื่นแยกที่ด้านเหนือปากแม่น้ำ	กรณีศึกษา 2.4 และ 2.5	- อัตราการการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยลดลง 5% - พื้นที่ทับถมลดลง 2% - ระยะงอกสูงสุดของชายฝั่งเพิ่มขึ้น 13% - LST ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ	- อัตราการการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยคงเดิม - ระยะงอกสูงสุดของชายฝั่งเพิ่มขึ้น 19% - LST ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

Remark: รูปแบบการเปลี่ยนแปลง* หมายถึง ชายฝั่งกัดเซาะหรือชายฝั่งสะสมตัว , LST**= longshore sediment transport,

1) ความคลาดเคลื่อนระหว่างแนวชายฝั่งทำนายภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ โครงการ กับแนวชายฝั่งปี 2561 (20 ปีหลังจากการก่อสร้าง)

ผลการศึกษาแนวชายฝั่งคาดการณ์จากแบบจำลอง OLM ในขั้นตอนการศึกษาและออกแบบ เชื้อกันทรายและคลื่นฯ (กรมเจ้าท่า, 2539a) ถูกนำมาเปรียบเทียบกับแนวชายฝั่งปรากฏที่เกิดขึ้นจริงหลังจากการก่อสร้างโครงการ เพื่อติดตามประเมินผลการทำนายแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยรายงานการศึกษาและออกแบบโครงการ ได้แสดงผลการคาดการณ์แนวชายฝั่งคาดการณ์ไว้ 4 ช่วงปี คือปี 2552, 2557, 2562 และ 2567 (ค.ศ. 2009, 2014, 2019, และ 2024) สำหรับแนวชายฝั่งคาดการณ์ที่แสดงไว้ในรายงานครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ บ้านบ่อแก้ว ถึงบางส่วนของแหลมเกต (transect 95-150) ดังแสดงในรูป 4.33 ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนของแนวชายฝั่งคาดการณ์ของโครงการ เทียบกับแนวชายฝั่งที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม แสดงได้ในตาราง 4.23 ซึ่งผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ชายฝั่งด้านเหนือของเชื้อกันทรายและคลื่นฯ (transect 95-129) และชายฝั่งด้านใต้ของเชื้อกันทรายและคลื่นฯ (transect 131-150) โดยเส้นปะแสดงถึงแนวชายฝั่งคาดการณ์ในปีต่าง ๆ ที่ได้จากแบบจำลอง OLM ในรายงานการศึกษาและออกแบบโครงการ ส่วนเส้นทึบแสดงถึงแนวชายฝั่งจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยมีผลสรุปดังนี้

รูป 4.33 ผลการคาดการณ์แนวชายฝั่งจากแบบจำลอง OLM แสดงให้เห็นว่า ภายหลังจากก่อสร้างเชื้อกันทรายและคลื่นฯ แนวชายฝั่งด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรีจะถดถอย (กัดเซาะ) ในขณะที่ชายฝั่งด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรีจะมีการงอกเพิ่มของชายฝั่ง โดยในปี 2552 (ค.ศ. 2009) ชายฝั่งด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรีจะเริ่มเกิดการถดถอยที่บ้านบ่อแก้ว (transect 95) และมีค่าถดถอยสูงสุด -31 ม. ตรงบริเวณชายฝั่งที่ติดกับเชื้อกันทรายและคลื่น (transect 129) (ตาราง 4.23) นอกจากนี้ผลการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระบุว่า เมื่อเวลาผ่านไปแนวชายฝั่งจะมีการถดถอยเพิ่มขึ้น โดยในปี 2557, 2562, และ 2567 (ค.ศ. 2014, 2019, และ 2024) ชายฝั่งจะเกิดการถดถอยสูงสุดตรงบริเวณชายฝั่งที่ติดกับเชื้อกันทรายและคลื่นฯ เป็นระยะถึง -43, -49, และ -67 ม. ตามลำดับ ส่งผลให้มีการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรีเพิ่มขึ้นจาก -3.3 เฮกตาร์ ในปี 2552 (ค.ศ. 2009) เป็น -8 เฮกตาร์ในปี 2567 (ค.ศ. 2024) ในขณะที่ผลการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำระบุว่า จะมีการงอกเพิ่มขึ้นจากแนวชายฝั่งเดิมประมาณ 110 ม. ในปี 2552 (ค.ศ. 2009) และเพิ่มเป็น 134, 142, และ 172 ม. ในปี 2557, 2562, และ 2567 (ค.ศ. 2014, 2019, และ 2024) ตามลำดับ ส่งผลให้มีพื้นที่ชายฝั่งเพิ่มขึ้นจาก 3.4 เฮกตาร์ในปี 2552 (ค.ศ. 2009) เป็น 8.5 เฮกตาร์ในปี 2567 (ค.ศ. 2024)



รูป 4.33 ภาพเปรียบเทียบระหว่างแนวชายฝั่งคาดการณ์ของโครงการและแนวชายฝั่งจากภาพถ่าย บริเวณปากน้ำปราณบุรี (transect 95-150)

อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริงจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ในช่วงเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน (ยกเว้น ปี 2567) พบว่าชายฝั่งทั้งด้านเหนือและด้านใต้ของปากแม่น้ำเป็นชายฝั่งแบบสะสมตัวทั้งคู่ โดยชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำตั้งแต่บริเวณบ้านบ่อแก้ว (รูป 4.33) พบการถดถอยของแนวชายฝั่งสูงถึง -18 ม. ในปี 2552 (ค.ศ. 2009) แต่ต่อมาในปี 2561 (ค.ศ. 2018) ระยะถดถอยลดลงเหลือ -9 ม. ในขณะที่ชายฝั่งในส่วนอื่น ๆ มีการสะสมของตะกอนส่งผลให้ในปี 2561 (ค.ศ. 2018) ชายฝั่งที่ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ยื่นออกไปในทะเลเป็นระยะทางมากถึง 250 ม. และมีพื้นที่เพิ่มขึ้นประมาณ 10 เฮกตาร์ ส่วนผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งทางด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรี จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพบว่าชายฝั่งเกิดการสะสมตัว (งอกเพิ่ม) ตามที่แบบจำลองคณิตศาสตร์คาดการณ์ไว้ อย่างไรก็ตาม จากรูป 4.33 ชี้ให้เห็นว่าแนวชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริงเทียบกับแนวชายฝั่งที่คาดการณ์ไว้นั้น ยังมีความแตกต่างกันในเชิงรูปร่างและขนาด เช่น รูปร่างแนวชายฝั่งบริเวณที่ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่น จากการพิจารณาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมปี 2561 (ค.ศ. 2018) พบว่าเกิดการสะสมตัวเป็นระยะทางประมาณ 300 ม. และส่งผลให้เกิดการงอกเพิ่มของพื้นที่ชายฝั่งประมาณ 6 เฮกตาร์ นอกจากนี้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในปี 2561 (ค.ศ. 2018) ยังแสดงให้เห็นอีกว่าชายฝั่งบ้านปากน้ำปราณ (transect 138) เกิดการถดถอยประมาณ -23 ม. ในพื้นที่บริเวณเดียวกันเกิดการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งรวม -0.4 เฮกตาร์ ในขณะที่ข้อมูลจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ ระบุว่าชายฝั่งบริเวณบ้านปากน้ำปราณจะเกิดการสะสมตัวตลอดแนวชายฝั่ง โดยมีระยะงอกของชายฝั่ง รวมถึงพื้นที่ชายฝั่งเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 142 ม. และ 6.8 เฮกตาร์ ตามลำดับ

ตาราง 4.23 สรุปผลการเปรียบเทียบแนวชายฝั่งคาดการณ์ที่ได้จากการศึกษาของโครงการ และแนวชายฝั่งที่ประเมินได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างสุทธิ

(absolute shoreline change) ระหว่างแนวชายฝั่งคาดการณ์กับแนวชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริง สำหรับแนวชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำ มีความแตกต่างสุทธิมากกว่าผลการประเมินที่ชายฝั่งด้านใต้ โดยชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำมีความแตกต่างสุทธิอยู่ในช่วง 267 ม. ในปี 2552 (ค.ศ. 2009) ถึง 299 ม. ในปี 2561 (ค.ศ. 2018) และชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำมีความแตกต่างสุทธิอยู่ในช่วง 111 ม. ในปี 2552 (ค.ศ. 2009) ถึง 158 ม. ในปี 2561 (ค.ศ. 2018) โดยมีค่าเฉลี่ยความไม่แน่นอน (uncertainty) ของชายฝั่งคาดการณ์ อยู่ระหว่าง 35-44 ม. สำหรับชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำ และ 15-26 ม. สำหรับชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำ ตาราง 4.24 แสดงค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อน (percent error) ระหว่างแนวชายฝั่งคาดการณ์จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ของโครงการ กับแนวชายฝั่งที่ประเมินได้จากภาพถ่ายเทียม ซึ่งพบว่าผลการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำ มีความคลาดเคลื่อน (6-13,000%) สูงกว่าผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำ (2-1,372%)

ตาราง 4.23 ผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระหว่างข้อมูลภาพถ่ายและข้อมูลคาดการณ์ของโครงการ

Data	2009		2014		2018		2024	
	*N	**S	N	S	N	S	N	S
Number of transects	35	20	35	20	35	20	35	20
Number of inverted shoreline direction	30	0	29	1	29	4	-	-
Predicted area change (ha)								
Recession area	3.3	0	4.8	0	6.5	0	8	0
Accretion area	0	3.4	0	5.1	0	6.8	0	8.5
Total	3.3	3.4	4.8	5.1	6.5	6.8	8	8.5
Actual area change (ha)								
Recession area	0.3	0	0.2	0.1	0.2	0.4	-	-
Accretion area	7.5	4.2	8.5	5.4	10.0	5.9	-	-
Total	7.7	4.2	8.7	5.5	10.2	6.3	0	0
Predicted shoreline change (m)								
Max	-31	110	-43	134	-49	142	-67	172
Mean	-10	19	-14	28	-19	36	-24	44
Min	-0.4	0	-1	0	-1.4	0	-2	0
SD	10	32	14	40	18	47	22	53
Actual shoreline accretion (m)								
Max	237	221	237	276	250	300	-	-
Mean	30	25	27	32	32	33	-	-
Min	0	0	0	0	0	0	-	-
SD	56	53	56	64	59	79	-	-
Actual shoreline recession (m)								
Max	-18	0	-14	-14	-9	-23	-	-
Mean	-6	-	-5	-14	-5	-11	-	-
Min	-1	-	-1	-14	-1	-5	-	-
SD	7	-	5	-	3	8	-	-
Absolute shoreline change (m)								
Max	267	111	280	142	299	158	-	-
Mean	35	15	43	26	44	26	-	-
Min	0.3	0.2	0.2	1	0.2	2	-	-
SD	60	25	64	29	71	35	-	-

*N=Northern coast, **S=Southern coast

ตาราง 4.24 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลภาพถ่ายและข้อมูลคาดการณ์ของโครงการที่ชายฝั่งด้านเหนือ (N) และด้านใต้ (S) ของโครงการ

Percentage of errors	2009		2014		2018	
	N	S	N	S	N	S
Maximum	13,005	655	939	1,145	1,283	1,372
Mean	759	149	262	216	244	285
Minimum	26	2	10	13	6	11
SD	2,382	186	206	316	237	411

2) ความคลาดเคลื่อนระหว่างแนวชายฝั่งทำนายภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้กับแนวชายฝั่งปี 2561 (20 ปีหลังการก่อสร้าง)

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ประเมินความคลาดเคลื่อนการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ จากแบบจำลอง GENESIS โดยเทียบกับแนวชายฝั่งจากภาพถ่ายเทียมครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่หาดปราณศิริ ถึงบ้านปากน้ำปราณ (transect 117-142) ดังแสดงในรูป 4.31 ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำปราณบุรี (transect 117-129) และชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำปราณบุรี (131-142) โดยมีสรุปผลการศึกษา ดังตาราง 4.14 และ ตาราง 4.15 สำหรับการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งพื้นที่ศึกษาในปี 2552 (ค.ศ. 2009) และปี 2561 (ค.ศ. 2018) ตามลำดับ

ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในปี 2552 (ค.ศ. 2009) (ตาราง 4.14) พบว่าแนวชายฝั่งคาดการณ์ที่ได้จากแบบจำลอง GENESIS ในทุกกรณีระบุว่าแนวชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำ มีรูปแบบเป็นชายฝั่งสะสมตัวตลอดพื้นที่ศึกษา ซึ่งผลการคาดการณ์แตกต่างจากแนวชายฝั่งจริงประมาณ 13% ที่พบว่าชายฝั่งเกิดการถดถอย จากข้อมูลภาพถ่ายเทียมแสดงให้เห็นว่า พื้นที่ชายฝั่งที่อยู่ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ มีระยะสะสมตัวสูงสุดประมาณ 230 ม. และมีระยะทับถมลดลงไปตามระยะทางที่ห่างจากปากแม่น้ำ ส่งผลให้มีพื้นที่ชายฝั่งสะสมตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 6.8 เฮกตาร์ อย่างไรก็ตามผลการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลอง GENESIS ระบุว่าแนวชายฝั่งจะมีระยะสะสมตัวสูงสุดบริเวณที่ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ และมีระยะค่อนข้างคงที่ไปจนถึงขอบเขตของเขื่อนกันคลื่นแยกตัวที่ 1 (BW-1) (รูป 4.31) โดยในแต่ละกรณีศึกษามีระยะสะสมตัวสูงสุดที่ประมาณ 59.3 ม., 66.1 ม., 54.7 ม., 53.0 ม., และ 59.8 ม. สำหรับในกรณีศึกษา 2.1 จนถึง 2.5 ตามลำดับ ส่งผลให้มีพื้นที่ที่อกประมาณ 3.2 เฮกตาร์ สำหรับกรณีศึกษา 2.1 และ 2.2, 4.1 เฮกตาร์ สำหรับกรณีศึกษา 2.3 และ 3 เฮกตาร์ สำหรับกรณีศึกษา 2.4 และ 2.5

สำหรับการเปรียบเทียบแนวชายฝั่งคาดการณ์และแนวชายฝั่งจริง ในพื้นที่ชายฝั่งด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรี พบว่าประมาณเกือบ 70% ของผลการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งให้ค่าที่ตรง

ข้ามกับแนวชายฝั่งจริง โดยผลการจำลองแนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลองระบุว่า มีเพียง 30% ของชายฝั่งที่เป็นแบบสะสมตัว และเป็นพื้นที่ชายฝั่งที่อยู่ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ โดยคาดการณ์ว่าจะมีพื้นที่ชายฝั่งเพิ่มขึ้นประมาณ 0.3-0.6 เฮกตาร์ ผลการศึกษาจากแบบจำลองยังระบุว่า ที่ระยะห่างออกมาจากปากแม่น้ำประมาณ 100 ม. ชายฝั่งจะเริ่มมีการถดถอย และมีระยะถอยร่นสูงสุดของแนวชายฝั่งเท่ากับ -103.1 ม. ในกรณีศึกษา 2.1 และ 2.3 (กรณีพิจารณาคลื่นเพียงอย่างเดียวและกรณีมีโครงสร้าง) และมีค่าระยะถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุด -104.5 ม. ในกรณีศึกษา 2.2 และ 2.5 (กรณีที่มีการนำเข้าข้อมูลตะกอนแม่น้ำ) รวมถึงมีค่าระยะถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุด -103 ม. ในกรณีศึกษา 2.4 (กรณีมีการพิจารณาข้อมูลระดับน้ำ) นอกจากนี้ผลการศึกษาจากแบบจำลองยังชี้ให้เห็นว่า ที่ตำแหน่งด้านใต้ห่างจากปากแม่น้ำมาประมาณ 300 ม. ความรุนแรงของการกัดเซาะจะค่อย ๆ ลดลงจนเข้าสู่แนวชายฝั่งเริ่มต้น อันจะส่งผลให้มีการสูญเสียของพื้นที่ชายฝั่งประมาณ -4.1 เฮกตาร์ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลแนวชายฝั่งจากภาพถ่ายดาวเทียมแสดงให้เห็นว่า พื้นที่ชายฝั่งในบริเวณพื้นที่ศึกษานี้เป็นชายฝั่งสะสมตัว มีระยะงอกสูงสุดของแนวชายฝั่งประมาณ 235 ม. ตรงบริเวณที่ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ และมีระยะสะสมตัวของแนวชายฝั่งลดลงไปตามระยะที่ห่างออกจากเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ และพบว่า มีพื้นที่ชายฝั่งสะสมตัวเพิ่มขึ้น 3.6 เฮกตาร์

สำหรับผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในปี 2561 (ค.ศ. 2018) แสดงให้เห็นว่ารูปร่างและรูปแบบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ ทั้งด้านเหนือและด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรี มีลักษณะเช่นเดียวกันกับผลการคาดการณ์แนวชายฝั่งในปี 2552 (ค.ศ. 2009) แต่มีระยะเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งเพิ่มขึ้น (รูป 4.31ข) จากตาราง 4.15 พบว่าชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริงในบริเวณด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรี เป็นชายฝั่งแบบสะสมตัวทั้งหมด โดยมีระยะงอกสูงสุดของแนวชายฝั่งเพิ่มเป็น 240 ม. เกิดขึ้นที่บริเวณชายฝั่งด้านเหนือที่ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ และมีพื้นที่ทับถมเพิ่มเป็น 8.6 เฮกตาร์ ในขณะที่ผลการคาดการณ์แนวชายฝั่งจากแบบจำลองระบุว่า แนวชายฝั่งมีระยะสะสมตัวสูงสุดเพิ่มเป็น 80 ม., 88.1 ม., 75.3 ม., 64.6 ม., และ 72.8 ม. ในกรณีศึกษา 2.1 ถึง 2.5 ตามลำดับ ส่งผลให้มีพื้นที่เพิ่มเป็น 5.5 เฮกตาร์ (กรณีศึกษา 2.1 และ 2.2), 6.6 เฮกตาร์ (กรณีศึกษา 2.3), 5.1 เฮกตาร์ (กรณีศึกษา 2.4), และ 5 เฮกตาร์ (กรณีศึกษา 2.5)

สำหรับผลคาดการณ์แนวชายฝั่งด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรี จากแบบจำลอง GENESIS พบว่าร้อยละของการถดถอยของแนวชายฝั่งในส่วนนี้เพิ่มขึ้นจาก 70% เป็น 86% และพบว่าประมาณ 37% ของแนวชายฝั่งคาดการณ์มีลักษณะตรงข้ามกับแนวชายฝั่งจริง ในปี 2561 (ค.ศ. 2018) ที่พบว่าแนวชายฝั่งเริ่มเกิดการถดถอยที่บ้านปากน้ำปราณ (ประมาณ 300 ม. จากเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ) และพบการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งประมาณ 0.6 เฮกตาร์ อย่างไรก็ตาม พบว่าบริเวณที่ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ยังเกิดการสะสมตัวของตะกอนทำให้มีพื้นที่ทับถมเพิ่มเป็น 5.5 เฮกตาร์ และมีระยะ

งอกสูงสุดของแนวชายฝั่งประมาณ 300 ม. ในขณะที่ผลคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งจากแบบจำลอง GENESIS ระบุว่าจะมีพื้นที่ที่บดผดลงเกือบ 50% ของปีที่ 11 หลังจากการก่อสร้างโครงการ (เหลือประมาณ 0.2-0.4 เฮกตาร์) และมีระยะถดถอยของแนวชายฝั่งเพิ่มเป็น -138 ม. สำหรับในกรณีศึกษา 2.1, 2.3, และ 2.4 และมีระยะถดถอยของแนวชายฝั่ง -139.5 ม. สำหรับกรณีศึกษา 2.2 และ 2.5 โดยคาดว่าจะมีพื้นที่กัดเซาะเพิ่มขึ้นเป็น -7 เฮกตาร์

ตาราง 4.25 แสดงระยะและร้อยละของความแตกต่างระหว่างแนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลองกรณีศึกษา 2.1 ถึง 2.5 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าที่ชายฝั่งด้านเหนือของโครงการในปี 2552 (ค.ศ. 2009) มีระยะแนวชายฝั่งคาดการณ์เฉลี่ยแตกต่างจากแนวชายฝั่งจริงประมาณ 30 ม. และมีระยะลดลงประมาณ 25% ในปี 2561 (ค.ศ. 2018) โดยมีผลต่างสูงสุดประมาณ 130 ม. บริเวณที่ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ในขณะที่ชายฝั่งด้านใต้มีระยะแตกต่างเฉลี่ย 63 ม. ในปี 2552 (ค.ศ. 2009) และมีระยะห่างเพิ่มขึ้น 43% ในปี 2561 (ค.ศ. 2018) สำหรับระยะแตกต่างสูงสุดพบที่ชายฝั่งติดกับโครงสร้าง มีระยะต่างกันประมาณ 165 ม. โดยค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อน (percent error) ระหว่างแนวชายฝั่งคาดการณ์จากแบบจำลอง GENESIS กับแนวชายฝั่งที่ประเมินได้จากภาพถ่ายเทียม ซึ่งพบว่าผลการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งระยะยาวด้านเหนือของปากแม่น้ำ มีค่าความคลาดเคลื่อนลดลงมากกว่า 97% จากปี 2552 (ค.ศ. 2009) โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 0-202% ในปี 2561 (ค.ศ. 2018) ในขณะที่ชายฝั่งด้านใต้มีค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นจากปี 2552 (ค.ศ. 2009) ประมาณ 800% ส่งผลให้มีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 100-68,000%

ตาราง 4.25 ระยะแนวชายฝั่งเปลี่ยนแปลงสุทธิและร้อยละของความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลภาพถ่ายและข้อมูลจากการศึกษานี้ที่ชายฝั่งด้านเหนือ (N) และด้านใต้ (S) ของโครงการ

Case no.	Absolute shoreline change (m)				Percent error				
	2009		2018		2009		2018		
	N	S	N	S	N	S	N	S	
2.1	Max.	147	119	129	165	3,863	7,433	81	66,515
	Mean	29	63	25	90	181	955	28	3,827
	Min.	1	3	0	6	8	28	1	108
	SD	35	47	30	58	606	1,496	20	11,789
2.2	Max.	147	119	128	156	3,795	7,567	82	67,888
	Mean	30	63	26	90	180	976	29	3,939
	Min.	1	4	0	7	6	29	0	104
	SD	35	46	30	56	595	1,522	20	12,100
2.3	Max.	148	119	130	165	11,316	7,432	202	66,521
	Mean	30	63	22	90	473	955	45	3,828
	Min.	1	3	0	6	4	28	0	108
	SD	33	47	29	57	1,794	1,496	49	11,791
2.4	Max.	151	119	136	165	3,101	7,431	80	66,515
	Mean	29	63	27	90	156	955	31	3,828
	Min.	1	3	0	6	7	28	0	108
	SD	36	47	32	57	487	1,496	20	11,792
2.5	Max.	150	119	136	156	2,941	7,566	81	67,888
	Mean	30	63	28	90	152	152	32	3,941
	Min.	0	4	0	7	4	4	0	104
	SD	36	46	32	56	461	461	20	12,105

บทที่ 5

อภิปรายผลการศึกษา

5.1 ลักษณะและความผันแปรของตะกอนชายฝั่งปราณบุรี

จากผลการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างตะกอน ตามแนวชายฝั่งพื้นที่ศึกษาทั้ง 71 ตัวอย่าง (รูป 4.12 และตาราง 4.7) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของตะกอนชายฝั่งของระบบกลุ่มหาด (littoral cell) Z1 ตั้งแต่เขาเกาะโหลกจนถึงเขาเต่า (รูป 4.12ก) ว่าเป็นเอกลักษณ์ (unique) และแตกต่างจากระบบกลุ่มหาดอื่น ๆ ในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากตะกอนชายฝั่งของ Z1 ส่วนใหญ่เป็นทรายละเอียด (fine sand) ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (uniform) และขนาดของตะกอนไม่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ทำให้ระบบกลุ่มหาด Z1 จึงดูเหมือนแยกออกจากระบบกลุ่มหาดอื่น ๆ อย่างสิ้นเชิง ดังนั้น การพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งในบริเวณนี้ อาจส่งผลกระทบต่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้น ๆ (short-term change) และชายฝั่งจะปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่ได้อีกครั้ง เช่นเดียวกับที่พบในพื้นที่ชายฝั่งอ่าวระยอง ที่แม้มีการก่อสร้างท่าเรือขนาดใหญ่ รวมถึงโครงสร้างป้องกันชายฝั่งจำนวนมาก จนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ แต่แนวชายฝั่งอ่าวระยองสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่โดยใช้เวลาไม่ถึง 11 ปี (Bidorn et al., 2018b) สำหรับระบบกลุ่มหาด Z2 ของพื้นที่ศึกษา ผลการวิเคราะห์ขนาดของตะกอนชายฝั่ง ชี้ให้เห็นว่าลักษณะชายฝั่งของกลุ่มหาดนี้ ประกอบด้วยทรายขนาดกลาง (medium sand) และทรายหยาบ (coarse sand) เป็นหลัก ผลการวิเคราะห์การคละขนาดของตะกอน (รูป 4.12ข) แสดงให้เห็นถึงขนาดตะกอนที่มีความผันแปรไปตามฤดูกาล นอกจากนี้ขนาดของตะกอนที่พบในระบบกลุ่มหาด Z2 ค่อนข้างจะแตกต่างจากขนาดของตะกอนที่พบในระบบกลุ่มหาดข้างเคียง (Z1 และ Z3) อย่างชัดเจน ซึ่งบ่งชี้ว่าระบบกลุ่มหาด Z2 เป็นอิสระจากระบบกลุ่มหาดข้างเคียงอย่างชัดเจน

สำหรับลักษณะตะกอนชายฝั่งในระบบกลุ่มหาด Z3 และ Z4 มีความผันแปรของชนิดตะกอน ตั้งแต่ทรายละเอียดจนถึงทรายหยาบ ซึ่งทรายหยาบส่วนใหญ่ตกตะกอนสะสมอยู่ที่บริเวณที่ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ จากรูป 4.12ก แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าขนาดตะกอนทรายของทั้งสองระบบกลุ่มหาดนี้ มีขนาดเล็กลงตามระยะทางเมื่อห่างออกจากปากแม่น้ำ ไปยังปลายหาดของแต่ละระบบกลุ่มหาด ชี้ให้เห็นว่าตะกอนขนาดใหญ่ที่ถูกพัดพามาตามแนวชายฝั่งในแต่ละฤดู ถูกดักด้วยเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ โดยในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมจะเหนี่ยวนำให้เกิดคลื่นกระแสน้ำ รวมถึงการเคลื่อนที่ของตะกอนที่มีทิศทางจากทิศเหนือไปยังทิศใต้ (N-S) โดยตะกอนที่เคลื่อนที่ใน Z3 จะถูกดักโดยเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ และตกสะสมอยู่ด้านเหนือของโครงสร้าง ส่วนตะกอนใน Z4 จะถูกพัดพาไปตามแนวชายฝั่งและสะสมอยู่ที่ปลายหาดเขาเกาะโหลก โดยคลื่นและ

กระแสในในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง จะพัดพาเอาตะกอนชายฝั่งให้เคลื่อนที่จากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ (S-N) เช่นเดียวกับกับ Z3 ตะกอนชายฝั่งใน Z4 ที่เคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือจะถูกดักโดยเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ทำให้ตะกอนสะสมอยู่บริเวณด้านใต้ของโครงสร้าง อย่างไรก็ตามด้วยการวางตัว (alignment) และความยาวของเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของทิศทางการเคลื่อนที่รวมถึงเกิดเขตกำบังคลื่น (lee) ทำให้ตะกอนที่ตกสะสมอยู่ในบริเวณที่ติดกับโครงสร้างไม่ได้รับพลังงานจากคลื่นในฤดูกาลอื่น ๆ ที่จะพัดพากลับไปยังแหล่งที่มา (sources) ดังนั้นที่ปลายหาดของทั้ง Z3 และ Z4 ตะกอนจึงมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับขนาดตะกอนที่สะสมบริเวณชายฝั่งด้านที่ใกล้กับปากแม่น้ำ

เนื่องจากขนาดตะกอนเฉลี่ยที่พบตามแนวชายฝั่งของ Z3 และ Z4 ในการศึกษาครั้งนี้ผันแปรอยู่ระหว่าง 0.16 และ 0.78 มม. ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าขนาดตะกอนชายฝั่ง ที่เคยสำรวจได้ก่อนการก่อสร้างโครงการ ที่มีขนาดน้อยกว่า 0.06 มม. (silty clay) (ตาราง 3.3) จึงสามารถตีความได้ว่าทางก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ที่มีความยาว 800 ม. ทำให้เกิดการลดลงหรือการสูญเสียตะกอนขนาดเล็ก (fine sediment) ที่เข้าสู่ระบบชายฝั่ง เนื่องจากตัวเขื่อนกันทรายและคลื่นยาวเลยออกไปจนถึงความลึกน้ำ 3 ม. ซึ่งมีค่ามากกว่า depth of closure (มีค่า 1 ม. ตามรายงานการศึกษาของกรมเจ้าท่า (2539a)) ทำให้ตะกอนจากแม่น้ำปราณบุรีถูกพัดพาออกไปนอกเขตนํ้าตื้น และตกตะกอนอยู่ด้านนอกชายฝั่งได้อย่างสมบูรณ์ อันสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นในเชิงวิศวกรรม ดังนั้นการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ จึงมีประสิทธิผลในแง่การรักษาเสถียรภาพปากแม่น้ำตามที่ได้ออกแบบไว้

5.2 การทับถมของตะกอนบริเวณเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ

จากผลการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งปราณบุรี ทั้งระยะยาวและระยะสั้น จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ชี้ให้เห็นว่าลักษณะการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งปราณบุรีมีทิศทางทั้งแบบ N-S และ S-N ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษา ในขั้นตอนการศึกษา และออกแบบโครงการอย่างชัดเจน แต่แม้ว่าข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากภาพถ่ายทางอากาศ/ภาพถ่ายดาวเทียม จะใช้ในการประเมินทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งสุทธิได้ แต่ก็ไม่สามารถประเมินอัตราการทับถมสุทธิของตะกอนชายฝั่งในแต่ละช่วงเวลาได้ การศึกษาครั้งนี้จึงทดลองใช้เทคนิคการหาอายุตะกอนด้วยตะกั่ว-210 (^{210}Pb) ที่ใช้กันแพร่หลายในทางธรณีวิทยา มาประยุกต์ใช้กับการประเมินหาอัตราการทับถมของตะกอนชายฝั่งปราณบุรี

จากผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{210}Pb ในตัวอย่างดินที่เก็บจากพื้นที่ชายฝั่งสะสมตัวด้านเหนือของโครงสร้าง (core 2) และด้านใต้ของโครงสร้าง (core 4) ในรูป

4.14 และรูป 4.15 พบว่าในชั้นดิน 6 ชั้นที่เลือก (selected sediment layer) ให้ครอบคลุมชั้นดิน ส่วนบนช่วง 60 ซม. ของแต่ละแท่งตะกอนนั้นมีความเข้มข้นของ ^{210}Pb ทั้งหมด อยู่ระหว่าง 0.2-0.4 dpm/g ซึ่งมีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพของ ^{210}Pb ที่ได้จากตัวอย่าง ตะกอนชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ที่มีค่าผันแปรระหว่าง 0.5-3.0 dpm/g, (บุศวรรณ บิตร และคณะ, 2562) รวมถึงการกระจายตัวในแนวตั้งของค่ากัมมันตภาพของ ^{210}Pb ไม่มีแนวโน้มที่ เพิ่มขึ้น การที่ตัวอย่างตะกอนในช่วง 60 ซม. แรกมีค่ากัมมันตภาพของ ^{210}Pb ต่ำมากและไม่มี แนวโน้มลดลงตามความลึก สามารถตีความผลการศึกษาได้ 2 แนวทาง คือ 1) ตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง 60 ซม. แรกจากผิวดินเป็นตะกอนเก่าเพราะค่า ^{210}Pb (มีค่าครึ่งชีวิต 22.4 ปี) ที่ติดมากับตะกอนได้ สลายตัวไปตามเวลาจนกระทั่งมีกัมมันตภาพหรือความแรงรังสีเหลืออยู่น้อยมาก หรือ 2) ไม่มีการทับถมของตะกอนใหม่ในบริเวณนี้มานานแล้ว

อย่างไรก็ตาม จากการวางแผนเก็บตัวอย่างข้อมูลโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ได้พิจารณา ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างแท่งตะกอนให้อยู่ในพื้นที่ชายฝั่งสะสมตัว ดังแสดงในรูป 3.2 ซึ่งเป็นพื้นที่ ชายฝั่งที่มีการทับถมของตะกอนหลังมีการก่อสร้างโครงสร้าง ด้วยอัตราการทับถมประมาณ 6 ม./ปี โดยทั่วไปการหาอายุตะกอนด้วยเทคนิค ^{210}Pb เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการหาอายุตะกอนที่ไม่เกิน 120 ปี ดังนั้นตัวอย่างตะกอน core 2 และ core 4 ที่เก็บตัวอย่างมาจึงเป็นตะกอนที่สะสมใหม่ด้วย อายุที่ไม่เกิน 20 ปี (ตามระยะเวลาโครงการ) แต่กลับพบค่ากัมมันตภาพของ ^{210}Pb น้อยมาก เมื่อเทียบกับตะกอนปากแม่น้ำเจ้าพระยาที่เป็นตะกอนเลน จึงอาจเป็นไปได้ว่าวิธีการหาอัตราการทับถม ของตะกอนด้วยเทคนิคตะกั่ว-210 (^{210}Pb sediment dating) ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับตัวอย่าง ตะกอนที่เป็นตะกอนทรายได้

5.3 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปราณบุรีเนื่องจากการเชื่อมกันทรายและคลื่นฯ

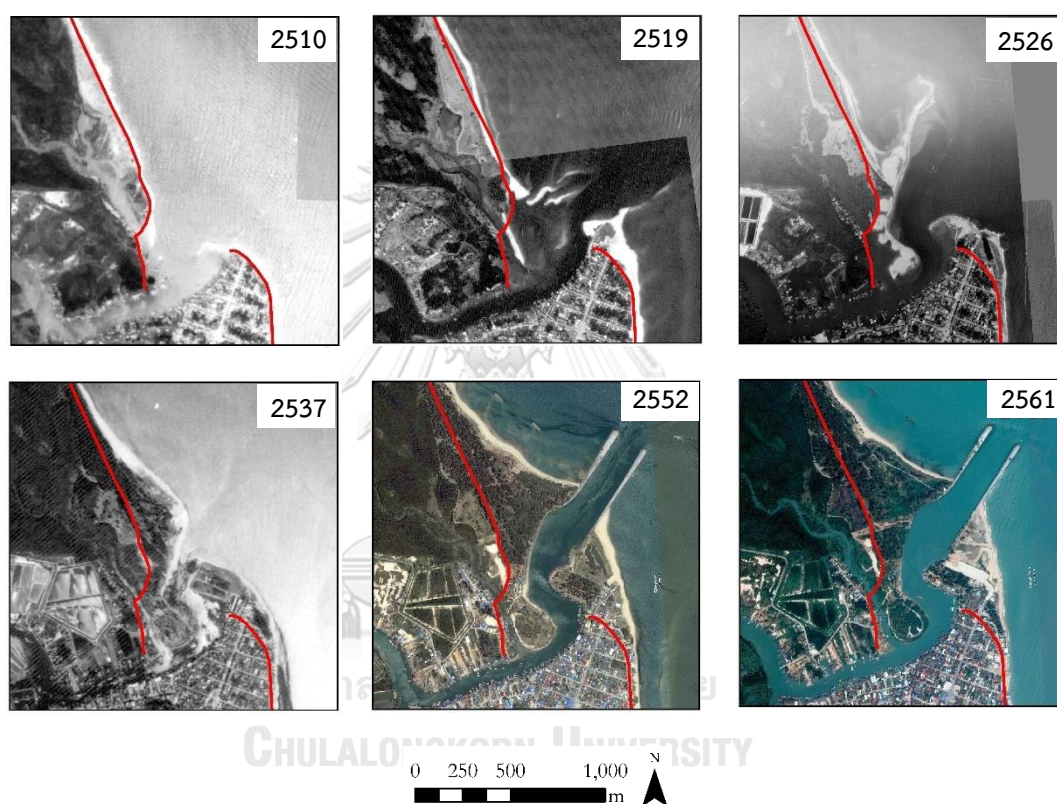
จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งปราณบุรีในช่วงปี 2510-2561 (ตาราง 4.11 และรูป 4.16) พบว่าก่อนมีการก่อสร้างโครงการเชื่อมกันทรายและคลื่นฯ พื้นที่ศึกษาชายฝั่ง ปราณบุรี มีลักษณะเป็นชายฝั่งที่ค่อนข้างสมดุลเนื่องจากมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งน้อยกว่า ± 1 ม./ปี ยกเว้นแนวชายฝั่งบริเวณปากน้ำปราณบุรี (ซึ่งปัจจุบันอยู่ในระบบกลุ่มหาด Z3 และ Z4) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและข้อมูลลักษณะตะกอน ชี้ให้เห็นว่าระบบกลุ่ม หาด Z1, Z2 และ Z3 ถูกแยกออกจากกันโดยหัวหาดธรรมชาติ (เนินเขาและภูเขา) ในขณะที่ Z3 และ Z4 สามารถพิจารณาเป็นระบบกลุ่มหาดเดียวกันก่อนมีการก่อสร้างเชื่อมกันทรายและคลื่นฯ ในช่วงตั้งแต่ปี 2510 จนถึง 2541 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณปากน้ำปราณบุรี (8 ม./ปี) อันเป็นผลจากกระบวนการตะกอนแม่น้ำและตะกอนชายฝั่ง แม่น้ำปราณบุรีซึ่งเป็น

แม่น้ำสายหลักที่ไหลลงสู่ชายฝั่งทะเลปราณบุรี ตะกอนจากแม่น้ำจะไหลลงสู่ชายฝั่งในช่วงฤดูฝน (เดือนกันยายน-ธันวาคม) และตกทับถมอยู่บริเวณปากแม่น้ำ และตะกอนดังกล่าวจะถูกพัดพาให้เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่งขึ้นไปทางเหนือ โดยคลื่นในช่วงฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้-ฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง (ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-กันยายน) และถูกพัดพากลับมาทางใต้โดยคลื่นในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ในช่วงเดือนตุลาคม-มกราคม) ส่งผลให้รูปร่างของปากแม่น้ำเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (รูป 5.1) นอกจากตะกอนจากแม่น้ำปราณแล้ว ยังมีตะกอนชายฝั่งที่เกิดเนื่องจากแนวชายฝั่งยังไม่เข้าสู่สมดุล เช่น หาดปราณคีรี และแหลมเกด ซึ่งตั้งอยู่บริเวณตอนกลางของระบบกลุ่มหาด Z3 และ Z4 (รูป 4.16) ที่คาดว่าจะแหล่งให้ตะกอนแก่ระบบหาด Z3-Z4 เนื่องจากพบว่ามี การถดถอยของแนวชายฝั่งอย่างต่อเนื่องในบริเวณนี้ตั้งแต่ในอดีตก่อนก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่น ๗

จากรายงานการศึกษาของกรมเจ้าท่า (2539a) ระบุว่าตะกอนแขวนลอยที่ไหลจากแม่น้ำปราณบุรีลงสู่ชายฝั่งปราณบุรีมีค่าประมาณ 2,000 ลบ.ม./ปี ในขณะที่ตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่งจากทิศใต้ไปทิศเหนือ (S-N) และที่เคลื่อนที่จากทิศเหนือไปทิศใต้ (N-S) มีค่าประมาณ 74,750 และ 63,794 ลบ.ม.ต่อปี ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม จากรูปแบบการเกิด (formation) ของแนวชายฝั่งและสันดอนจะงอยทราย (sand spit) ที่สังเกตได้จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศระหว่างปี 2510-2537 (ก่อนการก่อสร้างโครงการ) ในรูป 5.1 พบว่าการตื้นเขินบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เกิดจากตะกอนตามแนวชายฝั่งเป็นหลัก และตะกอนตามแนวชายฝั่งมีการเคลื่อนที่จากเหนือไปใต้ (N-S) มากกว่าจากใต้ขึ้นเหนือ (S-N) เนื่องจากพื้นที่ทับถมของชายฝั่งด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรี (16.2 เฮกตาร์ หรือ 0.6 เฮกตาร์/ปี) มีค่ามากกว่าพื้นที่ทับถมของชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำ (9.0 เฮกตาร์ หรือ 0.33 เฮกตาร์/ปี)

เนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีอิทธิพลต่อคลื่นและกระแสน้ำ ในการนำพาตะกอนให้เคลื่อนที่ในทิศเหนือ-ใต้ ดังนั้นพื้นที่ชายฝั่งด้านเหนือของ Z3 เช่น เขาเต่าและหาดปราณคีรี (รูป 4.6) จึงเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพที่จะเป็นแหล่งของตะกอน (source) ที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง เพราะประมาณ 30% ของแนวชายฝั่ง Z3 เกิดการกัดเซาะอยู่แล้วตั้งแต่ก่อนการก่อสร้างโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหาดปราณคีรี ซึ่งพบการกัดเซาะชายฝั่งเป็นระยะทางประมาณ 1 กม. ด้วยอัตราการกัดเซาะเฉลี่ยประมาณ -0.3 ม./ปี แต่จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งก่อนมีโครงการ พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งเฉลี่ยของระบบกลุ่มหาด Z3 มีค่าค่อนข้างต่ำ (น้อยกว่า 1 ม./ปี) ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่ตะกอนที่เคลื่อนที่ไปทางใต้ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ บางส่วนสามารถเคลื่อนที่กลับมายังทิศเหนือได้ ในช่วงที่ทะเลได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมเปลี่ยนแปลง

ในทำนองเดียวกัน ชายฝั่งด้านใต้ของระบบกลุ่มหาด Z4 เป็นพื้นที่ศักยภาพที่ให้ตะกอนกับ Z4 จากกระบวนการชายฝั่งที่จะนำตะกอนจากด้านใต้เคลื่อนที่ไปทางด้านเหนือ จากการพิจารณาทั้งลักษณะรูปร่างของแนวชายฝั่งที่มีลักษณะโค้งนูน (convex) และอัตราการกัดเซาะชายฝั่งที่สูงที่สุดในระบบ Z4 จึงคาดว่าแหลมเกต (รูป 4.6) น่าจะเป็นแหล่งตะกอนตามแนวชายฝั่งหลักของ Z4 โดยตะกอนที่กัดเซาะจากชายฝั่งแหลมเกต จะถูกพัดพาลงทิศใต้ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และตกตะกอนที่ปลายอ่าว (เขากะโหลก) และในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง ตะกอนจะถูกพัดพาให้เคลื่อนที่กลับขึ้นทางเหนือ และตกตะกอนที่บริเวณปากน้ำปราณบุรี (รูป 5.1)



รูป 5.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณปากน้ำปราณบุรีตั้งแต่ปี 2510 ถึง 2561

สำหรับระบบกลุ่มหาด Z3 และ Z4 ถูกแยกออกจากกันหลังจากการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ในปี 2542 ส่งผลให้เขื่อนกันทรายและคลื่นฯ กลายเป็นหัวหาดเทียม (artificial headland) ที่เกิดขึ้นใหม่สำหรับ Z3 และ Z4 และทำหน้าที่ดักตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่งไปพร้อมกัน โดยตะกอนชายฝั่งใน Z3 จะเคลื่อนที่จากด้านเหนือลงทางใต้ (N-S) ในช่วงอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ และถูกดักด้วยเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ที่ด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรี โดยพบว่าตะกอนที่ตกสะสมบริเวณชายฝั่งด้านเหนือ ตั้งแต่ช่วงหลังก่อสร้างโครงการจนถึงปัจจุบัน (ปี 2542-2561/ ค.ศ. 1988-2018) มีพื้นที่เกือบ 10 เฮกตาร์ (ตาราง 4.11) แทนที่จะเกิดการกัดเซาะ (-6.5 เฮกตาร์) ตามที่คาดการณ์ไว้ในขั้นตอนการศึกษาและออกแบบโครงการ ส่วนในช่วงฤดูลมมรสุม

ตะวันออกเฉียงเหนือ ตะกอนใน Z4 จะถูกพัดพาให้เคลื่อนที่จากด้านใต้ขึ้นไปทางเหนือ (S-N) และถูกดักไว้โดยเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ที่ด้านใต้ของปากแม่น้ำ จนเกิดการสะสมเป็นพื้นที่เกือบ 6 เฮกตาร์ (ตาราง 4.11) จากผลการศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งจากทิศเหนือไปทิศใต้ (N-S) ของพื้นที่ศึกษามีค่ามากกว่าจากทิศทางใต้ไปทิศเหนือ (S-N) ซึ่งตรงข้ามกับผลจากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ในขั้นตอนการศึกษาและออกแบบเช่นกัน

ในการศึกษาผลกระทบของโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง เมื่อพิจารณารูปร่างของแนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา หลังโครงการก่อสร้างแล้วเสร็จ 20 ปี พบว่าเกิดเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งแบบสะสมตัว บริเวณที่ติดกับตัวเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ทั้งด้านเหนือและด้านใต้ โดยมีระยะงอกของแผ่นดินสูงที่สุดตรงชายฝั่งที่ติดกับโครงสร้าง และมีระยะการงอกลดลงตามระยะทางที่ห่างออกมา โดยตำแหน่งชายฝั่งที่เกิดการงอกเพิ่มของชายฝั่ง สิ้นสุดที่ประมาณ 1.6 และ 0.5 กม.จากปากแม่น้ำ สำหรับพื้นที่ชายฝั่งด้านเหนือ (บริเวณหาดปราณคีรี) และพื้นที่ชายฝั่งด้านใต้ (บริเวณก่อนถึงแหลมเกด) ของปากน้ำปราณบุรี ตามลำดับ เมื่อพิจารณารูปร่างแนวชายฝั่งที่งอกเพิ่ม แม้ว่าจะมีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นแยกจำนวน 3 ตัวที่ชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำ (รูป 4.3) หลังการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ เพื่อลดระดับการกัดเซาะชายฝั่งอันเนื่องจากการขาดตะกอนจากด้านใต้เข้ามาเติมในพื้นที่ตามที่คาดการณ์ไว้ในขั้นตอนการออกแบบ แต่การงอกเพิ่มของชายฝั่งที่เกิดขึ้นเป็นการตอบสนองของชายฝั่ง ต่อการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ เป็นหลัก ไม่ได้เป็นผลจากการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นแยกทั้ง 3 ตัว เนื่องจากแนวชายฝั่งจริงในภาพรวมสอดคล้องกับรูปร่างแนวชายฝั่งสมดุลงอก อันเนื่องมาจากเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ มากกว่ารูปร่างแนวชายฝั่งสมดุลงอกของเขื่อนกันคลื่นแยก ดังนั้นการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นแยกทั้ง 3 ตัว อาจไม่มีความจำเป็นเนื่องจากเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ได้ทำหน้าที่ดักตะกอนตามแนวชายฝั่ง ที่เคลื่อนที่จากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ (N-S) และทำให้เกิดการสะสมของตะกอนในพื้นที่ด้านเหนือของเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ อยู่แล้ว

การก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ความยาว 800 ม. ด้านเหนือของปากแม่น้ำ และ 860 ม. ที่ด้านใต้ของปากแม่น้ำ ไม่เพียงแต่จะปิดกั้นตะกอนจากแม่น้ำปราณบุรีไม่ให้เติมเข้าสู่ระบบกลุ่มหาด Z3 และ Z4 แล้ว ยังป้องกันไม่ให้เกิดตะกอนชายฝั่งเคลื่อนที่กลับไปยังแหล่งกำเนิด (sediment source) ตามฤดูกาลอีกด้วย ซึ่งโดยทั่วไปจะส่งผลให้ระบบชายฝั่งขาดสมดุลของตะกอน จนเกิดการถดถอยของแนวชายฝั่ง ในบริเวณแหล่งกำเนิดตะกอนของระบบกลุ่มหาด Z3 และ Z4 ได้ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งของ Z3 และ Z4 จะแสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญที่บริเวณหาดปราณคีรี ซึ่งเป็นแหล่งตะกอนของ Z3 หลังจากการก่อสร้าง

โครงการเชื่อมกันทรายและคลื่นฯ รายงานของสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (2546) ระบุว่า ชายฝั่งบริเวณเขาเต่าถึงปากน้ำปราณบุรี (Z3) มีการก่อสร้างกำแพงกันคลื่นความยาวรวมประมาณ 300 ม. (4.8% ของความยาวชายฝั่ง) และจากการสำรวจภาคสนามในปี 2561 พบว่ามีการก่อสร้าง กำแพงกันคลื่น (seawall) และเขื่อนหินทิ้ง (revetment) ตามแนวชายฝั่ง Z3 เพิ่มขึ้นจากเดิม (รูป 5.2ก-ข) อีก 900 ม. เพื่อรักษาเสถียรชายฝั่ง รวมถึงพบชายฝั่งที่ถูกกัดเซาะในบริเวณที่ไม่มีโครงสร้าง ป้องกัน (รูป 5.2ข) จึงสามารถยืนยันได้ว่าระดับการกัดเซาะชายฝั่งในบริเวณดังกล่าวที่เป็นแหล่ง ตะกอนของระบบหาด Z3 นั้นมีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากการขาดตะกอนเข้ามาเติมในพื้นที่



รูป 5.2 โครงสร้างและความเสียหายบริเวณชายฝั่ง Z3 และ Z4

แนวชายฝั่งบริเวณแหลมเกต (transect 145-180) ของ Z4 ในช่วงปี 2510-2537 ก่อนการ ก่อสร้างโครงการฯ มีลักษณะเช่นเดียวกับกับ Z3 กล่าวคือเคยเป็นพื้นที่ที่เกิดการกัดเซาะชายฝั่งมาก ถึง -27 ม. แต่จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในรูป 4.16 พบว่าแนวชายฝั่ง บริเวณดังกล่าวถดถอยต่อเนื่องมาจนถึงปี 2552 แต่ในช่วงระหว่างปี 2552-2558 มีการถมพื้นที่ ชายฝั่งและก่อสร้างกำแพงกันคลื่นในรูปแบบขั้นบันได (รูป 5.2ค) เป็นระยะทางประมาณ 3.4 กม. เพื่อรักษาเสถียรภาพของชายฝั่งแหลมเกต ทำให้แหลมเกตไม่สามารถเป็นแหล่งตะกอนให้กับ Z4 ได้ อีกต่อไป ดังนั้นชายฝั่งบ้านปากน้ำปราณ (transect 134-140) ซึ่งเป็นพื้นที่ติดต่อกับแหลมเกต และ

ไม่มีการป้องกันชายฝั่ง จึงเป็นแหล่งตะกอนแห่งใหม่ทดแทนตะกอนจากแหลมเกด เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการกัดเซาะชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญของ Z4 ตั้งแต่ปี 2552 เป็นต้นมา ดังแสดงในรูป 5.2

5.4 ประสิทธิภาพของการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากข้อมูลโครงการ

แม้ว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ OLM จะเป็นเครื่องมือที่ถูกละเลย และนำมาใช้สำหรับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในงานวิศวกรรมชายฝั่ง อย่างแพร่หลายมาหลายทศวรรษแล้ว แต่ความถูกต้องของผลคาดการณ์แนวชายฝั่งของแบบจำลองคณิตศาสตร์นั้น ขึ้นอยู่กับคุณภาพและความเพียงพอของข้อมูลนำเข้าเป็นหลัก ในการศึกษาครั้งนี้ได้ติดตามผลการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ในการคาดการณ์ผลกระทบของการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ ต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งผลการเปรียบเทียบรูปร่างแนวชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริงในปี 2561 (ปีที่ 20 หลังก่อสร้างโครงการ) กับแนวชายฝั่งคาดการณ์จากข้อมูลโครงการ (กรมเจ้าท่า, 2539a) ในรูป 4.33 แสดงให้เห็นว่าแนวชายฝั่งคาดการณ์ มีขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนต่างไปจากแนวชายฝั่งจริง อยู่ระหว่าง 6-1,400% (ตาราง 4.24) โดยความคลาดเคลื่อนของแนวชายฝั่งคาดการณ์สำหรับพื้นที่ชายฝั่งด้านเหนือของเขื่อนกันทรายและคลื่นมีนัยสำคัญมากที่สุด เนื่องจากการคาดการณ์แนวชายฝั่งด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ให้ผล (output) ตรงข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริงอย่างสิ้นเชิง กล่าวคือ ในขั้นตอนการศึกษาและออกแบบผลการคาดการณ์แนวชายฝั่งระบุว่า หลังการก่อสร้างโครงการ จะเกิดการถดถอยของแนวชายฝั่งด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรีอย่างต่อเนื่องและมีนัยสำคัญ (รูป 4.33) ซึ่งข้อมูลแนวชายฝั่งจริงในปี 2561 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ชายฝั่งด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรี เกิดการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งตลอดพื้นที่ศึกษา ส่วนในพื้นที่ชายฝั่งด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรี แม้ว่าแนวชายฝั่งคาดการณ์จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ จะให้ผลที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับแนวชายฝั่งปี 2561 แต่ขนาดและรูปร่างของแนวชายฝั่งทำนายก็ยังคงมีความแตกต่างจากแนวชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริง (รูป 4.33)

สำหรับสาเหตุที่เป็นไปได้ของความคลาดเคลื่อน ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ของโครงการ มีได้หลายสาเหตุ ตัวอย่างเช่น ข้อจำกัด/ความถูกต้องของแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เงื่อนไขขอบเขตการศึกษา (boundary condition) รวมถึงคุณภาพและปริมาณของข้อมูลนำเข้า (input data) โดยในการศึกษานี้คาดว่าคุณภาพของข้อมูลคลื่นที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามารถส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของแนวชายฝั่งที่ได้จากการทำนายได้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากในการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งของโครงการ เลือกใช้ข้อมูลคลื่นที่สังเคราะห์ได้จากข้อมูลลม 12 ปี ของสถานีอุตุนิยมวิทยาหัวหิน ระหว่างปี 2524-2532 โดยเทียบมาตรฐาน (calibration) ผลของคลื่นสังเคราะห์จากข้อมูลลมกับ

ข้อมูลคลื่นตรวจวัดจากทุ่นสมุทรศาสตร์หัวหิน ในปี 2537 โดยข้อมูลคลื่นสังเคราะห์ มีค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญ (significant wave height, H_s) เท่ากับ 3.75 ม. มีคาบคลื่นนัยสำคัญ (significant wave period, T_s) เท่ากับ 4.0-9.0 วินาที และส่วนใหญ่คลื่นจะเคลื่อนที่มาในทิศตะวันออก (E) และตะวันออกเฉียงใต้ (SE) เนื่องจากรูปร่างของแนวชายฝั่งจะขึ้นอยู่กับทิศทางของคลื่น กระแสน้ำ และทิศทางของตะกอนตามแนวชายฝั่งเป็นหลัก ดังนั้นจากข้อมูลคลื่นสังเคราะห์ของโครงการ ที่ระบุว่าทิศทางของคลื่นส่วนใหญ่มีทิศจากทิศใต้ขึ้นไปทางเหนือ จะเป็นปัจจัยที่กำหนดให้ทิศทางของตะกอนชายฝั่งเคลื่อนที่จากด้านใต้ขึ้นไปทางเหนือเป็นหลัก เช่นกัน ส่งผลให้ผลการทำนายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระบุว่า หลังจากการก่อสร้างโครงการ ชายฝั่งด้านเหนือจะมีการถดถอยจากแนวชายฝั่งเดิม ในขณะที่ชายฝั่งด้านใต้จะมีตะกอนมาสะสมตัวเพิ่มมากขึ้น

อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง เป็นผลมาจากกระแสน้ำขนานชายฝั่งที่เกิดจากคลื่นเคลื่อนที่ท่ามกลางชายฝั่ง ดังนั้นขนาดและทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง จึงสามารถนำไปประเมินอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอน และทิศทางที่ตะกอนถูกพัดพาไปตามแนวชายฝั่งได้ (U.S. Army Corps of Engineers, 2002b) สำหรับกรณีโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ การใช้ข้อมูลคลื่นสังเคราะห์จากข้อมูลลมบนบก (สถานีหัวหิน) ซึ่งมีสถิติว่าคลื่นส่วนใหญ่มาจากทางทิศตะวันออก (E) และตะวันออกเฉียงใต้ (SE) จะส่งผลให้การเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งส่วนใหญ่มีทิศทางจากด้านใต้ไปด้านเหนือ (S-N) เช่นกัน เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดคลื่นนั้นเกิดจากการพัดผ่านของลมเหนือผิวน้ำ (Sorensen, 2006; U.S. Army Corps of Engineers, 2008d) ดังนั้นทิศทางของลมที่พัดในทะเลจึงมักถูกใช้แทนทิศทางคลื่นในกรณีที่ไม่มีข้อมูลทิศทางคลื่นในพื้นที่ศึกษา สำหรับชายฝั่งปราณบุรีลมประจำปีที่พัดผ่าน ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะก่อให้เกิดคลื่นที่เคลื่อนที่ไปทางใต้ และส่งผลให้ตะกอนชายฝั่งเคลื่อนที่จากเหนือไปใต้ (N-S) ในทางตรงกันข้ามช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ คลื่นจะมีทิศไปทางเหนือ ดังนั้นตะกอนชายฝั่งจะมีแนวโน้มเคลื่อนที่จากใต้ขึ้นเหนือ (S-N) จากข้อมูลสถิติของคลื่นที่ทุ่นหัวหิน ระหว่างปี 2540-2543 (ตาราง 4.4) พบว่าคลื่นที่เกิดขึ้นในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีความสูงคลื่นมากกว่าคลื่นในช่วงอื่น ๆ ดังนั้นคลื่นที่มาจากด้านเหนือ จะมีพลังงานในการพัดพาตะกอนให้เคลื่อนที่ลงใต้ ได้มากกว่าคลื่นที่มาจากทางใต้ การใช้ข้อมูลตรวจวัดนี้ ในการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจึงให้ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนมีโครงการ ที่พบว่าชายฝั่งด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรี มีการสะสมตัวของตะกอนมากกว่าชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำ

สำหรับโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ เนื่องจากการใช้ข้อมูลคลื่นสังเคราะห์จากลมที่ตรวจวัดบนแผ่นดิน ส่งผลต่อการคาดการณ์ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง และการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ผิดพลาด อันนำไปสู่การก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นแยกจำนวน 3 ตัวที่ชายฝั่งด้าน

เหนือของปากแม่น้ำ (รูป 4.3) เพื่อป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง ที่คาดการณ์โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ การก่อสร้างโครงสร้างดังกล่าวคิดเป็นมูลค่าประมาณ 3 ล้านบาท (ในปี 2541) (กรมเจ้าท่า, 2539a) ทั้งที่ชายฝั่งด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรี เป็นพื้นที่ที่มีตะกอนมาสะสมตัวอยู่แล้ว เนื่องจากตะกอนตามแนวชายฝั่งที่เคลื่อนที่จากทิศเหนือสู่ทิศใต้ (N-S) มีปริมาณสูงกว่าที่เคลื่อนที่จากทิศใต้ขึ้นไปยังทิศเหนือ (S-N) ในทางตรงกันข้ามบริเวณชายฝั่งด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรี ที่มีการคาดการณ์ว่าจะมีตะกอนมาสะสมตัว และจะมีผลกระทบต่อบริเวณแหลมเกด ที่กำลังเผชิญกับปัญหาการถดถอยของแนวชายฝั่ง ผลจากการวิเคราะห์แนวชายฝั่งในการศึกษารั้งนี้แสดงให้เห็นว่าพื้นที่แหลมเกดเกิดถดถอยของชายฝั่ง จนต้องทำการสร้างกำแพงกันคลื่นขนาดใหญ่ เพื่อรักษาเสถียรภาพชายฝั่งเพิ่มเติม (รูป 5.2ค) ซึ่งการป้องกันชายฝั่งแหลมเกดนี้ อาจเป็นสาเหตุที่นำไปสู่การถดถอยของแนวชายฝั่ง ที่บริเวณบ้านปากน้ำปราณที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง จากข้อมูลคลื่นสังเคราะห์ที่ได้จากข้อมูลลมบนบก อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิผลของการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญ และส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิผลของโครงการทางวิศวกรรมชายฝั่ง

5.5 ตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่น

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ มีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อรูปร่างของแนวชายฝั่ง ซึ่งในการศึกษารั้งนี้ ได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตการศึกษา และข้อมูลนำเข้าพื้นฐานในแบบจำลองคณิตศาสตร์ เช่น ข้อมูลโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง และข้อมูลสภาพพื้นที่ท้องทะเล ตามรายงานของกรมเจ้าท่า (2539a) แล้ววิเคราะห์อิทธิพลของข้อมูลคลื่น ระดับน้ำขึ้นน้ำลง และตะกอนจากแม่น้ำ ที่ส่งผลต่อการคาดการณ์แนวชายฝั่งปราณบุรี อันเนื่องจากโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ โดยผลการพิจารณาเปรียบเทียบแนวชายฝั่งสำหรับกรณีศึกษาต่าง ๆ (รูป 4.31 และสรุปในตาราง 4.22) แสดงให้เห็นว่า

- 1) การใช้ข้อมูลคลื่นและข้อมูลทิศทางลมในทะเลจากการวัดจริง (1 ปี) เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ให้ค่าผลคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ดีกว่าการใช้ข้อมูลคลื่นที่สังเคราะห์จากข้อมูลลมบนบก (12 ปี) อย่างมีนัยสำคัญ ดังจะเห็นได้จาก รูป 4.31 ที่แสดงให้เห็นว่ากรณีศึกษา 2.1 ที่จำลองโดยใช้ข้อมูลทุ่นสมุทรศาสตร์ ให้ผลการคาดการณ์แนวชายฝั่งที่มีแนวโน้มเดียวกันกับแนวชายฝั่งจริง ทั้งในด้านเหนือและด้านใต้ของปากแม่น้ำ ในขณะที่ผลการจำลองแนวชายฝั่งจากการใช้ข้อมูลคลื่นสังเคราะห์จากข้อมูลลม ให้ค่าแนวชายฝั่งคาดการณ์ที่ตรงข้ามกับแนวชายฝั่งจริงสำหรับชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำ แม้ว่าข้อมูลลมบนบกที่ใช้จะมีจำนวนข้อมูลต่อเนื่องและ

ยาวนานกว่าก็ตาม เนื่องจากความผันแปรและความแตกต่างระหว่างลมบนบกและลมในทะเลอาจมีได้มาก และจะส่งผลต่อทิศทางเคลื่อนที่ของคลื่นที่แตกต่างกันได้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมุมที่คลื่นกระทำกับแนวชายฝั่งที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทิศทางเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง เช่น คลื่นที่ทำมุมน้อยกว่า 90 องศา กับแนวชายฝั่ง สามารถทำให้ตะกอนเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกับคลื่นขนาดเดียวกันที่ทำมุมมากกว่า 90 องศา กับแนวชายฝั่ง แม้ว่ามุมของคลื่นจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยก็ตาม ดังนั้นข้อมูลทิศทางของคลื่น มีผลโดยตรงต่อความถูกต้องในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ การใช้ข้อมูลคลื่นที่วัดได้จริงในพื้นที่ศึกษา จึงมักถูกแนะนำให้ใช้ในขั้นตอนศึกษาและการออกแบบทางวิศวกรรม (U.S. Army Corps of Engineers, 1986)

- 2) การพิจารณาผลของตะกอนแม่น้ำ ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง สำหรับโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ นั้น ไม่ส่งผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงในส่วนอง อัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของชายฝั่ง แต่ส่งผลต่อระยะงอกสูงสุดที่เพิ่มขึ้นบริเวณชายฝั่งที่ติดกับปากแม่น้ำเพียง 10% คาดว่าเกิดจากข้อมูลปริมาณตะกอน ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเป็นข้อมูลตะกอนแขวนลอยที่ประเมินโดยกรมชลประทาน ซึ่งในช่วง 3 ปี (ปี 2507-2511) มีค่าเพียง 3,800 ลบ.ม./ปี ซึ่งมีค่าน้อย (<10%) เมื่อเทียบกับตะกอนตามแนวชายฝั่งที่คำนวณได้ที่ผันแปรตั้งแต่ 37,000-400,000 ลบ.ม./ปี (กรณีศึกษา 2.1 ตาราง 4.16) ดังนั้นอิทธิพลของปริมาณตะกอนแม่น้ำจึงมีผลต่อการจำลองชายฝั่ง เฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้กับเขื่อนกันทรายและคลื่น ผลการเปรียบเทียบการคำนวณปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอน และแนวชายฝั่งคาดการณ์ ระหว่างกรณีศึกษาและไม่พิจารณาข้อมูลตะกอนแม่น้ำปราณบุรี จึงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ปริมาณตะกอนแม่น้ำในทางกายภาพเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อรูปร่างของชายฝั่ง (Allison, 1998; Cui et al., 2011; Dada et al., 2015; Castelle et al., 2018; Ji et al., 2020; Xiong et al., 2020) ดังนั้นการใช้เพียงข้อมูลตะกอนแขวนลอยที่เก็บข้อมูลในเวลาสั้น โดยไม่พิจารณาปริมาณตะกอนท้องน้ำให้ครบถ้วนสมบูรณ์ อาจส่งผลต่อการคาดการณ์แนวชายฝั่งด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้มากเช่นกัน
- 3) การศึกษาครั้งนี้พิจารณาประสิทธิภาพของการสร้างเขื่อนกันคลื่นแยก ยาว 60 ม. 3 ตัว (ระยะห่าง 140-190 ม.) ในการรักษาเสถียรภาพชายฝั่งด้านเหนือของเขื่อนกันทรายและคลื่น (กรณีศึกษา 2.3) เนื่องจากแม้ว่าจะมีการแนะนำให้ก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นแยก ในขั้นตอนการศึกษาและออกแบบโครงการ เพื่อลดการกัดเซาะที่ชายฝั่งด้านเหนือของ

ปากน้ำปราณบุรี แต่ไม่ปรากฏการวิเคราะห์แนวชายฝั่งคาดการณ์สำหรับกรณีนี้ ซึ่งจากผลการจำลองแนวชายฝั่งในกรณีมีการเพิ่มเชื่อมกันคลื่นแยกทั้ง 3 ตัว ในระบบชายฝั่งชี้ให้เห็นว่าเชื่อมกันคลื่น มีผลทำให้พื้นที่ชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำเพิ่มขึ้นประมาณ 20% จากกรณีที่ไม่มีเชื่อมกันคลื่นแยก โดยพื้นที่ที่ตื้นอกเพิ่มมากกว่ากรณีศึกษา 2.1 จะเริ่มต้นตั้งแต่ระยะประมาณ 100 ม. จากตำแหน่งเชื่อมกันคลื่นไปจนถึงสิ้นสุดแนวชายฝั่งที่พิจารณา (เส้นปะสีเขียวใน รูป 4.31) โดยที่ระยะงอกสูงสุดของชายฝั่งลดลงเพียงเล็กน้อย (ตาราง 4.15) การเพิ่มเชื่อมกันคลื่นแยกยาว 60 ม. 3 ตัว โดยวางที่ตำแหน่งห่างจากชายฝั่งประมาณ 130-200 ม. ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรีมากขึ้นประมาณ 2 เท่า แต่ไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำ เนื่องจากเชื่อมกันทรายและคลื่นฯ มีความยาวเกินขอบเขตที่ตะกอนจะเคลื่อนที่ (surf zone) ออกไปได้

- 4) การพิจารณาอิทธิพลของระดับน้ำขึ้นน้ำลง ต่อการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งปราณบุรี (กรณีศึกษา 2.4) โดยเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา 2.3 พบว่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ส่งผลให้การคาดการณ์แนวชายฝั่งด้านเหนือของปากน้ำปราณบุรีเกิดการสะสมตัวลดลง 23% และทำให้ระยะการทับถมสูงสุดของแนวชายฝั่งลดลงประมาณ 14% แต่ระดับน้ำขึ้นน้ำลงไม่ส่งผลต่อการคำนวณแนวชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำที่มีนัยสำคัญ ซึ่งการพิจารณาระดับน้ำขึ้นน้ำลงในกรณีศึกษานี้ พบว่าผลการคาดการณ์แนวชายฝั่งมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ซึ่งคาดว่าจะเกิดขึ้นเนื่องจาก 2 ปัจจัย คือ 1) ความลาดชันชายฝั่งของหาดปราณบุรีมีค่าสูงน้อย ประมาณ 1:4 (กรมเจ้าท่า, 2539a) และ 2) พิสัย (range) ระดับน้ำขึ้นน้ำลงต่ำเฉลี่ย 1.2 ม. ทำให้อิทธิพลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่มีผลต่อพื้นที่การคำนวณกระบวนการชายฝั่งของแบบจำลอง มีความแตกต่างกันไม่มากนักระหว่างระดับน้ำสูงสุดและระดับน้ำต่ำสุด
- 5) จากการทดลองสร้างแบบจำลองโดยพิจารณาพารามิเตอร์หลัก ที่คาดว่าจะมีผลต่อการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งปราณบุรี ทั้งขนาดและชนิดของโครงสร้าง ข้อมูลคลื่น ตะกอนแม่น้ำ และระดับน้ำขึ้นน้ำลง (กรณีศึกษา 2.5) พบว่าให้ผลแนวชายฝั่งคาดการณ์ที่ไม่แตกต่างจากการจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ในกรณีพิจารณาข้อมูลคลื่นเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ (รูป 4.31) ซึ่งเป็นผลจากข้อมูลตะกอนของแม่น้ำปราณบุรี ที่มีค่าน้อยกว่าปริมาณเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าในกรณีที่ปริมาณตะกอนแม่น้ำมีค่าน้อยกว่า 10% ของปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง จะให้ผลการคาดการณ์แนวชายฝั่งที่แตกต่างจากการไม่พิจารณาข้อมูล

ตะกอนแม่น้ำอย่างไม่มีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลของระดับน้ำขึ้นลง ก็ไม่ปรากฏว่าส่งผลต่อแนวชายฝั่งคาบการณของชายฝั่งปราณบุรีที่มีนัยสำคัญเช่นกัน เนื่องจากพิสัยของระดับน้ำขึ้นลงที่ปราณบุรีมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 1.2 ม. (พิสัยน้ำสูงสุด 2.06 ม., ตาราง 4.5) กอปรกับค่าความลาดชันชายฝั่งมีค่ามาก (1:4) ทำให้ระยะการคำนวณของแบบจำลองต่างกันน้อยกว่า 8.5 ม. ในทิศทางตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง จึงไม่ส่งผลต่อการคำนวณปริมาณตะกอนตามแนวชายฝั่ง ที่แตกต่างกับกรณีที่ไม่พิจารณากระดับน้ำขึ้นลง (กรณีศึกษา 2.3)

- 6) ผลการศึกษาครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นว่า การใช้ข้อมูลคลื่นจากทุ่นสมุทรศาสตร์ 1 ปี ในการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งยังคงให้ผลการคาบการณที่คลาดเคลื่อนอยู่มาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ข้อมูล 1 ปียังไม่ครอบคลุมลักษณะคลื่นที่มีความผันแปรตามธรรมชาติ สูงได้ นอกจากนี้คลื่นที่เกิดขึ้นในพื้นที่ชายฝั่งปราณบุรี ซึ่งเป็นชายฝั่งที่เปิด (semi-open coast) ยังมีโอกาสได้รับผลกระทบเนื่องจากคลื่นที่เกิดขึ้นในทะเลจีนใต้ ที่เคลื่อนที่เข้ามายังอ่าวไทยได้อีกด้วย ดังนั้นจึงควรมีการตรวจวัดข้อมูลคลื่นอย่างเป็นระบบทั้งขนาดของคลื่น และทิศทางของคลื่น เพื่อให้สามารถศึกษาถึงลักษณะของคลื่นในอ่าวไทยที่แท้จริง อันจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงการวางแผนและออกแบบโครงการพัฒนาชายฝั่งของประเทศที่มีประสิทธิผลได้
- 7) แม้ว่าผลการศึกษาครั้งนี้จะชี้ให้เห็นว่าคุณภาพของข้อมูลคลื่นจะส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของการทำนายแนวชายฝั่งของแบบจำลองคณิตศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยังคงมีความคลาดเคลื่อนได้จากหลายปัจจัย เช่น ข้อจำกัดทางเทคนิคของแบบจำลองเอง, เงื่อนไขขอบเขต, คุณภาพข้อมูลนำเข้าอื่น ๆ, ความผันแปรของธรรมชาติที่มีอาจจำลองด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ เป็นต้น ดังนั้นในการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำเป็นต้องศึกษาด้วยความระมัดระวัง

5.6 แนวทางการปรับปรุงตัวแปรสมุทรศาสตร์เพื่อการออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง

1) ข้อมูลคลื่น

กระบวนการของคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งมีผลต่อรูปแบบของแนวชายฝั่ง โดยแนวชายฝั่งจะปรับตัวขนานไปกับสันคลื่น (wave crest) ที่เคลื่อนที่เข้ามา เมื่อมีการก่อสร้างโครงการหรือทำกิจกรรมบริเวณชายฝั่ง ที่ส่งผลให้ทิศทางของคลื่นเกิดการเปลี่ยนแปลง แนวชายฝั่งจะทำการปรับตัว

เพื่อตอบสนองต่อคลื่นใหม่ที่เข้ามา ดังนั้นขนาดและทิศทางคลื่น จึงมีผลต่ออัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง และเป็นตัวกำหนดรูปร่างของแนวชายฝั่ง (U.S. Army Corps of Engineers, 1986, 1993, 2002b) จากผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าข้อมูลคลื่น เป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาและออกแบบทางด้านสมุทรศาสตร์ คุณภาพของข้อมูลจะส่งผลต่อการออกแบบโครงการอย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษาที่ได้อาจให้ผลในทางตรงข้ามกับผลที่เปลี่ยนแปลงจริง ดังเช่นในการศึกษานี้ ที่ชายฝั่งด้านเหนือถูกประเมินว่าจะเกิดการกัดเซาะหลังทำโครงการ แต่แท้จริงเป็นชายฝั่งแบบสะสมตัว การใช้ข้อมูลปริมาณมากเพื่อสังเคราะห์เป็นข้อมูลคลื่นให้ครอบคลุมช่วงเวลาต่าง ๆ อาจไม่มีน้ำหนักมากพอที่จะนำมาช่วยลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล เมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูลคลื่นวัดจริง 1 ปี ซึ่งในความเป็นจริงข้อมูลเพียง 1 ปีก็ยังคงไม่เพียงพอที่จะให้เป็นตัวแทนข้อมูลคลื่น เพื่อศึกษาทางด้านสมุทรศาสตร์ในระยะยาว เนื่องจากข้อมูลคลื่นเป็นข้อมูลที่มีความผันแปรสูง เพื่อให้การออกแบบโครงการทางด้านวิศวกรรมชายฝั่ง มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด ข้อมูลคลื่นที่ใช้ในการศึกษาจึงควรเป็นข้อมูลคลื่นที่ได้จากการตรวจวัดจริงในภาคสนาม ด้วยวิธีการที่เหมาะสม และเก็บต่อเนื่องเป็นเวลานาน ยังมีการเก็บรวบรวมข้อมูลยาวนานเท่าไร ยิ่งเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและออกแบบโครงการ

2) ข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลง

การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลง มีผลต่อความสูงคลื่นและพลังงานคลื่นแตกตัว ความสูงคลื่นซึ่งเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ ที่ใช้ในการออกแบบความสูงของโครงสร้าง จะผันแปรตามการขึ้นลงของระดับน้ำ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการแตกตัวของคลื่น มีผลต่อการกำหนดตำแหน่งโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง รวมทั้งการออกแบบโครงสร้างเพื่อรับแรงคลื่นที่มากระทำอีกด้วย (U.S. Army Corps of Engineers, 2002b, 2011a) โดยทั่วไปคลื่นที่แตกตัวหน้าโครงสร้างจะมีพลังงานในการพัดพาตะกอนให้เคลื่อนที่ได้น้อยกว่าคลื่นที่แตกตัวหลังโครงสร้าง (U.S. Army Corps of Engineering, 1984b) ดังนั้นข้อมูลระดับน้ำจะช่วยในการกำหนดตำแหน่งของโครงสร้าง ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลระดับน้ำ (กรณีศึกษา 2.1-2.3) และกรณีที่มีข้อมูลระดับน้ำ (กรณีศึกษา 2.4-2.5) ให้ผลคาดการณ์แนวชายฝั่งที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากสภาพทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา ที่บริเวณหน้าหาด (beach face) มีความลาดน้อย ประมาณ 1:4 (กรมเจ้าท่า, 2539a) และมีพิสัย (range) ระดับน้ำขึ้นน้ำลงต่ำ (เฉลี่ย 1.2 ม.) ดังนั้นในการออกแบบงานทางวิศวกรรมชายฝั่ง ในกรณีที่พื้นที่ศึกษามีความลาดชันสูง และมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำไม่มาก ข้อมูลระดับน้ำอาจไม่ส่งผลต่อการออกแบบอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามในพื้นที่ที่มีความลาดมาก และ/หรือมีพิสัย (range) ของ

น้ำขึ้นน้ำลงสูง การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำมีจะผลต่อการออกแบบทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ (U.S. Army Corps of Engineers, 2008c)

3) ข้อมูลตะกอนแม่น้ำ

การพิจารณางบดุลตะกอน (sediment budget) ของพื้นที่ศึกษา โดยการระบุแหล่งที่มีความเป็นไปได้ที่จะให้ตะกอนแก่ระบบ (source) และแหล่งที่ตะกอนจะสามารถไปสะสม (sink) ได้ จะช่วยให้เข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการของตะกอนชายฝั่งในพื้นที่ศึกษา ซึ่งโดยทั่วไปแม่น้ำเป็นหนึ่งในแหล่งที่ให้ตะกอน (source) แก่ระบบชายฝั่ง (Sorensen, 2006) ดังนั้นในการพิจารณาวางแผนโครงการ ตะกอนแม่น้ำจึงเป็นหนึ่งในตัวแปรศึกษาที่วิศวกรชายฝั่งให้ความสำคัญ

ในการศึกษานี้แม่น้ำปราณบุรีเป็นแม่น้ำสายหลัก ที่ให้ตะกอนแก่ระบบหาดปราณบุรี ผลจากแบบจำลองคณิตศาสตร์พบว่าปริมาณตะกอนแม่น้ำมีน้อยกว่า 10% ของตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศในอดีต การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำมีแนวโน้มว่าจะเกิดจากอิทธิพลของตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่งเป็นหลัก และมีผลของตะกอนจากแม่น้ำปราณบุรีเป็นปัจจัยรอง ที่ทำให้เกิดปัญหาหาดน้ำตื้นเขิน จึงมีความเป็นไปได้ว่าชายฝั่งบริเวณหาดปราณบุรี มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งเป็นหลัก ดังนั้นการนำเข้าข้อมูลตะกอนแม่น้ำปราณบุรี ในแบบจำลอง GENESIS อาจไม่ส่งผลกระทบต่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามหากเป็นกรณีที่มีแม่น้ำเป็นแหล่งให้ตะกอนหลักแก่ระบบชายฝั่ง การไม่นำเข้าข้อมูลตะกอนแม่น้ำในแบบจำลอง รวมทั้งด้วยข้อจำกัดของแบบจำลอง อาจส่งผลให้การออกแบบโครงการผิดพลาด หรือเกิดผลกระทบภายหลังการทำโครงการได้

อย่างไรก็ตามพื้นที่ศึกษาที่มีระบบแม่น้ำอยู่ติดกับระบบชายฝั่ง ข้อมูลตะกอนแม่น้ำเป็นข้อมูลสำคัญที่ควรถูกนำมาพิจารณาในการออกแบบโครงการ สำหรับประเทศไทย สถานีวัดปริมาณตะกอนแม่น้ำมีเพียงในแม่น้ำสายสำคัญ และเป็นการวัดเพียงข้อมูลตะกอนแขวนลอย (กรมชลประทาน, 2555) ดังนั้นในขั้นตอนการทำโครงการควรมีการสำรวจและเก็บข้อมูลตะกอนในภาคสนาม ทั้งปริมาณตะกอนแขวนลอย ตะกอนท้องน้ำ วัสดุท้องน้ำ รวมทั้งทำการสำรวจหน้าตัดทางน้ำ สภาพลำน้ำ และอัตราการไหล เพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมและการเคลื่อนที่ของตะกอนและประเมินปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ในลำน้ำ โดยควรทำการเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมทั้งฤดูน้ำและฤดูแล้ง หากเป็นไปได้ควรทำการเก็บเป็นข้อมูลระยะยาว (Bidorn et al., 2016; Namsai et al., 2020) เพื่อให้สามารถมีข้อมูลที่เพียงพอต่อการประเมินกระบวนการของตะกอนชายฝั่งได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งจะมีส่วนช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการคาดการณ์ผลกระทบอันเนื่องมาจากโครงการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งได้

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 ลักษณะตะกอนชายฝั่งปราณบุรี และอัตราการทับถมของตะกอนบริเวณโครงการ

ชายฝั่งอ่าวปราณบุรีสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระบบกลุ่มหาด (Z1-Z4) โดย Z1 ครอบคลุมชายฝั่งตั้งแต่เขาตะเกียบถึงเขาเต่า ส่วน Z2 เป็นชายฝั่ง pocket beaches ที่เกิดขึ้นบริเวณเขาเต่า ส่วน Z3 เริ่มตั้งแต่เขาเต่าถึงปากน้ำปราณบุรี และ Z4 เป็นแนวชายฝั่งตั้งแต่ปากน้ำปราณบุรีถึงเขากะโหลก ลักษณะตะกอนชายฝั่งในระบบกลุ่มหาด Z1 และ Z2 มีขนาดตะกอนและการเคลของตะกอนที่แตกต่างจากระบบกลุ่มหาด Z3 และ Z4 อย่างชัดเจน โดยระบบกลุ่มหาด Z1 เป็นตะกอนทรายละเอียด (fine sand) มีขนาดตะกอนมีขนาดใกล้เคียงกัน และไม่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล สำหรับกลุ่มหาด Z2 เป็นตะกอนทรายขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่/หยาบ (medium to coarse sand) และมีการผันแปรตามฤดูกาล ในขณะที่กลุ่มหาด Z3 และ Z4 ตะกอนมีความผันแปรตั้งแต่ทรายละเอียด (fine sand) ถึงทรายหยาบ (coarse sand) โดยส่วนใหญ่บริเวณเขื่อนกันทรายและคลื่น ตะกอนชายฝั่งจะมีขนาดใหญ่ และเล็กลงตามระยะห่างจากเขื่อนกันทรายและคลื่นไปยังท้ายของแต่ละระบบหาด เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมที่พัดผ่านในพื้นที่ศึกษา นำพาตะกอนมาตกสะสมตัวที่บริเวณหน้าเขื่อนทั้งด้านเหนือและด้านใต้ ทั้งนี้ในอดีตพบว่าชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำเป็นตะกอนขนาดเล็ก (silty clay) ผลการวิเคราะห์ลักษณะตะกอนตามแนวชายฝั่งพื้นที่ศึกษาในปัจจุบันเปรียบเทียบกับอดีต ชี้ให้เห็นว่าเขื่อนกันทรายและคลื่นมีประสิทธิผลในแง่การรักษาเสถียรภาพปากแม่น้ำตามที่ยกแบบไว้

การหาอัตราการทับถมของตะกอนด้วยเทคนิค ^{210}Pb พบว่า ตะกอนที่เก็บตัวอย่างจากบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีมีค่ากัมมันตภาพของ ^{210}Pb ต่ำมาก และไม่มีแนวโน้มลดลงตามความลึก ซึ่งตีความได้ว่าตัวอย่างตะกอนที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นตะกอนเก่า หรือไม่มีการทับถมของตะกอนใหม่ในบริเวณนี้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพื้นที่ทำการเก็บตัวอย่างตะกอน อยู่บริเวณด้านหน้าเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ และเป็นพื้นที่ที่มีอัตราการทับถมของตะกอนประมาณ 6 ม./ปี จึงอาจเป็นไปได้ว่าวิธีการหาอัตราการทับถมของตะกอนชายฝั่งด้วยเทคนิค ^{210}Pb นี้ อาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับตัวอย่างที่เป็นตะกอนทรายได้

6.2 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปราณบุรีก่อนและหลังการทำโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่น

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งครั้งนี้ ครอบคลุมตั้งแต่บริเวณเขาตะเกียบถึงเขากะโหลก ระยะทางประมาณ 20 กม. ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า โครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ มีอิทธิพล

ต่อชายฝั่งครอบคลุมตั้งแต่เขาเต่าถึงปากน้ำปราณบุรี (Z3) และปากน้ำปราณบุรีถึงเขากะโหลก (Z4) รวมเป็นความยาวชายฝั่งประมาณ 11.5 กม.

ก่อนมีการก่อสร้างโครงการที่ปากน้ำปราณบุรี ชายฝั่งตั้งแต่เขาเต่าถึงเขากะโหลก เคยอยู่ในระบบหาดเดียวกันมาก่อน และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด โดยชายฝั่งส่วนใหญ่ (71%) ตั้งแต่เขาเต่าถึงปากน้ำปราณบุรี (Z3) เป็นชายฝั่งแบบสะสมตัว มีอัตราการทับถมเฉลี่ย 2 ม./ปี เกิดพื้นที่งอกเพิ่มขึ้นประมาณ 16.2 เฮกตาร์ ในขณะที่ประมาณ 46% ของชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำ (Z4) เป็นชายฝั่งแบบสะสมตัว มีอัตราทับถมเฉลี่ย 1.3 ม./ปี มีพื้นที่งอกเพิ่มขึ้น 9 เฮกตาร์ แนวชายฝั่งส่วนที่เหลือถดถอยด้วยอัตราเฉลี่ย -1 ม./ปี เกิดการสูญเสียพื้นที่ -7.5 เฮกตาร์ หลังจากการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่น พบว่าชายฝั่งทั้งด้านเหนือและด้านใต้ของโครงสร้างมีตะกอนมาสะสมตัว จนมีพื้นที่เพิ่มขึ้นประมาณ 9.6 เฮกตาร์ และ 5.65 เฮกตาร์ ที่ด้านเหนือและใต้ ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเขื่อนกันทรายและคลื่น เป็นโครงสร้างที่กีดขวางการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ส่งผลให้เกิดการตกสะสมตัวของตะกอนที่ด้านหน้าโครงสร้าง โดยมีระยะการสะสมตัวสูงสุดบริเวณส่วนติดกับโครงสร้างและลดลงไปตามระยะทางห่างจากปากแม่น้ำ สำหรับระยะสะสมตัวสูงสุดที่ด้านเหนือและด้านใต้ มีระยะประมาณ 250 และ 300 ม. ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่ามีการถดถอยของแนวชายฝั่งบางช่วงของ Z3 หลังมีการก่อสร้างโครงการ เนื่องจากพบแนวกำแพงกันคลื่นตามแนวชายฝั่ง Z3 เพิ่มขึ้นจาก 300 ม. เป็น 900 ม. และที่ด้านใต้ (Z4) บริเวณแหลมเกตุ มีการก่อสร้างกำแพงกันคลื่นในรูปแบบขั้นบันไดเป็นระยะทางตามแนวชายฝั่งประมาณ 3.5 กม. รวมถึงยังพบการกัดเซาะที่บริเวณบ้านปากน้ำปราณเพิ่มมากขึ้น

6.3 ประสิทธิภาพการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ

การศึกษาประสิทธิภาพของการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ จากข้อมูลโครงการ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่บ้านบ่อแก้วถึงบางส่วนของแหลมเกตุ เป็นระยะทางประมาณ 5.5 กม. พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนมากถึง 1,283% และ 372% ที่ด้านเหนือและด้านใต้ตามลำดับ สาเหตุของความคลาดเคลื่อนของผลคาดการณ์เกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น ความถูกต้องของแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา คุณภาพและปริมาณของข้อมูลนำเข้า การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ของการศึกษา เป็นต้น โดยผลจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าข้อมูลคลื่นที่ใช้ในการออกแบบส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการทำนายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำ และข้อมูลตะกอนแม่น้ำ ข้อมูลคลื่นที่สังเคราะห์จากลม 12 ปี ที่สถานีตรวจอากาศหัวหิน (ปี 2524-2535) จากการวิเคราะห์ของโครงการระบุว่า คลื่นส่วนใหญ่เคลื่อนที่มาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนจากใต้ขึ้นเหนือ (S-N)

เป็นหลัก ดังนั้นการทำนายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจึงคาดการณ์ว่า หลังการก่อสร้างโครงการฯ ชายฝั่งด้านเหนือจะเกิดการถดถอย ในขณะที่ชายฝั่งด้านใต้ จะมีตะกอนมาสะสมตัวมากขึ้น อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงชายฝั่งเกิดการสะสมตัวทั้งด้านเหนือและด้านใต้ของโครงสร้าง นอกจากนี้ จากผลทำนายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในขั้นตอนการศึกษาและออกแบบ ทำให้มีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจำนวน 3 ตัวที่ด้านเหนือของหาดปรานคีรี เพื่อป้องกันการกัดเซาะที่คาดว่าจะเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม 20 ปีหลังการก่อสร้าง พบว่าชายฝั่งด้านเหนือของปากแม่น้ำปรานบุรีมีตะกอนมาสะสมตัวเนื่องจากอิทธิพลของเขื่อนกันทรายและคลื่น ในขณะที่ด้านใต้พบปัญหาการถดถอยของแนวชายฝั่งที่บริเวณบ้านปากน้ำปราน

6.4 ตัวแปรทางสมุทรศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่น

ตัวแปรออกแบบที่พิจารณาในการศึกษานี้ได้แก่ ข้อมูลคลื่น ข้อมูลตะกอนแม่น้ำปรานบุรี เขื่อนกันคลื่นแยก และข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลง โดยวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงตัวแปรสมุทรศาสตร์ในการออกแบบ ที่ทำให้การคาดการณ์ชายฝั่งของแบบจำลองคณิตศาสตร์มีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับผลการศึกษาในพื้นที่หาดปรานบุรี มีข้อสรุปดังนี้

- 1) การใช้ข้อมูลคลื่นและข้อมูลทิศทางลมในทะเลจากการวัดจริง (1 ปี) เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งให้ผลการคาดการณ์แนวชายฝั่ง ที่ดีกว่าการใช้ข้อมูลคลื่นที่สังเคราะห์จากข้อมูลลมบนอย่างมีนัยสำคัญ โดยชายฝั่งด้านเหนือบริเวณปากแม่น้ำ ผลจากแบบจำลองให้ค่าที่มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น 93% ส่วนชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 3,800%
- 2) การใช้ข้อมูลตะกอนแม่น้ำในการสร้างแบบจำลองสำหรับการศึกษานี้พบว่า ไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง อย่างไรก็ตามบริเวณที่ติดกับเขื่อนกันทรายและคลื่น พบว่าชายฝั่งงอกเพิ่มขึ้นประมาณ 10% คาดว่าเป็นผลจากปริมาณตะกอนแม่น้ำที่ได้จากการประเมินของกรมชลประทานมีค่าน้อยมาก (<10%) เมื่อเทียบกับตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง ส่งผลให้การนำเข้าข้อมูลตะกอนแม่น้ำ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอย่างไม่มีนัยสำคัญ
- 3) การจำลองโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นแยกที่ด้านชายฝั่งด้านเหนือ ส่งผลให้มีพื้นที่ชายฝั่งเพิ่มขึ้นประมาณ 20% ด้านหลังโครงสร้าง และมีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งสุทธิเพิ่มขึ้นประมาณ 13% อย่างไรก็ตาม เขื่อนกันคลื่นนี้ไม่มีผลต่อกระบวนการชายฝั่งด้านใต้ของปากแม่น้ำ เนื่องจากเขื่อนกันทรายและคลื่นที่มีความยาวเลยขอบเขตของ surf zone ทำหน้าที่เป็นหัวหาดเทียม

- 4) การนำเข้าข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลง ส่งผลต่อผลการคาดการณ์โดยมีพื้นที่สะสมตัวลดลง 23% และระยะยื่นสูงสุดของชายฝั่งลดลง 14% อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในภาพรวมไม่พบว่ามี การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากช่วงพิสัยของน้ำขึ้นน้ำลงมีค่า เปลี่ยนแปลงไม่มาก (1.2 ม.) และบริเวณหน้าหาดมีความลาดน้อย (1:4) การเปลี่ยนแปลง ของระดับน้ำจึงไม่ส่งผลต่อการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมากนัก

6.5 แนวทางการปรับปรุงตัวแปรสมุทรศาสตร์ ในการออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง

ตัวแปรออกแบบทางสมุทรศาสตร์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญใน การศึกษานี้คือข้อมูลคลื่น โดยข้อมูลคลื่นสำรวจเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้การออกแบบมีความแม่นยำมาก ขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูลคลื่นสังเคราะห์จากข้อมูลลมบก ที่ใช้ในขั้นตอนการศึกษาของโครงการ ดังนั้นในการปรับปรุงการออกแบบโครงการหรือโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านวิศวกรรมชายฝั่ง ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงขึ้น ควรเลือกใช้ข้อมูลคลื่นวัดจริง เพื่อเป็นตัวแทนสภาพคลื่นใน พื้นที่ศึกษา อย่างไรก็ตามระยะเวลาของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัย ที่มีผลต่อ การศึกษา เนื่องจากข้อมูลคลื่นมีความผันแปรสูง การใช้ข้อมูลคลื่นระยะยาวเท่าที่มีข้อมูลจึงคาดว่าจะ ช่วยให้ผลคาดการณ์ของแบบจำลองดีขึ้น หรือพิจารณาตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ/โครงการ

สำหรับค่าตัวแปรออกแบบอื่น ๆ แม้ว่าในการศึกษานี้ไม่พบว่ามีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง ชายฝั่งบริเวณปากน้ำปราณบุรีที่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความซับซ้อนของกระบวนการ ชายฝั่ง อิทธิพลของตัวแปรสมุทรศาสตร์ แต่ละตัวแปรอาจมีผลแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นจึง ควรทำการศึกษา เก็บข้อมูล และพิจารณาตัวแปรออกแบบให้ครอบคลุมปัจจัยต่าง ๆ ให้ได้มากที่สุด อีกทั้งข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในพื้นที่ ควรเก็บให้ครอบคลุมพารามิเตอร์หลักที่มีอิทธิพลต่อ กระบวนการเคลื่อนที่ของตะกอน เช่น ข้อมูลคลื่น จำเป็นต้องสำรวจทั้งความสูงคลื่น คาบเวลาคคลื่น และทิศทางคลื่นในช่วงเวลาเดียวกัน ส่วนข้อมูลตะกอนแม่น้ำ ควรเก็บข้อมูลทั้งปริมาณตะกอน แขนวลอย ปริมาณตะกอนท้องน้ำ และวัสดุท้องน้ำ โดยการเก็บข้อมูลควรให้มีความต่อเนื่องและ ครอบคลุมทั้งฤดูน้ำและฤดูแล้ง เป็นต้น นอกจากนี้ควรเลือกใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ให้เหมาะสมกับ การประยุกต์ใช้ในกรณีศึกษาที่สนใจ เนื่องจากข้อจำกัดของแบบจำลอง อาจส่งผลต่อผลการประเมิน หรือคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญได้เช่นกัน

6.6 บทความตีพิมพ์ทางวิชาการ

ในการศึกษาครั้งนี้ผลการศึกษาบางส่วนได้ถูกตีพิมพ์ในวารสาร Engineering Journal ซึ่ง เป็นวารสารระดับนานาชาติ ที่อยู่ในฐานข้อมูล SCOPUS ระดับ Q2 ในหัวข้อเรื่อง “Impacts of

Long Jetties Construction on Shoreline Change at the Western Coast of the Gulf of Thailand” เมื่อปี 2563 (Phanomphongphaisarn et al., 2020) รายละเอียดดังภาคผนวก จ.

6.7 ข้อเสนอแนะ

- 1) เนื่องจากชายฝั่งประเทศไทย โดยเฉพาะภาคใต้มีลักษณะเป็นทะเลเปิด ซึ่งได้รับอิทธิพลจากคลื่นที่มีแหล่งกำเนิดในทะเลจีนใต้ได้โดยตรง แม้ว่าอิทธิพลของลมประจำถิ่นจะส่งผลต่อการเกิดคลื่นในอ่าวไทยได้น้อยในบางฤดูกาล ดังนั้นในการศึกษาต่อไป ควรมีการพิจารณาคลื่นที่มีแหล่งกำเนิดในทะเลจีนใต้ ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งอ่าวไทย ในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเรื่องนี้ในการศึกษา แต่คลื่นดังกล่าวอาจมีผลต่อกระบวนการชายฝั่งของภาคใต้บางพื้นที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ
- 2) จากข้อมูลภาพถ่ายเทียมพบว่า ในบางช่วงเวลาชายฝั่งด้านหลังเขื่อนกันคลื่นมีลักษณะแบบ tombolo แต่เนื่องจากแบบจำลอง GENESIS ที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ไม่สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในรูปแบบ tombolo ได้ จึงควรมีการศึกษาคั้งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเพิ่มเติมในแบบจำลอง GENESIS-T เพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่อาจเป็นประโยชน์ในการศึกษาและออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง
- 3) ในการศึกษาคั้งนี้กำหนดค่าความลึกประสิทธิผล (depth of closer, d_c) สำหรับในการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งให้มีค่าเท่ากับ 1.0 ม. ตามรายงานของกรมเจ้าท่า (2539a) ซึ่งไม่มีคำอธิบายที่มาของการเลือกใช้ค่า d_c และมีค่าแตกต่างจากรายงานของสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (2546) ที่ศึกษาในพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งพบว่าค่า d_c ที่ได้จากการสำรวจในภาคสนาม มีค่าประมาณ 2.0 ม นอกจากนี้จากการคำนวณตามสมการของ Hallermeier (1978) พบว่าค่า d_c มีค่าระหว่าง 2.2-3.4 ม. ที่ระบุว่าค่า d_c มีผลต่อการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอน และส่งผลต่อการคาดการณ์ปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยผันแปรค่า d_c ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ข้อสรุปในส่วนของการคาดการณ์แนวชายฝั่งที่ดีขึ้น
- 4) ในการศึกษานี้ กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาการคาดการณ์ชายฝั่ง ตามรายงานของกรมเจ้าท่า (2539a) ซึ่งไม่ครอบคลุมทิศทางทั้งด้านเหนือ และด้านใต้ของปากน้ำปราณบุรี ซึ่งกรณีนี้มีผลต่อการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของพื้นที่ศึกษา รวมถึงส่งผลต่อการคำนวณปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง และการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งได้ ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติม โดยขยายพื้นที่ศึกษาให้ครอบคลุมทิศทางทั้งด้านเหนือและด้านใต้ คาดว่าจะมีผลให้การคาดการณ์แนวชายฝั่งมีความถูกต้องมากขึ้น

- 5) จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การใช้ข้อมูลคลื่นและลมวัดจริงในทะเล ให้ผลการคาดการณ์แนวชายฝั่งที่มีแนวโน้มใกล้เคียงการเปลี่ยนแปลงจริง มากกว่าการใช้ข้อมูลคลื่นสังเคราะห์ ดังนั้นควรมีการตรวจวัดและเก็บบันทึกข้อมูลลักษณะคลื่น อันประกอบด้วยความสูงคลื่น คาบเวลาคคลื่น และทิศทางคลื่น รวมทั้งข้อมูลลมในทะเล ได้แก่ความเร็วและทิศทางลม ที่ต่อเนื่องในระยะยาว เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบโครงการให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเพิ่มขึ้น



บรรณานุกรม

ภาษาอังกฤษ

- Allison, M. A. (1998). Historical Changes in the Ganges-Brahmaputra Delta Front. *Journal of Coastal Research* 14.
- Appleby, P. G. (1997). *Dating of sediments by 210Pb: problems and solutions*. Paper presented at the Proceeding of a seminar 'Dating of sediments and determination of sedimentation rate', Helsinki, STUK.
- Appleby, P. G., & Oldfield, F. (1992). *Application of 210Pb to sediment studies, Uranium-series disequilibrium: application to Earth, marine, and environmental sciences*. Oxford: Clarendon Press.
- Asian Disaster Preparedness Center. (2015). *Technical Report: Evaluation of Coastal Erosion and Shoreline Change along the Songkhla Coast of Thailand*
- Bell, R., Green, M., Hume, T., & Gorman, R. (2000). What regulates sedimentation in estuaries. In *water & atmosphere* (Vol. 8).
- Besset, M., Gratiot, N., Anthony, E. J., Bouchette, F., Goichot, M., & Marchesiello, P. (2019). Mangroves and shoreline erosion in the Mekong River delta, Viet Nam. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 226, 106263. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106263>
- Bidorn, B. (2016). *Causes of Shoreline Recession in the Chao Phraya Delta*. (Doctor of Philosophy), Florida State University,
- Bidorn, B., Kish, S. A., Donoghue, J. F., Bidorn, K., & Mama, R. (2016). Sediment Transport Characteristic of the Ping River Basin, Thailand. *Procedia Engineering*, 154, 557-564. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.552>
- Bidorn, B., Phanomphongphaisarn, N., & Rukvichai, C. (2018a). *Evolution of Mangrove Muddy Coast in the Western Coast of the Upper Gulf of Thailand over the Past Six Decades*. Paper presented at the Sixth International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC-2018), Caen, France.

- Bidorn, B., & Rukvichai, C. (2018b). *Impacts of Coastal Development on the Shoreline Change of the Eastern Gulf of Thailand* Paper presented at the 208 5th International Conference on Coastal and Ocean Engineering (ICCOE 2018)
- Bird, E. (2008). *Coastal Geomorphology An Introduction* (2 ed.): WILEY.
- Campbell, T., Benedet, L., & Thomson, G. (2005). Design Considerations for Barrier Island Nourishments and Coastal Structures for Coastal Restoration in Louisiana. *Journal of Coastal Research*, 186-202.
- Castelle, B., Guillot, B., Marieu, V., Chaumillon, E., Hanquiez, V., Bujan, S., & Poppeschi, C. (2018). Spatial and temporal patterns of shoreline change of a 280-km high-energy disrupted sandy coast from 1950 to 2014: SW France. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 200, 212-223. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.11.005>
- Choowong, M., Songmuang, R., Phantuwongraj, S., Daorerk, V., Charusiri, P., & Numeel, L. (2009). Monitoring beach morphology changes and coastal sediment balance from Prachuap Khiri Khan, Thailand. *BEST*, 2(1&2), 1-10.
- Chrzastowski, M. J. (2004). History of the Uniquely Designed Groins Along the Chicago Lakeshore. *Journal of Coastal Research*, 19-38.
- Cui, B.-L., & Li, X.-Y. (2011). Coastline change of the Yellow River estuary and its response to the sediment and runoff (1976–2005). *Geomorphology*, 127(1), 32-40. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.12.001>
- Dada, O. A., Qiao, L., Ding, D., Li, G., Ma, Y., & Wang, L. (2015). Evolutionary trends of the Niger Delta shoreline during the last 100years: Responses to rainfall and river discharge. *Marine Geology*, 367, 202-211. doi:<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.06.007>
- Davidson-Arnott, R. (2009). *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*: Cambridge University.
- Dolan, R., Hayden, B., & Heywood, J. (1978). A new photogrammetric method for determining shoreline erosion. *Coastal Engineering*, 2, 21-39. doi:[https://doi.org/10.1016/0378-3839\(78\)90003-0](https://doi.org/10.1016/0378-3839(78)90003-0)
- Dolan, R., Hayden, B., Rea, C., & Heywood, J. (1979). Shoreline erosion rates along the middle Atlantic coast of the United States. *GEOLOGY*, 7, 602-606.

- Elizabeth, H. B., & Ian, L. T. (2005). Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 688-703.
- Eriksson, E.-L., & Persson, M. H. (2014). Sediment transport and coastal evolution at Thuan An Inlet, Vietnam. *VATTEN – Journal of Water Management and Research*, 70, 169-179.
- Faas, R. W., & Carson, B. (1988). Short-term deposition and long-term accumulation of lagoonal sediment, Great Sound, New Jersey. *Marine Geology*, 82(1), 97-112. doi:[https://doi.org/10.1016/0025-3227\(88\)90009-6](https://doi.org/10.1016/0025-3227(88)90009-6)
- Faiboon, A., Pradit, S., & Ritphring, S. (2012). *Monitoring Shoreline Change Using Geoinformatics: A Case Study at Chalatat Beach in Songkhla Province, Thailand*.
- Folk, R. L., & Ward, M. C. (1957). Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters *J. Sediment. Petrol.*, 27, 24.
- Ford, M. (2013). Shoreline changes interpreted from multi-temporal aerial photographs and high resolution satellite images: Wotje Atoll, Marshall Islands. *Remote Sensing of Environment*, 135, 130-140. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.03.027>
- Guy, H. P. (1977). Laboratory Theory and Methods for Sediment Analysis. In *Laboratory Analysis* (3 ed.): GEOLOGICAL SURVEY.
- Hallermeier, R. J. (1978). Uses for a calculated limit depth to beach erosion. *Proceedings, 16th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers*, 1493-1512.
- Hickson, R. E., & Rodolf, F. W. (1950). DESIGN AND CONSTRUCTION OF JETTIES. *Coastal Engineering*(1). doi:10.9753/icce.v1.26
- Himmelstoss, E. A. (2009). *DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide (updated for version 4.3)* (Open-File Report 2008-1278.).
- Ji, H., Pan, S., & Chen, S. (2020). Impact of river discharge on hydrodynamics and sedimentary processes at Yellow River Delta. *Marine Geology*, 425, 106210. doi:<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106210>
- Kakisina, T. J., Anggoro, S., Hartoko, A., & Suripin. (2016). NEMOS (Nearshore Modelling of Shoreline Change) Model for Abrasion Mitigation at the Northern Coast of

Ambon Bay. *Aquatic Procedia*, 7, 242-246.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2016.07.034>

Kermani, S., Boutiba, M., Guendouz, M., Guettouche, M. S., & Khelfani, D. (2016).

Detection and analysis of shoreline changes using geospatial tools and automatic computation: Case of jijelian sandy coast (East Algeria). *Ocean & Coastal Management*, 132, 46-58.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.08.010>

Lund-Hansen, L. C., Petersson, M., & Nurjaya, W. (1999). Vertical sediment fluxes and wave-induced sediment resuspension in a shallow-water coastal lagoon. *Estuaries*, 22(1), 39-46. doi:10.2307/1352925

Maiti, S., & Bhattacharya, A. K. (2009). Shoreline change analysis and its application to prediction: A remote sensing and statistics based approach. *Marine Geology*, 257(1), 11-23. doi:<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.10.006>

Martínez, C., Contreras-López, M., Winckler, P., Hidalgo, H., Godoy, E., & Agredano, R. (2018). Coastal erosion in central Chile: A new hazard? *Ocean & Coastal Management*, 156, 141-155.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.07.011>

Mckee, B. A., Nittrouer, C. A., & DeMaster, D. J. (1983). Concepts of sediment deposition and accumulation applied to the continental shelf near the mouth of the Yangtze River. *GEOLOGY*, 11(11), 631-633.

McLachlan, A., Defeo, O., & Short, A. D. (2018). Characterising sandy beaches into major types and states: Implications for ecologists and managers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 215, 152-160. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.09.027>

Mohtar., W. H. M. W., Nawang., S. A. B., Maulud., K. N. A., Benson., Y. A., & Azhary., W. A. H. W. M. (2017). Textural characteristics and sedimentary environment of sediment at eroded and deposited regions in the severely eroded coastline of Batu Pahat, Malaysia. *Science of The Total Environment*, 598, 12.

Moore, L. J. (2000). Shoreline Mapping Techniques. *Journal of Coastal Research*, 16(1), 111-124.

- Mujabar, P. S., & Chandrasekar, N. (2013). Shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin of India using remote sensing and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(3), 647-664. doi:10.1007/s12517-011-0394-4
- Nairn, R. B., & Dibajnia, M. (2004). Design and Construction of a Large Headland System, Keta Sea Defence Project, West Africa. *Journal of Coastal Research*, 294-314.
- Namsai, M., Bidorn, B., Chanyotha, S., Mama, R., & Phanomphongphaisarn, N. (2020). Sediment dynamics and temporal variation of runoff in the Yom River, Thailand. *International Journal of Sediment Research*, 35(4), 365-376. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.03.002>
- Natesan, U., Parthasarathy, A., Vishnunath, R., Kumar, G. E. J., & Ferrer, V. A. (2015). Monitoring Longterm Shoreline Changes along Tamil Nadu, India Using Geospatial Techniques. *Aquatic Procedia*, 4, 325-332. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.044>
- Neelamani, S. (2018). Coastal erosion and accretion in Kuwait – Problems and management strategies. *Ocean & Coastal Management*, 156, 76-91. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.05.014>
- Nithu, R., Gurugnanam, B., Sudhakar, V., & Glitson Francis, P. (2019). Estuarine shoreline change analysis along The Ennore river mouth, south east coast of India, using digital shoreline analysis system. *Geodesy and Geodynamics*, 10(3), 205-212. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geog.2019.04.002>
- Nittrouer, C. A., Sternberg, R. W., Carpenter, R., & Bennett, J. T. (1979). The use of Pb-210 geochronology as a sedimentological tool: Application to the Washington continental shelf. *Marine Geology*, 31(3-4), 297-316. doi:[https://doi.org/10.1016/0025-3227\(79\)90039-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(79)90039-2)
- Penland, S., & Boyd, R. (1981). Shoreline Changes on the Louisiana Barrier Coast *IEEE*, 209-218. doi:CH1685-7/81/0000-020!
- Phanomphongphaisarn, N., Bidorn, B., & Sriariyawat, A. (2019). *Historical shoreline change of Thap Sakae coast, Prachuap Khiri Kan, Thailand* Paper presented at the THA 2019 International Conference on "Water Management and Climate Change towards Asia's Water-Energy-Food Nexus and SDGs", Bangkok, Thailand.

- Phanomphongphaisarn, N., Rukvichai, C., & Bidorn, B. (2020). Impact of longshore jetty construction on shoreline change on the Western Coast of the Gulf of Thailand. *Engineering Journal*, 24(4).
- Pollard, J. A., Spencer, T., Brooks, S. M., Christie, E. K., & Möller, I. (2020). Understanding spatio-temporal barrier dynamics through the use of multiple shoreline proxies. *Geomorphology*, 354, 107058.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107058>
- Rashedi., S. A., & Siad., A. (2016). Grain Size Analysis Depositional Environment For Beach Sediments Along Abu Dhabi Coast, United Arab Emirates. *Internatinal Journal of scientific & Technology research* 5.
- Roos, P., & Valeur, J. R. (2006). A sediment trap and radioisotope study to determine resuspension of particle reactive substances in the sound between Sweden and Denmark. *Continental Shelf Research*, 26(4), 474-487.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.csr.2006.01.001>
- Rosati, J. D. (2005). Concepts in Sediment Budgets. *Journal of Coastal Research*, 21(2), 307-322.
- Saleem, A., & Awange, J. L. (2019). Coastline shift analysis in data deficient regions: Exploiting the high spatio-temporal resolution Sentinel-2 products. *CATENA*, 179, 6-19. doi:<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.023>
- Scarfe, B. E., Elwany, M. H. S., Black, K. P., & Mead, S. T. (2003). Categorizing the Types of Surfing Breaks around Jetty Structures. *Jetties and Surfing Breaks*.
<https://escholarship.org/uc/item/09f405bq>
- Selvan, S. C., Kankara, R. S., Markose, V. J., Rajan, B., & Prabhu, K. (2016). Shoreline change and impacts of coastal protection structures on Puducherry, SE coast of India. *Natural Hazards*, 83(1), 293-308. doi:10.1007/s11069-016-2332-y
- Shibutani, Y., Kuroiwa, M., & Matsubara, Y. (2007). One-line Model for Predicting Shoreline Changes due to Beach Nourishments. *Journal of Coastal Research*, 511-515.
- Silvester, R. (1960). Stabilization of Sedimentary Coastlines. *AA (Department of Civil Engineering, University of Western Australia)*, 188(4749), 467-469.
doi:10.1038/188467a0

- Silvester, R. (1974). *Coastal Engineering 2-sediment, estuary, tides, effluents and modeling* (Vol. 48). Amsterdam New York: Elsevier Scientific
- Simsek, F. B., & Cagatay, M. N. (2014). Geochronology of lake sediments using ²¹⁰Pb with double energetic window method by LSC: An application to Lake Van,. *Applied Radiation and Isotopes*, 93, 126-133.
- Sorensen, R. M. (2006). *Basic Coastal Engineering* (3 ed.). NY: Springer.
- Srisuksawad, K., Porntepkasemsan, B., Nouchpramool, S., Yamkate, P., Carpenter, R. O. Y., Peterson, M. L., & Hamilton, T. (1997). Radionuclide activities, geochemistry, and accumulation rates of sediments in the Gulf of Thailand. *Continental Shelf Research*, 17(8), 925-965. doi:[https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(96\)00065-9](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(96)00065-9)
- Swarzenski, P. W. (2014). ²¹⁰Pb Dating *Encyclopedia of Scientific Dating Methods*.
- U.S. Army Corps of Engineering. (1984a). *Shore Protection Manual Volume I*. Mississippi: Department of the Army Waterys Experiment Station, Corps of Engineers
- U.S. Army Corps of Engineering. (1984b). *Shore Protection Manual Volume II* (4 Ed.). Mississippi: Department of the Army Waterys Experiment Station, Corps of Engineers
- U.S. Army Corps of Engineers. (1986). *Design of Breakwaters and Jetties* (EM 1110-2-2904).
- U.S. Army Corps of Engineers. (1989). *Report 1 Technical Reference* (CERC-89-19).
- U.S. Army Corps of Engineers. (1992). *Coastal groins and nearshore breakwaters* (EM 1110-2-1617). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- U.S. Army Corps of Engineers. (1993). *Engineering Design guidance for detached breakwaters as shoreline stabilization sturctures* (Technical Report CERC-93-19).
- U.S. Army Corps of Engineers. (2002a). *Estimation of Nearshore Waves* (EM 1110-2-1100).
- U.S. Army Corps of Engineers. (2002b). *Longshore sediment transport* (EM 1110-2-1100).
- U.S. Army Corps of Engineers. (2003). *Sediment Management at Inlets* (EM 1110-2-1100 (Part V)).
- U.S. Army Corps of Engineers. (2008a). *Navigation Projects* (EM 1110-2-1100).
- U.S. Army Corps of Engineers. (2008b). *Shore Protection Projects* (EM 1110-2-1100).
- U.S. Army Corps of Engineers. (2008c). *Site Characterization* (EM 1110-2-1100).
- U.S. Army Corps of Engineers. (2008d). *Water Wave Mechanics* (EM 1110-2-1100).
- U.S. Army Corps of Engineers. (2011a). *Fundamentals of Design* (EM 1110-2-1100).

- U.S. Army Corps of Engineers. (2011b). *Monitoring, Maintenance, and Repair of Coastal Projects* (EM 1110-2-1100).
- U.S. Army Corps of Engineers. (2011c). *Types and Functions of Coastal Structures* (EM 1110-2-1100).
- U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. (1960). The Unified soil classification system. In. Washington, D.C.
- U.S. Geological Survey. (1993). *Digital orthophotos*
- UN Environment. (2017). *Climate Change Adaptation Technologies for Water*.
- United Nations Environmental Programme (UNEP). (2006). *Marine and coastal ecosystems and human well-being : a synthesis report based on the findings of the Millennium Ecosystem Assessment*. Nairobi: United Nations Environment Programme
- Van Rijn, L. C. (2013). Design of hard coastal structures against erosion [Press release]. Retrieved from www.leovanrijn-sediment.com
- Veritech Enterprises. (2018). CEDAS Details. Retrieved from <http://www.veritechinc.com/products/cedas/cedas-details>
- Villars, M. T., & Delvigne, G. A. L. (2001). *Estuarine Processes*.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30, 377-392.
- Xiong, H., Zong, Y., Huang, G., & Fu, S. (2020). Human drivers accelerated the advance of Pearl River deltaic shoreline in the past 7500 years. *Quaternary Science Reviews*, 246, 106545. doi:<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106545>
- Zaborska, A., Carroll, J., Papucci, C., & Pempkowiak, J. (2007). Intercomparison of alpha and gamma spectrometry techniques used in ²¹⁰Pb geochronology. *Journal of Environmental Radioactivity*, 93(1), 38-50. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2006.11.007>
- Zhang, X., Pan, D., Chen, J., Zhao, J., Zhu, Q., & Huang, H. (2014). Evaluation of Coastline Changes under Human Intervention Using Multi-Temporal High-Resolution images: A Case Study of the Zhoushan Islands, China. *remote sensing* 6. doi:10.3390/rs6109930

Zhang, X., Yang, Z., Zhang, Y., Ji, Y., Wang, H., Lv, K., & Lu, Z. (2018). Spatial and temporal shoreline changes of the southern Yellow River (Huanghe) Delta in 1976–2016. *Marine Geology*, 395, 188-197.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2017.10.006>

ภาษาไทย

- กรมเจ้าท่า. (2533). รายงานฉบับสมบูรณ์ งานสำรวจและศึกษาความเหมาะสมในการก่อสร้างเขื่อนกันทรายสายบุรี จังหวัดปัตตานี
- กรมเจ้าท่า. (2534). รายงานฉบับสมบูรณ์ การศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐกิจ และวิศวกรรมเพื่อการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นร่องน้ำหลังสวน จังหวัดชุมพร
- กรมเจ้าท่า. (2539a). โครงการศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และสิ่งแวดล้อมเพื่อการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นที่ร่องน้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- กรมเจ้าท่า. (2539b). รายงานศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และสิ่งแวดล้อม และการออกแบบเบื้องต้นเพื่อแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน
- กรมเจ้าท่า. (2542). รายงานการศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐกิจ วิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม และสำรวจออกแบบเพื่อก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่น ที่ร่องน้ำอ่าวมะขามป้อม ตำบลกร่ำ อำเภอแกลง จังหวัดระยอง
- กรมเจ้าท่า. (2549). โครงการศึกษาสำรวจออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล บริเวณหาดนราทัศน์ อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส
- กรมเจ้าท่า. (2551). โครงการสำรวจและออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลบริเวณ หมู่ที่ 6 บ้านเนินน้ำหัก ตำบลปากพ่องฝั่งตะวันออก ถึง บ้านหน้าโกฏี ตำบลขนานนก อำเภอปากพ่อง จังหวัดนครศรีธรรมราช
- กรมเจ้าท่า. (2556). รายงานแผนการปฏิบัติงาน (*inception report*) โครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสำรวจออกแบบเพื่อก่อสร้างท่าเทียบเรือคลองหินดำ จังหวัดตราด
- กรมเจ้าท่า. (2558). โครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันกัดเซาะชายฝั่ง บริเวณต.ชิงโค ต.หัวเขา อ.สิงหนคร จ.สงขลา (บริเวณหาดทรายแก้ว)
- กรมเจ้าท่า. (2560). โครงการเขื่อนกันทรายและคลื่น และท่าเทียบเรือร่องน้ำบ้านกรูด อ.บางสะพาน จ.ประจวบคีรีขันธ์
- กรมชลประทาน. (2555). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยกับพื้นที่ลุ่มน้ำใน 25 ลุ่มน้ำหลัก (Hydro.sed&wq 25/2012).

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2548). ที่ดินชายทะเลและพื้นที่ชายฝั่งทะเล. กรุงเทพฯ: ส่วนจัดการที่ดินชายฝั่ง.
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2553). โครงการศึกษาวิจัยและสำรวจออกแบบรายละเอียดโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง บริเวณตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2554). รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง พื้นที่อุทยานสิ่งแวดล้อมนานาชาติสิรินธรเทศบาลเมืองชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี (ภายใต้โครงการศึกษาสำรวจ ติดตามประเมินผล และออกแบบ เพื่อป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง พื้นที่อุทยานสิ่งแวดล้อมนานาชาติสิรินธร)
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2557a). การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการบริหารจัดการพื้นที่ชายฝั่งทะเล (*Geo-information Technology for Coastal Zone Management*).
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2557b). สถานการณ์ชายฝั่งและการจัดการปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งจากอดีตถึงปัจจุบัน.
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2558). โครงการติดตามประเมินการเปลี่ยนแปลงแนวเขตการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่วิกฤต (พ.ศ.2558)
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2561). ข้อมูลทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2545). การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย. กองธรณีวิทยา: กรมทรัพยากรธรณี.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2549). โครงการสำรวจและศึกษาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยและทะเลอันดามัน (จังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และสงขลา)
- กรมทรัพยากรธรณี. (2551a). การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยา และทรัพยากรธรณี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2551b). การสำรวจและศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน (จังหวัดเพชรบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ ฉะเชิงเทรา และชลบุรี) (กธส. 10/2551).
- กรมทรัพยากรธรณี. (2555). การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามันและอ่าวไทย (*Analysis of Coastal Change in Andaman Sea and Gulf of Thailand*)
- กรมทรัพยากรธรณี. (2557). การติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งในพื้นที่วิกฤติการกัดเซาะชายฝั่งด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (สธส. 1/2557).

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2017). *Climatological data for the period 1998-2017 at Prachup Khirikhan station.*

บุศวรรณ โปธิทอง. (2542). เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันทักตะกอนกรณีชายฝั่งสมดุลง (ปริญญา มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

บุศวรรณ บิตร, Burnett, W. C., สุพิชชา จันทโรยธา, สุพิชชา จันทโรยธา, อนุรักษ ศรีอริยวัฒน์, คมกริช บิตร, Sok, K., เมธาฤทธิ์ แนมสัย, ณัฐมน พนมพวงศ์ไพศาล, & วริทธิ์ จงฤกษ์ถวิล. (2562). การ สํารวจสภาพชายฝั่งและการหาอายุจากธาตุกัมมันตรังสีเพื่อศึกษาการทับถมของตะกอนแม่น้ำ บริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน (ปีที่ 1 ชายฝั่งดินดอนสามเหลี่ยมเจ้าพระยา)

สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (สสนก.). (2555). *ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์.*

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. (2546). *โครงการศึกษาแผนแม่บทการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะ ชายฝั่งทะเล ตั้งแต่ปากแม่น้ำเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ถึงปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ (RD12-05-46/V-1).*

สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร. (2550). *โครงการป้องกันและแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลบาง ขุนเทียน กรุงเทพมหานคร*



ภาคผนวก ก.

ผลการสำรวจพื้นที่ศึกษา บริเวณเขาตะเกียบถึงเขากะโหลก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พื้นที่ศึกษา: เขาตะเกียบ ถึง เขาเต่า (Z1)



รูป ก.1 เชือกั้นทรายและคลื่น ที่ร่องน้ำเขา
ตะเกียบและสภาพชายฝั่ง (transect 1) (4 ม.ค 62)



รูป ก.2 ชายฝั่งบริเวณสวนสนประดิพันธ์
(transect 41) (4 ม.ค 2562)



รูป ก.3 ชายฝั่งบริเวณสวนสนประดิพันธ์ (transect 18) (4 ม.ค 2562)



รูป ก.4 ชายฝั่งบริเวณข้างร่องน้ำเขาเต่า
(7 มิ.ย. 61)



รูป ก.5 ลักษณะตะกอนในร่องน้ำ
(7 มิ.ย. 61)



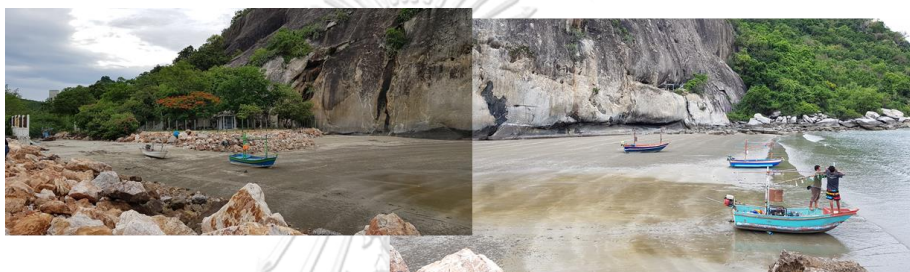
รูป ก.6 ร่องน้ำของเขื่อนเขาเต่า (transect 73-74) (7 มิ.ย. 61)

พื้นที่ศึกษา: เขาเต่า (Z2)



รูป ก.7 Pocket beach บริเวณเขาเต่า (22 ก.ย 61)

พื้นที่ศึกษา: เขาเต่า ถึง ปากน้ำปราณบุรี (Z3)



รูป ก.8 ลักษณะร่องน้ำบริเวณชายฝั่งเขาเต่า (transect 94) (6 มิ.ย. 61)



รูป ก.9 เชื้อนหินทิ้งบริเวณชายฝั่ง
(transect 98-100) (6 มิ.ย. 61)



รูป ก.10 กำแพงกันคลื่น
(transect 101-104) (6 มิ.ย. 61)



รูป ก.11 ชายฝั่งกัดเซาะบริเวณ transect 111 (2 ม.ค 62)



รูป ก.12 ลักษณะ tombolo หลังเชื่อมกันคลื่น
ในช่วงน้ำลง (6 มิ.ย. 61)

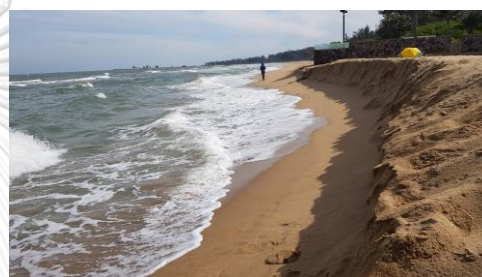


รูป ก.13 เชื่อมกันคลื่นที่ชายฝั่งด้านเหนือ
(6 มิ.ย. 61)

พื้นที่ศึกษา: ปากน้ำปราณบุรี ถึง เขากะโหลก (Z4)



รูป ก.14 ชายฝั่งสะสมตัวด้านหน้าเชื่อมกันคลื่น
(Z4) (transect 131) (6 มิ.ย. 61)



รูป ก.15 สภาพชายฝั่งในช่วงเดือนมกราคม
(transect 134) (2 ม.ค 62)



รูป ก.16 สภาพชายฝั่งบริเวณบ้านปากน้ำปราณบุรี (transect 137-140) (2 ม.ค 62)



รูป ก.17 กำแพงกันคลื่นที่แหลมเกต transect
173 (7 มิ.ย 61)



รูป ก.18 กำแพงกันคลื่นที่แหลมเกต transect
173 (2 ม.ค 62)



รูป ก.19 เชื้อหินทิ้งบริเวณ transect 176
(7 มิ.ย 61)



รูป ก.20 โครงสร้างรักษาเสถียรภาพชายฝั่ง
บริเวณ transect 187 (7 มิ.ย 61)





ภาคผนวก ข.

สถิติข้อมูลอุดมศึกษา อุทกศาสตร์ และสมุทรศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข.1 สถิติข้อมูลลมจากสถานีตรวจอากาศหัวหิน

ตาราง ข.1 ร้อยละการเกิดลมในแผ่นดิน ในทิศทางต่าง ๆ ระหว่างปี 2524-2535

Wind speed (knots)	Wind direction from Hua Hin sta. during 1981-1992																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1-5.0	3.94	2.25	2.97	1.67	6.13	1.51	2.77	1.65	6.82	6.16	8.71	5.19	10.13	3.65	3.08	1.83	68.45
5.0-10.0	2.45	2.04	1.79	0.58	1.88	1.62	4.06	2.72	2.13	1.35	2.60	2.12	2.12	0.55	0.32	0.41	28.75
10.0-15.0	0.16	0.24	0.17	0.03	0.03	0.06	0.58	0.65	0.20	0.03	0.12	0.14	0.18	0.06	0.05	0.02	2.72
15.0-20.0	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0.05
20.0-25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0-30.0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
30.0-35.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0-40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>40	0	0.004	0.004	0.004	0	0	0.004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
Total	6.55	4.55	4.95	2.29	8.04	3.19	7.42	5.03	9.15	7.54	11.43	7.46	12.44	4.26	3.46	2.26	100

ตาราง ข.2 ร้อยละการเกิดลมในแผ่นดิน ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างปี 2524-2535

Wind speed (knots)	Wind direction from Hua Hin sta. during Northeast monsoon in 1981-1992																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1-5.0	10.63	6.12	7.17	3.12	6.62	0.89	1.33	0.67	1.76	1.42	1.85	1.47	11.65	6.61	6.22	4.89	72.42
5.0-10.0	7.08	5.84	4.75	1.25	1.34	0.50	0.97	0.45	0.41	0.19	0.36	0.22	0.37	0.23	0.26	1.17	25.41
10.0-15.0	0.48	0.68	0.49	0.09	0.05	0.01	0	0.08	0	0.01	0	0.04	0.01	0.01	0.06	0.04	2.07
15.0-20.0	0	0.03	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05
20.0-25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0-30.0	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03
30.0-35.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0-40.0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
>40	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
Total	18.18	12.70	12.43	4.47	8.02	1.41	2.31	1.20	2.17	1.63	2.21	1.73	12.03	6.86	6.55	6.11	100

ตาราง ข.3 ร้อยละการเกิดลมในแผ่นดิน ช่วงมรสุมมรสุมเปลี่ยนแปลง ระหว่างปี 2524-2535

Wind speed (knots)	Wind direction from Hua Hin sta. during Transition monsoon in 1981-1992																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1-5.0	0.75	0.40	1.04	0.97	6.38	2.24	4.24	3.12	13.33	8.89	8.67	3.40	6.60	1.84	1.10	0.26	63.22
5.0-10.0	0.32	0.29	0.51	0.32	2.59	3.14	8.30	6.11	4.90	2.46	1.86	0.69	0.89	0.12	0.06	0.02	32.60
10.0-15.0	0.01	0.04	0.04	0.01	0.02	0.15	1.56	1.68	0.47	0.02	0.04	0.05	0.02	0.02	0	0	4.14
15.0-20.0	0	0	0.01	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
20.0-25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0-30.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30.0-35.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0-40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1.08	0.73	1.60	1.30	9.00	5.53	14.10	10.94	18.70	11.37	10.57	4.14	7.51	1.98	1.16	0.28	100

ตาราง ข.4 ร้อยละการเกิดลมในแผ่นดิน ช่วงมรสุมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ระหว่างปี 2524-2535

Wind speed (knots)	Wind direction from Hua Hin sta. during Southwest monsoon in 1981-1992																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1-5.0	0.52	0.25	0.72	0.92	5.33	1.35	2.64	1.02	4.93	8.07	15.91	11.03	12.45	2.56	1.98	0.35	70.05
5.0-10.0	0.03	0.04	0.13	0.15	1.67	1.08	2.61	1.37	0.87	1.35	5.73	5.64	5.30	1.35	0.68	0.04	28.05
10.0-15.0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.11	0.12	0.09	0.04	0.32	0.35	0.54	0.13	0.09	0.03	1.85
15.0-20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.01	0	0	0	0.05
20.0-25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0-30.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30.0-35.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0-40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0.55	0.29	0.86	1.07	7.02	2.45	5.36	2.50	5.89	9.47	21.97	17.05	18.30	4.04	2.76	0.42	100

ตาราง ข.5 ร้อยละการเกิดลมในแผ่นดิน ในทิศทางต่าง ๆ ระหว่างปี 2540-2543

Wind speed (knots)	Wind direction from Hua Hin sta. during 1997-2000																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1-5.0	2.93	8.62	6.36	4.12	8.54	7.29	4.79	5.13	5.75	3.94	3.30	6.23	8.83	2.71	0.85	2.00	81.38
5.0-10.0	0.40	3.30	1.76	0.48	1.28	2.34	2.15	2.29	0.82	0.32	0.24	0.96	1.70	0.24	0.05	0.19	18.52
10.0-15.0	0	0	0.05	0.03	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11
15.0-20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0-25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0-30.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30.0-35.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0-40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	3.33	11.92	8.17	4.63	9.82	9.63	6.94	7.45	6.57	4.26	3.54	7.18	10.53	2.95	0.90	2.18	100

ตาราง ข.6 ร้อยละการเกิดลมในแผ่นดิน ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างปี 2540-2543

Wind speed (knots)	Wind direction from Hua Hin sta. during Northeast monsoon in 1997-2000																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1-5.0	7.53	20.66	14.42	7.46	6.17	4.16	2.22	1.65	1.65	0.86	0.22	1.58	4.66	2.80	1.22	5.02	82.28
5.0-10.0	1.08	7.89	4.30	1.15	0.43	0.50	0.43	0.79	0.22	0.07	0.07	0.07	0.14	0	0	0.36	17.50
10.0-15.0	0	0	0.14	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.22
15.0-20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0-25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0-30.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30.0-35.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0-40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	8.61	28.55	18.87	8.68	6.60	4.66	2.65	2.44	1.87	0.93	0.29	1.65	4.81	2.80	1.22	5.38	100

ตาราง ข.7 ร้อยละการเกิดลมในแผ่นดิน ช่วงมรสุมมรสุมเปลี่ยนแปลง ระหว่างปี 2540-2543

Wind speed (knots)	Wind direction from Hua Hin sta. during Transition monsoon in 1997-2000																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1-5.0	0.26	2.22	2.05	1.45	9.92	10.09	8.21	10.01	10.61	3.93	3.51	4.11	7.19	1.80	0.68	0.34	76.39
5.0-10.0	0.00	0.94	0.34	0.09	2	4.96	5.13	5.30	1.80	0.34	0.26	0.86	1.11	0.17	0.17	0.17	23.52
10.0-15.0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09
15.0-20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0-25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0-30.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30.0-35.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0-40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0.26	3.17	2.40	1.54	11.80	15.06	13.34	15.40	12.40	4.28	3.76	4.96	8.30	1.97	0.86	0.51	100

ตาราง ข.8 ร้อยละการเกิดลมในแผ่นดิน ช่วงมรสุมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ระหว่างปี 2540-2543

Wind speed (knots)	Wind direction from Hua Hin sta. during Southwest monsoon in 1997-2000																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1-5.0	0.17	0.84	1.17	2.84	9.95	8.19	4.43	4.43	5.77	7.53	6.69	13.71	15.30	3.51	0.59	0.08	85.20
5.0-10.0	0	0.25	0.17	0.08	1.67	1.92	1.25	1.09	0.59	0.59	0.42	2.09	4.10	0.59	0	0	14.80
10.0-15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.0-20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0-25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0-30.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30.0-35.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0-40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0.17	1.09	1.34	2.93	11.62	10.12	5.69	5.52	6.35	8.11	7.11	15.80	19.40	4.10	0.59	0.08	100

ข.2 สถิติข้อมูลลมจากทุ่นสมุทรศาสตร์หัวหิน

ตาราง ข.9 ร้อยละการเกิดลมในทะเล ในทิศทางต่าง ๆ ระหว่างปี 2540-2543

Wind speed (knots)	Wind direction from Hua Hin buoy during in 1997-2000																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1-5.0	1.28	1.39	1.07	1.07	0.80	0.91	1.44	1.92	1.55	1.28	2.03	2.24	1.55	1.33	1.01	0.96	21.82
5.0-10.0	1.12	0.32	0.59	0.27	0.05	0.85	2.03	3.79	4.22	3.26	3.84	5.28	3.58	1.12	0.96	1.71	32.98
10.0-15.0	1.39	0.59	0.37	0.16	0	0.37	1.44	4.54	6.67	3.90	3.58	4.22	1.76	0.32	0.48	1.23	31.00
15.0-20.0	0.32	0.32	0.32	0.00	0	0.05	0.27	0.96	1.17	0.48	0.48	1.60	0.48	0.27	0.16	0.43	7.31
20.0-25.0	0	0.05	0.05	0.05	0	0.11	0.11	0.11	0.05	0.27	0.43	0.80	0.37	0.11	0.05	0.27	2.83
25.0-30.0	0.05	0.00	0	0	0	0.05	0	0.11	0.27	0.21	0.27	0.32	0.32	0.21	0	0.05	1.87
30.0-35.0	0.05	0.05	0	0	0	0	0.16	0.11	0.05	0.16	0.27	0.27	0.16	0	0	0	1.28
35.0-40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.00	0.16	0.32	0	0	0	0	0.53
>40	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.11	0.05	0.16	0	0	0	0	0.37
Total	4.22	2.72	2.40	1.55	0.85	2.35	5.44	11.53	14.09	9.66	11.10	15.21	8.22	3.36	2.67	4.64	100

ตาราง ข.10 ร้อยละการเกิดลมในทะเล ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างปี 2540-2543

Wind speed (knots)	Wind direction from Hua Hin buoy during Northeast monsoon in 1997-2000																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1-5.0	4.08	4.08	1.70	2.04	0.68	1.02	1.02	2.38	0.68	1.36	3.06	2.38	4.08	3.74	2.38	2.72	37.41
5.0-10.0	2.72	1.36	2.38	1.02	0	0.68	0.68	0.68	1.36	3.06	1.02	2.04	2.38	1.02	2.38	4.76	27.55
10.0-15.0	7.48	2.38	1.70	0.68	0	1.02	0.00	0.34	0.68	0.68	0.00	1.02	1.02	0	1.02	4.76	22.79
15.0-20.0	1.70	2.04	2.04	0	0	0.0	0	0.34	0	0	0	0.34	0.34	0	0.68	2.04	9.52
20.0-25.0	0	0.34	0.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.36	2.04
25.0-30.0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.34	0.34
30.0-35.0	0	0.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.34
35.0-40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	15.99	10.54	8.16	3.74	0.68	2.72	1.70	3.74	2.72	5.10	4.08	5.78	7.82	4.76	6.46	15.99	100

ตาราง ข.11 ร้อยละการเกิดลมในทะเล ช่วงมรสุมมรสุมเปลี่ยนแปลง ระหว่างปี 2540-2543

Wind speed (knots)	Wind direction from Hua Hin buoy during Transition monsoon in 1997-2000																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1-5.0	0.65	1.14	0.98	0.98	1.14	0.82	1.14	2.28	2.45	0.98	1.96	2.12	1.14	0.65	0.33	0.98	19.74
5.0-10.0	1.47	0.16	0.16	0.00	0	1.14	1.31	6.69	7.67	4.57	4.89	3.92	2.28	0.33	0.33	0.98	35.89
10.0-15.0	0.49	0.49	0	0.16	0	0	2.45	9.30	15.01	8.16	1.47	1.31	1.31	0.16	0	0.49	40.78
15.0-20.0	0	0	0	0	0	0	0	1.14	1.31	0	0.16	0.33	0.16	0	0	0.16	3.26
20.0-25.0	0	0	0	0	0	0.16	0	0	0	0	0	0.16	0	0	0	0	0.33
25.0-30.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30.0-35.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0-40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2.61	1.79	1.14	1.14	1.14	2.12	4.89	19.41	26.43	13.70	8.48	7.83	4.89	1.14	0.65	2.61	100

ตาราง ข.12 ร้อยละการเกิดลมในทะเล ช่วงมรสุมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ระหว่างปี 2540-2543

Wind speed (knots)	Wind direction from Hua Hin buoy during Southwest monsoon in 1997-2000																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1-5.0	0.82	0.61	0.92	0.82	0.61	0.92	1.73	1.53	1.22	1.43	1.73	2.24	1.02	1.12	1.02	0.41	18.14
5.0-10.0	0.41	0.20	0.31	0.20	0.20	0.71	2.85	2.85	2.85	2.45	3.98	7.03	4.69	1.63	0.92	1.02	32.31
10.0-15.0	0.10	0.10	0.31	0.10	0	0.41	1.22	2.75	3.16	2.14	5.91	6.93	2.24	0.51	0.61	0.61	27.12
15.0-20.0	0.20	0	0	0	0	0.10	0.51	1.02	1.43	0.92	0.82	2.75	0.71	0.51	0.10	0.10	9.17
20.0-25.0	0.00	0	0	0.10	0	0.20	0.20	0.20	0.10	0.51	0.82	1.43	0.71	0.20	0.10	0.20	4.79
25.0-30.0	0.10	0	0	0	0	0.10	0.00	0.20	0.51	0.41	0.51	0.61	0.61	0.41	0.10	0	3.57
30.0-35.0	0.10	0	0	0	0	0	0.31	0.20	0.10	0.31	0.51	0.51	0.31	0	0	0	2.34
35.0-40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.10	0.00	0.31	0.61	0	0	0	0	1.02
>40	0	0	0	0	0	0	0.10	0.10	0.20	0.31	0.20	0.41	0.10	0.10	0	0	1.53
Total	1.73	0.92	1.53	1.22	0.82	2.45	6.93	8.87	9.68	8.46	14.78	22.53	10.40	4.49	2.85	2.34	100

ข.3 สถิติข้อมูลคลื่นจากทุ่นสมุทรศาสตร์

ข้อมูลสถิติคลื่นจากทุ่นสมุทรศาสตร์หัวหินระหว่างปี 2540-2543 (ค.ศ. 1977-2000) สามารถสรุปลักษณะความสูงคลื่นและคาบเวลาคคลื่นที่พบในช่วงมรสุมต่าง ๆ ได้ดังตาราง ข-13 ปี 2540 (ค.ศ. 1977) มีข้อมูลคลื่นที่ตรวจวัดได้มากที่สุด (43%) ถัดมาคือปี 2541 (ค.ศ.1998) ตรวจวัดได้ 38% และในปี 2542 และ 2543 (ค.ศ. 1999 และ ค.ศ 2000) ตรวจวัดได้ไม่เกิน 20% ในช่วงฤดูมรสุมต่าง ๆ ข้อมูลคลื่นในปี 2540 (ค.ศ. 1977) มีความสูงคลื่นมากกว่าข้อมูลในปีอื่น ๆ ที่ช่วงเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ตามพบว่ามีค่าเฉลี่ยความสูงคลื่นที่ใกล้เคียงกัน รายละเอียดข้อมูลคลื่นนำเข้าแบบจำลองแสดงดังตาราง ข.14 และผังทิศทางการคลื่นที่ใช้ในการศึกษาแสดงในรูป ข.1

ตาราง ข.13 สรุปข้อมูลคลื่นตรวจวัดในแต่ละฤดูมรสุมระหว่างปี 2540-2543 (ค.ศ. 1997-2000)

Data	Wave height (m)				Wave Period (s)				
	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000	
Annual	Number of data	943 (64.59)	844 (57.81)	406 (27.81)	188 (12.88)	943 (64.59)	844 (57.81)	406 (27.81)	188 (12.88)
	Max	4.06	2.34	1.25	1.09	6.25	5.00	4.69	6.25
	Mean	0.51	0.53	0.54	0.47	3.39	3.31	3.34	3.55
	Min	0.16	0.00	0.10	0.16	2.50	2.50	2.34	2.50
	SD	0.35	0.36	0.28	0.29	1.68	1.67	1.51	1.88
NE	Number of data	290 (58.94)	352 (71.54)	86 (17.48)	26 (5.28)	290 (58.94)	352 (71.54)	86 (17.48)	26 (5.28)
	Max	4.06	2.34	1.25	0.39	6.25	5	4.38	5.62
	Mean	0.54	0.62	0.63	0.31	3.47	3.41	3.35	3.89
	Min	0.16	0.00	0.10	0.20	2.50	2.50	2.66	2.66
	SD	0.45	0.45	0.27	0.13	1.77	1.61	1.28	1.64
T	Number of data	387 (80.63)	98 (20.42)	0	162 (33.75)	387 (80.63)	98 (20.42)	0	162 (33.75)
	Max	1.25	0.94	-	1.09	5.31	4.69	-	6.25
	Mean	0.54	0.58	-	0.49	3.41	3.30	-	3.49
	Min	0.16	0.31	-	0.16	2.50	2.50	-	2.50
	SD	0.27	0.24	-	0.30	1.43	1.34	-	1.72
SW	Number of data	266 (54.51)	394 (80.74)	320 (65.57)	0	266 (54.51)	394 (80.74)	320 (65.57)	0
	Max	1.1	1.1	1.3	-	5.3	4.7	4.7	-
	Mean	0.4	0.4	0.5	-	3.3	3.2	3.3	-
	Min	0.2	0.2	0.1	-	2.5	2.5	2.3	-
	SD	0.3	0.2	0.3	-	1.7	1.3	1.6	-

Remark: NE = Northeast monsoon, T = Transitional monsoon, SW = Southwest monsoon

ตาราง ข.14 ข้อมูลคลื่นสำรวจ 1 ปีที่นำเข้าแบบจำลอง GENESIS

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970101	0	0.31	2.81	326.25
19970101	600	0.78	3.44	348.75
19970101	1200	0.94	3.44	19.69
19970101	1800	0.62	3.12	348.75
19970102	0	0.31	2.81	334.69
19970102	600	0.47	3.12	331.88
19970102	1200	0.78	3.12	357.19
19970102	1800	0.62	3.12	16.88
19970103	0	0.31	3.12	340.31
19970103	600	0.31	2.81	30.94
19970103	1200	0.78	3.12	14.06
19970103	1800	0.78	3.75	16.88
19970104	0	0.47	2.81	354.38
19970104	600	0.62	3.44	315
19970104	1200	0.78	3.12	28.12
19970104	1800	0.62	3.12	345.94
19970105	0	0.31	2.81	348.75
19970105	600	0.31	3.12	348.75
19970105	1200	0.62	3.12	351.56
19970105	1800	0.62	3.44	33.75
19970106	0	0.31	3.12	8.44
19970106	600	0.31	3.12	33.75
19970106	1200	0.47	2.81	42.19
19970106	1800	0.62	3.44	22.5
19970107	0	0.62	3.12	53.44
19970107	600	1.09	4.06	67.5
19970107	1200	1.09	3.75	30.94
19970107	1800	0.94	3.44	28.12
19970108	0	0.47	3.12	337.5
19970108	600	0.62	3.12	334.69
19970108	1200	1.09	3.75	357.19
19970108	1800	0.78	3.44	33.75
19970109	0	0.31	3.12	345.94
19970109	600	0.31	2.81	323.44
19970109	1200	0.62	3.12	8.44
19970109	1800	0.47	3.12	205.31
19970110	0	0.31	2.81	247.5
19970110	600	0.31	3.44	11.25
19970110	1200	0.47	3.12	348.75
19970110	1800	0.47	3.44	11.25
19970111	0	0.47	3.75	244.69
19970111	600	0.31	4.38	337.5
19970111	1200	0.62	3.12	11.25
19970111	1800	0.62	3.44	22.5
19970112	0	0.31	3.75	255.94
19970112	600	0.31	3.12	59.06
19970112	1200	0.78	3.44	14.06
19970112	1800	1.09	3.75	36.56
19970113	0	1.25	4.06	14.06
19970113	600	1.25	3.75	8.44
19970113	1200	1.25	4.06	2.81
19970113	1800	0.94	3.75	351.56
19970114	0	0.94	3.44	340.31
19970114	600	0.94	3.75	106.88
19970114	1200	1.09	3.75	354.38
19970114	1800	0.94	3.44	354.38
19970115	0	0.47	3.44	334.69
19970115	600	0.62	3.75	5.62
19970115	1200	0.94	3.75	11.25
19970115	1800	0.62	3.75	348.75

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970116	0	0.47	4.38	8.44
19970116	600	0.47	3.75	45
19970116	1200	0.94	3.75	11.25
19970116	1800	1.09	3.75	343.12
19970117	0	0.62	3.12	8.44
19970117	600	0.78	3.75	16.88
19970117	1200	1.09	3.75	2.81
19970117	1800	0.78	3.75	348.75
19970118	0	0.31	3.75	345.94
19970118	600	0.62	3.44	149.06
19970118	1200	0.31	3.75	351.56
19970118	1800	0.47	3.12	61.88
19970119	0	0.78	3.75	8.44
19970119	600	0.62	3.75	16.88
19970119	1200	0.31	3.75	261.56
19970119	1800	0.31	3.12	329.06
19970120	0	0.47	3.12	36.56
19970120	600	0.62	3.75	16.88
19970120	1200	0.31	3.75	261.56
19970120	1800	0.31	3.12	329.06
19970121	0	0.47	3.12	36.56
19970121	600	0.62	3.75	16.88
19970121	1200	0.31	3.75	261.56
19970121	1800	0.31	3.12	329.06
19970122	0	0.47	3.12	36.56
19970122	600	0.62	3.75	16.88
19970122	1200	0.31	3.75	261.56
19970122	1800	0.31	3.12	329.06
19970123	0	0.47	3.12	36.56
19970123	600	0.62	3.75	16.88
19970123	1200	0.31	3.75	261.56
19970123	1800	0.31	3.12	329.06
19970124	0	0.47	3.12	36.56
19970124	600	0.62	3.75	16.88
19970124	1200	0.31	3.75	261.56
19970124	1800	0.31	3.12	329.06
19970125	0	0.47	3.12	36.56
19970125	600	0.62	3.75	16.88
19970125	1200	0.31	3.75	261.56
19970125	1800	0.31	3.12	329.06
19970126	0	0.47	3.12	36.56
19970126	600	0.62	3.75	16.88
19970126	1200	0.31	3.75	261.56
19970126	1800	0.31	3.12	329.06
19970127	0	0.47	3.12	36.56
19970127	600	0.62	3.75	16.88
19970127	1200	0.31	3.75	261.56
19970127	1800	0.31	3.12	329.06
19970128	0	0.47	3.12	36.56
19970128	600	0.62	3.75	16.88
19970128	1200	0.31	3.75	261.56
19970128	1800	0.31	3.12	329.06
19970129	0	0.47	3.12	36.56
19970129	600	0.62	3.75	16.88
19970129	1200	0.31	3.75	261.56
19970129	1800	0.31	3.12	329.06
19970130	0	0.47	3.12	36.56
19970130	600	0.62	3.75	16.88
19970130	1200	0.31	3.75	261.56
19970130	1800	0.31	3.12	329.06

ตาราง ข.14 (ต่อ) ข้อมูลคลื่นสำรวจ 1 ปีที่นำเข้าแบบจำลอง GENESIS

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970131	0	0.47	3.12	36.56
19970131	600	0.62	3.75	16.88
19970131	1200	0.31	3.75	261.56
19970131	1800	0.31	3.12	329.06
19970201	0	0.47	3.12	36.56
19970201	600	0.62	3.75	16.88
19970201	1200	0.31	3.75	261.56
19970201	1800	0.31	3.12	329.06
19970202	0	0.47	3.12	36.56
19970202	600	0.62	3.75	16.88
19970202	1200	0.31	3.75	261.56
19970202	1800	0.31	3.12	329.06
19970203	0	0.47	3.12	36.56
19970203	600	0.62	3.75	16.88
19970203	1200	0.31	3.75	261.56
19970203	1800	0.31	3.12	329.06
19970204	0	0.47	3.12	36.56
19970204	600	0.62	3.75	16.88
19970204	1200	0.31	3.75	261.56
19970204	1800	0.31	3.12	329.06
19970205	0	0.47	3.12	36.56
19970205	600	0.62	3.75	16.88
19970205	1200	0.31	3.75	261.56
19970205	1800	0.31	3.12	329.06
19970206	0	0.47	3.12	36.56
19970206	600	0.62	3.75	16.88
19970206	1200	0.31	3.75	261.56
19970206	1800	0.31	3.12	329.06
19970207	0	0.47	3.12	36.56
19970207	600	0.62	3.75	16.88
19970207	1200	0.31	3.75	261.56
19970207	1800	0.31	3.12	329.06
19970208	0	0.47	3.12	36.56
19970208	600	0.62	3.75	16.88
19970208	1200	0.31	3.75	261.56
19970208	1800	0.31	3.12	329.06
19970209	0	0.47	3.12	36.56
19970209	600	0.62	3.75	16.88
19970209	1200	0.31	3.75	261.56
19970209	1800	0.31	3.12	329.06
19970210	0	0.47	3.12	36.56
19970210	600	0.62	3.75	16.88
19970210	1200	0.31	3.75	261.56
19970210	1800	0.31	3.12	329.06
19970211	0	0.47	3.12	36.56
19970211	600	0.62	3.75	16.88
19970211	1200	0.31	3.75	261.56
19970211	1800	0.31	3.12	329.06
19970212	0	0.47	3.12	36.56
19970212	600	0.62	3.75	16.88
19970212	1200	0.31	3.75	261.56
19970212	1800	0.31	3.12	329.06
19970213	0	0.47	3.12	36.56
19970213	600	0.62	3.75	16.88
19970213	1200	0.31	3.75	261.56
19970213	1800	0.31	3.12	329.06
19970214	0	0.16	2.5	199.69
19970214	600	0.31	2.81	180
19970214	1200	0.16	3.12	165.94
19970214	1800	0.16	2.81	154.69
19970215	0	0.16	2.5	199.69
19970215	600	0.31	2.81	180
19970215	1200	0.16	3.12	168.75
19970215	1800	0.31	2.81	174.38
19970216	0	0.31	2.81	180
19970216	600	0.31	3.44	278.44
19970216	1200	0.62	5	11.25
19970216	1800	0.62	4.69	168.75
19970217	0	0.78	4.69	258.75
19970217	600	0.94	5	210.94
19970217	1200	0.94	5.31	351.56
19970217	1800	0.78	5.31	160.31
19970218	0	0.78	4.06	199.69
19970218	600	0.78	4.38	196.88
19970218	1200	0.62	4.69	208.12
19970218	1800	0.62	4.38	120.94
19970219	0	0.94	4.69	225
19970219	600	0.78	4.69	168.75
19970219	1200	0.31	3.12	154.69
19970219	1800	0.31	2.5	163.12
19970220	0	0.62	3.12	202.5
19970220	600	0.62	3.44	222.19
19970220	1200	0.31	3.44	154.69
19970220	1800	0.47	2.81	160.31
19970221	0	0.62	2.81	194.06
19970221	600	0.62	3.12	205.31
19970221	1200	0.31	3.44	191.25
19970221	1800	0.47	3.12	165.94
19970222	0	0.47	2.81	185.62
19970222	600	0.62	3.12	205.31
19970222	1200	0.62	3.12	194.06
19970222	1800	0.47	3.12	129.38
19970223	0	0.62	3.12	185.62
19970223	600	0.47	3.12	168.75
19970223	1200	0.62	3.44	182.81
19970223	1800	0.47	3.12	149.06
19970224	0	0.47	3.44	213.75
19970224	600	0.31	3.44	261.56
19970224	1200	0.31	3.75	210.94
19970224	1800	0.31	4.06	163.12
19970225	0	0.47	3.75	146.25
19970225	600	0.62	3.44	191.25
19970225	1200	0.78	4.38	194.06
19970225	1800	0.62	4.38	160.31
19970226	0	0.62	3.75	230.62
19970226	600	0.62	3.75	216.56
19970226	1200	0.62	4.69	64.69
19970226	1800	0.47	4.38	163.12
19970227	0	0.47	3.75	219.38
19970227	600	0.62	4.06	267.19
19970227	1200	0.47	5	28.12
19970227	1800	0.47	4.38	126.56
19970228	0	0.47	3.75	213.75
19970228	600	0.62	3.12	255.94
19970228	1200	0.62	4.38	182.81
19970228	1800	0.62	4.38	182.81
19970301	0	0.62	3.12	210.94
19970301	600	0.62	3.12	196.88
19970301	1200	0.47	3.75	191.25
19970301	1800	0.62	3.12	177.19

ตาราง ข.14 (ต่อ) ข้อมูลคลื่นสำรวจ 1 ปีที่นำเข้าแบบจำลอง GENESIS

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970302	0	0.78	3.44	194.06
19970302	600	0.62	3.12	185.62
19970302	1200	0.47	3.44	182.81
19970302	1800	0.47	3.12	171.56
19970303	0	0.62	3.12	205.31
19970303	600	0.62	3.12	157.5
19970303	1200	0.47	3.44	53.44
19970303	1800	0.47	3.75	109.69
19970304	0	0.47	3.75	165.94
19970304	600	0.47	3.75	286.88
19970304	1200	0.62	4.69	343.12
19970304	1800	0.62	4.69	160.31
19970305	0	0.62	4.69	194.06
19970305	600	0.62	4.69	230.62
19970305	1200	0.62	5	185.62
19970305	1800	0.47	5	168.75
19970306	0	0.47	4.69	216.56
19970306	600	0.62	3.75	222.19
19970306	1200	0.31	3.75	30.94
19970306	1800	0.31	3.44	157.5
19970307	0	0.62	3.12	219.38
19970307	600	0.47	3.12	194.06
19970307	1200	0.47	3.12	205.31
19970307	1800	0.31	3.12	154.69
19970308	0	0.62	3.12	188.44
19970308	600	0.62	3.12	219.38
19970308	1200	0.62	3.44	182.81
19970308	1800	0.47	3.12	182.81
19970309	0	0.62	3.44	199.69
19970309	600	0.78	3.44	185.62
19970309	1200	0.62	4.06	160.31
19970309	1800	0.62	3.44	165.94
19970310	0	0.78	3.75	216.56
19970310	600	0.78	3.12	213.75
19970310	1200	0.62	4.06	171.56
19970310	1800	0.62	3.12	168.75
19970311	0	0.78	3.75	213.75
19970311	600	0.62	3.12	188.44
19970311	1200	0.62	3.44	168.75
19970311	1800	0.62	3.12	160.31
19970312	0	0.78	3.44	177.19
19970312	600	0.78	3.12	185.62
19970312	1200	0.78	3.75	182.81
19970312	1800	0.78	3.12	174.38
19970313	0	0.94	3.75	219.38
19970313	600	0.94	3.44	188.44
19970313	1200	0.78	3.75	174.38
19970313	1800	0.78	3.12	171.56
19970314	0	0.62	3.44	210.94
19970314	600	0.78	3.12	213.75
19970314	1200	0.47	3.44	168.75
19970314	1800	0.78	3.12	168.75
19970315	0	0.78	3.44	202.5
19970315	600	0.78	3.44	177.19
19970315	1200	0.62	3.44	168.75
19970315	1800	0.62	2.81	168.75
19970316	0	0.62	3.12	177.19
19970316	600	0.78	3.44	191.25
19970316	1200	0.47	3.12	171.56
19970316	1800	0.62	3.12	174.38

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970317	0	0.78	3.12	185.62
19970317	600	0.78	3.44	185.62
19970317	1200	0.62	3.12	171.56
19970317	1800	0.62	3.12	171.56
19970318	0	0.78	3.44	174.38
19970318	600	0.78	3.44	205.31
19970318	1200	0.47	3.12	188.44
19970318	1800	0.78	3.44	154.69
19970319	0	1.09	3.75	191.25
19970319	600	0.94	3.75	191.25
19970319	1200	0.62	3.44	180
19970319	1800	0.78	3.44	182.81
19970320	0	1.09	3.75	177.19
19970320	600	0.78	4.06	216.56
19970320	1200	0.62	3.75	185.62
19970320	1800	0.62	3.12	180
19970321	0	0.78	3.44	239.06
19970321	600	0.62	3.44	241.88
19970321	1200	0.47	3.44	75.94
19970321	1800	0.47	2.81	163.12
19970322	0	0.78	3.44	177.19
19970322	600	0.62	3.44	236.25
19970322	1200	0.47	3.75	95.62
19970322	1800	0.47	2.81	149.06
19970323	0	0.62	3.44	182.81
19970323	600	0.78	3.44	225
19970323	1200	0.47	3.75	118.12
19970323	1800	0.62	3.12	143.44
19970324	0	0.62	3.44	174.38
19970324	600	0.62	3.12	295.31
19970324	1200	0.31	3.75	33.75
19970324	1800	0.31	3.12	160.31
19970325	0	0.78	3.44	163.12
19970325	600	0.62	3.12	185.62
19970325	1200	0.47	3.44	182.81
19970325	1800	0.47	2.81	174.38
19970326	0	1.09	4.69	165.94
19970326	600	0.94	4.06	154.69
19970326	1200	0.78	4.69	146.25
19970326	1800	0.78	3.75	157.5
19970327	0	1.09	4.38	177.19
19970327	600	1.09	4.38	253.12
19970327	1200	0.78	5	129.38
19970327	1800	0.78	3.75	123.75
19970328	0	1.25	5	306.56
19970328	600	1.09	5	337.5
19970328	1200	0.78	4.38	11.25
19970328	1800	0.62	4.38	109.69
19970329	0	0.47	4.38	225
19970329	600	0.47	4.38	210.94
19970329	1200	0.47	5.31	64.69
19970329	1800	0.47	4.69	157.5
19970330	0	0.62	3.44	191.25
19970330	600	0.47	3.44	196.88
19970330	1200	0.47	4.38	168.75
19970330	1800	0.78	3.44	160.31
19970331	0	0.62	3.44	194.06
19970331	600	0.78	4.38	306.56
19970331	1200	0.78	4.06	14.06
19970331	1800	0.78	3.75	160.31

ตาราง ข.14 (ต่อ) ข้อมูลคลื่นสำรวจ 1 ปีที่นำเข้าแบบจำลอง GENESIS

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970401	0	0.47	4.06	222.19
19970401	600	0.62	5.31	303.75
19970401	1200	0.78	4.38	340.31
19970401	1800	0.62	5	180
19970402	0	0.62	3.75	270
19970402	600	0.62	4.38	205.31
19970402	1200	0.47	4.06	157.5
19970402	1800	0.62	3.75	182.81
19970403	0	0.62	3.12	185.62
19970403	600	0.62	3.44	191.25
19970403	1200	0.47	3.44	165.94
19970403	1800	0.47	3.12	177.19
19970404	0	0.62	2.81	194.06
19970404	600	0.62	3.12	188.44
19970404	1200	0.31	3.12	168.75
19970404	1800	0.47	2.81	171.56
19970405	0	0.62	3.12	182.81
19970405	600	0.62	3.12	185.62
19970405	1200	0.47	3.44	180
19970405	1800	0.62	3.12	168.75
19970406	0	0.62	3.12	191.25
19970406	600	0.47	3.12	261.56
19970406	1200	0.47	3.44	188.44
19970406	1800	0.47	2.81	140.62
19970407	0	0.62	3.12	202.5
19970407	600	0.62	3.12	202.5
19970407	1200	0.62	3.44	165.94
19970407	1800	0.78	3.12	191.25
19970408	0	0.78	3.44	182.81
19970408	600	0.62	3.12	267.19
19970408	1200	0.31	4.06	73.12
19970408	1800	0.31	3.44	225
19970409	0	0.47	3.12	258.75
19970409	600	0.16	3.44	244.69
19970409	1200	0.16	3.75	157.5
19970409	1800	0.31	2.5	199.69
19970410	0	0.62	3.44	202.5
19970410	600	0.62	3.75	250.31
19970410	1200	0.47	3.75	340.31
19970410	1800	0.31	3.44	154.69
19970411	0	0.47	3.12	188.44
19970411	600	0.47	3.12	196.88
19970411	1200	0.47	3.75	132.19
19970411	1800	0.47	2.81	196.88
19970412	0	0.47	3.12	233.44
19970412	600	0.31	3.12	264.38
19970412	1200	0.31	3.44	123.75
19970412	1800	0.62	3.12	180
19970413	0	0.62	3.12	160.31
19970413	600	0.47	3.44	261.56
19970413	1200	0.47	4.06	115.31
19970413	1800	0.31	3.75	157.5
19970414	0	0.62	3.12	219.38
19970414	600	0.47	3.44	255.94
19970414	1200	0.31	3.44	56.25
19970414	1800	0.31	2.81	157.5
19970415	0	0.47	2.81	219.38
19970415	600	0.31	2.81	278.44
19970415	1200	0.31	2.81	53.44
19970415	1800	0.31	2.5	163.12
19970416	0	0.47	2.5	253.12
19970416	600	0.31	2.81	272.81
19970416	1200	0.16	2.81	90
19970416	1800	0.16	2.81	157.5
19970417	0	0.47	2.81	227.81
19970417	600	0.47	2.81	241.88
19970417	1200	0.31	2.81	137.81
19970417	1800	0.31	2.5	163.12
19970418	0	0.62	3.12	230.62
19970418	600	0.47	3.12	250.31
19970418	1200	0.31	3.44	149.06
19970418	1800	0.47	2.81	168.75
19970419	0	0.78	3.44	177.19
19970419	600	0.62	3.44	244.69
19970419	1200	0.47	3.44	165.94
19970419	1800	0.47	2.81	157.5
19970420	0	0.62	3.12	244.69
19970420	600	0.47	3.12	208.12
19970420	1200	0.47	3.12	160.31
19970420	1800	0.47	2.81	174.38
19970421	0	0.62	3.44	188.44
19970421	600	0.47	3.12	233.44
19970421	1200	0.47	3.44	149.06
19970421	1800	0.31	2.81	154.69
19970422	0	0.47	3.12	208.12
19970422	600	0.62	2.81	185.62
19970422	1200	0.47	3.44	137.81
19970422	1800	0.47	2.81	163.12
19970423	0	0.47	3.12	230.62
19970423	600	0.31	2.81	286.88
19970423	1200	0.16	3.12	47.81
19970423	1800	0.31	2.81	163.12
19970424	0	0.31	3.44	45
19970424	600	0.78	3.44	331.88
19970424	1200	0.47	3.12	25.31
19970424	1800	0.31	2.81	137.81
19970425	0	0.16	2.81	191.25
19970425	600	0.16	3.44	233.44
19970425	1200	0.16	3.12	30.94
19970425	1800	0.62	3.44	11.25
19970426	0	0.94	3.75	306.56
19970426	600	0.62	3.12	348.75
19970426	1200	0.78	3.12	357.19
19970426	1800	0.47	3.44	67.5
19970427	0	0.31	3.44	182.81
19970427	600	0.31	3.75	326.25
19970427	1200	0.31	4.38	351.56
19970427	1800	0.31	3.75	33.75
19970428	0	0.16	4.06	185.62
19970428	600	0.16	2.81	267.19
19970428	1200	0.16	3.75	30.94
19970428	1800	0.16	3.75	163.12
19970429	0	0.31	3.44	185.62
19970429	600	0.31	2.81	244.69
19970429	1200	0.31	3.12	177.19
19970429	1800	0.31	3.44	165.94
19970430	0	0.47	3.12	182.81
19970430	600	0.47	3.12	227.81
19970430	1200	0.31	3.44	163.12
19970430	1800	0.47	2.81	185.62

ตาราง ข.14 (ต่อ) ข้อมูลคลื่นสำรวจ 1 ปีที่นำเข้าแบบจำลอง GENESIS

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970501	0	0.47	2.81	185.62
19970501	600	0.31	3.12	196.88
19970501	1200	0.31	2.81	157.5
19970501	1800	0.47	2.81	165.94
19970502	0	0.62	2.81	188.44
19970502	600	0.62	2.81	188.44
19970502	1200	0.31	3.12	151.88
19970502	1800	0.47	2.81	171.56
19970503	0	0.47	2.81	191.25
19970503	600	0.47	3.12	202.5
19970503	1200	0.47	2.81	163.12
19970503	1800	0.94	3.44	188.44
19970504	0	0.78	3.44	216.56
19970504	600	0.47	3.44	250.31
19970504	1200	0.31	3.12	115.31
19970504	1800	0.31	2.81	149.06
19970505	0	0.62	3.12	225
19970505	600	0.47	3.44	261.56
19970505	1200	0.31	3.44	87.19
19970505	1800	0.31	2.81	140.62
19970506	0	0.62	3.12	239.06
19970506	600	0.47	3.44	255.94
19970506	1200	0.31	3.44	90
19970506	1800	0.31	2.81	143.44
19970507	0	0.62	3.12	196.88
19970507	600	0.47	3.12	239.06
19970507	1200	0.31	3.44	5.62
19970507	1800	0.47	3.44	146.25
19970508	0	0.62	3.12	191.25
19970508	600	0.78	3.44	239.06
19970508	1200	0.62	4.06	120.94
19970508	1800	0.62	3.44	165.94
19970509	0	0.78	3.44	182.81
19970509	600	0.78	3.44	213.75
19970509	1200	0.47	4.06	165.94
19970509	1800	0.62	2.81	185.62
19970510	0	0.78	3.75	202.5
19970510	600	0.47	3.12	219.38
19970510	1200	0.31	3.75	143.44
19970510	1800	0.31	2.5	165.94
19970511	0	0.47	2.81	213.75
19970511	600	0.62	3.12	196.88
19970511	1200	0.47	3.12	165.94
19970511	1800	0.47	2.81	177.19
19970512	0	0.62	3.12	194.06
19970512	600	0.62	3.12	213.75
19970512	1200	0.47	3.44	146.25
19970512	1800	0.47	2.81	174.38
19970513	0	0.62	3.12	174.38
19970513	600	0.62	3.12	182.81
19970513	1200	0.47	3.12	149.06
19970513	1800	0.62	2.81	157.5
19970514	0	0.62	2.81	182.81
19970514	600	0.47	3.12	216.56
19970514	1200	0.31	3.12	135
19970514	1800	0.31	2.5	149.06
19970515	0	0.47	2.81	180
19970515	600	0.47	3.12	202.5
19970515	1200	0.31	3.44	157.5
19970515	1800	0.47	3.12	160.31

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970516	0	0.47	2.81	188.44
19970516	600	0.47	3.12	250.31
19970516	1200	0.47	3.12	174.38
19970516	1800	0.62	3.44	16.88
19970517	0	0.62	3.75	233.44
19970517	600	0.47	3.44	219.38
19970517	1200	0.47	3.44	157.5
19970517	1800	0.94	3.44	244.69
19970518	0	0.62	3.44	202.5
19970518	600	0.78	3.75	227.81
19970518	1200	0.78	3.75	163.12
19970518	1800	0.62	3.44	244.69
19970519	0	0.31	3.44	222.19
19970519	600	0.47	2.81	227.81
19970519	1200	0.62	3.75	180
19970519	1800	0.62	3.12	241.88
19970520	0	0.62	3.44	239.06
19970520	600	0.47	3.44	236.25
19970520	1200	0.47	3.44	250.31
19970520	1800	0.62	3.44	239.06
19970521	0	0.47	3.44	233.44
19970521	600	0.47	3.12	236.25
19970521	1200	0.47	3.12	267.19
19970521	1800	0.47	2.81	247.5
19970522	0	0.47	3.12	244.69
19970522	600	0.47	3.44	216.56
19970522	1200	0.31	3.44	56.25
19970522	1800	0.31	2.81	351.56
19970523	0	0.47	3.12	261.56
19970523	600	0.47	3.44	270
19970523	1200	0.47	3.44	289.69
19970523	1800	0.78	3.12	230.62
19970524	0	0.47	2.81	264.38
19970524	600	0.31	3.12	250.31
19970524	1200	0.31	3.44	286.88
19970524	1800	0.47	2.81	270
19970525	0	0.47	3.12	275.62
19970525	600	0.47	3.44	255.94
19970525	1200	0.31	3.75	244.69
19970525	1800	0.78	3.12	258.75
19970526	0	0.47	2.81	227.81
19970526	600	0.31	3.44	253.12
19970526	1200	0.47	3.12	272.81
19970526	1800	0.47	3.12	272.81
19970527	0	0.47	2.81	244.69
19970527	600	0.47	2.81	253.12
19970527	1200	0.31	3.44	348.75
19970527	1800	0.62	2.81	261.56
19970528	0	0.47	2.81	253.12
19970528	600	0.31	2.81	227.81
19970528	1200	0.31	3.12	244.69
19970528	1800	0.62	3.12	286.88
19970529	0	0.47	3.44	233.44
19970529	600	0.47	3.12	219.38
19970529	1200	0.47	3.75	115.31
19970529	1800	0.47	3.44	222.19
19970530	0	0.78	3.44	270
19970530	600	0.47	3.12	278.44
19970530	1200	0.62	4.06	98.44
19970530	1800	0.94	3.44	258.75

ตาราง ข.14 (ต่อ) ข้อมูลคลื่นสำรวจ 1 ปีที่นำเข้าแบบจำลอง GENESIS

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970531	0	0.94	4.06	230.62
19970531	600	0.62	4.06	208.12
19970531	1200	0.62	3.44	154.69
19970531	1800	0.62	3.44	267.19
19970601	0	0.78	3.44	264.38
19970601	600	0.62	3.75	261.56
19970601	1200	0.62	3.44	247.5
19970601	1800	0.62	4.06	244.69
19970602	0	0.62	3.12	225
19970602	600	0.47	3.12	261.56
19970602	1200	0.47	3.44	157.5
19970602	1800	0.47	3.44	258.75
19970603	0	0.47	3.75	227.81
19970603	600	0.47	3.75	213.75
19970603	1200	0.47	3.44	140.62
19970603	1800	0.47	3.44	236.25
19970604	0	0.62	3.44	244.69
19970604	600	0.31	3.12	258.75
19970604	1200	0.47	3.75	126.56
19970604	1800	0.47	3.12	315
19970605	0	0.47	3.44	255.94
19970605	600	0.47	3.44	236.25
19970605	1200	0.47	3.75	126.56
19970605	1800	0.78	3.44	275.62
19970606	0	0.47	3.12	261.56
19970606	600	0.47	3.12	250.31
19970606	1200	0.31	3.44	191.25
19970606	1800	0.47	3.44	253.12
19970607	0	0.47	3.75	239.06
19970607	600	0.47	3.12	241.88
19970607	1200	0.47	3.75	132.19
19970607	1800	0.31	3.12	135
19970608	0	0.62	3.44	255.94
19970608	600	0.47	3.12	264.38
19970608	1200	0.31	3.44	123.75
19970608	1800	0.47	2.81	165.94
19970609	0	0.78	3.75	255.94
19970609	600	0.47	3.12	236.25
19970609	1200	0.31	3.12	64.69
19970609	1800	0.31	2.5	160.31
19970610	0	0.47	3.12	295.31
19970610	600	0.31	3.44	253.12
19970610	1200	0.31	3.12	98.44
19970610	1800	0.47	2.5	151.88
19970611	0	0.78	3.44	264.38
19970611	600	0.47	3.12	258.75
19970611	1200	0.31	3.44	143.44
19970611	1800	0.47	2.5	151.88
19970612	0	0.78	3.44	264.38
19970612	600	0.47	3.12	258.75
19970612	1200	0.31	3.44	143.44
19970612	1800	0.47	2.81	143.44
19970613	0	0.62	3.12	191.25
19970613	600	0.47	3.12	258.75
19970613	1200	0.31	3.44	50.62
19970613	1800	0.31	3.12	135
19970614	0	0.47	2.5	194.06
19970614	600	0.47	3.12	244.69
19970614	1200	0.31	3.12	123.75
19970614	1800	0.31	2.5	165.94

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970615	0	0.47	2.81	219.38
19970615	600	0.47	3.44	213.75
19970615	1200	0.47	3.44	132.19
19970615	1800	0.62	3.12	160.31
19970616	0	0.62	3.12	185.62
19970616	600	0.47	3.75	284.06
19970616	1200	0.31	3.44	140.62
19970616	1800	0.47	2.81	182.81
19970617	0	0.78	3.44	244.69
19970617	600	0.47	3.75	258.75
19970617	1200	0.47	3.75	182.81
19970617	1800	0.31	2.81	146.25
19970618	0	0.62	3.12	244.69
19970618	600	0.47	3.44	267.19
19970618	1200	0.31	3.44	146.25
19970618	1800	0.47	2.81	171.56
19970619	0	0.78	3.75	267.19
19970619	600	0.47	3.44	298.12
19970619	1200	0.31	3.75	120.94
19970619	1800	0.47	2.5	165.94
19970620	0	0.47	3.12	253.12
19970620	600	0.31	3.12	244.69
19970620	1200	0.16	3.12	135
19970620	1800	0.47	2.81	129.38
19970621	0	0.47	3.44	258.75
19970621	600	0.31	3.44	300.94
19970621	1200	0.16	3.12	171.56
19970621	1800	0.47	2.5	163.12
19970622	0	0.62	3.44	253.12
19970622	600	0.47	3.44	261.56
19970622	1200	0.31	4.06	123.75
19970622	1800	0.78	3.44	292.5
19970623	0	0.47	3.75	250.31
19970623	600	0.47	3.44	250.31
19970623	1200	0.31	3.44	140.62
19970623	1800	0.78	3.12	250.31
19970624	0	0.62	3.44	255.94
19970624	600	0.47	3.12	250.31
19970624	1200	0.47	3.44	219.38
19970624	1800	0.62	3.12	261.56
19970625	0	0.62	3.44	255.94
19970625	600	0.47	3.12	208.12
19970625	1200	0.47	3.75	284.06
19970625	1800	0.78	3.75	241.88
19970626	0	0.62	3.12	241.88
19970626	600	0.47	3.44	185.62
19970626	1200	0.47	3.44	230.62
19970626	1800	0.78	3.44	219.38
19970627	0	0.78	3.75	230.62
19970627	600	0.62	4.06	233.44
19970627	1200	0.62	3.75	202.5
19970627	1800	0.78	3.75	216.56
19970628	0	0.62	3.75	208.12
19970628	600	0.62	3.75	267.19
19970628	1200	0.62	3.75	188.44
19970628	1800	1.09	3.75	225
19970629	0	0.78	3.75	216.56
19970629	600	0.78	4.06	222.19
19970629	1200	0.78	3.44	205.31
19970629	1800	0.78	3.44	261.56

ตาราง ข.14 (ต่อ) ข้อมูลคลื่นสำรวจ 1 ปีที่นำเข้าแบบจำลอง GENESIS

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)	Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970630	0	0.78	3.44	250.31	19970715	0	0.47	2.81	337.5
19970630	600	0.62	3.75	230.62	19970715	600	0.16	3.12	168.75
19970630	1200	0.94	4.06	241.88	19970715	1200	0.16	3.44	165.94
19970630	1800	0.62	3.44	233.44	19970715	1800	0.16	3.44	168.75
19970701	0	0.62	3.44	239.06	19970716	0	0.47	2.81	199.69
19970701	600	0.62	3.75	236.25	19970716	600	0.47	3.12	289.69
19970701	1200	0.47	3.12	182.81	19970716	1200	0.31	3.12	337.5
19970701	1800	0.62	3.12	247.5	19970716	1800	0.16	3.12	165.94
19970702	0	0.62	3.12	216.56	19970717	0	0.16	2.5	247.5
19970702	600	0.62	4.06	194.06	19970717	600	0.16	2.81	213.75
19970702	1200	0.62	3.44	253.12	19970717	1200	0.31	2.81	182.81
19970702	1800	0.62	3.75	253.12	19970717	1800	0.62	3.12	165.94
19970703	0	0.47	3.44	253.12	19970718	0	0.62	3.12	233.44
19970703	600	0.31	3.44	239.06	19970718	600	0.47	3.12	208.12
19970703	1200	0.31	3.12	182.81	19970718	1200	0.31	2.81	165.94
19970703	1800	0.47	2.81	174.38	19970718	1800	0.31	2.81	140.62
19970704	0	0.47	2.81	241.88	19970719	0	0.47	2.81	239.06
19970704	600	0.47	3.12	250.31	19970719	600	0.31	3.12	270
19970704	1200	0.31	3.12	151.88	19970719	1200	0.31	2.81	154.69
19970704	1800	0.31	2.81	151.88	19970719	1800	0.16	2.81	146.25
19970705	0	0.47	3.12	255.94	19970720	0	0.31	2.5	258.75
19970705	600	0.31	2.81	236.25	19970720	600	0.31	3.12	250.31
19970705	1200	0.31	3.12	151.88	19970720	1200	0.31	3.12	275.62
19970705	1800	0.62	2.81	357.19	19970720	1800	0.31	3.12	168.75
19970706	0	0.47	2.81	241.88	19970721	0	0.47	3.12	258.75
19970706	600	0.47	2.81	241.88	19970721	600	0.47	2.81	270
19970706	1200	0.31	3.12	168.75	19970721	1200	0.31	3.12	84.38
19970706	1800	0.47	3.12	323.44	19970721	1800	0.47	3.12	205.31
19970707	0	0.62	3.12	233.44	19970722	0	0.47	2.81	261.56
19970707	600	0.31	3.12	247.5	19970722	600	0.31	3.12	270
19970707	1200	0.47	3.44	165.94	19970722	1200	0.31	3.12	146.25
19970707	1800	0.62	3.12	239.06	19970722	1800	0.47	2.81	261.56
19970708	0	0.78	3.44	222.19	19970723	0	0.47	3.44	241.88
19970708	600	0.62	3.44	241.88	19970723	600	0.47	3.12	213.75
19970708	1200	0.62	3.44	174.38	19970723	1200	0.47	3.75	135
19970708	1800	0.78	3.75	247.5	19970723	1800	0.62	3.75	171.56
19970709	0	0.78	3.44	219.38	19970724	0	0.62	3.44	222.19
19970709	600	0.62	3.44	219.38	19970724	600	0.78	3.75	250.31
19970709	1200	0.62	3.44	205.31	19970724	1200	0.62	3.75	160.31
19970709	1800	0.62	3.12	8.44	19970724	1800	0.78	3.44	343.12
19970710	0	0.47	3.75	199.69	19970725	0	0.62	3.44	225
19970710	600	0.31	3.44	233.44	19970725	600	0.62	3.44	230.62
19970710	1200	0.31	3.44	149.06	19970725	1200	0.62	3.44	241.88
19970710	1800	0.31	2.81	120.94	19970725	1800	0.78	3.12	225
19970711	0	0.31	3.12	241.88	19970726	0	0.62	3.44	250.31
19970711	600	0.47	2.81	255.94	19970726	600	0.62	3.75	230.62
19970711	1200	0.31	3.12	165.94	19970726	1200	0.62	4.06	109.69
19970711	1800	0.31	2.5	146.25	19970726	1800	0.62	3.44	140.62
19970712	0	0.47	3.12	233.44	19970727	0	0.78	3.75	295.31
19970712	600	0.47	3.12	233.44	19970727	600	0.78	3.75	210.94
19970712	1200	0.31	3.75	115.31	19970727	1200	0.62	4.38	115.31
19970712	1800	0.31	2.81	146.25	19970727	1800	0.47	3.44	19.69
19970713	0	0.31	2.81	258.75	19970728	0	0.47	3.12	236.25
19970713	600	0.47	2.81	247.5	19970728	600	0.31	2.81	258.75
19970713	1200	0.31	3.12	132.19	19970728	1200	0.31	3.75	81.56
19970713	1800	0.47	2.81	253.12	19970728	1800	0.31	3.44	306.56
19970714	0	0.47	3.12	272.81	19970729	0	0.62	3.12	219.38
19970714	600	0.31	2.81	70.31	19970729	600	0.47	3.12	261.56
19970714	1200	0.47	2.81	140.62	19970729	1200	0.31	3.44	317.81
19970714	1800	0.31	2.81	185.62	19970729	1800	0.31	3.44	258.75

ตาราง ข.14 (ต่อ) ข้อมูลคลื่นสำรวจ 1 ปีที่นำเข้าแบบจำลอง GENESIS

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970730	0	0.31	2.5	199.69
19970730	600	0.31	2.5	298.12
19970730	1200	0.47	3.12	351.56
19970730	1800	0.16	3.12	196.88
19970731	0	0.31	2.5	255.94
19970731	600	0.47	2.81	326.25
19970731	1200	0.31	3.12	194.06
19970731	1800	0.31	2.81	180
19970801	0	0.78	3.75	236.25
19970801	600	0.62	3.75	216.56
19970801	1200	0.78	3.44	275.62
19970801	1800	0.78	4.06	160.31
19970802	0	0.62	4.06	219.38
19970802	600	0.47	3.75	182.81
19970802	1200	0.47	3.44	174.38
19970802	1800	0.31	3.12	165.94
19970803	0	0.31	2.81	241.88
19970803	600	0.31	3.44	289.69
19970803	1200	0.31	3.12	182.81
19970803	1800	0.16	3.75	258.75
19970804	0	0.16	3.44	295.31
19970804	600	0.31	2.5	272.81
19970804	1200	0.16	2.81	180
19970804	1800	0.31	2.5	278.44
19970805	0	0.62	3.12	295.31
19970805	600	0.47	3.12	258.75
19970805	1200	0.31	3.12	171.56
19970805	1800	0.31	2.5	151.88
19970806	0	0.47	3.44	225
19970806	600	0.62	3.12	270
19970806	1200	0.47	3.12	270
19970806	1800	0.47	3.75	255.94
19970807	0	0.78	3.75	244.69
19970807	600	0.62	3.75	247.5
19970807	1200	0.62	3.75	253.12
19970807	1800	0.78	3.44	250.31
19970808	0	0.62	3.75	258.75
19970808	600	0.78	3.44	244.69
19970808	1200	0.47	3.44	146.25
19970808	1800	0.47	2.81	36.56
19970809	0	0.62	3.44	250.31
19970809	600	0.47	3.75	225
19970809	1200	0.47	3.44	208.12
19970809	1800	0.62	3.12	236.25
19970810	0	0.47	3.12	208.12
19970810	600	0.31	3.12	213.75
19970810	1200	0.31	3.12	182.81
19970810	1800	0.62	2.81	236.25
19970811	0	0.47	3.44	275.62
19970811	600	0.31	3.44	239.06
19970811	1200	0.16	2.81	216.56
19970811	1800	0.16	2.81	146.25
19970812	0	0.31	2.81	253.12
19970812	600	0.47	3.12	233.44
19970812	1200	0.31	3.44	188.44
19970812	1800	0.47	3.12	241.88
19970813	0	0.47	3.44	222.19
19970813	600	0.47	3.12	236.25
19970813	1200	0.31	3.44	137.81
19970813	1800	0.16	2.81	165.94

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970814	0	0.47	2.81	267.19
19970814	600	0.47	2.81	50.62
19970814	1200	0.31	2.81	75.94
19970814	1800	0.16	2.5	163.12
19970815	0	0.47	2.81	230.62
19970815	600	0.16	2.5	329.06
19970815	1200	0.16	2.81	236.25
19970815	1800	0.16	2.81	123.75
19970815	0	0.16	3.12	205.31
19970816	600	0.31	2.5	281.25
19970816	1200	0.16	2.81	267.19
19970816	1800	0.16	2.81	120.94
19970817	0	0.31	2.5	177.19
19970817	600	0.31	2.81	289.69
19970817	1200	0.31	2.5	126.56
19970817	1800	0.16	3.12	137.81
19970818	0	0.31	2.5	244.69
19970818	600	0.62	3.75	255.94
19970818	1200	0.16	2.81	78.75
19970818	1800	0.31	2.81	137.81
19970819	0	0.31	3.12	191.25
19970819	600	0.16	2.81	39.38
19970819	1200	0.16	3.12	154.69
19970819	1800	0.16	3.12	160.31
19970820	0	0.31	2.5	202.5
19970820	600	0.16	2.81	219.38
19970820	1200	0.31	2.81	25.31
19970820	1800	0.62	3.12	154.69
19970821	0	0.78	4.69	154.69
19970821	600	0.78	4.69	132.19
19970821	1200	0.78	4.38	174.38
19970821	1800	1.09	4.06	205.31
19970822	0	0.78	4.06	191.25
19970822	600	0.78	4.06	194.06
19970822	1200	0.62	3.75	177.19
19970822	1800	0.78	3.44	202.5
19970823	0	0.78	4.38	199.69
19970823	600	0.47	3.44	213.75
19970823	1200	0.47	3.75	247.5
19970823	1800	0.47	3.44	185.62
19970824	0	0.47	3.12	239.06
19970824	600	0.31	3.12	253.12
19970824	1200	0.16	3.44	241.88
19970824	1800	0.31	3.44	163.12
19970825	0	0.31	4.06	227.81
19970825	600	0.31	3.75	323.44
19970825	1200	0.16	3.12	36.56
19970825	1800	0.16	3.44	163.12
19970826	0	0.31	2.81	264.38
19970826	600	0.31	3.12	177.19
19970826	1200	0.31	3.44	160.31
19970826	1800	0.16	3.12	205.31
19970827	0	0.16	3.12	241.88
19970827	600	0.31	2.5	270
19970827	1200	0.16	2.81	8.44
19970827	1800	0.16	3.12	227.81
19970828	0	0.31	2.5	222.19
19970828	600	0.31	2.5	272.81
19970828	1200	0.31	2.5	22.5
19970828	1800	0.16	3.12	168.75

ตาราง ข.14 (ต่อ) ข้อมูลคลื่นสำรวจ 1 ปีที่นำเข้าแบบจำลอง GENESIS

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970829	0	0.31	2.81	253.12
19970829	600	0.31	2.81	264.38
19970829	1200	0.16	2.81	168.75
19970829	1800	0.31	2.5	191.25
19970830	0	0.31	2.81	270
19970830	600	0.31	2.81	247.5
19970830	1200	0.16	2.81	140.62
19970830	1800	0.16	2.81	202.5
19970831	0	0.31	2.81	233.44
19970831	600	0.31	2.81	300.94
19970831	1200	0.31	3.12	225
19970831	1800	0.31	3.75	174.38
19970901	0	0.47	2.81	244.69
19970901	600	0.47	2.81	278.44
19970901	1200	0.47	3.12	163.12
19970901	1800	0.47	3.12	191.25
19970902	0	0.62	3.75	247.5
19970902	600	0.47	3.12	239.06
19970902	1200	0.47	3.12	160.31
19970902	1800	0.47	3.12	168.75
19970903	0	0.47	3.12	264.38
19970903	600	0.31	3.44	230.62
19970903	1200	0.16	3.44	132.19
19970903	1800	0.31	2.5	185.62
19970904	0	0.47	3.12	219.38
19970904	600	0.31	2.81	261.56
19970904	1200	0.31	3.44	174.38
19970904	1800	0.62	2.81	185.62
19970905	0	0.62	3.44	227.81
19970905	600	0.31	3.12	306.56
19970905	1200	0.16	3.44	196.88
19970905	1800	0.47	2.5	317.81
19970906	0	0.31	3.44	264.38
19970906	600	0.31	3.12	272.81
19970906	1200	0.16	3.44	109.69
19970906	1800	0.16	2.81	146.25
19970907	0	0.16	2.81	213.75
19970907	600	0.16	2.81	300.94
19970907	1200	0.31	2.81	112.5
19970907	1800	0.16	2.81	213.75
19970908	0	0.16	3.12	275.62
19970908	600	0.16	3.12	219.38
19970908	1200	0.16	3.12	140.62
19970908	1800	0.31	2.5	275.62
19970909	0	0.16	3.12	205.31
19970909	600	0.16	3.12	258.75
19970909	1200	0.16	2.5	357.19
19970909	1800	0.16	3.12	171.56
19970910	0	0.31	2.5	109.69
19970910	600	0.16	2.5	317.81
19970910	1200	0.16	2.5	95.62
19970910	1800	0.16	2.5	151.88
19970911	0	0.31	2.81	45
19970911	600	0.16	2.81	199.69
19970911	1200	0.16	2.81	2.81
19970911	1800	0.16	2.81	143.44
19970912	0	0.31	2.81	196.88
19970912	600	0.16	2.5	8.44
19970912	1200	0.16	2.5	343.12
19970912	1800	0.16	2.81	132.19

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970913	0	0.16	3.12	112.5
19970913	600	0.16	2.5	109.69
19970913	1200	0.16	3.12	272.81
19970913	1800	0.16	3.44	137.81
19970914	0	0.16	3.12	261.56
19970914	600	0.16	3.12	264.38
19970914	1200	0.16	3.44	295.31
19970914	1800	0.16	3.75	132.19
19970915	0	0.31	2.81	264.38
19970915	600	0.16	3.12	267.19
19970915	1200	0.16	3.12	298.12
19970915	1800	0.16	3.12	140.62
19970916	0	0.31	2.5	143.44
19970916	600	0.47	2.81	272.81
19970916	1200	0.47	3.44	126.56
19970916	1800	0.94	3.75	165.94
19970917	0	0.31	3.75	230.62
19970917	600	0.47	2.81	298.12
19970917	1200	0.16	3.12	298.12
19970917	1800	0.16	3.44	81.56
19970918	0	0.47	3.12	140.62
19970918	600	0.31	2.81	295.31
19970918	1200	0.16	3.12	348.75
19970918	1800	0.31	3.12	188.44
19970919	0	0.47	2.81	323.44
19970919	600	0.31	3.12	272.81
19970919	1200	0.31	3.44	343.12
19970919	1800	0.31	3.12	182.81
19970920	0	0.47	3.44	329.06
19970920	600	0.47	3.75	267.19
19970920	1200	0.47	3.75	337.5
19970920	1800	0.47	4.06	205.31
19970921	0	0.47	4.06	334.69
19970921	600	0.47	3.12	143.44
19970921	1200	0.47	3.12	315
19970921	1800	0.47	3.75	253.12
19970922	0	0.47	4.38	286.88
19970922	600	0.47	3.75	64.69
19970922	1200	0.47	3.75	64.69
19970922	1800	0.62	4.06	205.31
19970923	0	0.62	4.06	227.81
19970923	600	0.47	4.06	241.88
19970923	1200	0.47	3.75	253.12
19970923	1800	0.31	3.75	351.56
19970924	0	0.47	3.44	250.31
19970924	600	0.47	5	309.38
19970924	1200	0.47	5.31	174.38
19970924	1800	0.47	4.69	140.62
19970925	0	0.31	4.38	137.81
19970925	600	0.31	3.44	289.69
19970925	1200	0.47	5.31	174.38
19970925	1800	0.16	3.44	61.88
19970926	0	0.47	3.12	278.44
19970926	600	0.31	3.12	244.69
19970926	1200	0.31	3.44	233.44
19970926	1800	0.16	3.44	174.38
19970927	0	0.31	2.81	247.5
19970927	600	0.31	3.12	272.81
19970927	1200	0.31	3.12	233.44
19970927	1800	0.31	2.5	140.62

ตาราง ข.14 (ต่อ) ข้อมูลคลื่นสำรวจ 1 ปีที่นำเข้าแบบจำลอง GENESIS

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19970928	0	0.31	2.81	222.19
19970928	600	0.16	3.12	227.81
19970928	1200	0.16	3.12	180
19970928	1800	0.31	2.81	70.31
19970929	0	0.31	3.75	253.12
19970929	600	0.31	3.75	239.06
19970929	1200	0.16	3.12	244.69
19970929	1800	0.16	3.44	73.12
19970930	0	0.16	2.81	264.38
19970930	600	0.31	2.5	255.94
19970930	1200	0.16	2.5	196.88
19970930	1800	0.16	3.12	75.94
19971001	0	0.47	2.81	255.94
19971001	600	0.47	2.81	247.5
19971001	1200	0.16	3.12	345.94
19971001	1800	0.16	3.12	64.69
19971002	0	0.31	2.81	253.12
19971002	600	0.31	2.5	258.75
19971002	1200	0.16	2.81	16.88
19971002	1800	0.16	3.12	87.19
19971003	0	0.16	3.12	168.75
19971003	600	0.31	2.5	253.12
19971003	1200	0.16	2.5	351.56
19971003	1800	0.16	2.81	210.94
19971004	0	0.16	2.81	309.38
19971004	600	0.31	3.12	50.62
19971004	1200	0.16	2.5	87.19
19971004	1800	0.16	2.81	177.19
19971005	0	0.16	3.12	64.69
19971005	600	0.31	3.12	222.19
19971005	1200	0.31	3.12	278.44
19971005	1800	0.31	2.5	157.5
19971006	0	0.62	3.44	191.25
19971006	600	0.62	3.75	126.56
19971006	1200	0.78	4.69	160.31
19971006	1800	0.94	4.06	177.19
19971007	0	0.78	4.38	236.25
19971007	600	0.62	3.75	180
19971007	1200	0.47	4.06	171.56
19971007	1800	0.31	3.75	163.12
19971008	0	0.31	4.06	264.38
19971008	600	0.31	3.44	326.25
19971008	1200	0.31	2.81	334.69
19971008	1800	0.31	2.81	351.56
19971009	0	0.16	2.5	326.25
19971009	600	0.31	2.5	340.31
19971009	1200	0.47	3.12	340.31
19971009	1800	0.16	2.81	123.75
19971010	0	0.16	3.12	64.69
19971010	600	0.16	2.5	261.56
19971010	1200	0.47	3.12	309.38
19971010	1800	0.31	3.75	33.75
19971011	0	0.16	3.75	61.88
19971011	600	0.16	3.44	104.06
19971011	1200	0.16	3.44	135
19971011	1800	0.16	3.44	154.69
19971012	0	0.16	3.12	180
19971012	600	0.16	3.12	292.5
19971012	1200	0.16	3.12	292.5
19971012	1800	0.16	3.44	39.38
19971013	0	0.16	2.81	61.88
19971013	600	0.16	3.12	2.81
19971013	1200	0.47	3.12	182.81
19971013	1800	0.31	2.81	16.88
19971014	0	0.16	3.44	84.38
19971014	600	0.16	3.12	354.38
19971014	1200	0.62	3.12	354.38
19971014	1800	0.31	2.81	39.38
19971015	0	0.16	2.81	233.44
19971015	600	0.16	3.12	8.44
19971015	1200	0.31	2.81	289.69
19971015	1800	0.16	2.81	50.62
19971016	0	0.16	2.81	233.44
19971016	600	0.31	2.81	33.75
19971016	1200	0.47	2.5	357.19
19971016	1800	0.31	2.81	22.5
19971017	0	0.31	2.81	45
19971017	600	0.31	2.81	30.94
19971017	1200	0.31	2.5	5.62
19971017	1800	0.47	4.06	92.81
19971018	0	0.31	3.44	323.44
19971018	600	0.47	3.12	5.62
19971018	1200	0.47	2.81	329.06
19971018	1800	0.31	2.81	67.5
19971019	0	0.31	3.12	5.62
19971019	600	0.47	3.12	202.5
19971019	1200	0.47	2.81	329.06
19971019	1800	0.31	3.12	61.88
19971020	0	0.31	3.75	75.94
19971020	600	0.31	4.06	239.06
19971020	1200	0.16	3.44	59.06
19971020	1800	0.16	3.75	42.19
19971021	0	0.16	3.75	56.25
19971021	600	0.31	2.81	278.44
19971021	1200	0.16	2.81	340.31
19971021	1800	0.16	3.12	75.94
19971022	0	0.16	2.81	244.69
19971022	600	0.16	2.5	250.31
19971022	1200	0.31	2.81	329.06
19971022	1800	0.16	3.12	61.88
19971023	0	0.16	2.5	264.38
19971023	600	0.16	2.5	272.81
19971023	1200	0.16	2.81	16.88
19971023	1800	0.16	3.12	87.19
19971024	0	0.16	3.12	230.62
19971024	600	0.16	2.81	284.06
19971024	1200	0.16	3.12	39.38
19971024	1800	0.16	3.12	47.81
19971025	0	0.47	2.5	112.5
19971025	600	0.62	2.81	309.38
19971025	1200	0.31	2.81	2.81
19971025	1800	0.16	2.81	101.25
19971026	0	0.16	3.12	140.62
19971026	600	0.16	3.12	300.94
19971026	1200	0.31	2.5	61.88
19971026	1800	0.31	2.81	132.19
19971027	0	0.16	2.81	28.12
19971027	600	0.31	3.12	337.5
19971027	1200	0.62	3.12	28.12
19971027	1800	0.47	3.12	53.44

ตาราง ข.14 (ต่อ) ข้อมูลคลื่นสำรวจ 1 ปีที่นำเข้าแบบจำลอง GENESIS

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19971028	0	0.31	3.12	56.25
19971028	600	0.47	2.81	320.62
19971028	1200	1.09	3.44	5.62
19971028	1800	0.94	3.75	19.69
19971029	0	0.78	3.12	28.12
19971029	600	1.09	3.75	30.94
19971029	1200	1.25	3.75	14.06
19971029	1800	1.09	3.75	2.81
19971030	0	0.78	3.12	306.56
19971030	600	1.25	4.06	42.19
19971030	1200	1.25	3.75	16.88
19971030	1800	1.25	4.06	5.62
19971031	0	0.94	3.44	36.56
19971031	600	1.41	4.06	36.56
19971031	1200	1.56	4.06	16.88
19971031	1800	1.41	4.38	351.56
19971101	0	0.94	3.44	50.62
19971101	600	1.25	4.38	45
19971101	1200	1.88	4.38	14.06
19971101	1800	1.25	4.06	345.94
19971102	0	1.41	3.75	47.81
19971102	600	2.03	5	30.94
19971102	1200	1.56	4.06	351.56
19971102	1800	1.09	3.75	345.94
19971103	0	1.09	3.44	334.69
19971103	600	1.41	4.38	340.31
19971103	1200	1.56	4.06	345.94
19971103	1800	2.03	4.69	345.94
19971104	0	2.81	5.31	30.94
19971104	600	4.06	6.25	154.69
19971104	1200	1.88	5	120.94
19971104	1800	1.88	5	59.06
19971105	0	1.72	4.38	343.12
19971105	600	1.56	4.38	5.62
19971105	1200	1.56	4.06	340.31
19971105	1800	0.94	3.44	320.62
19971106	0	0.78	3.12	331.88
19971106	600	0.94	3.44	8.44
19971106	1200	1.09	3.75	357.19
19971106	1800	0.94	3.75	348.75
19971107	0	0.78	3.12	320.62
19971107	600	0.94	3.44	5.62
19971107	1200	1.09	3.75	357.19
19971107	1800	0.62	3.44	5.62
19971108	0	0.47	2.81	334.69
19971108	600	0.62	3.12	343.12
19971108	1200	1.09	4.06	340.31
19971108	1800	0.78	3.75	5.62
19971109	0	0.47	2.81	337.5
19971109	600	0.62	3.12	343.12
19971109	1200	0.94	3.75	357.19
19971109	1800	0.62	3.12	354.38
19971110	0	0.31	3.12	334.69
19971110	600	0.78	3.12	348.75
19971110	1200	0.78	3.44	5.62
19971110	1800	0.47	3.12	345.94
19971111	0	0.31	3.44	317.81
19971111	600	0.47	2.5	337.5
19971111	1200	0.62	3.44	348.75
19971111	1800	0.47	3.12	11.25

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19971112	0	0.31	3.75	292.5
19971112	600	0.31	4.06	317.81
19971112	1200	0.47	4.69	348.75
19971112	1800	0.47	3.75	295.31
19971113	0	0.31	4.69	292.5
19971113	600	0.47	5	303.75
19971113	1200	0.31	5	343.12
19971113	1800	0.47	5	106.88
19971114	0	0.31	4.69	205.31
19971114	600	0.47	4.69	275.62
19971114	1200	0.47	4.69	306.56
19971114	1800	0.47	4.38	109.69
19971115	0	0.47	3.44	315
19971115	600	0.31	3.44	295.31
19971115	1200	0.16	4.06	253.12
19971115	1800	0.31	4.38	171.56
19971116	0	0.31	3.44	208.12
19971116	600	0.31	3.12	241.88
19971116	1200	0.31	4.38	135
19971116	1800	0.31	4.06	185.62
19971117	0	0.31	3.44	255.94
19971117	600	0.31	3.12	168.75
19971117	1200	0.16	4.06	343.12
19971117	1800	0.16	4.06	199.69
19971118	0	0.16	4.38	104.06
19971118	600	0.16	3.75	286.88
19971118	1200	0.47	2.81	354.38
19971118	1800	0.31	3.12	67.5
19971119	0	0.31	2.81	30.94
19971119	600	0.31	2.81	78.75
19971119	1200	0.62	3.75	19.69
19971119	1800	0.62	3.75	354.38
19971120	0	0.62	4.38	329.06
19971120	600	0.78	5	345.94
19971120	1200	0.78	3.75	28.12
19971120	1800	0.47	3.75	343.12
19971121	0	0.31	3.75	255.94
19971121	600	0.31	4.06	334.69
19971121	1200	0.62	3.44	357.19
19971121	1800	0.47	3.44	303.75
19971122	0	0.31	4.38	281.25
19971122	600	0.31	4.06	289.69
19971122	1200	0.31	4.06	348.75
19971122	1800	0.31	3.12	334.69
19971123	0	0.16	4.38	104.06
19971123	600	0.16	3.44	289.69
19971123	1200	0.16	4.06	340.31
19971123	1800	0.16	4.06	104.06
19971124	0	0.16	4.06	241.88
19971124	600	0.16	2.81	236.25
19971124	1200	0.16	2.81	56.25
19971124	1800	0.16	3.44	126.56
19971125	0	0.47	2.81	188.44
19971125	600	0.47	3.12	267.19
19971125	1200	0.47	3.44	157.5
19971125	1800	0.47	3.12	194.06
19971126	0	0.47	3.12	208.12
19971126	600	0.31	3.12	199.69
19971126	1200	0.31	2.81	194.06
19971126	1800	0.16	3.12	177.19

ตาราง ข.14 (ต่อ) ข้อมูลคลื่นสำรวจ 1 ปีที่นำเข้าแบบจำลอง GENESIS

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19971127	0	0.16	2.81	199.69
19971127	600	0.16	2.81	233.44
19971127	1200	0.16	3.12	140.62
19971127	1800	0.16	3.44	165.94
19971128	0	0.16	2.5	227.81
19971128	600	0.16	3.12	241.88
19971128	1200	0.16	3.12	182.81
19971128	1800	0.16	3.44	168.75
19971129	0	0.16	2.81	225
19971129	600	0.16	2.81	281.25
19971129	1200	0.16	3.12	343.12
19971129	1800	0.16	3.12	191.25
19971130	0	0.16	3.44	196.88
19971130	600	0.16	3.44	295.31
19971130	1200	0.16	3.75	306.56
19971130	1800	0.16	3.75	104.06
19971201	0	0.16	4.06	222.19
19971201	600	0.31	3.44	295.31
19971201	1200	0.31	2.81	345.94
19971201	1800	0.31	3.75	115.31
19971202	0	0.31	4.38	357.19
19971202	600	0.62	5.31	11.25
19971202	1200	0.62	3.75	47.81
19971202	1800	0.94	4.06	5.62
19971203	0	0.62	4.06	53.44
19971203	600	1.09	3.75	42.19
19971203	1200	1.56	4.06	30.94
19971203	1800	1.09	4.06	30.94
19971204	0	0.94	3.75	42.19
19971204	600	1.09	4.06	33.75
19971204	1200	1.25	4.06	11.25
19971204	1800	0.94	3.75	5.62
19971205	0	0.78	3.75	53.44
19971205	600	0.94	4.06	42.19
19971205	1200	1.25	4.06	2.81
19971205	1800	0.94	3.75	2.81
19971206	0	0.62	3.12	340.31
19971206	600	0.78	3.44	337.5
19971206	1200	0.94	3.75	340.31
19971206	1800	0.62	3.44	334.69
19971207	0	0.31	3.44	326.25
19971207	600	0.31	4.06	300.94
19971207	1200	0.62	3.44	123.75
19971207	1800	0.62	3.44	334.69
19971208	0	0.31	3.44	326.25
19971208	600	0.31	4.06	300.94
19971208	1200	0.31	2.81	354.38
19971208	1800	0.31	3.12	104.06
19971209	0	0.31	3.44	354.38
19971209	600	0.47	2.81	47.81
19971209	1200	1.41	4.06	16.88
19971209	1800	1.25	3.75	8.44
19971210	0	0.94	3.75	30.94
19971210	600	1.09	3.75	348.75
19971210	1200	1.25	4.06	357.19
19971210	1800	0.94	3.44	357.19
19971211	0	0.62	3.12	2.81
19971211	600	1.56	4.06	315
19971211	1200	1.56	4.38	11.25
19971211	1800	1.25	4.06	351.56

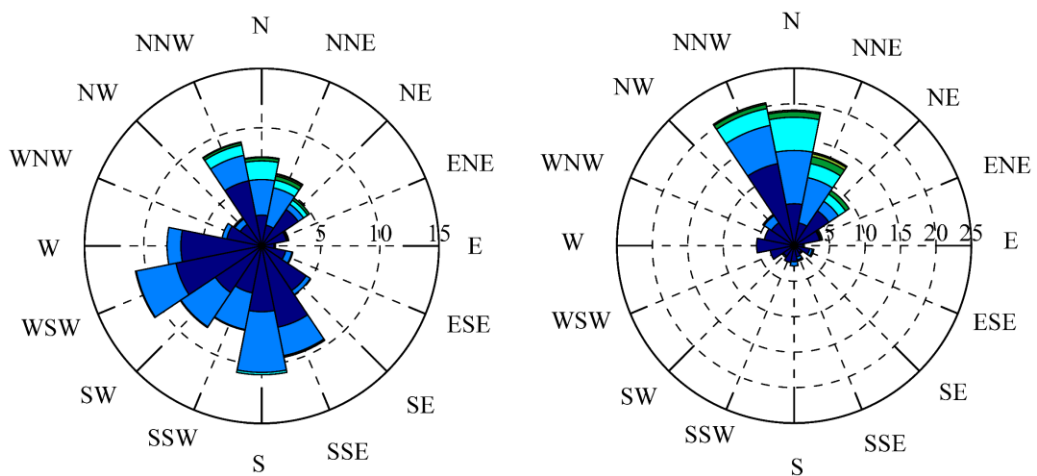
Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19971212	0	1.72	4.38	354.38
19971212	600	1.72	4.69	50.62
19971212	1200	2.34	5	5.62
19971212	1800	1.41	4.06	2.81
19971213	0	1.25	3.75	11.25
19971213	600	1.25	4.06	14.06
19971213	1200	1.56	4.38	14.06
19971213	1800	1.25	3.75	354.38
19971214	0	1.25	4.06	348.75
19971214	600	1.25	3.75	334.69
19971214	1200	1.09	3.75	348.75
19971214	1800	0.94	3.44	351.56
19971215	0	1.56	4.06	36.56
19971215	600	1.41	4.06	33.75
19971215	1200	2.03	4.69	14.06
19971215	1800	1.41	4.06	8.44
19971216	0	1.56	4.38	45
19971216	600	1.41	4.06	98.44
19971216	1200	1.72	4.38	14.06
19971216	1800	1.09	3.75	343.12
19971217	0	1.09	3.75	2.81
19971217	600	1.09	4.06	343.12
19971217	1200	1.25	3.75	5.62
19971217	1800	0.94	3.44	354.38
19971218	0	0.62	3.12	343.12
19971218	600	0.94	3.75	354.38
19971218	1200	0.62	2.81	354.38
19971218	1800	0.31	2.81	8.44
19971219	0	0.16	2.81	315
19971219	600	0.31	2.81	329.06
19971219	1200	0.47	2.81	351.56
19971219	1800	0.47	3.12	357.19
19971220	0	0.16	2.81	275.62
19971220	600	0.16	2.81	284.06
19971220	1200	0.16	2.5	2.81
19971220	1800	0.31	2.81	53.44
19971221	0	0.16	2.81	284.06
19971221	600	0.16	3.12	329.06
19971221	1200	0.31	2.5	348.75
19971221	1800	0.31	2.81	25.31
19971222	0	0.16	2.81	185.62
19971222	600	0.16	2.81	326.25
19971222	1200	0.16	2.5	5.62
19971222	1800	0.31	2.81	16.88
19971223	0	0.16	2.81	267.19
19971223	600	0.16	2.5	300.94
19971223	1200	0.16	3.44	357.19
19971223	1800	0.31	2.81	59.06
19971224	0	0.16	3.44	270
19971224	600	0.16	3.75	348.75
19971224	1200	0.31	2.5	357.19
19971224	1800	0.31	2.81	67.5
19971225	0	0.31	3.44	337.5
19971225	600	0.31	3.12	329.06
19971225	1200	0.78	3.12	5.62
19971225	1800	0.47	3.44	25.31
19971226	0	0.31	3.75	306.56
19971226	600	0.31	4.06	331.88
19971226	1200	0.62	3.12	348.75
19971226	1800	0.47	3.12	30.94

ตาราง ข.14 (ต่อ) ข้อมูลคลื่นสำรวจ 1 ปีที่นำเข้าแบบจำลอง GENESIS

Date	Time step	H (m)	T (s)	Direction(deg)
19971227	0	0.31	3.44	33.75
19971227	600	0.31	3.12	354.38
19971227	1200	0.62	3.12	8.44
19971227	1800	0.62	3.44	331.88
19971228	0	0.47	3.44	326.25
19971228	600	0.31	3.12	53.44
19971228	1200	0.78	3.44	11.25
19971228	1800	0.78	3.44	354.38
19971229	0	0.47	3.44	348.75
19971229	600	0.62	3.12	16.88
19971229	1200	1.09	3.75	2.81
19971229	1800	0.94	3.75	348.75
19971230	0	0.62	3.12	312.19
19971230	600	0.62	3.12	351.56
19971230	1200	0.94	3.44	348.75
19971230	1800	0.62	3.44	348.75
19971231	0	0.31	3.12	337.5
19971231	600	0.47	2.81	340.31
19971231	1200	0.94	3.44	348.75
19971231	1800	0.62	3.12	354.38

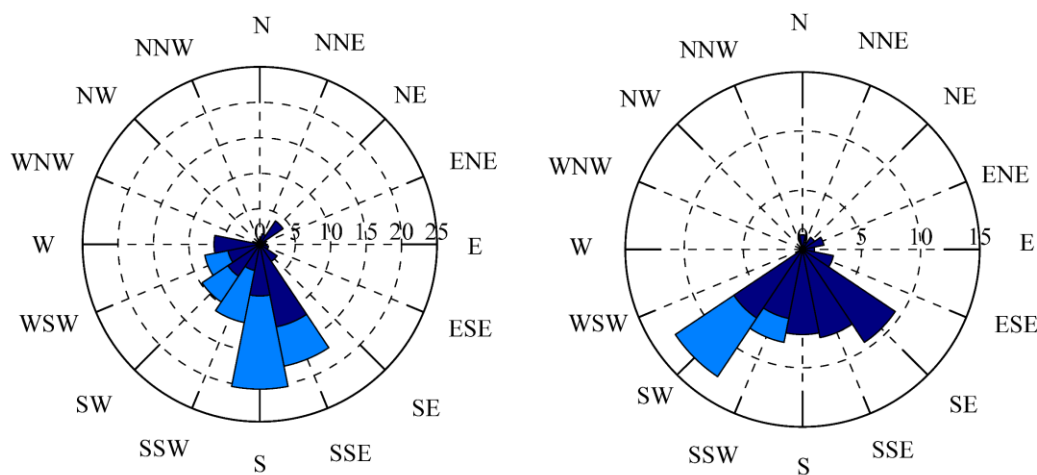


ข้อมูลคลื่นน้ำเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ก. รายปี

ข. มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



ค. มรสุมเปลี่ยนแปลง

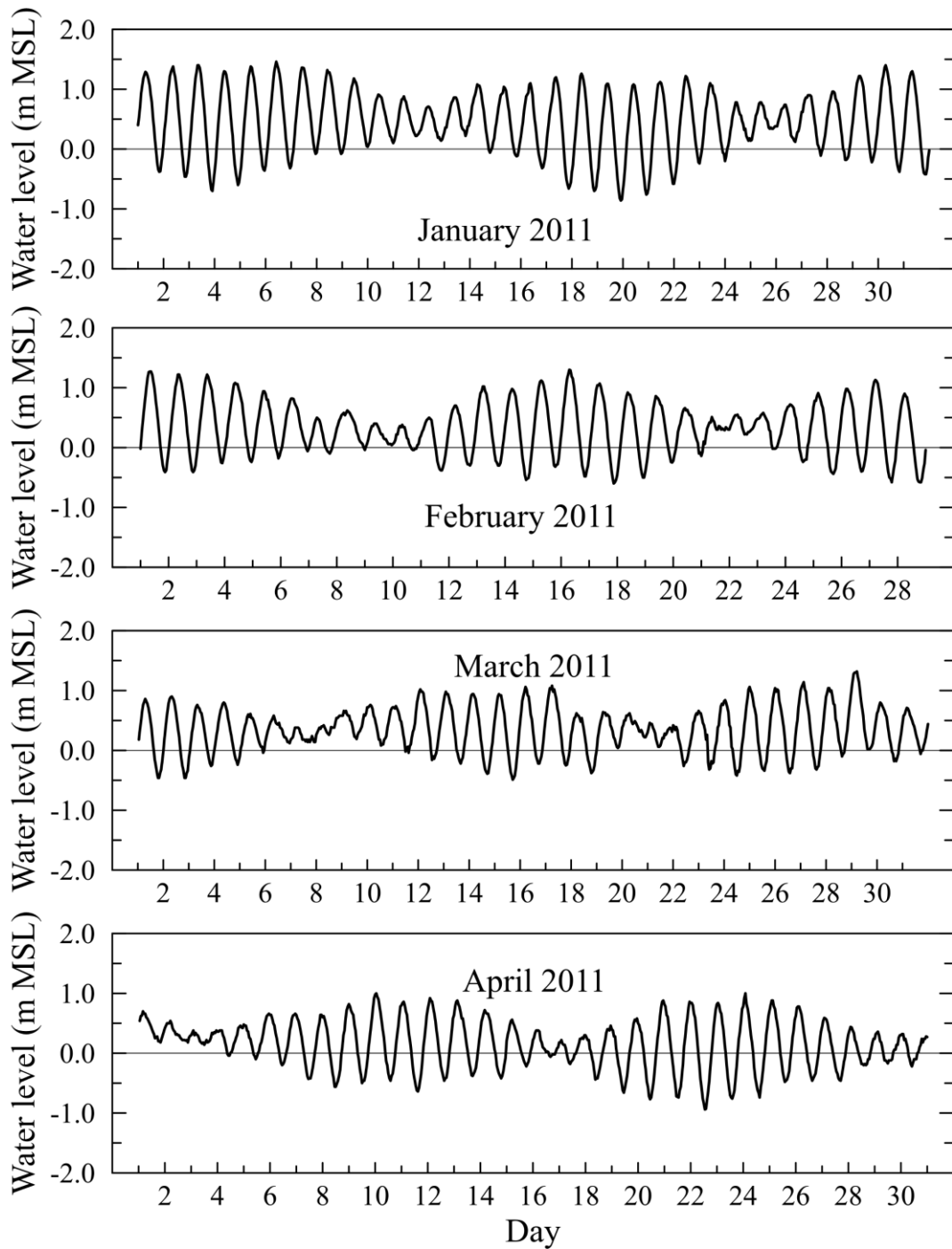
ง. มรสุมตะวันตกเฉียงใต้

ความสูงคลื่น (เมตร)



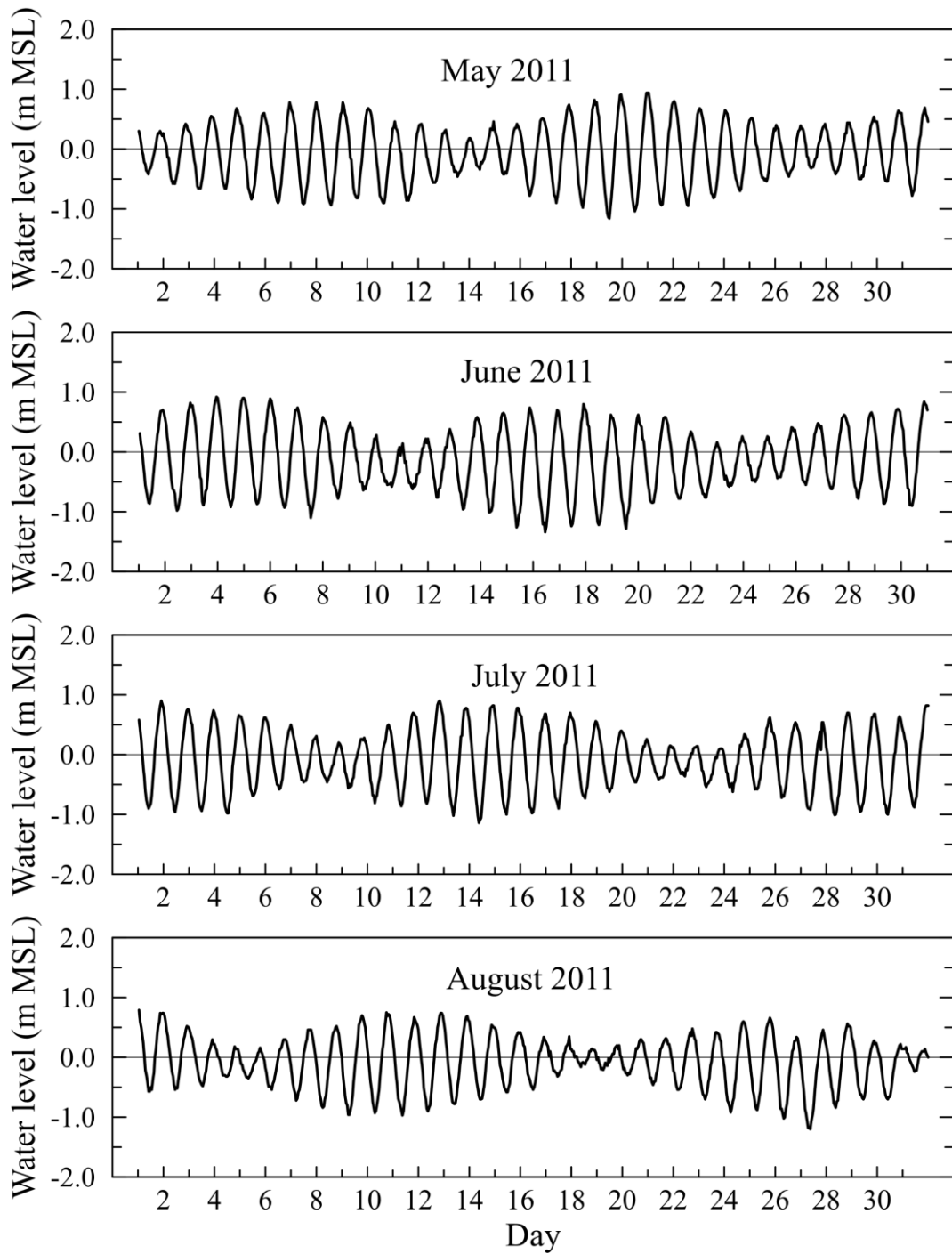
รูป ข.1 ฝั่งทิศทางและความสูงคลื่นของคลื่นน้ำลึกที่นำเข้าไปในแบบจำลองคณิตศาสตร์

ข.4 ลักษณะระดับน้ำขึ้นน้ำลง



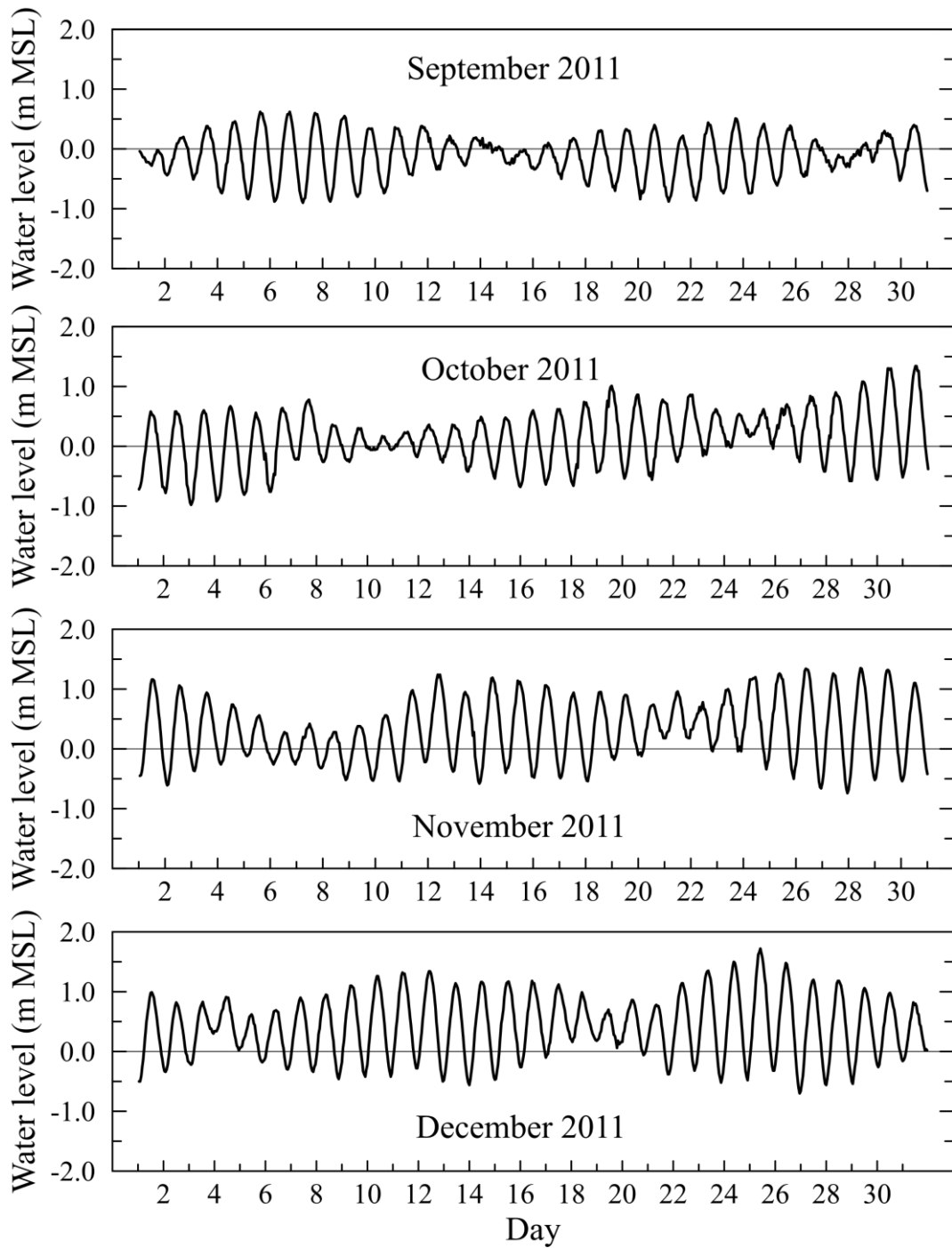
รูป ข.2 อนุกรมเวลา (time-series) ของระดับน้ำขึ้นน้ำลงรายเดือนที่สถานีคลองวาฬ

จ.ประจวบคีรีขันธ์ ปี 2554 (ค.ศ. 2011)



รูป ข.2 (ต่อ) อนุกรมเวลา (time-series) ของระดับน้ำขึ้นน้ำลงรายเดือนที่สถานีคลองวาฬ

จ.ประจวบคีรีขันธ์ ปี 2554 (ค.ศ. 2011)



รูป ข.2 (ต่อ) อนุกรมเวลา (time-series) ของระดับน้ำขึ้นน้ำลงรายเดือนที่สถานีคลองวาฬ
จ.ประจวบคีรีขันธ์ ปี 2554 (ค.ศ. 2011)



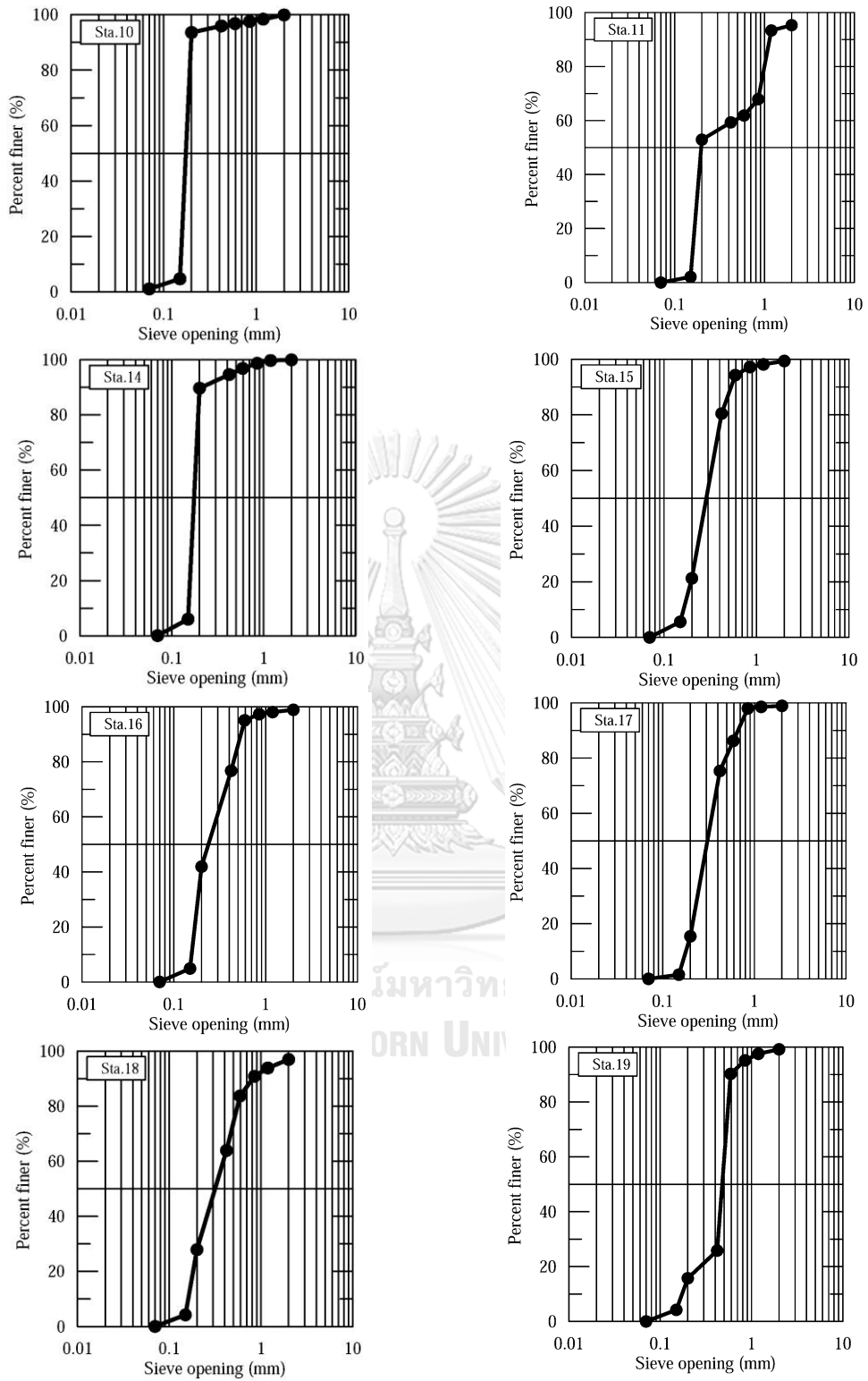
ภาคผนวก ค.
คุณสมบัติตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

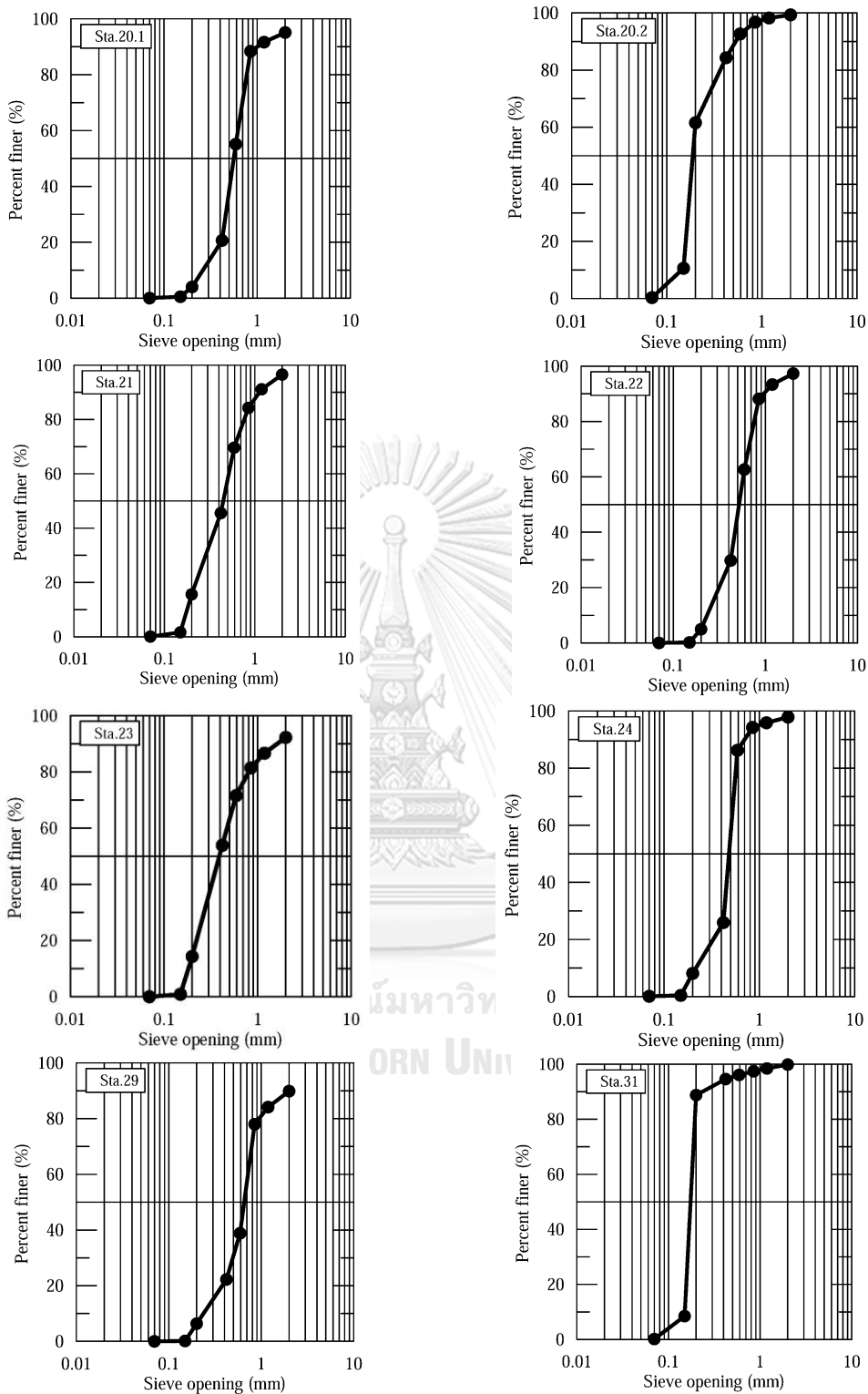
ตาราง ค.1 คุณสมบัติตัวอย่างตะกอนชายฝั่งตั้งแต่เขาตะเกียบถึงเขากะโหลก

Station	6-7 มิถุนายน 2561		21-22 กันยายน 2561		2-4 มกราคม 2562	
	d ₅₀ (mm)	Sorting	d ₅₀ (mm)	Sorting	d ₅₀ (mm)	Sorting
1	-	-	0.17	0.34	0.74	0.91
2	-	-	0.17	0.59	0.125	1.13
3	-	-	0.17	0.42	0.16	0.84
4	-	-	0.17	0.31	0.20	1.11
5	-	-	0.21	0.55	0.2	0.84
6	-	-	0.18	0.60	0.21	0.45
7	-	-	0.18	0.45	0.20	0.89
8	-	-	0.18	0.39	-	-
9	-	-	0.18	0.97	0.21	0.36
10	0.17	0.24	0.18	0.46	0.21	0.42
11	0.20	1.22	0.18	0.38	-	-
12*	-	-	0.20	1.22	0.77	0.73
13*	-	-	0.5	1.13	0.66	0.75
14	0.17	0.34	0.18	0.92	0.20	0.51
15	0.29	0.67	0.18	0.66	0.49	0.57
16	0.24	0.69	0.18	0.59	-	-
17	0.31	0.74	0.20	0.61	0.78	0.68
18	0.31	0.94	0.18	0.68	0.52	0.58
19	0.48	0.74	0.17	0.47	0.16	0.98
20.1	0.56	0.81	0.45	0.64	0.41	0.88
20.2	0.19	1.30	-	-	-	-
21	0.45	1.04	0.34	0.97	-	-
22.1	0.52	0.82	0.37	0.68	0.52	0.50
22.2	-	-	-	-	0.77	1.20
23	0.39	1.15	0.47	0.83	0.61	1.04
24	0.48	0.65	0.47	0.81	0.54	0.73
25	-	-	0.36	0.79	0.45	0.60
26	-	-	0.43	0.86	-	-
27	-	-	0.27	0.50	0.41	0.56
28	-	-	0.18	0.51	0.40	0.47
29	0.65	1.02	0.25	0.61	0.18	0.67
30.1	-	-	0.18	0.38	0.30	0.46
30.2	-	-	0.18	0.39	-	-
31	0.17	0.40	0.17	0.15	0.21	0.55

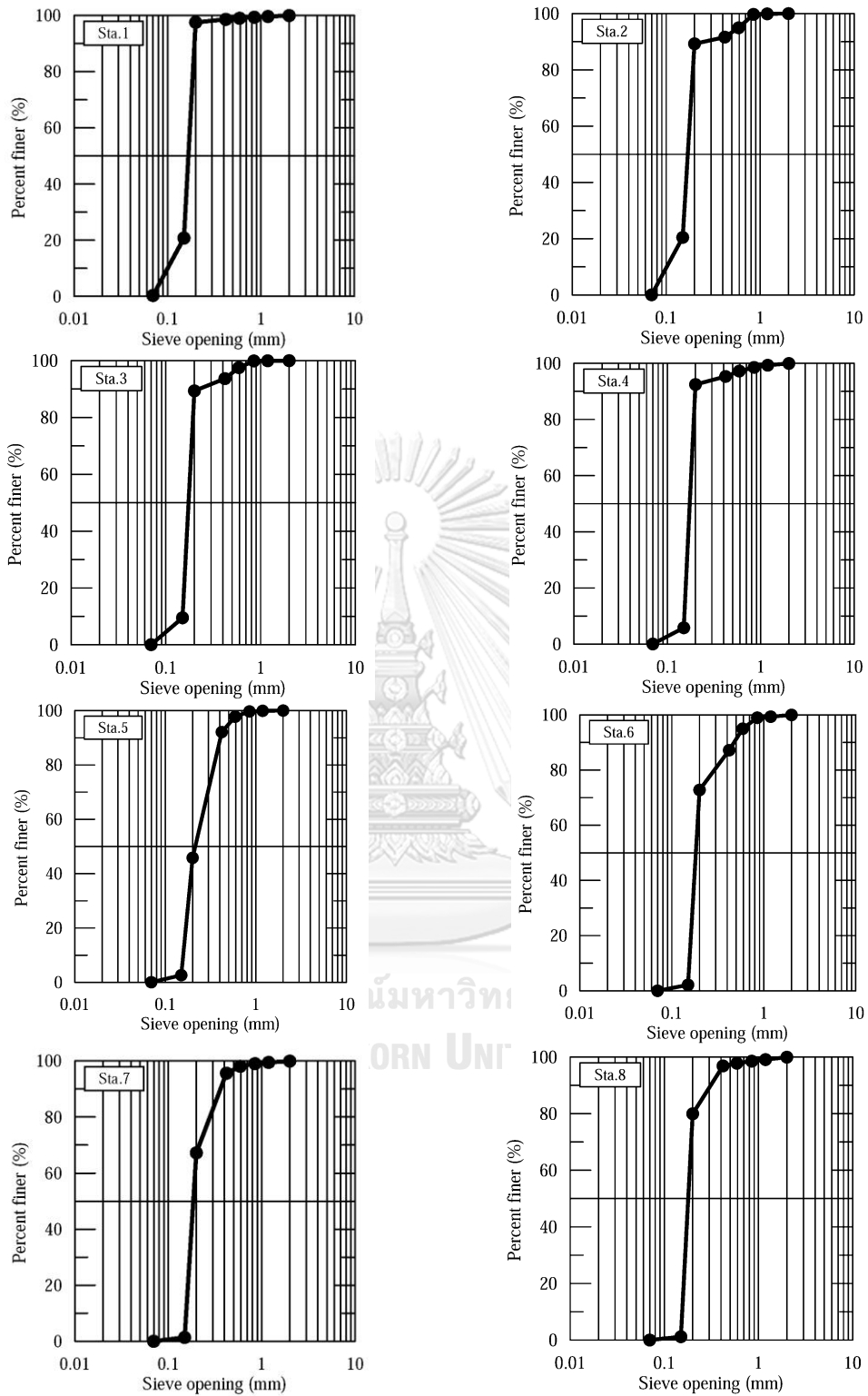
* sediment in Pranburi River



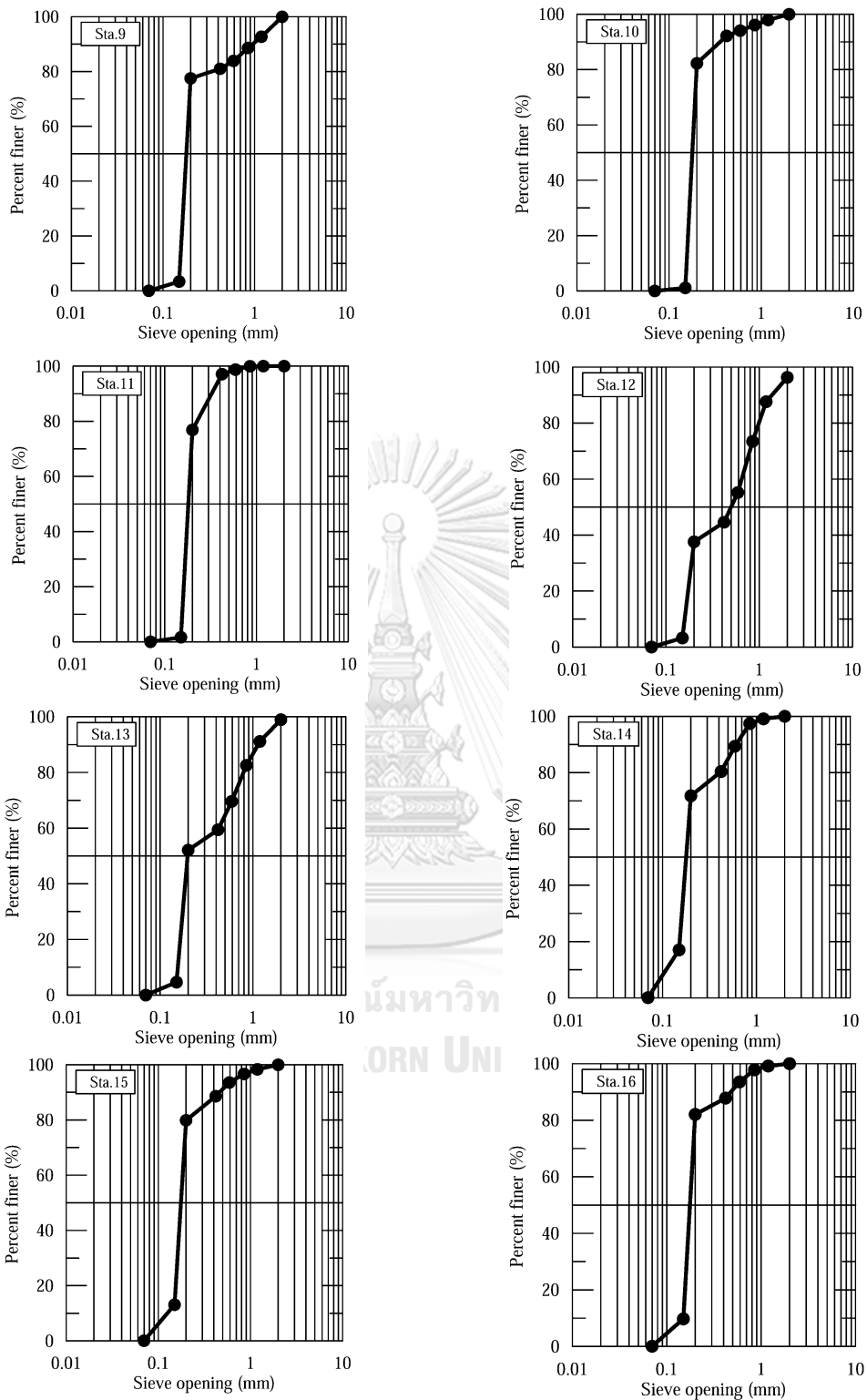
รูป ค.1 กราฟการกระจายตัวของตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง ระหว่างวันที่ 6-7 มิถุนายน 2561



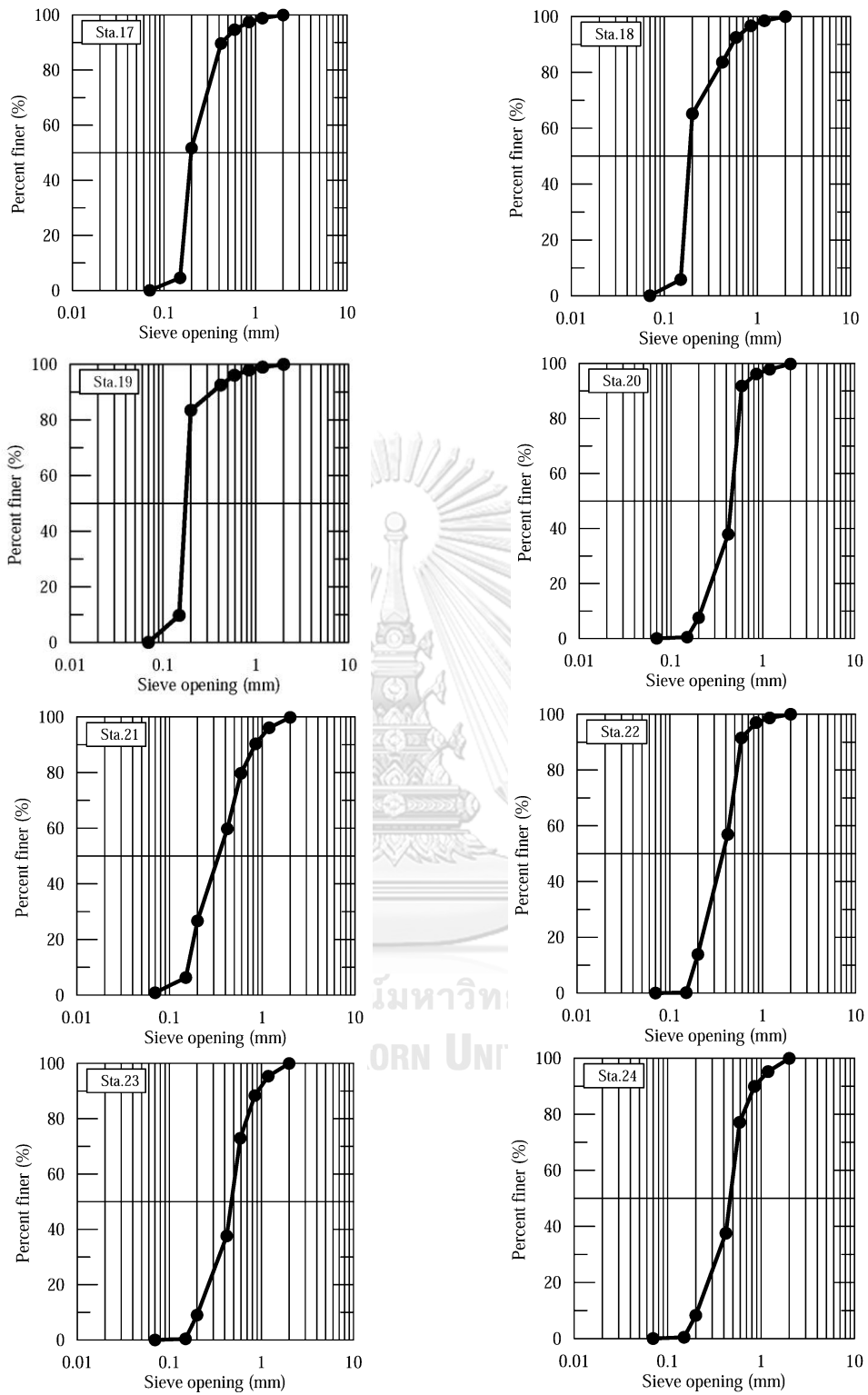
รูป ค.1 (ต่อ) กราฟการกระจายตัวของตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง ระหว่างวันที่ 6-7 มิถุนายน 2561



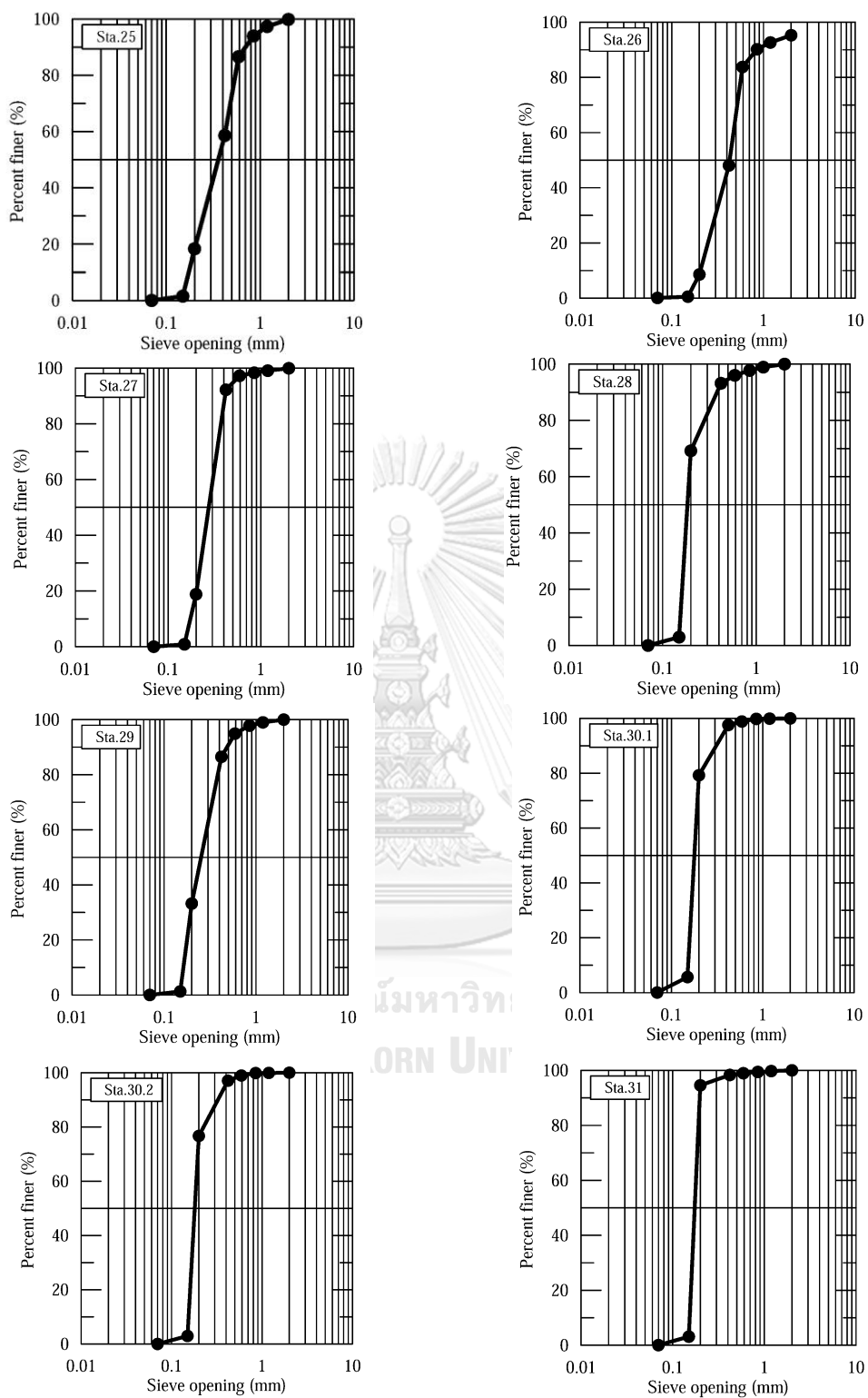
รูป ค.2 กราฟการกระจายตัวของตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง ระหว่างวันที่ 21-22 กันยายน 2561



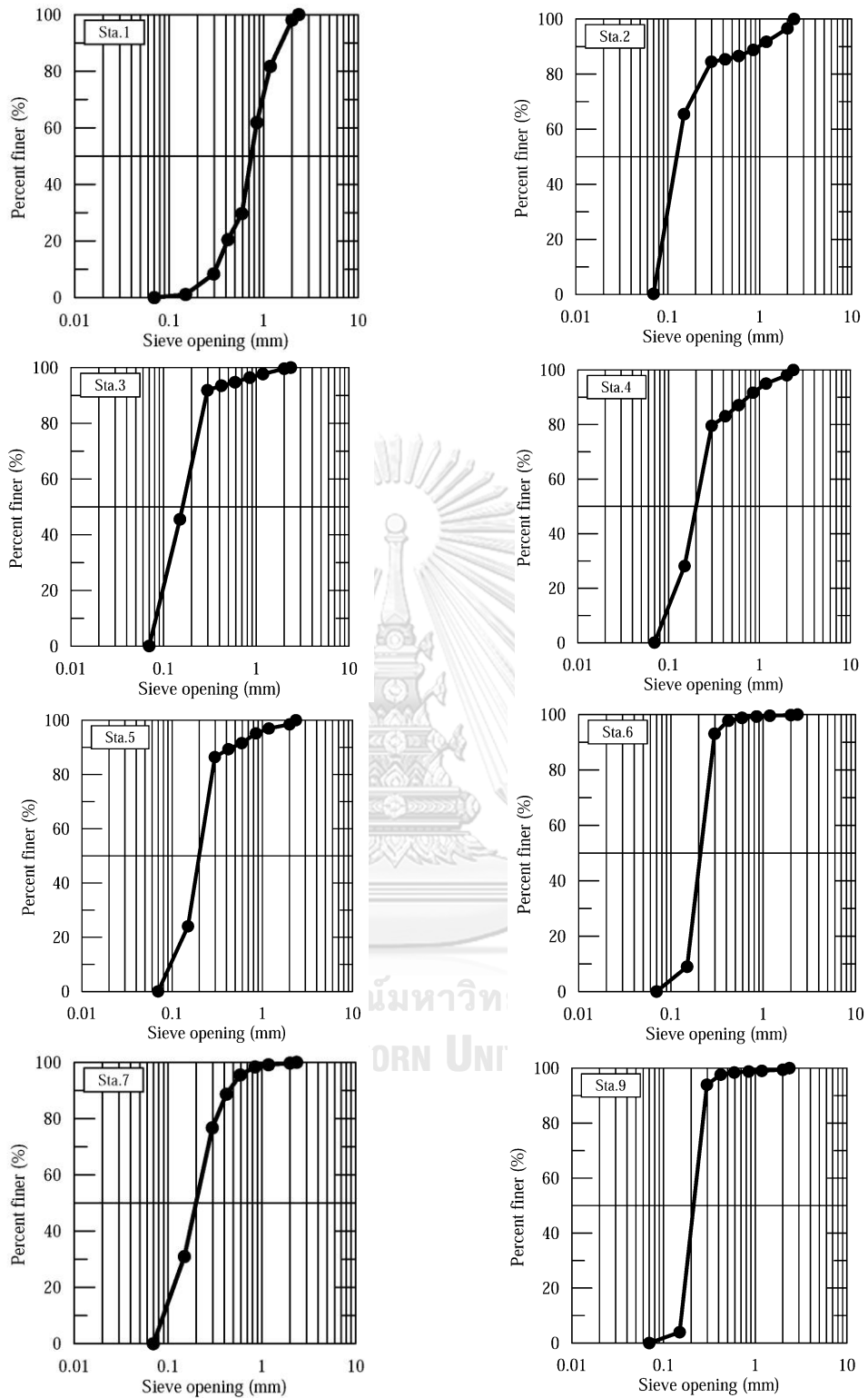
รูป ค.2 (ต่อ) กราฟการกระจายตัวของตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง ระหว่างวันที่ 21-22 กันยายน 2561



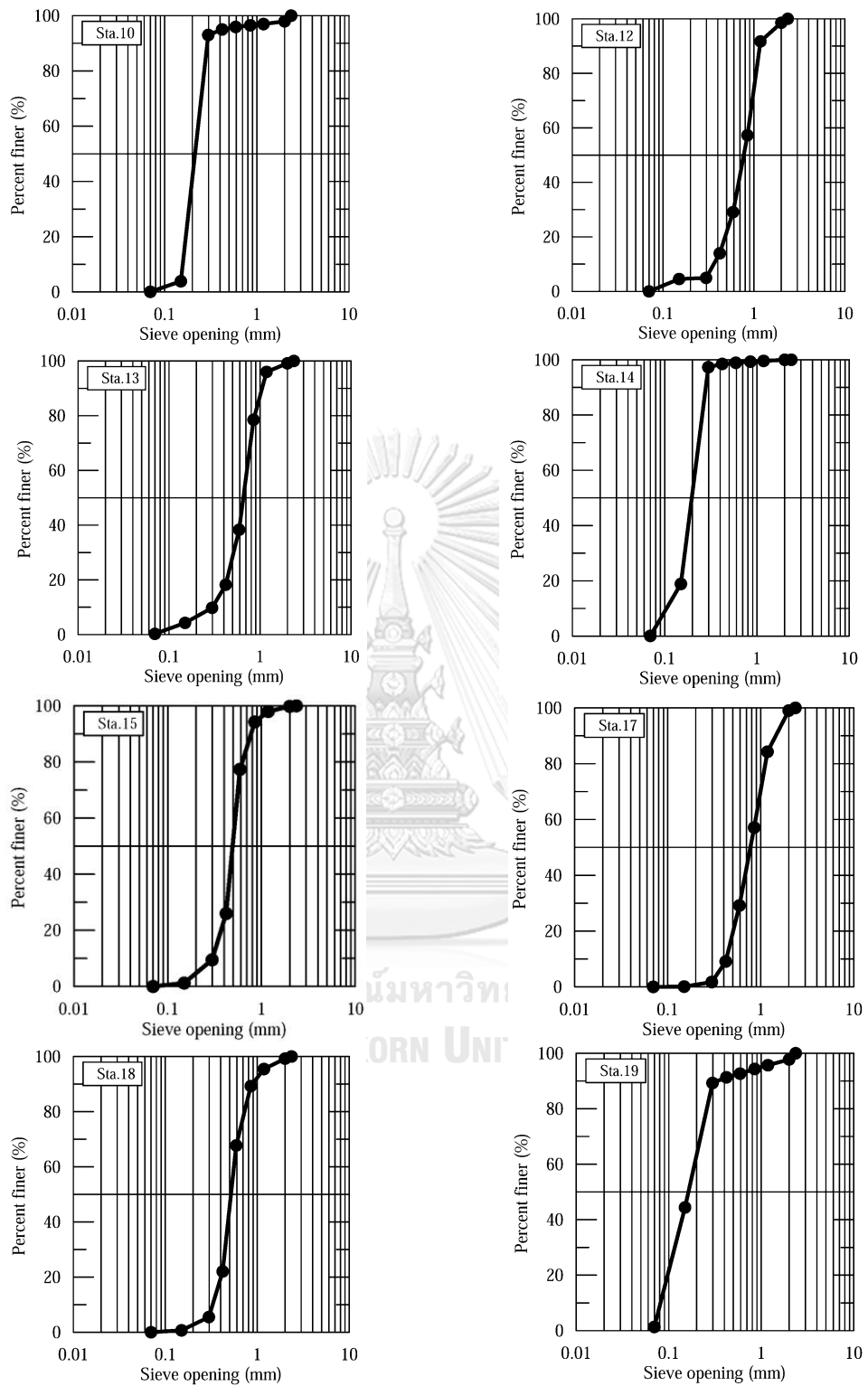
รูป ค.2 (ต่อ) กราฟการกระจายตัวของตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง ระหว่างวันที่ 21-22 กันยายน 2561



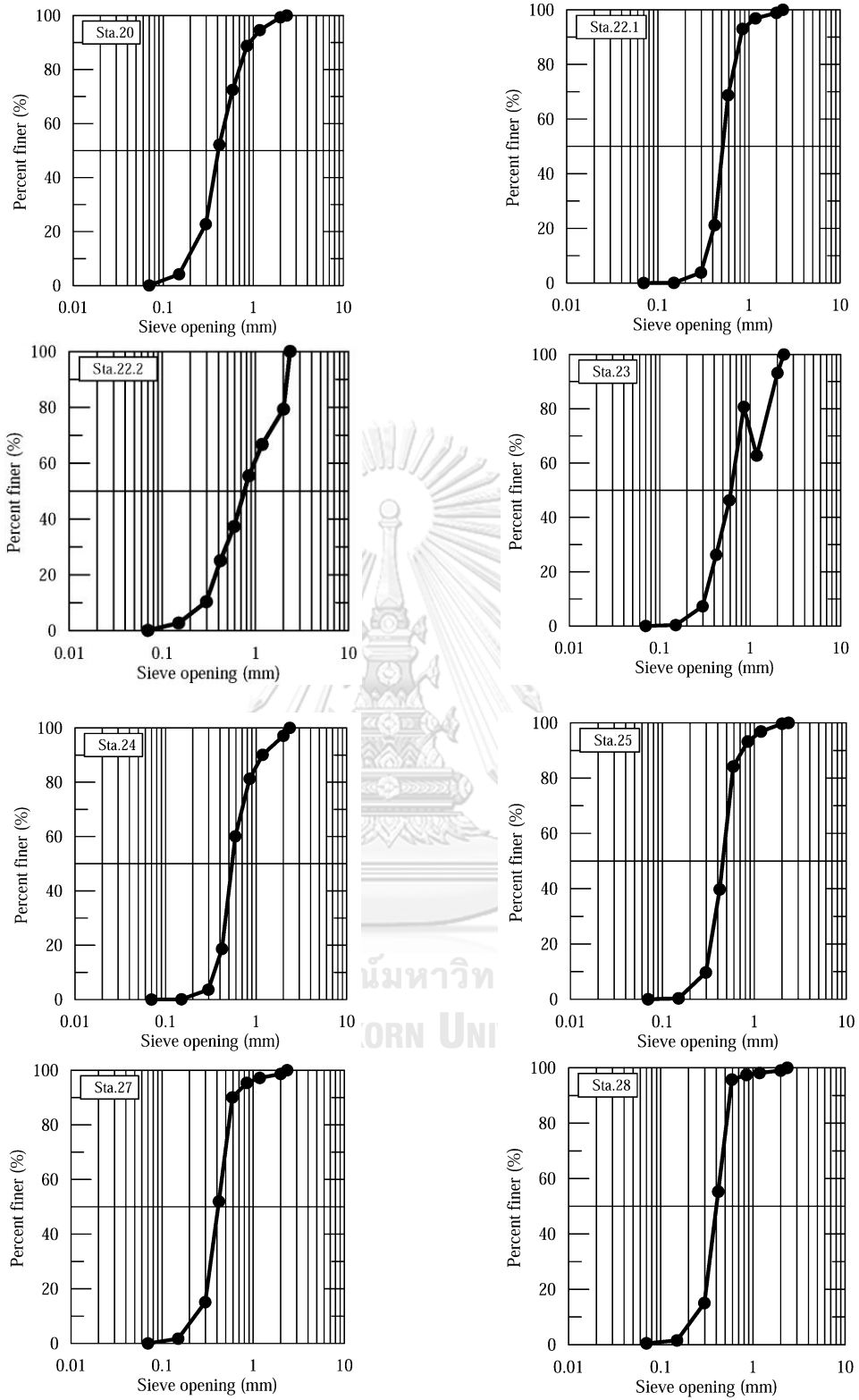
รูป ค.2 (ต่อ) กราฟการกระจายตัวของตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง ระหว่างวันที่ 21-22 กันยายน 2561



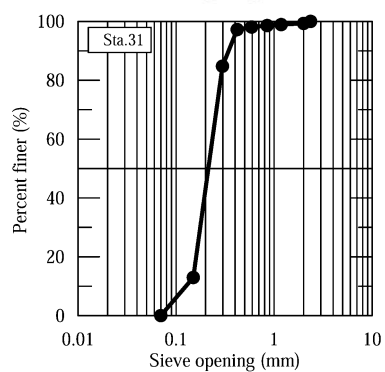
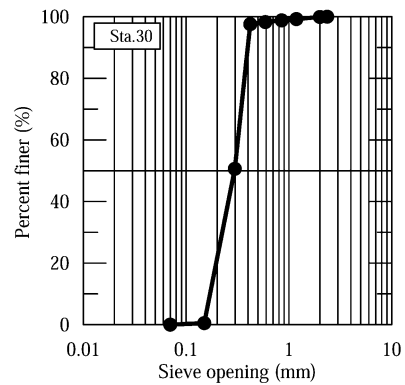
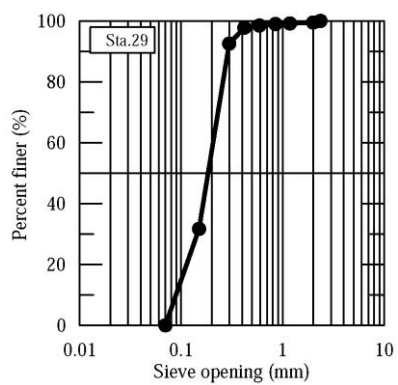
รูป ค.3 กราฟการกระจายตัวของตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง ระหว่างวันที่ 2-4 มกราคม 2561



รูป ค.3 (ต่อ) กราฟการกระจายตัวของตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง ระหว่างวันที่ 2-4 มกราคม 2561



รูป ค.3 (ต่อ) กราฟการกระจายตัวของตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง ระหว่างวันที่ 2-4 มกราคม 2561



รูป ค.3 (ต่อ) กราฟการกระจายตัวของตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง ระหว่างวันที่ 2-4 มกราคม 2561

ตาราง ค.2 คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนแนวลึก ตำแหน่ง Core 1

Core 1 Jetty N

Sample NO.	Depth (cm)		Water Content (%)	Bulk density (kg/m ³)	Dry density (kg/m ³)	Porosity	Remark
	From	To					
1	0	1	3	1202	1166	0.552	
2	1	2	3.2	1294	1252	0.518	
3	2	3	2.9	1232	1197	0.54	
4	3	4	3	1269	1232	0.526	
5	4	5	3.1	1366	1324	0.491	
6	5	6	2.7	1407	1369	0.474	
7	6	7	2.7	1337	1301	0.5	
8	7	8	2.6	1310	1277	0.509	
9	8	9	3.4	1337	1292	0.503	
10	9	10	2.8	1372	1334	0.487	
11	10	11	2.8	1352	1313	0.495	
12	11	12	3.1	1341	1298	0.501	
13	12	13	2.9	1433	1391	0.465	
14	13	14	3.1	1243	1204	0.537	
15	14	15	4.4	1311	1254	0.518	
16	15	16	3.8	1080	1039	0.6	
17	16	17	3.7	1412	1359	0.477	
18	17	18	4	1301	1248	0.52	
19	18	19	3.9	1276	1227	0.528	
20	19	20	4.6	1263	1206	0.536	
21	20	21	6.2	1289	1209	0.535	
22	21	22	5.6	1389	1312	0.496	
23	22	23	5.9	1338	1259	0.516	
24	23	24	5.7	1303	1229	0.527	
25	24	25	6.1	1629	1529	0.412	
26	25	26	6.7	1325	1235	0.525	
27	26	27	4.8	1283	1221	0.53	
28	27	28	4	1272	1220	0.531	
29	28	29	3.7	1273	1225	0.529	
30	29	30	3.6	1477	1424	0.452	
31	30	31	3.7	1229	1183	0.545	
32	31	32	3.6	1321	1273	0.511	
33	32	33	3.6	1220	1176	0.548	
34	33	34	3.7	1187	1143	0.56	
35	34	35	3.8	1353	1302	0.499	
36	35	36	3.8	1298	1248	0.52	
37	36	37	3.9	1201	1154	0.556	
38	37	38	4	1256	1205	0.536	
39	38	39	4	1335	1281	0.507	
40	39	40	3.7	1265	1219	0.531	
41	40	41	5.5	1115	1054	0.595	
42	41	42	3.7	1202	1157	0.555	
43	42	43	4.9	1299	1236	0.525	
44	43	44	3.7	1424	1371	0.473	
45	44	45	3.5	1191	1149	0.558	
46	45	46	3.3	1217	1177	0.547	
47	46	47	3.4	1177	1138	0.562	
48	47	48	3.3	1249	1208	0.535	
49	48	49	3.2	1121	1085	0.583	
50	49	50	2.7	1194	1162	0.553	
51	50	51	3.1	1340	1298	0.501	
52	51	52	3.3	1371	1326	0.49	
53	52	53	3	1263	1225	0.529	
54	53	54	3.5	1307	1262	0.515	
55	54	55	3.7	1257	1210	0.535	
56	55	56	3.8	1327	1277	0.509	
57	56	57	3.9	1372	1318	0.493	
58	57	58	3.7	1437	1384	0.468	
59	58	59	3.5	1339	1293	0.503	
60	59	60	3.7	1275	1228	0.528	
61	60	61	3.6	1418	1366	0.474	
62	61	62	3.7	1400	1348	0.482	
63	62	63	3.6	1273	1227	0.528	
64	63	64	3.4	1251	1208	0.535	
65	64	65	3.6	1346	1297	0.501	

ตาราง ค.2 (ต่อ) คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนแนวลึก ตำแหน่ง Core 1

Sample NO.	Depth (cm)		Water Content (%)	Bulk density (kg/m ³)	Dry density (kg/m ³)	Porosity	Remark
	From	To					
66	65	66	4.1	1635	1569	0.397	
67	66	67	3.6	1238	1193	0.541	
68	67	68	4.1	1280	1227	0.528	
69	68	69	4.1	1370	1314	0.495	
70	69	70	3.8	1613	1552	0.403	
71	70	71	4.2	1416	1356	0.478	
72	71	72	4.4	1116	1067	0.59	
73	72	73	5.3	1447	1370	0.473	
74	73	74	5.9	1534	1444	0.445	
75	74	75	6.2	1278	1198	0.539	
76	75	76	6.3	1396	1307	0.497	
77	76	77	6.1	1371	1288	0.505	
78	77	78	5.8	1436	1354	0.479	
79	78	79	5.5	1457	1377	0.47	
80	79	80	5.2	1424	1349	0.481	
81	80	81	5.9	1542	1451	0.442	
82	81	82	6.7	1671	1560	0.4	
83	82	83	6.4	1471	1377	0.47	
84	83	84	7.6	1512	1397	0.463	
85	84	85	7.4	1665	1542	0.407	
86	85	86	7.2	1375	1276	0.509	
87	86	87	6.5	1451	1357	0.478	
88	87	88	6.3	1410	1321	0.492	
89	88	89	7.2	1545	1433	0.449	
90	89	90	10.4	1800	1612	0.38	
91	90	91	10.3	1367	1226	0.528	
92	91	92	12.4	1525	1336	0.486	
93	92	93	14.3	1742	1493	0.426	
94	93	94	17	1701	1412	0.457	
95	94	95	14.6	1520	1298	0.501	
96	95	96	14.9	1233	1049	0.597	
97	96	97	16.4	1764	1475	0.433	
98	97	98	16.6	1664	1388	0.466	
99	98	99	16.9	1878	1560	0.4	
100	99	100	16.9	1655	1376	0.471	
101	100	101	15.2	1961	1662	0.361	
102	101	102	14.6	1632	1394	0.464	
103	102	103	14.8	1662	1416	0.455	
104	103	104	15	1674	1423	0.453	
105	104	105	14.7	1888	1611	0.38	
106	105	106	15.8	1709	1440	0.446	
107	106	107	15.8	1418	1194	0.541	
108	107	108	15.1	1740	1477	0.432	
109	108	109	15.3	1435	1215	0.533	
110	109	110	15.7	1890	1594	0.387	
111	110	111	15.4	1734	1467	0.436	
112	111	112	16.2	1871	1568	0.397	
113	112	113	16.1	1749	1467	0.436	
114	113	114	16.4	1842	1540	0.408	
115	114	115	16.1	1947	1634	0.372	

ตาราง ค.3 คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนแนวลึก ตำแหน่ง Core 2

Core 2 Breakwater

Sample NO.	Depth (cm)		Water Content (%)	Bulk density (kg/m ³)	Dry density (kg/m ³)	Porosity	Remark
	From	To					
1	0	1	5.2	1534	1453	0.441	
2	1	2	3.8	1205	1160	0.554	
3	2	3	3.2	1247	1206	0.536	
4	3	4	3.2	1271	1231	0.527	
5	4	5	3.1	1155	1119	0.57	
6	5	6	3.4	1258	1216	0.532	
7	6	7	3.9	1320	1269	0.512	
8	7	8	3.9	1401	1347	0.482	
9	8	9	4.4	1103	1055	0.594	
10	9	10	4.1	1254	1202	0.538	
11	10	11	5	1332	1265	0.513	
12	11	12	5.3	1321	1251	0.519	
13	12	13	5.7	1298	1224	0.529	
14	13	14	6	1328	1248	0.52	
15	14	15	7.1	1327	1233	0.526	
16	15	16	9	1527	1389	0.466	
17	16	17	10.2	1492	1340	0.485	
18	17	18	11.4	1613	1430	0.45	
19	18	19	9.1	1302	1183	0.545	
20	19	20	9	1530	1393	0.464	
21	20	21	8.4	1441	1320	0.492	
22	21	22	8.5	1586	1451	0.442	
23	22	23	8	1542	1419	0.454	
24	23	24	7	1493	1389	0.466	
25	24	25	5.9	1478	1390	0.465	
26	25	26	6.4	1308	1224	0.529	
27	26	27	7.5	1667	1542	0.407	
28	27	28	7.2	1350	1254	0.518	
29	28	29	7	1885	1753	0.326	
30	29	30	7	1721	1601	0.384	
31	30	31	7.3	1308	1212	0.534	
32	31	32	7.2	1574	1462	0.438	
33	32	33	5.1	1430	1358	0.478	
34	33	34	5.4	1439	1361	0.476	
35	34	35	6.1	1357	1274	0.51	
36	35	36	6.5	1410	1319	0.493	
37	36	37	7.4	1629	1508	0.42	
38	37	38	7.1	1375	1277	0.509	
39	38	39	7.7	1374	1268	0.512	
40	39	40	9.4	1386	1256	0.517	
41	40	41	10.3	1529	1371	0.473	
42	41	42	9.7	1415	1277	0.509	
43	42	43	9.8	1454	1311	0.496	
44	43	44	9.2	1476	1340	0.485	
45	44	45	10.5	1686	1508	0.42	
46	45	46	10.7	1451	1296	0.502	
47	46	47	11.8	1526	1346	0.482	
48	47	48	12.4	1515	1327	0.49	
49	48	49	13.8	990	853	0.672	
50	49	50	14.3	1501	1286	0.505	
51	50	51	14.2	1607	1379	0.47	
52	51	52	14.3	1617	1385	0.467	
53	52	53	13.5	1437	1244	0.522	
54	53	54	10.5	1405	1257	0.517	
55	54	55	11.7	1458	1287	0.505	
56	55	56	14.2	1558	1337	0.486	
57	56	57	15.1	1708	1451	0.442	
58	57	58	10.6	1693	1514	0.418	
59	58	59	8.5	1464	1340	0.485	
60	59	60	9.9	1403	1263	0.514	
61	60	61	10.5	1506	1348	0.481	
62	61	62	9.9	1702	1533	0.41	
63	62	63	8.7	1397	1275	0.51	
64	63	64	8.3	1509	1384	0.468	
65	64	65	11.1	1703	1514	0.418	

ตาราง ค.3 (ต่อ) คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนแนวลิ้น ตำแหน่ง Core 2

Core 2 Breakwater

Sample NO.	Depth (cm)		Water Content (%)	Bulk density (kg/m ³)	Dry density (kg/m ³)	Porosity	Remark
	From	To					
66	65	66	12.4	1690	1481	0.43	
67	66	67	11.9	1516	1335	0.487	
68	67	68	8.5	1611	1473	0.433	
69	68	69	7.5	1658	1534	0.41	
70	69	70	8.9	1509	1375	0.471	
71	70	71	9.4	1603	1452	0.441	
72	71	72	10.5	1586	1419	0.454	
73	72	73	11.9	1728	1523	0.414	
74	73	74	14.8	1780	1516	0.417	
75	74	75	16.3	1674	1402	0.461	
76	75	76	16.9	1799	1494	0.425	
77	76	77	17.3	1765	1459	0.439	
78	77	78	17.1	1881	1559	0.4	
79	78	79	16.3	1795	1501	0.423	
80	79	80	16.5	2007	1675	0.356	
81	80	81	16.4	1850	1547	0.405	
82	81	82	16.8	1856	1545	0.406	
83	82	83	16.9	1954	1624	0.375	
84	83	84	16.8	1955	1627	0.374	
85	84	85	16.5	1802	1505	0.421	
86	85	86	16.6	1965	1640	0.369	
87	86	87	16.7	1928	1605	0.383	
88	87	88	16.6	1876	1565	0.398	
89	88	89	15.9	1801	1515	0.417	
90	89	90	15.2	2084	1767	0.321	
91	90	91	15.4	1778	1504	0.422	
92	91	92	14.9	1917	1631	0.373	
93	92	93	15.1	1964	1668	0.358	
94	93	94	16.7	1834	1527	0.413	
95	94	95	18.4	1994	1627	0.374	
96	95	96	18.9	1894	1537	0.409	
97	96	97	19.2	1857	1500	0.423	
98	97	98	20.3	1729	1378	0.47	
99	98	99	20.1	1865	1490	0.427	
100	99	100	20	1837	1469	0.435	
101	100	101	19.3	1892	1527	0.413	
102	101	102	19.1	1973	1597	0.386	
103	102	103	17.7	1912	1573	0.395	
104	103	104	17.1	2068	1714	0.341	
105	104	105	16.9	1832	1522	0.415	
106	105	106	17.3	2005	1657	0.363	
107	106	107	17.5	1957	1615	0.379	
108	107	108	17.3	1908	1578	0.393	
109	108	109	16.4	1913	1598	0.385	
110	109	110	16.4	2076	1735	0.333	
111	110	111	16.2	2755	2309	0.112	

ตาราง ค.4 คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนแนวลึก ตำแหน่ง Core 3

Core 3 Jetty S Upper

Sample NO.	Depth (cm)		Water Content (%)	Bulk density (kg/m ³)	Dry density (kg/m ³)	Porosity	Remark
	From	To					
1	0	1	5.4	798	755	0.71	
2	1	2	4.4	1522	1455	0.44	
3	2	3	4.2	1099	1053	0.595	
4	3	4	4.5	1496	1429	0.45	
5	4	5	5.1	1253	1189	0.543	
6	5	6	5.8	1457	1373	0.472	
7	6	7	5	1363	1295	0.502	
8	7	8	4.8	1548	1473	0.433	
9	8	9	5.3	1379	1305	0.498	
10	9	10	5.3	1457	1380	0.469	
11	10	11	5.3	1556	1473	0.433	
12	11	12	5.2	1276	1209	0.535	
13	12	13	5.2	1552	1472	0.434	
14	13	14	5.2	1516	1437	0.447	
15	14	15	5.4	1589	1504	0.422	
16	15	16	5.2	1369	1298	0.501	
17	16	17	4.8	1414	1346	0.482	
18	17	18	5	1466	1393	0.464	
19	18	19	5.5	1333	1259	0.516	
20	19	20	5.6	1697	1601	0.384	
21	20	21	5.8	1596	1503	0.422	
22	21	22	5.9	1584	1491	0.427	
23	22	23	6.1	1622	1523	0.414	
24	23	24	5.9	1421	1337	0.486	
25	24	25	6.3	1573	1474	0.433	
26	25	26	6.9	1694	1576	0.394	
27	26	27	8	1577	1451	0.442	
28	27	28	9.5	1852	1676	0.355	
29	28	29	10.4	1762	1579	0.393	
30	29	30	11.7	1647	1455	0.44	
31	30	31	13	1571	1366	0.475	
32	31	32	13.8	1819	1568	0.397	
33	32	33	14.4	1856	1589	0.389	
34	33	34	13.9	1600	1377	0.47	
35	34	35	4.1	1176	1128	0.566	
36	35	36	4.8	1583	1507	0.42	
37	36	37	5	1428	1356	0.478	
38	37	38	4.7	1201	1144	0.56	
39	38	39	5	1408	1338	0.485	
40	39	40	5.5	1409	1331	0.488	
41	40	41	5.8	1350	1272	0.511	
42	41	42	5.9	1358	1277	0.509	
43	42	43	7.4	1607	1488	0.428	
44	43	44	7.7	1653	1526	0.413	
45	44	45	10.1	1466	1318	0.493	
46	45	46	12.4	1538	1347	0.482	
47	46	47	10.7	1640	1465	0.437	
48	47	48	15.2	2046	1736	0.332	
49	48	49	11.3	1334	1183	0.545	
50	49	50	8.1	1532	1408	0.459	
51	50	51	8.3	1508	1384	0.468	
52	51	52	9.9	1781	1604	0.383	
53	52	53	10	1781	1602	0.384	
54	53	54	8	1375	1265	0.513	
55	54	55	8.4	1517	1390	0.465	
56	55	56	7.5	1364	1261	0.515	
57	56	57	7.1	1324	1230	0.527	
58	57	58	10	1755	1580	0.392	
59	58	59	15.2	1719	1457	0.44	
60	59	60	16.6	2046	1706	0.344	
61	60	61	17	1648	1367	0.474	
62	61	62	17.3	1747	1445	0.444	
63	62	63	17.5	1682	1387	0.466	
64	63	64	17.4	1632	1348	0.482	
65	64	65	17.2	1527	1264	0.514	

ตาราง ค.4 (ต่อ) คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนเนวลึก ตำแหน่ง Core 3

Core 3 Jetty S Upper

Sample NO.	Depth (cm)		Water Content (%)	Bulk density (kg/m ³)	Dry density (kg/m ³)	Porosity	Remark
	From	To					
1	0	1	5.4	798	755	0.71	
2	1	2	4.4	1522	1455	0.44	
3	2	3	4.2	1099	1053	0.595	
4	3	4	4.5	1496	1429	0.45	
5	4	5	5.1	1253	1189	0.543	
6	5	6	5.8	1457	1373	0.472	
7	6	7	5	1363	1295	0.502	
8	7	8	4.8	1548	1473	0.433	
9	8	9	5.3	1379	1305	0.498	
10	9	10	5.3	1457	1380	0.469	
11	10	11	5.3	1556	1473	0.433	
12	11	12	5.2	1276	1209	0.535	
13	12	13	5.2	1552	1472	0.434	
14	13	14	5.2	1516	1437	0.447	
15	14	15	5.4	1589	1504	0.422	
16	15	16	5.2	1369	1298	0.501	
17	16	17	4.8	1414	1346	0.482	
18	17	18	5	1466	1393	0.464	
19	18	19	5.5	1333	1259	0.516	
20	19	20	5.6	1697	1601	0.384	
21	20	21	5.8	1596	1503	0.422	
22	21	22	5.9	1584	1491	0.427	
23	22	23	6.1	1622	1523	0.414	
24	23	24	5.9	1421	1337	0.486	
25	24	25	6.3	1573	1474	0.433	
26	25	26	6.9	1694	1576	0.394	
27	26	27	8	1577	1451	0.442	
28	27	28	9.5	1852	1676	0.355	
29	28	29	10.4	1762	1579	0.393	
30	29	30	11.7	1647	1455	0.44	
31	30	31	13	1571	1366	0.475	
32	31	32	13.8	1819	1568	0.397	
33	32	33	14.4	1856	1589	0.389	
34	33	34	13.9	1600	1377	0.47	
35	34	35	4.1	1176	1128	0.566	
36	35	36	4.8	1583	1507	0.42	
37	36	37	5	1428	1356	0.478	
38	37	38	4.7	1201	1144	0.56	
39	38	39	5	1408	1338	0.485	
40	39	40	5.5	1409	1331	0.488	
41	40	41	5.8	1350	1272	0.511	
42	41	42	5.9	1358	1277	0.509	
43	42	43	7.4	1607	1488	0.428	
44	43	44	7.7	1653	1526	0.413	
45	44	45	10.1	1466	1318	0.493	
46	45	46	12.4	1538	1347	0.482	
47	46	47	10.7	1640	1465	0.437	
48	47	48	15.2	2046	1736	0.332	
49	48	49	11.3	1334	1183	0.545	
50	49	50	8.1	1532	1408	0.459	
51	50	51	8.3	1508	1384	0.468	
52	51	52	9.9	1781	1604	0.383	
53	52	53	10	1781	1602	0.384	
54	53	54	8	1375	1265	0.513	
55	54	55	8.4	1517	1390	0.465	
56	55	56	7.5	1364	1261	0.515	
57	56	57	7.1	1324	1230	0.527	
58	57	58	10	1755	1580	0.392	
59	58	59	15.2	1719	1457	0.44	
60	59	60	16.6	2046	1706	0.344	
61	60	61	17	1648	1367	0.474	
62	61	62	17.3	1747	1445	0.444	
63	62	63	17.5	1682	1387	0.466	
64	63	64	17.4	1632	1348	0.482	
65	64	65	17.2	1527	1264	0.514	

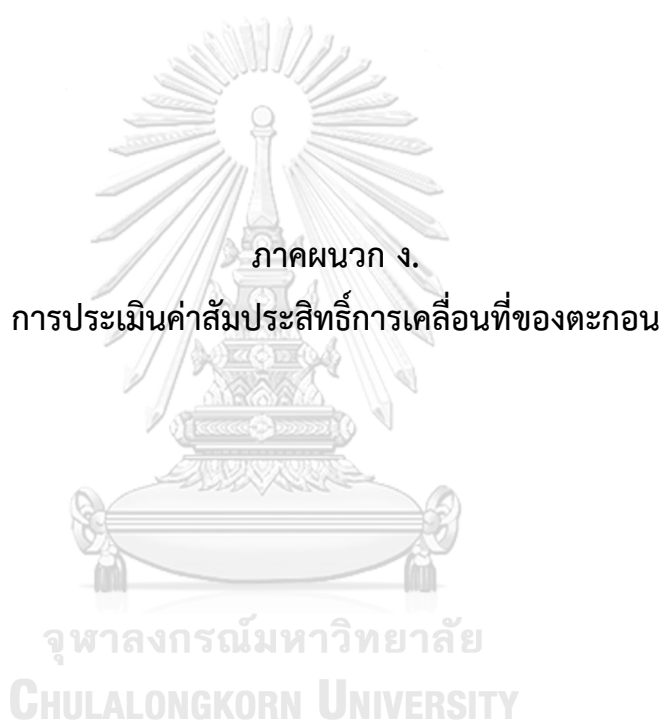
ตาราง ค.5 คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนแนวลึก ตำแหน่ง Core 4

Core 4		Jetty S Upper		Water Content (%)	Bulk density (kg/m ³)	Dry density (kg/m ³)	Porosity	Remark
Sample NO.	Depth (cm)							
	From	To						
1	0	1	6.2	1113	1043	0.599		
2	1	2	4.3	1389	1329	0.489		
3	2	3	3.1	1476	1431	0.45		
4	3	4	2.6	1102	1073	0.587		
5	4	5	3	1329	1289	0.504		
6	5	6	2.8	1337	1299	0.5		
7	6	7	3.2	1270	1230	0.527		
8	7	8	3.6	1288	1242	0.522		
9	8	9	3.6	1324	1276	0.509		
10	9	10	3.5	1488	1436	0.448		
11	10	11	3.5	1314	1269	0.512		
12	11	12	2.9	1634	1585	0.39		
13	12	13	3	1791	1737	0.332		
14	13	14	3.3	1515	1465	0.437		
15	14	15	3.3	1714	1658	0.362		
16	15	16	2.9	1541	1496	0.425		
17	16	17	3.4	1575	1522	0.414		
18	17	18	3.5	1714	1654	0.364		
19	18	19	3.9	1526	1467	0.436		
20	19	20	4.1	1893	1815	0.302		
21	20	21	4	1666	1599	0.385		
22	21	22	4.2	1673	1603	0.384		
23	22	23	4.1	1754	1682	0.353		
24	23	24	3.7	1419	1366	0.475		
25	24	25	3.7	1607	1547	0.405		
26	25	26	4.3	1389	1329	0.489		
27	26	27	3.8	1741	1675	0.356		
28	27	28	4.1	1741	1669	0.358		
29	28	29	4.3	1570	1501	0.423		
30	29	30	6.9	1542	1436	0.448		
31	30	31	4.2	1736	1663	0.361		
32	31	32	3.8	1664	1600	0.385		
33	32	33	4.2	1500	1437	0.447		
34	33	34	5	1725	1638	0.37		
35	34	35	4.6	1485	1416	0.455		
36	35	36	4.6	1373	1310	0.496		
37	36	37	5	1399	1328	0.489		
38	37	38	5.7	1503	1417	0.455		
39	38	39	5.4	1209	1144	0.56		
40	39	40	4.2	1457	1395	0.463		
41	40	41	4.3	1329	1272	0.511		
42	41	42	4.8	1666	1587	0.39		
43	42	43	6	1513	1423	0.453		
44	43	44	5.8	1454	1369	0.474		
45	44	45	7.1	1528	1419	0.454		
46	45	46	8.1	1486	1365	0.475		
47	46	47	9.7	1316	1189	0.543		
48	47	48	11.3	1540	1366	0.475		
49	48	49	11.6	1329	1174	0.548		
50	49	50	15.1	1803	1531	0.411		
51	50	51	14.2	1410	1210	0.535		
52	51	52	12.7	1910	1667	0.359		
53	52	53	9.7	948	856	0.671		
54	53	54	19.5	1500	1208	0.535		
55	54	55	18.2	2025	1657	0.363		
56	55	56	16.6	1695	1413	0.456		
57	56	57	14.3	1475	1264	0.514		
58	57	58	10.8	1625	1449	0.443		

ตาราง ค.5 (ต่อ) คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนแนวลึก ตำแหน่ง Core 4

Core 4 Jetty S Upper

Sample NO.	Depth (cm)		Water Content (%)	Bulk density (kg/m ³)	Dry density (kg/m ³)	Porosity	Remark
	From	To					
59	58	59	9.5	1617	1463	0.437	
60	59	60	9.3	1580	1433	0.449	
61	60	61	10.5	1646	1473	0.433	
62	61	62	10.3	1527	1369	0.473	
63	62	63	9.7	1552	1402	0.461	
64	63	64	9.2	1802	1637	0.37	
65	64	65	8.4	1297	1188	0.543	
66	65	66	10.7	1721	1537	0.409	
67	66	67	11	1561	1389	0.466	
68	67	68	10.5	1415	1267	0.513	
69	68	69	11.7	1929	1703	0.345	
70	69	70	10.2	1456	1307	0.497	
71	70	71	15	1724	1466	0.436	
72	71	72	14.5	1911	1633	0.372	
73	72	73	17.3	1780	1473	0.434	
74	73	74	15.2	1751	1485	0.429	
75	74	75	18.3	1800	1471	0.434	
76	75	76	19.1	1833	1484	0.429	
77	76	77	18.1	1841	1507	0.42	
78	77	78	15.9	1872	1575	0.394	
79	78	79	14.2	1886	1619	0.377	
80	79	80	15.8	2168	1825	0.298	
81	80	81	13.3	1889	1637	0.371	
82	81	82	13.9	1726	1486	0.429	
83	82	83	15.1	2040	1733	0.334	
84	83	84	15.5	1895	1601	0.384	
85	84	85	14	1818	1564	0.399	
86	85	86	14.5	1919	1642	0.369	
87	86	87	19.7	1927	1548	0.405	
88	87	88	20.5	2118	1684	0.352	
89	88	89	21.2	1833	1444	0.444	
90	89	90	20.2	1691	1349	0.481	
91	90	91	11.6	2276	2013	0.226	
92	91	92	14.1	1697	1457	0.44	
93	92	93	17.8	1972	1621	0.376	
94	93	94	19.3	619	500	0.808	



ภาคผนวก ง.

การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอนสำหรับแบบจำลอง GENESIS

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง Generalized Model for Simulating Shoreline Change (GENESIS) จำเป็นต้องประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของตะกอน (K_1 , K_2) ให้ได้ค่าที่เหมาะสมก่อนนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้จำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งตามเงื่อนไขในกรณีต่าง ๆ โดยค่า K_1 เป็นค่าคงที่สำหรับการเคลื่อนที่ของมวลทรายเนื่องจากคลื่น ส่วนค่า K_2 เป็นค่าคงที่สำหรับการเคลื่อนที่ของมวลทรายเนื่องจากกระแสน้ำชายฝั่ง ในการศึกษาได้ประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของตะกอน (K_1 , K_2) แบ่งเป็นกรณีก่อนและหลังมีโครงการเขื่อนกันทรายและคลื่นฯ รายละเอียดดังต่อไปนี้

ง.1 ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้การเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งก่อนมีโครงสร้าง

การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของตะกอน (K_1 , K_2) ก่อนมีการทำโครงการ เป็นการศึกษาในกรณีศึกษา 1.1 ในการจำลองได้กำหนดค่า K_2 คงที่ เท่ากับ 0 และผันแปรค่า $K_1=0.4$, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 โดยกำหนดให้แนวชายฝั่งปี 2510 (ค.ศ. 1967) เป็นปีเริ่มต้นของการสร้างแบบจำลอง และกำหนดให้แนวชายฝั่งในปี 2526 (ค.ศ. 1983) และ 2537 (ค.ศ.1994) เป็นแนวชายฝั่งสำหรับการสอบเทียบมาตรฐาน (calibration) และทวนสอบ (verification) ตามลำดับ

ผลการสอบเทียบมาตรฐาน

ผลการสอบเทียบมาตรฐานพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 16 ปี (ปี 2510-2526/ ค.ศ. 1967-1983) แนวชายฝั่งมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนระหว่าง 0-24.5% ผลทำนายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและค่าความคลาดเคลื่อนของแนวชายฝั่งทำนายกับแนวชายฝั่งจริงที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศ ดังแสดงในตาราง ง.1 โดยผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ได้จากการทำนายที่ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เหมือนกัน ผลจากแบบจำลองชี้ให้เห็นว่า แนวชายฝั่งทำนายที่ด้านเหนือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าแนวชายฝั่งจริง ตรงข้ามกับชายฝั่งด้านใต้ที่ให้ผลการเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่เกิดขึ้นจริง ดังแสดงในรูป ง.1ก และเนื่องจากค่าปรับแก้ K_1 ที่นำเข้าไปในแบบจำลอง ไม่ส่งผลให้ชายฝั่งเปลี่ยนแปลงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในการศึกษาจึงเลือกใช้ค่า $K_1=0.5$ ตามผลการศึกษาในรายงานของ U.S. Army Corps of Engineers (2002b) ซึ่งระบุว่าค่าสัมประสิทธิ์อัตราเคลื่อนที่ของตะกอนมีความสัมพันธ์กับขนาดของตะกอน เมื่อพิจารณาขนาดตะกอนที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ($d_{50}=0.4$) จะได้ค่า K_1 ประมาณ 0.5 และสมมติให้ค่า $K_2=0$ (เนื่องจากไม่มีผลของอิทธิพลอื่น ๆ เช่นการหักเหของคลื่นเนื่องจากโครงสร้าง) จะได้ค่า

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนสูงสุดในปี 2526 (ค.ศ. 1983) เท่ากับ 5.5% และ 23.8%

ผลการทวนสอบ

ผลทวนสอบโดยใช้ค่า $K1$ ประมาณ 0.5 และค่า $K2=0$ ที่ได้จากการสอบเทียบมาตรฐาน และ ยังได้ทดลองเปลี่ยนแปลงค่า $K1=0.4, 0.6, 0.7$ และ 0.8 เพิ่มเติม ดังแสดงในตาราง ง.1 และ รูป ง.1 ข พบว่า ชายฝั่งของทุกกรณีมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกัน โดยชายฝั่งด้านเหนือ ผลจากแบบจำลองมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่าแนวชายฝั่งจริง ตรงข้ามกับชายฝั่งด้านใต้ที่ให้ผลการเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่เกิดขึ้นจริง และปีที่ 27 (ปี 2537/ ค.ศ. 1994) มีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0-25.1% โดยในกรณีที่ $K1=0.5$ และค่า $K2=0$ มีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนสูงสุดเพียง 8.4% และ 24% ตามลำดับ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของตะกอนที่เหมาะสมก่อนมีโครงการเท่ากับ $K1=0.5$ และค่า $K2=0$

ง.2 ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้การเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งหลังมีโครงสร้าง

การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของตะกอน ($K1, K2$) หลังมีการทำโครงการ เป็นการศึกษาในกรณีศึกษา 2.3 เพื่อประเมินค่าปรับแก้ $K2$ เนื่องจากมีการจำลองโครงสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่น และเขื่อนกันคลื่นแยก ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ ในการจำลองได้กำหนดให้ปี 2541 (ค.ศ. 1998) เป็นปีเริ่มต้นในการสร้างแบบจำลองแนวชายฝั่งปราณบุรีหลังมีการก่อสร้างโครงการ โดยมีแนวชายฝั่งปี 2552 (ค.ศ. 2009) และปี 2561 (ค.ศ. 2018) สำหรับการสอบเทียบมาตรฐาน (calibration) และทวนสอบ (verification) ตามลำดับ ดังนี้

ผลการสอบเทียบมาตรฐาน

การสอบเทียบมาตรฐานของแบบจำลองได้กำหนดให้ $K1$ มีค่าเท่ากับ 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, และ 0.8 และ $K2=0$ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 11 ปี (ปี 2541-2552/ ค.ศ. 1998-2009) ชายฝั่งด้านเหนือมีการสะสมของตะกอน แนวชายฝั่งงอกออกไปในทะเล เมื่อค่า $K1$ สูงขึ้นระยะการเคลื่อนที่ของชายฝั่งจะมีค่ามากขึ้น (ตาราง ง.2) กล่าวคือชายฝั่งสะสมตัวจะมีระยะยื่นออกไปในทะเลมากขึ้น ในขณะที่ชายฝั่งกัดเซาะจะมีระยะถดถอยเข้ามาในแผ่นดินมากขึ้น (รูป ง.2ก) โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นตามค่า $K1$ โดยที่ $K1$ เท่ากับ 0.4 มีความคลาดเคลื่อนระหว่าง 0.1-26.2% ในขณะที่ $K1$ เท่ากับ 0.8 มีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง 0.3-33.3%

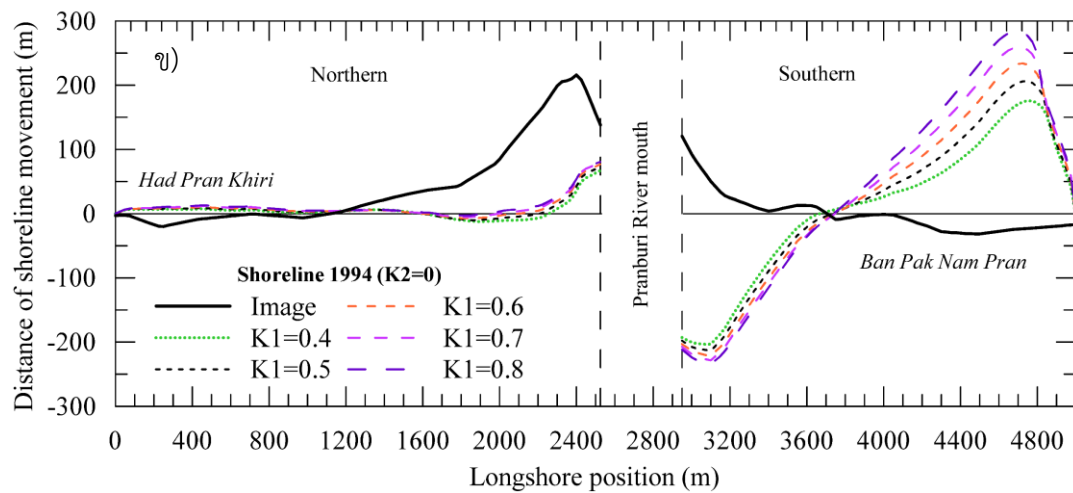
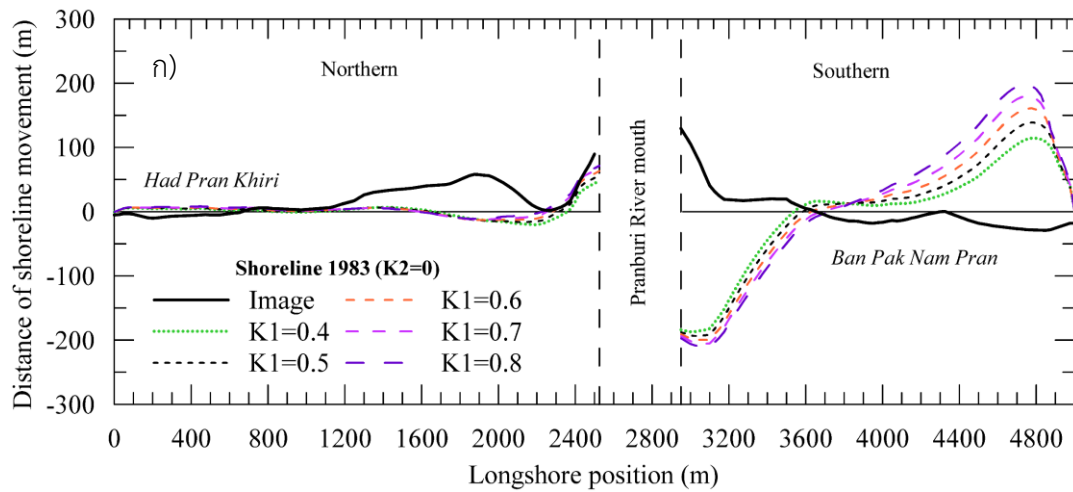
เนื่องจากช่วงของร้อยละของความคลาดเคลื่อนสำหรับค่า K_1 ระหว่าง 0.4-0.8 มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ค่า $K_1=0.5$ เช่นเดียวกับการศึกษาในกรณีศึกษา 1.1 และให้ค่า K_1 เป็นค่าคงที่ จากนั้นจึงพิจารณาค่า K_2 โดยเปลี่ยนแปลงค่า K_2 ระหว่าง 0.1-0.9 ได้ผลดังตาราง ง.3 พบว่า ที่ค่า K_2 ต่าง ๆ จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคงเดิม และไม่มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ (รูป ง.2ข) โดยมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งแตกต่างกันน้อยกว่า 1 ม. อย่างไรก็ตามอ้างอิงจากรายงานวิชาการของแบบจำลอง GENESIS (U.S. Army Corps of Engineers, 1989) ระบุว่าค่า K_2 ควรมีค่าระหว่าง $0.5K_1$ ถึง $1.0K_1$ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ค่า $K_1=0.5$ และ $K_2=0.3$

ผลการทวนสอบ

การทวนสอบได้พิจารณาจากผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเมื่อเวลาผ่านไป 20 ปี โดยใช้ค่า K_1 เท่ากับ 0.5 และ $K_2=0.3$ ได้จากการสอบเทียบมาตรฐาน และยังได้ทดลองจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่า K_2 เท่ากับ 0.1, 0.5, 0.7 และ 0.9 ผลสรุปดังตาราง ง.4 พบว่าระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและร้อยละของความคลาดเคลื่อนไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ (รูป ง.3) โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ในช่วง 9.6-9.9% และ 32.2-32.6% ตามลำดับ โดยในกรณีที่ $K_1=0.5$ และค่า $K_2=0.3$ มีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนสูงสุดเพียง 9.7% และ 32.5% ตามลำดับ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ค่า $K_1=0.5$ และ $K_2=0.3$ ในการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในกรณีต่าง ๆ

ตาราง ง.1 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในการนิศึกษา 1.1 ที่ค่า K1 เท่ากับ 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, และ 0.8 (กำหนดให้ K2=0)

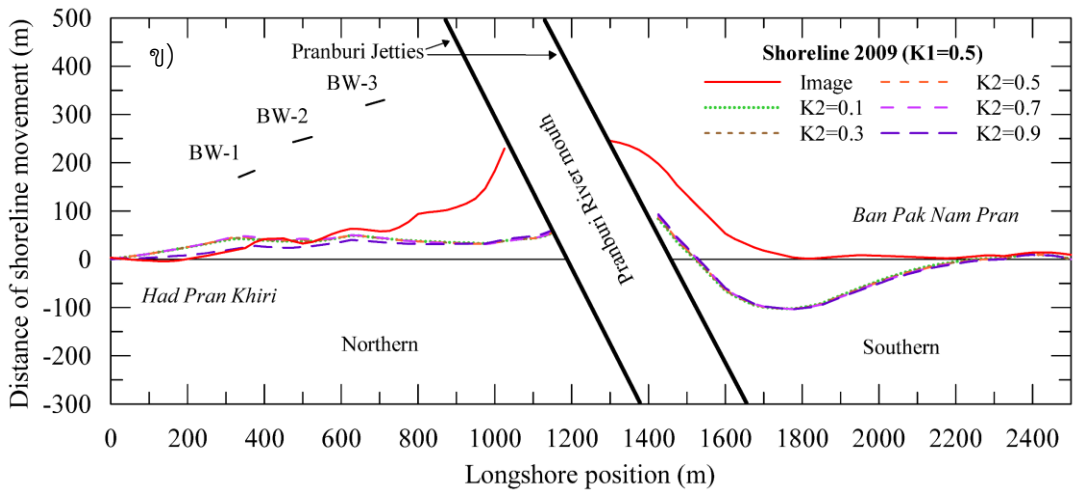
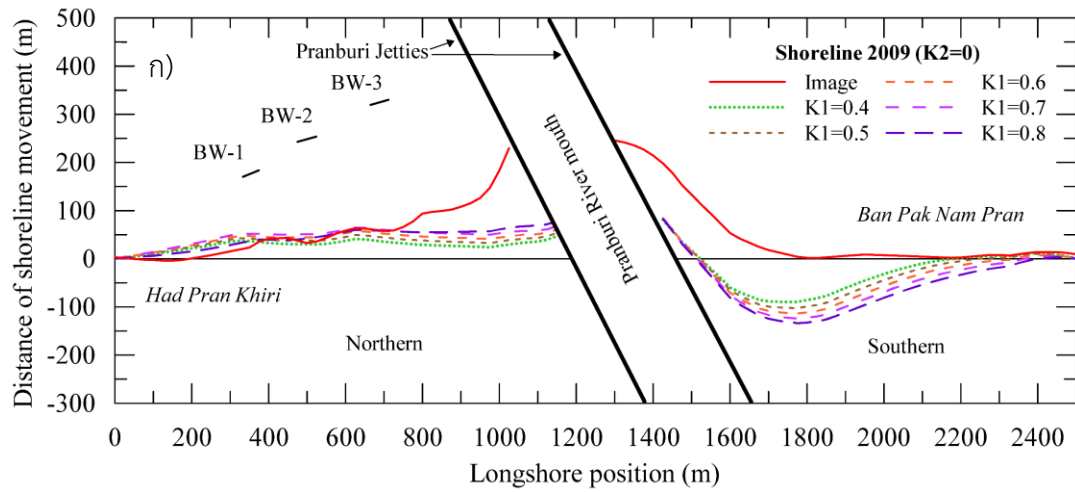
Data	1983										1994										
	GENESIS					Images					GENESIS					Images					
	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8						0.4	0.5	0.6	0.7	0.8						
K1	183	183	183	183	183	-	-	0.4	0.7	0.8	-	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	-	-	-	-	-
Number of data	183	183	183	183	183	-	-	183	183	183	-	183	183	183	183	183	-	-	-	-	-
Number of inverted shoreline direction	135	130	132	131	130	-	-	119	137	148	-	137	148	150	150	150	-	-	-	-	-
Area change (ha)																					
Recession area	7.3	7.8	8.3	8.7	9.1	2.4	2.4	8.6	9.3	10.2	3.1	9.3	9.8	10.2	10.5	10.5	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
Accretion area	7.2	8.9	10.5	12.1	13.7	7.4	7.4	11.7	14.4	17.0	13.6	14.4	17.0	19.4	21.8	21.8	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6
Total	14.5	16.7	18.8	20.9	22.8	9.9	9.9	20.3	23.7	29.6	16.7	23.7	26.9	29.6	32.3	32.3	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7
Shoreline recession (m)																					
Max	-186.9	-193.4	-199.4	-205.2	-210.8	-28.8	-28.8	-203.7	-213.2	-228.5	-31.8	-213.2	-221.5	-228.5	-234.7	-234.7	-31.8	-31.8	-31.8	-31.8	-31.8
Mean	-51.7	-60.8	-62.1	-64.1	-65.8	-12.4	-12.4	-64.5	-66.9	-77.4	-12.7	-66.9	-77.4	-91.2	-102.9	-102.9	-12.7	-12.7	-12.7	-12.7	-12.7
Min	-0.1	-0.4	-0.04	-0.04	-0.1	-1.1	-1.1	-0.8	-0.4	0.0	-0.5	-0.4	0.0	-0.6	-0.2	-0.2	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
SD	66.0	70.7	73.5	75.9	78.3	8.3	8.3	75.4	79.5	84.4	10.1	79.5	84.4	88.2	90.7	90.7	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Shoreline accretion (m)																					
Max	114.6	139.2	161.0	180.4	198.7	129.9	129.9	175.8	206.3	233.9	215.9	206.3	233.9	259.5	284.4	284.4	215.9	215.9	215.9	215.9	215.9
Mean	23.1	27.3	32.9	38.6	43.6	28.0	28.0	36.5	45.6	51.7	62.5	45.6	51.7	56.7	61.9	61.9	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
Min	0.04	0.4	0.8	0.9	0.5	0.4	0.4	0.1	0.4	0.1	0.3	0.4	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
SD	31.5	38.6	45.7	52.4	58.7	25.8	25.8	50.8	61.5	70.6	64.0	61.5	70.6	78.6	86.2	86.2	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0
Percent error																					
Max	23.5	23.8	24.0	24.2	24.5	-	-	23.6	24.0	24.4	-	24.0	24.4	24.7	25.1	25.1	-	-	-	-	-
Mean	5.2	5.5	5.8	6.1	6.4	-	-	7.9	8.4	8.9	-	8.4	8.9	9.4	9.7	9.7	-	-	-	-	-
Min	0.01	0.2	0.03	0.1	0.06	-	-	0.1	0.1	0.01	-	0.1	0.01	0.04	0.01	0.01	-	-	-	-	-
SD	4.4	4.7	5.0	5.2	5.4	-	-	6.2	6.2	6.3	-	6.2	6.3	6.5	6.8	6.8	-	-	-	-	-



รูป ง.1 แนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลอง GENESIS ที่ค่า K1 ระหว่าง 0.4-0.8, K2=0 เทียบกับชายฝั่งจากภาพถ่าย (Image) ใน ก) ปี 2526 (ค.ศ.1983) และ ข) ปี 2537 (ค.ศ.1994)

ตาราง ง.2 ผลเปรียบเทียบระหว่างแนวชายฝั่งทำนายจาก GENESIS (กรณีศึกษา 2.3) กับแนวชายฝั่งจากภาพถ่ายในปี 2552 (ค.ศ. 2009) ที่ค่า K1=0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ K2=0

Year 2009	Shoreline movement (m)					Percent error					
	K1	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
Max		58.6	60.1	60.7	67.5	78.2	26.2	25.9	28.5	31.0	33.3
Mean		1.7	1.6	1.2	0.6	-5.2	8.9	9.1	9.5	10.2	11.0
Min		-89.8	-102.7	-114.1	-124.4	-134.0	0.1	0.2	0.4	0.1	0.3
SD		39.7	46.8	53.6	60.3	63.5	6.8	7.1	7.5	7.9	8.1



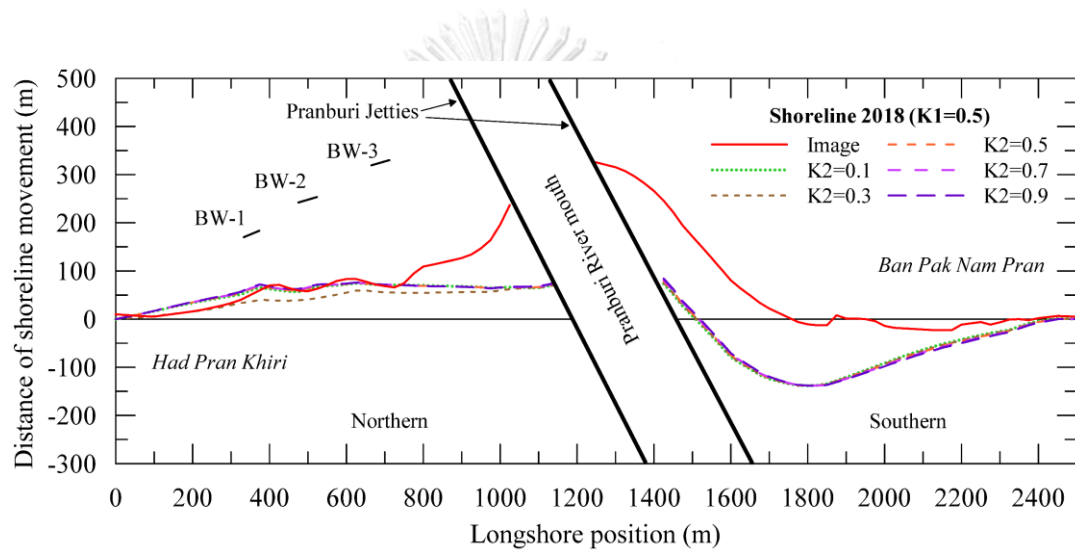
รูป ง.2 ก) แนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลอง GENESIS ที่ค่า K1 ระหว่าง 0.4-0.8, K2=0 และ ข) K1=0.5, K2 ระหว่าง 0.1-0.9 เทียบกับชายฝั่งจากภาพถ่าย (Image) ในปี 2552 (ค.ศ.2009)

ตาราง ง.3 ผลเปรียบเทียบระหว่างแนวชายฝั่งทำนายจาก GENESIS (กรณีศึกษา 2.3) กับแนวชายฝั่งจากภาพถ่ายในปี 2552 (ค.ศ.2009) ที่ K1=0.5 และ K2= 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, และ 0.9

Year 2009 K2	Shoreline movement (m)					Percent error				
	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
Max	60.1	62.4	64.8	67.2	69.6	25.9	26.0	26.1	26.1	26.1
Mean	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	9.1	9.2	9.3	9.3	9.4
Min	-102.7	-103.1	-103.3	-103.6	-103.9	0.2	0.4	0.1	0.5	0.0
SD	46.8	47.0	47.3	47.7	48.1	7.1	7.2	7.2	7.2	7.2

ตาราง ง.4 ผลเปรียบเทียบระหว่างแนวชายฝั่งทำนายจาก GENESIS (กรณีศึกษา 2.3) กับแนวชายฝั่งจากภาพถ่ายในปี 2561 (ค.ศ. 2018) ที่ $K1=0.5$ และ $K2= 0.1, 0.3, 0.5, 0.7,$ และ 0.9

Year 2018 K2	Shoreline movement (m)					Percent error				
	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
Max	74.9	75.3	76.2	77.8	78.3	32.6	32.5	32.4	32.4	32.2
Mean	-0.7	-0.6	-0.6	-0.4	-0.2	9.6	9.7	9.8	9.9	9.9
Min	-137.9	-137.9	-137.9	-137.9	-138.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
SD	70.7	71.1	71.5	71.9	72.4	8.0	7.9	7.9	7.9	7.8



รูป ง.3 แนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลอง GENESIS ที่ค่า $K2$ ระหว่าง 0.1-0.9 เทียบกับชายฝั่งจากภาพถ่าย (Image) ในปี 2561 (ค.ศ.2018)



ภาคผนวก จ.

บทความตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



Article

Impacts of Long Jetties Construction on Shoreline Change at the Western Coast of the Gulf of Thailand

Nathamon Phanomphongphaisarn.^{1,2,a}, Chaipant Rukvichai^{1,b}, and Butsawan Bidorn^{1,2,c,*}

¹ Department of Water Resource Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

² WISE Research Unit, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

E-mail: ^anathamon.p@student.chula.ac.th, ^bchaipant1@hotmail.com, ^cbutsawan.p @chula.ac.th
(Corresponding author)

Abstract. Pranburi Jetties, a pair of long jetties with a length of 800 m and 860 m, have been constructed at the Pranburi River inlet, located on the western coast of the Gulf of Thailand since 1999 to stabilize the river mouth. The purposes of this study were to evaluate the responses of shoreline due to the construction of Pranburi Jetties, and the accuracy of the One-Line model (OLM) on predicting the shoreline change due to construction. Based on the shoreline positions retrieving from aerial photographs and satellite imagery during 1967-2018, the difference in shoreline evolution before and after the construction of the jetties was evaluated using ArcGIS and Digital Shoreline Analysis System. The predicted shorelines using the One-Line model were compared with the image-analyzed shorelines for evaluating the accuracy of the model. The results indicated that the construction of Pranburi Jetties had caused the shoreline accretion at the vicinity of the jetties with the maximum accretion of up to 300 m in 2018. The land growth of 16.2 and 9 ha took place at the northern and southern coasts, respectively. The percentage of errors between the predicted and the image-analyzed shoreline varied from 2 to 13,000 percent with an average of 250 percent. Misprediction in shoreline change using a numerical model caused unnecessary construction of three detached breakwaters at the northern coast of the jetty.

Keywords: Coastal structure, shoreline change, sediment characteristics, One-Line model, monitoring.

ENGINEERING JOURNAL Volume 24 Issue 4

Received 8 February 2020

Accepted 24 March 2020

Published 31 July 2020

Online at <https://engj.org/>

DOI:10.4186/ej.2020.24.4.1

1. Introduction

Coastal structures are constructed along coastal zones for many purposes, such as to control wave and storm surge action and to stabilize a beach. They are also crucial to the establishment of safe and efficient navigation channels and harbor areas [1]. Jetties are common structures built parallel to the inlet channels to channelize an inlet's tidal flow and to reduce the shoaling of the channel by littoral material [2], [3]. The presence of a jetty may alter hydrodynamic regimes, and sediment erosion and/or deposition are consequently created or redistributed. Therefore, the monitoring of jetties' performance in protecting navigation and their impact on their surrounding are technically required. Additionally, projects with new designs or projects designed with the aid of mathematical or hydraulic model studies should be monitored to provide prototype verification of model studies [3].

Most coastal structures receive some monitoring, which may consist of a periodic site visit, accurate surveys, or observation of environment factors [3], [4]. Results from a monitoring program technically provide information on the need for future maintenance and the modification of the project. Nevertheless, the information will be useful for designing future similar structures, so monitoring program is quite common in engineering works worldwide [3]-[10]. In Thailand, many coastal structures have been employed by either public authorities or private sectors during the past half-century. The structures have been used to protect the assets and to reduce the threats from coastal erosion and flooding. However, the monitoring of the coastal project in Thailand has rarely been documented. [11].

The Pranburi Inlet is one of the most important locations for a fishery in Prachuap Khiri Khan Province, which is located in the western part of the Gulf of Thailand (Fig. 1). The Pranburi River mouth had experienced a shoaling of the navigation channel due to river sediment and longshore sediment transport deposited at the river mouth. This shoaling had to render continuous dredging with a cost of about 80,000 USD/year. To stabilize the Pranburi navigation channel. The Pranburi Jetties Project was developed by the Marine Department [12], and the construction of the jetties was completed in 1999.

In the design process of the Pranburi Jetties project, the One-Line numerical model [13], [14], were used to predict the impact of the designed jetties on shoreline change of the Pranburi Coast. The required data for the model simulation mainly consisted of wind and wave characteristics, initial shoreline, bathymetry, sediment transport data, and the dimension of the design structure [13]. However, with the limitations of the One-Line model itself and the quality and quantity of available input data,

the predicted shoreline response due to the design jetty may contain uncertainty to some extent.

Up to the present, the One-Line model is still widely used as a standard method for studying the shoreline response due to coastal development projects in Thailand [15]-[17]. The monitoring of the Pranburi Jetties project that has been operated for two decades may contribute some useful information to improve coastal planning and development in Thailand. The objectives of this paper are i) to evaluate the impacts of the Pranburi Jetties on shoreline change and ii) to assess the accuracy of the One-Line model on predicting the shoreline change due to the construction of the Pranburi Jetties. The results of this study can be used to improve not only coastal engineering design, planning and management in the western coast of the Gulf of Thailand but hopefully to be used as a reference for coastal studies worldwide.

2. Study Area

In order to monitor the impact of Pranburi Jetties, the study area covered the coastal system from Khao Takiap (in the local language, the meaning of "Khao" is a mountain) to Khao Kalok, Prachuap Khiri Khan Province as shown in Fig. 1. Shoreline orientation was in the north-south direction from 12° 31' to 12° 20'N latitude and 99° 58' to 100°E longitude with a coastline length of about 20 km. The average beach slope along the coast varied between 1:200 and 1:800. [12]. Beach materials were mainly characterized by sand, gravel, and silt with the minority of mollusk, coral and plant contained [18]. Within the Pranburi coastal system, the Pranburi River is the primary fluvial sediment supplied into the Pranburi Coast. Based on the suspended sediment data observed at the hydrological station operated by the Royal Irrigation Department (RID) (Fig. 1), the annual suspended sediment load was about 9,700 metric tons/year [19].

The climate of the study area is dominated by the Northeast (NE) and Southwest (SW) monsoons. The NE monsoon prevails during October-January generating strong wind and waves in a north-northeast direction. In contrast, the SW monsoon, which starts from April to September, induces wind and waves in a south-southwest direction. Significant wave height ranged between 0.1-1.5 m with the wave period of 2-3 seconds [20], [21].

Due to the shoaling problem at the Pranburi River mouth, the Pranburi Jetties project was developed by the Marine Department in 1996 to stabilize the river mouth for navigation purposes [12]. In the process of structural design, shoreline changes due to the proposed jetties were predicted using the One-Line model. Table 1 shows the summary of oceanographic and meteorological data, including the dimension of the jetties, which were used as the input parameters for analyzing shoreline response due to the construction of the Pranburi Jetties.

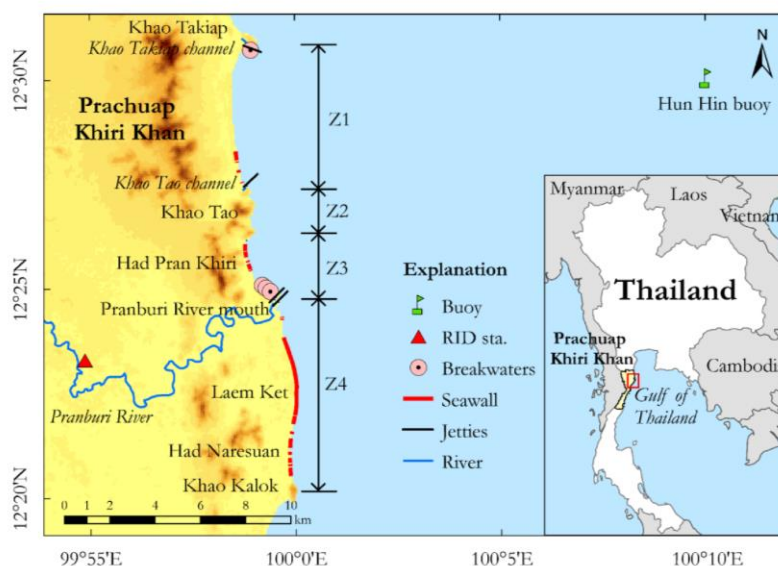


Fig. 1. Location map of the study area and coastal structures along the coast.

The predicted shoreline positions adjacent to the Pranburi River mouth due to the construction of a pair of Pranburi Jetties are depicted in Fig. 2. Results from the shoreline simulation suggested that the construction of the 800 m-long jetties on the north and 860 m-long on the south would cause a maximum shoreline erosion of -67 m at the northern coast of the jetty and created a maximum shoreline accumulation of 175 m on the south of the jetty after 25 years of the construction. Therefore, the construction of three detached breakwaters after the completion of the jetties was recommended to mitigate the shoreline erosion on the northern coast. Additional breakwaters could be added afterward depend on the degree of the jetties impact [12]. In 1999, the Pranburi Jetties were built along with the construction of three 45-m long detached breakwaters at the northern coast of the jetties (Fig. 3b).

3. Material and Method

3.1. Shoreline Data Source and Extraction

Historical shoreline positions between 1967 and 2018 were extracted from aerial photographs and satellite imagery. Details of the data sources used in this study and their uncertainty are shown in Table 2. In order to eliminate the distortion of the imagery data, all images were geo-referenced and rectified into Universal Transverse Mercator with the World Geodetic System 1984 (WGS1984) using Geographic Information System software (ArcGIS) version 10.4. Then, the natural shoreline positions of fourteen-time periods were delineated using shoreline proxy suggested by Zhang et al. (2014) [22]-[24]. Meanwhile, roads, bridges,

dikes, seawalls, and structures were also used to define the coastline of artificial or urbanized coasts [11]. The errors associated with orthorectification are shown in Table 2.

Regarding the tidal range of 1.45 m and the beach face slope of 1:4 [12], the tidal effect can cause uncertainty of about 5.8 m. Shoreline change pattern prior to the construction of the Pranburi Jetties was studied based on shoreline position extracted from aerial photographs of 1967, 1976, 1983, and 1994. The changes of shoreline positions after the construction of the jetties were derived from aerial photos and satellite imagery taken in 1998, 2009, and 2012-2018.

The rates of shoreline change along the Pranburi Coast were calculated by the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.3, which is an ArcGIS extension [25]. The 210 transects with a spacing of 100 m were generated perpendicular to Pranburi shoreline (Fig. 3a) for measuring the changes of the shoreline positions between 1967 and 2018. The difference of shoreline positions between two successive shorelines was calculated at each transect and then were used to analyze long- and short-term shoreline changes. The rate of long-term shoreline change for each transect was calculated using Weighted Linear Regression (WLR) method, which has low positional uncertainty values when determining the regression [25]-[29]. However, short-term rates of shoreline change between difference dates at certain points of interest were calculated using End Point Rate (EPR) technique [26], [30], [31]. Moreover, the pattern of coastal area changes between consecutive years was used to estimate sediment transport direction between Khao Kalok and Khao Takiap.

DOI:10.4186/ej.2020.24.4.1

Table 1. Summary of the parameters used in the coastal engineering study of the Pranburi Jetties project [12].

Designed parameter	Method / data	
Wave data	Hua Hin oceanographic buoy (THAI-7)	
- Period	1994	
- Significant wave height (H_s) (m)	0.5-1.5	
- Significant wave period (T_s) (s)	2-3	
Wind data	Hua Hin meteorological station	
- Period	1981-1992 (12 years)	
Wave hindcasting data	JONSWAP method	
- Return periods (yr)	50	
- Significant wave height (H_s) (m)	3.75	
- Significant wave period (T_s) (s)	4.0-9.0	
- Direction (degree) (percent occurrence)	45° (3.4%), 90° (5.3%), 135° (4.5%), 157° (3.4%)	
Water level		
- Mean highest high water (m MSL)	0.86	
- Lowest low water (m MSL)	-1.74	
Dredging		
- Maximum volume (m^3/yr)	465,025	
- Average volume (m^3/yr)	153,940	
- Minimum volume (m^3/yr)	7,000	
Longshore sediment transport	Shore Protection Manual Method (1984)	
- Northward (m^3/yr)	74,750	
- Southward (m^3/yr)	63,794	
- Gross (m^3/yr)	138,544	
- Net (m^3/yr)	10,956 (northward)	
Sediment properties		
- Pranburi River mouth	Silty clay (<0.0625 mm)	
- 1-km from Pranburi River mouth	Silty fine-coarse sand (0.0078-1.0 mm)	
Shoreline change model parameters	One-Line model	
- Depth of closer (m)	1.0	
- Wave breaking (degree)	16°	
- Longshore sediment transport (m^3/yr)	10,955	
- Length of jetty (m)	800	
Structural design parameters	Jetty	Detached breakwaters
Type	Rubble Mound	Rubble Mound
Number of structures	2	3
Length of structure (m)	800(north), 860(south)	60
Distance between structures (m)	220	140-190
Structure head (m)	4.9	4.9

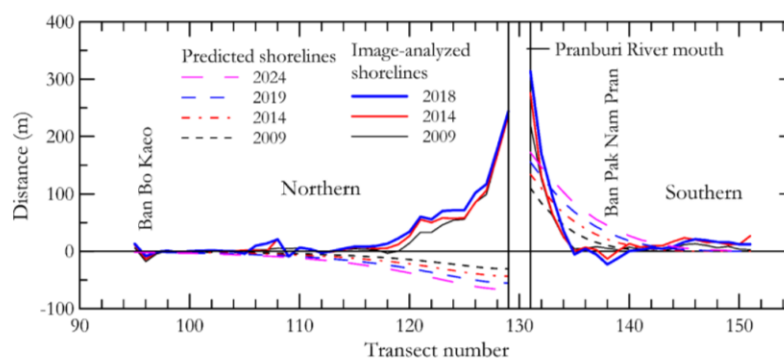


Fig. 2. Comparison between predicted shorelines and the image-analyzed shorelines near the Pranburi River mouth due to the construction of the Pranburi Jetties.

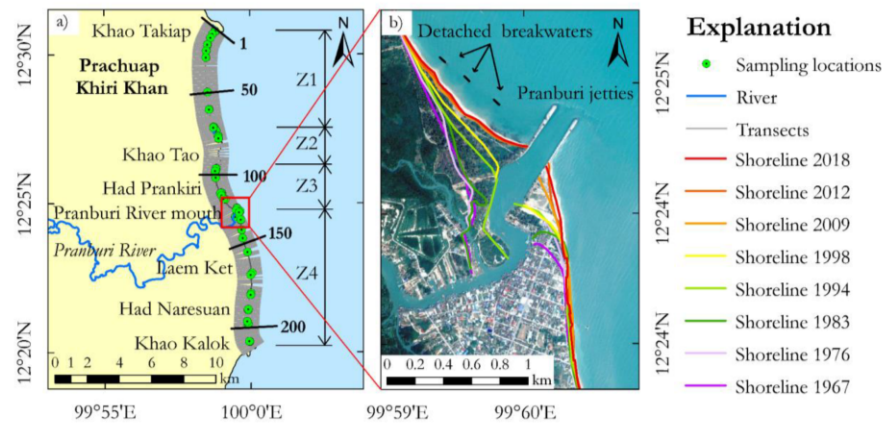


Fig. 3. a) Transects used in shoreline change evaluation and the locations of sediment sampling. b) Historical shoreline changes and coastal engineering structures at the Pranburi River mouth.

Table 2. Summary of the data used for assessing the shoreline change along the Pranburi Coast between 1967 and 2018.

Year	Data	Source	Scale (m)	Pixel size (m)	RMSE (m)
1967	Aerial photograph	Royal Thai Survey Department	1:50,000	1.2	2.95
1976	Aerial photograph	Royal Thai Survey Department	1:15,000	0.4	0.84
1983	Aerial photograph	Royal Thai Survey Department	1:15,000	0.4	0.82
1994	Aerial photograph	Royal Thai Survey Department	1:50,000	1.25	1.32
1998	Aerial photograph	Royal Thai Survey Department	1:50,000	1.11	1.01
2009	Satellite image	Google Earth pro	1:700	0.9	0.40
2012	Satellite image	Google Earth pro	1:700	1	0.51
2013	Satellite image	Google Earth pro	1:700	1.5	0.78
2014	Satellite image	Google Earth pro	1:700	0.9	0.50
2015	Orthophotograph	Royal Thai Survey Department	1:50,000	1.5	0.00
2016	Satellite image	Google Earth pro	1:700	0.9	0.50
2017	Satellite image	Google Earth pro	1:700	0.9	0.46
2018	Satellite image	Google Earth pro	1:700	1.2	0.63

3.2. Wave and Sediment Data Collection and Analysis

Wave data and beach sediment characteristics are the parameters that play crucial roles in coastal and shoreline change processes. Regarding the Pranburi Jetty design, observed wave and sediment data were limited. In this study, wave information and sediment characteristics of the Pranburi Coast were collected for monitoring the significant factors involving the design of jetty. The 6-hourly observed wave information from Hua Hin Buoy during the period 1997-2000 was obtained from the report on "Hydrographic and marine structures studies" under the Survey and Detailed Design on Southern Short-cut motorway Project [20]. Hua Hin oceanographic buoy operated by the Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization) (GISTDA) was deployed at approximately 12°30' N 100° 10' E (Fig. 3a) with the

water depth of about 18 m. However, only the height and period of waves were measured due to the limitation of the wave sensor.

To study sediment characteristics of the Pranburi Coast, three field surveys were carried out in June and September 2018 (during the SW monsoon), and January 2019 (during the NE monsoon) to collect beach materials along the Pranburi Coast (Fig. 3a). Beach materials with a 10- to 20-cm deep were collected in the surf zone. Forty-six samples were collected during the SW monsoon, while twenty-five samples were collected during the NE monsoon. The ASTM method [32], a standard test for particle-size analysis of soil, were used to analyze the particle size of sediment samples. The types of beach material along the coast were classified using the Wentworth scale [33], [34]. The diameter of the sediment particle was converted to the phi unit using Eq. (1). Then, the sediment characteristics such as

DOI:10.4186/ej.2020.24.4.1

median (d_{50}), mean (M_z) and sorting (σ_1) defined by Folk and Ward (1957) [35] was calculated using Eq. (2)-(3). The d_{50} was grain size represents a particle size at 50 percentiles.

$$\phi = -\log_2 d \quad (1)$$

where ϕ was the particle diameter in the phi unit, and d was the diameter of a particle in mm.

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad (2)$$

$$\sigma_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \quad (3)$$

where $\phi_5, \phi_{16}, \phi_{50}, \phi_{84}$, and ϕ_{95} represented the particle diameter at 5, 16, 50, 84, and 95 percent in phi unit, respectively.

3.3. Evaluation of One-Line Model Performance

One-Line model is commonly used to predict the shape of shoreline in response to the coastal development projects in Thailand, including the Pranburi Jetties project. In this study, the performance of the One-Line model on estimating the shoreline response due to the jetties construction was assessed by comparing the predicted shoreline and the shorelines analyzed from the imagery data after the construction. The predicted shoreline positions in 2009, 2014, and 2018 were reported by Marine Department in 1996 [12], while the image-analyzed shorelines corresponding to the predicted dates were extracted from satellite images, as shown in Fig. 2. The absolute errors on prediction were calculated using Eq. (4).

$$\%error = \frac{|S_a - S_p|}{S_a} \times 100\% \quad (4)$$

where S_a was an image-analyzed shoreline distance from the original baseline, and S_p was a predicted shoreline distance from the original baseline.

4. Results

4.1. Historical of Shoreline Change

The study area was divided into four littoral zones (Zones 1, 2, 3, and 4 in Fig. 1) to assess the shoreline change along the Pranburi Coast in detail. Zone 1 (Z1), the northmost zone, had a 7.3 km long started from Khao Takiap to Khao Tao (transects 1-73). Zone 2 (Z2), the shortest coastline with a length of 1 km, consisted of two pocket beaches lied between transects 77 and 79 and between 85 and 89. Zone 3 (Z3) covered Had Pran Khiri (3.4 km long), which extended from Kho Tao to the Pranburi River mouth (transects 95-129). Zone 4 (Z4) was the southmost littoral zone lied between Laem Ket and Had Naresuan (transects 130-210). The length of the Z4 coastline was 8 km.

The results from shoreline change analysis for pre- and post-construction of the jetties are illustrated and

summarized in Fig. 4 and Table 3, respectively. The positive value indicates shoreline accretion and, the negative value denotes shoreline recession. Figure 4 depicted the evolution of shoreline movement and average shoreline change rates for pre- and post-construction of the jetties. The responses of the shoreline along the study area due to the construction are discussed in detail as followed:

4.1.1. Shoreline changed during the period 1967-1994 (pre-Pranburi Jetties construction)

Before the construction of the Pranburi Jetties (1967-1994), about 60 percent of the Pranburi Coast had advanced seaward with a total land growth of 30.6 ha (1.1 ha/yr). Regarding Table 3, the significant shoreline accretion was found at Z3 (16 ha or 0.6 ha/yr) and Z4 (9 ha or 0.33 ha/yr), where the Pranburi River mouth is located. The maximum shoreline advance of 216 m occurred at the northern coast of the river mouth (Z3) due to the formation of sand spit (Fig. 3b). The Z1 and Z2 coastlines were relatively stable as their average shoreline accumulation rates were less than 0.5 m/yr. The remaining of the Pranburi coastline experienced shoreline recession with an average rate at each zone of less than -1.0 m/yr (Table 3). Total land loss during this period was about 9.1 ha (-0.34 ha/yr). However, the erosion at Z1, Z2, and Z3 was insignificant as the shoreline retreat rate in each zone was less than -0.2 m/yr. The significant shoreline retreat occurred mainly in Z4 (Laem Ket: Fig. 4a). The average and maximum rates of shoreline retreat in Z4 were -0.5 and -1.0 m/yr, respectively. The land loss along the Z4 was 7.5 ha (-0.3 ha/yr), accounting for 82% of the total land losses of the Pranburi Coast. The maximum shoreline recession of -27 m was found at Laem Ket (transect 167). Results from shoreline analysis of each littoral zone (Table 3) indicate that the Pranburi Coast were prograding seaward with the net change in the coastal area of 21.5 ha before the construction of the Pranburi Jetties.

4.1.2. Shoreline change during the period 1998-2018 (post-Pranburi Jetties construction)

Based on the analysis of shoreline positions between 1998 and 2018 (20 years after the Pranburi Jetties construction) in Table 3, the percentage of shoreline recession along the Pranburi Coast reduced from 40 to 31 percent after the construction. Therefore, the percentage of shoreline accretion increased. The average rate of land growth also slightly raised from 1.13 to 1.3 ha/yr resulting in the total land accretion of about 27 ha. Moreover, the average rate of land loss decreased from -0.3 to -0.1 ha/yr resulting in land loss of about 2.4 ha.

After the construction of the jetties, the erosional shoreline in the Z1 littoral zone increased from 29 to 42 percent of 73 transects. The rate of land loss also increased from 0.02 to 0.05 ha/yr, while the rate of land growth remained unchanged (0.16 ha/yr). The percentage of land loss in this littoral zone increased to

26 percent. The land loss consequently increased by 1.1 ha, even though the rate of shoreline erosion was similar to that during the pre-construction. Meanwhile, the mean shoreline accretion rate increased to 0.7 m/yr

resulting in land accretion of 3.2 ha. The maximum land growth rate also raised from 0.9 to 7.1 m/yr, and the maximum shoreline advance of 142 m was found at Ban Khao Tao (Fig. 4a).

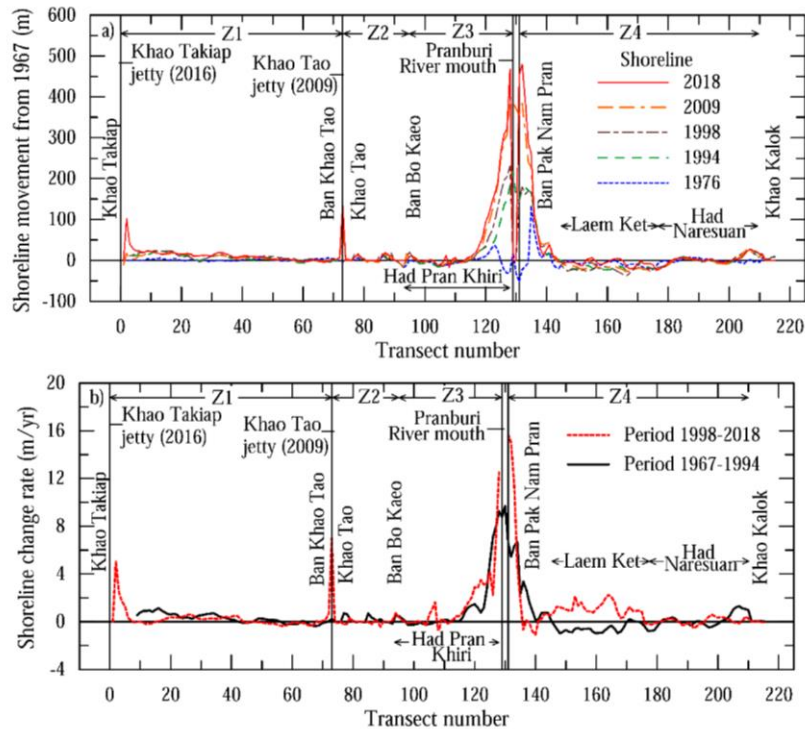


Fig. 4. a) Evolution of shoreline positions compared to the shoreline in 1967. b) Rates of shoreline change before and after the Pranburi Jetties construction.

Table 3. Results of shoreline change analysis for pre- and post-construction of the Pranburi Jetties project.

Data	Pre-construction (1967-1994)					Post-construction (1998-2018)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Total	Z1	Z2	Z3	Z4	Total
Number of transects	73	8	34	80	195	73	8	34	80	195
Maximum shoreline retreat (m)	-11	-6	-15	-27	-27	-8	-11	-9	-23	-23
Maximum shoreline advance (m)	24	17	216	181	216	142	10	250	300	300
Land loss area (ha)	0.5	0.03	1.1	7.5	9.1	1.1	0.2	0.3	0.8	2.4
Land growth area (ha)	4.4	1.0	16.2	9.0	30.6	3.2	0.5	9.6	13.6	26.9
Area recession (percent)	11	3	6	45	23	26	29	3	6	8
Area accretion (percent)	89	97	94	55	77	74	71	97	94	92
Shoreline recession (percent)	29	25	29	54	40	42	56	26	25	31
Shoreline accretion (percent)	71	75	71	46	60	58	44	74	75	69
Shoreline change rate (m/yr)										
- Mean shoreline change rate	0.3	0.3	1.2	0.4	0.5	0.3	-0.1	1.5	0.9	0.7
- Maximum retreat rate	-0.4	-0.2	-0.6	-1.0	-1.0	-0.4	-0.6	-0.5	-1.2	-1.2
- Mean retreat rate	-0.2	-0.1	-0.2	-0.5	-0.4	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2
- Maximum accretion rate	0.9	0.6	8.0	6.7	8.0	7.1	0.5	12.5	15.0	15.0
- Mean accretion rate	0.4	0.5	2.0	1.3	1.0	0.7	0.2	2.1	1.2	1.2

In Z2 (8 transects), the percentage of shoreline retreat significantly increased to 56 percent of the

coastline. The land loss was insignificant compared to those in other sub-littoral zones because of the low rate

DOI:10.4186/ej.2020.24.4.1

of shoreline retreat (-0.2 m/yr). The shoreline accumulation in Z2 after the jetties construction was also insignificant (0.2 m/yr) compared to the total land growth of the study area. The maximum shoreline advance was only 10 m over the past 20 years.

Of the 34 transects along with the Z3 littoral cell, about 26 percent was eroding after the construction of jetties at the northmost of the littoral zone with a similar rate to the pre-construction shoreline recession rate (-0.2 m/yr). The remaining shoreline extended seaward, and the mean rate of shoreline accumulation was about 2.0 m/yr. Even though the maximum shoreline advance of 250 m occurred at the Pranburi River mouth due to the construction of the jetties, but the rate of land accretion in this littoral zone reduced from 0.6 ha/yr to 0.5 ha/yr.

In the Z4 littoral zone with 80 transects, the jetties construction caused significant effects to shoreline change patterns (Fig. 4b). The percentage of accumulating shoreline increased from 46 to 75 percent. The mean shoreline accretion rate slightly decreased from 1.3 to 1.2 m/yr, but it contributed a significant land growth of 13.6 ha (50 percent of total land accretion after the jetties construction). The maximum shoreline advance of 300 m occurred at the southern coast of the jetty (Fig. 4a). Land growth was found along the Laem Ket and Had Naresuan (Fig. 4a), which were erosional zones before construction of the jetties. Consequently, the mean shoreline recession in Z4 also reduced from -0.5 to -0.3 m/yr.

4.2. Wave Characteristics and Beach Material Properties

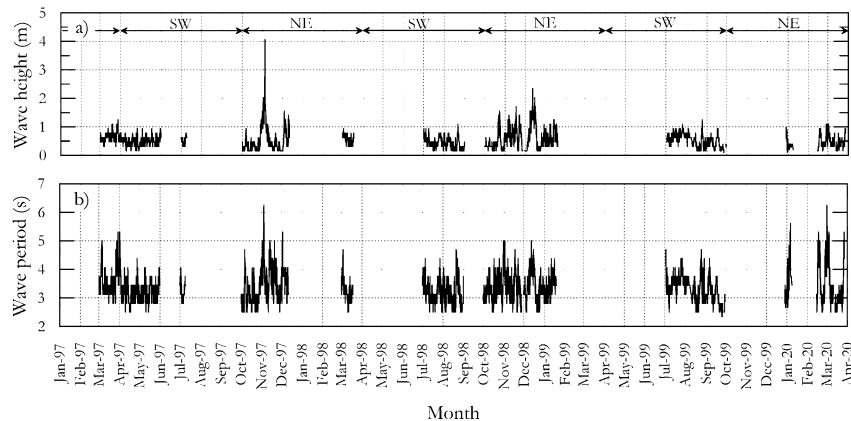


Fig. 5. Time-series of wave data at Hua Hin oceanographic buoy during 1997-2000. a) wave height and b) wave period.

Based on 6-hourly observed wave data from Hua Hin Buoy, time series of wave height and wave period between 1997 and 2000 were plotted as shown in Fig. 5 a) and b), respectively. However, the wave record contained about 50 percent of missing data due to the malfunction of the wave sensor and signal transmission losses during severe climate conditions. According to the wave data, approximately 51 percent of the valid data was recorded during the SW monsoon (April-September), while the remainder was measured during the NE monsoon (October-March).

Regarding the statistical analysis of wave data, the occurrence of the wave height and wave period during the NE and SW monsoons are presented in Tables 4 and 5, respectively. The primary statistic parameters of the available wave information were summarized in Table 6. Based on Table 5, more than 90 percent of the valid wave height was less than 1 meter with the wave period of 2-5 seconds; almost 70 percent ranged between 0.25 and 0.75 m. The wave height occurring during the NE monsoon was generally higher than that during the SW monsoon. The average wave height measured during the NE and SW monsoons was 0.57 and 0.47 m, respectively (Table 6). The maximum wave height of 4.06 m was observed in November 1997 as a result of the tropical storm “Linda” event, while the maximum wave height observed during the SW and transitional monsoons were only 1.25 m. For the wave period, the waves generated during the NE monsoon had a slightly longer wave period than those produced by the SW monsoons.

Table 4. Distribution of wave height observed at Hua Hin buoy during 1997-2000.

Monsoon	Wave height (m)									Total
	0-0.25	0.25-0.5	0.5-0.75	0.75-1.0	1.0-1.25	1.25-1.5	1.5-1.75	1.75-2.0	>2.0	
Northeast (Oct-Mar)	159 (6.7%)	476 (20%)	197 (8.3%)	198 (8.3%)	80 (3.4%)	17 (0.7%)	21 (0.9%)	3 (0.1%)	6 (0.3%)	1,157 (48.6%)
Southwest (Apr-Sep)	149 (6.3%)	668 (28.1%)	250 (10.5%)	150 (6.3%)	6 (0.2%)	-	-	-	-	1,223 (51.4%)
Total	308 (12.9%)	1,144 (48.1%)	447 (18.8%)	348 (14.6%)	86 (3.6%)	17 (0.7%)	21 (0.9%)	3 (0.1%)	6 (0.3%)	2,380 (100%)

Table 5. Distribution of wave period observed at Hua Hin buoy during 1997-2000.

Monsoon	Wave period (s)								Total	
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8		>8
Northeast (Oct-Mar)	-	-	237 (10%)	683 (28.7%)	222 (9.3%)	13 (0.5%)	2 (0.1%)	-	-	1,157 (48.6%)
Southwest (Apr-Sep)	-	-	316 (13.2%)	821 (34.5%)	84 (3.6%)	2 (0.1)	-	-	-	1,223 (51.4%)
Total	-	-	553 (23.2%)	1,504 (63.2%)	306 (12.9%)	15 (0.6%)	2 (0.1%)	-	-	2,380 (100%)

Table 6. Summary of wave statistics observed at Hua Hin buoy during 1997-2000.

Wave characteristics		Northeast Monsoon	Southwest Monsoon
Wave height (m)	Max	4.06	1.25
	Mean	0.57	0.47
	Min	0.10	0.10
	SD	0.37	0.20
Wave period (s)	Max	6.25	5.31
	Mean	3.47	3.27
	Min	2.50	2.34
	SD	0.62	0.44

For the sediment characteristic of the Pranburi Coast, sediment properties analyzed from 71 sediment samples in the study area (Fig. 3a) are plotted in Fig. 6, and the sediment properties in each littoral zone are summarized in Table 7. The results from sediment analysis indicated that the beach of the Z1 littoral zone was mainly characterized by fine sand (Fig. 6a) ranged between 0.13-0.21 mm with an average d_{50} of less than 0.2 mm (Table 7). The grain size of the beach materials was relatively uniform throughout the Z1 cell and seasonal independent. Beach materials along the Z2 were categorized as fine to medium sand ($d_{50} \approx 0.2-0.5$ mm) and poorly sorted during the SW monsoon. In comparison, the sediment grain size increased to 0.66-0.77 mm (coarse sand) with the moderately well sorting during the NE monsoon. The characteristics of beach materials at Z3 and Z4 were relatively similar in size and dispersion (Table 7) but in the opposite direction (Fig. 5). The average d_{50} of the beach material during the SW monsoon at Z3 and Z4 was 0.29 and 0.35 mm, respectively. During NE monsoon, the grain size of the beach materials became coarser sand with the d_{50} of 0.47 mm for Z3 and 0.44 mm for Z4 (Fig. 6)

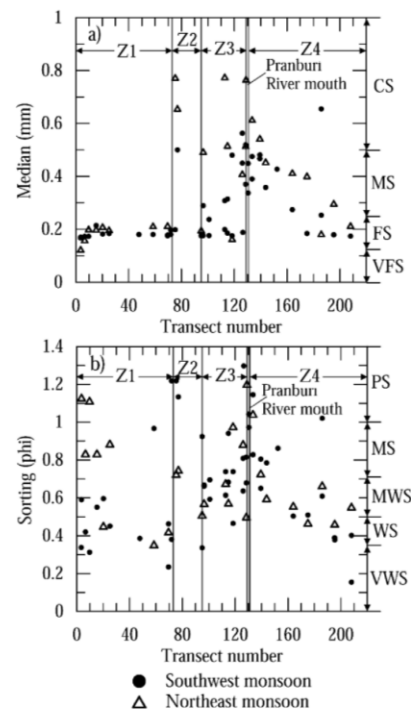


Fig. 6. a) Median grain size of beach material found along the Pranburi Coast during the SW and NE monsoon. (VFS= very fine sand, FS= fine sand, MS= medium sand, CS= coarse sand) and b) Beach sediment sort (VWS= very well sorted, WS= well-sorted, MWS= moderately well sorted, MS= moderately sorted, PS= poorly sorted).

Table 7. Properties of beach materials along the Pranburi Coast during the SW and NE monsoons.

Properties		Z1		Z2		Z3		Z4	
		SW	NE	SW	NE	SW	NE	SW	NE
Median (mm)	Max	0.21	0.21	0.50	0.77	0.56	0.78	0.66	0.77
	Mean	0.18	0.19	0.35	0.72	0.29	0.47	0.35	0.44
	Min	0.17	0.13	0.20	0.66	0.18	0.16	0.17	0.18
	SD	0.01	0.03	0.21	0.08	0.13	0.22	0.15	0.18
Mean (mm)	Max	0.26	0.22	0.42	0.72	0.54	0.76	0.62	0.81
	Mean	0.19	0.19	0.37	0.67	0.27	0.42	0.31	0.41
	Min	0.16	0.14	0.33	0.62	0.18	0.16	0.17	0.17
	SD	0.03	0.03	0.06	0.07	0.10	0.21	0.13	0.21
Sorting (phi)	Max	0.97	1.13	1.22	0.75	1.30	0.98	1.15	1.20
	Mean	0.48	0.75	1.18	0.74	0.73	0.74	0.66	0.68
	Min	0.24	0.36	1.13	0.73	0.47	0.57	0.15	0.30
	SD	0.20	0.31	0.06	0.02	0.22	0.08	0.26	0.25

4.3. Errors in Shoreline Change Prediction

The positions of the image-analyzed shorelines (transects 95-151) and the predicted shorelines due to the construction of the Pranburi Jetties using the One-Line Model [12] were plotted, as shown in Fig. 2. The transects 95-151 were divided into two portions to evaluate the effectiveness of shoreline prediction at the northern coast (transects 95-129) and southern (transects 131-151) of the jetty. The comparison of predicted and image-analyzed shoreline changes between transects 95-151 are summarized in Table 8.

Regarding Fig. 2, the results from the One-Line model suggested that the construction of the jetties would cause shoreline recession at the northern coast and shoreline accretion at the southern coast. On the north coast, the model simulation for 2009, showed that the shoreline retreat would start at the transect 95 and reach the maximum recession of -31 m at transect 129 adjacent to the jetty. Then, the shoreline recession would increase overtimes with the maximum shoreline retreat adjacent to the jetties of -43, -49, and -67 m in 2014, 2018, and 2024, respectively. Consequently, the shoreline recession would cause land loss of 3.3 ha in 2009 to 8 ha in 2024. In contrast, the results from model simulation indicated that the accretion of the shoreline would take place on the southern coast between the transects 131 (adjacent to the south jetty) and 151. The maximum shoreline accretion was estimated at 110 m in 2009 and would increase over time up to 172 m in 2024. they were resulting the land growth of 3.4 ha in 2009 to 8.5 ha in 2024 (Table 8).

However, the analysis of image-analyzed shoreline changes after the jetties construction reveals that shoreline accretion occurred on both the northern and

southern coast of the jetties (Fig. 2). On the north shore of the jetties, the shoreline retreat was found at Ban Bo Kaeo (transect 96) with the maximum shoreline retreat of -18 m in 2009, but the shoreline then moved seaward, and the maximum shoreline retreat was -9 m in 2018. The remaining shore mainly had a shoreline deposition trend. The maximum shoreline accretion of up to 250 m took place adjacent to the north jetty in 2018 instead of the maximum retreat of -49 m as predicted. With the average shoreline movement of 30 m in 2009, of 27 m in 2014, and 32 m in 2018, the shoreline growths were 7.5, 8.5, and 10 ha in 2009, 2014, and 2018, respectively.

Based on the comparison of the image-analyzed and predicted shorelines (Table 8), the maximum absolute error of shoreline prediction ranged from 267 m (in 2009) to 300 m (in 2018) at the northern coast. Meanwhile, the maximum absolute errors of prediction for the southern coast varied from 111 m (in 2009) and 160 m (in 2018). The average uncertainties for the shoreline prediction were 35-44 m for the northern coast and 15-26 m for the southern coast. The percentage of absolute errors of the shoreline prediction are summarized in Table 9. It was found that, with the model input parameters in Table 1, the estimation of area changes on the southern coast agreed with the change of area analyzed from imagery data in terms of shoreline response pattern (land growth). The absolute error of the prediction varied between 2-655 percent. In contrast, the prediction of area changes (land loss) on the northern coast was opposite to the image-analyzed area changes, which predominated by the land growth (Table 9). The uncertainty of the predictions ranged from 6 to 13,000 percent.

Table 8. Comparison of shoreline change between the image-analyzed and predicted shorelines along transects 95-151.

Data	2009		2014		2018		2024	
	*N	**S	N	S	N	S	N	S
Number of transects	35	20	35	20	35	20	35	20
Number of inverted shoreline direction	30	0	29	1	29	4	-	-
Predicted area change (ha)								
Recession area	3.3	0	4.8	0	6.5	0	8	0
Accretion area	0	3.4	0	5.1	0	6.8	0	8.5
Total	3.3	3.4	4.8	5.1	6.5	6.8	8	8.5
Actual area change (ha)								
Recession area	0.3	0	0.2	0.1	0.2	0.4	-	-
Accretion area	7.5	4.2	8.5	5.4	10.0	5.9	-	-
Total	7.7	4.2	8.7	5.5	10.2	6.3	0	0
Predicted shoreline change (m)								
Max	-31	110	-43	134	-49	142	-67	172
Mean	-10	19	-14	28	-19	36	-24	44
Min	-0.4	0	-1	0	-1.4	0	-2	0
SD	10	32	14	40	18	47	22	53
Actual shoreline accretion (m)								
Max	237	221	237	276	250	300	-	-
Mean	30	25	27	32	32	33	-	-
Min	0	0	0	0	0	0	-	-
SD	56	53	56	64	59	79	-	-
Actual shoreline recession (m)								
Max	-18	0	-14	-14	-9	-23	-	-
Mean	-6	-	-5	-14	-5	-11	-	-
Min	-1	-	-1	-14	-1	-5	-	-
SD	7	-	5	-	3	8	-	-
Absolute shoreline change (m)								
Max	267	111	280	142	299	158	-	-
Mean	35	15	43	26	44	26	-	-
Min	0.3	0.2	0.2	1	0.2	2	-	-
SD	60	25	64	29	71	35	-	-

*N=Northern coast, **S=Southern coast

Table 9. Percentage of errors between predicted and image-analyzed shoreline changes at the northern (N) and southern (S) coasts of Pranburi Jetties (transects 95-151).

Percentage of errors	2009		2014		2018	
	N	S	N	S	N	S
Maximum	13,005	655	939	1,145	1,283	1,372
Mean	759	149	262	216	244	285
Minimum	26	2	10	13	6	11
SD	2,382	186	206	316	237	411

5. Discussion

5.1. Impact of Pranburi Jetty Project to Shoreline Change

Based on the results from shoreline change analysis, the Pranburi Coast before the Pranburi Jetties construction was considered as a stable coast as the rate of shoreline change mostly less than ± 1 m/yr except near the Pranburi River mouth (Z3 and Z4). The Z1, Z2, and Z3 littoral cells were separated by the natural headland (hills and mountains). Meanwhile, Z3 and Z4

could be combined as a littoral cell before the construction of the jetties. The high rate of shoreline accretion (up to 8.0 m/yr) occurred near the river mouth as a result of fluvial and coastal sediment processes. Riverine sediment was directly discharged from the Pranburi River, which is the major river of this coastal zone, and was deposited near the river mouth during the wet season (September-December). The sediment at the Pranburi River mouth was transported toward the north by the wave during the SW monsoon (April-September). Then, it transported back southward due to the wave-induced by the NE monsoon (October-January). Meanwhile, the longshore sediment transported along the coast came from the nonequilibrium coasts such as Leam Ket (in Thai, "Leam" means convex beach) and Had Pran Kiri (located at the mid of Z3 as shown in Fig. 3). As the alongshore sediment was transported in both northward and southward directions due to the influence of monsoons, the amount of longshore sediment transported southward should be relatively comparable to that transported northward.

DOI:10.4186/ej.2020.24.4.1

Marine Department reported that the suspended sediment discharge from the Pranburi River was about 2,000 m³/yr, while the longshore sediment transported northward (S-N) and southward (N-S) were estimated as 74,750 and 63,794 m³/yr, respectively [12]. Regarding the beach and sandspit formation observed from the aerial photographs between 1967-1994 (Fig. 7), longshore sediment transport was the major source of sediment deposition. It was the cause of shoaling at the river mouth. However, the formation of the beach and sandspit at the Pranburi River mouth indicated the higher N-S sediment transport than the S-N sediment transport as the land growth area in the north of river mouth (16.2 ha, 0.6 ha/yr) was higher than that in the south (9.0 ha, 0.33 ha/yr) as shown in Fig. 7. Because the NE monsoon induced the sediment transported southward, the northern portion of Z3 such as Khao Tao and Had Pran Khiri (Fig. 4a) were the potential sources for the longshore sediment in this littoral cell as about 30 percent of Z3 had experienced shoreline erosion before the construction of the Pranburi Jetties. Especially along the 2.4 km of Had Pran Khiri beach, the significant shoreline erosion (about -0.5 m/yr) has been observed. Before the jetties construction, the average shoreline retreat rate along the Z3 seemed to be low (less than -1 m/yr) because some sediment could return during the SW monsoon season. Similarly, the southern portion of the littoral cell (Z4) was the potential source of longshore sediment during the SW monsoon season. With the convex coastline shape and the highest rate of shoreline retreat in Z4, Leam Ket and Had Naresuan beaches (Fig. 4a) were the primary sources of the longshore sediment of this littoral cell. On the one hand, the sediment eroded from Leam Ket

transported southward during the NE monsoon and then deposited at the end of the bay. On the other hand, the sediment transported northward during the SW monsoon and sank at the Pranburi River mouth.

After the completion of the Pranburi Jetties in 1999, the Z3 and Z4 littoral cells were separated by the jetties. Consequently, the jetties performed as a new headland for the Z3 and Z4. The N-S longshore sediment transport during the NE monsoon has been trapped by the north jetty resulting in land growth during 1998-2018 of 10 ha (0.5 ha/yr) instead of land loss of 6.5 ha as predicted (Table 8). The SW monsoon induced S-N sediment transport, which was trapped by the south jetty, causing the land deposition at the south jetty of 5.9 ha (0.3 ha/yr), as shown in Fig. 7.

As mention above, the north jetty has trapped the N-S sediment transport resulting in significant shoreline accretion instead of shoreline recession as predicted by the numerical model. Even though three breakwaters were built right after the jetty construction, they were not the primary cause of a significant shoreline accretion in this portion as the shape of the shoreline followed the equilibrium shape bay due to the jetty instead of equilibrium shoreline due to the breakwater. Moreover, because of the more considerable land growth on the northern coast of the Pranburi River, the sediment supply from the north was greater than the estimated of longshore sediment due to the high wave energy dominated by the NE monsoon. Therefore, the construction of three breakwaters probably was unnecessary because the jetty can trap the whole longshore sediment from the north resulting in land growth at the north of the jetties anyway.

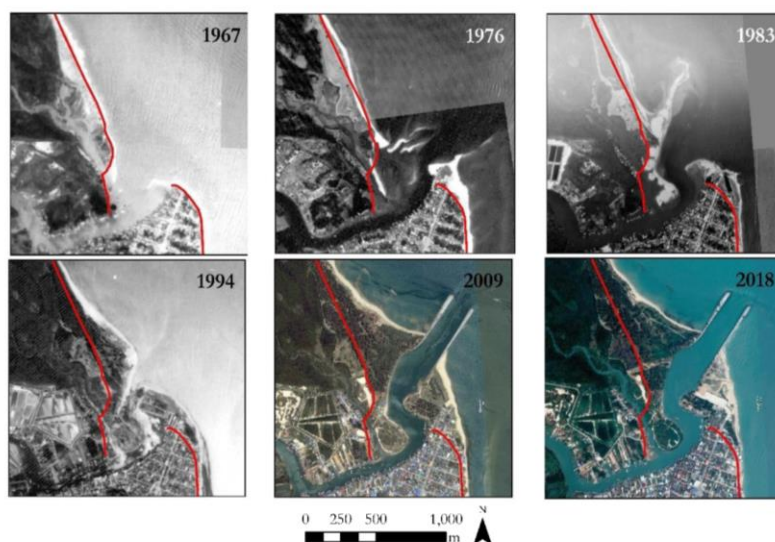


Fig. 7. Evolution of shoreline change at Pranburi River mouth (the red line represented the shoreline in 1967).

With the lengths of the south and north jetty of 800 m and 860 m, respectively, the jetty did not only block the fluvial sediment from the Pranburi river supplying to the Z3 and Z4 but also prevented seasonal longshore sediment to move back to the source areas. Consequently, it had caused the sediment deficit at the sediment supply source of Z3 and Z4. Even though the results of the horizontal shoreline change analysis did not show significant shoreline retreat at Had Pran Khiri (Z3's sediment source) after the construction of the jetties, the length of private seawall along Had Pran Khiri shoreline extended from 300 m in 1999 [19] to 900 m in 2018 (Fig. 1 and Fig. 7). Moreover, regarding the field survey, the severe vertical shoreline erosion was observed, as shown in Fig. 8a-b.



Fig. 8. a) Seawall at Had Pran Khiri (Z3), b) Shoreline erosion in Z3, c) Seawall along with Laem Ket (Z4), and d)-f) Property damages between transect 134 – 140 (Z4).

Likewise, the results of shoreline analysis indicate that the shoreline along Laem Ket, which was the sediment source of Z4, migrated seaward up to present. However, by considering the shoreline position of each consecutive year of available aerial photographs (Fig. 4), it was found that the shoreline had continuously retreated until 2009. During 2009-2015, land reclamation and seawall construction (Fig. 8c) were applied along 3.4 km of Laem Ket to mitigate the shoreline recession problem. Because the seawall was used to stabilize the shoreline, then the Laem Ket beach could not supply the sand sediment to the upcoast and downcoast as previously. The adjacent unprotected area, Ban Pak Nam Pran (transects 134-140), seemed to be a new sediment source of Z4 as the significant of shoreline retreat occurred in this area after 2009. Based

on field observation, severe coastal erosion was found in this area, as illustrated in Fig. 8 d-f.

Along with Z1, the significant shoreline changes, especially shoreline accretion, were found only at the northmost and southmost of the littoral cell after the post-construction of the Pranburi Jetties period. The construction of two short jetties caused the sediment deposition at both locations at Khao Takiap channel and Khao Tao (Fig. 1). A low degree of erosion was found near the Khao Tao Jetty as a result of shoreline adjustment to reach a new equilibrium. Meanwhile, the Z2 coastline had a slight change in the rate of shoreline change (± 0.1 m/yr). It can be implied that the construction of Pranburi Jetties had an insignificant impact on the shorelines along Z1 and Z2 because natural headlands separated them.

5.2. Effectiveness of Shoreline Change Prediction

Regarding the difference between the image-analyzed shorelines and predicted shorelines by the One-Line model (Table 8), the uncertainty (percentage of absolute errors) of the shoreline change prediction along the transects 95-151 due to the construction of Pranburi Jetties varied between 2 and 13,000 percent (Table 9). The maximum and substantial degree of errors were mainly found at the northern coast of the jetty as the deposition took place after the jetty construction instead of erosion as predicted. On the southern coast of the jetties, even though the trend of image-analyzed shoreline response agreed with the prediction, the magnitude, and shape of shoreline change were still quite different (Fig. 2).

The misprediction possibly caused by several reasons. Wave data, for example, could be one of the significant factors as the wave characteristics (wave height, wave period, and wave direction) play a considerable role in dominating the sediment transport in the coastal zone. According to the coastal processes study of the Pranburi Jetties project [12], long-term wave data in the study area was not available. Wave hindcasting using 12-years wind data from the meteorological station (overland wind) was used for estimating wave characteristics in the study area. Wave data observed by an oceanographic buoy (THAI-7) in 1994 were used to calibrate the wave hindcasting model. The results from wave hindcasting indicated that the estimated significant wave height and wave period in deep water were 3.75 m and 4-9 seconds, respectively (Table 1). However, the results from wave hindcasting software suggested that wave direction was mainly from E-SSE. Therefore, the model suggested the construction of the jetties would cause the deposition on the southern coast and the erosion on the northern coast.

Typically, when waves approach the shore from different quadrants, they produce day-to-day and seasonal reversals in sediment transport direction [33]. Therefore, errors in wave magnitude and direction can cause a significant misestimation of sediment transport

DOI:10.4186/ej.2020.24.4.1

rate and direction. In the Pranburi Jetties project, as the predicted wave direction mainly came from the south, the predicted sediment then mainly transported northward. However, sea waves are primarily generated by wind, so the direction of overwater wind typically can be used to estimate the wave direction when the wave direction data are not available. For Pranburi Coast, the wind prevailing during the NE monsoon typically generates the waves traveling to the south direction resulting in N-S sediment transport. Meanwhile, the SW monsoon wind produces the waves propagating to the north, causing the S-N sediment transport. Based on the results from wave statistic analysis, it was found that higher waves, which had higher wave energy, mainly occurred during the NE monsoon. Therefore, the longshore sediment transport in the N-S direction was potentially more considerable than that in the S-N direction. This observed wave information supported the more significant land growth found on the northern coast compared to the southern coast. Therefore, wave characteristics generated from wind data, especially from overland wind data, may be significantly different from the actual waves approaching the Pranburi Coast. Consequently, it produced a significant uncertainty in shoreline prediction for the Pranburi Jetties project.

Based on this study, the misestimation of the wave direction had caused significant misprediction in shoreline change on the north coast of the jetties with a maximum error of 300 m. On the southern coast, the accretion of the shoreline has occurred in the vicinity of the south jetty as expected, the shape of image-analyzed shoreline changes was different from the prediction. The maximum error of prediction for the southern coast was 158 m (in 2018).

Another major cause of shoreline prediction error was the sediment data. Regarding Coastal Engineering Manual [36], it was documented that sediment grain size correlated with the longshore sediment transport rate. As longshore sediment transport rate in the study area was calculated using the formulae proposed in Shore Protection Manual [37] (Table 1), the sediment transport rate was calculated based on the influence of waves only. Moreover, only sediment data sampling at the river mouth, in which the average sediment grain size varied between 0.0078-1.0 mm were used in shoreline change study. However, average d_{50} of the beach material observed along the Z3 and Z4 littoral zones where the jetties are located ranged from 0.29 to 0.47 mm. Therefore, inaccurate sediment data may also be responsible for the misprediction of shoreline change using the One-Line model in the Pranburi Jetties Project.

Because a significant shoreline recession at the north of the jetty was predicted, the construction of three detached breakwaters within a year after the completion of the jetties was suggested to prevent coastal erosion. Three detached breakwaters with the cost of about 100,000 USD (in 1998) [12] were built

offshore, as shown in Fig. 3b. As mention above, the shoreline has significantly advanced seaward instead of moving landward. In contrast, the shoreline accretion at the southern coast was predicted, and the shore would develop rapidly and would outweigh shoreline erosion along Laem Ket beach since 2009. However, severe shoreline retreat still took place along Laem Ket between transects 136-140. As the shoreline protection measure has not been planned during the study processes, the erosion has caused the land losses of about 0.8 ha.

Regarding the results from this study, using oceanographic data observed in the study area may improve the accuracy of shoreline change prediction using a numerical model. Long-term wave observation is suggested to use instead of wave hindcasting to improve the effectiveness of the sediment transport prediction. Moreover, sediment transport measurement is recommended to include in coastal processes study to reduce the errors of shoreline change prediction. Even though field observation may cause more budget for project planning, it may significantly reduce costs for unnecessary structures and adverse effects due to the misplanning.

6. Conclusion

According to the results of historical shoreline change and sediment characteristics along the study area, the Pranburi Jetties project had influenced to shoreline change between Kho Tao and Kho Kalok (transect 95-210). Before the Pranburi Jetties project construction (1967-1994), the formation of sandspit had occurred at the Pranburi River mouth, due to longshore sediment transport in the north-south direction. The maximum rate of shoreline changes on the northern and southern coasts was 8.0 m/yr (216 m) and 6.7 m/yr (181 m), respectively. Moreover, the north coast had more land growth (16.2 ha) than the southern coast (9 ha). It indicated that longshore sediment transport had more sediment moved southward than northward. During the past two decades after the completion of the Pranburi Jetties project, longshore sediment was tapped by the jetties resulting in significant shoreline accretion adjacent to the jetties. The maximum rate of shoreline change was 12.5 m/yr (250 m) at the northern coast and 15 m/yr (300 m) at the southern coast. In the project planning stage, the results from the One-Line model suggested that the construction of the jetties would cause shoreline recession at the northern coast of the jetty but accretion at the southern coast. However, the results from this study indicated that the image-analyzed shoreline response disagreed with the simulation, especially on the northern coast of the jetty. The errors of shoreline prediction varied between 2 and 13,000 percent. Misprediction by One-Line model strongly seems relating to the use of estimated wave characteristics and sediment data as the model input. Misprediction had caused unnecessary construction of three detached

breakwaters on the northern coast of the jetty. Moreover, it caused misplanning on preparation for adverse effects due to the project. In order to improve the accuracy of shoreline prediction using a numerical model, observed wave and sediment data are recommended to be used as the input data instead of estimated or generated data.

Acknowledgment

This research was financially supported by Research Assistant Scholarship (GCUGE17) and partially supported by the 90th Anniversary of Chulalongkorn University Fund (Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund), Graduate School, Chulalongkorn University. Moreover, facility things were supported by WISE Research Unit, Water Resources Engineering Department, Chulalongkorn University. The authors also thank the editor and anonymous reviewers for their valuable comments and suggestions to improve the quality of the manuscript.

References

- [1] D. Reeve, A. Chadwick, and C. Fleming, "Conceptual and detailed design," in *Coastal Engineering: Processes, Theory and Design Practice*. CRC Press, 2004, ch. 9, pp. 132.
- [2] R. M. Sorensen, "Coastal zone processes," in *Basic Coastal Engineering*. Springer, 2006, ch. 8, pp. 265.
- [3] K. R. Bodge, "Design aspects of groins and jetties," in *Advance in Coastal Structure Design*. ASCE, 2003, ch. 9, pp. 181-199.
- [4] R. G. Dean, R. Chen, and A. E. Browder, "Full scale monitoring study of a submerged breakwater, Palm Beach, Florida, USA," *Coast. Eng.*, vol. 29, no. 3, pp. 291-315, 1997.
- [5] J. Ahrens, and J. Cox, "Design and performance of reef breakwaters," *J. Coast Res.*, pp. 61-75, 1990.
- [6] C. Zimmermann, R. G. Dean, V. Penchev, and H. J. Verhagen, "Environmentally friendly coastal protection," in *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Environmentally Friendly Coastal Protection Structures*, Varna, Bulgaria, 25-27 May 2004, Springer Science & Business Media, 2005.
- [7] A. S. Islam, S. K. Bala, M. A. Hussain, M. A. Hossain, and M. M. Rahman, "Performance of coastal structures during Cyclone Sidr," *Nat Hazards Rev.*, vol. 12, no. 3, pp. 111-116, 2010.
- [8] U.S. Army Corps of Engineers, "Monitoring, maintenance, and repair of coastal projects," Rep. EM1110-2-1100 (part VI), 2011.
- [9] Z. Huang, Y. Li, and Y. Liu, "Hydraulic performance and wave loadings of perforated/slotted coastal structures: A review," *Ocean Eng.*, vol. 38, no. 10, pp. 1031-1053, 2011.
- [10] C. S. Hardaway Jr. and J. R. Gunn, "Design and performance of headland bays in Chesapeake Bay, USA," *Coast. Eng.*, vol. 57, no. 2, pp. 203-212, 2013.
- [11] B. Bidorn and C. Rukvichai, "Impacts of coastal development on the shoreline change of the Eastern Gulf of Thailand," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 171, no. 1, p. 012007, 2018.
- [12] Marine Department, "Report of feasibility study of the economy, engineering, and environmental for construction of jetty at Pranburi channel, Prachuap Khiri Khan Province," (in Thai) 1996.
- [13] H. Hanson, "Genesis—A generalized shoreline change numerical model," *J. Coast Res.*, vol. 5, no. 1, pp. 1-27, 1989.
- [14] U.S. Army Corps of Engineers, "Shoreline change modeling using One-Line Models: General model comparison and literature review," Rep. ERDC/CHL CHETN-II-55, 2013.
- [15] Department of Mineral Resources, "Report of coastal erosion survey and study at Gulf of Thailand and Andaman (Surat Thani, Nakorn Sri Thammarat, and Songkhla)," (in Thai) 2006.
- [16] Marine Department, "Final report of master plan and basic design for solving coastal erosion at the Lower Gulf of Thailand from Laem Talumphuk to Songkhla lake," (in Thai) 2013.
- [17] C. Saengsupavanich, "Willingness to restore jetty-created erosion at a famous tourism beach," *Ocean. Coast. Manag.*, vol. 178, p.104817, 2019.
- [18] Department of Mineral Resources, "Geology," (in Thai) in *Geological and Mineral Resources Management at Prachuap Khiri Khan Province*, Bangkok, Thailand, 2008, ch. 3, pp. 14-15.
- [19] Royal Irrigation Department, "The relation between suspended sediment and drainage area in 25 river basins," (in Thai) 2012.
- [20] Chulalongkorn University, "The southern short cut motorway project (Samut Sakorn-Laem Pak Bia-Cha Am)," (in Thai) Bangkok, 2007.
- [21] Ministry of Natural Resources and Environment, "Master plan for coastal erosion management from Phetchaburi River-mouth, Phetchaburi Province to Pranburi River-mouth, Prachuap Khiri Khan Province," (in Thai) 2003.
- [22] X. Zhang, D. Pan, J. Chen, J. Zhao, Q. Zhu, and H. Huang, "Evaluation of coastline changes under human intervention using multi-temporal high-resolution images: A case study of the Zhoushan Islands, China," *Remote Sens.*, vol. 6, pp. 9930-9950, 2014.
- [23] W. C. O'Reilly, C. B. Olfe, J. Thomas, R. J. Seymour, and R. T. Guza, "The California coastal wave monitoring and prediction system," *Coast Eng. J.*, vol. 116, pp. 118-132, 2016.
- [24] B. Bidorn, P. Kongsawadworakul, N. Phanomphongphaisarn, and C. Rukvichai, "Evolution of mangrove muddy coast in the Western Coast of the Upper Gulf of Thailand over the past six decades," in *ICEC*, August 20-23, 2018, Caen, France, 2018.
- [25] E. Theiler, "Digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for

DOI:10.4186/ej.2020.24.4.1

- calculating shoreline change,” U.S. Geological Survey, Rep. Open-File Report, 2011.
- [26] M. Ford, “Shoreline changes interpreted from multi-temporal aerial photographs and high resolution satellite images: Wotje Atoll, Marshall Islands,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 135, pp. 130-140, 2013.
- [27] R. S. Kankara, S. C. Selvan, V. J. Markose, B. Rajan, and S. Arockiaraj, “Estimation of long and short term shoreline changes along Andhra Pradesh coast using Remote Sensing and GIS Techniques,” *Procedia Eng.*, vol. 116, pp. 855-862, 2015.
- [28] S. C. Selvan, R. S. Kankara, V. J. Markose, B. Rajan, and K. Prabhu, “Shoreline change and impacts of coastal protection structures on Puducherry, SE coast of India,” *Nat Hazards*, vol. 83, pp. 293-308, 2016.
- [29] G. Qiao, H. Mi, W. Wang, X. Tong, Z. Li, Tan Li, S. Liu, and Y. Hong, “55-year (1960-2015) spatiotemporal shoreline change analysis using historical DISP and Landsat time series data in Shanghai,” *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, vol. 68, pp. 238-251, 2018.
- [30] C. Martínez, M. C. Lopez, P. Winckler, H. Hidalgo, E. Godoy, and R. Agredano, “Coastal erosion in central Chile: A new hazard?,” *Ocean Coast Manage*, vol. 156, pp. 141-155, 2018.
- [31] L. D. Río, F. J. Gracia, and J. Benavente, “Shoreline change patterns in sandy coasts. A case study in SW Spain,” *Geomorphology*, vol. 196, pp. 252-266, 2013.
- [32] U.S. Army Corps of Engineers, “Coastal sediment properties,” the Coastal Engineering Manual, Rep. EM 1110-2-1100, 2002.
- [33] U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, “The unified soil classification system,” Washington, D.C., Rep. 3-357, 1960.
- [34] C. K. Wentworth, “A scale of grade and class terms for clastic sediments,” *J. Geol.*, vol. 30, pp. 377-392, 1922.
- [35] R. L. Folk and W. C. Ward, “Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters,” *J. Sediment. Petrol.*, vol. 27, no. 1, pp. 3-26, 1957.
- [36] U.S. Army Corps of Engineers, “Coastal engineering manual,” Rep. EM1110-2-1100, 2002.
- [37] CERC, *Shore Protection Manual*. Washington: CERC Dept. of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, 1984, vol. 2.





Nathamon Phanomphongphaisarn was born in Bangkok, Thailand in 1989. She received the B.S. degree in Department of Geology, Faculty of Science, from Chulalongkorn University, Thailand, in 2012.

From 2012 – present, she work at Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) as a Geologist. She has studies M.S. degree in Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand since 2016. Her research interests in coastal engineering and sedimentation. She is a researcher in WISE Resarch Unit of Chulalongkorn University since 2018.



Chaipant Rukvichai was born in Pitsanulok, Thailand in 1949. He recieved the B.Eng.(Civil Engineering) from Chulalongkorn University , Bangkok in 1971 and the MSCE and Ph.D. in Civil Engineering from Purdue University, USA in 1978.

He worked in the Dam Design Section at the Royal Irrigation Department during 1978-1979. He was an associate professor of the Department of Civil Engineering, Chulalongkorn University since 1979-1992, and the Department of Water Resources Engineering, Chulalongkorn University since 1992 till his retirement in 2010.

His work experiences and researches included the planning and design of dams and water resources development projects, environmental impact investigations, water management, river hydraulics, and coastal erosion and protection.



Butsawan Bidorn was born in Ban Prik Village, Nakhon Nayok Province, Thailand in 1972. She received the B.Eng and M.Eng degrees in Water Resources Engineering from Kasetsart University in 1995 and Chulalongkorn University in 1999, respectively. In 2016, she received a Ph.D. degree in Geology from Florida State University, Florida, USA.

Since 2000, she has been a lecturer at the Department of Water Resources Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand. She is the author of a book and thirty research articles in the field of water resources engineering. Her research interests include hydraulics, coastal processes, fluvial and coastal sediment processes, marine geology, coastal and river engineering, and interdisciplinary researches. At present, she is the head of the WISE Research Unit, the first interdisciplinary research unit of Chulalongkorn University.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

วุฒิการศึกษา

ผลงานตีพิมพ์

ณัฐมน พนมพงษ์ไพศาล

ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- Phanomphongphaisarn, N., Ruckvichai, C., and Bidorn, B., (2020). “Impacts of Long Jetties Construction on Shoreline Change at the Western Coast of the Gulf of Thailand”. Engineering Journal, vol.24(4), page 1-17.
- Namsai, M., Bidorn, B., Chanyotha, S., Mama, R., and Phanomphongphaisarn, N. (2020). “Sediment dynamics and temporal variation of runoff in the Yow River, Thailand”. International Journal of Sediment Research.” International Journal of Sediment Research, vol.35, pages 365-376.
- Phanomphongphaisarn, N., Bidorn, B., and Sriariyawat, A. (2019). “Historical shoreline change of Thap Sakae coast, Prachuap Khiri Kan, Thailand.” In proceedings of THA 2019 International Conference on Water Management and Climate Change towards Asia’s Water-Energy-Food Nexus and SDGs, January 23-25, 2019, Bangkok, Thailand.
- Bidorn, B., Buser, M., Phanomphongphaisan, N., and Sriariyawat, A. (2018). “Effects of coastal disaster on coastal community living along the upper gulf of Thailand.” In proceedings of the 6th AUN/SEED-Net Regional Conference on Natural Disaster 2018, September 3-5, 2018, Yogyakarta, Indonesia.
- Bidorn, B., Kongsawadworakul, P., Phanomphongphaisan, N. and Rukvichai, C. (2018). “Evolution of mangrove muddy coast in the Western Coast of the Upper Gulf of Thailand over the past six decades.” In proceedings of the 6th International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC-2018), August 20-23, 2018, Caen, France.
- Bidorn, B., Buser, M., Koh, J., Phanomphongphaisan, N., and Sriariyawat, A. (2018). “Role of engineering in community resilience in a severe coastal erosion area of Thailand”. In proceedings of the 23rd National Convention on Civil Engineering, July 18-20, 2018, Nakhon Nayok, Thailand.