

การติดตามวัดผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งตามแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERFORMANCE MONITORING OF COASTAL PROTECTION STRUCTURES ALONG THE  
EASTERN COASTLINE OF THE CHAO PHRAYA RIVER MOUTH



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 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การติดตามวัดผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งตามแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา
โดย	นายวริทธิ์ เจริญฤกษ์ถวิล
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.บุศวรรณ บิตร

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.บุศวรรณ บิตร)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักรวิชัย)	

วริทธิ์ เจริญฤกษ์ถวิล : การติดตามวัดผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งตามแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา. ( PERFORMANCE MONITORING OF COASTAL PROTECTION STRUCTURES ALONG THE EASTERN COASTLINE OF THE CHAO PHRAYA RIVER MOUTH) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.บุศวรรณ บิตร

การวิจัยครั้งนี้ มุ่งศึกษา 1) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา ยาว 42 กม. ในช่วง 7 ทศวรรษที่ผ่านมา 2) การตอบสนองของแนวชายฝั่งหาดเลน ต่อการมีอยู่ของโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง และ 3) การวัดผลเชื่อมกันคลื่นในการป้องกันพื้นที่ศึกษา การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ถูกประเมินจากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม ที่บันทึกในช่วงปี 2549–2564 มีการสร้างข้อมูลแบบจำลองภูมิประเทศ จากการสำรวจด้วยแสงเลเซอร์แบบติดตั้งกับโดรน (UAV-LiDAR) โดยข้อมูลทั้งสองกลุ่มถูกนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิผลป้องกันชายฝั่ง และใช้ในการสร้างเกณฑ์การออกแบบเชื่อมกันคลื่น สำหรับพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษาพบว่าในช่วงปี 2497–2539 มากกว่า 50% ของแนวชายฝั่งที่ศึกษาเกิดการถอยร่นอย่างต่อเนื่องและรุนแรง เสียพื้นที่ไปราว 700 เฮกตาร์ ในปี 2537 กำแพงกันคลื่นถูกสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นระยะทาง 10 กม. ใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยา ทำให้ 23% ของแนวชายฝั่ง ที่ศึกษามีเสถียรภาพจนถึงปัจจุบัน แต่อีก 70% ที่เหลือ เกิดการถอยร่นอย่างรุนแรง ด้วยอัตราเฉลี่ย -15 ม./ปี ในปี 2548 เชื่อมกันคลื่นจมน้ำด้วยไส้กรอกทราย ถูกติดตั้งตามแนวชายฝั่งที่ถูกกัดเซาะ เป็นระยะทาง 25 กม ส่งผลให้ 35% ของชายฝั่งมีเสถียรภาพ อีก 56% ที่เหลื้อยังคงเกิดการถอยร่น แต่อัตราการกัดเซาะเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง -8 ม./ปี เนื่องจากไส้กรอกทรายมีอายุการใช้งานเพียง 4–5 ปี เชื่อมกันคลื่นด้วยหินทิ้งจึงถูกนำมาแทนที่ ในปี 2558 ทำให้แนวชายฝั่งที่เกิดการถอยร่นลดลงเหลือเพียง 28% ด้วยอัตราเฉลี่ย -2 ม./ปี และมีอัตราการทับถมตะกอนด้านหลังเชื่อมเฉลี่ย 4–12 ซม./ปี ตั้งแต่ปี 2558 เชื่อมกันคลื่นใกล้ฝั่ง ถูกสร้างตามปากคลองสายหลักที่ยังคงเกิดการถอยร่นชายฝั่ง เชื่อมทุกตัวประสบความสำเร็จในการรักษาเสถียรภาพแนวชายฝั่ง และการฟื้นฟูพื้นที่ชายฝั่ง โดยมีอัตราการงอกชายฝั่งเฉลี่ย 11 ม./ปี และมีอัตราการทับถมตะกอนด้านหลังโครงสร้าง 16–32 ซม./ปี นอกจากโครงสร้างวิศวกรรมแล้ว ไม้ไผ่ชะลอคลื่น ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ใช้วัสดุธรรมชาติ ถูกนำมาติดตั้งด้านหลังเชื่อมกันคลื่นจมน้ำ ตามแนวชายฝั่งแนวชายฝั่งพื้นที่ศึกษาตั้งแต่ปี 2545 แม้ว่าส่วนใหญ่ จะพบการขยายอาณาเขตของป่าชายเลนด้านหลังแนวไม้ไผ่ แต่ผลการสำรวจแสงเลเซอร์ LiDAR ระบุว่า อัตราการทับถมของตะกอนด้านหลังแนวไม้ไผ่มีค่าน้อยกว่า 1 ซม./ปี หลังจากก่อสร้าง 5 ปีขึ้นไป

ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและอัตราการทับถมตะกอน เนื่องจากการติดตั้งโครงสร้างวิศวกรรมป้องกันชายฝั่งทั้ง 4 ชนิด แสดงให้เห็นว่า เชื่อมกันคลื่นใกล้ฝั่งให้ประสิทธิผลดีที่สุด ทั้งในการป้องกันชายฝั่งและทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นพื้นที่ป่าชายเลน ส่วนเชื่อมกันคลื่นจมน้ำ (แบบไส้กรอกทรายและแบบหินทิ้ง) มีประสิทธิผลดีในการลดความรุนแรงการกัดเซาะชายฝั่ง ในขณะที่แนวไม้ไผ่ชะลอคลื่น ประสบผลสำเร็จในการดักตะกอนได้เพียง 1–3 ปีหลังจากการก่อสร้าง หลังจากนั้นไม้ไผ่จะเสื่อมสภาพ ผลการศึกษาได้เสนอเกณฑ์การออกแบบเชื่อมกันคลื่น ตามสภาพข้อมูลจากชายฝั่งที่ศึกษา

สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6270335121 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEYWORD: LiDAR, REMOTE SENSING, MUDDY COAST, COASTAL STRUCTURE, BREAKWATER'S DESIGN CRITERIA

Warit Charoenlerkthawin : PERFORMANCE MONITORING OF COASTAL PROTECTION STRUCTURES ALONG THE EASTERN COASTLINE OF THE CHAO PHRAYA RIVER MOUTH. Advisor: BUTSAWAN BIDORN, Ph.D.

This research aims at a study of 1) changes of the 42 km eastern coastline of the Chao Phraya River mouth (ECPM) during the past 7 decades, 2) the responses of muddy coastline upon the existence of coastal protection structures, and 3) performance monitoring of breakwaters in protection of the study area. Shoreline changes were evaluated from aerial photographs and satellite imageries during 1956-2021. Digital terrain models were made for the study area with data surveyed by a laser equipped drone (UAV-LIDAR). Both resulting data were used to assess the effectiveness of coastal protections and to formulate a design criteria of breakwater for the study area.

The study result found that, during 1956–1996, more than 50% of the shoreline had experienced continuous and severe retreat causing land losses of 700 ha. In 1994, seawalls had been constructed along a 10-km coastline near the CPY River mouth stabilizing 23% of the study shoreline ever since. However, the remaining 70% shoreline continuously receded with an alarming rate of -15 m/y. In 2005, sand-sausage submerged breakwaters were installed along 25 km of the eroded coast resulting in 35% of the stable coastline. The rest 56% coastline still receded with a lower average recession rate of -8 m/y. Since sand sausage had a short life span of 4–5 y, sand sausages had been replaced by rubble-mound submerged breakwaters (RMBW) in 2015 reducing eroded shoreline to 28% with an average rate of -2 m/y. In addition, the sedimentation rate behind the structures varied 4–12 cm/y. Since 2013, nearshore breakwaters had been constructed along the eroded shores near the outlets of major coastal channels. All nearshore breakwaters successfully protected and reclaimed coastlines with an average aggradation rate of 11 m/y and the sedimentation deposition rates behind the structures ranging 16–32 cm/y. Besides the engineering structures, bamboo fences, natural-based structures, had been installed behind RMBW along the study coastline since 2002. Although mangrove colonization were found behind the bamboo fences in several areas, the LiDAR survey data indicated that average sedimentation rates behind the bamboo fences were less than 1 cm/y after five years of installation.

Results from the analysis of shoreline change patterns and sedimentation rates, induced by the 4 types of coastal protection structures, indicated that nearshore breakwater had the highest effectiveness on coastal protection and regeneration of mangrove forest. Submerged breakwaters (sand sausage and rubble mound) had a good effectiveness on reducing severity of shoreline erosion. While bamboo fences successfully trapped sediment only a few years after construction before they deteriorated. A design criteria was proposed for breakwater according to data collected in the study coastline.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Water Resources Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2021

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การติดตามวัดผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งตามแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา สำเร็จลงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ หลายท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่มีประโยชน์ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.บุศวรรณ บิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่อง ระหว่างการจัดทำวิทยานิพนธ์ และได้กรุณาสั่งสอนปรัชญาในการดำเนินชีวิต อันเป็นประโยชน์สูงสุดที่ข้าพเจ้าได้รับระหว่างการศึกษาระดับมหาบัณฑิตนี้ ขอกราบขอบพระคุณผศ.ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์ รศ.ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล และ รศ.ดร.ชัยพันธุ์ รัถวิชัย ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาสละเวลาในการให้คำแนะนำ ปรึกษา และแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์นี้ รวมทั้ง คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ หน่วยปฏิบัติการวิจัยสหวิทยาการเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (WISE RU) ที่ได้ให้โอกาสแก่ข้าพเจ้า ได้เป็นผู้ช่วยวิจัยในหน่วยวิจัย เรียนรู้การทำงานวิจัย และงานวิชาชีพ ตลอดจนสนับสนุนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ตลอดการเรียนนี้ ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และให้โอกาสแก่ข้าพเจ้าในการเข้าศึกษา ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการศึกษาเพื่อทำหน้าที่ผู้ช่วยวิจัย (GUCGE17) และขอขอบคุณ อ.ศุภกร ศิริพจนกุล ที่ได้แนะนำให้ข้าพเจ้า เข้ามาศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ นายคมกริช บิตร ที่ได้คอยช่วยเหลือข้าพเจ้าในการเก็บสำรวจข้อมูลภาคสนาม วิเคราะห์ข้อมูล และให้ข้อคิดในการทำงาน ตลอดจนการเตรียมรูปเล่มวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ นายพันธวิช จันทราช ผู้ช่วยเตรียมข้อมูลที่เป็นเนื้อหาในส่วนของภาคผนวกของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอขอบคุณ นายเมธาฤทธิ์ แนมสัย และ นางสาว ณัฐมน พนมพงษ์ไพศาล ผู้ให้ข้อคิด ให้ความช่วยเหลือ และให้ความรู้ในการทำงาน ตั้งแต่ข้าพเจ้าเริ่มเข้ามาศึกษา ณ ที่แห่งนี้

สุดท้ายขอกราบขอบคุณ นางสาว มณฑลณลิน ภัทร์ไชยรัตน์ มารดาผู้เป็นที่รักยิ่ง และนายธนา สุนทรคง เจริญ บิดาผู้เสียสละของข้าพเจ้า ที่คอยส่งเสริม ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนด้านการศึกษาเสมอมา

บุคคลต่าง ๆ ที่กล่าวมาเหล่านี้มีความสำคัญยิ่งต่อข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จ และข้าพเจ้า ขอขอบคุณบุคคลอื่น ๆ ที่คอยช่วยเหลือข้าพเจ้ามาตลอด ด้วยความตั้งใจของข้าพเจ้า

วริทธิ์ เจริญฤกษ์ถวิล

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....ค	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง	ง
กิตติกรรมประกาศ.....จ	จ
สารบัญ.....ฉ	ฉ
สารบัญตาราง.....ฉ	ฉ
สารบัญรูป.....ฐ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ..... 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 3	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา..... 4	4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย..... 4	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและการศึกษาที่ผ่านมา..... 6	6
2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา..... 6	6
2.1.1 กลศาสตร์ของคลื่นและกระแสน้ำ..... 6	6
2.1.2 พลังงานของคลื่น..... 10	10
2.1.3 กระบวนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง..... 11	11
2.1.4 รูปตัดชายฝั่ง (beach profile) และการเปลี่ยนแปลงรูปตัดชายฝั่ง..... 15	15
2.1.5 กลไกการเปลี่ยนแปลงของรูปตัดชายฝั่ง..... 15	15
2.1.6 รูปตัดชายฝั่งสมดุล..... 18	18
2.1.7 การตอบสนองของชายฝั่งต่อเขื่อนกันคลื่น..... 19	19
2.1.8 แนวทางการป้องกันชายฝั่ง..... 20	20

2.1.9	การติดตามประสิทธิภาพโครงการทางวิศวกรรม .....	21
2.1.10	กระบวนการชายฝั่งของตะกอนดินเหนียว.....	22
2.1.11	ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นที่กระทำต่อหาดเลน.....	25
2.1.12	LiDAR Remote Sensing .....	27
2.2	การศึกษาที่ผ่านมา.....	28
2.2.1	การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งทั่วโลก .....	28
2.2.2	การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่ง .....	29
2.2.3	การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และมาตรการป้องกันชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออก .....	32
2.2.4	การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการใช้เทคนิคการสำรวจภูมิประเทศด้วยแสงเลเซอร์ (LiDAR remote sensing).....	37
บทที่ 3	วิธีการศึกษา.....	39
3.1	สภาพพื้นที่ศึกษา .....	39
3.1.1	ลักษณะชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา.....	39
3.1.2	สภาพลุ่มน้ำและแหล่งตะกอนแม่น้ำ .....	47
3.1.3	สภาพสมุทรศาสตร์และอุทกศาสตร์ของพื้นที่ศึกษา.....	55
3.1.4	สาเหตุการถดถอยของชายฝั่งบริเวณชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยา .....	59
3.1.5	การป้องกันชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออกด้วยโครงสร้าง.....	62
3.2	การศึกษาประสิทธิภาพของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งในการรักษาเสถียรภาพชายฝั่ง.....	63
3.2.1	ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและการตรึงพิกัดภาพ .....	63
3.2.2	การเลือกตำแหน่งแนวชายฝั่งจากภาพข้อมูล .....	64
3.2.3	การประเมินการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง.....	65
3.3	การสำรวจภูมิประเทศด้วยแสงเลเซอร์แบบติดตั้งกับโดรน (UAV-LiDAR) .....	69
3.3.1	การปรับแก้ค่าพิกัดและค่าระดับของข้อมูล LiDAR ด้วยการสำรวจภาคพื้นดิน .....	74



3.3.2	ขั้นตอนการสำรวจข้อมูลระดับท้องทะเลและชายฝั่ง.....	76
3.4	การศึกษาประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งในการดักตะกอน.....	78
3.5	การสร้างเกณฑ์การออกแบบเชื่อมกันคลื่นในหาดเลน.....	79
3.5.1	เชื่อมกันคลื่นแบบจมน้ำ (submerged breakwater).....	81
3.5.2	เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (nearshore breakwater).....	82
บทที่ 4	ผลการศึกษา .....	84
4.1	การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา.....	84
4.1.1	การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนมีโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง .....	85
4.1.2	การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังจากมีโครงสร้างกำแพงกันคลื่น.....	86
4.1.3	การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างโครงสร้างใส่กรอกทราย .....	87
4.1.4	การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง.....	93
4.1.5	การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง .....	96
4.1.6	การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังจากการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น.....	98
4.2	ผลการสำรวจประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งด้วย UAV LiDAR.....	99
4.2.1	ลักษณะของชายฝั่งบริเวณที่ไม่มีการก่อสร้างเชื่อมกันคลื่น.....	99
4.2.1	ประสิทธิผลของโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง .....	100
4.2.2	ประสิทธิผลของโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง.....	110
4.2.3	ประสิทธิผลของการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น.....	119
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบ และเกณฑ์การออกแบบ .....	124
4.3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอันเนื่องมาจากเชื่อมกันคลื่นจมน้ำ .....	125
4.3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอันเนื่องมาจากเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง .....	131
บทที่ 5	อภิปรายผลการศึกษา .....	135

5.1 ประสิทธิภาพของไส้กรองทรายต่อการป้องกันแนวชายฝั่งด้านตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา.....	135
5.2 ประสิทธิภาพของเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้งต่อการป้องกันแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา .....	139
5.3 ประสิทธิภาพไม่ไผ่ชะลอกคลื่นต่อการป้องกันแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา	142
5.4 ประสิทธิภาพของเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งต่อการป้องกันแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา.....	148
5.5 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้วยวิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวราบ.....	152
5.6 สรุปข้อดี-ข้อเสียการใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่งในพื้นที่ชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา.....	153
5.7 ตัวอย่างการใช้เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นในหาดเลนอ่าวไทยตอนบน .....	155
บทที่ 6      สรุปและข้อเสนอแนะ.....	157
6.1 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาก่อนและหลังการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง.....	157
6.2 ประสิทธิภาพของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งต่อการรักษาเสถียรภาพชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา .....	159
6.3 ประสิทธิภาพของโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นต่อการกัดตะกอนเลน .....	160
6.4 เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นในหาดเลน .....	162
6.5 ข้อเสนอแนะ .....	163
บรรณานุกรม .....	165
ภาคผนวก ก การสำรวจสภาพชายฝั่ง.....	174
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากการก่อสร้าง โครงสร้างป้องกันชายฝั่งแต่ละชนิด .....	181
ภาคผนวก ค รูปตัดตามยาวของชายฝั่งจากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR .....	197
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ข้อมูล UAV-LiDAR .....	220

ประวัติผู้เขียน ..... 230



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2-1 การจำแนกชนิดคลื่น .....	7
ตาราง 2-2 ความหนาแน่นของตะกอนดินเหนียวชนิดต่าง ๆ .....	24
ตาราง 2-3 เงื่อนไขการตอบสนองของชายฝั่งรูปแบบ Tombolo.....	31
ตาราง 2-4 เงื่อนไขการตอบสนองของชายฝั่งรูปแบบ Salients.....	31
ตาราง 2-5 ข้อมูลชายฝั่งและการจัดการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน.....	35
ตาราง 3-1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	41
ตาราง 3-2 การใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่ชายฝั่งด้านตะวันออกและด้านตะวันตกของแม่น้ำบางปะกง ช่วงปี 2497–2563.....	47
ตาราง 3-3 ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่สถานีของกรมชลประทาน .....	50
ตาราง 3-4 การใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาในช่วงปี 2546–2552.....	52
ตาราง 3-5 ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของกลุ่มน้ำบางปะกงตรวจวัดที่สถานีของกรมชลประทาน .....	54
ตาราง 3-6 ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายปีเฉลี่ยของกลุ่มน้ำบางปะกงตรวจวัดที่สถานีของกรมชลประทาน .....	55
ตาราง 3-7 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำบางปะกงระหว่างปี 2545–2552.....	56
ตาราง 3-8 สถิติการเกิดคลื่นจากข้อมูลคลื่นราย 6 ชั่วโมง ปี 2540–2543 ที่หุ่นสมุทรศาสตร์สีซัง...57	
ตาราง 3-9 สรุปรายละเอียดโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเจ้าพระยาตะวันออก.....	63
ตาราง 3-10 สรุปรูปข้อมูลภาพที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่ศึกษา.....	65
ตาราง 3-11 สรุปรูปข้อมูลพื้นที่สำรวจด้วย UAV-LiDAR ตลอดแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา .....	73
ตาราง 4-1 สรุปรูปภาพรวมการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา และชายฝั่งที่ถูกรักษาโดยโครงสร้างแต่ละชนิด .....	85

ตาราง 4-2	สรุปการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาก่อนก่อสร้าง เขื่อนกัน คลื่น.....	86
ตาราง 4-3	สรุปการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างไส้กรอกทราย .....	91
ตาราง 4-4	ผลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อน-หลังการก่อสร้างไส้กรอกทราย .....	92
ตาราง 4-5	สรุปการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง และ เขื่อนกัน คลื่นใกล้ชายฝั่ง .....	94
ตาราง 4-6	ผลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อน-หลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ ด้วยหิน ทิ้ง .....	96
ตาราง 4-7	ผลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อน-หลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง..	97
ตาราง 4-8	ผลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อน-หลังการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น .....	98
ตาราง 4-9	สรุปผลการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ของเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ตลอดแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา .....	101
ตาราง 4-10	สรุปข้อมูลสำรวจด้วย UAV-LiDAR ในพื้นที่ก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง.....	112
ตาราง 4-11	สรุปการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไว้มิติด้วยสมการถดถอย.....	129
ตาราง 5-1	สรุปข้อดี-ข้อเสียของโครงสร้างแต่ละชนิด.....	154

## สารบัญรูป

	หน้า
รูป 1-1 แผนที่ชายฝั่งด้านตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา .....	5
รูป 2-1 การจำแนกคลื่นโดยใช้ความลึกสัมพัทธ์ .....	7
รูป 2-2 การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำในน้ำตื้นและน้ำลึก .....	8
รูป 2-3 การหักเหของคลื่น (wave refraction).....	9
รูป 2-4 การสะท้อนของคลื่น (wave reflection) .....	9
รูป 2-5 การเลี้ยวเบน (wave diffraction) .....	10
รูป 2-6 รูปตัดตามยาวของชายฝั่ง .....	12
รูป 2-7 กระแสน้ำบริเวณชายฝั่ง .....	12
รูป 2-8 การเกิดกระแสน้ำตามแนวชายฝั่งเนื่องจากคลื่น .....	13
รูป 2-9 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากคลื่นพายุ.....	14
รูป 2-10 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากโครงสร้างที่ยื่นตั้งฉากกับชายฝั่ง.....	15
รูป 2-11 รูปตัดชายฝั่งทั่วไปและคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง.....	18
รูป 2-12 รูปแบบการตอบสนองของชายฝั่งต่อเขื่อนกันคลื่นเดี่ยวและแยก.....	20
รูป 2-13 กระบวนการชายฝั่งที่มีลักษณะเป็นดินเหนียว .....	24
รูป 2-14 กระบวนการชายฝั่งของหาดเลน .....	26
รูป 2-15 Passive and active remote sensing .....	27
รูป 2-16 ตัวอย่างโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นปากคลองเจริญวัย .....	33
รูป 3-1 ขั้นตอนการศึกษา .....	40
รูป 3-2 พื้นที่ศึกษา .....	42
รูป 3-3 สถิติพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2494–2560.....	45
รูป 3-4 สถิติพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่ประเทศไทยแต่ละเดือน .....	46

รูป 3-5 ระบบแม่น้ำสายหลักของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาและลุ่มน้ำบางปะกง.....	49
รูป 3-6 ปริมาณตะกอนรวมรายปีของ 6 สถานี ในแม่น้ำเจ้าพระยา.....	51
รูป 3-7 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำบางปะกง.....	53
รูป 3-8 อนุกรมเวลาของความสูงคลื่น ที่บันทึกโดยหุ่นสมุทรศาสตร์สี่ซิงในช่วงปี 2540–2543 .....	56
รูป 3-9 ผังทิศทางและความสูงคลื่น (wave rose) ปี 2540–2543 ที่หุ่นสมุทรศาสตร์สี่ซิง.....	57
รูป 3-10 ขนาดและทิศทางกระแสน้ำ ปี 2540–2543 ที่หุ่นสมุทรศาสตร์สี่ซิง.....	58
รูป 3-11 ผังความเร็วและทิศทางกระแสน้ำ ปี 2540–2543 ที่หุ่นสมุทรศาสตร์สี่ซิง .....	58
รูป 3-12 ปริมาณการขุดลอกตะกอนร่องน้ำเจ้าพระยารวมกับร่องน้ำบางปะกงและอัครา การ เปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยในช่วงปี 2503–2554 ของพื้นที่ศึกษา .....	60
รูป 3-13 อนุกรมเวลาของระดับน้ำทะเลชายฝั่งอ่าวไทยและอันดามันตั้งแต่ ปี 2483–2563 .....	61
รูป 3-14 องค์ประกอบที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยซอฟต์แวร์ DSAS .....	66
รูป 3-15 แนวการวัดการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง (transects) ในพื้นที่ศึกษา.....	68
รูป 3-16 ตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยวิธี NSM และ EPR.....	68
รูป 3-17 หลักการทำงานของ LiDAR.....	70
รูป 3-18 เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ.....	72
รูป 3-19 พื้นที่สำรวจด้วย UAV-LiDAR ตลอดแนวชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออก .....	74
รูป 3-20 ตัวอย่างข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ (digital terrain model, DTM).....	75
รูป 3-21 ตัวอย่างข้อมูลเส้นชั้นความลึกท้องน้ำของพื้นที่ศึกษา .....	76
รูป 3-22 การวางตำแหน่งจุดอ้างอิงในพื้นที่สำรวจ .....	76
รูป 3-23 ตัวอย่างการวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน และจุดตรวจสอบ ที่บ้านสีลัง จ.ฉะเชิงเทรา .....	77
รูป 3-24 ตัวอย่างการสำรวจในช่วงเวลาที่น้ำลงต่ำ และการควบคุมโดรนจากระยะไกล ระหว่างการ สำรวจที่ บ้านบางบูใหม่ จ.สมุทรปราการ .....	77
รูป 3-25 ตัวอย่างการแสดงผล photogrammetry และ LiDAR point cloud ขณะดำเนินการ สำรวจ ด้วย UAV-LiDAR.....	78
รูป 3-26 ระดับท้องน้ำก่อน-หลังการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งที่บ้านสีลัง จ.ฉะเชิงเทรา .....	79

รูป 3-27 ตัวอย่างหน้าตัดขวางที่ใช้ในการศึกษาเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่น .....	80
รูป 3-28 ตัวอย่างเส้นแนวชายฝั่งในปี 2564 และเส้นชั้นความสูงระดับ 0.5 ม.รทก. ....	81
รูป 3-29 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแบบจมน้ำ .....	82
รูป 3-30 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง .....	83
รูป 4-1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาก่อนการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่น .	88
รูป 4-2 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างไส้กรอกทรายระหว่าง ปี 2545–2556.....	89
รูป 4-3 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง และเขื่อนกันคลื่น ใกล้ชายฝั่ง.....	95
รูป 4-4 แนวชายฝั่งที่ไม่มีกำการสร้างเขื่อนกันคลื่น .....	100
รูป 4-5 การเปรียบเทียบระหว่างแนวชายฝั่งที่ไม่มีโครงสร้างป้องกัน และแนวชายฝั่งข้างเคียง ที่มีการ ก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ.....	100
รูป 4-6 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศและเส้นชั้นความสูงท้องน้ำบริเวณหมู่บ้าน แฮปปี้แลนด์ซี วิว จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564.....	103
รูป 4-7 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศและเส้นชั้นความสูงท้องน้ำบริเวณบ้านตาเจีย จ. สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564 .....	104
รูป 4-8 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ และเส้นชั้นความสูงท้องน้ำ บริเวณบ้านตาก๊ก จ. สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564 .....	105
รูป 4-9 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศและเส้นชั้นความสูงท้องน้ำบริเวณบ้านคลองด่าน จ. สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564 .....	106
รูป 4-10 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ และเส้นชั้นความสูงท้องน้ำ บริเวณบ้านสีลัง จ. สมุทรปราการ และ จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564.....	107
รูป 4-11 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ และเส้นชั้นความสูงท้องน้ำ บริเวณบ้านคลองหงษ์ทอง จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564.....	108
รูป 4-12 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ และเส้นชั้นความสูงท้องน้ำ บริเวณบ้านคลองแสมขาว จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564.....	109



รูป 4-13 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ และเส้นชั้นความสูงท้องน้ำ บริเวณบ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2565.....	110
รูป 4-14 เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และพื้นที่อกด้านหลังโครงสร้าง บริเวณหมู่บ้านแฮปปี้แลนด์สวีท จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564.....	111
รูป 4-15 พื้นที่ทับถมด้านหลังเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งบริเวณ บ้านคลองด่าน จ.สมุทรปราการ และรูปตัดตามขวางเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งหมายเลข NB6 จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564.....	113
รูป 4-16 เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และพื้นที่อกด้านหลังโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง บริเวณ บ้านสีลัง จ.สมุทรปราการ และ จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564 .....	114
รูป 4-17 เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และพื้นที่อกด้านหลังโครงสร้าง บริเวณ บ้านคลองหงษ์ทอง จ. ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564.....	116
รูป 4-18 เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งหมายเลข NB13 ที่วัดหงษ์ทอง และรูปตัดตามขวางแสดงการทับถม ของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง.....	116
รูป 4-19 เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และพื้นที่อกด้านหลังโครงสร้างหมายเลข NB21 บริเวณ บ้าน คลองแสมขาว จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564.....	117
รูป 4-20 เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และพื้นที่อกด้านหลังโครงสร้าง บริเวณบ้านคลองเจริญวัย จ. ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2565.....	119
รูป 4-21 แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ และตัวอย่างภาพตัดขวางการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นบริเวณ สถานตากอากาศบางปู จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2565 .....	120
รูป 4-22 แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ และตัวอย่างภาพตัดขวางการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นบริเวณ บ้านตำรุ จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2565 .....	121
รูป 4-23 แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ และตัวอย่างภาพตัดขวางการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นบริเวณ บ้านตาเจ็ย-ตาก๊ก จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564.....	122
รูป 4-24 แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ และตัวอย่างภาพตัดขวางการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นบริเวณ บ้านคลองด่าน จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564 .....	123

รูป 4-25 แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ และตัวอย่างภาพตัดขวางการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นบริเวณ บ้านสีผึ้ง จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564 .....	124
รูป 4-26 ความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับสันโครงสร้าง และระดับการทับถมของตะกอนด้านหลัง โครงสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำในพื้นที่ศึกษา.....	126
รูป 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับท้องน้ำด้านหลังโครงสร้าง และระดับการทับถมของตะกอน ด้านหลังโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำในพื้นที่ศึกษา .....	127
รูป 4-28 ความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะห่างจากชายฝั่งถึงโครงสร้าง และระดับการทับถมของตะกอน ด้านหลังโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำในพื้นที่ศึกษา .....	128
รูป 4-29 เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้งในหาดเลนอ่าวไทยตอนบน .....	130
รูป 4-30 ความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้น และระยะงอกของชายฝั่งด้านหลัง เขื่อน กันคลื่นใกล้ชายฝั่ง .....	132
รูป 4-31 ความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับท้องน้ำด้านหน้า และระดับการทับถมด้านหลังเขื่อนกันคลื่น ใกล้ชายฝั่ง.....	132
รูป 4-32 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของโครงสร้างและความลึกน้ำด้านหลังโครงสร้าง.....	133
รูป 4-33 ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่งอก และปริมาตรตะกอนที่ทับถมด้านหลังเขื่อนกันคลื่น ใกล้ ชายฝั่ง .....	134
รูป 5-1 ค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างโครงสร้างแต่ละชนิด.....	136
รูป 5-2 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้านหลังโครงสร้างแต่ละชนิด.....	137
รูป 5-3 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยของพื้นที่ที่ถูกป้องกันโดยไส้กรอกทราย ก่อนและหลังการ ก่อสร้าง.....	138
รูป 5-4 ไส้กรอกทรายในพื้นที่ชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา .....	139
รูป 5-5 ประสิทธิภาพในการดักตะกอนที่เคลื่อนที่ออกนอกชายฝั่งของเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง .....	141
รูป 5-6 แนวไม้ไผ่ส่วนที่หักและติดอยู่กับท้องน้ำที่บริเวณบ้านตากก็ถึงบ้านตาเจ็ย.....	144
รูป 5-7 การงอกของป่าชายเลนข้ามแนวไม้ไผ่ที่หักไปตั้งแต่ปี 2557 บริเวณบ้านตาเจ็ย (Sta.15+040–Sta.16+500).....	145

รูป 5-8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราทรุดตัวของแผ่นดิน การใช้ น้ำบาดาล และอัตราการเปลี่ยนแปลง ชายฝั่งในพื้นที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา.....	146
รูป 5-9 การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นที่บริเวณบ้านสีลัง ระหว่าง Sta.28+540–Sta.29+500.....	147
รูป 5-10 ซากไม้ไผ่ชะลอคลื่นที่บ้านสีลัง .....	147
รูป 5-11 การรอกของป่าชายเลนด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง บริเวณบ้านคลองหงษ์ทอง (Sta.31+860–Sta.32+220).....	149
รูป 5-12 การรอกของป่าชายเลน ติดกับเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งที่ บ้านสีลัง จ.ฉะเชิงเทรา.....	150
รูป 5-13 ระดับท้องน้ำด้านหน้า และด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง–พื้นที่ฝั่งอกด้านหลังเขื่อนกัน คลื่นใกล้ชายฝั่ง .....	151
รูป 5-14 การพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งบริเวณ บ้านคลองหงษ์ทอง .....	151
รูป 5-15 การเปรียบเทียบข้อมูลดาวเทียม และข้อมูลภาพถ่ายตามขวางเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง...	153
รูป 5-16 ตัวอย่างการใช้เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นจมน้ำในหาดเลนอ่าวไทยตอนบน.....	156

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

พื้นที่ชายฝั่งมีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นพื้นที่ ที่ถูกใช้ทั้งเป็นที่ตั้งท่าเรือขนส่งสินค้า แหล่งท่องเที่ยว แหล่งอาหาร และยังเป็นพื้นที่ ที่มีความสำคัญในเชิงระบบนิเวศวิทยา ทำให้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันประชากร 1 ใน 3 ของโลกอาศัยอยู่ในพื้นที่ชายฝั่ง (Rêgo et al., 2018; Sale et al., 2014) สำหรับประเทศไทย มีแนวชายฝั่งยาวกว่า 3,000 กิโลเมตร พื้นที่ชายฝั่งของประเทศไทย ถูกใช้ประโยชน์ในทางเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ทั้งเป็นที่ตั้งของท่าเรือเพื่อการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญและมีชื่อเสียงของโลก เช่น ชายหาดพัทยา ชายหาดบางแสน และชายหาดภูเก็ต เป็นต้น นอกจากนี้ พื้นที่ตามแนวชายฝั่งยังถูกพัฒนาเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง และแหล่งผลิตสินค้าทางทะเลที่สำคัญของประเทศ จนทำให้พื้นที่ชายฝั่งเป็นที่ตั้งของชุมชนชายฝั่งจำนวนมากมายาวนาน สำหรับในด้านนิเวศวิทยา ชายฝั่งประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่เขตร้อน (tropical zone) เป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพและเป็นสถานอนุบาลสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ ทำให้พื้นที่ชายฝั่งของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญ ทั้งทางเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และสิ่งแวดล้อม อย่างยิ่ง

อย่างไรก็ตามในช่วงกว่าสามสิบปีที่ผ่านมา แนวชายฝั่งของประเทศไทยมากกว่า 100 กิโลเมตร ประสบปัญหาการถดถอยของแนวชายฝั่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แนวชายฝั่งด้านอ่าวไทย ซึ่งพบการถดถอยรุนแรงของแนวชายฝั่งรุนแรง ในระดับปานกลางถึงวิกฤตในหลายพื้นที่ เช่น ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบนด้านเหนือ และชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่าง รวมความยาวชายฝั่งทะเลที่ประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งอย่างน้อย 170 กิโลเมตร ส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557) จนการกัดเซาะชายฝั่งกลายเป็นปัญหาเชิงนโยบายของประเทศ ที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วนมาตลอดสามทศวรรษที่ผ่านมา อันจะเห็นได้จาก หน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบปกป้องชายฝั่งของประเทศ มีอยู่หลายหน่วยงาน เช่น กรมโยธาธิการและผังเมือง กรมเจ้าท่า กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น เป็นต้น โดยแต่ละหน่วยงาน ต่างมีมาตรการในการรักษาเสถียรภาพชายฝั่งที่หลากหลาย ซึ่งในแต่ละรูปแบบมีข้อดี-ข้อเสีย รวมถึงผลกระทบที่แตกต่างกันไป (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2555)

ในการดำเนินงานออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง การติดตามและประเมินผล หลังการก่อสร้างเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องดำเนินการ เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิผลและผลกระทบของ โครงสร้างป้องกันชายฝั่ง รวมถึงเพื่อให้เกิดความเข้าใจกระบวนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจาก โครงสร้างได้มากขึ้น (Alesheikh et al., 2007; Duvat, 2013; USACE, 1992) การศึกษาหา ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบของโครงสร้าง และการตอบสนองของแนวชายฝั่งก่อน - หลังมี โครงสร้าง จะช่วยให้สามารถระบุประสิทธิผลของเขื่อนกันคลื่น ในการป้องกันชายฝั่งหาดเลนที่ผ่านมา ของประเทศไทยได้ โดยผลการศึกษาจะเป็นประโยชน์ในการหาแนวทางในการพัฒนาโครงการ และ วิธีการออกแบบสำหรับโครงการประเภทเดียวกันได้ ในอนาคต นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อ หน่วยงานที่รับผิดชอบในการวางนโยบายป้องกันพื้นที่ชายฝั่งของประเทศ

ดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา (Chao Phraya Delta, CPD) เป็นส่วนหนึ่งของ พื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย ซึ่งครอบคลุมพื้นที่กว่า 36,000 ตร.กม. โดย CPD เกิดจากกระบวนการ ทับถมและสะสมตัวของตะกอน จากแม่น้ำสายหลักสี่สาย ของประเทศ ได้แก่ แม่น้ำแม่กลอง ท่าจีน เจ้าพระยา และบางปะกง (Sinsakul, 2000) ระบบชายฝั่ง CPD ซึ่งมีพื้นที่ ประมาณ 25,000 ตร.กม. ประกอบด้วย ที่ราบดินดอนสามเหลี่ยม (delta plain), ที่ลุ่มราบน้ำขึ้นถึง (tidal flat) หรือ หาดโคลน (mud flat), ที่ราบปากแม่น้ำ (river mouth flat), ดินดอนทรายนอกฝั่ง (ebb tide delta) และ โพรเดลเทอ (prodelta) (Tanabe et al., 2003) โดยที่ราบดินดอน สามเหลี่ยม มีลักษณะเป็นทรายแป้ง (silt) หรือ เลนปนทราย (sandy clay) ส่วนพื้นที่ลุ่มราบน้ำท่วม ถึง จนถึง โพรเดลเทอ มีลักษณะเป็นดินเหนียว (Srisuksawad et al., 1997) ในช่วงกว่า 2,000 ปี ที่ ผ่านมา ชายฝั่ง CPD เคยมีอัตราการงอกของชายฝั่ง 1.5 ตร.กม./ปี (Tanabe et al., 2003) โดยเทียบ เป็นระยะงอกของชายฝั่งประมาณ 10–25 กม. (Syvitski, 2008) อย่างไรก็ตาม Saito et al. (2007) รายงานว่า ในช่วงปี 2512–2519 เกิดพื้นที่งอกเพิ่มตามแนวชายฝั่ง CPD ประมาณ 8.9 ตร.กม. และ เกิดการสูญเสียชายฝั่ง ประมาณ 4.5 ตร.กม. ต่อมาในช่วงปี 2519–2530 มีพื้นที่งอกเพิ่ม และเกิด การถดถอยของชายฝั่ง ประมาณ 4.9 และ 10.3 ตร.กม. ตามลำดับ หลังจากนั้นในช่วงปี 2530–2540 มีพื้นที่งอกเพิ่ม สูงขึ้นเป็น 7.4 ตร.กม. และสูญเสียพื้นที่ชายฝั่ง 4.5 ตร.กม.

Sinsakul (2000) รายงานว่า การถดถอยของชายฝั่ง CPD เกิดจาก ทั้งกระบวนการตาม ธรรมชาติ (การระบายน้ำออกจากดินเหนียว (dewatering) และการอัดตัวของดินตะกอนชายฝั่ง (compaction of marine clay)) และกิจกรรมของมนุษย์ (การสูบน้ำใต้ดินส่งผลให้แผ่นดินทรุดตัว กว่า 10 ซม./ปี) นอกจากนี้ ชัยพันธุ์ รักวิจัย และคณะ (2555) ยังได้รายงานไว้อีกว่า การขุดลอกร่อง น้ำปากแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการกัดเซาะแนวชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนด้านเหนือ (ท่าจีน-เจ้าพระยา-บางปะกง)

ในปัจจุบัน CPD กลายเป็นพื้นที่ ที่มีการถดถอยของแนวชายฝั่งรุนแรงแห่งหนึ่งของโลก (Bidorn et al., 2021) ชายฝั่งที่ถูกกัดเซาะอยู่ในพื้นที่ 4 จังหวัด (จังหวัดสมุทรสาคร สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร และฉะเชิงเทรา) ซึ่งเป็นแหล่งเศรษฐกิจสำคัญของประเทศ ทำให้ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา หน่วยงานภาครัฐและเอกชนมีความพยายามที่จะป้องกันการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งด้วยโครงสร้างป้องกันชายฝั่งชนิดต่าง ๆ เช่น กำแพงกันคลื่น (seawall) เขื่อนกันคลื่น (breakwater) การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น (bamboo fence) และเสาหลายพลังงานคลื่น (pile breakwater) สำหรับพื้นที่แนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา (eastern coastline of the Chao Phraya River mouth, ECPM) ซึ่งอยู่ระหว่างปากแม่น้ำเจ้าพระยา และบางปะกง (รูป 1-1) เริ่มมีการใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่งตั้งแต่ ปี 2537 อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งแต่ละชนิดยังมีอยู่อย่างจำกัด และยังไม่เคยมีการติดตามวัดผล (monitor) ในเชิงวิศวกรรมอย่างเป็นระบบมาก่อน

สำหรับเขื่อนกันคลื่น ถูกนำมาใช้ในการป้องกันชายฝั่ง ECPM โดยกรมเจ้าท่าตั้งแต่ปี 2548 อย่างไรก็ตาม ในบางพื้นที่ยังพบปัญหาการถดถอยของชายฝั่งอย่างต่อเนื่องหลังจากสร้างเขื่อนกันคลื่น ทั้งนี้เนื่องจากทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบเขื่อนกันคลื่นโดยทั่วไป มีเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างสำหรับกรณีที่เป็นหาดทราย เป็นหลัก และการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่ มีความคลาดเคลื่อนได้มากเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับชายฝั่งที่มีลักษณะเป็นหาดเลน ซึ่งมีความสลับซับซ้อนมากกว่าหาดทราย ที่ผ่านมารกรมเจ้าท่าและหน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่น ได้มีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นเพื่อป้องกันชายฝั่งอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน แต่มีรูปแบบการจัดวางโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งตัวแปรออกแบบของโครงสร้าง เช่น ขนาด และการวางตัวของโครงสร้าง จะมีผลต่อการตอบสนองของชายฝั่งที่แตกต่างกัน เช่นกัน (Ranasinghe & Turner, 2006; Suh & Dalrymple, 1987) นอกจากนี้ กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ได้นำมาตรการป้องกันชายฝั่งด้วยวัสดุธรรมชาติ (การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น) มาใช้ในการฟื้นฟูสภาพชายฝั่ง และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้โครงสร้างทางวิศวกรรม ดังนั้นการติดตามประสิทธิผลของการใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่งชนิดต่าง ๆ ในหาดเลนบริเวณชายฝั่ง ECPM จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งทั้งในเชิงวิศวกรรม เพื่อปรับปรุง/สร้างเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง ที่เหมาะสมในการรักษาแนวชายฝั่งหาดเลนของประเทศไทย และอาจนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่หาดเลนอื่น ๆ ที่มีเงื่อนไขทางกายภาพคล้ายคลึงกัน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) ศึกษาสภาพชายฝั่งและรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งดินดอนปากแม่น้ำเจ้าพระยาฝั่งตะวันออก (ECPM) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

- 2) สำรวจและศึกษาการตอบสนองของแนวชายฝั่งหาดเลน ต่อโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น
- 3) ติดตามวัดผล (performance monitor) ของการใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่งหาดเลน ECPM และศึกษาเกณฑ์เบื้องต้นในการออกแบบโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น (breakwater) ในพื้นที่หาดเลน (muddy coast)

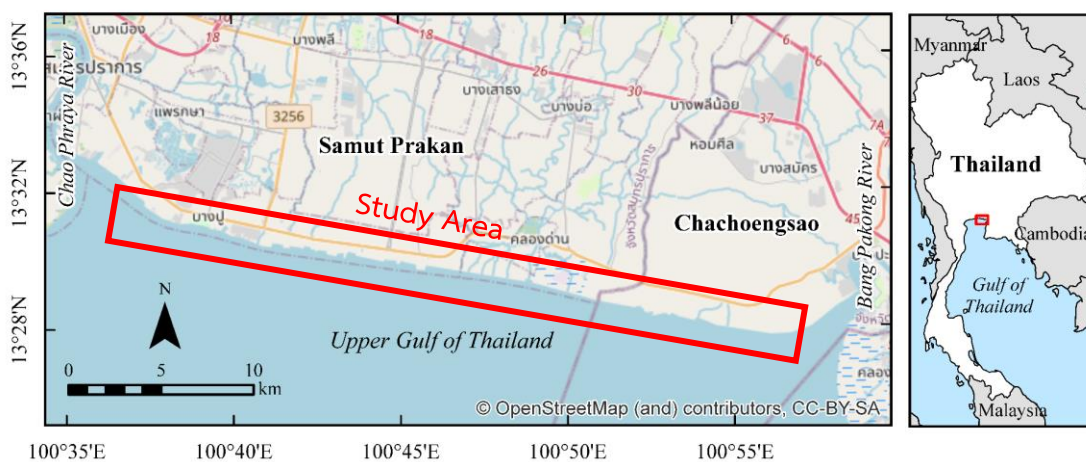
### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ ศึกษาและติดตามวัดผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา บนพื้นฐานของข้อมูลที่รวบรวมได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลสำรวจ โดยมีขอบเขตการศึกษา ดังนี้

- 1) ศึกษาโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง ที่อยู่ในพื้นที่ระหว่างปากแม่น้ำบางปะกง และเจ้าพระยา ครอบคลุม 2 จังหวัด ได้แก่ จ.สมุทรปราการ และ จ.ฉะเชิงเทรา ดังรูป 1-1
- 2) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในแนวราบของแนวชายฝั่ง ก่อน-หลังมีโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายดาวเทียม เท่าที่มีข้อมูลในช่วงปี 2497–2563
- 3) สำรวจระดับท้องน้ำของชายฝั่งบริเวณโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวตั้ง ด้วยเทคนิคการสำรวจพื้นผิวภูมิประเทศด้วยแสงเลเซอร์ความละเอียดสูง (LiDAR) แบบติดตั้งกับโดรน (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) โดยอ้างอิงค่าระดับกับกรมแผนที่ทหาร
- 4) ศึกษาตัวแปรออกแบบเขื่อนกันคลื่นเบื้องต้น ได้แก่ ความยาวเขื่อนกันคลื่น (L) ความสูงเขื่อนกันคลื่น ระยะห่างระหว่างโครงสร้างและแนวชายฝั่ง (y)

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1) ทราบประสิทธิผลของการใช้เขื่อนกันคลื่นในการป้องกันชายฝั่งที่มีลักษณะเป็นหาดเลน
- 2) ได้องค์ความรู้การประยุกต์ใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่งในหาดเลน และการตอบสนองของชายฝั่งต่อโครงสร้างในหาดเลน
- 3) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับโครงการป้องกันชายฝั่งทะเล สามารถนำองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนานโยบายป้องกันชายฝั่งได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- 4) สามารถทราบเกณฑ์เบื้องต้นในการออกแบบเขื่อนกันคลื่นในหาดเลน



รูป 1-1 แผนที่ชายฝั่งด้านตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา





## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและการศึกษาที่ผ่านมา

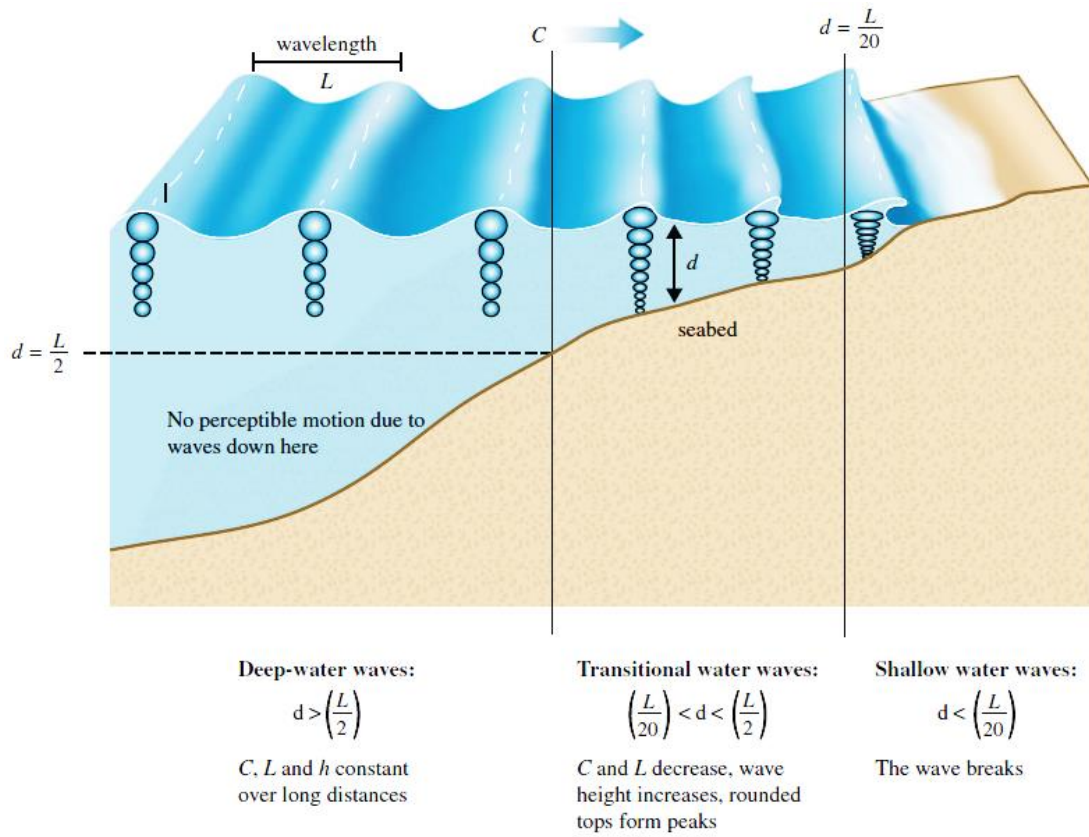
#### 2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

##### 2.1.1 กลศาสตร์ของคลื่นและกระแสน้ำ

คลื่นเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลน้ำที่ถูกรบกวนโดย ลม การเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์ การสั่นสะเทือนจากท้องทะเล หรือแรงดึงดูดระหว่างดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ ในมหาสมุทรคลื่นมากกว่า 90% เกิดจากลม ขนาดและความรุนแรงของคลื่นขึ้นอยู่กับความเร็ว และระยะเวลาที่ลมพัดผ่านพื้นที่ผิวน้ำ (CERC, 1984; Sorensen, 2005)

ชนิดของคลื่นสามารถจำแนกโดยใช้อัตราส่วนระหว่างความลึกน้ำ ( $d$ ) และความยาวคลื่น ( $L$ ) (relative depth,  $d/L$ ) ได้ 3 ชนิด คือ คลื่นในน้ำลึก, คลื่นในน้ำลึกปานกลาง, และคลื่นในน้ำตื้น ดังรูป 2-1 และการจำแนกชนิดคลื่น ดังตาราง 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 และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงโคจรจะลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) จนกระทั่งถึงระดับที่ความลึกมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น หลังจากความลึกดังกล่าวการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ อันเนื่องมาจากอิทธิพลของคลื่นมีน้อยมากทำให้การเคลื่อนที่ของตะกอนสุทธิเท่ากับศูนย์

เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณน้ำลึกปานกลาง (transitional water waves,  $0.05 < d/L < 0.50$ ) ลักษณะของคลื่นจะเปลี่ยนไปเนื่องจากอิทธิพลของน้ำตื้น (shoaling effect) คลื่นในบริเวณนี้จะมี ความยาวคลื่นสั้นลง ความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น ความเร็วคลื่นลดลง แต่คาบเวลาคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง วงโคจรของอนุภาคน้ำเป็นวงรี (ellipse) โดยมีแกนหลัก (major axis) อยู่ในแนวราบขนานกับท้องน้ำ และแกนรอง (minor axis) อยู่ในแนวตั้ง วงโคจรของอนุภาคจะมีขนาดเล็กลงเรื่อย ๆ ตามความลึก จนกระทั่งเป็นเส้นตรงที่บริเวณท้องน้ำ (รูป 2-2) ทำให้ตะกอนที่ท้องน้ำมีการเคลื่อนที่ เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณน้ำตื้น (shallow water wave,  $d/L < 0.05$ ) ซึ่งความลึกนี้ไม่เพียงพอที่จะถ่ายพลังงานคลื่น ทำให้คลื่นเกิดการแตกตัว (wave breaking) บริเวณนี้จะเกิดการปั่นป่วน (turbulence) มาก เนื่องจากการถ่ายทอดพลังงานคลื่นทำให้ตะกอนท้องน้ำเคลื่อนที่ ตะกอนขนาดเล็กจะถูกยกตัวขึ้นและพัดพาในสภาพแขวนลอย (suspension)



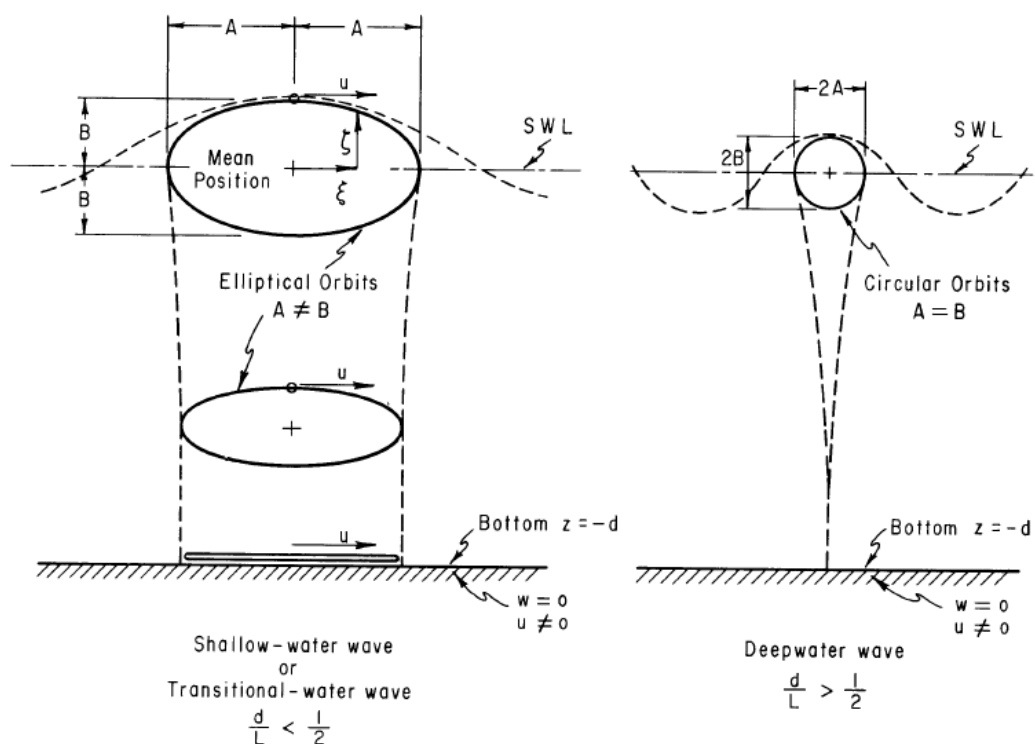
ที่มา : Pecher and Kofoed (2017)

รูป 2-1 การจำแนกคลื่นโดยใช้ความลึกสัมพัทธ์

ตาราง 2-1 การจำแนกชนิดคลื่น (Sorensen, 2005)

การจำแนกตามความลึก	$d/L$	$2\pi d/L$	$\tanh(2\pi d/L)$
คลื่นในน้ำลึก	$> 1/2$	$> \pi$	$\approx 1$
คลื่นในความลึกเปลี่ยนแปลง	$1/20$ to $1/2$	$1/4$ to $\pi$	$\tanh(2\pi d/L)$
คลื่นน้ำตื้น	$< 1/20$	$< 1/4$	$2\pi d/L$

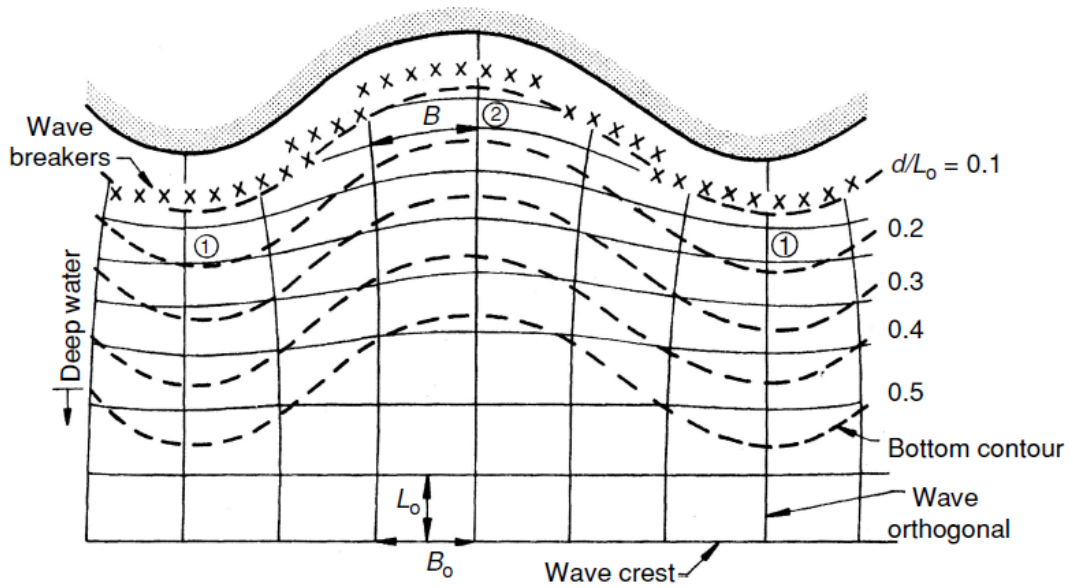
หมายเหตุ :  $d$  คือความลึกน้ำ และ  $L$  คือความยาวคลื่น



ที่มา : CERC (1984)

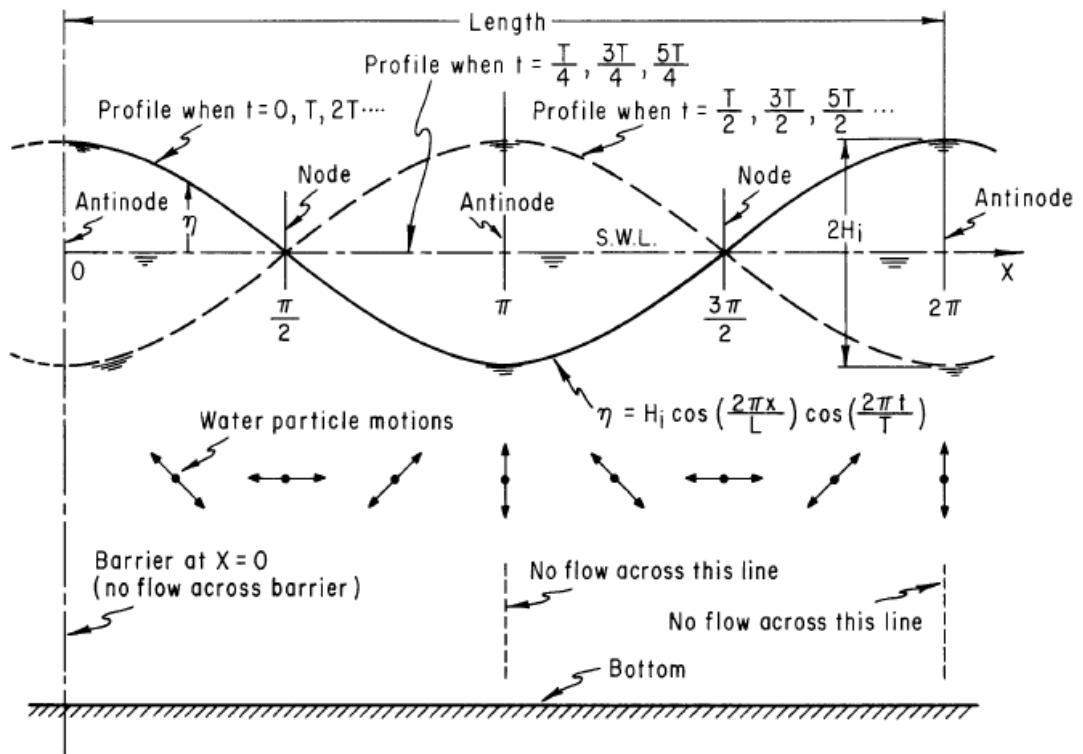
รูป 2-2 การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำในน้ำตื้นและน้ำลึก

ปรากฏการณ์เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกเข้าสู่ น้ำตื้นปานกลางและน้ำตื้น คลื่นจะเกิดการหักเห (wave refraction) เมื่อทิศทางเคลื่อนที่ของคลื่น (wave ray) ทำมุมกับเส้นระดับท้องน้ำ ความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนตัวจะขึ้นอยู่กับความลึกของท้องน้ำ ณ ตำแหน่งนั้น ๆ แนวสันคลื่น (wave crest) ที่ตำแหน่งที่ลึกกว่า จะมีความเร็วคลื่นมากกว่าที่แนวสันคลื่นที่ตำแหน่งที่ตื้น ส่งผลให้แนวสันคลื่นเกิดการบิดแนว (Moussaid et al., 2015) หรือเรียกว่าการหักเห ดังรูป 2-3 นอกจากนี้ ยังมีปรากฏการณ์อื่น ๆ ได้แก่ การสะท้อนของคลื่น (wave reflection) เนื่องจากคลื่นปะทะหัวหาด (headland) หรือโครงสร้างชายฝั่ง ดังรูป 2-4 และการกระจายของคลื่น (wave diffraction) เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านช่องว่างระหว่างหัวหาดหรือโครงสร้างที่ขวางทิศทางคลื่น (Sorensen, 2005; USACE, 2008) ดังรูป 2-5



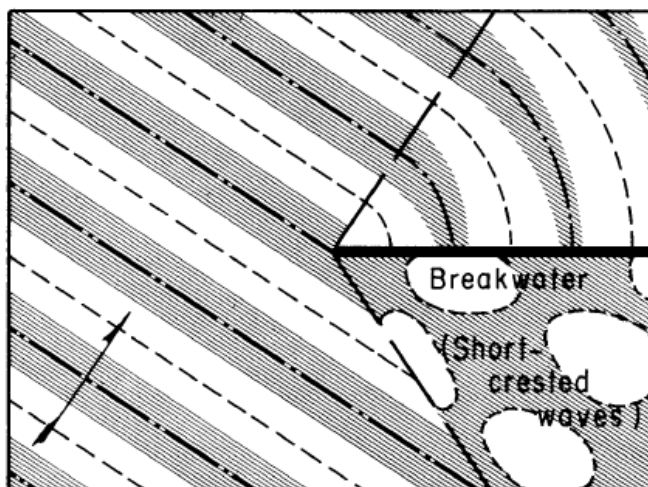
ที่มา : Sorensen (2005)

รูป 2-3 การหักเหของคลื่น (wave refraction)



ที่มา : CERC (1984)

รูป 2-4 การสะท้อนของคลื่น (wave reflection)



ที่มา : CERC (1984)

รูป 2-5 การเลี้ยวเบน (wave diffraction)

## 2.1.2 พลังงานของคลื่น

พลังงานของคลื่น (wave energy,  $E$ ) เป็นผลรวมของพลังงานจลน์ (kinetic energy,  $E_k$ ) ที่เกิดจากความเร็วจนุภาคที่เคลื่อนที่ และพลังงานศักย์ (potential energy,  $E_p$ ) ซึ่งได้แก่ มวลของน้ำที่อยู่เหนือตำแหน่งที่พิจารณา โดยไม่คำนึงถึงแรงตึงผิวของน้ำ

จากทฤษฎีคลื่นความสูงน้อย เมื่อคำนวณค่าพลังงานศักย์จากระดับน้ำนิ่ง (still water level) และคลื่นทั้งหมดเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน พลังงานศักย์และพลังงานจลน์จะมีค่าเท่ากัน และพลังงานคลื่นรวมใน 1 ความยาวคลื่นต่อความกว้างสันคลื่นหนึ่งหน่วย (total energy in a wave per unit crest width,  $E$ ) มีค่าเท่ากับ

$$E = E_p + E_k = \frac{\rho g H^2 L}{16} + \frac{\rho g H^2 L}{16} = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (2-1)$$

เมื่อ  $H$  คือ ความสูงคลื่น (wave height, ม.)

$L$  คือ ความยาวคลื่น (wave length, ม.)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ (water density, ม.<sup>3</sup>)

$g$  คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (gravitational acceleration)

ดังนั้น พลังงานคลื่นเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (total average wave energy per unit surface area,  $\bar{E}$ )

$$\bar{E} = \frac{E}{L(1)} = \frac{\rho g H^2}{8} \quad (2-2)$$

กำลังคลื่น (wave power,  $P$ ) คือ อัตราพลังงานของคลื่นที่ส่งผ่านไปในทิศทางเคลื่อนที่ของคลื่น ดังนั้นกำลังคลื่นเฉลี่ยต่อความกว้าง 1 หน่วย (average wave power energy flux per unit wave crest width,  $\bar{P}$ ) มีค่าเท่ากับ

$$\bar{P} = \bar{E}nC = \bar{E} \frac{C}{2} \left[ 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right] = \bar{E}C_g \quad (2-3)$$

ในน้ำลึก  $\bar{P}_0 = \frac{1}{2} \bar{E}_0 C_0$  เนื่องจาก  $\left( \frac{d}{L} > 0.5 \Rightarrow C_g = \frac{C}{2} \right)$  (2-4)

ในน้ำตื้น  $\bar{P} = \bar{E}C$  เนื่องจาก  $(C_g = C)$  (2-5)

เมื่อ  $C$  คือ ความเร็วคลื่น (ม./วินาที)

$C_0$  คือ ความเร็วคลื่นในน้ำลึก (ม./วินาที)

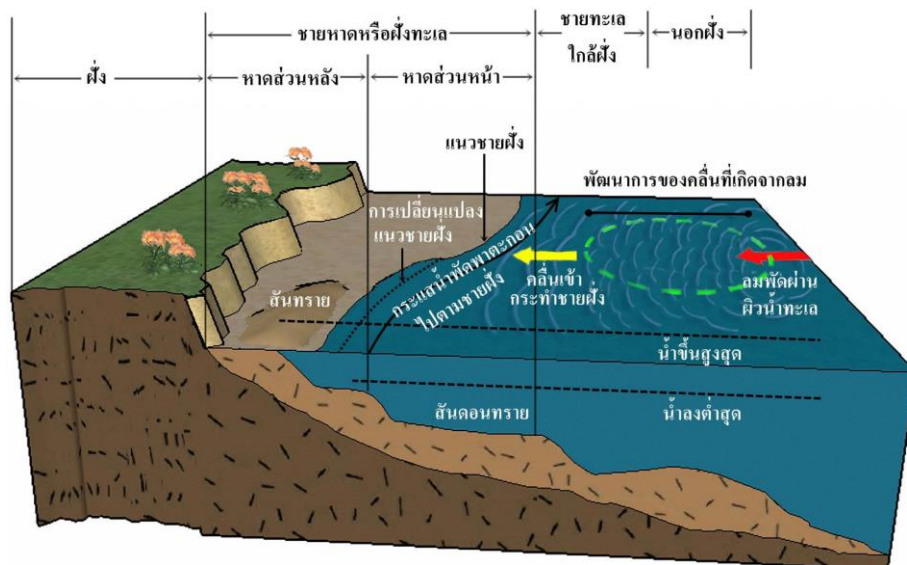
$C_g$  คือ ความเร็วกลุ่มคลื่น (ม./วินาที)

### 2.1.3 กระบวนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่เข้าและออกในพื้นที่ ในการศึกษาทางวิศวกรรมชายฝั่งได้แบ่งชายฝั่งออกเป็นส่วน ๆ แสดงในรูปตัดตามยาวของชายฝั่ง ดังรูป 2-6 ในธรรมชาติการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล ตัวแปรสำคัญที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ คลื่นและกระแสน้ำ บริเวณที่มีการงอกของแผ่นดินแสดงว่ามีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนเข้าสู่พื้นที่มากกว่าเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ ในทางตรงข้ามบริเวณที่เกิดการถดถอยของแผ่นดินแสดงว่ามีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนออกจากพื้นที่มากกว่าเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ ในขณะที่บริเวณที่มีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนเข้าสู่พื้นที่เท่ากับที่เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ บริเวณนั้นชายฝั่งจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง (Sorensen, 2005; กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557; บุศวรรณ โปธิทอง, 2542)

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณน้ำตื้นจะแตกตัว ก่อให้เกิดการปั่นป่วนของกระแสน้ำ ส่งผลให้ตะกอนในบริเวณนี้ถูกยกตัว และถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำ คลื่นที่เคลื่อนตัวทำมุมกับแนวชายฝั่ง ก่อให้เกิดกระแสน้ำ 2 ชนิด ได้แก่ กระแสน้ำในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง (onshore-offshore current) และกระแสน้ำในแนวชายฝั่ง (longshore current) (Sorensen, 2005; กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557) ดังรูป 2-7 และรูป 2-8 กระแสน้ำทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง (onshore – offshore sediment transport) และการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง (longshore sediment transport) การเคลื่อนที่ของตะกอนมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของแนว

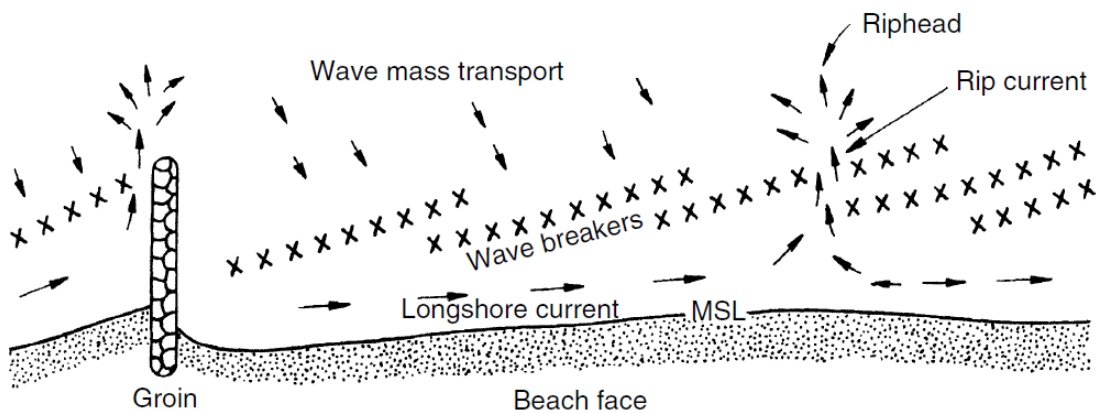
ชายฝั่งทั้งในระยะสั้น (short term) และระยะยาว (long term) สำหรับการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้น จะเกิดขึ้นตามฤดูกาล โดยในช่วงฤดูพายุ คลื่นพายุ (storm wave) ที่มีพลังงานสูง เคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่ง พลังงานของคลื่นจะทำให้เกิดการกัดเซาะ และตะกอนถูกพัดพาออกจากชายฝั่งไปสะสมตัวในทะเลในฤดูที่พายุสงบ คลื่นขนาดเล็กที่มีพลังงานน้อยกว่าจะค่อย ๆ พัดพาตะกอนกลับเข้าสู่ชายฝั่งอีกครั้ง (Sorensen, 2005) ดังรูป 2-9 ในขณะที่ตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง จะถูกกระแสน้ำในแนวขนานกับชายฝั่ง (longshore current) พัดพาไปตกสะสมตัวบริเวณอื่น ขึ้นอยู่กับความเร็วของกระแสน้ำและขนาดตะกอน ส่งผลให้ชายฝั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว



ที่มา : กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557)

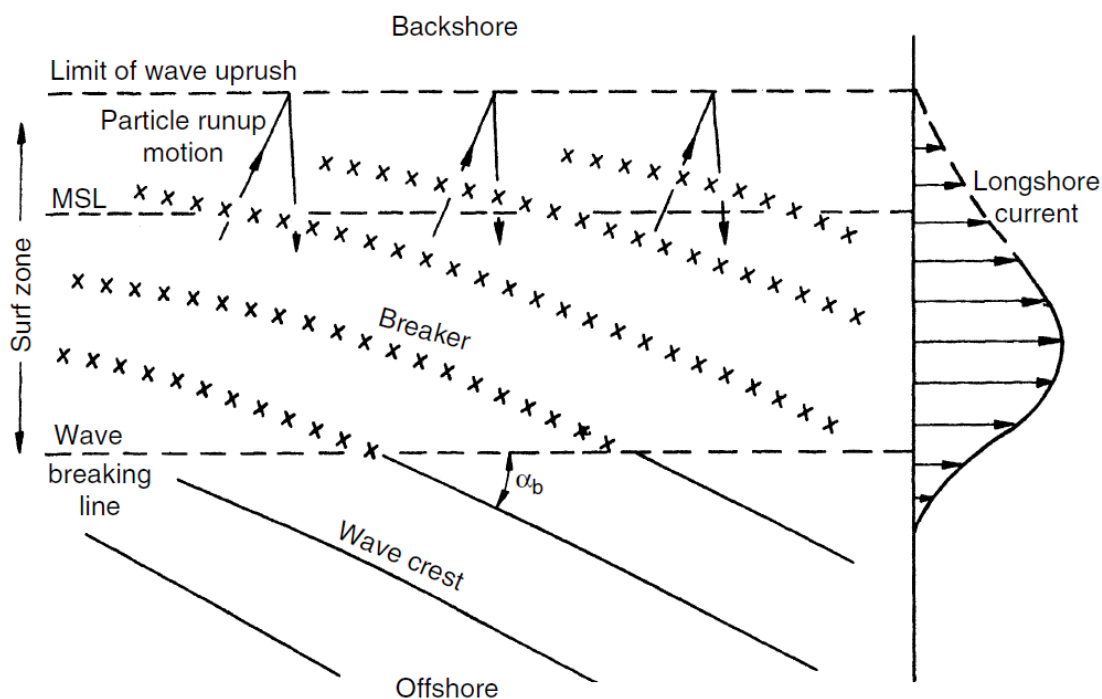
รูป 2-6 รูปตัดตามยาวของชายฝั่ง

CHULALONGKORN UNIVERSITY



ที่มา : Sorensen (2005)

รูป 2-7 กระแสน้ำบริเวณชายฝั่ง



ที่มา : Sorensen (2005)

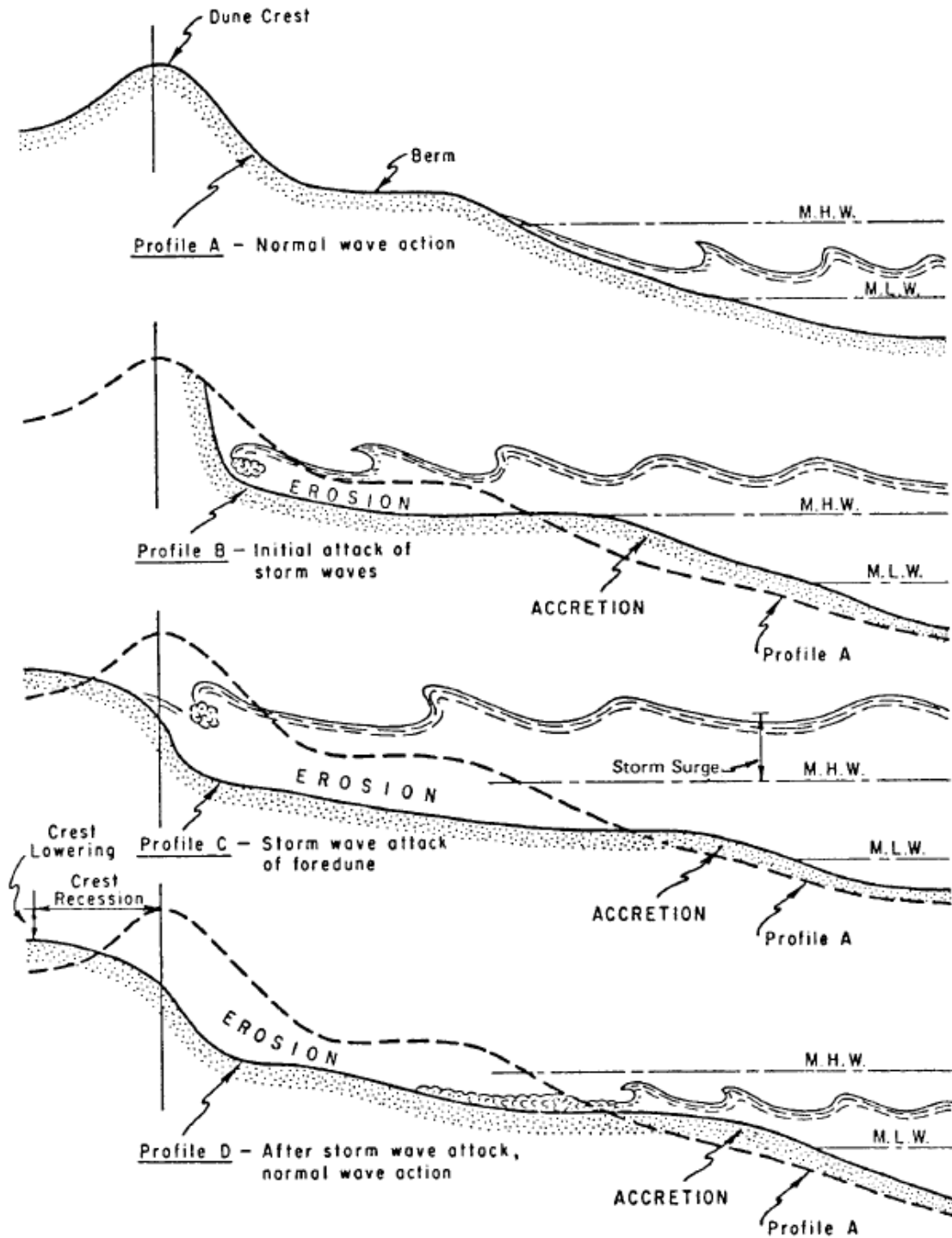
รูป 2-8 การเกิดกระแสน้ำตามแนวชายฝั่งเนื่องจากคลื่น

ถ้ากระแสน้ำในแนวชายฝั่ง (longshore current) ถูกรบกวนหรือขัดขวางการเคลื่อนที่โดยหัวหาด (headland) หรือ โครงสร้างทางวิศวกรรมชายฝั่ง เช่น คันดักตะกอน (groin) หรือ เขื่อนกันทรายและคลื่น (jetties) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ยื่นตั้งฉากแนวชายฝั่งออกไปในทะเล (Sorensen, 2005) จะส่งผลให้ชายฝั่งปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่ ตะกอนจะตกทับถมบริเวณด้านเหนือน้ำของเขื่อน (upcoast) ส่วนบริเวณด้านท้ายน้ำของเขื่อน (downcoast) จะเกิดการถอยร่นของชายฝั่งเนื่องจากไม่มีตะกอนด้านเหนือน้ำมาเติมในพื้นที่ (USACE, 1992) ดังรูป 2-10

การพัฒนาพื้นที่ชายฝั่ง (coastal development) สามารถส่งผลกระทบต่อกระบวนการชายฝั่งได้ โดยอาจ 1) เปลี่ยนอัตรา (rate) และ/หรือ ลักษณะ (characteristics) ของปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง 2) ปรับเปลี่ยน (adjust) ระดับของพลังงานคลื่นที่เข้าสู่ชายฝั่ง และ 3) รบกวน (interfere) กระบวนการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งโดยตรง ตัวอย่างกิจกรรมของมนุษย์ที่สามารถทำให้เกิดผลกระทบในข้อ 1) ได้คือ การสร้างเขื่อน ซึ่งจะกักตะกอนในแม่น้ำซึ่งเคยถูกลำเลียงไปยังทะเล และการเติมทรายเป็นประจำเพื่อรักษาเสถียรภาพชายฝั่ง (beach nourishment) สำหรับตัวอย่างของกิจกรรมที่ทำให้เกิดผลกระทบในข้อที่ 2 และ 3 คือ การสร้างโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นนอกฝั่ง ขนานกับชายฝั่ง ซึ่งจะกั้นคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งที่เกิดเนื่องจากคลื่นลดลง ส่วนการก่อสร้างโครงสร้างคันดักตะกอน (groins) ตั้งฉากกับแนว

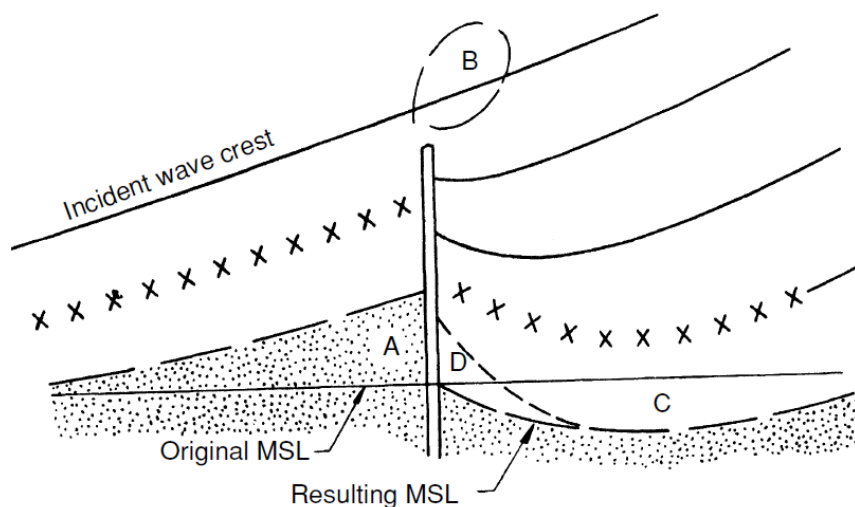


ชายฝั่งยาวตลอดพื้นที่ ที่มีการเคลื่อนที่ของตะกอน (surf zone) จะเป็นการขวางทางการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งที่เกิดจากคลื่นโดยตรง



ที่มา : CERC (1984)

รูป 2-9 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากคลื่นพายุ



ที่มา : Sorensen (2005)

รูป 2-10 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากโครงสร้างที่ยื่นตั้งฉากกับชายฝั่ง

#### 2.1.4 รูปตัดชายฝั่ง (beach profile) และการเปลี่ยนแปลงรูปตัดชายฝั่ง

คลื่นที่เคลื่อนที่เข้ามาถึงหาดทราย แยกตัวและซัดสาด (run up) บนหน้าหาด (beach face) จะค่อยๆ ปรับแต่งรูปร่างของชายหาด การปรับเปลี่ยนรูปร่างของชายหาดอย่างต่อเนื่องนี้ เกิดขึ้นเนื่องจากลักษณะของคลื่น (ความสูงคลื่น คาบเวลาคลื่น และทิศทางของคลื่น) ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง ซึ่งยากที่จะคงที่ตลอดช่วงเวลาที่ยาวนานอย่างมีนัยสำคัญ การปรับรูปร่างของชายฝั่งมีสาเหตุจาก กระแสน้ำที่เกิดจากคลื่น ซึ่งเกิดขึ้นในพื้นที่ surf zone และจากการกระทำของคลื่นโดยตรงในการ ปั่นป่วนของน้ำที่เกิดขึ้นตอนคลื่นแยกตัวและการซัดของน้ำขึ้น-ลงบริเวณหน้าหาด การปรับรูปร่างของชายหาดเนื่องจากการเคลื่อนที่ของตะกอนที่เกิดขึ้นทั้งในทิศทางที่ตั้งฉากกับแนว ชายฝั่งและในแนวขนานกับชายฝั่ง ถึงแม้ว่าผลกระทบเหล่านี้จะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน แต่สามารถแยก พิจารณากลไกของกระบวนการชายฝั่งทีละส่วน เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ชายฝั่ง

#### 2.1.5 กลไกการเปลี่ยนแปลงของรูปตัดชายฝั่ง

ในธรรมชาติ มีกลไก (mechanisms) จำนวนมากที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอน ตามแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง บางกลไกจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนในทิศทางออกนอกฝั่งเท่านั้น และทำให้เกิดการถดถอยของแนวชายฝั่ง ในขณะที่มีอีกหลายกลไกที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของ ตะกอนในทิศทางที่เข้าสู่ชายฝั่งเท่านั้น และทำให้เกิดการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่ง นอกจากนี้ยังมีกลไก

อีกส่วนหนึ่ง ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปตัดชายฝั่งทั้งแบบงอกเพิ่มและถดถอย ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของคลื่น ระดับน้ำ ความลาดชายฝั่ง และลักษณะของวัสดุชายฝั่ง ซึ่งกลไกต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

1) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งในบริเวณใกล้ฝั่ง (nearshore zone) จะมีความไม่สมมาตร (asymmetry) ของความเร็วอนุภาคน้ำในแนวราบที่ท้องทะเล (sea floor) โดยที่สันคลื่น (wave crest) จะมีความเร็วอนุภาคน้ำที่เข้าสู่ฝั่ง (onshore) จะสูงกว่าและมีช่วงเวลา (duration) ที่สั้นกว่า ส่วนท้องคลื่นจะมีความเร็วอนุภาคน้ำที่ออกจากฝั่ง (offshore) ที่ต่ำกว่าและมีช่วงเวลาที่ยาวกว่า ซึ่งความเค้นเฉือนลัพธ์ (resulting shear stress) ที่กระทำต่ออนุภาคของตะกอนทรายท้องน้ำจะขึ้นอยู่กับความเร็วของอนุภาคน้ำยกกำลังสอง ส่งผลให้มีความเค้นเฉือนในทิศทางเข้าสู่ชายฝั่งมากกว่า ตามด้วยความเค้นเฉือนในทิศออกจากฝั่งซึ่งมีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นความเค้นสุทธิที่ท้องน้ำ (net bottom stress) จะกระทำในทิศทางเข้าสู่ชายฝั่ง และแนวโน้มการเคลื่อนที่ลัพธ์ที่เข้าสู่ชายฝั่งจะเพิ่มขึ้น เพราะความเค้นจะต้องมากกว่าค่าเริ่มต้นที่จะทำให้ตะกอนท้องน้ำเริ่มเคลื่อนที่

2) ชายหาดโดยทั่วไปจะลาดลงในทิศทางออกจากฝั่งตลอดรูปตัดชายฝั่ง (ยกเว้นบางส่วนของเนินทรายนอกฝั่ง (offshore bar)) ดังนั้นส่วนของแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity) โดยทั่วไปจะกระทำกับอนุภาคตะกอนในทิศทางออกนอกชายฝั่ง

3) การยกตัวของระดับน้ำเนื่องจากคลื่น (wave-induced setup) ในเขตน้ำตื้นจะทำให้เกิดกระแสไหลย้อนกลับ (bottom return flow) ในทิศทางออกนอกฝั่ง เรียกว่า undertow ซึ่งจะทำให้เกิดความเค้นในทิศทางออกจากฝั่งต่ออนุภาคตะกอนท้องน้ำ นอกจากนี้ ในส่วนของชายหาดยาวที่มีกระแสน้ำตามแนวชายฝั่งเกิดขึ้น อาจจะมีการไหลของกระแสน้ำเชี่ยว (rip current) เกิดขึ้นได้เป็นครั้งคราว ซึ่งจะสามารถนำพาตะกอนจำนวนมากจากฝั่งออกไปทางทะเลได้

4) การปั่นป่วนของน้ำ (turbulence) อันเนื่องมาจากคลื่นแตกตัวในบริเวณ surf zone จะทำให้ตะกอนฟุ้งตัว (suspend) และการฟุ้งกระจายของตะกอนแขวนลอยจะมีลักษณะขึ้นๆ ลงๆ ตามการแตกตัวของคลื่นที่เคลื่อนที่ตามกันมา กลไกนี้อาจทำให้ตะกอนเคลื่อนที่ได้ทั้งเข้าและออกจากชายฝั่ง

5) ลมทะเล (onshore wind) จะมีอิทธิพลทำให้เกิดความเค้นในทิศทางเข้าสู่ชายฝั่ง (onshore stress) กระทำบนผิวน้ำ และก่อให้เกิดการไหลย้อนกลับ (return flow) ที่ท้องน้ำ ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนในทิศทางออกจากชายฝั่ง

จากกลไกการเคลื่อนที่ของตะกอนที่สรุปได้ข้างต้น ชี้ให้เห็นความสลับซับซ้อนของกระบวนการที่กำหนดรูปตัดชายฝั่ง และแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของขนาดตะกอน (sediment application) ตามแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง ความซับซ้อนนี้ถูกผสมรวมกันโดยความจริงที่ว่ากลไกต่าง ๆ

จะส่งผลกระทบต่อความถี่ต่างกันต่อการเคลื่อนที่ของชายฝั่ง และระดับของผลกระทบเหล่านี้จะผันแปรไปตามเงื่อนไขของ คลื่น ลม และระดับน้ำที่เปลี่ยนไป

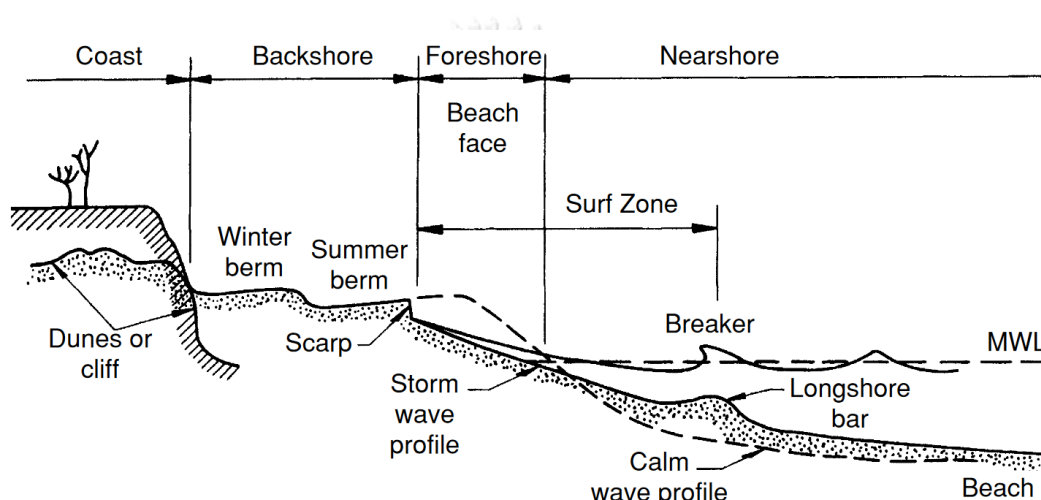
รูปตัดของชายฝั่งที่วัดตั้งฉากกับแนวชายฝั่งตลอดพื้นที่ที่กระบวนการของชายฝั่งยังคงดำเนินอยู่ (zone of active coastal processes) นั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมชายฝั่ง พื้นที่ active zone นี้ โดยปกติจะครอบคลุมตั้งแต่ หน้าผาหินบนฝั่ง (onshore cliff) สันทรายบนฝั่ง (sand dune) หรือแนวของโครงสร้าง (structure line) จนถึงนอกฝั่ง (offshore) ที่ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของตะกอนอันเนื่องจากอิทธิพลของคลื่นน้อยมาก (ปกติอยู่ที่ความลึกน้ำประมาณ 10 เมตรสำหรับทะเลเปิด) ในพื้นที่ active zone นี้ รูปตัดชายฝั่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างมากในช่วงเวลาไม่กี่ชั่วโมงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหันของคลื่นที่มากกระทำ (เช่น ช่วงเกิดพายุ)

รูปตัดชายฝั่ง เป็นข้อมูลที่สำคัญมากสำหรับการเข้าใจและการประเมินการเคลื่อนที่ของตะกอน รวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างชายฝั่งและกระบวนการต่าง ๆ ข้างต้น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างชายฝั่งตามฤดูกาลทั้งหมด (total seasonal envelope) ต้องถูกระบุ ยกตัวอย่างเช่น ในการออกแบบโครงสร้างชายฝั่ง เช่น คันดักตะกอน (groins) ท่าเทียบเรือ (piers) กำแพงกันคลื่น (seawalls) และท่อส่งในทะเล (marine pipeline) ที่ต้องวางพาดผ่านพื้นที่ชายฝั่ง และการออกแบบโครงการเติมทรายชายฝั่ง เป็นต้น

รูป 2-11 แสดงรูปตัดทั่วไปของชายฝั่ง (typical beach profiles) หากพิจารณาสันทรายหน้าผาหรือแนวโครงสร้างออกไปทางทะเล โดยปกติจะมีสันทรายค่อนข้างราบหนึ่งหรือสองสันทราย (winter berm, summer berm ในรูป 2-11) ที่มีความลาดเอียงเข้าสู่แผ่นดิน (landward slope) มีส่วนชายฝั่งที่อยู่ระหว่างระดับน้ำขึ้นที่สูงที่สุดกับที่ลงต่ำที่สุด (foreshore) ที่มีความลาดลงสู่ทะเลซึ่งเกิดจากคลื่นซัด (wave runup) บนหน้าหาด (beach face) จากนั้นจะมีรูปตัดชายฝั่งที่เว้า (concave) และอาจพบสันทรายไต้น้ำ (bar) วางตัวเกือบจะขนานกับชายฝั่งได้หนึ่งถึงสองสันทราย ซึ่งรูปตัดดังกล่าวจะเกิดขึ้นในกรณีที่ชายหาดมีความกว้างมากเพียงพอที่ส่วนต่าง ๆ ดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ ถ้าชายหาดแคบ หน้าหาด (beach face) อาจจะยาวถึงสันทราย (dune) หน้าผา หรือแนวโครงสร้างโดยตรงได้

เส้นประใน รูป 2-11 แสดงถึงรูปตัดที่อาจเกิดขึ้นหลังจากคลื่นสงบกระทำกับชายฝั่งมาเป็นระยะเวลาานาน ๆ ตะกอนทรายจะเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ เข้าสู่ชายฝั่งเพื่อสร้างหน้าหาดในบริเวณ foreshore zone และทำให้เนินทราย (berm) งอกเพิ่มมาทางทะเล ทำให้เกิดรูปตัดชายหาดที่มีหน้าหาดชันกว่าเดิม ในช่วงฤดูพายุที่มักมีคลื่นสูงและมีความชันคลื่นมากกว่าปกติ ทรายจะถูกทำให้

เคลื่อนที่ออกไปยังทะเล ดังนั้นรูปตัดจะเกิดการปรับตัวดังแสดงด้วยเส้นทึบ (รูป 2-11) รูปตัดชายฝั่งในพื้นที่ใกล้เคียงกับระดับน้ำทะเลเฉลี่ยปานกลาง (mean sea level) จะถูกตัดออกและลาดออกนอกชายฝั่ง ทำให้เกิดเนินชัน (scarp) ที่ ปลายของเนินทราย (berm) โดยทรายที่ถูกพัดพาออกไปสู่ทะเลจะตกทับถมกันเป็นสันทรายใต้น้ำนอกฝั่ง (offshore bar) ที่ใหญ่ขึ้น ใกล้เคียง ๆ บริเวณจุดที่คลื่นแตกตัว ถ้าคลื่นที่มาปะทะชายฝั่งมีความรุนแรง หรือ หลังจากที่มีพายุมาปะทะชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง รูปตัดชายฝั่งอาจจะหดสั้นไปถึงเนินทรายหรือแนวหน้าผา ทำให้เกิดการถดถอยของส่วนของชายฝั่งต่าง ๆ เหล่านี้



ที่มา : Sorensen (2005)

รูป 2-11 รูปตัดชายฝั่งทั่วไปและคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

ที่ตำแหน่งชายฝั่งเกือบทั้งหมด คลื่นพายุจะมีกำลังแรงระหว่างเดือนในฤดูหนาว (winter months) และคลื่นสงบจะเกิดขึ้นในฤดูร้อน (summer months) ดังนั้นคำว่ารูปตัดฤดูหนาวและรูปตัดฤดูร้อน มักจะใช้ระบุชนิดของรูปตัดชายฝั่ง แต่พายุเฮอริเคนที่ชายฝั่งทะเล Atlantic และพายุฤดูร้อน (summer storms) ในเขต Pacific ตอนใต้ สามารถทำให้เกิดการถดถอยของรูปตัดชายฝั่งในช่วงฤดูร้อนได้

### 2.1.6 รูปตัดชายฝั่งสมดุล

ตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นว่า ด้วยสภาพคลื่นและระดับน้ำที่มีความผันแปร ชายฝั่งจะตอบสนองโดยการเปลี่ยนแปลงรูปตัดตามสภาพคลื่นและระดับน้ำที่ผันแปรไป อย่างไรก็ตาม หลักการที่ใช้การได้ดีในการวิเคราะห์รูปตัดชายฝั่งคือ รูปตัดชายฝั่งสมดุล (equilibrium beach profile) ซึ่ง

เป็นรูปร่างเฉลี่ยของรูปตัดชายฝั่งที่อาจเกิดขึ้นได้เมื่อมีการวัดรูปตัดชายฝั่งอย่างต่อเนื่องประมาณ 2-3 ปี หลักการนี้มีประโยชน์สำหรับงานออกแบบและการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมชายฝั่ง รวมถึงงานต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์บางประเภทที่การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงธรณีสัณฐานตามแนวชายฝั่งต้องใช้ข้อมูลตัวแทนของรูปตัดชายฝั่ง
- การเติมทรายชายหาด (beach nourishment) ต้องใช้รูปตัดชายฝั่งก่อนและหลังโครงการในการคำนวณปริมาณทรายที่ใช้ในการดำเนินงาน
- ในการระบุผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในระยะยาว ต้องใช้รูปตัดชายฝั่งในการวิเคราะห์
- โครงการก่อสร้างโครงสร้างชายฝั่ง เช่น กำแพงกันคลื่น (seawalls) ต้องใช้ข้อมูลรูปตัดชายฝั่งในการวิเคราะห์ผลกระทบของโครงสร้างต่อการเปลี่ยนแปลงรูปตัดชายฝั่ง

### 2.1.7 การตอบสนองของชายฝั่งต่อเขื่อนกันคลื่น

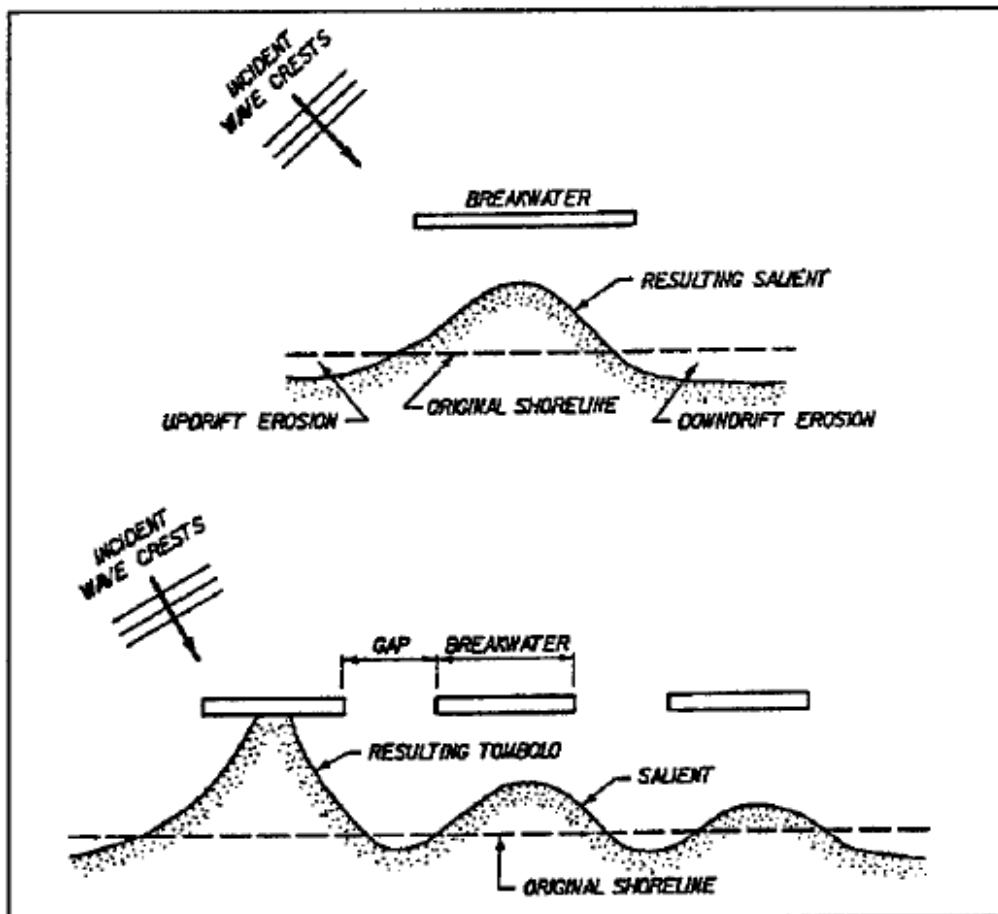
USACE (1992) ได้ศึกษาการสร้างเขื่อนกันคลื่นเพื่อสร้างความสมดุลของระบบหาด มีเป้าหมาย คือ ออกแบบความกว้างของพื้นหาดด้านหลังเขื่อนกันคลื่น การตอบสนองของชายฝั่งต่อโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ 2 รูปแบบด้วยกัน ได้แก่ “Tombolo” และ “Salient” ดังรูป 2-12 มีรายละเอียด ดังนี้

1) ถ้าหากเขื่อนกันคลื่นอยู่ใกล้กับชายฝั่ง ตะกอนจะตกลงและสะสมอยู่ด้านหลังโครงสร้างจนเกิดรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า “Tombolo” ชายฝั่งจะงอกขึ้นมาเรื่อย ๆ จนกระทั่งชนกับเขื่อนกันคลื่น การเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะส่งผลให้ ตะกอนไม่สามารถเคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่งได้ (longshore transport)

2) ถ้าหากเขื่อนกันคลื่นอยู่ไกลจากชายฝั่ง ตะกอนจะตกลงและสะสมอยู่ด้านหลังโครงสร้าง แต่การสะสมของตะกอนจะถูกหยุดโดย คลื่นและกระแสน้ำตามแนวชายฝั่ง ส่งผลให้ชายฝั่งไม่สามารถงอกมาชนกับเขื่อนกันคลื่นได้ การตอบสนองของชายฝั่งในลักษณะนี้เรียกว่า “Salient” การเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะส่งผลให้ตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่งลดลง แต่ตะกอนยังคงสามารถเคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่งได้

ประสิทธิผลของเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (nearshore breakwater) ขึ้นอยู่กับ 1) ระดับคลื่นหรือระดับน้ำที่ต้องการป้องกัน และ 2) ความยาวแนวชายฝั่งที่ต้องการป้องกัน ดังนั้น ความสูงของโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น ความยาวของโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น การเปลี่ยนแปลงของคลื่นหลังโครงสร้าง และระยะห่างจากชายฝั่ง ตัวแปรเหล่านี้ล้วนมีผลต่อประสิทธิผลในการป้องกันชายฝั่งของ

โครงสร้างทั้งสิ้น สำหรับเชื่อมกันคลื่นแยกหลายตัว (detached breakwater) ความกว้างของช่องเปิด (gap) ระหว่างเชื่อมกันคลื่น และความยาวของเชื่อมกันคลื่นแต่ละตัว ก็ส่งผลต่อประสิทธิผลในการป้องกันชายฝั่งเช่นเดียวกัน



ที่มา : USACE (1992)

รูป 2-12 รูปแบบการตอบสนองของชายฝั่งต่อเชื่อมกันคลื่นเดี่ยวและแยก

### 2.1.8 แนวทางการป้องกันชายฝั่ง

USACE (2008) เสนอแนวทางโดยทั่วไป สำหรับการรักษาเสถียรภาพของชายฝั่ง ไว้ดังนี้

1) การทำโครงสร้างป้องกันแบบหุ้มเกาะ (armorng) สำหรับพื้นที่ชายฝั่งที่ประสบปัญหา น้ำท่วมและเกิดความเสียหายเนื่องจากคลื่น โครงสร้างที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันชายฝั่งในกรณีนี้ได้แก่ กำแพงกันคลื่น (seawalls) กำแพงกัน (bulkheads) และเชื่อมหินทิ้ง (revetment)

2) การรักษาเสถียรภาพแนวชายฝั่ง (shoreline stabilization) สำหรับพื้นที่ที่เกิดการกัดเซาะเนื่องจากการลดลงของปริมาณตะกอน แนวทางการบรรเทาปัญหาได้แก่ การทำหัวหาดเทียม (artificial headland), เชือกกันคลื่นใกล้ฝั่ง (nearshore breakwater), และรอดักทราย (groin) โดยมักจะดำเนินการร่วมกับการเติมทรายชายหาด (beach nourishment) เพื่อลดผลกระทบที่ด้านท้ายหาด (downdrift) แนวทางนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอการลดลงของตะกอน ไม่ใช่การดักตะกอนจากระบบกลุ่มหาด (littoral system) ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบตามมา ดังนั้นสิ่งนี้จึงเป็นหนึ่งในความท้าทายสำหรับวิศวกรชายฝั่งในการออกแบบโครงสร้างให้เหมาะสมกับการใช้งาน

3) การเติมทรายชายหาด เป็นวิธีการแก้ปัญหาแบบนุ่มนวล (soft solution) โดยการนำทรายมาเติมบริเวณชายหาดเพื่อให้เกิดการสร้างเนินทรายใหม่

4) การปรับตัวและการถอยร่น (adaptation and retreat) ตัวอย่างของการปรับตัวทางด้านชายฝั่ง ได้แก่ การเพิ่มความสูงของโครงสร้าง, การกันน้ำท่วม (flood proofing), การจำกัดพื้นที่, การแจ้งเตือนพายุ, และการเตรียมแผนอพยพ เป็นต้น สำหรับการถอยร่นนั้นเป็นการโยกย้ายแบบถาวรหรือเป็นการละทิ้งโครงสร้างบริเวณชายฝั่งในพื้นที่ที่มีอัตราการกัดเซาะสูง

5) การผสมรูปแบบต่าง ๆ และเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น การปรับเพิ่มความสูงของโครงสร้าง ร่วมกับการทำแนวป้องกันชายฝั่ง หรือการใช้โครงสร้างรักษาเสถียรภาพชายฝั่งร่วมกับการเติมทรายชายหาด เป็นต้น

6) การไม่ทำอะไร เป็นแนวทางเลือกที่ยอมให้ชายฝั่งเกิดการกัดเซาะและเสียหาย และปล่อยให้ปรับเข้าสู่สมดุลใหม่ตามธรรมชาติ ในกรณีที่มาตราการแบบใช้และไม่ใช้โครงสร้างที่มีมูลค่าสูงมากกว่ามูลค่าลงทุนวิธีการนี้อาจถูกนำมาใช้

### 2.1.9 การติดตามประสิทธิผลโครงการทางวิศวกรรม

การติดตามประสิทธิผลของโครงการ (project performance/functional monitoring) ประกอบด้วย การตรวจวัดและการสังเกต เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิผลที่เกิดขึ้นจริงเทียบกับที่ได้ ออกแบบไว้ โดย U.S. Army Corps of Engineers (USACE, 2011) ให้เหตุผลความจำเป็นของการติดตามประเมินประสิทธิผลของโครงการไว้ ดังนี้

1) ทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงโครงการให้สำเร็จตามเป้าหมาย เนื่องจากในการออกแบบทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งนั้นมีความไม่แน่นอน ซึ่งอาจส่งผลให้โครงการมีประสิทธิผลไม่เท่ากับที่คาดการณ์ไว้ ก่อนที่จะดำเนินการแก้ไขจำเป็นต้องมีการพิสูจน์ให้เห็นถึง สถานะหรือปัจจัยที่ส่งผลให้โครงการมีประสิทธิผลต่ำกว่าที่คาดการณ์ไว้ เช่น ในกรณีที่พลังงานคลื่นที่กระทำกับท่าเรือมี



ค่ามากกว่าที่ออกแบบไว้ จำเป็นต้องทำการระบุสภาพคลื่น และกลไกต่าง ๆ (การหักเห การเลี้ยวเบน และ การส่งผ่าน) ซึ่งเป็นสาเหตุให้ข้อมูลคลื่นไม่สามารถถูกยอมรับได้ (unacceptable)

2) ใช้ในการทวนสอบ (verify) และปรับปรุงขั้นตอนการออกแบบ เนื่องจากเกณฑ์การออกแบบส่วนมากถูกพัฒนาขึ้นโดยอ้างอิงจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตาม โครงการทางด้านชายฝั่งส่วนใหญ่มีความพิเศษ แตกต่างกันไป เช่น ตำแหน่งที่ตั้งโครงการ สภาพคลื่น และกระแสน้ำ รวมถึงวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น ส่งผลให้เกณฑ์การออกแบบโดยทั่วไปอาจจะไม่สามารถนำไปปรับใช้ในโครงการจริงได้อย่างเหมาะสมทั้งหมด

3) ใช้ในการตรวจสอบวิธีการก่อสร้างและซ่อมแซม เนื่องจากเทคนิคการก่อสร้างโครงการทางวิศวกรรมชายฝั่งขึ้นอยู่กับ การก่อสร้างเฉพาะโครงการ วัสดุอุปกรณ์ที่ทำได้ ประสบการณ์ของผู้ดำเนินงาน สภาพแวดล้อม เป็นต้น การตรวจติดตามประสิทธิผลโครงการจะช่วยให้การตรวจสอบการก่อสร้าง และชี้ให้เห็นถึงปัญหา ก่อนที่จะเกิดความเสียหายในภายหลัง

4) ใช้ในการตรวจสอบการทำงานและการดูแลรักษา (maintenance) เนื่องจากมีหลายโครงการที่ยังคงมีการดำเนินการต่อเนื่องหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ และจำเป็นต้องมีการดูแลรักษาตามรอบที่กำหนด การตรวจติดตามประสิทธิผลการทำงานจะมีส่วนช่วยในการประเมินประสิทธิผล และช่วยประหยัดงบประมาณในการดำเนินงาน เช่น การตรวจติดตามการดูแลรักษาร่องน้ำเป็นระยะ จะช่วยให้ทราบตำแหน่งที่เหมาะสม ในการทิ้งทรายที่ด้านท้ายน้ำ (downdrift) ซึ่งจะช่วยลดปริมาณทรายที่จะกลับมาเติมในร่องน้ำ ในอีกช่วงเวลาหนึ่ง

#### 2.1.10 กระบวนการชายฝั่งของตะกอนดินเหนียว

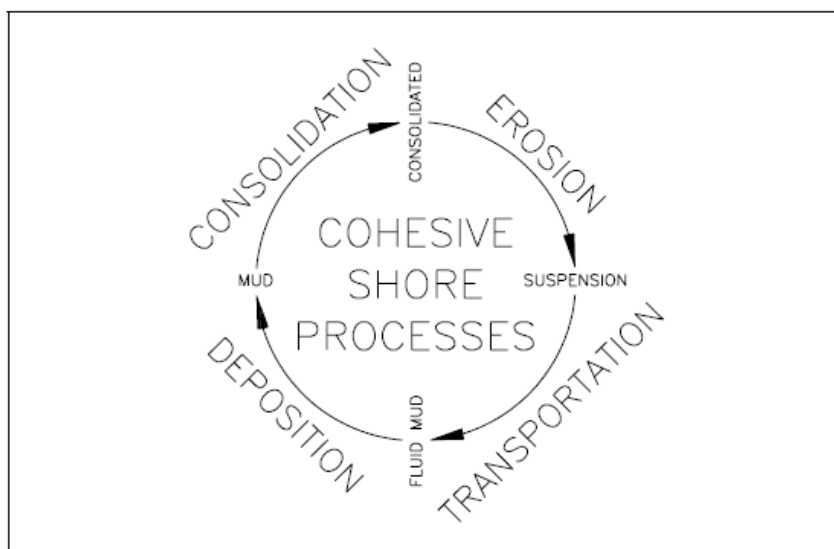
U.S. Army Corps of Engineers (USACE, 2002) ได้ให้คำนิยามและอธิบายกระบวนการชายฝั่งที่เกิดจากตะกอนดินเหนียว (cohesive sediment) ซึ่งเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับหาดเลน (mud coast) ไว้ดังต่อไปนี้

ตะกอนดินเหนียว (cohesive sediment) จะมีแรงดึงดูดทางเคมีไฟฟ้า (electrochemical attractive forces) ระหว่างเม็ดตะกอนมากกว่าแรงโน้มถ่วง (gravity force) ที่ดึงเม็ดตะกอนลงสู่พื้นโลก ตะกอนดินเหนียวมีอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งส่งผลให้ตะกอนมีน้ำหนักรวม และความเร็วในการตกถึงพื้นต่ำ โดยปกติแล้วตะกอนดินเหนียวจะถูกจำแนกเป็น ทรายแป้ง (silt) เมื่อมีขนาดเล็กกว่า 70  $\mu\text{m}$  ถึง ดินเหนียว (clay) เมื่อเล็กกว่า 4  $\mu\text{m}$  ความแข็งแรงของการยึดเกาะขึ้นอยู่กับหลากหลายปัจจัย เช่น แร่ธาตุของเม็ดตะกอน สารเคมีในน้ำ โดยเฉพาะความเค็มในน้ำทะเล ดังนั้น ทรายแป้งหยาบ (coarse silt) จะมีพฤติกรรมเหมือนกับตะกอนที่ไม่เกาะติดกัน (non-cohesive) ในน้ำจืด แต่อาจจะมีความสามารถในการยึดเกาะติดกันเมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมทางทะเล ในทำนองเดียวกัน ทราย

ละเอียดก็อาจมีความสามารถเกาะติดกันได้ใต้น้ำเค็มได้ ดังนั้น การกำหนดลักษณะตะกอนดินเหนียว (cohesive sediment) ตามพฤติกรรมของเม็ดตะกอน จะเหมาะสมกว่าการกำหนดตามขนาดของเม็ดตะกอน

ขนาดและรูปร่างของเม็ดตะกอน มีบทบาทสำคัญในคุณสมบัติความตึบแน่นของตะกอนที่เกาะติดกัน ถ้าหากตะกอนมีขนาดเล็ก ขนาดช่องว่างระหว่างอนุภาคก็จะลดลงตาม ส่งผลให้ตะกอนมีความต้านทานการซึมผ่านมากขึ้น แร่ธาตุดินเหนียว (clay minerals) มีแนวโน้มจะก่อรูปเป็นแบบแผ่นเกล็ด (flake-shaped platelet) มากกว่าอนุภาคทรงกลม (spherical particle) การทับถมกันของเกล็ดแร่ธาตุดินเหนียวส่งผลให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อยและมีมิติในแนวตั้งน้อยมาก (smallest dimension vertical) มีความตึบแน่นมากกว่าดินทรายที่มีอนุภาคเป็นทรงกลม ด้วยเหตุนี้ดินเหนียวจึงมักใช้เป็นชั้นตึบแน่น (impermeable layer) ในงานดินของด้านชลศาสตร์ (hydraulic earthworks) เช่น คันดิน (dikes) และคลอง (channel)

สำหรับวัฏจักรของชายฝั่งตะกอนดินเหนียว ถูกแสดงไว้ในรูป 2-13 โดยชายฝั่งที่เกิดจากตะกอนดินเหนียวที่มีการอัดตัวคายน้ำ (consolidated shore) เมื่อถูกกัดเซาะ จะกลายเป็นตะกอนแขวนลอยที่ฟุ้งอยู่ในน้ำ (suspension) และเคลื่อนที่ไปกับน้ำ (transportation) เมื่ออยู่ในสถานะกึ่งแขวนลอยกึ่งตกตะกอนที่สามารถเคลื่อนที่โดยการไหลไปตามท้องน้ำ เรียกว่า “น้ำโคลน (fluid mud)” โดยน้ำโคลนนี้เกิดจาก ความดันโพรงส่วนเกิน (excess pore pressure) ที่เกิดจาก hindered settling หรือการกระทำของคลื่น (wave action) ซึ่งน้ำยังไม่สามารถไหลออกมาจากดิน ในระหว่างการตกตะกอน ทำให้เกิดจากความดันโพรงส่วนเกินที่ช่วยรับน้ำหนักของตะกอนที่อยู่เหนือนั้น หลังจากกระบวนการตกตะกอน ก็จะกลายเป็นเลน (mud) ซึ่งใช้เรียกตะกอนที่เพิ่งตกทับถมในเวลาไม่นาน (ตั้งแต่หลายชั่วโมงถึงหลายปี) เมื่อนานวันเข้าจะเกิดกระบวนการอัดตัวคายน้ำ (consolidation) และกลายเป็น consolidated shore อีกครั้งหนึ่ง โดยค่าความหนาแน่นของดินเหนียวชนิดต่าง ๆ ถูกแสดงไว้ใน ตาราง 2-2



ที่มา : USACE (2002)

รูป 2-13 กระบวนการชายฝั่งที่มีลักษณะเป็นดินเหนียว

ตาราง 2-2 ความหนาแน่นของตะกอนดินเหนียวชนิดต่าง ๆ (USACE, 2002)

Soil Description	Typical Saturated Bulk Density	
	kg/m <sup>3</sup>	lb/ft <sup>3</sup>
Suspension	1,020	64
Fluid Mud	1,100	70
Freshly Deposited Mud	1,300	80
Very Soft Consolidated	1,500	90
Soft Consolidated	1,600	100
Medium Consolidated	1,800	110
Stiff Consolidated	1,900	120
Very Stiff Consolidated	2,100	130
Hard Consolidated	2,200	140

### 2.1.11 ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นที่กระทำต่อหาดเลน

การเปลี่ยนแปลงของลักษณะของคลื่นหลัก ๆ ที่เกี่ยวข้องกับท้องน้ำที่เป็นเลน คือ การสลายของพลังงานคลื่น ในขณะที่ลักษณะของคลื่นที่เกิดจากการหักเห เลี้ยวเบน และสะท้อนของคลื่นยังคงเป็นไปตามตามทฤษฎีคลื่นทั่วไป แต่การลดลงของพลังงานคลื่นที่กระทำกับหาดเลนจะมีมากกว่าคลื่นที่กระทำกับหาดทราย หรือหาดกรวด ยิ่งพลังงานของคลื่นถูกสลายไปโดยเลนมากเท่าไร คลื่นที่จะเคลื่อนที่ถึงแนวคลื่นแตกตัวก็จะยิ่งมีน้อย สำหรับพลังงานที่สลายไปนั้นมีเพียงบางส่วนที่เกิดขึ้นจากกลไกของความขรุขระ (bed roughness) และแรงเสียดทานของท้องน้ำ (bed friction) ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ท้องน้ำที่เป็นเลนมักจะเรียกว่าท้องน้ำที่เป็นทราย

กลไกหลักของการสลายพลังงานคลื่นอยู่ในชั้นขอบเขตความหนืดของน้ำโคลน (viscous boundary of fluid mud) (Lee, 1995; Lee & Mehta, 1997) โดยส่วนหนึ่งของพลังงานคลื่น จะเข้าไปเพิ่มความดันโพรงส่วนเกินและทำให้เลนยังคงอยู่ในสถานะของเหลว (fluid state) แต่ระหว่างเม็ดดินซึ่งทำให้โคลนสามารถจับตัวกันและเคลื่อนที่อยู่ในสถานะของเหลวได้ ในขณะที่พลังงานส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนเป็นงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่น้ำโคลนต้านแรงเฉือนของความหนืด (viscous shear)

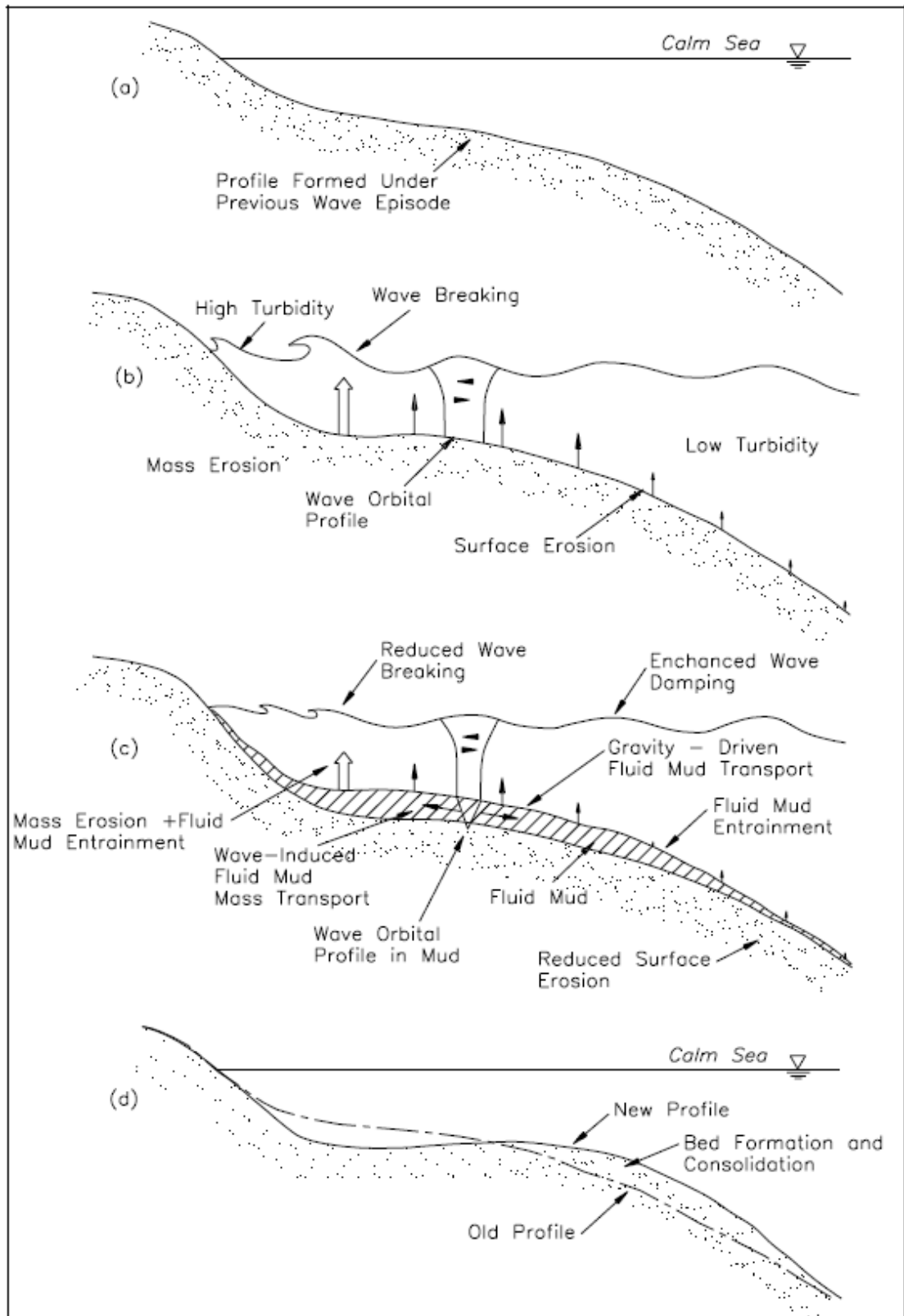
Lee (1995) ได้สรุปปฏิสัมพันธ์ (interactions) ระหว่างชายหาดเลนและคลื่นไว้ในรูป 2-14 โดยมีรายละเอียด ดังและต่อไปนี้

กรณี (a) คือในสถานะที่น้ำทะเลต่ำหรือทะเลสงบ รูปร่างชายฝั่ง (profile) จะสร้างขึ้นตามการรวมตัวกันของลักษณะคลื่น (wave condition consolidates) ที่เกิดในช่วงก่อนหน้านี้อ

กรณี (b) การแตกตัวของคลื่น (breaking wave) ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะจำนวนมากที่แนวคลื่นแตกตัว (breaker line) โดยมีความขุ่นสูงมากในพื้นที่ตั้งแต่แนวคลื่นแตกตัวจนถึงชายฝั่ง (surf zone) ความขุ่นที่น้อยกว่าและการกัดเซาะที่ผิวหน้าดินจะเกิดขึ้นด้านนอกของแนวคลื่นแตกตัว ไปจนถึงจุดที่แรงเฉือนที่ท้องน้ำ (bed shear) น้อยกว่า แรงเฉือนวิกฤต (critical shear) สำหรับการกัดเซาะ

กรณี (c) ความขุ่นใน surf zone เข้าสู่จุดที่เป็นน้ำโคลน โดยทั่วไปจะไหลลงที่ลาดต่ำกว่าด้านนอกชายฝั่ง และถูกดักไว้ในร่องท้องน้ำ (troughs) ภายใต้อิทธิพลของการเคลื่อนที่ของวงโคจรของอนุภาคคลื่นน้ำ (wave orbital motion) ภายในน้ำโคลน

กรณี (d) กลับเข้าสู่กรณี (a) การรวมตัวกันเป็นรูปร่างชายฝั่งใหม่ (new profile) ภายใต้เงื่อนไขคลื่นสงบหรือที่ระดับน้ำต่ำ



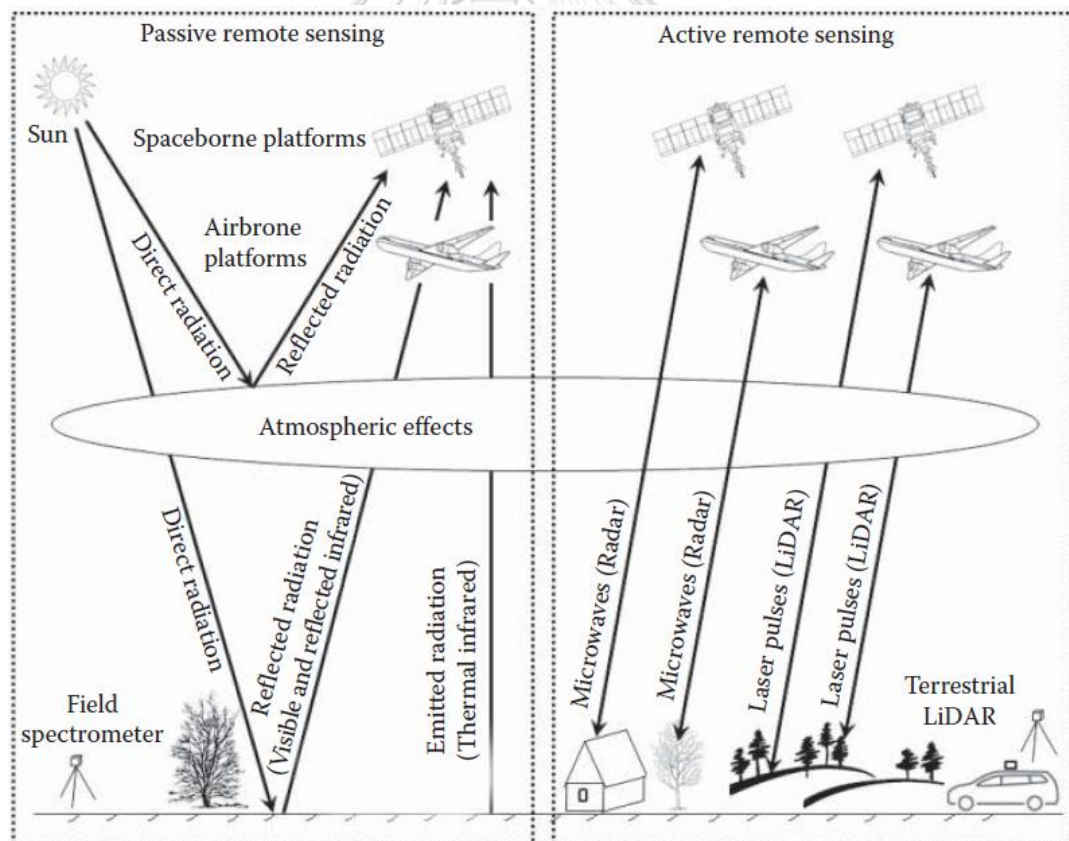
ที่มา :Lee (1995)

รูป 2-14 กระบวนการชายฝั่งของหาดเลน

### 2.1.12 LiDAR Remote Sensing

LiDAR ย่อมาจาก Light Detection and Ranging เป็นเทคโนโลยีการสำรวจงานภูมิประเทศ แบบ Active remote sensing system คือการปล่อยลำแสงจากเซ็นเซอร์ไปที่วัตถุ เป้าหมายโดยตรงและสะท้อนกลับมาที่เซ็นเซอร์เพื่อเก็บข้อมูล ซึ่งระบบนี้มีประโยชน์คือ สามารถได้รับข้อมูลที่แม่นยำ เนื่องจากการใช้เลเซอร์ตรวจจับวัตถุได้ โดยไม่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ เช่น กรณีมีเมฆมาก (รูป 2-15) นอกจากนี้เลเซอร์ยังมีความสามารถในการทะลุผ่านต้นไม้ หรือโครงสร้าง เช่น อาคาร เสาไฟฟ้า ไปยังพื้นผิวภูมิประเทศได้อีกด้วย

Evans et al. (2009) ได้ศึกษาความแม่นยำของ LiDAR โดยใช้หลักการทางสถิติเปรียบเทียบระหว่าง จุดที่รู้ค่าพิกัด (control point) และ จุดที่ถูกสำรวจจากเลเซอร์ จากนั้นนำมาหาค่าความคลาดเคลื่อน Root Mean Square Error (RMSE) ผลการศึกษาสรุปว่า ในกรณีภูมิประเทศมีลักษณะแบนราบ หรือมีความลาดชันปานกลาง เทคนิค LiDAR จะให้ผลการสำรวจมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 15 ซม. ในแนวตั้ง (Vertical) และไม่เกิน 55 ซม. ในแนวราบ (horizontal)



ที่มา : Dong and Chen (2017)

รูป 2-15 Passive and active remote sensing

## 2.2 การศึกษาที่ผ่านมา

### 2.2.1 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งทั่วโลก

Moore (2000) ได้รวบรวมวิธีการที่ใช้ในสร้างเส้นชายฝั่ง การวิเคราะห์แนวชายฝั่ง รวมถึงความคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้ ของเส้นชายฝั่งที่ได้จากข้อมูล แผนที่ในอดีต (historical maps; T-sheet) และภาพถ่ายทางอากาศ (aerial photographs) ที่มักถูกใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ข้อมูลแผนที่ในอดีต (ซึ่งเป็นข้อมูลในอดีตก่อนมีเทคนิคการถ่ายภาพทางอากาศ) จะมีความคลาดเคลื่อนขึ้นอยู่กับความละเอียดของวิธีการที่ใช้ ในการสำรวจและการสร้างแผนที่ของแต่ละหน่วยงาน รวมถึงมาตราส่วนของแผนที่ นอกจากนี้ ลักษณะของกระดาษแผนที่มีการบิดเบี้ยว โค้งงอ หรือผิดรูป ก็เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์หาเส้นตัวแทนแนวชายฝั่ง ส่วนความคลาดเคลื่อนของแนวชายฝั่งที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ จะเกิดจากการบิดเบี้ยวของเลนส์ (distortion) และองศาการบิดเบี้ยวของภาพถ่าย เป็นหลัก นอกจากนี้การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยเลือกใช้เส้นตัวแทนชายฝั่งที่ไม่เหมาะสม ก็ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการศึกษาได้เช่นกัน

Boak and Turner (2005) รวบรวมรายงานการศึกษาต่าง ๆ เพื่อหาคำนิยามและวิธีการลากเส้นชายฝั่ง (shoreline) ในทางทฤษฎีเส้นชายฝั่งคือเส้นที่เป็นแนวรอยต่อระหว่างแผ่นดินและน้ำ แต่ในความเป็นจริงตำแหน่งเส้นชายฝั่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เนื่องจากอิทธิพลของระดับน้ำขึ้น-น้ำลง บริเวณชายฝั่ง แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เส้นชายฝั่งได้แก่ ภาพถ่ายในอดีต แผนที่ชายฝั่ง ภาพถ่ายทางอากาศ การสำรวจชายหาด และข้อมูลดาวเทียม ซึ่งมีข้อจำกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์แตกต่างกันไป จากตัวอย่างรายงานที่รวบรวม ส่วนใหญ่เลือกใช้แนวโครงสร้าง ลักษณะธรณีสัณฐาน และแนวรอยต่อที่เปียกและแห้ง เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์

Winterwerp et al. (2005b) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหาดเลนป่าชายเลนบริเวณบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การกัดเซาะชายฝั่งอย่างรวดเร็วในพื้นที่ศึกษาเกิดจากการทำลายพื้นที่เขตน้ำตื้นริมฝั่ง (intertidal area) โดยการสร้างคันดิน (dikes) ติดอยู่กับแนวชายฝั่งเพื่อปกป้องบ่อกุ้งและบ่อปลาที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ชายฝั่ง ในขณะที่การลดลงของตะกอนแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งเป็นผลมาจากการสร้างเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ และการทรุดตัวของแผ่นดินตามแนวชายฝั่งอื่น เนื่องจากการสูบน้ำบาดาลและการทรุดตัวตามธรรมชาตินั้น ทำให้การกัดเซาะมีระดับความรุนแรงของการกัดเซาะมากขึ้น แต่อิทธิพลของแผ่นดินทรุดคิดว่าส่งผลต่ออัตราการกัดเซาะที่น้อยกว่าอิทธิพลของการสร้างคันดินอยู่มาก โดยการทรุดตัวของแผ่นดินนั้น คาดว่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเวลามากกว่าร้อยปี

Bidorn and Rukvichai (2018) ได้ศึกษาผลกระทบของการก่อสร้างท่าเรือมาบตาพุด ต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอ่าวระยอง ซึ่งท่าเรือมาบตาพุดถูกสร้างตั้งแต่ ปี 2535 และท่าเรือระยะที่ 2 ก่อสร้างแล้วเสร็จในปี 2545 ท่าเรือมีความกว้าง 3.5 กม. ยาวออกไปนอกชายฝั่ง 4.0 กม. โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง ทั้งในกรณีก่อนและหลังจากการก่อสร้างท่าเรือ ศึกษาจากภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ตั้งแต่ปี พ.ศ.2500 ถึง 2559 ด้วยโปรแกรม ArcGIS และ Digital Shoreline Analysis System (DSAS) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ก่อนการสร้างท่าเรือมาบตาพุด ระบบหาดในอ่าวระยองเข้าใกล้แนวชายฝั่งสมดุล (equilibrium shoreline) และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยเพียง 0.5 ม./ปี หลังจากสร้างท่าเรือมาบตาพุดแล้วเสร็จ พบว่าชายฝั่งที่อยู่ห่างออกไปจากท่าเรือเป็นระยะทาง 500 ม. ทั้ง 2 ด้าน เกิดการงอกของชายฝั่งอย่างต่อเนื่องและมีความสำคัญ ในขณะเดียวกัน ชายฝั่งที่อยู่ในอ่าวระยองนอกรัศมีนี้ เกิดการกัดเซาะ คิดเป็น 28% ของแนวชายฝั่งในปี 2535 และเกิดการกัดเซาะมากขึ้นถึง 30% หลังจากก่อสร้างท่าเรือระยะที่ 2 แล้วเสร็จในปี 2545 ในบรรเทาการกัดเซาะชายฝั่งอันเนื่องมาจากท่าเรือมาบตาพุด โครงสร้างทางวิศวกรรม เช่น กำแพงกันคลื่น เขื่อนกันคลื่น และคันตักตะกอน (groin) ถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันแนวชายฝั่งตลอดอ่าวระยอง ซึ่งการใช้โครงสร้างดังกล่าว ส่งผลให้ระบบหาดระยองเข้าสู่สมดุลใหม่ ตั้งแต่ปี 2554 เป็นต้นมา

Bidorn et al. (2020) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งปากแม่น้ำเพชรบุรีซึ่งมีลักษณะเป็นป่าชายเลน ตั้งแต่คลองบางตะบูน ถึงแหลมผักเบี้ย ในช่วงปี 2496 - 2560 โดยวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในอดีต จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (land use change) จากป่าชายเลนธรรมชาติเป็นพื้นที่นาทุ่ง หรือเกษตรกรรม ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งแต่อย่างใด และผลการศึกษาายังแสดงให้เห็นว่า แนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาประมาณ 26% โดยเฉพาะบริเวณกึ่งกลางของพื้นที่ศึกษา เกิดการถอยร่นอย่างต่อเนื่องด้วยอัตรา -6.5 ม./ปี ส่วนแนวชายฝั่งส่วนที่เหลือที่อยู่ด้านเหนือสุดและใต้สุดของพื้นที่ศึกษา เกิดการงอกเพิ่มของชายฝั่งด้วยอัตรา 30 ม./ปี และ 8.6 ม./ปี ตามลำดับ ความผันแปรของอัตราการงอกของแนวชายฝั่งในพื้นที่ศึกษา สะท้อนให้เห็นถึง การเปลี่ยนแปลงของปริมาณตะกอนจากลุ่มน้ำเพชรบุรี และกระบวนการเคลื่อนที่ของตะกอนของระบบหาดเพชรบุรี นอกจากนี้ยังรายงานว่ คลื่นและกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษา และมาตรการป้องกันชายฝั่งของพื้นที่ข้างเคียง เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการถอยร่นของแนวชายฝั่งเพชรบุรี ในช่วงเวลา 60 ปีที่ผ่านมา

## 2.2.2 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่ง

Suh and Dalrymple (1987) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะงอกของ Salient ด้านหลังเขื่อนกันคลื่น และตัวแปรออกแบบ โดยใช้ผลการศึกษาจากแบบจำลองทางกายภาพและ



ข้อมูลสำรวจ ซึ่งจะช่วยให้สามารถประเมินระยะงอกของ Salient ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นเดี่ยว (single breakwater) ดัง สมการที่ 2-6, 2-7 และ 2-8

$$\frac{y_s}{l} = 0.156 \text{ for } \frac{y_b}{y} < 0.5 \text{ .....(2-6)}$$

$$\frac{y_s}{l} = 0.317 \text{ for } 0.5 < \frac{y_b}{y} < 1.0 \text{ .....(2-7)}$$

$$\frac{y_s}{l} = 0.377 \text{ for } \frac{y_b}{y} > 1.0 \text{ .....(2-8)}$$

โดยที่  $y_b$  คือ ระยะห่างจากชายฝั่งถึงแนวคลื่นแตกตัว (breaker line)

$y_s$  คือ ระยะห่างจากแนวชายฝั่งถึงจุดสิ้นสุดของ Salient

$l$  คือ ความยาวเขื่อนกันคลื่น

สำหรับเขื่อนกันคลื่นแบบหลายตัวที่เรียงตัวกันอย่างเป็นระบบ (multiple breakwaters) สามารถหาระยะงอกของ Salient ได้ดังสมการ 2-9

$$y_s = 14.8y \frac{by}{l^2} \exp \left[ -2.83 \sqrt{(by/l^2)} \right] \text{ .....(2-9)}$$

โดยที่  $b$  คือ ระยะช่องเปิดระหว่างเขื่อนกันคลื่น

USACE (1992) ได้รวบรวมผลการศึกษา เงื่อนไขการตอบสนองของชายฝั่งต่อเขื่อนกันคลื่น ในรูปแบบของ Tombolo และ Salient โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวเขื่อนกันคลื่น ( $l$ ) และระยะห่างจากชายฝั่งถึงเขื่อนกันคลื่น ( $y$ ) ผลการศึกษาก่อให้เกิด Tombolo และ Salient สามารถสรุปได้ ดังตาราง 2-3 และ ตาราง 2-4 ตามลำดับ

ตาราง 2-3 เงื่อนไขการตอบสนองของชายฝั่งรูปแบบ Tombolo (USACE, 1992)

Condition	Comments	Reference
$V_y > 2.0$	-	CERC (1984)
$V_y > 2.0$	Double Tombolo	Gourlay (1981)
$V_y > 0.67$ to 1.0	Tombolo (Shallow water)	Gourlay (1981)
$V_y > 2.5$	Periodic tombolo	Ahrens and Cox (1990)
$V_y > 1.5$ to 2.0	Tombolo	Dally and Pope (1986)
$V_y > 1.5$	Tombolo (multiple breakwaters)	Dally and Pope (1986)
$V_y > 1.0$	Tombolo (single breakwater)	Suh and Dalrymple (1987)
$V_y > 2b/l$	Tombolo (multiple breakwaters)	Suh and Dalrymple (1987)

ตาราง 2-4 เงื่อนไขการตอบสนองของชายฝั่งรูปแบบ Salients (USACE, 1992)

Condition	Comments	Reference
$V_y < 1.0$	No tombolo	CERC (1984)
$V_y < 0.4$ to 0.5	Salient	Gourlay (1981)
$V_y = 0.5$ to 0.67	Salient	Dally and Pope (1986)
$V_y < 1.0$	No tombolo (single breakwater)	Suh and Dalrymple (1987)
$V_y < 2 b/l$	No tombolo (Multiple breakwaters)	Suh and Dalrymple (1987)
$V_y < 1.5$	Salient	Ahrens and Cox (1990)
$V_y < 0.8$ to 1.5	Subdued Salient	Ahrens and Cox (1990)

อาทิตยา เกศมาริช (2540) ได้ศึกษาเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยก (detached breakwater) สำหรับหาดทราย โดยใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์ และเกณฑ์การออกแบบศึกษาจากแนวชายฝั่งสมดุล ที่ตอบสนองต่อตัวแปรออกแบบโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น 3 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวเขื่อนกันคลื่นแยก (L) ระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น (G) และระยะเว้าของชายฝั่ง (S) ภายใต้เงื่อนไขสภาพคลื่นต่าง ๆ (มุมของคลื่นที่กระทำต่อชายฝั่ง และขนาดของคลื่น) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า 1) ความสูงคลื่นในน้ำลึกมีผลต่อ S คือ เมื่อคลื่นมีความสูงเพิ่มขึ้นชายฝั่งจะเกิดการกัดเซาะมากยิ่งขึ้น จึงทำให้ S ของชายฝั่งมากขึ้นด้วย 2) เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น ค่า S จะเพิ่มขึ้น 3) ในกรณีที่คลื่นมีความสูงน้อยๆ เมื่อผันแปรค่า G พบว่าไม่ส่งผลต่อค่า S อย่างมีนัยสำคัญ

Uehara et al. (2010) ศึกษาความผันแปรของระดับท้องน้ำในหาดเลนดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งระดับรุนแรงมากกว่า 40 ปี โดยประเมินโดยใช้ข้อมูลคลื่นและน้ำขึ้นน้ำลง ที่คำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ SWAN Model

พื้นที่ศึกษาอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Southeast Asia monsoon climate) ในการศึกษาได้มีการสำรวจภาคสนามที่มุ่งเน้นไปที่ การประเมินประสิทธิผลของเสาหลายพลังงานคลื่นในการบรรเทาการกัดเซาะชายฝั่ง ผลการสำรวจชี้ให้เห็นว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงระดับท้องน้ำรายฤดูกาล ซึ่งโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 30 ซม. นั้นมีสาเหตุมาจากการทิศทางและความสูงคลื่นตามฤดูกาล เป็นหลัก นอกจากนี้ยังพบว่า เสาหลายพลังงานคลื่นดูเหมือนจะทำให้เกิดการสูงขึ้นของระดับท้องน้ำสุทธิบริเวณด้านหลังของโครงสร้าง ส่วนการกัดเซาะท้องน้ำที่เกิดขึ้นด้านหลังของโครงสร้าง ส่วนใหญ่เกิดขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นช่วงที่คลื่นไม่รุนแรง ซึ่งอาจเกิดจากผลของคลื่นแตกตัวร่วมกับช่วงที่น้ำลงต่ำ และการกัดเซาะในช่วงที่คลื่นไม่รุนแรงนี้ เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดคลื่นและทิศทางคลื่นตามฤดูกาล

### 2.2.3 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และมาตรการป้องกันชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออก

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2554b) ศึกษาติดตามและประเมินผลการฟื้นฟูระบบนิเวศชายฝั่งทะเลโดยการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น ตามแนวชายฝั่งจังหวัด สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สมุทรปราการ และฉะเชิงเทรา สำรวจการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งและความลึกท้องน้ำด้วยวิธีการหยั่งความลึกท้องน้ำ และมีการสำรวจ จากการสำรวจการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น บริเวณปากคลองหงษ์ทอง ตำบลสองคลอง จังหวัดฉะเชิงเทรา พบการเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนด้านหลังโครงสร้างประมาณ 0.2 ม. ในการสำรวจครั้งที่ 1 (พฤศจิกายน 2553) และ 0.8 ม. (พฤษภาคม 2554) ซึ่งมีสมมติฐานว่าการเพิ่มขึ้นของตะกอนเป็นผลอันเนื่องมาจาก การปักไม้ไผ่เพิ่มขึ้นอีก 1 แนว และคาดว่า การสร้างแนวไม้ไผ่เพิ่มเติม จะช่วยให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนด้านหลังโครงสร้างต่างกันไปตามปริมาณไม้ไผ่ที่ปัก และการสะสมตัวของตะกอนท้องน้ำหลังแนวไม้ไผ่นั้นเป็นผลร่วมกันของ แนวไม้ไผ่ชะลอคลื่น และไส้กรอกทรายด้านนอกแนวชายฝั่ง

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2555) ได้ศึกษาประสิทธิผลของเขื่อนกันคลื่นนอกชายฝั่ง (offshore breakwater) ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในพื้นที่ชายฝั่งบริเวณบ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา ซึ่งเป็นแนวเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้ง สร้างขึ้นในปี 2554 โดยใช้แบบก่อสร้างของกรมโยธาธิการและผังเมืองในการก่อสร้าง และใช้งบประมาณของ อบต. คลองสองในการก่อสร้างรวม **9.4 ล้านบาท** โดยก่อนการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่น ชายฝั่งมีการกัดเซาะรุนแรง ชุมชนท้องถิ่นใช้แนวไม้ไผ่ป้องกันชายฝั่ง แต่ด้วยความแรงของคลื่นในพื้นที่ทำให้แนวไม้ไผ่หักพัง ไม่สามารถสร้างเสถียรภาพของชายฝั่งในพื้นที่นี้ได้ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น จึงสร้างแนวเขื่อนหินทิ้งในปี 2553

โดยแนวโครงสร้างทำด้วยหิน มีความกว้างสันเขื่อน 2 ม. ความกว้างของฐานเขื่อน 8 ม. ความยาวโดยรวม 214 ม. ความสูงเฉลี่ย 2 ม. รองด้วยตะแกรงลวด เสริมทำด้วยไม้ยูคาลิปตัส ระยะห่าง 0.5 ม. ในการศึกษาระบุว่า สภาพธรณีวิทยาชายฝั่งมีลักษณะเป็นชั้นดินอ่อน เป็นหาดโคลน มาตรการที่เหมาะสมในการแก้ไขและฟื้นฟูสำหรับพื้นที่ คือ **สร้างเขื่อนกันคลื่นปากคลองเจริญวัย** ดังรูป 2-16



ที่มา : กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2555)

รูป 2-16 ตัวอย่างโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นปากคลองเจริญวัย

ชัยพันธุ์ รักรวิชัย และคณะ (2555) ศึกษาผลกระทบการกัดเซาะชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ปากแม่น้ำแม่กลอง ถึงปากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะชายฝั่งท้องน้ำเป็นดินโคลนเลน และประสบปัญหาการกัดเซาะอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลาหลายสิบปี จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ชายฝั่งด้านตะวันตกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา เกิดการถดถอยของแนวชายฝั่งอย่างรุนแรง ในช่วงปี 2507–2552 (เฉลี่ย -10 ม./ปี) โดยเกิดการกัดเซาะมากกว่า 1 กม. ที่บ้านขุนสมุทรจีน จ.สมุทรปราการ ในส่วนของด้านตะวันออก มีความรุนแรงของการกัดเซาะน้อยกว่าด้านตะวันตก (เฉลี่ย -8 ม./ปี) และพบการกัดเซาะรุนแรงบริเวณ บ้านคลองด่าน จ.สมุทรปราการ ปัญหาการกัดเซาะและการถดถอยของแนวชายฝั่ง บริเวณเหล่านี้มีความรุนแรงชัดเจน หลังจากปี 2510 เป็นต้นมา และตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีหลายหน่วยงานได้พยายามเข้ามาแก้ไขและป้องกันชายฝั่งในบริเวณดังกล่าว ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าประสิทธิผลของการดำเนินงานมักเกิดในช่วงสั้น (3–6 ปี เท่านั้น) และยังไม่มีโครงการใดประสบความสำเร็จอย่างถาวร จากการสำรวจพื้นที่แนวชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยา ด้านตะวันตกและด้านตะวันออกของคณะวิจัย ได้ข้อสันนิษฐานว่า การเคลื่อนที่ของตะกอนมีทิศทางการเคลื่อนที่เข้าหาปากแม่น้ำเจ้าพระยาทั้งสองด้าน และจากการพิจารณา ข้อมูลสมุทรศาสตร์, การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในอดีต และข้อมูลชุดลอกร่องน้ำของกรมเจ้าท่า จึงได้ข้อสรุปว่า ในอดีตปากแม่น้ำเจ้าพระยาไม่เคยมี

การขุดลอกบริเวณปากแม่น้ำ จึงเกิดการงอกของแผ่นดินทั้งสองฝั่งของปากแม่น้ำอย่างต่อเนื่องเป็นธรรมชาติปกตินับร้อย ๆ ปี อย่างไรก็ตาม หลังจากมีการสร้างเขื่อนภูมิพล (ในปี 2507) และเขื่อนสิริกิติ์ (ในปี 2514) และมีการขุดลอกร่องน้ำต่อเนื่องตลอดทั้งปีเพื่อการเดินเรือบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา (ตั้งแต่ ปี 2512 ถึง ปัจจุบัน) พบว่าตั้งแต่นั้นมาพื้นที่ชายฝั่งเริ่มมีการกัดเซาะอย่างรุนแรง โดยเฉพาะชายฝั่งบริเวณ ปากแม่น้ำท่าจีน-เจ้าพระยา หลังจากนั้นมีการดำเนินการป้องกันชายฝั่งมาตลอด แต่ไม่เป็นผลสำเร็จ ในขณะที่ แม่น้ำเจ้าพระยาก็ยังคงมีตะกอนไหลออกสู่ทะเลทุกปี นอกจากนี้ยังเสนอแนวทางแก้ไขปัญหากการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดย แบ่งออกเป็น 3 วิธีด้วยกัน ได้แก่ 1) ป้องกันชายฝั่งเฉพาะแห่งด้วยโครงสร้างต่าง ๆ 2) หยุดการขุดลอกปากแม่น้ำทั้งหมด 3) สร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นทั้งสองข้างของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

Saengsupavanich (2013) ได้รายงานประวัติการจัดการการกัดเซาะชายฝั่งหาดเลน โดยใช้กรณีศึกษาของแนวชายฝั่งหาดเลนของ จ.ฉะเชิงเทรา ในการศึกษาใช้การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานเชิงพื้นที่ (site specific fundamental data) เช่น ลักษณะทางกายภาพของชายฝั่ง ข้อมูลสิ่งแวดล้อม และข้อมูลสภาพเศรษฐกิจและสังคม นอกจากนี้ยังประเมินความรุนแรงของการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่ศึกษาโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในอดีต วิธีการวิเคราะห์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (stakeholder analysis) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ ในการระบุว่าใครเป็นผู้รับผิดชอบต่อการป้องกันชายฝั่งและทำไม จากข้อมูลประวัติการใช้มาตรการป้องกันชายฝั่งในพื้นที่ศึกษา พบว่าโครงสร้างหลักในการป้องกันชายฝั่งได้แก่ เขื่อนกันคลื่นสันเตี้ย และไส้กรอกทราย ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

- 1) เขื่อนกันคลื่นสันเตี้ย ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กและใช้หินก้อนใหญ่เพียงพอที่จะกันคลื่นในช่วงพายุ และเนื่องจากหาดเลน มีอัตราการทรุดตัวสูง เขื่อนกันคลื่น มีความยาว 180 ม. สูง 2 ม. ก่อสร้างเสร็จภายในเวลา 4 เดือน ใช้งบประมาณ 36,000 บาท ต่อความยาว 1 ม. อย่างไรก็ตาม ยังคงต้องใช้งบประมาณในการบำรุงรักษาโครงสร้าง เนื่องจากการทรุดอย่างรวดเร็วของโครงสร้าง จึงต้องมีการบำรุงรักษาและเสริมความสูงของโครงสร้างทุกปี
- 2) ไส้กรอกทราย (sand sausage) เป็นโครงสร้างป้องกันชายฝั่งที่มีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการติดตั้งและรื้อถอน จึงถูกนำมาใช้ป้องกันชายฝั่งหลายพื้นที่ (Martinelli et al., 2011; Pilarczyk, 2000; Saathoff et al., 2007; Shin & Oh, 2007) และถูกนำมาใช้ในป้องกันพื้นที่ชายฝั่ง จ.ฉะเชิงเทรา ในปี 2548 โดยกรมเจ้าท่าได้ให้เหตุผลในการใช้ไส้กรอกทรายไว้ว่า 1) หาดเลนไม่สามารถแบกรับโครงสร้างที่มีน้ำหนักมากได้ เช่น เขื่อนหินทิ้ง 2) การใช้โครงสร้างป้องกัน จะทำให้ชุมชนที่อาศัยในบริเวณชายฝั่งสัญจรทางน้ำได้ยากลำบาก เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นนาุ้งไม่มีถนนเข้าถึง และใช้การสัญจรทางน้ำเป็นหลัก 3) สามารถก่อสร้างได้ง่าย จากแบบก่อสร้างทั่วไป ไส้กรอกทรายแต่ละอัน ยาว 100 ม. กว้าง

3 ม. อย่างไรก็ตาม ชุมชนในพื้นที่ระบุว่า ไม้กรอกทราย มีอายุการใช้งานในการป้องกันชายฝั่งได้เพียงแค่ 1 ปี เท่านั้น เนื่องจากมีการทรุดตัวในหาดเลนค่อนข้างมาก จากเริ่มต้นติดตั้งไม้กรอกทรายไว้ที่ระดับ +1.6 ม.รทก. หลังจากก่อสร้างเสร็จได้ 5 ปี ระดับสันไม้กรอกทรายลดลงเหลือ +1.0 ม.รทก. และถูกทรายได้รับความเสียหาย ส่งผลให้ทรายรั่วออกไปจากไม้กรอกทรายจนหมด ดังนั้นกรมเจ้าท่าจึงเสนอแนวทางแก้ไข คือ การเพิ่มหินขึ้นไปบนโครงสร้างไม้กรอกทราย ตลอดแนวชายฝั่ง ซึ่งใช้งบประมาณ 15,000 บาท ต่อความยาว 1 ม. ของไม้กรอกทราย อย่างไรก็ตาม กรมเจ้าท่าประเมินว่าการเพิ่มหินเข้าไปในโครงสร้างจะส่งผลให้ไม้กรอกทรายทรุดตัวอย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องมีการติดตามผล ทุก 3-7 ปี

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และแนวทางการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่อ่าวไทยตอนบนที่มีลักษณะเป็นหาดเลน ได้แก่ จังหวัดสมุทรสาคร กรุงเทพฯ สมุทรปราการ และฉะเชิงเทรา โดยในแต่ละพื้นที่ที่มีความรุนแรงของปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งและมาตรการป้องกันชายฝั่งที่แตกต่างกันไป ดังสรุปใน ตาราง 2-5

ตาราง 2-5 ข้อมูลชายฝั่งและการจัดการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน

จังหวัด	ระยะ กัดเซาะ (กม.)	การจัดการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง		คงเหลือยังไม่ ดำเนินการ (กม.)
		รูปแบบ	ระยะทาง (กม.)	
สมุทรสาคร	9.05	ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น, ไม้กรอกทราย, เขื่อนหินทิ้ง	26.27	17.22
กรุงเทพฯ	4.85	ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น, เขื่อนหินทิ้ง, เสาคอนกรีต	9.53	-
สมุทรปราการ	31.06	เขื่อนหินทิ้ง เสาคอนกรีตหรือเสาเข็ม, ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น, ไม้กรอกทราย, กำแพงป้องกันคลื่น	41.59	8.79
ฉะเชิงเทรา	7.40	ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น, เขื่อนหินทิ้ง, เขื่อนกันคลื่น นอกชายฝั่ง, ไม้กรอกทรายทับด้วยหินเรียง	1.76	5.64

ที่มา: กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557)

Bidorn (2016) ศึกษาสาเหตุการถอยร่นของชายหาดเลน (muddy coast) บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ตั้งแต่ปี 2495 จนถึงปี 2559 จากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.1 และ Digital Shoreline Analysis System (DSAS) ในการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ในการศึกษาใช้แนวขอบป่าชายเลนและขอบเขตโครงสร้างชายฝั่งเป็นตัวแทนชายฝั่ง (shoreline proxies) สำหรับหาดเลน ที่มีความลาดชัน

ท้องน้ำต่ำและได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง ผลการวิเคราะห์ระบุว่า การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสัมพัทธ์ (relative sea-level rise) อันเกิดจากอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในระดับรุนแรง เป็นสาเหตุหลักของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งอย่างรวดเร็วในพื้นที่ดินดอนสามเหลี่ยมเจ้าพระยา และการทรุดตัวของแผ่นดินมีอิทธิพลต่อการถอยร่นของชายฝั่ง คิดเป็น 56 และ 63% ในด้านตะวันตกและตะวันออกของชายฝั่งดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา ตามลำดับ

Bidorn et al. (2021) ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการถดถอยของแนวชายฝั่งบริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา รวมถึงศึกษากระบวนการทับถมของตะกอนปากแม่น้ำเจ้าพระยา ด้วยเทคนิคตะกั่ว-210 โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งในอดีตจำนวน 11 ช่วงเวลา ตั้งแต่ปี 2497–2563 กับปัจจัยที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง เช่น ปริมาณตะกอนจากแม่น้ำเจ้าพระยา การสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลสัมพัทธ์ (relative sea-level rise) การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และกระบวนการทับถมของตะกอนบริเวณชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ชายฝั่งดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีอัตราการถอยร่นของชายฝั่งรุนแรงในลำดับต้น ๆ ของโลก และผลการวิเคราะห์อายุของตะกอนด้วยเทคนิคตะกั่ว-210 ยังชี้ให้เห็นว่า อัตราการทับถมของตะกอนชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาหลังจากก่อสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ ได้แก่ เขื่อนภูมิพล ในแม่น้ำปิง และเขื่อนสิริกิติ์ ในแม่น้ำน่าน มีค่าสูงกว่าอัตราการทับถมของตะกอนในพื้นที่เดียวกันในช่วงก่อนการสร้างเขื่อนทั้งสอง นอกจากนี้ผลการศึกษา ยังแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนพื้นที่ป่าชายเลน เป็นพื้นที่นาเกลือ ฯลฯ ไม่ได้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการกัดเซาะรุนแรงของชายฝั่งบริเวณนี้โดยตรง ในทางกลับกัน การทรุดตัวของแผ่นดินอันเกิดจากการสูบน้ำบาดาล ดูเหมือนจะเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลหลักต่อการถอยร่นของแนวชายฝั่งอย่างรวดเร็วของชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยา ในช่วง 60 ปีที่ผ่านมา

Sok et al. (2022) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหาดเลนปากแม่น้ำบางปะกง ระหว่างปี 1953 และ 2019 โดยใช้ข้อมูล ภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายดาวเทียม การศึกษาถูกแบ่งออกเป็น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งระยะยาว (~70 ปี) และระยะสั้น (~10 ปี) โดยใช้โปรแกรม DSAS ผลการศึกษาพบว่า ชายฝั่งด้านตะวันตกของแม่น้ำบางปะกง เกิดการกัดเซาะรุนแรงอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการสูญเสียที่ดินประมาณ 980 เฮกตาร์ ในช่วง 70 ปีที่ผ่านมา โดยในปี 2002 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยสูงถึง -9 ม./ปี ซึ่งเป็นผลจากการทรุดตัวของแผ่นดิน เนื่องจากการใช้น้ำใต้ดิน และยังได้สรุปว่า การสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา และบางปะกง ไม่มีผลต่อการถอยร่นของชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ รวมไปถึง การเปลี่ยนป่าชายเลนเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ชายฝั่ง ไม่ใช่สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่ง นอกจากนี้ การปลูกป่าชายเลนทดแทนในพื้นที่ ไม่ประสบความสำเร็จ ในการรักษาเสถียรภาพชายฝั่งในพื้นที่ดังกล่าว

#### 2.2.4 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการใช้เทคนิคการสำรวจภูมิประเทศด้วยแสงเลเซอร์ (LiDAR remote sensing)

Stroner et al. (2021) ได้ทดสอบหาความแม่นยำของ DJI Zenmuse L1 จากการสร้างจุดตรวจสอบ โดยใช้เป้าตกระทอบที่ใช้พอยล์เป็นวัสดุห่อหุ้ม ซึ่งมีความสะท้อนแสงสูง จะช่วยให้การตรึงพิกัด (georeferencing) point cloud อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องได้ง่ายขึ้นอย่างเป็นระบบ (systematic shift of the LiDAR point cloud) สำหรับจุดตรวจสอบควรถูกวางในพื้นที่ราบ กระจายทั่วทั้งพื้นที่ทดสอบ และควรกำหนดความสูงในการบินของโดรนไว้ระหว่าง 50–70 ม. ผลการทดสอบความแม่นยำของ DJI Zenmuse L1 scanner แบบติดตั้งกับโดรนรุ่น UAV DJI Matrice 300 พบว่า มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 3.5 ซม. ทั้งในแนวราบและแนวตั้ง ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าที่ผู้ผลิตรายอื่น (10 และ 5 ซม. สำหรับ แนวราบ และแนวตั้งตามลำดับ) ในทางกลับกัน ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการ ตรึงพิกัด point cloud ทั้งระบบ ยังคงไม่อาจละเลยได้ ดังนั้นการตรวจสอบค่าพิกัดของ point cloud กับจุดตรวจสอบจะสามารถช่วยลดความผิดพลาดได้อย่างมีนัยสำคัญ

Shaw et al. (2019) ได้เปรียบเทียบ ประสิทธิภาพในการสำรวจแนวชายฝั่งของโดรน 3 แพลตฟอร์ม ได้แก่ 1) การสำรวจด้วยภาพถ่ายโดยใช้โดรนรุ่น DJI Phantom Pro 4 และตรึงพิกัดของภาพเข้ากับจุดควบคุม (ground control point) 2) การสำรวจด้วยภาพถ่าย โดยใช้โดรนรุ่น DJI Matrice 200 ซึ่งสามารถปรับแก้ค่าพิกัดของโดรนแบบจลน์อัตโนมัติ (real time kinematic) 3) การสำรวจด้วยแสงเลเซอร์ (LiDAR) โดยใช้ โดรนรุ่น DJI Matrice 600 ซึ่งทั้งสามแพลตฟอร์ม นี้ถูกนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการเข้าถึงพื้นที่ และความแม่นยำของข้อมูล โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า วิธีการสำรวจด้วยภาพถ่าย มีความคลาดเคลื่อนในแนวตั้งของชุดข้อมูล สูงกว่าการสำรวจด้วย LiDAR ประมาณ 4–9 ซม. นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้ว่า การสำรวจด้วยแสงเลเซอร์แบบติดตั้งกับโดรน เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการสำรวจแนวชายฝั่งมากที่สุด เนื่องจากมีคุณภาพของข้อมูลที่ใกล้เคียงกับสภาพพื้นที่ และยังสามารถสำรวจสภาพพื้นที่ทะเลที่พื้นผิวของต้นไม้ที่ความหนาแน่นสูงได้



Lin et al. (2019) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตอนใต้ของทะเลสาบ มิชิแกน บริเวณ Dune Acres และ Beverly Shores โดยใช้เทคนิคสำรวจด้วยแสงเลเซอร์แบบติดตั้งกับโดรน (UAV-LiDAR) และการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากโดรน (photogrammetry) ผลการศึกษาพบว่า ทั้งสองเทคนิคที่ใช้ในการสำรวจ ให้ข้อมูลสภาพภูมิประเทศที่มีความละเอียด และมีคุณภาพสูง นอกจากนี้ ข้อมูล point cloud ที่ได้ จากสองเทคนิคนั้น สามารถใช้ร่วมกันได้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 5–10 ซม. ส่วน UAV-LiDAR มีข้อได้เปรียบ คือ สามารถสำรวจพื้นที่ขนาดใหญ่ และสามารถสำรวจสภาพพื้นดินที่ถูกปกคลุมด้วยต้นไม้ได้ ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากการสำรวจ สามารถคำนวณปริมาณตะกอนเฉลี่ยที่หายไปจากแนวชายฝั่ง Dune Acres ได้ ประมาณ 18 ลบ.ม. ต่อความยาวชายฝั่ง 1 ม. ในช่วงหนึ่งปี และ 12.2 ลบ.ม. ต่อความยาวชายฝั่ง 1 ม. ในช่วงการเกิดพายุ ส่วนบริเวณแนวชายฝั่ง Beverly Shores มีการสูญเสียตะกอนเฉลี่ย 2.8 ลบ.ม. ต่อความยาวชายฝั่ง 1 ม. ในช่วงการสำรวจ และสูญเสียตะกอน 2.6 ลบ.ม. ต่อความยาวชายฝั่ง 1 ม. ในช่วงการเกิดพายุ



### บทที่ 3 วิธีการศึกษา

การวัดผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง และการสร้างเกณฑ์การออกแบบของเขื่อนกันคลื่นตามแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาในการศึกษาครั้งนี้ ดำเนินการบนพื้นฐานข้อมูลที่รวบรวมได้จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และมีวิธีการที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิผลของโครงสร้าง แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวราบ (horizontal change) ซึ่งเป็นเทคนิคดั้งเดิมในการศึกษาประสิทธิผลของโครงสร้างชายฝั่ง และการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวตั้ง (vertical change) ที่ได้จากการสำรวจภาคสนามด้วยเทคนิคการสำรวจภูมิประเทศด้วยแสงเลเซอร์แบบติดตั้งกับโดรน (UAV-LiDAR) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการสำรวจที่มีความละเอียดสูงในการประเมินประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง โดยมีขั้นตอนการศึกษาแสดงในรูป 3-1 สำหรับข้อมูลที่รวบรวมได้ในการศึกษาครั้งนี้ สรุปไว้ใน ตาราง 3-1

#### 3.1 สภาพพื้นที่ศึกษา

ชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นพื้นที่ชายฝั่งที่อยู่ระหว่างแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำบางปะกง ดังแสดงในรูป 3-2 และเป็นส่วนของพื้นที่ชายฝั่ง 2 จังหวัด ได้แก่ จ.สมุทรปราการ และ จ.ฉะเชิงเทรา ในเชิงอุทกวิทยา พื้นที่นี้ตั้งอยู่ในระบบลุ่มน้ำ 2 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำเจ้าพระยา และลุ่มน้ำบางปะกง สำหรับข้อมูลลักษณะทางกายภาพ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการชายฝั่งในระบบหาด (littoral beach characteristics) ของพื้นที่ศึกษา ที่รวบรวมได้มีรายละเอียด ดังหัวข้อย่อต่อไปนี้

##### 3.1.1 ลักษณะชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

พื้นที่ศึกษาประสิทธิผลของเขื่อนกันคลื่น เป็นพื้นที่ชายฝั่งด้านตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งมีลักษณะเป็นชายฝั่งหาดเลน (muddy coast) ตั้งอยู่ในเขตอ่าวไทยตอนบน (Upper Gulf of Thailand) ซึ่งครอบคลุมชายฝั่งระหว่าง เส้นรุ้ง  $13^{\circ}28'$  เหนือ– $13^{\circ}32'$  เหนือ และ เส้นแวง  $100^{\circ}35'$  ตะวันออก– $100^{\circ}50'$  ตะวันออก มีความยาวแนวชายฝั่ง จากปากแม่น้ำเจ้าพระยาไปทางตะวันออก จนถึงแม่น้ำบางปะกง ประมาณ 42 กม. (รูป 3-2) แนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาอยู่ในเขต จ.สมุทรปราการ และฉะเชิงเทรา โดยมีแม่น้ำที่สำคัญสองสาย คือ แม่น้ำเจ้าพระยา และบางปะกง ซึ่งไหลผ่านพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือและภาคกลางลงสู่อ่าวไทยตอนบน พัดพาตะกอนจากลุ่มน้ำมาตามลำน้ำ เกิดการตกตะกอนเป็นพื้นที่กว้างบริเวณจุดบรรจบของแม่น้ำและทะเล ทำให้ชายฝั่งบริเวณ

พื้นที่ศึกษา มีลักษณะเป็นหาดเลนที่มีความลาดชันต่ำ เป็นแหล่งที่อยู่ของป่าชายเลน เช่น ป่าแสม และป่าโกงกาง ปกคลุมอยู่ตลอดแนวชายฝั่ง สำหรับลักษณะตะกอนโดยทั่วไปที่พบบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา มีลักษณะเป็น ดินเหนียวปนทรายผสมกับสารอินทรีย์ (organic materials) (Bidorn et al., 2015; Bidorn et al., 2021) สำหรับสภาพชายฝั่งปัจจุบันในบริเวณพื้นที่ศึกษา แสดงใน **ภาคผนวก ก**

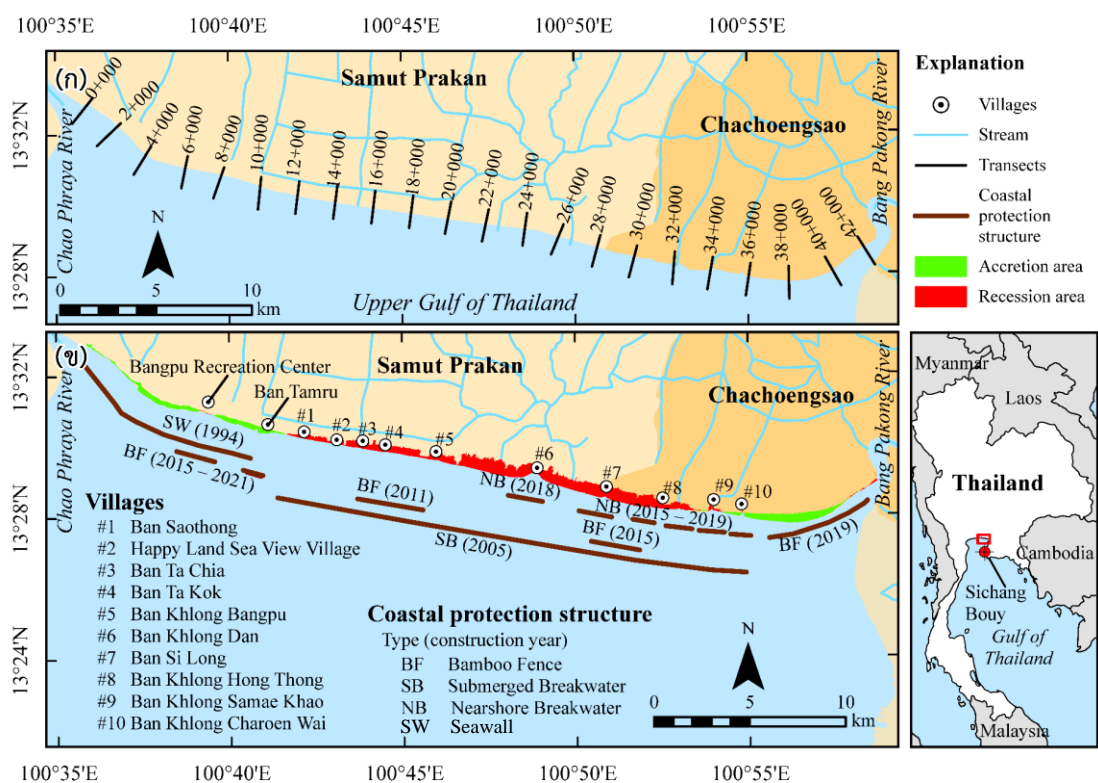


รูป 3-1 ขั้นตอนการศึกษา

ตาราง 3-1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูล	ที่มา	หมายเหตุ
สภาพพื้นที่ศึกษา, สภาพอุตุ- อุทก ของลุ่มน้ำเจ้าพระยา, ลุ่มน้ำบางปะกง	สสนก (2555a, b)	ใช้ในการศึกษาสภาพพื้นที่ศึกษา และวิเคราะห์ ความเชื่อมโยงของข้อมูลในพื้นที่
ภาพถ่ายทางอากาศ ปี 2497 และ 2539 (มาตราส่วน 1:50,000)	กรมแผนที่ทหาร	ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งใน แนวราบ
ภาพ Orthographic ปี 2545 ( มาตราส่วน 1:4,000)	กรมแผนที่ทหาร	ใช้เป็นแผนที่พื้นฐาน (base map) เพื่อตรึง พิกัดภาพถ่ายทางอากาศ และภาพดาวเทียม ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวราบ
ภาพดาวเทียม ปี 2553-2564 (มาตราส่วน 1:700)	Google Earth Pro	ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งใน แนวราบ
สภาพท้องน้ำ จ.ฉะเชิงเทรา	Saengsupavanich (2013)	ศึกษาปริมาณทับถมของตะกอนด้านหลัง โครงสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง
แผนที่ร่องน้ำ ปากแม่น้ำ เจ้าพระยา และปากแม่น้ำบาง ปะกง ปี 2548 และ 2550 (มาตราส่วน 1:30,000)	กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ	ประเมินปริมาณทับถมของตะกอนด้านหลัง เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง
ข้อมูลโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง ในพื้นที่ศึกษา	Google Earth Pro และ รายงานการศึกษา ของกรมทรัพยากรทาง ทะเลและชายฝั่ง	<ul style="list-style-type: none"> <li>● เพื่อใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง</li> <li>● วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับการทับถม ของตะกอน ด้านหลังโครงสร้างอัน เนื่องจากการมีอยู่ของโครงสร้าง</li> <li>● ประเมินอัตราการทับถมของตะกอน ด้านหลังโครงสร้าง</li> </ul>
คลื่น และลม พุนสมุทรศาสตร์ เกาะสีชัง ปี 2536-2540	สำนักงานพัฒนา เทคโนโลยีอวกาศและ ภูมิสารสนเทศ (องค์กร มหาชน)	เพื่อศึกษาสภาพคลื่นในพื้นที่ศึกษา

ชายฝั่งบริเวณสันดอนเจ้าพระยา ถูกจัดลำดับให้เป็นพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะรุนแรงของโลก เนื่องจากมีอัตราการถอยร่นของแนวชายฝั่งเฉลี่ยสูงถึง -10 ม./ปี และ -7 ม./ปี ในพื้นที่ชายฝั่งด้านตะวันตกและตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา ตามลำดับ ด้วยเหตุที่พื้นที่ชายฝั่งด้านตะวันออกของปากเจ้าพระยาเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญในเชิงอุตสาหกรรม และเชิงเศรษฐกิจของประเทศ ส่งผลให้ในพื้นที่นี้ มีการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งจำนวนมาก ได้แก่ กำแพงกันคลื่น เชือกกันคลื่นจมน้ำ เชือกกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น เป็นต้น สำหรับข้อมูลโครงสร้างมีรายละเอียดแสดงใน หัวข้อ 3.1.5



รูป 3-2 พื้นที่ศึกษา ก) Station สำหรับศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตลอดแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา และ ข) แนวโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง และการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งระหว่างปี 2497-2545

สำหรับลักษณะภูมิอากาศชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน จากรายงานของกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา สรุปสภาพอากาศสำหรับพื้นที่ศึกษาไว้ดังนี้

### ลักษณะอากาศโดยทั่วไป

ชายฝั่งทะเลแถบนี้ล้อมรอบด้วยแผ่นดินทั้งสามด้าน มีลักษณะคล้ายฝั่งทะเลเปิดทำให้บริเวณนี้มีลักษณะคล้ายคลึงบริเวณภาคกลางมาก นั่นคือ อยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งจะมีลมพัดจากทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม และเป็นลมทิศตะวันตกเฉียงใต้ ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงกันยายน นอกจากนี้มรสุมนี้ยังมีลมประจำทิศอีกกระแสหนึ่ง ซึ่งพัดเข้าสู่อ่าวไทยในระยะเปลี่ยนฤดูหนาวเป็นฤดูฝน กระแสลมนี้พัดในทิศใต้ จากทะเลจีนใต้ ชาวทะเลเรียกลมตะเภา พัดในทิศทางประจำเป็นระยะประมาณ 2-3 เดือน คือในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนเมษายน

### ลมผิวพื้น

ลมผิวพื้นจะมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการเกิดฝน ในระหว่างฤดูแล้งตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนใหญ่ลมจะพัดมาจากทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เว้นแต่จะมีแนวโน้มที่เป็นลมฝ่ายใต้ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม ลมประจำจะเป็นลมที่มาจากทิศใต้หรือทิศตะวันตกเฉียงใต้หรือลมตะวันตก และในช่วงนี้จะมีฝนตกจนกระทั่งถึงเดือนตุลาคมจะเปลี่ยนเป็นลมเหนือหรือลมตะวันออกเฉียงเหนือ ความเร็วลมเฉลี่ยในเขตนี้ประมาณ 6 นอต (11.1 กม./ชม.) ความเร็วลมสูงสุดที่เคยวัดได้มีค่าถึง 73 นอต (135 กม./ชม.) โดยเกิดขึ้นในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

### ลมชั้นบน

ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมลมที่ระดับ 1,500 เมตร ถึงระดับ 9,700 เมตร จะมีทิศทางทางเป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือหรือตะวันออกเฉียงเหนือค่อนไปทางตะวันออก ในเดือนมกราคมที่ระดับ 1,500 เมตร จะเป็นลมตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางตะวันออก ส่วนเหนือระดับนี้ขึ้นไปถึงระดับ 9,700 เมตร ส่วนใหญ่จะเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ ในเดือนกุมภาพันธ์ลมตะวันออกเฉียงเหนือจะปรากฏให้เห็นถึงระดับ 1,500 เมตร สูงขึ้นไปจากระดับนี้จะเป็นลมฝ่ายตะวันตก เดือนมีนาคมและเดือนเมษายนทิศทางของลมจะเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง ทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศตะวันตกเฉียงใต้ และจากเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ลมตะวันตกเฉียงใต้และลมตะวันตกจะปรากฏให้เห็นจนถึงระดับ 5,800 เมตร ความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าประมาณ 3-18 นอต (6-33 กม./ชม.)

### ทัศนวิสัย

นอกจากฝนแล้ว หมอกและฟ้าหริ้ว ยังเป็นตัวการที่ทำให้มีทัศนวิสัยไม่ดี หมอกส่วนมากจะเกิดในฤดูหนาวซึ่งทำให้ทัศนวิสัยลดลงถึง 1,000 เมตร หรืออาจต่ำกว่านี้ ในช่วงระยะเวลาต้นปีมักจะ

พบลักษณะฟ้าหวั่นตามชายฝั่งทะเลได้เสมอ สำหรับในเดือนอื่นๆนั้น ฝนเป็นตัวการที่ทำให้เกิดทัศนวิสัยไม่ดี ทัศนวิสัยเฉลี่ยของบริเวณนี้ประมาณ 10 กิโลเมตร

#### จำนวนเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า

โดยปกติแล้วจำนวนเมฆบนท้องฟ้าจะมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาที่ฝนตก ในบริเวณนี้จะมีจำนวนเมฆปกคลุมท้องฟ้ามากในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ คือตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน และสูงสุดในราวเดือนสิงหาคมและกันยายน สำหรับช่วงเวลาที่ท้องฟ้าโปร่งมักจะพบได้ตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ และมีข้อน่าสังเกตว่าในระหว่างฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จำนวนเมฆสูงสุดมักจะปรากฏในตอนบ่าย ยกเว้นในช่วงที่มีอากาศแปรปรวน ส่วนในช่วงอื่นนั้นจะมีเมฆปกคลุมท้องฟ้าเป็นบางส่วน ประมาณ 3-5 ส่วนของท้องฟ้า

#### ฝน

จำนวนน้ำฝนรวมเฉลี่ยรายปีของบริเวณอ่าวไทยตอนบนนี้ ประมาณ 1,150 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนจำนวนมากว่าครึ่งหนึ่งของฝนรวมตลอดปีจะตกในช่วงระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม ส่วนในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม เป็นช่วงที่มีฝนตกน้อย จำนวนวันที่มีฝนตกเฉลี่ยในช่วงนี้อยู่ระหว่าง 1-5 วัน จากเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมจะมีฝนตกมากขึ้น จำนวนวันที่มีฝนตกอยู่ระหว่าง 11-22 วัน เดือนกันยายนและเดือนตุลาคมเป็นเดือนที่มีฝนตกชุกที่สุด และฝนจะตกหนักในตอนต้นและปลายฤดูมรสุม

#### อุณหภูมิ

อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของบริเวณนี้มีค่า 27.8 เซลเซียส เดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดโดยวัดได้ 30.3 เซลเซียส โดยธรรมชาติแล้วการเปลี่ยนแปลงประจำวันของอุณหภูมิ บนแผ่นดินจะแตกต่างกับในทะเล พิสัยของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิประจำวันจากวันหนึ่งไปยังอีกวันหนึ่งของทะเลจะน้อยกว่าบนแผ่นดิน ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของน้ำทะเลในฤดูหนาวจะสูงกว่าในทะเลเปิดประมาณ 1.6 หรือ 2.2 เซลเซียส อุณหภูมิสูงที่สุดเท่าที่เคยตรวจวัดได้ 40.5 เซลเซียส ที่อำเภอสัตหีบ ในเดือนเมษายน และอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่าที่เคยตรวจวัดได้ 9.9 เซลเซียส

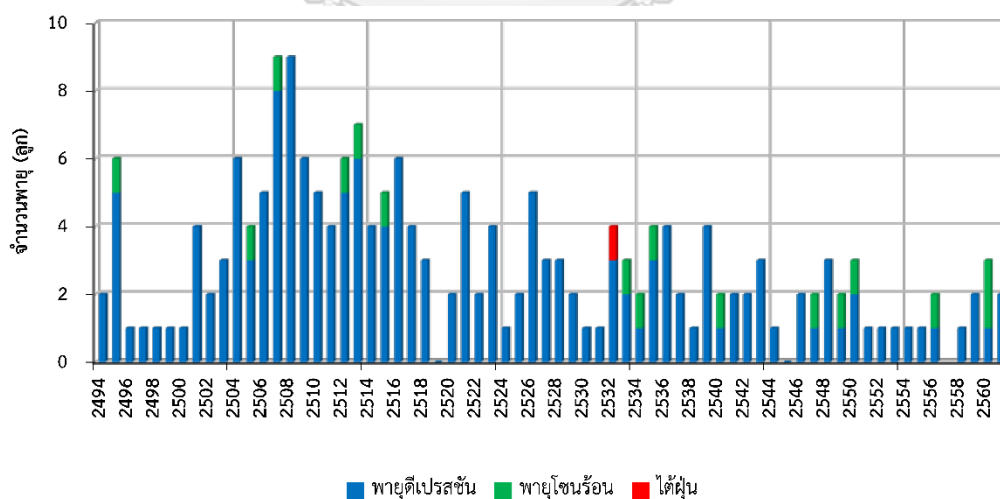
#### ความชื้นสัมพัทธ์

โดยเฉลี่ยแล้วความชื้นสัมพัทธ์สูงตลอดทั้งปี ความชื้นสัมพัทธ์ประจำปีมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 72-79 % ไม่มีเดือนใดที่มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยน้อยกว่า 65 % ถึงอย่างไรก็ตาม ในตอนบ่ายของฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ความชื้นสัมพัทธ์อาจจะลดลงต่ำกว่า 40 % ได้ ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุดที่เคยตรวจวัดได้ 17 % ในเดือนกุมภาพันธ์

### พายุหมุนเขตร้อน

พายุเหล่านี้มีได้เกิดเป็นประจำ โดยปกติแล้วทางเดินของพายุที่จะพัดเข้าสู่อ่าวไทยส่วนมากมาจากทะเลจีนใต้ผ่านประเทศเวียดนามและเขมร และบางครั้งก็เคลื่อนมาตามชายฝั่งตะวันออกของอ่าว พายุที่เคลื่อนเข้ามาในเขตนี้อาจจะเกิดในเดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน และจะมีกำลังแรงขนาดพายุดีเปรสชันเท่านั้น เมื่อเคลื่อนที่เข้ามาถึงประเทศไทย พายุที่มีกำลังแรงขนาดพายุโซนร้อนมีเข้ามาบ่อยครั้ง ส่วนพายุที่มีกำลังแรงขนาดพายุไต้ฝุ่นยังไม่เคยปรากฏ พายุนี้ทำให้เกิดฝนตกหนักจนเกิดน้ำท่วมในพื้นที่บางแห่งที่พายุผ่าน พายุหมุนบางครั้งอาจก่อตัวขึ้นเองในอ่าวไทยก็ได้ ซึ่งพายุที่ก่อตัวขึ้นนี้ส่วนมากจะมีกำลังอ่อนขนาดพายุดีเปรสชันแล้วเคลื่อนตัวไปทางตะวันตกผ่านภาคใต้ของประเทศ

จากการรวบรวมข้อมูลพายุหมุนเขตร้อนจากกรมอุตุนิยมวิทยา ช่วงปีข้อมูลตั้งแต่ปี 2494–2561 พบว่ามีพายุหมุนเขตร้อนที่พัดผ่านประเทศไทยทั้งหมดจำนวน 197 ลูก แบ่งเป็น พายุดีเปรสชัน 180 ลูก พายุโซนร้อน 16 ลูก และพายุไต้ฝุ่น 1 ลูก โดยพายุไต้ฝุ่นคือ พายุเกย์ (Gay) เข้าปะทะประเทศไทยที่จังหวัดชุมพร เมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน 2532 สำหรับสถิติการเกิดพายุเขตร้อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่ประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2494-2561 แสดงในรูป 3-3 และจำนวนพายุเคลื่อนผ่านประเทศไทยแต่ละเดือน แสดงในรูป 3-4 จากสถิติการเกิดพายุพบว่าพายุหมุนเขตร้อนเกิดขึ้นในช่วงเดือนเมษายนถึงธันวาคม โดยช่วงเดือนที่มีพายุหมุนเขตร้อนเกิดขึ้นมากที่สุดคือเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน

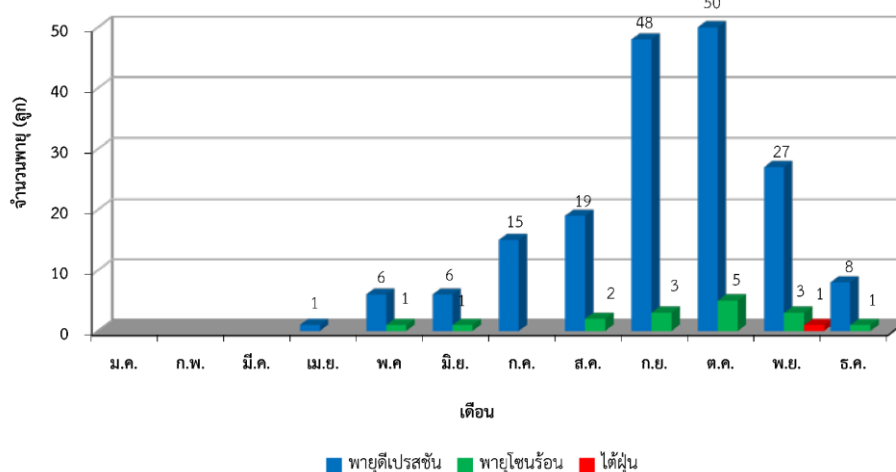


ที่มา: [https://www.tmd.go.th/programs%5Cuploads%5Ccyclones%5CTC\\_track\\_68y.pdf](https://www.tmd.go.th/programs%5Cuploads%5Ccyclones%5CTC_track_68y.pdf)

รูป 3-3 สถิติพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2494–2560



สถิติพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ.2494-2561)



ที่มา: [https://www.tmd.go.th/programs%5Cuploads%5Ccyclones%5CTC\\_track\\_68y.pdf](https://www.tmd.go.th/programs%5Cuploads%5Ccyclones%5CTC_track_68y.pdf)

รูป 3-4 สถิติพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่ประเทศไทยแต่ละเดือน

### การใช้ที่ดินพื้นที่ชายฝั่ง

ชายฝั่งทะเลในพื้นที่ศึกษา มีพื้นที่ครอบคลุม 2 จังหวัด คือ จ.สมุทรปราการ และฉะเชิงเทรา จากรายงานสถานภาพทรัพยากรชายฝั่งของประเทศไทยของ สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (2538a, b) ซึ่งสรุปลักษณะสภาพทั่วไปของจังหวัด การใช้ที่ดิน และสถานภาพทรัพยากรชายฝั่ง แยกตามจังหวัด ได้ดังนี้

จังหวัดสมุทรปราการ เป็นจังหวัดที่ติดต่อกับกรุงเทพมหานคร มีทรัพยากรชายฝั่ง ได้แก่ ป่าชายเลน 763 ไร่ และการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง 37,822 ไร่ ปัจจุบันมีการบุกรุกป่าชายเลนเพื่อทำกิจกรรมอื่น ที่ให้ผลตอบแทนมากกว่า เช่น การเลี้ยงกุ้ง มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรมาเป็นโรงงานอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดความขัดแย้งในการใช้พื้นที่ในการทำนาุ้งและการตั้งโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (2538a) ยังรายงานว่า พื้นที่นี้มีปัญหาการทรุดตัวของแผ่นดิน เนื่องจากมีการสูบน้ำบาดาลมาใช้เพื่อการอุปโภค-บริโภค และอุตสาหกรรม มากเกินไป

จังหวัดฉะเชิงเทรา ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของประเทศ ภูมิประเทศส่วนใหญ่ของจังหวัดเป็นที่ราบลุ่มเหมาะแก่การเพาะปลูก ส่วนทรัพยากรชายฝั่ง ได้แก่ ป่าชายเลน 462 ไร่ และการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง 16,972 ไร่ ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพการเกษตร ปัจจุบันพื้นที่บริเวณนี้มี

การลดลงของป่าชายเลนเนื่องจากเปลี่ยนแปลงเป็นนาุ้ง และการลักลอบตัดไม้ของประชาชนในพื้นที่

จากการศึกษาของ บุศวรรณ บิตร และคณะ (2563) โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงปี 2497–2561 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่ชายฝั่งตั้งแต่ปากแม่น้ำเจ้าพระยาจนถึงปากแม่น้ำบางปะกง (WBK) และชายฝั่งปากแม่น้ำบางปะกงจนถึงบ้านอ่างศิลา จ.ชลบุรี (EBK) ในการการศึกษาแบ่งชนิดของการใช้พื้นที่ ออกเป็น พื้นที่ปกคลุมด้วยต้นไม้ (vegetation area) แบ่งเป็น ป่าชายเลนที่ชายขอบชายฝั่ง (mangrove at the fringe) พื้นที่ปกคลุมด้วยต้นไม้ในแผ่นดิน (inland vegetation) และพื้นที่ป่าชายเลนเกิดขึ้นด้านหลังโครงสร้าง (mangrove behind structure) พื้นที่เกษตรกรรม/เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (aquaculture) พื้นที่ชุมชน/มีการก่อสร้าง (build-up area) พื้นที่อื่น ๆ (miscellaneous) พื้นที่โครงข่ายคลอง (channel networks) ผลการศึกษาลักษณะการใช้พื้นที่ชายฝั่งในพื้นที่ศึกษารัั้งนี้ สรุปไว้ในตาราง 3-2

ตาราง 3-2 การใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่ชายฝั่งด้านตะวันออกและด้านตะวันตกของแม่น้ำบางปะกง ช่วงปี 2497–2563

Landuse type	Area (km <sup>2</sup> )											
	EBK coast						WBK coast					
	1953	1967	1985	1996	2009	2019	1954	1967	1987	1996	2009	2020
Vegetation area												
- Mangrove at the fringe	8.6	6.2	4.6	2.6	4.0	5.1	31.3	25.2	6.2	3.7	0.6	0.4
- Inland vegetation	8.5	7.9	4.6	4.7	5.1	5.3	5.8	6.0	6.5	4.4	4.6	6.1
- Mangrove behind structure	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.9	4.9
Aquaculture	9.9	12.8	15.8	13.9	11.5	9.2	19.4	26.8	39.4	39.1	31.7	26.7
Built-up area	3.3	5.2	9.4	10.9	15.3	17.5	1.0	2.0	4.9	6.5	7.3	9.4
Miscellaneous	6.9	5.2	6.5	8.6	5.8	5.0	2.4	0.9	1.9	2.4	4.2	5.4
Channel networks	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Total area	37.9	38.1	41.6	41.5	42.5	43.0	60.7	61.8	59.8	57.4	53.2	53.7

ที่มา : บุศวรรณ บิตร และคณะ (2563)

### 3.1.2 สภาพลุ่มน้ำและแหล่งตะกอนแม่น้ำ

ในเชิงอุทกวิทยา พื้นที่ชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาตั้งอยู่ในระบบลุ่มน้ำ 2 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำเจ้าพระยา และลุ่มน้ำบางปะกง (รูป 3-5) โดยพื้นที่ชายฝั่งตั้งแต่ ปากแม่น้ำเจ้าพระยาไปจนถึง บ้านตำรุ ต.บางปูใหม่ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ส่วนพื้นที่ตั้งแต่ บ้านตำรุ ต.บางปูใหม่ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ ไปจนถึง ปากแม่น้ำบางปะกง เป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง โดยลักษณะลุ่มน้ำ (basin characteristics) ของทั้งสองลุ่มน้ำนี้ มีอิทธิพลต่อระบบหาดของพื้นที่ศึกษาในส่วนของ ลักษณะและปริมาณตะกอนจากแม่น้ำที่เข้ามาเติมในระบบหาด

ชายฝั่ง (fluvial sediment supply) ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลรายงานจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปภาพรวมของกลุ่มน้ำทั้งสอง ได้ดังต่อไปนี้

### ลุ่มน้ำเจ้าพระยา

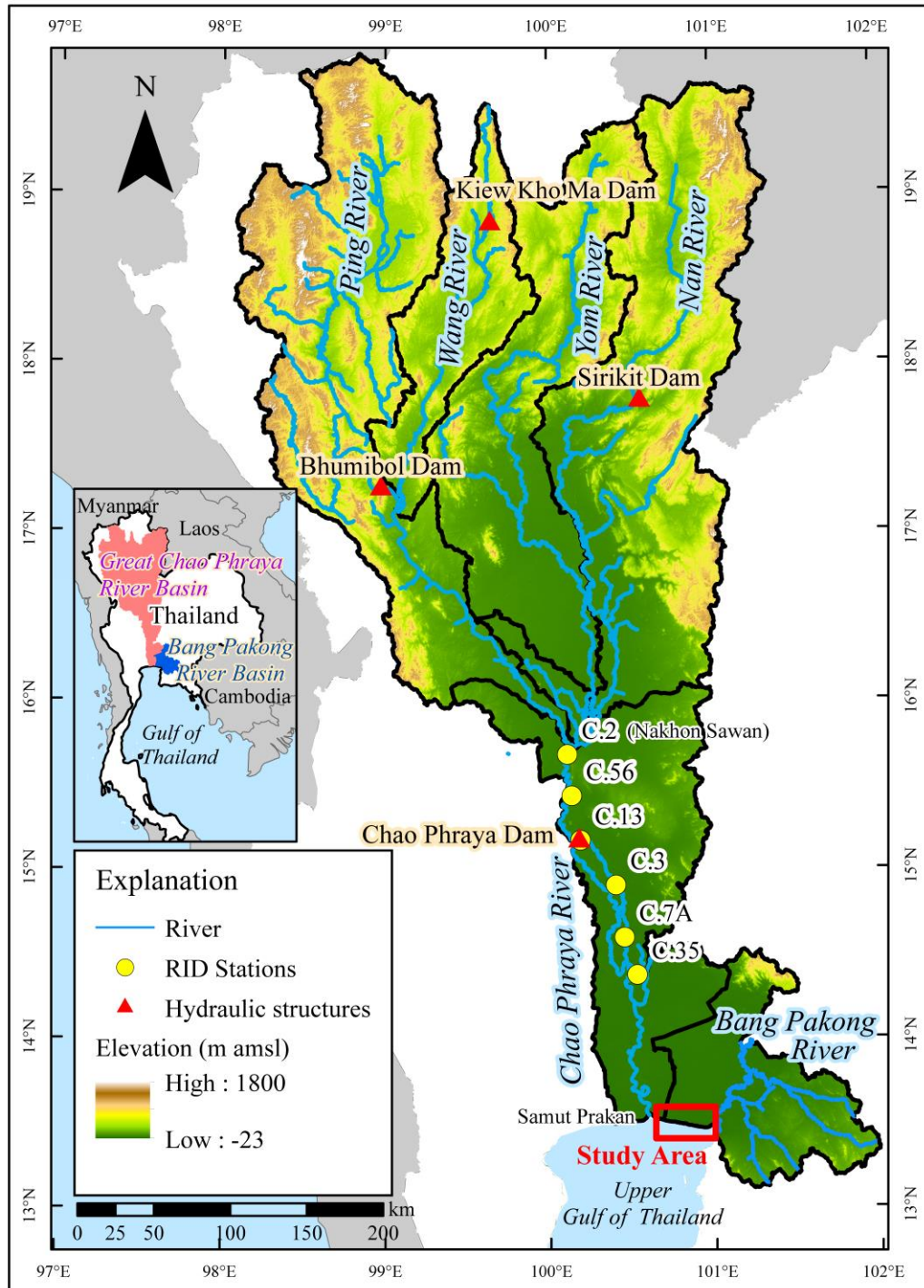
ลุ่มน้ำเจ้าพระยา (รูป 3-5) เป็นลุ่มน้ำหลักของของประเทศไทย และเป็นแม่น้ำสายสำคัญที่ลำเลียงตะกอนลงสู่อ่าวไทยตอนบน โดยแม่น้ำเจ้าพระยาเกิดจากการรวมตัวของแม่น้ำสายสำคัญ 4 สาย ที่มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาในภาคเหนือ คือ แม่น้ำปิง แม่น้ำวัง แม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน โดยแม่น้ำวังไหลมาบรรจบกับแม่น้ำปิง และแม่น้ำยมไหลมาบรรจบกับแม่น้ำน่าน ก่อนที่แม่น้ำปิงและแม่น้ำน่านจะไหลมาบรรจบกันที่ ต.ปากน้ำโพ อ.เมือง จ.นครสวรรค์ เรียกว่าแม่น้ำเจ้าพระยา และไหลลงใต้ลงสู่อ่าวไทยที่ จ.สมุทรปราการ รวมความยาวส่วนของแม่น้ำเจ้าพระยาประมาณ 380 กิโลเมตร

สภาพภูมิอากาศของลุ่มน้ำเจ้าพระยาได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้มีฤดูกาลหลัก 3 ฤดูกาล คือ ฤดูฝน (เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) ฤดูแล้ง (ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์) และฤดูร้อน (จากกลางเดือนกุมภาพันธ์จนถึงต้นเดือนพฤษภาคม) จากการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติภูมิอากาศของลุ่มน้ำเจ้าพระยาในระยะยาว (ปี 2523–2552) จากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา โดย สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (สสนท.) (2555a) พบว่าลุ่มน้ำเจ้าพระยา มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนผันแปรระหว่าง 29.3–30.3 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยตลอดปี ประมาณ 28.5 องศาเซลเซียส ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยรายเดือนมีค่าระหว่าง 63.4–79.3% และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 72.3% ปริมาณการระเหยในพื้นที่ลุ่มน้ำตลอดทั้งปีมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,410 มิลลิเมตร และมีความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนมีความผันแปรระหว่าง 1.9–3.5 นอต โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 2.6 นอต สำหรับปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ มีค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีประมาณ 1,338 มิลลิเมตร โดยมีค่าพิสัยของปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง 5–283 มิลลิเมตร

ในส่วนของปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำเจ้าพระยา บุศวรรณ บิตร และคณะ (2564) ได้รายงานผลการวิเคราะห์สถิติปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของสถานีอุทกวิทยาของกรมชลประทาน จำนวน 6 สถานีที่ตั้งอยู่ตามแนวแม่น้ำเจ้าพระยา (สถานี C.2, C.3, C.7A, C.13, C.35 และ C.56 ในรูป 3-5) ดัง

ตาราง 3-3 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยในแม่น้ำเจ้าพระยาสายหลักในช่วงปี 2474–2562 มีแนวโน้มลดลงตามระยะทาง โดยมีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่สถานี C.2

จ.นครสวรรค์ (ประมาณ 700 ลบ.ม./วินาที) และลดลงเหลือราวครึ่งหนึ่ง (ประมาณ 350 ลบ.ม./วินาที) ที่สถานี C.35



รูป 3-5 ระบบแม่น้ำสายหลักของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาและกลุ่มน้ำบางปะกง

ตาราง 3-3 ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่สถานีของกรมชลประทาน

Station	Daily discharge, $Q_w$ ( $m^3/s$ )				Daily suspended sediment load, $Q_s$ (t/d)			
	Period	Max.	Ave.	Min.	Period	Max.	Ave.	Min.
C.2	1956-2019	5,451	711	15	1965-2019	493,805	13,705	236
C.56	2008-2019	3,552	692	2	2011-2016	21,687	3,643	29
C.13	1947-2019	4,501	472	20	2011-2019	47,193	2,911	94
C.3	2001-2019	3,940	473	20	2011-2019	22,024	2,594	82
C.7A	1931-2019	3,700	410	9	2011-2019	30,657	3,061	41
C.35	2001-2019	1,998	344	75	2017-2019	7,980	2,291	551

ที่มา : บุศวรรณ บิตร และคณะ (2564)

สำหรับปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ตามลำน้ำแม่เจ้าพระยา บุศวรรณ บิตร และคณะ (2564) ได้รายงาน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณตะกอนแขวนลอยรายวัน ที่สถานีอุทกวิทยาของกรมชลประทานทั้ง 6 สถานี ไว้ใน

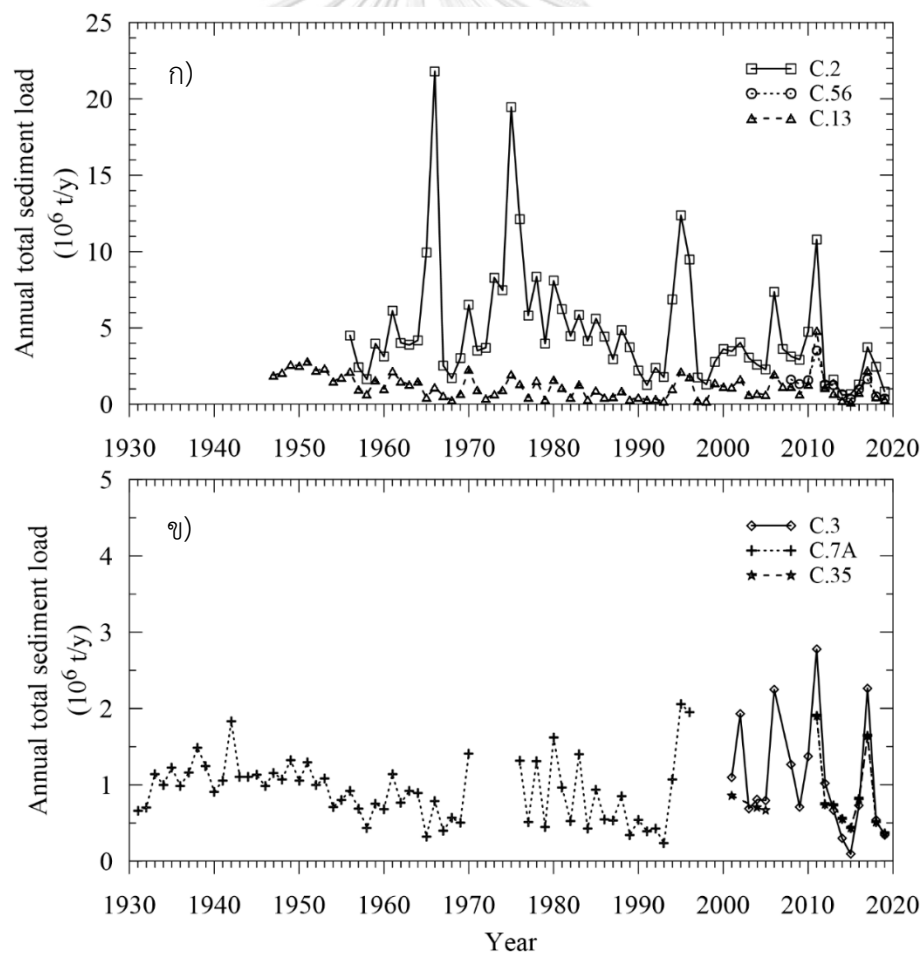
ตาราง 3-3 โดยมีปริมาณตะกอนรวมในแต่ละช่วงเวลา แสดงดัง รูป 3-6 สำหรับปริมาณตะกอนรวมที่สถานี C.2 ตั้งแต่ปี 2499–2562 อยู่ในช่วง 0.6–21.8 ล้านตัน/ปี ส่วนสถานี C.56 มีความผันแปรระหว่าง 0.3–3.5 ล้านตัน/ปี โดยทั้งสองสถานีด้านเหนือเขื่อนเจ้าพระยา มีปริมาณตะกอนรวมผันแปรสูงในช่วงเหตุการณ์น้ำท่วม ได้แก่ ปี 2538, 2545, 2549, 2554 และ 2560 มีแนวโน้มการลดลงของตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ ตะกอนรวมที่สถานี C.13 (ด้านท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา) ตั้งแต่ปี 2490–2562 อยู่ในช่วง 0.11–4.83 ล้านตัน/ปี ปริมาณตะกอนรวมมีความผันแปรสูง และเกิดขึ้นในปีที่มีเหตุการณ์น้ำท่วม ได้แก่ ปี 2538, 2545, 2549, 2554 และ 2560 และมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เช่นกัน

การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ซึ่งรวบรวมได้จากรายงานต่าง ๆ ที่วิเคราะห์จากข้อมูลพื้นฐานจากกรมพัฒนาที่ดินในช่วงปี 2536–2552 ได้ถูกสรุปไว้ใน ตาราง 3-4 ซึ่งข้อมูลจากตารางแสดงให้เห็นว่าพื้นที่เกษตรกรรมในส่วนของนาข้าวในช่วงปี 2536–2552 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (12%) ในขณะที่พื้นที่เกษตรกรรมประเภทอื่น ๆ มีความผันแปรเพียงเล็กน้อย (3%) ส่วนพื้นที่ป่าไม้เพิ่มขึ้นประมาณ 1% และพื้นที่เมืองและส่วนอื่นๆ เพิ่มขึ้นประมาณ 12%

#### ลุ่มน้ำบางปะกง

ลุ่มน้ำบางปะกง (รูป 3-5) เป็นหนึ่งในลุ่มน้ำที่มีความสำคัญมากที่สุด ต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และการปกครองของภาคตะวันออกของประเทศ มีประวัติศาสตร์การใช้ประโยชน์อันยาวนาน นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ลุ่มน้ำบางปะกงตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่  $13^{\circ} 09'$  เหนือ– $14^{\circ} 32'$  เหนือ

และระหว่างเส้นแวงที่  $100^{\circ} 52'$  ตะวันออก- $102^{\circ} 00'$  ตะวันออก มีพื้นที่ลุ่มน้ำรวมทั้งสิ้น 10,708 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่จังหวัด นครราชสีมา สระบุรี กรุงเทพมหานคร ปทุมธานี นครนายก ปราจีนบุรี สระแก้ว สมุทรปราการ ฉะเชิงเทรา ชลบุรี และจันทบุรี สภาพทั่วไปของกลุ่มน้ำส่วนใหญ่เป็นที่ราบ มีเทือกเขาสูงซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำนครนายกอยู่ทางทิศเหนือของกลุ่มน้ำ ส่วนตอนใต้และตะวันออกเฉียงใต้ของกลุ่มน้ำมีเทือกเขาซึ่งเป็นต้นน้ำของลำน้ำสาขาต่าง ๆ เช่น คลองใหญ่ คลองหลวง และคลองท่าลาด โดยแม่น้ำนครนายกมีทิศทางการไหลจากทิศเหนือลงมาทางใต้และมารวมกับแม่น้ำปราจีนบุรีที่ไหลมาจากฝั่งซ้าย ที่ อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา จากนั้นไหลลงมาทางใต้สู่ที่ราบต่ำ อ.บางคล้าและอ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา ก่อนจะไหลต่อลงสู่อ่าวไทยที่ อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา สำหรับลักษณะลุ่มน้ำและข้อมูลอุทกวิทยาพื้นฐานลุ่มน้ำบางปะกง ที่ศึกษาไว้โดย สสนก.(2555b) มีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาครั้งนี้ โดยสรุปดังนี้



ที่มา : บุศวรรณ บิตร และคณะ (2564)

รูป 3-6 ปริมาณตะกอนรวมรายปีของ 6 สถานี ในแม่น้ำเจ้าพระยา ก) สถานีด้านเหนือเขื่อนเจ้าพระยา และ ข) สถานีด้านท้ายเขื่อนเจ้าพระยา

ตาราง 3-4 การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำเจ้าพระยาในช่วงปี 2546-2552

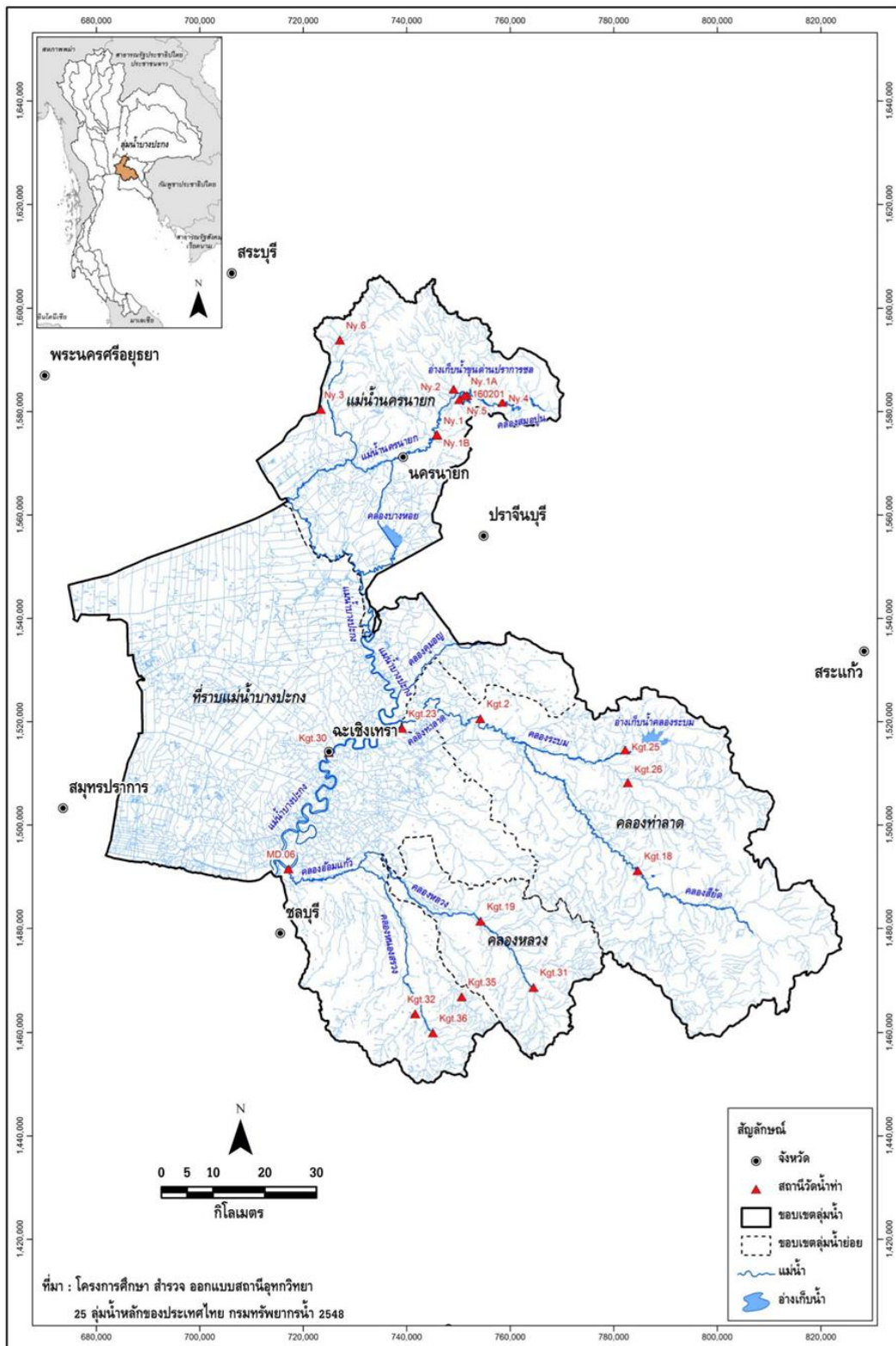
Land use type	Area					
	1993*		2002**		2009**	
	(km <sup>2</sup> )	%	(km <sup>2</sup> )	%	(km <sup>2</sup> )	%
Paddy field	11,678	58	11,206	55	9,357	46
Mixed orchard	104	1	41	0	150	1
Mixed field crops	4,339	22	3,749	18	3,829	19
Tree/Plantation	882	4	1,041	5	976	5
Other agricultural land	362	2	278	1	474	2
Forest	765	4	808	4	1,015	5
Urban and Build-upland and miscellaneous land	1,983	10	3,401	17	4,723	23
<b>Total</b>	<b>20,112</b>	<b>100</b>	<b>20,523</b>	<b>100</b>	<b>20,523</b>	<b>100</b>

Note: \* RID (1990), \*\* HAI (2012)

ที่มา: กรมชลประทาน (2543) และ สสนก. (2555a)

สภาพภูมิอากาศของกลุ่มน้ำบางปะกง ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้มีฤดูกาลหลัก 3 ฤดูกาล คือ ฤดูฝน (เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) ฤดูแล้ง (ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์) และฤดูร้อน (จากกลางเดือนกุมภาพันธ์จนถึงต้นเดือนพฤษภาคม) สถิติภูมิอากาศของกลุ่มน้ำบางปะกงในระยะยาว (ปี 2523-2552) จากข้อมูลสภาพทางอุทกวิทยา จากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งให้เห็นว่า กลุ่มน้ำบางปะกง มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนผันแปรระหว่าง 25.4-29.1 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยตลอดปี ประมาณ 27.6 องศาเซลเซียส ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยรายเดือนมีค่าระหว่าง 63-80% และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 72.7% ปริมาณการระเหยในพื้นที่ลุ่มน้ำตลอดทั้งปีมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,752 มิลลิเมตร และมีความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนมีความผันแปรระหว่าง 2.7-4.4 น็อต โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 3.7 น็อต สำหรับปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ มีค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีประมาณ 1,417 มิลลิเมตร โดยมีค่าพิสัยของปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง 4-285 มิลลิเมตร

ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำบางปะกง ซึ่งวิเคราะห์จากสถานีอุทกวิทยา กรมชลประทาน จำนวน 6 สถานี (รูป 3-7) ที่สามารถบันทึกข้อมูลได้ครบตลอดทั้งปี ร่วมกับสถานีวัดน้ำท่าจากลุ่มน้ำข้างเคียงคือ ลุ่มน้ำปราจีน รวม 26 สถานี มีผลสรุปค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี ดังแสดงในตาราง 3-5 ข้อมูลจากตารางแสดงให้เห็นว่า สถานีวัดปริมาณน้ำท่าในแม่น้ำบางปะกงสายหลักมีเพียงสถานีเดียวคือ สถานี Kgt.22 อ.บ้านสร้าง จ.ปราจีนบุรี และมีการบันทึกข้อมูลไว้เฉพาะช่วงปี 2500-2527 โดยมีค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยรายปีประมาณ 6,000 ล้าน ลบ.ม.



ที่มา : สสนก.(2555b)

รูป 3-7 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำทำในกลุ่มน้ำบางปะกง



ตาราง 3-5 ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของกลุ่มน้ำบางปะกงตรวจวัดที่สถานีของกรมชลประทาน

แม่น้ำและสถานี	จังหวัด	พิกัด		รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงเวลาของข้อมูล	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี	
		ละติจูด (น.)	ลองจิจูด (อ.)				ล้าน ลบ.ม.	ล./วิ./ตร.กม.
1. ปราจีนบุรีที่อำเภอเมืองปราจีนบุรี	ปราจีนบุรี	14°-03'-01"	101°-22'-03"	KGT.1	9,209	1966-1969, 1992-1994	6,101.1	21.0
2. ปราจีนบุรีที่อำเภอทับปดบุรี	ปราจีนบุรี	13°-59'-05"	101°-42'-32"	KGT.3	7,502	1965-1999	3,273.9	13.8
3. ปราจีนบุรีที่อำเภอศรีมหาโพธิ์	ปราจีนบุรี	13°-58'-21"	101°-30'-57"	KGT.6	7,978	1967-1980	3,546.6	14.1
4. คลองพระสที่ที่บ้านเขาฉกรรจ์	สระแก้ว	13°-40'-10"	102°-04'-35"	KGT.9	2,279	1969-1970, 1972-1987, 1989-1998	793.8	11.0
5. คลองพระสที่บ้านวังเคียน	สระแก้ว	13°-48'-29"	102°-03'-35"	KGT.10	2,523	1966-1996, 1998	796.5	10.0
6. คลองพระปรังที่บ้านแก้ง	สระแก้ว	13°-56'-02"	101°-58'-41"	KGT.12	1,540	1966-1999	605.4	12.5
7. คลองพระปรังที่บ้านนางแล้ง	ปราจีนบุรี	13°-58'-04"	101°-44'-20"	KGT.13	5,374	1967-1968, 1970-1996	1,964.2	11.6
8. ห้วยยางที่บ้านทุ่งแม่	ปราจีนบุรี	14°-09'-30"	101°-52'-52"	KGT.14	366	1990-1999	117.2	10.2
9. ห้วยโสมงที่สะพาน(ทางหลวง)	ปราจีนบุรี	14°-02'-37"	101°-47'-30"	KGT.15	789	1966-1974	655.0	26.3
10. ห้วยโสมงที่บ้านแก้งดินสอ	ปราจีนบุรี	14°-03'-46"	101°-55'-39"	KGT.15A	530	1968-1998	359.8	21.5
11. คลองสี่ัคที่บ้านท่าคอย	ฉะเชิงเทรา	13°-28'-29"	101°-37'-44"	KGT.18	951	1969-1999	283.7	9.5
12. บางปะกงที่บ้านสร้าง	ปราจีนบุรี	13°-59'-45"	101°-13'-30"	KGT.22	F.P.	1967-1984	6,082.5	-
13. ประจันตคามที่บ้านท่าคล้อ	ปราจีนบุรี	14°-10'-34"	101°-35'-30"	KGT.24	121	1975-1985	171.9	45.0
14. คลองระบมที่บ้านจำปางาม	ฉะเชิงเทรา	13°-41'-09"	101°-36'-32"	KGT.25	243	1978-1989	68.1	8.9
15. คลองยางที่บ้านคลองยาง	นครนายก	14°-12'-02"	101°-22'-05"	KGT.27	45	1983-1998	48.5	34.2
16. ปราจีนบุรีที่อำเภอทับปดบุรี	ปราจีนบุรี	-	-	KGTM.1	5,330	1970-1983	3,580.2	21.3
17. ห้วยพระปรังที่บ้านระเบาะหูกวาง	ปราจีนบุรี	-	-	KGTM.1	263	1967-1987	89.6	10.8
18. น้ำใสใหญ่ที่บ้านสะพานหิน	ปราจีนบุรี	-	-	KGTM.2	636	1963-1994	566.9	28.3
19. ห้วยใสใหญ่ที่วังเหว	ปราจีนบุรี	-	-	KGTM.4	314	1964-1971	257.3	26.0
20. ห้วยโสมงที่วังทะเล	ปราจีนบุรี	-	-	KGTM.5	350	1967-1994	218.6	19.8
21. นครนายกที่เขาระเหย	นครนายก	14°-14'-22"	101°-16'-45"	NY.1	520	1955-1972	862.2	52.6
22. คลองท่าด่านที่บ้านท่าด่าน	นครนายก	14°-18'-27"	101°-19'-40"	NY.1A	187	1958-1968	477.1	80.9
23. นครนายกที่เขานางบวช	นครนายก	14°-14'-45"	101°-12'-38"	NY.1B	519	1973-1980, 1991-1999	712.7	43.5
24. คลองบ้านนาที่บ้านป่าชะ	นครนายก	14°-17'-10"	101°-04'-16"	NY.3	203	1977-1999	136.6	21.3
25. คลองสมอพันที่เขานรก	ปราจีนบุรี	14°-17'-45"	101°-23'-47"	NY.4	128	1986-1999	250.4	62.0
26. คลองท่าด่านที่บ้านศรีสุข	นครนายก	14°-18'-30"	101°-20'-00"	NY.5	186	1986-1990	218.0	37.2

ที่มา : สสนก. (2555b)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สำหรับปริมาณตะกอนตะกอนในแม่น้ำบางปะกง มีการวัดข้อมูลตะกอนเพียงข้อมูลตะกอนแขวนลอยเพียง 6 สถานี ในการศึกษาปริมาณตะกอนในกลุ่มน้ำบางปะกง ใช้วิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยกับพื้นที่รับน้ำ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยรายปีกับพื้นที่รับน้ำ พบว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นในรูปสมการถดถอยระหว่างตัวแปรทั้งสองแสดงได้ดังสมการ 3-1 ( $R^2 = 0.45$ ) ส่วนผลการประเมินปริมาณตะกอนแขวนลอยรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำในกลุ่มน้ำบางปะกงและกลุ่มน้ำใกล้เคียง แสดงไว้ใน ตาราง 3-6

$$Q_s = 723.87A^{0.5528} \quad (3-1)$$

ตาราง 3-6 ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายปีเฉลี่ยของกลุ่มน้ำบางปะกงตรวจวัดที่สถานีของกรมชลประทาน

แม่น้ำและสถานี	จังหวัด	พิกัด		รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงเวลาของข้อมูล	ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายปีเฉลี่ย	
		ละติจูด (น.)	ลองจิจูด (อ.)				ตัน	ตัน/ตร.กม.
1. ปราจีนบุรีที่อำเภอทับปดบุรี	ปราจีนบุรี	13°-59'-05"	101°-42'-32"	KGT.3	7,502	1964-1993	464,561.6	1,963.6
2. คลองพระสึงที่บ้านวังเคียน	สระแก้ว	13°-48'-29"	102°-03'-35"	KGT.10	2,523	1967-1993	133,785.9	1,681.5
3. คลองพระปรังที่บ้านแก้ง	สระแก้ว	13°-56'-02"	101°-58'-41"	KGT.12	1,540	1967-1995	35,124.3	723.2
4. ห้วยยางที่บ้านทุ่งแฝก	ปราจีนบุรี	14°-09'-30"	101°-52'-52"	KGT.14	366	1967-1986	21,472.2	1,860.3
5. คลองสี่ยัดที่บ้านท่าคอย	ฉะเชิงเทรา	13°-28'-29"	101°-37'-44"	KGT.18	951	1986-1995	23,816.7	794.1
6. คลองระบบที่บ้านจำป่างาม	ฉะเชิงเทรา	13°-41'-09"	101°-36'-32"	KGT.25	243	1986-1989	8,798.8	1,148.2
7. คลองยางที่บ้านคลองยาง	นครนายก	14°-12'-02"	101°-22'-05"	KGT.27	45	1986-1991	4,563.9	3,216.0
8. ห้วยพระปรังที่บ้านระเบาะหูกวาง	ปราจีนบุรี	-	-		263	1968-1981	9,078.0	1,094.5
9. น้ำใสใหญ่ที่บ้านสะพานหิน	ปราจีนบุรี	-	-		636	1965-1999	37,723.2	1,880.8
10. ห้วยใสใหญ่ที่วังเหว	ปราจีนบุรี	-	-	KG TN.4	314	1965-1971	13,088.2	1,321.7
11. ห้วยโสมงที่วังทะลุ	ปราจีนบุรี	-	-	KG TN.5	350	1970-1974, 1990-1999	17,975.8	1,628.6
12. คลองสมอพันที่เทวนรก	ปราจีนบุรี	14°-17'-45"	101°-23'-47"	NY.4	128	1986-1995	15,487.4	3,836.7

ที่มา : สสนก. (2555b)

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาปริมาณตะกอนในกลุ่มน้ำบางปะกง มีเพียงการประเมินปริมาณตะกอนในแม่น้ำสาขาเท่านั้น ไม่มีการรายงานปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ในแม่น้ำบางปะกงสายหลักได้เลย เนื่องจากไม่มีสถานีวัดตะกอนในแม่น้ำบางปะกงสายหลัก รวมถึงแม่น้ำบางปะกงมีความลาดชันต่ำ ทำให้การไหลในแม่น้ำได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กรมชลประทานจึงไม่มีการเก็บข้อมูลตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำสายหลัก

สำหรับการใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำบางปะกง ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินจากข้อมูลพื้นฐานจากกรมพัฒนาที่ดินในปี 2545 และ 2552 ของ สสนก. (2555b) สามารถสรุปได้ดังตาราง 3-7 ซึ่งข้อมูลจากตารางแสดงให้เห็นว่าพื้นที่เกษตรกรรมในส่วนของนาข้าวและพืชไร่ในช่วงปี 2545-2552 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ประมาณ 10%) ส่วนป่าไม้ลดลงเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 1%) ในขณะที่พื้นที่ไม้ผลและไม้ยืนต้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (เกือบ 10%) ส่วนพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นประมาณ 8% และพื้นที่เกษตรกรรมประเภทอื่น ๆ เพิ่มขึ้น 5%

### 3.1.3 สภาพสมุทรศาสตร์และอุทกศาสตร์ของพื้นที่ศึกษา

เนื่องจากในบริเวณพื้นที่ศึกษา ยังไม่เคยมีการเก็บข้อมูลสมุทรศาสตร์ เช่น ลักษณะคลื่นและกระแสน้ำ อย่างเป็นระบบมาก่อน ในการศึกษาครั้งนี้ วิเคราะห์ลักษณะคลื่นและกระแสน้ำ จากข้อมูลราย 6 ชั่วโมง ในช่วงปี 2540-2543 ที่บันทึกโดยทูนสมุทรศาสตร์เกาะสีชัง ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ สทอภ. ซึ่งตั้งอยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษา ดังแสดงใน รูป 3-2 จากการตรวจสอบข้อมูลคลื่น พบว่าข้อมูลคลื่นที่บันทึกไว้ มีเพียงค่าความ

สูงคลื่นและคาบเวลาคลื่น แต่ไม่มีข้อมูลทิศทางคลื่น ทั้งที่เป็นข้อมูลลักษณะคลื่นที่มีความสำคัญต่อ การศึกษากระบวนการชายฝั่ง นอกจากนี้ ข้อมูลที่บันทึกได้มีอยู่เพียง 65% ของช่วงเวลาการทำงาน ของหุ่น ส่วนอีก 35% ของช่วงเวลา ไม่มีการบันทึกข้อมูลเนื่องจากสัญญาณขัดข้องและอุปกรณ์ ตรวจวัดทำงานผิดปกติ จากการตรวจสอบข้อมูลคลื่นที่บันทึกได้พบว่า ข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงฤดู มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ดังแสดงในรูป 3-8 ส่วนผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของคลื่นใน บริเวณพื้นที่ศึกษา แสดงในตาราง 3-8 สำหรับการศึกษาครั้งนี้วิเคราะห์สถิติความสูงคลื่น และ คาบเวลาคลื่นเท่านั้น เนื่องจากทิศทางคลื่นไม่มีการบันทึกค่า ส่วนฝั่งคลื่น (wave rose) ของพื้นที่ ศึกษา (รูป 3-9) ใช้ทิศทางลมที่สถานีหุ่นสี่ซังเป็นตัวแทนทิศทางคลื่น

ตาราง 3-7 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำบางปะกงระหว่างปี 2545–2552

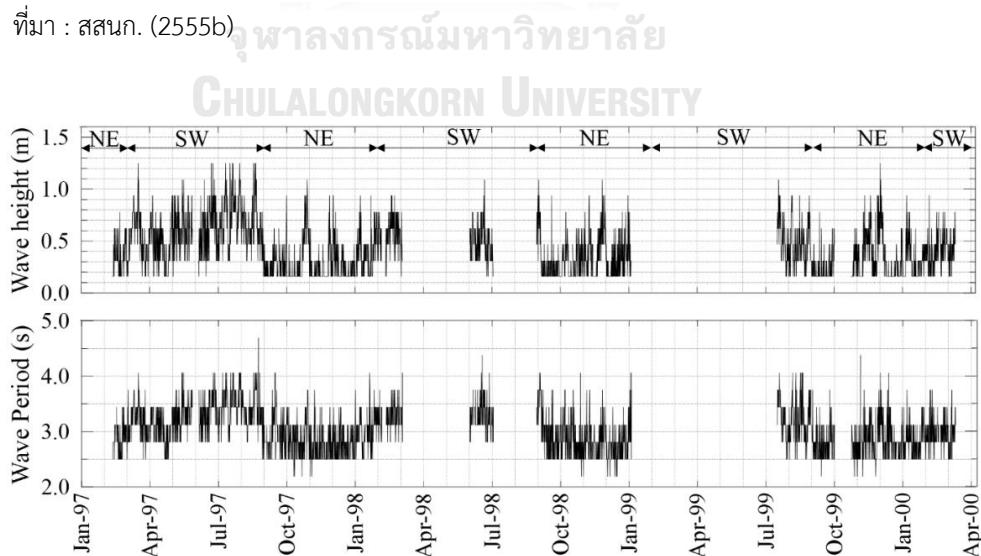
ประเภทการใช้ที่ดิน ลุ่มน้ำบางปะกง	ปี พ.ศ. 2545		ปี พ.ศ. 2552		การเปลี่ยนแปลง
	พื้นที่ (ไร่)	สัดส่วน (%)	พื้นที่ (ไร่)	สัดส่วน (%)	
นาข้าว	2,560,392	38.26	1,839,628	27.49	ลดลง
พืชผัก	4,901	0.07	18,335	0.27	เพิ่มขึ้น
พืชไร่	1,496,516	22.36	834,719	12.47	ลดลง
ไม่ผล - ไม่มีดิน	385,963	5.77	1,033,793	15.45	เพิ่มขึ้น
เกษตรกรรมอื่นๆ*	334,364	5.00	696,565	10.41	เพิ่มขึ้น
ป่าไม้	1,136,968	16.99	1,041,640	15.57	ลดลง
พื้นที่อื่นๆ**	773,072	11.55	1,227,497	18.34	-
<b>รวมพื้นที่</b>	<b>6,692,176</b>	<b>100.00</b>	<b>6,692,176</b>	<b>100.00</b>	

หมายเหตุ : \* เกษตรกรรมอื่นๆ ได้แก่ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์, พืชน้ำ (Aquatic plant), สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

(Aqua cultural land) และเกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม (Integrated farm/Diversified farm)

\*\* พื้นที่อื่นๆ ได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (Urban and Built-up land), พื้นที่น้ำ (Water Body) และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (Miscellaneous land)

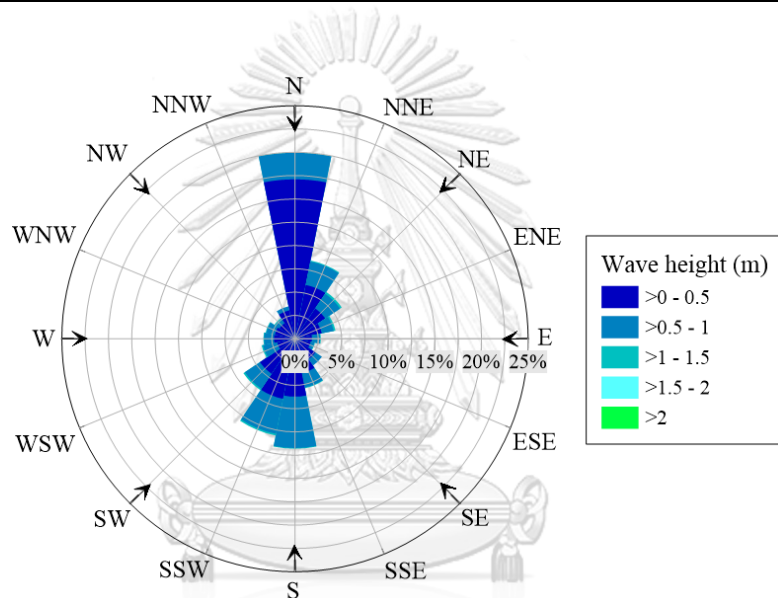
ที่มา : สสนก. (2555b)



รูป 3-8 อนุกรมเวลาของความสูงคลื่น ที่บันทึกโดยหุ่นสมุทรศาสตร์สี่ซังในช่วงปี 2540–2543

ตาราง 3-8 สถิติการเกิดคลื่นจากข้อมูลคลื่นราย 6 ชั่วโมง ปี 2540–2543 ที่ท่าเรือสมุทรศาสตร์สี่ซัง

Monsoon	Wave height (m)			Wave period (s)		
	0.0 - 0.5	0.5 - 1.0	> 1.0	2 - 3	3 - 4	4 - 5
Southwest (Mar-Sep)	802 (57.0%)	56 (40.0%)	41 (3.0%)	366 (26.0%)	996 (70.8%)	44 (3.2%)
Northeast (Oct-Feb)	1336 (85.7%)	236 (15.0%)	4 (0.3%)	1042 (66.2%)	527 (33.4%)	7 (0.4%)
<b>Total</b>	2138 (71.7%)	799 (26.8%)	45 (1.5%)	1408 (47.2%)	1523 (51.1%)	51 (1.7%)

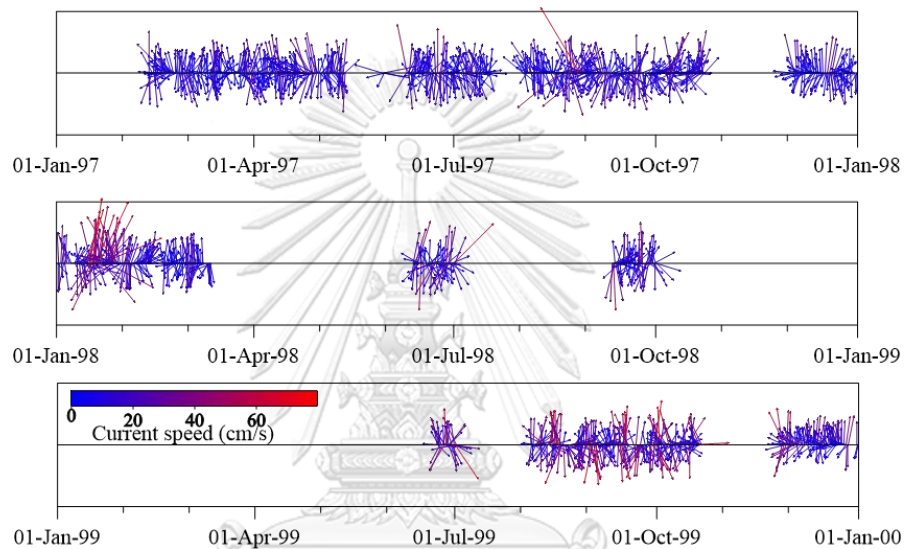


รูป 3-9 พังทิศทางและความสูงคลื่น (wave rose) ปี 2540–2543 ที่ท่าเรือสมุทรศาสตร์สี่ซัง

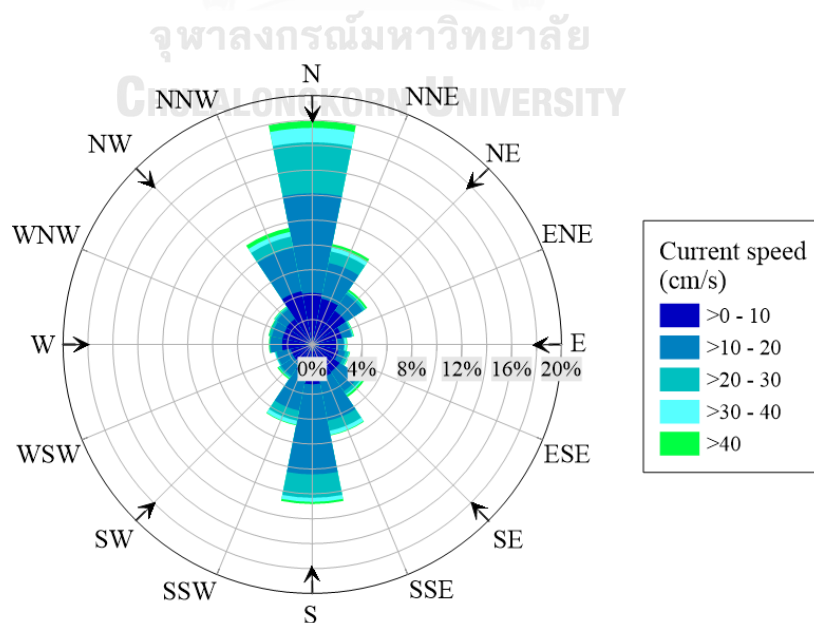
ผลการวิเคราะห์สถิติข้อมูลคลื่นที่รวบรวมได้ (ตาราง 3-8) ชี้ให้เห็นว่า คลื่นบริเวณนี้มีความผันแปรของความสูงคลื่น อยู่ในช่วง 0.16–1.25 ม. และมีคาบเวลาคลื่นอยู่ระหว่าง 2–5 วินาที และมากกว่า 72% ของข้อมูลคลื่นทั้งหมด เป็นคลื่นที่มีความสูงน้อยกว่า 0.5 เมตร ส่วนคาบเวลาคลื่นส่วนใหญ่ (98%) มีค่าอยู่ระหว่าง 2–4 วินาที โดยความสูงคลื่นสูงสุดในช่วงเวลาที่วัดข้อมูลมีค่า 1.25 ม. และคลื่นที่มีขนาดสูงกว่า 1 ม. ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม (ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้) จากผังคลื่น (รูป 3-9) พบว่าทิศทางคลื่น (ที่ได้จากทิศทางลม) ส่วนใหญ่มาจากทิศเหนือเป็นหลัก และมาจากทางทิศใต้เป็นลำดับต่อมา ส่วนผลการวิเคราะห์คลื่นรายฤดูกาลในตาราง 3-8 แสดงให้เห็นว่า คลื่นในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่มีความขนาดคลื่นเล็กกว่าคลื่นที่เกิดขึ้นในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยมากกว่า 85% ของคลื่นมีความสูงคลื่นน้อยกว่า 0.5 เมตร

อีกประมาณ 15% มีความสูงระหว่าง 0.5–1.0 เมตร เท่านั้น ในขณะที่ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เกือบ 40% ของคลื่นมีความสูงอยู่ระหว่าง 0.5–1.0 เมตร และประมาณ 57% มีความสูงคลื่นน้อยกว่า 0.5 เมตร

ข้อมูลความเร็วและทิศทางกระแสน้ำ ราย 6 ชั่วโมง จากหุ่นสมุทรศาสตร์ ในช่วงปี 2540–2543 แสดงในรูป 3-10 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระแสน้ำ ชี้ให้เห็นว่าความเร็วกระแสน้ำในบริเวณนี้ ผันแปรอยู่ในช่วง 0–1.23 ม./วินาที โดยทิศทางกระแสน้ำหลักอยู่ในแนวทิศเหนือ (0–0.67 ม./วินาที) และทิศใต้ (0–0.80 ม./วินาที) ดังแสดงในรูป 3-11



รูป 3-10 ขนาดและทิศทางกระแสน้ำ ปี 2540–2543 ที่หุ่นสมุทรศาสตร์สี่ซัง



รูป 3-11 ผังความเร็วและทิศทางกระแสน้ำ ปี 2540–2543 ที่หุ่นสมุทรศาสตร์สี่ซัง

สำหรับสภาพอุทกศาสตร์ในพื้นที่โครงการเป็นส่วนหนึ่งของอ่าวไทยตอนบน จากข้อมูลกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ที่ได้เก็บข้อมูลและวิเคราะห์สภาพอุทกศาสตร์สำหรับชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน พบว่า ลักษณะท้องทะเลของชายฝั่งบริเวณก้นอ่าวไทยตอนบน (ด้านปากแม่น้ำสายหลัก) ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นโคลน (clay) และมีความคล้ายคลึงกันทั้งสามฤดูฤดูกาล และจากข้อมูลการสำรวจระดับพื้นท้องทะเลของ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ตั้งแต่ปี 2474 ถึง 2542 พบว่าพื้นที่ส่วนท้องทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนด้านเหนือ ตั้งแต่ บ้านปากมาบ อ.เมืองสมุทรสงคราม ถึงบ้านคลองด่าน อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ มีความลาดชันในน้ำตื้นประมาณ 0.0005-0.0013 (1:2,000 ถึง 1:770)

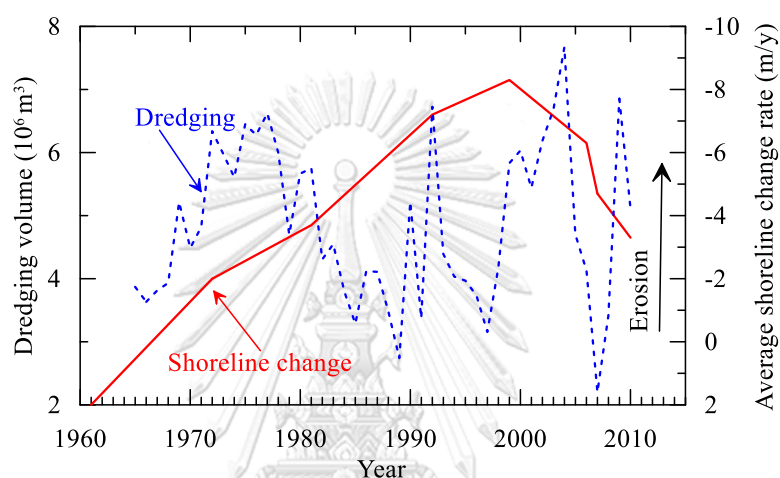
สำหรับลักษณะน้ำขึ้นน้ำลง ผลการตรวจระดับน้ำในพื้นที่ศึกษา คือ สถานีสันดอนเจ้าพระยา โดยการท่าเรือแห่งประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2520 เป็นต้นมา ปรากฏว่าบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยามีอาการของน้ำเป็นแบบผสม (Mixed Tide) ที่ค่อนข้างไปทางน้ำคู่ กล่าวคือ จะขึ้นเต็มที่ 2 ครั้ง และลงเต็มที่ 2 ครั้ง ใน 1 วัน หลังจากขึ้น 15 คำ แรม 15 คำ ประมาณ 2-3 วัน น้ำจะขึ้นหรือลงเพียงครั้งเดียว (ขึ้นหรือแรม 8 คำ) มีพิสัยของน้ำเฉลี่ยประมาณ 2.49 เมตร และมีค่าพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงสูงสุดที่ 4.25 เมตร

### 3.1.4 สาเหตุการถดถอยของชายฝั่งบริเวณชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยา

การถดถอยของแนวชายฝั่งที่เกิดขึ้นมายาวนานกว่า 60 ปี ของพื้นที่ชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยา ถูกการคาดการณ์ถึงสาเหตุหลักว่าอาจเกิดจาก 1) การขุดลอกตะกอนปากแม่น้ำเจ้าพระยาเพื่อการเดินเรือ (ชัยพันธ์ุ รั้ววิจิตร และคณะ, 2555) 2) การลดลงของตะกอนแม่น้ำเนื่องจากการสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ (JICA, 2000; Milliman & Farnsworth, 2013; Syvitski et al., 2009; Uehara et al., 2010), 3) การเปลี่ยนป่าชายเลนเป็นนาุ้ง (Saito et al., 2007; Winterwerp et al., 2005a) 4) การทรุดตัวของแผ่นดิน (land subsidence) อันเนื่องจากการสูบน้ำบาดาล (groundwater extraction) (Bidorn, 2016; Sok et al., 2022) และ 5) การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (sea-level rise due to climate change)

การขุดลอกปากแม่น้ำ มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อการเดินเรือขนส่งสินค้าสำหรับเรือบรรทุกขนาดใหญ่ ซึ่งในพื้นที่ศึกษา มีการขุดลอกปากแม่น้ำในพื้นที่ด้านตะวันตก (แม่น้ำเจ้าพระยา) และด้านตะวันออก (แม่น้ำบางปะกง) ของชายฝั่ง โดยปากแม่น้ำพระยา มีการขุดลอกตั้งแต่ปี 2513 เป็นต้นมา โดยมีปริมาตรตะกอนที่ขุดลอก ผันแปรระหว่าง 2-6.5 ล้าน ลบ.ม./ปี (เฉลี่ย  $4.5 \pm 1.2$  ล้าน ลบ./ปี) ในช่วง 40 ปีที่ผ่านมา ส่วนแม่น้ำบางปะกง เริ่มมีการขุดลอกปากแม่น้ำตั้งแต่ ปี 2523 เป็นต้นมา และ

มีปริมาตรตะกอนที่ขุดลอก ผันแปรระหว่าง 0.01–2.4 ล้าน ลบ.ม. (เฉลี่ย 0.3 ล้าน ลบ.ม./ปี) สำหรับ ปริมาณตะกอนที่ขุดลอกร่องน้ำบริเวณปากแม่น้ำทั้งสอง ในช่วงปี 2503-2554 แสดงใน รูป 3-12 (ชัยพันธุ์ รักรวิชัย และคณะ, 2555) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่ขุดลอกจากปากแม่น้ำทั้งสอง กับอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษา พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมีแนวโน้ม ถอยร่นรุนแรงขึ้นตั้งแต่ ปี 2503 จนถึง 2543 และมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนตั้งแต่ ปี 2543 จนถึง 2554 ในขณะที่ ปริมาณการขุดลอกตะกอนปากแม่น้ำ เจ้าพระยา และบางปะกง ยังคงปริมาณ ใกล้เคียงกับ ช่วง 40 ปี ที่ผ่านมา



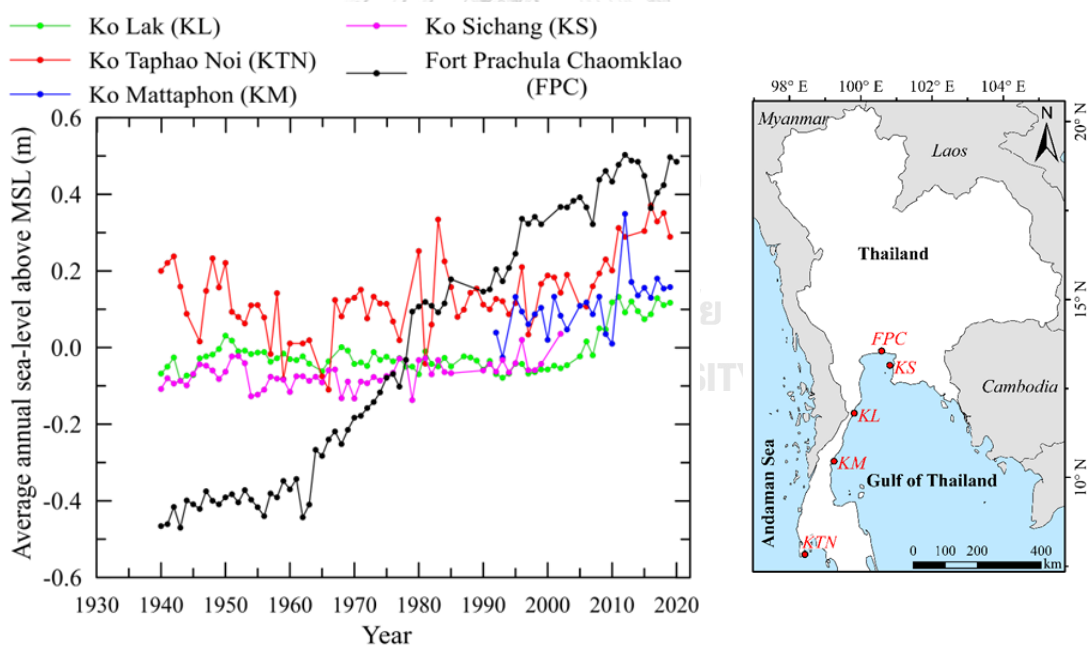
รูป 3-12 ปริมาณการขุดลอกตะกอนร่องน้ำเจ้าพระยารวมกับร่องน้ำบางปะกงและอัตรา การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยในช่วงปี 2503–2554 ของพื้นที่ศึกษา

สำหรับการลดลงของตะกอนเนื่องจากการก่อสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เขื่อน ภูมิพลและสิริกิติ์ จากการศึกษาของ Namsai et al. (2021) รายงานว่า หลังจากการก่อสร้างเขื่อนภูมิ พลในแม่น้ำปิง และเขื่อนสิริกิติ์ในแม่น้ำน่าน (รูป 3-5) ส่งผลให้ตะกอนในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาลดลงน้อย ว่า 5% ในขณะที่ Charoenlerkthawin et al. (2021) รายงานว่า การก่อสร้างเขื่อนก๊วคหมาใน กลุ่มน้ำวัง (รูป 3-5) ส่งผลให้ปริมาณตะกอน ด้านท้ายเขื่อน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม การ ลดลงของปริมาณตะกอนด้านท้ายเขื่อน ซึ่งตั้งอยู่ตอนบนของกลุ่มน้ำวัง ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณ ตะกอนของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

Bidorn (2016) และ Bidorn et al. (2020) รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลน เป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เช่น นากุ้ง หรือการตัดป่าชายเลนในพื้นที่ชายฝั่งปากแม่น้ำ เจ้าพระยา และชายฝั่งปากแม่น้ำเพชรบุรี ไม่ส่งผลโดยตรงให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำ ดังกล่าว ในทางตรงกันข้าม บางพื้นที่ เช่น บริเวณแหลมผักเบี้ย พบการงอกเพิ่มของแนวป่าชายเลน

แม้ว่าจะมีการวางป่าชายเลนเพื่อเปลี่ยนเป็นพื้นที่นาทุ่งจำนวนมากก็ตาม ทั้งนี้การงอกเพิ่มของพื้นที่ดังกล่าว เกิดจากปริมาณตะกอนแม่น้ำเข้ามาเติมในพื้นที่ย่อยต่อเนื่อง

จากรายงานการเปลี่ยนแปลงระดับแผ่นดินในแนวตั้งของ กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2554a) และ กรมแผนที่ทหาร (2558) พบว่า ในช่วง 60 ปี ที่ผ่านมา การทรุดตัวของแผ่นดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา ผันแปรระหว่าง 65–96 ซม. โดย Nutalaya et al. (1996) ระบุว่า การทรุดตัวดังกล่าว มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการสูบน้ำบาดาล ที่เกิดจากการขยายตัวของเมือง นอกจากนี้ ผลการศึกษา ระดับน้ำทะเลตามแนวชายฝั่งอ่าวไทยและอันดามันของ Bidorn (2016) และ Sok et al. (2022) ใน รูป 3-13 แสดงให้เห็นว่า ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยรายปี ตั้งแต่ 2483–2547 มีค่าคงที่ ยกเว้นระดับน้ำที่สถานีป้อมพระจุลจอมเกล้า (Fort Prachula Chaomkiao, FPC) ซึ่งตั้งอยู่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา (รูป 3-13) มีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ ปี 2508 เป็นต้นมา โดยการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่บันทึกไว้ที่สถานีดังกล่าว คาดว่าเกิดขึ้นจากการทรุดตัวของแผ่นดินมากกว่าระดับน้ำทะเลสูงขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change)



รูป 3-13 อนุกรมเวลาของระดับน้ำทะเลชายฝั่งอ่าวไทยและอันดามันตั้งแต่ ปี 2483–2563



### 3.1.5 การป้องกันชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออกด้วยโครงสร้าง

แนวชายฝั่งเจ้าพระยาตะวันออก เป็นพื้นที่เกิดการถอยร่นของชายฝั่งอย่างรุนแรง ด้วยอัตราการถอยร่นเฉลี่ย -7 ม./ปี (Bidorn et al., 2021; Sok et al., 2022; Uehara et al., 2010) เนื่องจากพื้นที่แนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นพื้นที่อุตสาหกรรมและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศ ส่งผลให้มีการนำมาตรการป้องกันชายฝั่งมาใช้เพื่อป้องกันพื้นที่เศรษฐกิจของประเทศอย่างต่อเนื่องในช่วงเกือบ 30 ปีที่ผ่านมา กำแพงกันคลื่น (seawall) เป็นโครงสร้างป้องกันชายฝั่งชนิดแรกที่ถูกนำมาใช้ป้องกันชายฝั่ง โดยถูกสร้างตั้งแต่ปากแม่น้ำเจ้าพระยาไปทางทิศตะวันออก ยาวต่อเนื่องเป็นระยะทางประมาณ 10 กม. (Sta.0+000–9+700) ในปี 2537 (รูป 3-2)

ในปี 2547–2548 กรมเจ้าท่าได้มีโครงการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นแบบจมน้ำ (submerged breakwater) ที่สร้างด้วย sand geocontainer หรือที่เรียกกันว่า ไม้กรอกทราย ตลอดแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา คิดเป็นระยะทาง 25 กม. (Sta.12+280–37+680) (รูป 3-2) โดยโครงสร้างไม้กรอกทรายจะทำหน้าที่เหมือนกับเขื่อนกันคลื่นนอกชายฝั่ง ในช่วงเวลาที่ระดับน้ำทะเลต่ำกว่าระดับสันของโครงสร้าง และทำหน้าที่เหมือนกับเขื่อนกันคลื่นแบบจมน้ำ (submerged breakwater) ในช่วงที่ระดับน้ำสูงกว่าระดับสันของโครงสร้าง กรมเจ้าท่าติดตั้งไม้กรอกทรายขนานกับชายฝั่ง โดยมีระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้น ผันแปรระหว่าง 6–560 ม. (เฉลี่ย 230 ม.) และมีความสูงของโครงสร้างประมาณ 1 ม. จากท้องน้ำ ส่วนความยาวโครงสร้างผันแปรระหว่าง 90–230 ม. สำหรับข้อมูลของโครงสร้างถูกสรุป ไว้ใน ตาราง 3-9

ในปี 2552 กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง เริ่มมีการประยุกต์ใช้ไม้ไผ่ชะลอกคลื่นบริเวณสถานตากอากาศบางปู (Sta.6+400–Sta.7+780) และมีนโยบายปลูกป่าชายเลนด้านหลังโครงสร้างไม้ไผ่ชะลอกคลื่น ถัดมาในปี 2553–2554 เริ่มมีการปักไม้ไผ่ชะลอกคลื่นด้านหลังไม้กรอกทราย ที่บ้านตาเจ็ย และบ้านตาก็ัก จ.สมุทรปราการ โดยปัจจุบันแนวไม้ไผ่ในบริเวณดังกล่าวมุ่งเหลือเพียงต่อไม้สั้น ๆ ติดอยู่กับท้องน้ำ จากนั้นมีการติดตั้งไม้ไผ่ชะลอกคลื่นที่บ้านสีลังในปี 2558 และที่บ้านคลองเจริญวัย ไปจนถึงปากแม่น้ำบางปะกงในปี 2562 ดังแสดงในรูป 3-2

สำหรับไม้กรอกทรายที่ถูกก่อสร้างในช่วงปี 2548 พบว่ามีอายุการใช้งานเพียง 4–5 ปี เนื่องจากการเสื่อมสภาพของวัสดุห่อหุ้ม ทำให้ทรายรั่วออกจากถุงทราย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการป้องกันชายฝั่งของโครงสร้างไม้กรอกทรายไม่เป็นไปตามที่ออกแบบ ในปี 2557–2558 กรมเจ้าท่าจึงปรับปรุงไม้กรอกทราย โดยใช้วิธีการวางหินเรียงเสริมระดับสันของไม้กรอกทรายเดิมให้มีความสูงประมาณ 1 ม. โดยใช้งบประมาณในการปรับปรุงโครงสร้างประมาณ 15,000 บาท/ม. และทำการเสริมหินทุก ๆ 3–7 ปี (Saengsupavanich, 2013)

ในปี 2558 องค์การบริหารส่วนตำบล ของแต่ละท้องถิ่น ได้เริ่มต้นก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (nearshore breakwater) ที่แต่ละปากคลอง ตั้งแต่ บ้านคลองด่าน จ.สมุทรปราการ จนถึง บ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา ดังแสดงในรูป 3-2 โดยโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง มีความยาวประมาณ 45–245 ม. และมีความสูงตั้งแต่ 2–2.8 ม. สำหรับตัวเขื่อนถูกสร้างห่างจากชายฝั่ง เริ่มต้นประมาณ 40–280 ม. (ตาราง 3-9) สำหรับโครงการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งยังคงถูกพัฒนาและดำเนินการก่อสร้างมาจนถึงปัจจุบัน

ตาราง 3-9 สรุปรายละเอียดโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเจ้าพระยาตะวันออก

Parameters	The type of coastal protection structures			
	Submerged Breakwater (Sand sausage)	Submerged Breakwater (Rubble mound)	Nearshore Breakwater	Bamboo Fence
Number of structures	112	112	31	-
Distance from the initial shoreline, y (m)	5.7–558	100–800	40–280	50–200
Avg. y (m)	233	304	132	-
Length of structure, l (m)	87–230	87–230	45–245	100–4,140
Avg. l (m)	166	166	191	-
Height of structure, h (m)	1.0	1.0	2.0–2.8	-
Construction year	2004–2005	2014–2015	2015–2019	2009–2021

Note: Avg=average

### 3.2 การศึกษาประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งในการรักษาเสถียรภาพชายฝั่ง

การศึกษาความสำเร็จ/ความล้มเหลวของโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง ในการรักษาแนวชายฝั่งให้มีเสถียรภาพ โดยทั่วไปจะวิเคราะห์จากอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งก่อนและหลังจากมีโครงสร้าง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ได้ประเมินประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง ในการลดการถอยร่นของแนวชายฝั่งจากรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง และอัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง ก่อนและหลังจากการติดตั้งโครงสร้างแต่ละชนิด โดยมีรายละเอียดในการศึกษาดังหัวข้อย่อต่อไปนี้

#### 3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและการตรึงพิกัดภาพ

รูปแบบการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาก่อนและหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ และเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ถูกศึกษาจากข้อมูลแนวชายฝั่งที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศ (aerial photographs) ของกรมแผนที่ทหาร (ปี 2497, 2539 และ 2545) และจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (satellite imagery) ความละเอียดสูง ที่จัดเก็บข้อมูลโดย Maxar Technologies, CNES และ Airbus (ปี 2553, 2554, 2556, 2557, 2559, 2561 และ 2564)

ข้อมูลภาพถ่ายที่รวบรวมได้ ถูกทำให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัล (digital format) และปรับตำแหน่งของภาพให้อยู่ในระบบพิกัด Universal Transverse Mercator (UTM) โดยมีพื้นฐานแบบ World Geodetic System 1984 (WGS84) ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.4 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ ด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) ที่ใช้กันแพร่หลายในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง (AlRuheili, 2022; Bidorn et al., 2020; Bidorn & Rukvichai, 2018; Bidorn et al., 2021; Kankara et al., 2015; Nassar et al., 2022; Sam & Balasubramanian, 2022; Santos et al., 2021; Siyal et al., 2022; Thieler et al., 2009; Zhang et al., 2014)

ข้อมูลภาพทั้งหมดจะถูกตรึงพิกัดด้วยเทคนิคการซ้อนภาพ (overlay) กับภาพถ่ายออร์โธ (orthophotograph) ปี 2545 ซึ่งใช้เป็นภาพฐาน (base map) เพื่อปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลภาพที่เกิดจากการบิดเบี้ยว (distortion) ของเลนส์, องศาการบิดเบี้ยว และการโค้งงอหรือผิดรูปของกระดาษ โดยข้อมูลภาพถ่ายออร์โธ เป็นข้อมูลภาพที่มีการปรับแก้ตำแหน่งกับข้อมูลสำรวจภาคสนาม (ground survey) แล้ว สำหรับรายละเอียดแหล่งข้อมูล ความละเอียดภาพ รวมถึงค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) ของการปรับแก้ข้อมูลภาพถ่ายและภาพดาวเทียมแต่ละชุดข้อมูล สรุปไว้ในตาราง 3-10

### 3.2.2 การเลือกตำแหน่งแนวชายฝั่งจากภาพข้อมูล

แนวชายฝั่งที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ สร้างจากตำแหน่งแนวชายฝั่งที่ปรากฏบนภาพถ่ายและภาพดาวเทียมที่ปรับแก้พิกัดให้อยู่บนฐานเดียวกันแล้ว สำหรับนิยามของแนวชายฝั่งนั้น จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งที่ผ่านมา มีการนิยามตำแหน่งของแนวชายฝั่งที่แตกต่างกันตามเงื่อนไขสภาพพื้นที่และวัตถุประสงค์ของการศึกษา (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมใน Alberico et al. (2012)) เนื่องจากแนวชายฝั่งในพื้นที่ศึกษาครั้งนี้ เป็นแนวชายฝั่งที่มีป่าชายเลนตามธรรมชาติปกคลุมและบางพื้นที่มีการปรับการใช้พื้นที่บริเวณชายฝั่ง เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โรงงานอุตสาหกรรมและที่อยู่อาศัย ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกใช้แนวขอบด้านทะเลของพืชพรรณที่ขึ้นตามชายฝั่ง (vegetation line) เป็นตัวแทนของแนวชายฝั่งตามธรรมชาติ ซึ่งถูกแนะนำโดย Zhang et al. (2014) และถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาที่เกี่ยวข้องการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่หาดเลน (Bidorn et al., 2020; Bidorn et al., 2021; Sok et al., 2022) ส่วนแนวชายฝั่งที่เกิดการควบคุม/จัดการโดยมนุษย์ (artificial shoreline) ใช้ตำแหน่งแนวโครงสร้างชายฝั่งที่ปรากฏในภาพถ่ายแต่ละช่วงปี เช่น แนวถนน คันดิน สะพาน หรือ กำแพงกันคลื่นตามแนวชายฝั่ง เป็นตัวแทนของเส้นแนวชายฝั่ง เนื่องจากเป็นตัวแทน (proxy) แนวชายฝั่งที่ใช้กันทั่วไปสำหรับพื้นที่ชายฝั่ง ที่มีการก่อสร้างโครงสร้างโดยมนุษย์ (Bidorn et al., 2018)

ตาราง 3-10 สรุปข้อมูลภาพที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่ศึกษา

ปี พ.ศ. (ค.ศ.)	ประเภทของข้อมูล	ขนาดภาพ	ขนาดพิกเซล (ม.)	RMSE (ม.)	ความคลาดเคลื่อนตำแหน่ง แนวชายฝั่ง (ม.)
2497 (1954)	ภาพถ่ายทางอากาศ <sup>1</sup>	1:50,000	4.6	1.72	4.91
2539 (1996)	ภาพถ่ายทางอากาศ <sup>1</sup>	1:50,000	4.50	1.21	4.66
2545 (2002)	Orthophotograph <sup>1</sup>	1:4,000	<0.1	0	<0.1
2553 (2010)	ภาพดาวเทียม <sup>2</sup>	1:700	0.91	0.72	1.17
2554 (2011)	ภาพดาวเทียม <sup>2</sup>	1:700	0.90	0.82	1.22
2556 (2013)	ภาพดาวเทียม <sup>2</sup>	1:700	0.90	0.73	1.17
2557 (2014)	ภาพดาวเทียม <sup>2</sup>	1:700	0.91	0.66	1.13
2559 (2016)	ภาพดาวเทียม <sup>2</sup>	1:700	0.91	0.59	1.09
2561 (2018)	ภาพดาวเทียม <sup>2</sup>	1:700	0.91	0.61	1.10
2564 (2021)	ภาพดาวเทียม <sup>2</sup>	1:700	0.92	0.67	1.15

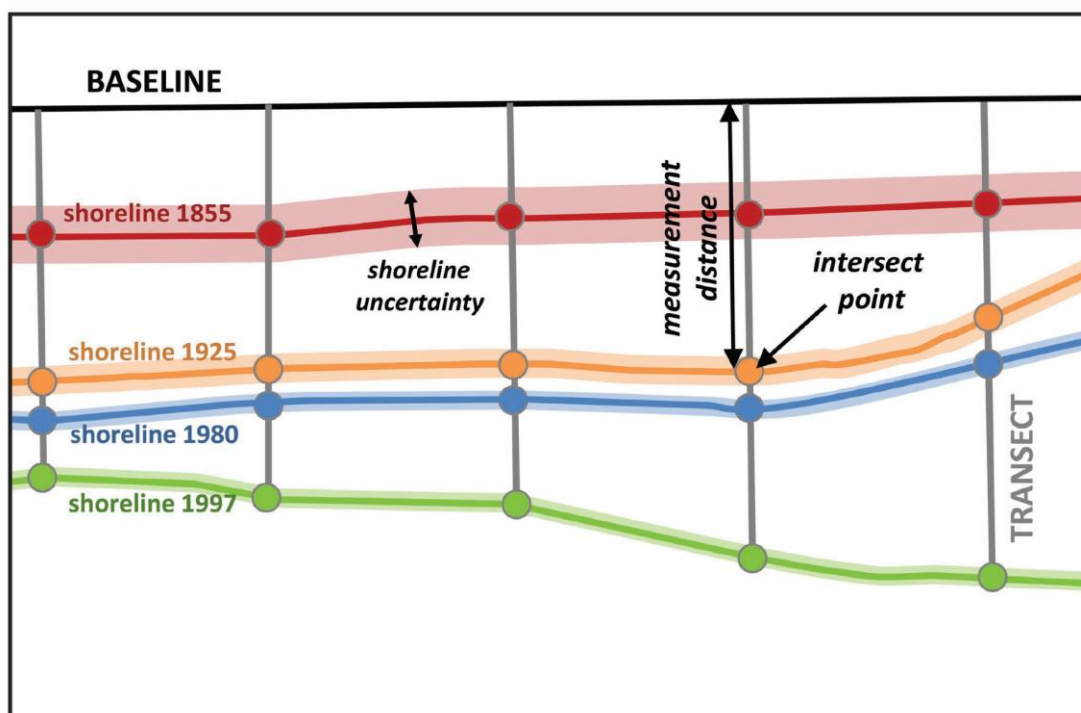
หมายเหตุ : <sup>1</sup>ข้อมูลมีแหล่งที่มาจากรวมแผนที่ทหาร <sup>2</sup>ข้อมูลมีแหล่งที่มาจากรวม Google Earth Pro

### 3.2.3 การประเมินการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง

แนวชายฝั่งที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายระหว่างปี 2497–2564 ถูกนำมาใช้ในการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาทั้งในระยะสั้น (1–6 ปี) และระยะยาว (42 ปี) สำหรับระยะการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งและอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ถูกคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ DSAS 5.1 ซึ่งเป็นโมดูลเพิ่มเติม (extension module) ของโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcGIS โดยซอฟต์แวร์ DSAS ถูกพัฒนาโดย The United State of Geological Survey (USGS) ตั้งแต่ปี 2535 จนถึงปัจจุบัน และเป็นซอฟต์แวร์หลักที่นิยมใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั่วโลก ((AlRuheili, 2022; Bidorn et al., 2020; Bidorn & Rukvichai, 2018; Bidorn et al., 2021; Kankara et al., 2015; Nassar et al., 2022; Sam & Balasubramanian, 2022; Santos et al., 2021; Siyal et al., 2022; Thieler et al., 2009; Zhang et al., 2014)) ซอฟต์แวร์ DSAS มีฟังก์ชันในการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงเวลา และสามารถกำหนดตำแหน่งการคำนวณตามความต้องการของผู้ใช้งานได้ (Himmelstoss et al., 2021)

ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วย ซอฟต์แวร์ DSAS มีขั้นตอนหลักในการใช้งาน คือ 1) กำหนดเส้นฐาน (baseline) ซึ่งเป็นเส้นที่จะถูกใช้อ้างอิงในการคำนวณตำแหน่งของเส้นแนวชายฝั่งแต่ละปี 2) สร้างเส้นตั้งฉากระหว่างเส้นฐานและเส้นแนวชายฝั่ง ในแต่ละพื้นที่หน้าตัดย่อย (transect) โดยผู้ใช้สามารถกำหนดตำแหน่งหน้าตัดย่อยเพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งได้ตาม

ต้องการ 3) คำนวณระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง (Himmelstoss et al., 2021) สำหรับองค์ประกอบ (components) ของชายฝั่งที่ต้องใช้เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เช่น เส้นฐาน, แนวชายฝั่งแต่ละช่วงปีที่สนใจ, ตำแหน่งที่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง (transect) และ ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลแนวชายฝั่ง แสดงในรูป 3-14



ที่มา : Himmelstoss et al. (2021)

รูป 3-14 องค์ประกอบที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยซอฟต์แวร์ DSAS

ในการประเมินรูปแบบและอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาในครั้งนี้ กำหนดตำแหน่งที่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเพื่อประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งที่ระยะห่างทุก ๆ 20 ม. ตั้งแต่ปากแม่น้ำเจ้าพระยาจนถึงปากแม่น้ำบางปะกง ครั้งนี้ รวมตำแหน่งในวัดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั้งสิ้น 2,126 transects ดังแสดงในรูป 3-15 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ในครั้งนี้ พิจารณาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปีเท่าที่มีข้อมูล และช่วงเวลาในการศึกษาจะถูกแบ่งออกเป็น 6 ช่วงเวลา เพื่อวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อนและหลังการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งแต่ละชนิด ได้แก่

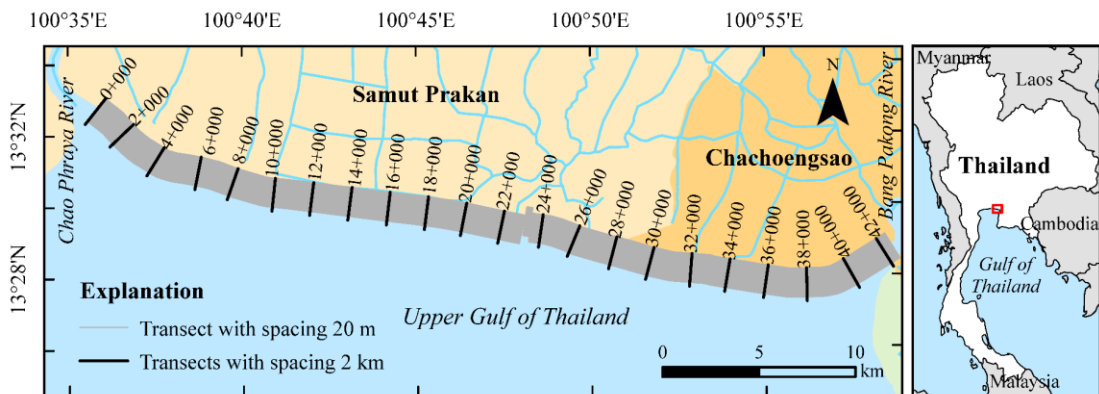
- 1) การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งระหว่างปี 2497–2539 (ก่อนมีการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง)

- 2) การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งระหว่างปี 2539–2545 (หลังการก่อสร้างกำแพงกันคลื่น (seawall ในปี 2537)
- 3) การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งระหว่างปี 2545–2557 (หลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยไส้กรอกทราย (sand-sausage-submerged breakwater))
- 4) การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งระหว่างปี 2553–2558 (หลังการปรับปรุงไส้กรอกทรายเป็นเขื่อนหินทิ้ง (rubble mound))
- 5) การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งระหว่างปี 2554-2564 (หลังการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น (bamboo fence))
- 6) การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งระหว่างปี 2558–2564 (หลังการก่อสร้างโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (nearshore breakwater))

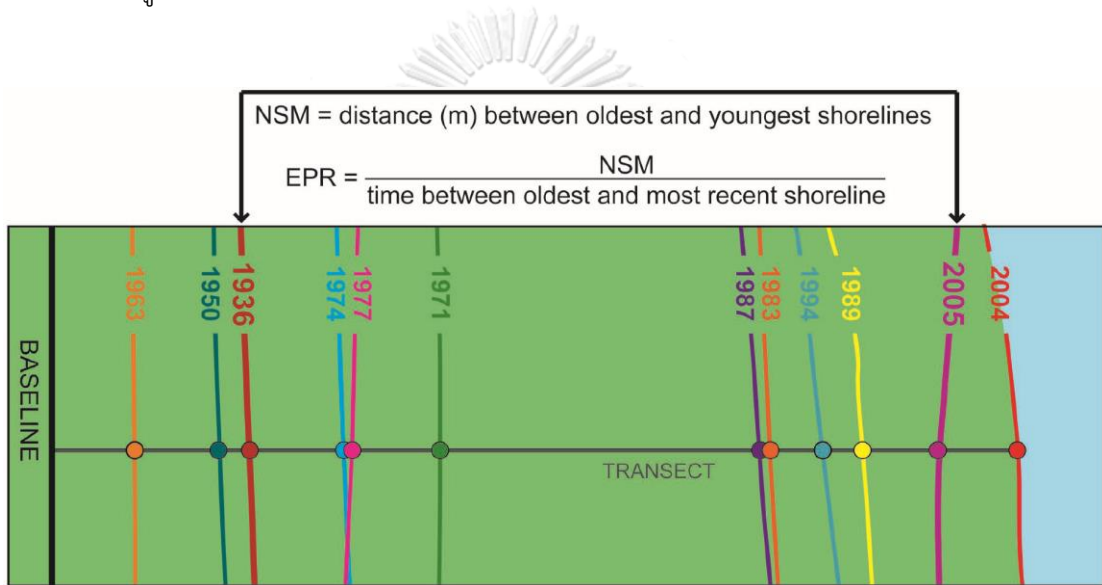
วิธีการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยซอฟต์แวร์ DSAS ที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ เลือกใช้วิธี Net Shoreline Movement (NSM) เพื่อคำนวณระยะการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในช่วงปีที่พิจารณา และเลือกใช้วิธี End Point Rate (EPR) ในการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งสำหรับช่วงปีที่พิจารณา โดยทั้งสองวิธีมีหลักการโดยย่อ ดังนี้

วิธี Net Shoreline Movement (NSM) เป็นการรายงานระยะทาง (distance) การเปลี่ยนแปลงสุทธิของแนวชายฝั่ง โดยคำนวณค่าระยะห่างระหว่างแนวชายฝั่งที่เก่าที่สุด (oldest) และแนวชายฝั่งล่าสุด (youngest) ของแต่ละ transect ในการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธี NSM ศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในช่วงเวลาที่สนใจ สำหรับตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยวิธี NSM ถูกแสดงไว้ในรูป 3-16

วิธี End Point Rate (EPR) เป็นการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยการนำระยะห่างระหว่างแนวชายฝั่งที่เก่าที่สุด (oldest) และแนวชายฝั่งล่าสุด (youngest) ที่อยู่บนเส้น transect เดียวกันมาหารด้วยช่วงเวลา (ปี) หรือเป็นการนำผลจากวิธี NSM มาหารด้วยช่วงเวลาระหว่างสองแนวชายฝั่ง สำหรับการศึกษานี้วิธี EPR ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระยะสั้นของแต่ละช่วงปี โดยตัวอย่างการคำนวณ แสดงในรูป 3-16



รูป 3-15 แนวการวัดการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง (transects) ในพื้นที่ศึกษา



ที่มา : Himmelstoss et al. (2021)

รูป 3-16 ตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยวิธี NSM และ EPR

ในการประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง ความคลาดเคลื่อน (uncertainty) ที่มีผลต่อค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่คำนวณได้ สามารถเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเส้นแนวชายฝั่ง (Awad & El-Sayed, 2021; Gibbs et al., 2019; Louati et al., 2015) ซึ่งโดยทั่วไปเกิดจากการเลื่อนของแนวชายฝั่งตัวแทนออกจากเส้นแนวชายฝั่งจริง (shoreline proxy offset,  $E_o$ ), ความผันแปรของระดับน้ำขึ้น-น้ำลง (tidal fluctuation,  $E_t$ ), ความผันแปรของเส้นระดับน้ำตามฤดูกาล (seasonal variation,  $E_s$ ), ความคลาดเคลื่อนจากการตรึงพิกัด (rectification error,  $E_r$ ), ความคลาดเคลื่อนจากการลากเส้นแนวชายฝั่ง (digitizing error,  $E_d$ ) ความคลาดเคลื่อนจากความละเอียดของภาพ (pixel error,  $E_p$ ) และความคลาดเคลื่อนในข้อมูล

แผนที่ชายฝั่ง (toposheet error,  $E_{ts}$ ) (Ding et al., 2019; Kankara et al., 2015; Santos et al., 2021)

สำหรับการศึกษานี้ ตำแหน่งของแนวชายฝั่งถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลไฟล์รูปภาพ (.tiff) ของภาพถ่ายทางอากาศ และภาพดาวเทียม และใช้เส้นแนวพิกซอร์และแนวโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นตัวแทนเส้นแนวชายฝั่ง ดังนั้นความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเส้นแนวชายฝั่ง ส่วนใหญ่จะเกิดจากความละเอียดของรูปภาพ และการตรึงพิกัด (georeferencing) และความคลาดเคลื่อนในส่วนของ  $E_o$ ,  $E_t$ ,  $E_s$ ,  $E_d$ , and  $E_{ts}$  สามารถละได้ (Gibbs et al., 2019; Phanomphongphaisarn et al., 2020; Sok et al., 2022) โดยค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเส้นแนวชายฝั่งของแต่ละ transect ( $U_{sp}$ ) คำนวณได้จาก สมการ 3-2 (Gibbs et al., 2019; Santos et al., 2021) ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์หัตถการเปลี่ยนแปลงเส้นแนวชายฝั่ง คำนวณได้จาก รากที่สองของผลรวมความคลาดเคลื่อนของแนวชายฝั่งยกกำลังสอง หารด้วยจำนวนปีที่ใช้ในการศึกษา ดังแสดงในสมการ 3-3 (Gibbs et al., 2019; Hapke et al., 2010; Santos et al., 2021; Sok et al., 2022)

$$U_{sp} = \pm \sqrt{E_o^2 + E_t^2 + E_s^2 + E_d^2 + E_{ts}^2 + E_p^2 + E_r^2} \quad (3-2)$$

$$U_i = \frac{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}}{Y_n - Y_1} \quad (3-3)$$

โดยที่  $U_i$  คือ ความคลาดเคลื่อนในแต่ละ transect ของเส้นแนวชายฝั่ง

$n$  คือ จำนวนเส้นแนวชายฝั่งที่นำมาวิเคราะห์

$Y_1$  คือ เส้นแนวชายฝั่งปีเก่าที่สุดของชุดข้อมูลที่พิจารณา

$Y_n$  คือ เส้นแนวชายฝั่งปีล่าสุดของชุดข้อมูลที่พิจารณา

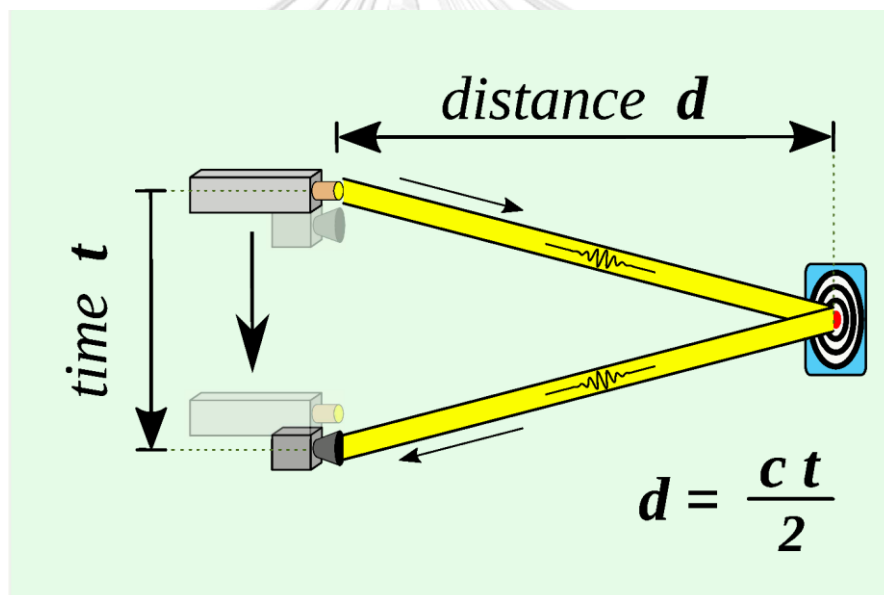
### 3.3 การสำรวจภูมิประเทศด้วยแสงเลเซอร์แบบติดตั้งกับโดรน (UAV-LiDAR)

การสำรวจสภาพภูมิประเทศด้วยโดรน (UAV) ปัจจุบันได้เข้ามามีบทบาทในการบันทึกรายละเอียดของสภาพภูมิประเทศแทนการสำรวจภาคพื้นดินแบบดั้งเดิม (ground survey) มากขึ้น เนื่องจากดำเนินงานสำรวจได้รวดเร็ว และสามารถดำเนินงานสำรวจในพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยากหรือเสี่ยงอันตราย อีกทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจแบบ UAV ปัจจุบันถูกพัฒนาให้มีความละเอียดสูงและได้ผลการสำรวจที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกับการสำรวจภาคพื้นดินอีกด้วย

สำหรับการสำรวจ UAV โดยทั่วไป เป็นการสำรวจด้วยวิธีการรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศ (photogrammetry) เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมาก และมีความแม่นยำสูงใกล้เคียงกับการสำรวจภาคพื้นดิน แต่ในปัจจุบันได้เริ่มมีการนำเทคนิคการสำรวจด้วยแสงเลเซอร์ (light detection and



ranging, LiDAR) มาใช้ในการสำรวจสภาพภูมิประเทศเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากให้ผลการสำรวจที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกัน และมีความสามารถในการสำรวจระดับผิวดินในพื้นที่ที่มีต้นไม้หนาแน่น (vegetation area) ได้ รวมถึงสามารถสำรวจได้ทุกช่วงเวลาแม้กระทั่งช่วงกลางคืน เนื่องจากเป็นระบบที่เกิดจากการรวมกันของ การถ่ายภาพจากการรวมแสง (light-focused imaging) กับความสามารถในการคำนวณระยะทางโดยการวัดเวลาที่สัญญาณ (signal) ใช้ในการเดินทางกลับสู่เซ็นเซอร์ ดังแสดงในรูป 3-17 โดย LiDAR จะใช้ แสงที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet), แสงช่วงที่สายตามองเห็น (visible) หรือ แสงช่วงใกล้อินฟราเรด (near infrared) เพื่อสร้างภาพของวัตถุ แต่ในการสำรวจพื้นผิวของโลกจะใช้ความยาวคลื่นของแสง 1,064 nm จาก diode-pumped Yttrium aluminum garnet (YAG,  $Y_3Al_5O_{12}$ ) laser



หมายเหตุ :  $t$  คือ ระยะเวลาที่ sensor เคลื่อนที่,  $d$  คือ ระยะทางที่วัตถุห่างจาก sensor, และ  $c$  คือ ความเร็วของแสง

รูป 3-17 หลักการทำงานของ LiDAR

องค์ประกอบหลักของข้อมูลจากการสำรวจด้วย LiDAR ประกอบด้วย แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ (digital elevation models, DEM) และแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ (digital terrain models, DTM) สำหรับ จุด (points) และ จุดภาคพื้นดิน (ground points) เป็นเวกเตอร์ของจุดที่แยกห่างจากกัน (discrete points) ในขณะที่ DEM และ DTM เป็นการแทรกค่า

((interpolate) จุดของเซลล์ที่อยู่ระหว่างจุดที่อยู่ติดกัน (raster grids of discrete points) กระบวนการนี้ยังเกี่ยวข้องกับการจับ (capturing) ข้อมูลเชิงเลขของภาพถ่ายทางอากาศอีกด้วย ซึ่งข้อมูลแสง (laser) จะวัดโดยตรงจากพื้นที่ ที่ต้องการสร้างแผนที่ ส่วนข้อมูลความสูงของแต่ละจุดเหนือระดับพื้นดิน จะถูกคำนวณจาก การหักลบระดับพิกัดในแนวตั้งเริ่มต้น (original z-coordinate) ออกจากข้อมูลระดับความสูงในแบบจำลองพื้นผิวที่จุดเดียวกัน จากข้อมูลความสูงเหนือพื้นดินที่คำนวณได้นี้ จะได้ข้อมูลที่ไม่ใช่พืชพรรณ (non-vegetation data) รวมถึง วัตถุต่าง ๆ เช่น อาคาร แนวเสาไฟฟ้า แม้กระทั่งนกที่กำลังบินอยู่ เป็นต้น ส่วนข้อมูลของจุดที่เหลือจะถูกประเมินว่าเป็นข้อมูลพืชพรรณและใช้เพื่อการสร้างแบบจำลองและสร้างแผนที่ ทำให้แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศที่สร้างจากข้อมูล LiDAR สามารถมองเห็นทิวทัศน์ของต้นไม้ และให้ข้อมูลรายละเอียดการวัดการกัดเซาะ หน้าผา หรือแม้กระทั่งการเอียงของเสาไฟฟ้าได้

เนื่องจากลักษณะท้องน้ำชายฝั่ง (bathymetry) เป็นหนึ่งตัวแปรหลักที่สำคัญในการศึกษากระบวนการชายฝั่ง ดังนั้นในการศึกษาคั้งนี้ จึงจำเป็นต้องวัดข้อมูลลักษณะท้องน้ำ ในบริเวณโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง เพื่อประกอบการประเมินประสิทธิผลของโครงสร้างต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม ชายฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออกมีลักษณะเป็นหาดเลน ทำให้การสำรวจลักษณะท้องน้ำของพื้นที่ ไม่สามารถดำเนินการได้โดยวิธีการสำรวจโดยทั่วไป เช่น การสำรวจภาคพื้นดิน เนื่องจากพื้นที่ท้องทะเลเป็นดินอ่อน และพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นของเอกชน รวมถึงไม่สามารถทำการสำรวจทางเรือได้ เพราะเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อย เรือสำรวจจึงไม่สามารถเข้าถึงพื้นที่ศึกษาได้ ดังนั้นในการศึกษาคั้งนี้ จึงประยุกต์ใช้เทคนิคการสำรวจสภาพภูมิประเทศ ด้วยโดรนติดตั้งแสงเลเซอร์ (UAV-LiDAR) เพื่อวัดข้อมูลลักษณะท้องทะเลทั้งในบริเวณที่ติดตั้งโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง และบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง โดยใช้ UAV หรือโดรน รุ่น DJI Matrice 300 RTK UAV (รูป 3-18ก) ผลิตโดย DJI ประเทศจีน ที่ติดตั้งกล้องสำรวจด้วยแสงเลเซอร์ LiDAR sensor รุ่น DJI Zenmuse L1 (รูป 3-18ข) และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม สำหรับปรับแก้ตำแหน่งของโดรนแบบจลน์ (real time kinematics, RTK) รุ่น DJI D-RTK 2 (รูป 3-18ค) และเลือกเวลาสำรวจ ในช่วงที่น้ำทะเลลดระดับต่ำสุด เพื่อให้ได้ข้อมูลสภาพท้องน้ำที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง เนื่องจากเซ็นเซอร์ DJI Zenmuse L1 ที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ ไม่สามารถวัดข้อมูลทะเลลุ่มพื้นผิวน้ำได้



ก) โดรน (UAV)



ข) กล้องสำรวจด้วยแสงเลเซอร์ (LiDAR) แบบติดตั้งกับโดรน



ค) เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสำหรับปรับแก้ตำแหน่งโดรนแบบจลน์



ง) อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม

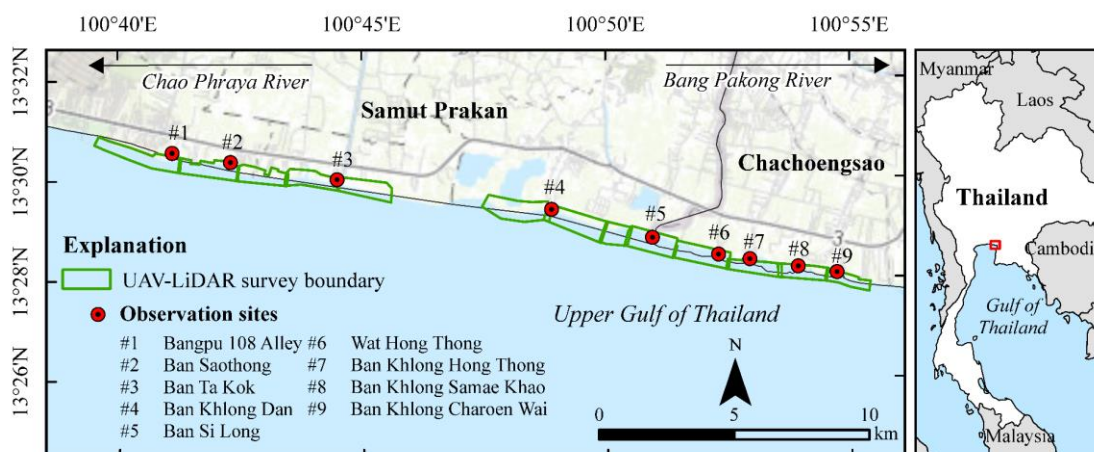
รูป 3-18 เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ

สำหรับข้อมูลจากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR จะถูกนำมาผ่านกระบวนการแปรผลและวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ด้วยซอฟต์แวร์ DJI Terra เวอร์ชัน 3.14 โดยข้อมูลที่ผ่านการแปรผลแล้ว จะอยู่ในรูปแบบกลุ่มของจุด 3 มิติ (point cloud) ที่เก็บค่าตำแหน่งขอบเขตของวัตถุในพิกัด x-y-z โดย

มีความหนาแน่นของข้อมูล 350–400 จุดต่อตารางเมตร และมีระยะห่างระหว่างจุดประมาณ 5 ซม. จากข้อมูล point cloud ที่ได้จากการสำรวจ สามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการศึกษาและประเมินประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งในครั้งนี้ ได้แก่ ค่าระดับพื้นผิวท้องทะเล (seabed elevation) ค่าระดับสันของโครงสร้าง (structure crest) ค่าระดับพื้นที่ชายฝั่ง (coastal area elevation) สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ใช้การสำรวจ UAV-LiDAR ในการวัดข้อมูลระดับท้องทะเลและสภาพพื้นที่ชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออกที่มีโครงสร้างป้องกันชายฝั่งติดตั้งอยู่ ตั้งแต่ บ้านคลองบางปู ต.บางปู อ.เมือง จ.สมุทรปราการ จนถึง บ้านคลองเจริญวัย ต.สองคลอง อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา จำนวน 9 ตำแหน่ง รวมความยาวชายฝั่งที่สำรวจ 29 กม. โดยมีข้อมูลพื้นที่สำรวจ สรุปดังตาราง 3-11 และขอบเขตการสำรวจของแต่ละพื้นที่แสดงใน รูป 3-19

ตาราง 3-11 สรุปข้อมูลพื้นที่สำรวจด้วย UAV-LiDAR ตลอดแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

หมายเลข	พื้นที่	ความยาวตามแนวชายฝั่ง (กม.)	ขนาดพื้นที่ (ตร.กม.)	RMSE (ม.)	จำนวน Check point
#1	ซอยเทศบาลบางปู 108 ต.บางปู อ.เมือง จ.สมุทรปราการ	3.3	1.48	0.02	6
#2	บ้านคลองเสาธง ต.บางปู อ.เมือง จ.สมุทรปราการ	4.0	2.25	0.05	4
#3	คลองตาก๊วก ต.บางปู อ.เมือง จ.สมุทรปราการ	4.0	2.30	0.05	5
#4	ต.คลองด่าน อ.บางปะกง จ.สมุทรปราการ	4.7	3.25	0.03	3
#5	บ้านสีลัง ต.คลองด่าน อ.บางปะกง จ.สมุทรปราการ	2.7	2.17	0.02	3
#6	วัดหงษ์ทอง ต.สองคลอง อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา	2.1	1.30	0.02	5
#7	บ้านสองคลอง ต.สองคลอง อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา	2.0	1.00	0.03	4
#8	บ้านแสมขาว ต.สองคลอง อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา	1.6	0.90	0.02	5
#9	คลองเจริญวัย ต.สองคลอง อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา	1.6	0.67	0.01	4



รูป 3-19 พื้นที่สำรวจด้วย UAV-LiDAR ตลอดแนวชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออก

### 3.3.1 การปรับแก้ค่าพิกัดและค่าระดับของข้อมูล LiDAR ด้วยการสำรวจภาคพื้นดิน

แม้ว่าข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยเทคนิค LiDAR จะมีความละเอียดสูง และมีระบบเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ในการปรับแก้ตำแหน่งโดรนแบบจลน์ แต่ระบบดังกล่าวยังมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากยังไม่ได้อ้างอิงกับระบบพิกัดภาคพื้นดินโดยตรง ซึ่งในการศึกษาการตอบสนองของชายฝั่งต่อโครงสร้างในพื้นที่หาดเลนที่มีความลาดชันต่ำ ค่าพิกัดและค่าระดับที่ได้จากการสำรวจต้องมีความแม่นยำและต้องอยู่ในระบบพิกัดมาตรฐาน เพื่อให้สามารถนำข้อมูลสำรวจที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไปใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลสำรวจจากการศึกษาที่ผ่านมาได้ ดังนั้นข้อมูลสำรวจด้วย LiDAR จำเป็นต้องผ่านกระบวนการปรับแก้ความถูกต้องของค่าพิกัดในแนวราบและแนวตั้งกับจุดตรวจสอบ (check point) ที่ได้จากการสำรวจภาคพื้นดิน (ground survey) ก่อนที่จะนำไปสร้างแบบจำลอง DTM หรือเส้นชั้นความลึกท่อน้ำ โดยจุดตรวจสอบจะถูกกำหนดให้อยู่พื้นที่ราบ ที่มีความมั่นคงและไม่เปลี่ยนแปลงทั้งแนวราบและแนวตั้ง เช่น จุดตัดบนพื้นถนนคอนกรีต เป็นต้น

การสร้างจุดตรวจสอบเพื่อปรับแก้พิกัดของข้อมูล LiDAR ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้การสำรวจภาคพื้นดิน ด้วยเครื่องมือหาค่าพิกัดดาวเทียม รุ่น Stonex S10 (รูป 3-18ง) ผลิตโดย บริษัท STONEX ประเทศอิตาลี เครื่องมือมีความคลาดเคลื่อนในแนวราบประมาณ 8 มม.  $\pm$  0.8 ppm (ห่างจากจุดอ้างอิง 1 กม. จะมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น 0.8 มม.) และมีความคลาดเคลื่อนในแนวตั้งประมาณ 15 มม.  $\pm$  1 ppm (ห่างจากจุดอ้างอิง 1 กม. จะมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น 1 มม.) การสำรวจพิกัดของจุดตรวจสอบในการศึกษาครั้งนี้จะอยู่ในรัศมี 1 กม. ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของพื้นที่สำรวจ ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการหาค่าพิกัดจุดตรวจสอบในแต่ละพื้นที่สำรวจจะมีค่าไม่เกิน 10 มม. ในแนวราบ และ 15 มม. ในแนวตั้ง

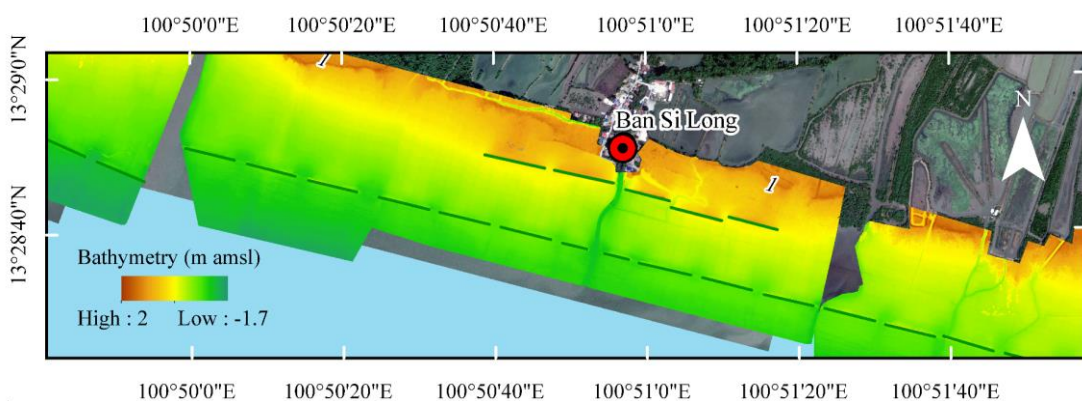
ในส่วนของการปรับแก้ข้อมูล point cloud จาก LiDAR กับค่าพิกัดและค่าระดับที่จุดตรวจสอบแบ่งออกเป็น การปรับตำแหน่งพิกัดในแนวราบ และการปรับค่าระดับในแนวตั้ง โดยการปรับแก้ค่าพิกัดในแนวราบนั้น ข้อมูลตำแหน่งของ point cloud ทุกตำแหน่งจะถูกปรับแก้กับค่าพิกัดที่จุดตรวจสอบ ซึ่งแตกต่างจากการปรับแก้ข้อมูลตำแหน่งของภาพถ่าย (photogrammetry) ที่ใช้หลักการบิดภาพเพื่อให้ตำแหน่งจุดในภาพอยู่ตรงกับตำแหน่งที่จุดตรวจสอบ จากรายงานของผู้ผลิตเครื่องมือพบว่า การสำรวจด้วยโดรน (UAV) รุ่น DJI Matrice 300 RTK ที่ระดับการบินที่ความสูง 50 ม. มีค่าความคลาดเคลื่อนในแนวราบและแนวตั้งประมาณ 10 ซม. และ 5 ซม. ตามลำดับ (<https://www.dji.com/zenmuse-l1/specs>, สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2565) ดังนั้นผลการสำรวจ LiDAR ในการศึกษานี้ จึงมีความคลาดเคลื่อนในแนวราบไม่เกิน 10 ซม. ส่วนความคลาดเคลื่อนในแนวตั้งจะถูกปรับแก้กับค่าระดับที่จุดตรวจสอบ โดยใช้วิธี Root Mean Square Error (RMSE, ม.) ตามสมการ 3-4 สำหรับค่า RMSE ของการสำรวจแต่ละตำแหน่ง สรุปไว้ใน ตาราง 3-11

$$RMSE_z = \frac{\sqrt{\sum(\Delta Z^2)}}{n} \quad (3-4)$$

โดยที่  $Z$  คือ ความแตกต่างระหว่างค่าระดับที่จุดตรวจสอบ (check point) และค่าระดับของจุด point cloud ที่ตำแหน่งเดียวกับจุดตรวจสอบ (ม.)

$n$  คือ จำนวนของจุดตรวจสอบที่ใช้ในการอ้างอิง

หลังจากปรับแก้ค่าระดับของข้อมูล point cloud แล้ว ข้อมูลทั้งหมดจะถูกแยกประเภทระหว่าง จุดที่เป็นพื้นดิน (ground points) และจุดที่ไม่ใช่พื้นดิน (non-ground points) ออกจากกัน เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ (digital terrain model, DTM) และเส้นชั้นความลึกที่องศาของพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในตัวอย่าง รูป 3-20 และ รูป 3-21 ตามลำดับ



รูป 3-20 ตัวอย่างข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ (digital terrain model, DTM)



รูป 3-21 ตัวอย่างข้อมูลเส้นชั้นความลึกท้องน้ำของพื้นที่ศึกษา

### 3.3.2 ขั้นตอนการสำรวจข้อมูลระดับท้องทะเลและชายฝั่ง

- 1) กำหนดตำแหน่งเพื่อวางหมุดอ้างอิงในการสำรวจ โดยเลือกตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่ที่เปิดโล่ง ควรเป็นตำแหน่งที่มีความมั่นคงและมีความเสี่ยงต่อการทรุดตัวในอนาคตน้อย จากนั้นวัดค่าพิกัดทางราบและระดับแนวตั้งด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ด้วยวิธี STATIC ไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง จากนั้นปรับแก้ค่าพิกัดและค่าระดับที่วัดได้กับค่าที่สำรวจจากโครงข่ายของกรมแผนที่ทหาร เพื่อให้ได้ค่าพิกัดและค่าระดับที่มีความถูกต้องมาใช้เป็นจุดอ้างอิง (reference point) ของพื้นที่สำรวจ สำหรับตัวอย่างการวางตำแหน่งจุดอ้างอิง แสดงดัง รูป 3-22



รูป 3-22 การวางตำแหน่งจุดอ้างอิงในพื้นที่สำรวจ

- 2) วางจุดตรวจสอบภาคพื้นดิน (ground check point, GCP) ในพื้นที่สำรวจ อย่างน้อย 5-6 จุด เพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าระดับที่ได้จากการสำรวจด้วย UAV- LiDAR โดยเน้นให้ตำแหน่งของจุดตรวจสอบกระจายโดยทั่วของพื้นที่สำรวจ จากนั้นวัดค่าพิกัดแนวราบ

และค่าระดับแนวตั้งของจุดตรวจสอบ ด้วยวิธีการรังวัดด้วย RTK โดยใช้เวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมไม่น้อยกว่า 3 นาที ในแต่ละจุดตรวจสอบ ตัวอย่างการวางจุดตรวจสอบในพื้นที่สำรวจ แสดงดัง รูป 3-23

- 3) กำหนดขอบเขตการสำรวจด้วย UAV-LiDAR โดยกำหนดความสูงการบินอยู่ระหว่าง 50-90 เมตร และความเร็วไม่เกิน 10 เมตร/วินาที ตามความเหมาะสมของสภาพพื้นที่ และขนาดของพื้นที่สำรวจ สำหรับตัวอย่างการดำเนินการสำรวจภาคสนามด้วย UAV-LiDAR ในพื้นที่ชายฝั่ง ของการศึกษาครั้งนี้ แสดงในรูป 3-24 และตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลขณะสำรวจด้วย UAV-LiDAR แสดงดังรูป 3-25



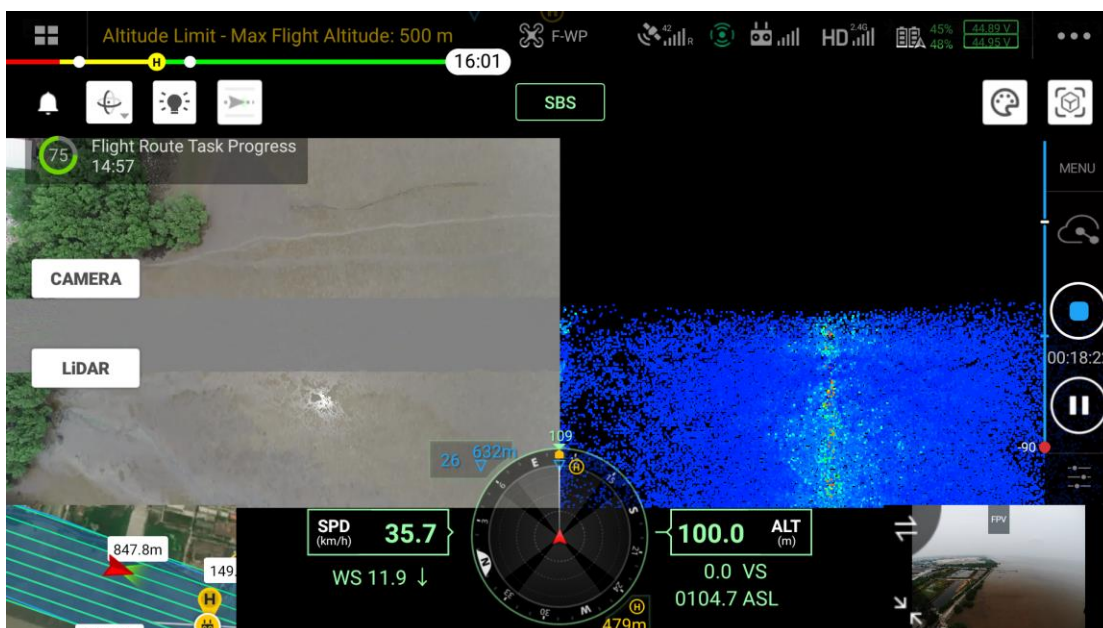
ก) การวางจุดตรวจสอบบนโครงสร้างที่ บ้านสีลัง ข) การวางจุดตรวจสอบบนพื้นดินที่ บ้านสีลัง  
รูป 3-23 ตัวอย่างการวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน และจุดตรวจสอบ ที่บ้านสีลัง จ.ฉะเชิงเทรา



ก) การสำรวจระดับท้องทะเลในช่วงระดับน้ำลงต่ำสุด เพื่อให้ได้พื้นที่สำรวจขนาดใหญ่ขึ้น  
ข) การควบคุมโดรนจากระยะไกล

รูป 3-24 ตัวอย่างการสำรวจในช่วงเวลาที่น้ำลงต่ำ และการควบคุมโดรนจากระยะไกล ระหว่างการสำรวจที่ บ้านบางปูใหม่ จ.สมุทรปราการ





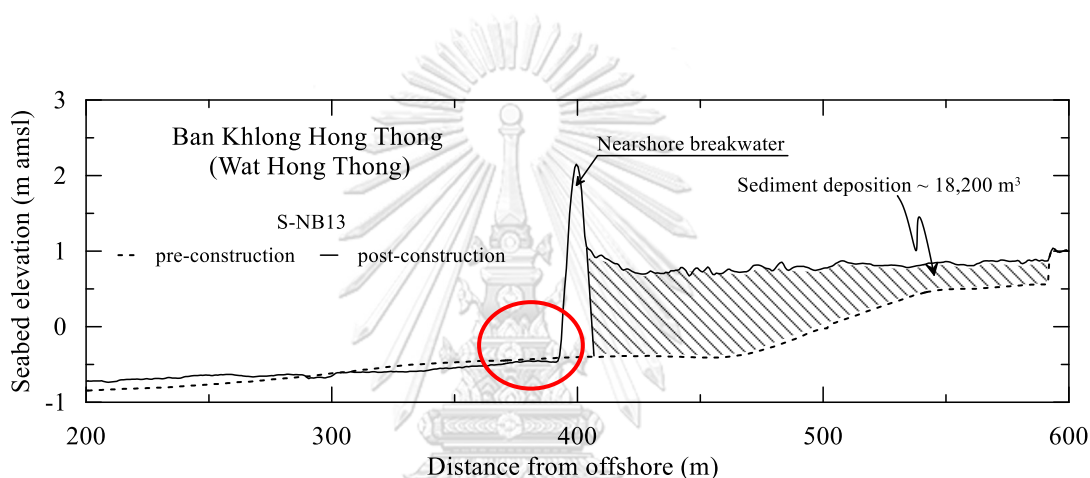
รูป 3-25 ตัวอย่างการแสดงผล photogrammetry และ LiDAR point cloud ขณะดำเนินการสำรวจ ด้วย UAV-LiDAR

### 3.4 การศึกษาประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งในการดักตะกอน

ถึงแม้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งที่คำนวณได้จากข้อมูลภาพ ก่อนและหลังจากมีโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง มักถูกนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง เนื่องจากข้อมูลภาพมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับท้องทะเลที่ได้จากการสำรวจภาคพื้นดิน แต่สำหรับชายหาดเลนที่ใช้แนวพืชพันธุ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวป่าชายเลนเป็นตัวแทนแนวชายฝั่ง อาจทำให้การประเมินประสิทธิผลในการป้องกันชายฝั่งของโครงสร้างแต่ละชนิดมีความไม่สมบูรณ์ เนื่องจากป่าชายเลนสามารถดำรงชีวิตอยู่ และขยายอาณาเขตได้ในพื้นที่หาดเลนที่มีระดับน้ำเหมาะสมเท่านั้น ซึ่งโครงสร้างแต่ละชนิดมีอัตราการสะสมตัวของตะกอนที่แตกต่างกัน อีกทั้งระดับน้ำทะเลมีความผันแปรไปในแต่ละพื้นที่ ส่งผลให้อัตราการขยายตัวของป่าชายเลนและแนวชายฝั่ง อาจไม่สอดคล้องกับอัตราการสะสมตัวของตะกอนที่ได้รับอิทธิพลจากการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งบางชนิดได้

ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ข้อมูลระดับท้องน้ำที่ได้จากการสำรวจ UAV-LiDAR ในการประเมินประสิทธิผลของโครงสร้างแต่ละชนิดในการดักตะกอนด้านหลังโครงสร้าง เนื่องจากข้อมูลระดับท้องทะเลชายฝั่งก่อนการก่อสร้างโครงสร้างแต่ละชนิด ไม่มีการให้บริการ ทำให้ขาดข้อมูลพื้นฐานในการประเมินการเปลี่ยนแปลงระดับท้องทะเล อันเนื่องจากการติดตั้งโครงสร้าง อย่างไรก็ตามจากการ

สำรวจภาคสนาม และการสอบถามข้อมูลการติดตั้งโครงสร้างจากประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ศึกษา พบว่า ระดับการติดตั้งของเขื่อนกันคลื่นนั้น โดยทั่วไปจะก่อสร้างบนระดับท้องทะเลเดิม และจากการเปรียบเทียบระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้างก่อนการก่อสร้าง (Saengsupavanich, 2013) และหลังการก่อสร้าง (จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ในปี 2564) พบว่ามีค่าระดับใกล้เคียงกัน ดังรูป 3-26 ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงใช้ความแตกต่างระหว่างระดับท้องน้ำด้านหน้าและด้านหลังของโครงสร้าง ในประเมินประสิทธิภาพในการดักตะกอนของโครงสร้างแต่ละชนิด โดยอัตราการดักตะกอนของโครงสร้าง คำนวณจาก ผลต่างระหว่างระดับท้องน้ำด้านหน้าและด้านหลังโครงสร้าง ทหารด้วยระยะเวลาหลังจากการก่อสร้างจนถึงปีที่สำรวจ (ม./ปี)



รูป 3-26 ระดับท้องน้ำก่อน-หลังการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งที่บ้านสีลัง จ.ฉะเชิงเทรา

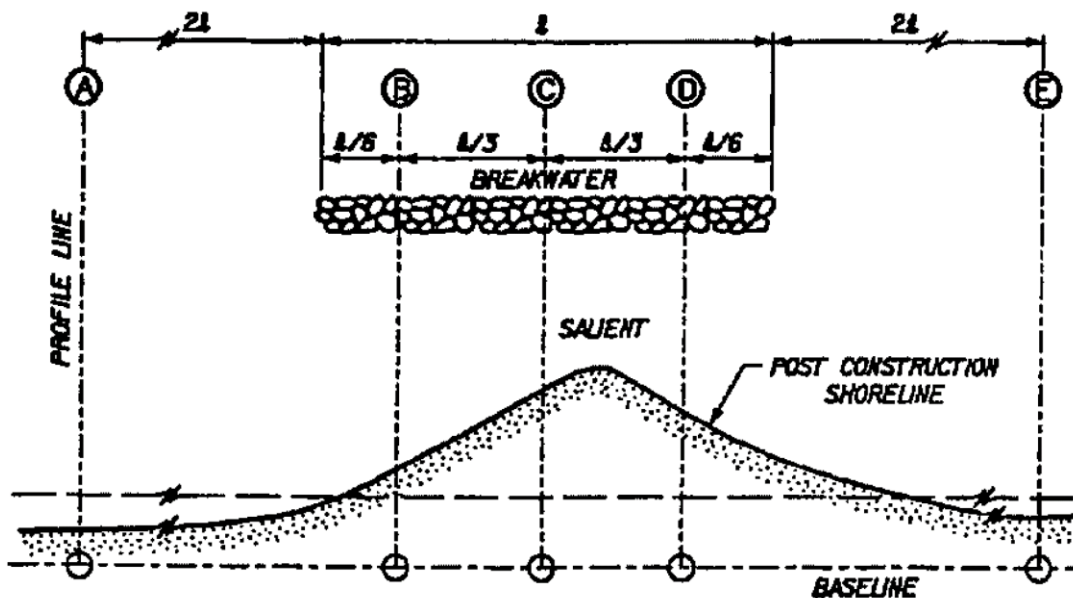
### 3.5 การสร้างเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นในหาดเลน

การศึกษาเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นสำหรับป้องกันชายหาดเลน ในการศึกษาครั้งนี้ จะศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบ และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของชายฝั่งต่อการมีอยู่ของโครงสร้าง ที่วิเคราะห์ได้จากข้อมูลสำรวจ UAV-LiDAR โดยในพื้นที่ศึกษามีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่น 2 ชนิด คือ เขื่อนกันคลื่นแบบจมน้ำ (submerged breakwater) และ เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (nearshore breakwater) สำหรับตัวแปรออกแบบและตัวแปรการตอบสนองของชายฝั่ง เมื่อมีโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น ที่เลือกนำมาใช้ในการสร้างเกณฑ์การออกแบบ อ้างอิงตามวิธีการสร้างเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นสำหรับหาดทรายของ U.S Army Corp. of Engineer, USACE (1992) โดยศึกษาเกณฑ์การออกแบบแยกตามชนิดของเขื่อนกันคลื่น และมีรายละเอียดการศึกษา ดังต่อไปนี้

สำหรับหน้าตัดตามขวางของแนวชายฝั่งที่จะใช้วิเคราะห์ตัวแปรออกแบบ และตัวแปรตาม ได้ศึกษาจากหน้าตัดที่อยู่ตรงกลางเขื่อนกันคลื่น หรือครึ่งหนึ่งของความยาวโครงสร้าง ( $L/2$ ) และห่างออกไปจากกึ่งกลางโครงสร้างเป็นระยะทาง  $1/3$  ของความยาวโครงสร้าง ( $L/3$ ) รวมศึกษาทั้งสิ้น 3 หน้าตัดต่อหนึ่งโครงสร้าง ดังแสดงในรูป 3-27

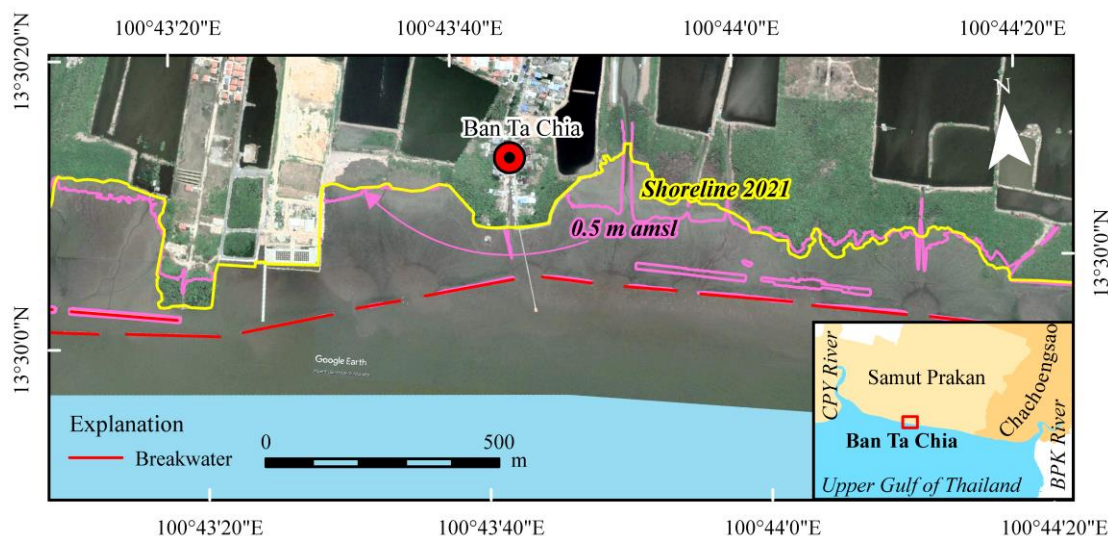
การศึกษาเกณฑ์การออกแบบในครั้งนี้ มีสมมติฐานในการศึกษาว่า “เส้นแนวชายฝั่ง หรือระดับดินด้านหลังโครงสร้าง น่าจะปรับตัวเข้าสู่สมดุลแล้ว (equilibrium shoreline)” เนื่องจากเขื่อนกันคลื่นนอกชายฝั่งถูกสร้างมาแล้วกว่า 16 ปี (ตั้งแต่ปี 2548 ถึงปัจจุบัน)

จากการศึกษาแนวป่าชายเลนในพื้นที่ชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา ด้วยข้อมูลสำรวจจาก UAV-LiDAR พบว่าการเจริญเติบโตของป่าชายเลน ในพื้นที่ศึกษามีขอบเขตโดยเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 0.5 ม.รทก. ในกรณีที่ไม่มีโครงสร้างอื่นป้องกันแนวป่าชายเลน เช่น การใช้เขื่อนหินทิ้ง หรือการก่อสร้างออกไปด้านนอกแนวชายฝั่ง (land reclamation) หรือการสร้างกำแพงกันคลื่น เป็นต้น ดังแสดงในรูป 3-28 ดังนั้น ขอบเขตของป่าชายเลนที่เป็นตัวแทนเส้นแนวชายฝั่งในการศึกษานี้ จึงถูกอ้างอิงที่ระดับ 0.5 ม.รทก. เพื่อใช้ในการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบ และตัวแปรตาม ซึ่งจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นในหาดเลน



ที่มา : USACE (1992)

รูป 3-27 ตัวอย่างหน้าตัดขวางที่ใช้ในการศึกษาเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่น



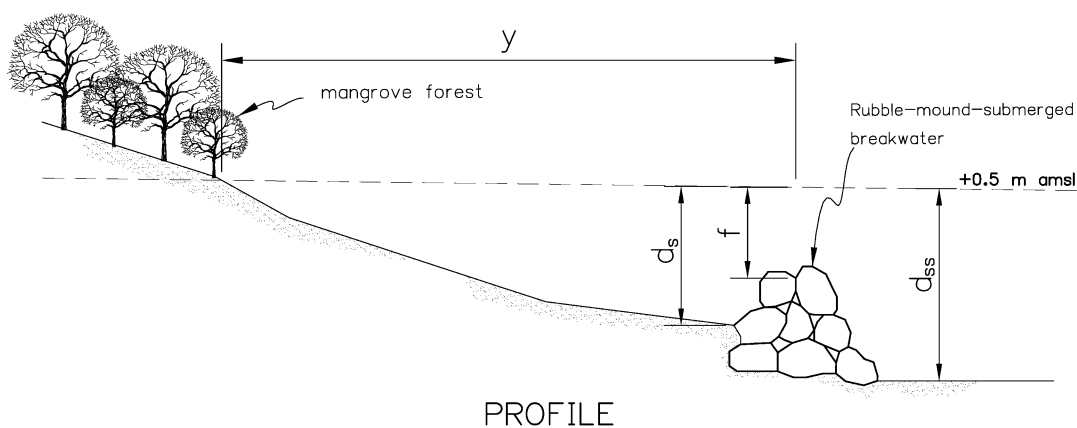
รูป 3-28 ตัวอย่างเส้นแนวชายฝั่งในปี 2564 และเส้นชั้นความสูงระดับ 0.5 ม.รทก.

### 3.5.1 เชือกกันคลื่นแบบจมน้ำ (submerged breakwater)

สำหรับการสร้างเกณฑ์การออกแบบเชือกกันคลื่นแบบจมน้ำในครั้งนี้ เลือกตัวแปรออกแบบที่ใช้ในการสร้างศึกษา (ตัวแปรต้น) ได้แก่ ระดับด้านหน้าเชือกกันคลื่น ( $d_{ss}$ ) ระยะห่างจากแนวชายฝั่งถึงเชือกกันคลื่น ( $y_s$ ) และตัวแปรการตอบสนองของชายฝั่งต่อโครงสร้าง (ตัวแปรตาม) คือ ระดับดินที่ทับถมด้านหลังเชือกกันคลื่น ( $d_s$ ) สำหรับ ตัวอย่างการวัดค่าตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา แสดงในรูป 3-29 และรายละเอียดของตัวแปรต่าง ๆ มีคำอธิบายดังต่อไปนี้

ตัวแปรออกแบบ ได้แก่  $d_{ss}$  คือ ความลึกท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้างจากท้องน้ำถึงระดับอ้างอิง โดยในการศึกษานี้ใช้ระดับอ้างอิงที่ 0.5 ม.รทก. (ระดับน้ำที่ป่าชายเลนสามารถเจริญเติบโตได้),  $y$  คือ ระยะจากแนวชายฝั่งถึงโครงสร้างเชือกกันคลื่น,  $f$  คือ ระยะจากสันโครงสร้างถึงระดับอ้างอิง ในขณะที่ ตัวแปรตาม ได้แก่  $d_s$  คือ ความลึกท้องน้ำด้านหลังโครงสร้าง โดยวัดจากระดับท้องน้ำถึงเส้นอ้างอิง

การสร้างเกณฑ์การออกแบบของเชือกกันคลื่นแบบจมน้ำ ใช้ความสัมพันธ์ไร้มิติระหว่างตัวแปรออกแบบและตัวแปรตาม เช่น  $y_s/d_s$  และ  $f/d_{ss}$  เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้เกณฑ์การออกแบบกับเงื่อนไขการออกแบบกับหาดเลนในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีสภาพคลื่นและกระแสน้ำคล้ายคลึงกับชายฝั่งเจ้าพระยาฝั่งตะวันออก



ดัดแปลงมาจาก: USACE (1992)

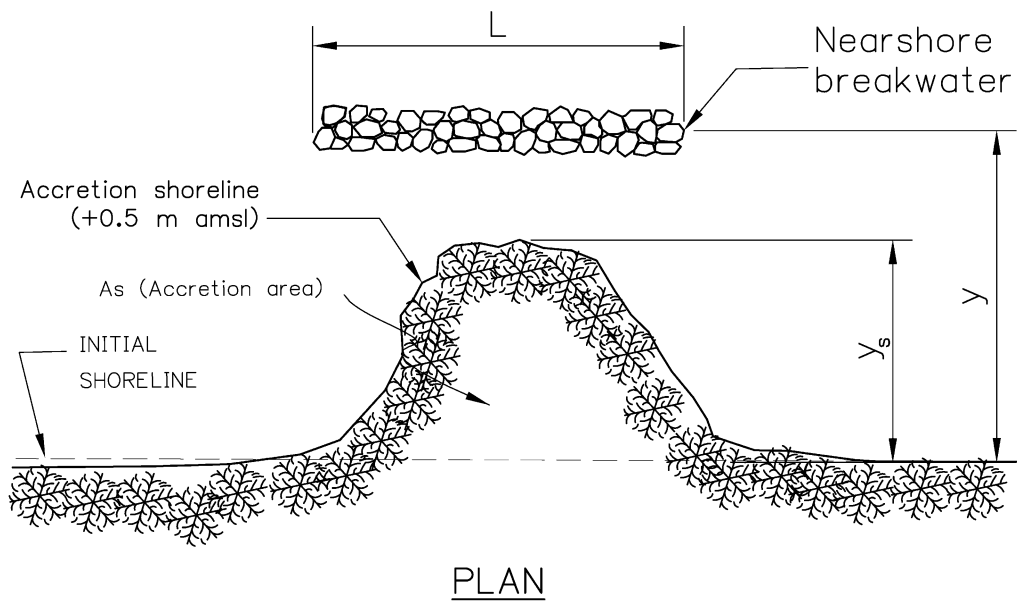
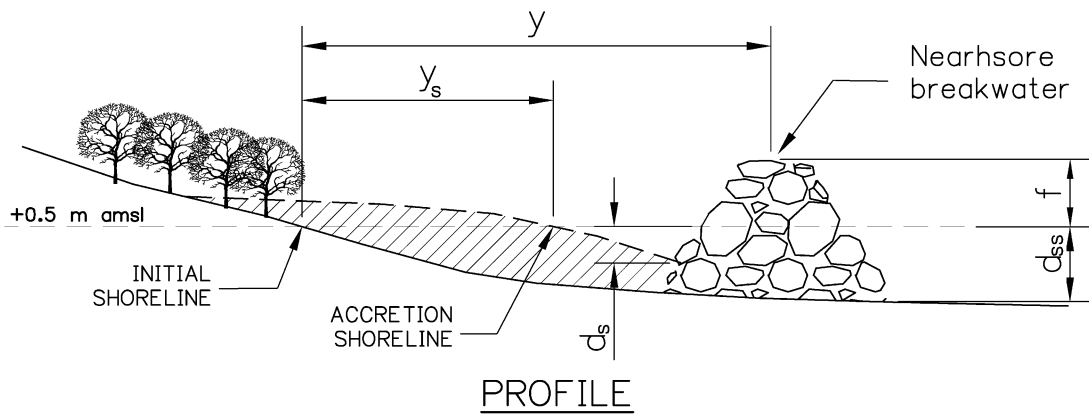
รูป 3-29 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแบบจมน้ำ

### 3.5.2 เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (nearshore breakwater)

เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งจะศึกษา ตัวแปรออกแบบ ได้แก่ ความยาวเขื่อนกันคลื่น ( $l$ ) ระยะห่างจากแนวชายฝั่งถึงเขื่อนกันคลื่น ส่วนตัวแปรการตอบสนองของชายฝั่งต่อโครงสร้าง ได้แก่ ระยะงอกของชายฝั่ง ( $y_s$ ) และพื้นที่งอกของชายฝั่งด้านหลังเขื่อนกันคลื่น ( $A_s$ ) สำหรับรายละเอียดของตัวแปรต่าง ๆ แสดงดังรูป 3-30

การวัดค่าของระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นถึงโครงสร้าง วัดจากแนวชายฝั่งก่อนการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ถึงแนวโครงสร้าง โดยในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดระดับ 0.5 ม.รทก. เป็นระดับของแนวชายฝั่ง ในขณะที่การวัดระยะงอกชายฝั่ง วัดระยะทางจากแนวชายฝั่งเริ่มต้นจนถึงจุดตัดกับเส้นระดับ 0.5 ม.รทก. ในกรณีที่ระดับดินด้านหลังโครงสร้างมีความสูงมากกว่า 0.5 ม.รทก. จะพิจารณาว่าแนวชายฝั่งเกิดการงอกจนชิดกับตัวโครงสร้าง (tombolo)

การสร้างเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง จะใช้ความสัมพันธ์ไร้มิติ ระหว่างตัวแปรออกแบบ และตัวแปรตาม เช่น  $y/l$  (ตัวแปรออกแบบ) และ  $y_s/y$  (ตัวแปรตาม) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการหาระยะที่งอกของแนวชายฝั่ง ในขณะที่ ความสัมพันธ์ระหว่าง  $y/l$  (ตัวแปรออกแบบ) และ  $A_s/y_l$  (ตัวแปรตาม) จะใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินพื้นที่งอกของแนวชายฝั่ง



ดัดแปลงมาจาก: USACE (1992) **ภาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**  
 รูป 3-30 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

#### 4.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การตอบสนอง ของแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาต่อโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง และประเมินประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งแต่ละชนิด ได้แก่ เชือกกันคลื่นแบบจมน้ำ (ไส้กรอกทราย และเชือกหินทิ้ง) เชือกกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง นอกจากนี้ในบางพื้นที่มีการก่อสร้างไม่ไผ่ชะลอกคลื่นอยู่ด้านหลังเชือกกันคลื่นนอกชายฝั่ง ดังนั้นการศึกษาประสิทธิผลของเชือกกันคลื่นในครั้งนี้ จึงพิจารณาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากการปักไม้ไผ่ชะลอกคลื่นร่วมด้วย เพื่อให้ผลของการศึกษาประสิทธิผลของโครงสร้างในครั้งนี้ มีความสมบูรณ์ และสามารถนำไปใช้เพื่อประกอบการวางนโยบายในการป้องกันชายฝั่งได้

สำหรับศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในครั้งนี้ แบ่งการพิจารณาออกเป็น 6 ส่วน คือ 1) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนมีโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง (ปี 2497–2539) 2) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังจากการก่อสร้างกำแพงกันคลื่น (ปี 2539–2545) 3) การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งหลังการก่อสร้างเชือกไส้กรอกทราย (ปี 2545–2557) 4) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังมีโครงสร้างเชือกกันคลื่นแบบหินทิ้ง (2557–2564) 5) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังจากมีโครงสร้างเชือกกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (2557–2564) และ 6) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังจากมีการติดตั้งโครงสร้างไม้ไผ่ชะลอกคลื่น (2553–2564) โดยภาพรวมการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา และชายฝั่งที่ถูกป้องกันโดยโครงสร้างแต่ละชนิดในช่วงเวลาต่าง ๆ สรุปดังตาราง 4-1 ส่วนผลการวิเคราะห์อัตรา การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากการก่อสร้างโครงสร้างแต่ละชนิดถูกแสดงไว้ใน **ภาคผนวก ข** และผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงเวลา มีรายละเอียดในหัวข้อย่อยต่อไปนี้

ตาราง 4-1 สรุปภาพรวมการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา และชายฝั่งที่ถูกป้องกันโดยโครงสร้างแต่ละชนิด

ช่วงเวลา	แนวชายฝั่งที่เกิดการงอกเพิ่ม (%)	แนวชายฝั่งที่เกิดการถดถอย (%)	แนวชายฝั่งที่มีเสถียรภาพ (%)
การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา			
2497–2539	46	53	1
2539–2545	12	69	19
2545–2553	9	56	35
2553–2554	13	25	62
2554–2556	14	22	64
2556–2557	5	17	78
2557–2559	18	18	64
2559–2561	27	17	56
2561–2564	23	10	68
การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกันโดยโครงสร้าง หลังจากการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง			
2545–2553 (ใส่กรอกทราย)	6	88	6
2559–2564 (เชื่อมกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้ง)	57	28	15
2559–2564 (เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง)	82	0	18
2557–2564 (ไม่ใส่ชะลอคลื่น)	31	26	43

## CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 4.1.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนมีโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง

แนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยามีปัญหาการถดถอยของชายฝั่งอย่างรวดเร็วในหลายพื้นที่ในช่วงกว่า 60 ปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะพื้นที่แนวชายฝั่งใน จ.สมุทรปราการ (Bidorn et al., 2018) รูป 4-1ก แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในพื้นที่ศึกษา ระหว่างปี 2497–2539 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า 46% ของความยาวชายฝั่ง ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยาและบางปะกง เกิดการงอกของชายฝั่ง โดยคิดเป็นอัตราการงอกเฉลี่ย 5.3 ม./ปี สำหรับการงอกของแนวชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาตั้งแต่ Sta.0+000–11+300 ดังรูป 4-1ก คิดเป็นอัตราการงอกเฉลี่ยเท่ากับ 3.8 ม./ปี ในขณะที่การงอกของแนวชายฝั่งปากแม่น้ำบางปะกง มีอัตราการงอกเฉลี่ยเท่ากับ 5.3 ม./ปี ส่งผลให้มีพื้นดินของแนวชายฝั่งปากแม่น้ำเพิ่มขึ้นประมาณ 3.9 ตร.กม.



(9 เฮกตาร์/ปี) อย่างไรก็ตาม 53% ของแนวชายฝั่งเกิดการถอยร่นของแนวชายฝั่ง ด้วยอัตราการถดถอยของชายฝั่งเฉลี่ย -8.1 ม./ปี ซึ่งการถดถอยของแนวชายฝั่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณชายฝั่งบ้านตำหุ จ.สมุทรปราการ จนถึง บ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา (Sta.11+320-34+450) ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพื้นที่แนวชายฝั่งประมาณ 690 เฮกตาร์ ในช่วง 40 ปีก่อนมีมาตรการในการป้องกันชายฝั่ง หรือคิดเป็นอัตราการสูญเสียที่ดินประมาณ 17 เฮกตาร์/ปี โดยระยะถดถอยของชายฝั่งสูงสุดประมาณ 953 ม. (-23 ม./ปี) เกิดขึ้นที่บริเวณ บ้านคลองด่าน จ.สมุทรปราการ ดัง ตาราง 4-2 และรูป 4-1ก

ตาราง 4-2 สรุปการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาก่อนก่อสร้างเขื่อนกันคลื่น

ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	2497-2539	2539-2545
	(1954-1996)	(1996-2002)
ระยะการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งสุทธิเฉลี่ย (ม.)	-77 ±5	-65 ±5
ระยะการถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม.)	-953 ±5	-340 ±5
ระยะการงอกของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม.)	482 ±5	138 ±5
พื้นที่ชายฝั่งทั้งหมดที่ถูกกัดเซาะ (เฮกตาร์)	694 ±0.1	261 ±0.1
พื้นที่ชายฝั่งทั้งหมดที่งอกเพิ่ม (เฮกตาร์)	388 ±0.1	12 ±0.1
อัตราการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่ง (เฮกตาร์/ปี)	17 ±0.1	43 ±0.1
อัตราการงอกเพิ่มของพื้นที่ชายฝั่ง (เฮกตาร์/ปี)	9 ±0.1	2 ±0.1
แนวชายฝั่งที่งอกเพิ่ม (%)	46	12
แนวชายฝั่งที่ถดถอย (%)	53	69
แนวชายฝั่งที่มีเสถียรภาพ (%)	1	19
<b>อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง (ม./ปี)</b>		
อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	-2 ±0.1	-11 ±0.8
อัตราการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	12 ±0.1	23 ±0.8
อัตราการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	5 ±0.1	5 ±0.8
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	-23 ±0.1	-56 ±0.8
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	-8 ±0.1	-17 ±0.8

#### 4.1.2 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังจากมีโครงสร้างกำแพงกันคลื่น

ในปี 2537 กำแพงกันคลื่น ถูกสร้างขึ้นเพื่อรักษาเสถียรภาพของแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาตั้งแต่ ปากแม่น้ำเจ้าพระยา จนถึง บ้านตำหุ จ.สมุทรปราการ รวมความยาวประมาณ 10 กม. อย่างไรก็ตามผล การประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ระหว่างปี 2539-

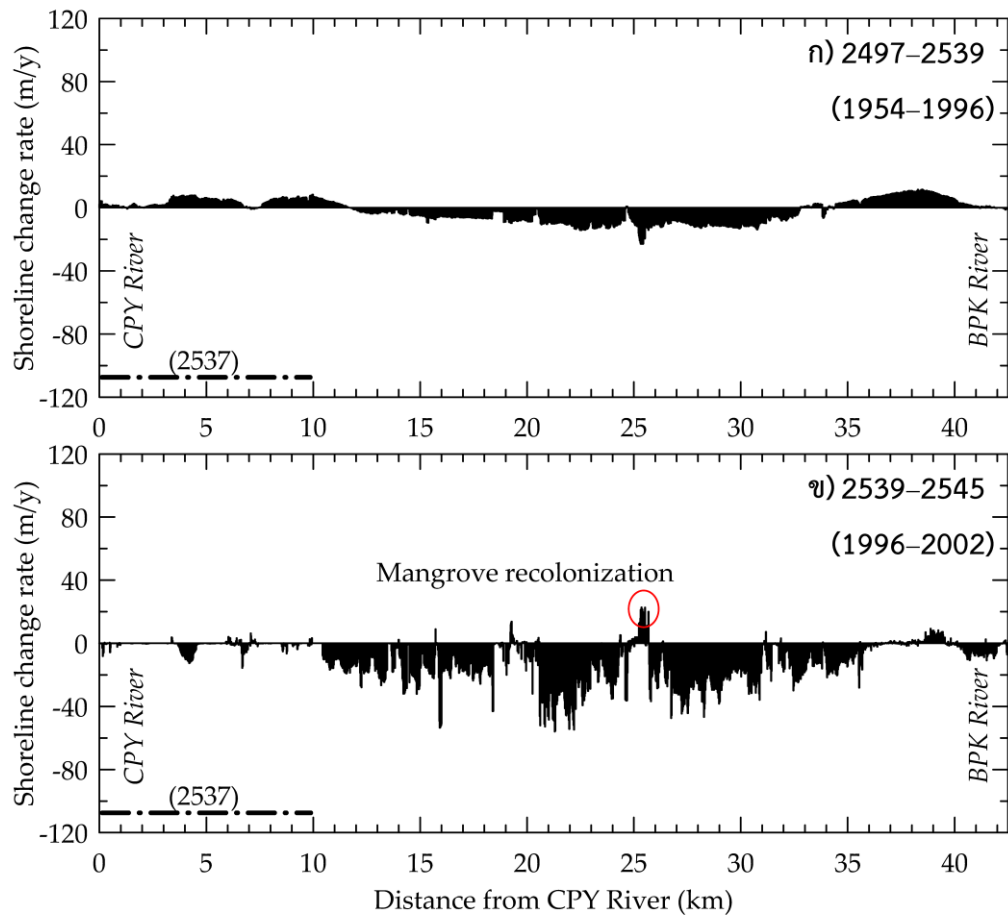
2545 ใน รูป 4-1ข และ ตาราง 4-2 แสดงให้เห็นว่า การสร้างกำแพงกันคลื่นส่งผลให้ 19% ของแนวชายฝั่งมีเสถียรภาพ โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในช่วงระหว่างปี 2539–2545 อย่างไรก็ตาม พื้นที่ชายฝั่งที่เหลือนั้น ซึ่งส่วนใหญ่อยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา กลับมีอัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (รูป 4-1ข) โดยมีอัตราการถดถอยเฉลี่ยของพื้นที่เพิ่มขึ้นมากกว่าช่วงปี 2497–2539 ถึงสองเท่า (-17 ม./ปี) ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งประมาณ 260 เฮกตาร์ คิดเป็นอัตราการสูญเสียประมาณ 40 เฮกตาร์/ปี นอกจากนี้ ถึงแม้ว่าอัตราการงอกของชายฝั่งเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษา จะมีค่าใกล้เคียงกับช่วง 2497–2539 แต่แนวชายฝั่งที่พบการงอกเพิ่มลดลงเหลือเพียง 12% ของแนวชายฝั่งทั้งหมด ทำให้เกิดพื้นที่งอกของชายฝั่งเพียง 12 เฮกตาร์ ( 2 เฮกตาร์/ปี) โดยอัตราการงอกของชายฝั่งสูงสุด (23 ม./ปี) ถูกพบที่ตอนกลางของแนวชายฝั่ง ในพื้นที่ปลูกป่าชายเลนในนาทุ่งร้าง (Sta.25+500) (รูป 4-1ข) ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ยังชี้ให้เห็นว่าชายฝั่งปากแม่น้ำที่เคยเกิดการงอกในช่วงปี 2497–2539 เริ่มมีแนวโน้มถอยร่นกลับเข้าไปในแผ่นดิน

#### 4.1.3 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างโครงสร้างใส่กรอกทราย

หลังจากการก่อสร้างกำแพงกันคลื่น ยังมีพื้นที่ชายฝั่งส่วนต่อจากกำแพงกันคลื่นที่ยังคงเกิดการถดถอยอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง (เฉลี่ย -17 ม./ปี) ในปี 2547–2548 กรมเจ้าท่าได้ก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นแบบจมน้ำ โดยใช้ใส่กรอกทราย จำนวน 112 ตัน ขนานกับแนวชายฝั่ง ตั้งแต่ บ้านเสาธง จ.สมุทรปราการ ไปจนถึง บ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา (Sta.12+280–Sta.37+680) สำหรับใส่กรอกทรายที่ใช้มีความสูงประมาณ 1 เมตร และมีความยาวระหว่าง 85–230 ม. โดยมีระยะติดตั้งห่างจากแนวชายฝั่งเดิม ผันแปรอยู่ในช่วง 6–560 ม. (ตาราง 3-9)

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระหว่างปี 2545–2553 (รูป 4-2ก) ของพื้นที่ศึกษา พบว่าหลังจากติดตั้งใส่กรอกทรายไปแล้ว ประมาณ 5 ปี แนวชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออกมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้นเป็น 35% ของแนวชายฝั่งทั้งหมด โดย 23% ยังคงเป็นแนวชายฝั่งที่ติดตั้งก่อสร้างกำแพงกันตลิ่ง (seawall) และอีก 12% เป็นแนวชายฝั่ง ที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของพื้นที่ศึกษา (รูป 4-2ก) โดยมีสาเหตุมาจากการก่อสร้างเขื่อนหินทิ้งโดยชุมชนที่อาศัยอยู่ตามแนวชายฝั่ง อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า แนวชายฝั่งในช่วงตอนกลางของพื้นที่ศึกษายังคงเกิดการถอยร่นอย่างต่อเนื่อง โดยคิดเป็น 56% ของแนวชายฝั่งทั้งหมด ทำให้เกิดการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งเพิ่มขึ้นถึง 1.85 ตร.กม. และถึงแม้ว่าอัตราการถดถอยเฉลี่ยของแนวชายฝั่งในช่วงปีนี้ จะลดลงเหลือ -9 ม./ปี แต่อัตราการถอยร่นสูงสุดของชายฝั่งกลับเพิ่มขึ้นเป็น -94 ม./ปี เนื่องจากการพังทลายของคันกั้นนาทุ่ง (รูป 4-2ก) ในส่วนของการงอกเพิ่มของพื้นที่ชายฝั่ง พบว่า เหลือเพียง 9% ของแนวชายฝั่งทั้งหมด โดยมีพื้นที่งอกเพิ่มประมาณ 0.13 ตร.กม. ส่วนบริเวณที่มีการงอกของชายฝั่งสูงสุด 186 ม. (23 ม./ปี)

พบที่ Sta.16+000 (รูป 4-2ก) ซึ่งเกิดจากการถมที่ (land reclamation) เพื่อฟื้นฟูพื้นที่น้ำท่วม นอกจากนั้น ผลการศึกษายังพบว่าชายฝั่งปากแม่น้ำบางปะกงซึ่งเคยเกิดการงอกเพิ่มอย่างต่อเนื่องในช่วงก่อนมีการสร้างไส้กรอกทราย เริ่มมีแนวโน้มถดถอยเข้าไปในแผ่นดิน

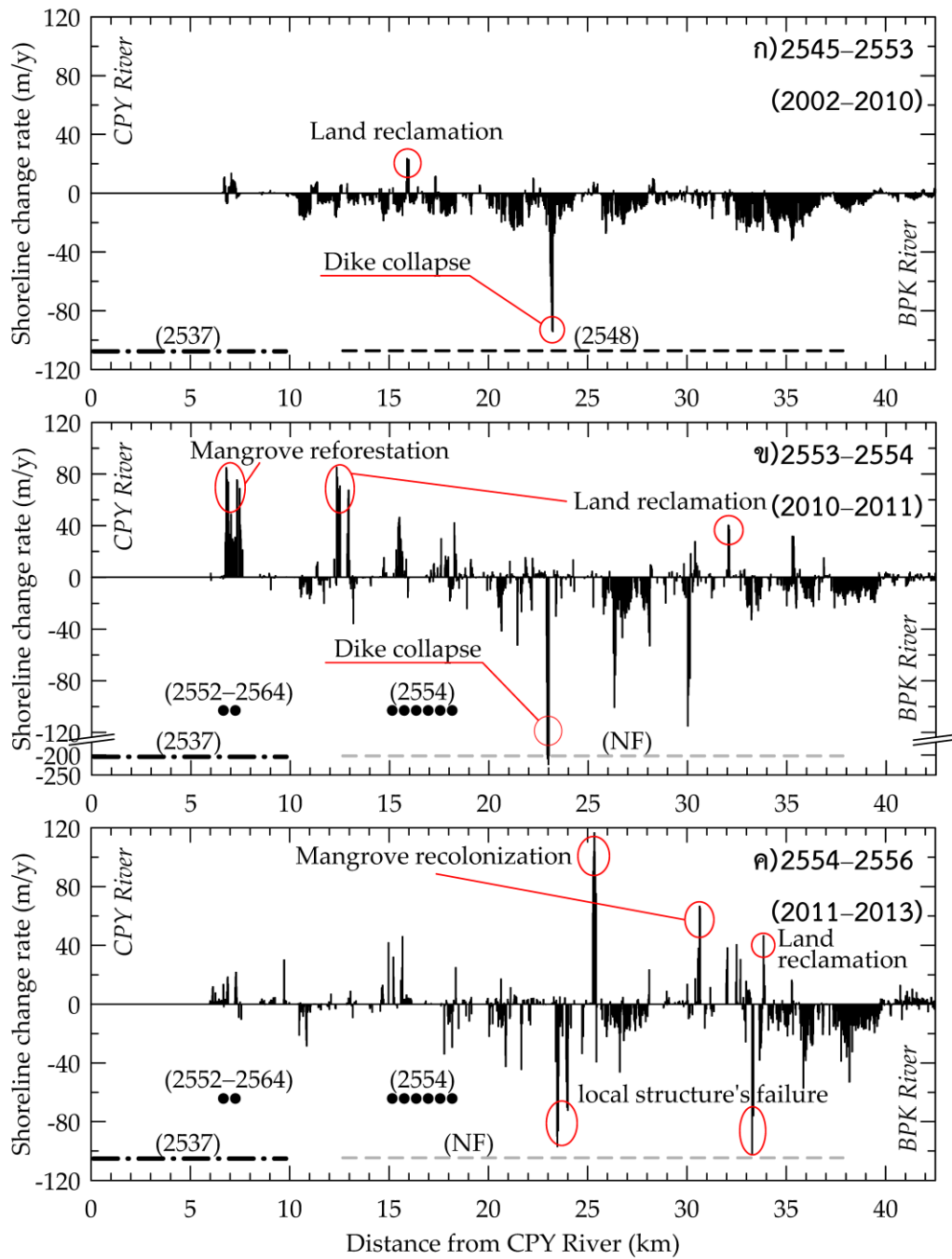


**Note**

- - - seawall      - - - sand sausage      — nearshore breakwater  
 ●●●● bamboo fence      - - - rubble-mound-submerged breakwater

CPY River = Chao Phraya River, BPK River = Bang Pakong River, NB=nearshore breakwater, NF= structure does not function

รูป 4-1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาก่อนการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่น  
 ก) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนมีโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง และ ข) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง  
 หลังจากมีโครงสร้างกำแพงกันคลื่น

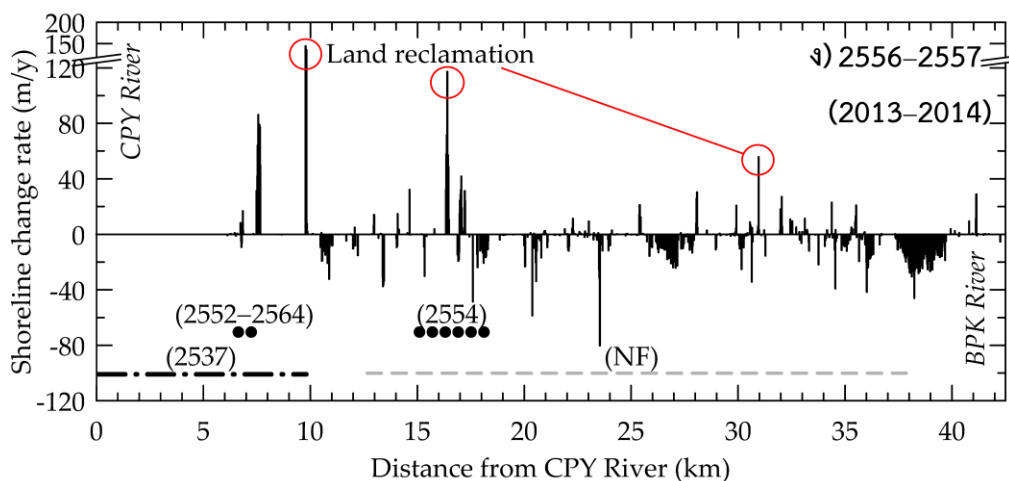


**Note**

- · — seawall                      - - - sand sausage                      — nearshore breakwater
- ● ● ● bamboo fence                      - - - rubble-mound-submerged breakwater

CPY River = Chao Phraya River, BPK River = Bang Pakong River, NB=nearshore breakwater, NF= structure does not function

รูป 4-2 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างไส้กรอกทรายระหว่าง ปี 2545-2556



#### Note

- seawall                      - - - sand sausage                      — nearshore breakwater
- bamboo fence                      - - - rubble-mound-submerged breakwater

CPY River = Chao Phraya River, BPK River = Bang Pakong River, NB=nearshore breakwater, NF= structure does not function

รูป 4-2 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างใส่กรอกทรายระหว่าง ปี 2545–2556 (ต่อ)

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะสั้นในช่วงปี 2553–2554 (รูป 4-2ข) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ชายฝั่งที่ยังคงเกิดการถอยร่น มีประมาณ 24.7% ของแนวชายฝั่ง และมีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ยสูงขึ้นเป็น -15 ม./ปี (ตาราง 4-3) การถดถอยระดับรุนแรงของชายฝั่งด้านหลังโครงสร้างใส่กรอกทราย (-45 ม./ปี ถึง -223 ม./ปี) ยังคงถูกพบตามชายฝั่ง ตั้งแต่กึ่งกลางแนวชายฝั่งพื้นที่ศึกษาไปทางปากแม่น้ำบางปะกงเป็นระยะทาง 7 กม. (Sta.23+000–Sta.30+120) ทั้งที่พื้นที่ดังกล่าวมีการติดตั้งใส่กรอกทรายห่างจากแนวชายฝั่งเพียง 50 ม. โดยการถอยร่นของแนวชายฝั่งสูงสุด เกิดขึ้นที่กึ่งกลางพื้นที่ศึกษา (Sta.23+000) เนื่องมาจากการพังของคันกั้นน้ำกึ่ง ส่งผลให้น้ำทะเลรุกเข้าท่วมพื้นที่น้ำกึ่ง ส่วนพื้นที่ชายฝั่งถดถอยรุนแรงที่เหลือ (Sta.26+320 ถึง Sta.26+400 และ Sta.30+020 ถึง Sta.30+120) เกิดจากแนวป่าชายเลนถอยร่น เนื่องจากการพังทลายของแนวหินทิ้งที่ชุมชนสร้างขึ้นเพื่อปกป้องแนวชายฝั่งของตนเอง ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นว่า ชายฝั่งด้านปากแม่น้ำเจ้าพระยา มีการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งบริเวณ สถานีตากอากาศบางปู (Sta.6+500 ถึง Sta.7+500) เนื่องจากในช่วงปี 2553 มีการปลูกป่าชายเลน ด้านหน้าโครงสร้างกำแพงกันตลิ่งเดิม และมีการปักแนวไม้ไผ่ล้อมรอบแนวป่าชายเลน นอกจากนี้ มีการก่อสร้างเขื่อนหินทิ้ง (revetment) ใกล้เคียงแนวชายฝั่งปากคลองบ้านเสารัง (ระหว่าง Sta.12+340 ถึง 12+520) ส่งผลให้แนวชายฝั่งในพื้นที่ดังกล่าว มีอัตราการงอกของชายฝั่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (47–85 ม./ปี)

ตาราง 4-3 สรุปการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างใส่กรอกทราย

ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	2545–2553 (2002–2010)	2553–2554 (2010–2011)	2554–2556 (2011–2013)	2556–2557 (2013–2014)
ระยะการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งสุทธิเฉลี่ย (ม.)	-49 ±1.2	-5 ±1.2	-4 ±1.2	-3 ±1.2
ระยะการถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม.)	-747 ±1.2	-331 ±1.2	-124 ±1.2	-77 ±1.2
ระยะการงอกของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม.)	186 ±1.2	126 ±1.2	142 ±1.2	139 ±1.2
พื้นที่ชายฝั่งทั้งหมดที่ถูกกัดเซาะ (เฮกตาร์)	186 ±0.1	22 ±0.1	15 ±0.1	10 ±0.1
พื้นที่ชายฝั่งทั้งหมดที่งอกเพิ่ม (เฮกตาร์)	13 ±0.1	13 ±0.1	8 ±0.1	5 ±0.1
อัตราการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่ง (เฮกตาร์/ปี)	23 ±0.1	22 ±0.1	8 ±0.1	10 ±0.1
อัตราการงอกของพื้นที่ชายฝั่ง (เฮกตาร์/ปี)	2 ±0.1	13 ±0.1	4 ±0.1	5 ±0.1
แนวชายฝั่งที่งอกเพิ่ม (%)	9	13	14	5
แนวชายฝั่งที่ถดถอย (%)	56	25	22	17
แนวชายฝั่งที่มีเสถียรภาพ (%)	35	62	64	78
<b>อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง (ม./ปี)</b>				
อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	-6 ±0.1	-3 ±1.2	-4 ±0.6	-3 ±1.2
อัตราการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	23 ±0.1	85 ±1.2	117 ±0.6	145 ±1.2
อัตราการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	5 ±0.1	15 ±1.2	10 ±0.6	21 ±1.2
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	-94 ±0.1	-224 ±1.2	-102 ±0.6	-80 ±1.2
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	-9 ±0.1	-15 ±1.2	-13 ±0.6	-12 ±1.2

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งช่วงปีข้อมูล 2554–2556 (2 ปี) ใน รูป 4-2ค พบว่า แนวชายฝั่ง 21.7% ของพื้นที่ศึกษา ยังคงเกิดการถดถอยอย่างต่อเนื่อง และยังเกิดการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งเพิ่มอีก 0.15 ตร.กม. สำหรับตำแหน่งที่เกิดการถดถอยอย่างรุนแรง ได้แก่ บริเวณบ้านคลองด่าน (Sta.23+460 ถึง Sta.24+000) และ บ้านคลองแสมขาว (Sta.33+280 ถึง Sta.33+340) ทั้งที่เป็นพื้นที่ที่มีการติดตั้งใส่กรอกทราย ห่างจากแนวชายฝั่งเริ่มต้นเพียง 50–75 ม. โดยมีอัตราการถดถอยของแนวชายฝั่ง ประมาณ -90 ม./ปี และ -100 ม./ปี ตามลำดับ สำหรับการถอยร่นอย่างรวดเร็วของแนวชายฝั่ง พบว่าเกิดจากการพังทลายของแนวหินทิ้งที่ถูกสร้างโดยชุมชนและเจ้าของที่ดิน ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นว่า 14% ของชายฝั่งยังพบการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่ง โดยเฉพาะตอนกลางของพื้นที่ชายฝั่ง แต่มีอัตราการงอกไม่สูงมากนัก (โดยเฉลี่ยน้อยกว่า 10 ม./ปี) ส่วนอัตราการงอกสูงสุด (100 ม./ปี) เกิดขึ้นที่บริเวณบ้านคลองด่าน (Sta.25+500) ซึ่งจากเกิดการงอกของป่าชายเลนอย่างรวดเร็วในพื้นที่นาทุ่งร้าง ส่วนตำแหน่งอื่น ๆ ที่มีการงอกของชายฝั่งสูงกว่า 40 ม./ปี ส่วนใหญ่เกิดจากการก่อสร้างเขื่อนกันตลิ่ง (revetment) ตามจุดต่าง ๆ ของชายฝั่ง โดยหน่วยงาน

ท้องถิ่น หลังจากนั้น ในช่วงปี 2556–2557 (รูป 4-2ง) พบว่า แนวชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยา ตะวันออกกว่า 78% ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนแนวชายฝั่งที่เกิดการรอกลดลง เหลือเพียง 5% ของแนวชายฝั่ง และการรอกเพิ่มของพื้นที่ชายฝั่งส่วนใหญ่ ยังคงเกิดจากการขยายอาณาเขตของป่าชายเลนด้านหลังเขื่อนกันคลื่น (revetment) ส่วนแนวชายฝั่งที่เหลืออีก 17% ยังคงเกิดการถดถอย โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งใกล้ปากคลองด่าน (Sta.23+460 ถึง Sta.24+000) ยังคงเกิดการถดถอยของชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง โดยมีอัตราการกัดเซาะสูงถึง -80 ม./ปี เนื่องจากแนวหินทิ้งป้องกันชายฝั่งของชุมชนจมน้ำ ทำให้น้ำทะเลและคลื่นรุกเข้ากัดเซาะแผ่นดินด้านหลังอย่างรวดเร็ว

ผลการเปรียบเทียบ อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อน (ปี 2539–2545) และหลังก่อสร้างโครงสร้างใส่กรอกทราย (2545–2553) ตามแนวชายฝั่งกว่า 25 กม. (ตาราง 4-4) แสดงให้เห็นว่า 6% ของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกันโดยใส่กรอกทราย ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ (น้อยกว่า  $\pm 1$  ม./ปี) และมีเพียง 6% ที่เกิดการรอกเพิ่มของแนวชายฝั่ง และค่าอัตราการรอกเพิ่มของแนวชายฝั่งเฉลี่ยก่อนการก่อสร้าง (2.9 ม./ปี) ลดลงเหลือ 1.4 ม./ปี หลังจากติดตั้งใส่กรอกทราย ส่วนชายฝั่งประมาณ 88% ของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกันโดยใส่กรอกทรายยังคงเกิดการถดถอยของแนวชายฝั่ง แต่อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง -7.7 ม./ปี (ลดลงครึ่งหนึ่งของอัตราการถดถอยของชายฝั่งก่อนการก่อสร้าง) สำหรับอัตราการถดถอยชายฝั่งสูงสุด (เกิดบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา) เพิ่มขึ้นจาก -43 ม./ปี เป็น -60 ม./ปี หลังการก่อสร้างใส่กรอกทราย พบว่าเกิดจากการรุกของน้ำทะเลเข้าหากุ้งเนื่องจากการพังของคันดินกั้นน้ำ

ตาราง 4-4 ผลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อน-หลังการก่อสร้างใส่กรอกทราย

เขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยใส่กรอกทราย		
ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	ก่อนก่อสร้าง (2539–2545)	หลังก่อสร้าง (2545–2553)
<b>อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกัน</b>		
อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	-14.0 $\pm$ 0.78	-6.9 $\pm$ 0.15
อัตราการรอกของชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	20.1 $\pm$ 0.78	8.9 $\pm$ 0.15
อัตราการรอกของชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	2.9 $\pm$ 0.78	1.4 $\pm$ 0.15
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	-42.7 $\pm$ 0.78	-60.0 $\pm$ 0.15
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	-15.8 $\pm$ 0.78	-7.7 $\pm$ 0.15
<b>การตอบสนองของแนวชายฝั่งต่อโครงสร้างป้องกันชายฝั่งหลังการก่อสร้าง (%)</b>		
เกิดการรอกของแนวชายฝั่ง	6%	
เกิดการถดถอยของแนวชายฝั่ง	88%	
แนวชายฝั่งมีเสถียรภาพ	6%	

#### 4.1.4 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง

หลังจากติดตั้งไส้กรอกทราย เกือบ 90% ของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกันโดยไส้กรอกทราย ยังคงเกิดการถดถอยของแนวชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากไส้กรอกทรายเกือบทั้งหมด ได้รับความเสียหาย หลังจากติดตั้งไปแล้ว 2-5 ปี ทำให้ทรายรั่วออกไปจากไส้กรอกทราย ส่งผลให้ระดับสันของโครงสร้าง กอปรกับการทรุดตัวของโครงสร้างที่ติดตั้งในหาดเลน ทำให้ระดับสันของโครงสร้างไส้กรอกทรายต่ำกว่าระดับเริ่มต้นที่ติดตั้งไว้ กรมเจ้าท่าปรับปรุงแบบของโครงสร้างไส้กรอกทรายให้เป็นเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้ง (rubble-mound-submerged breakwater) โดยการใช้หินวางเรียงบนโครงสร้างไส้กรอกทรายเดิมในปี 2558

จากข้อมูลการเปรียบเทียบแนวชายฝั่งปี 2557-2559 (หลังจากการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นแบบจมน้ำด้วยหินทิ้ง) (รูป 4-3ก) พบว่าแนวชายฝั่งที่มีการงอกเพิ่มมีถึง 18% ด้วยอัตราการงอกของแนวชายฝั่งเฉลี่ย 14 ม./ปี (ตาราง 4-5) สำหรับอัตราการงอกเพิ่มสูงสุด (245 ม./ปี) เกิดขึ้นในช่วงตอนกลางของชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา(Sta.24+000) เนื่องจากการถมคันกันน้ำเพื่อฟื้นฟูนาทุ่ง ส่วนการงอกของพื้นที่ชายฝั่งที่เหลือ ซึ่งอยู่บริเวณบ้านตาเจีย ถึงบ้านตาก็ (Sta.16+000 ถึง Sta.18+500) เป็นพื้นที่ที่ถูกป้องกันโดยใช้การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นตั้งแต่ปี 2554 โดยไม้ไผ่ชะลอคลื่นถูกติดตั้งห่างจากชายฝั่งประมาณ 100 ม. และอยู่ด้านหลังแนวป้องกันของเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่า แนวชายฝั่งที่เกิดการถดถอย เพิ่มขึ้นจาก 17% เป็น 18% ของแนวชายฝั่งทั้งหมด แต่อัตราการถดถอยเฉลี่ยลดลงเหลือ -11 ม./ปี โดยพื้นที่เกิดการถดถอยส่วนใหญ่ยังคงเกิดขึ้นใกล้ปากแม่น้ำบางปะกง (Sta.38+000 ถึง Sta.40+000) ดังรูป 4-3ก

ช่วง 2559-2561 (หลังจากการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นหินทิ้ง 3 ปี) ผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่ง (รูป 4-3ข) แสดงให้เห็นว่า แนวชายฝั่งที่มีการงอกเพิ่มขึ้นจาก 18% เป็น 27% ของแนวชายฝั่งทั้งหมด ด้วยอัตราการงอกเฉลี่ย 12 ม./ปี แนวชายฝั่งที่งอกเพิ่มส่วนใหญ่อยู่บริเวณชายฝั่งบ้านตาก็ (Sta.16+000-Sta.18+500) ซึ่งเกิดจากการขยายอาณาเขตของแนวป่าชายเลน พื้นที่ที่มีอัตราการงอกเพิ่มของชายฝั่งสูงสุด (89 ม./ปี) เกิดขึ้นที่บริเวณหมู่บ้านแฮปปี้แลนด์ซีวีว (Sta.14+900) ซึ่งมีสาเหตุมาก่อสร้างรุกเข้าไปในทะเล (land reclamation) (รูป 4-3ข) อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่มีอัตราการงอกของชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ (มากกว่า 25 ม./ปี) อยู่บริเวณที่เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งถูกสร้างขึ้นบริเวณบ้านคลองด่าน จ.สมุทรปราการ ถึงบ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา (Sta.28+000-Sta.33+000) อย่างไรก็ตาม ในช่วง 3 ปีหลังการก่อสร้างเขื่อน ไม่พบการถดถอยของแนวชายฝั่งที่มีนัยสำคัญ ส่วนอัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งเฉลี่ยลดลงเล็กน้อย (จาก -11 ม./ปี เหลือ -9 ม./ปี) ส่วนอัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุด (-50 ม./ปี) เกิดขึ้นบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา (Sta.20+380-Sta.22+240) ซึ่งเกิดจากการพังทลายของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งของชุมชนตั้งแต่ ปี



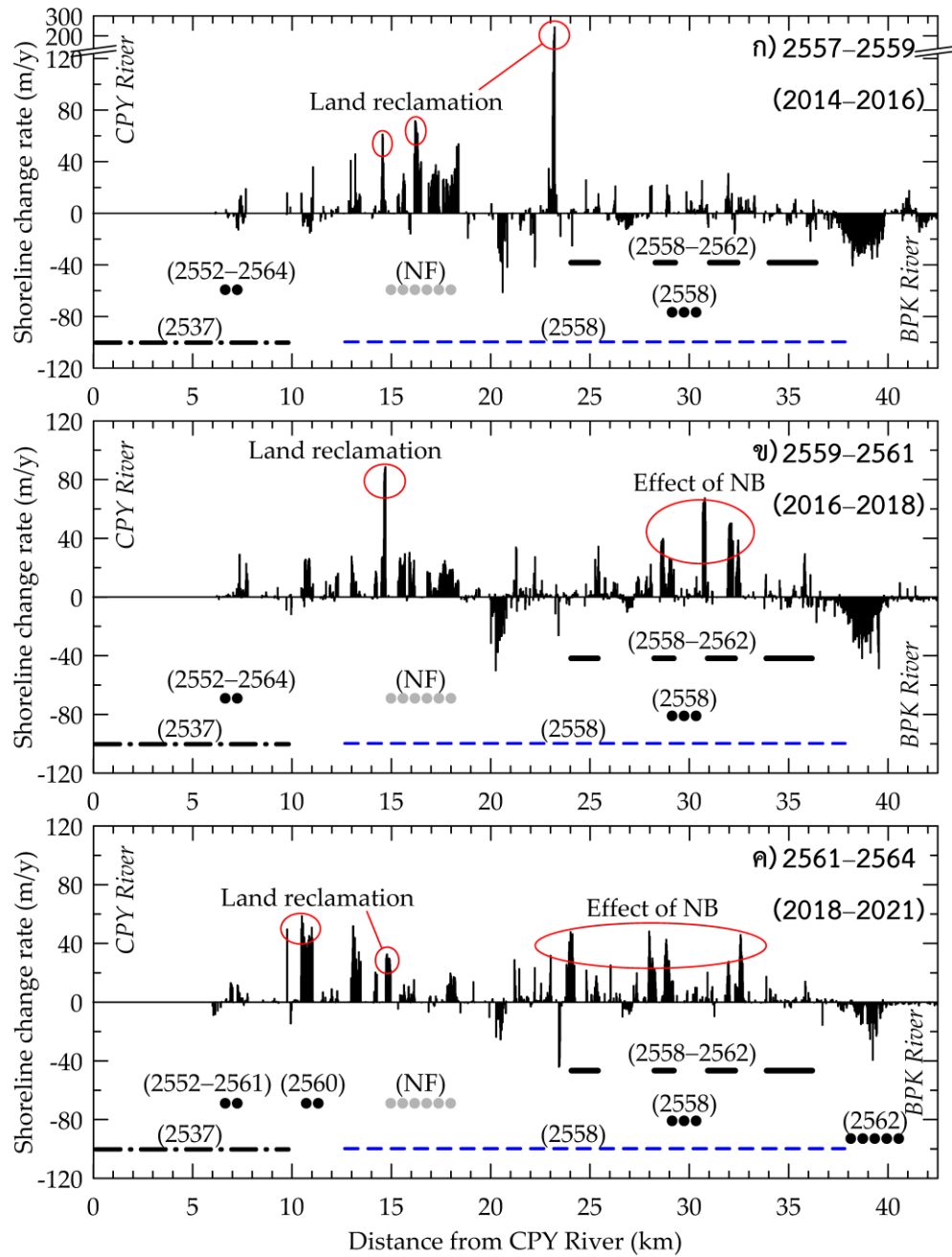
2554 ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวมีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง อยู่ห่างจากชายฝั่งเพียง 100–120 ม. โดยมีระยะถอยร่นของชายฝั่งสุทธิเฉลี่ยประมาณ 150 ม. นอกจากนี้ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงยังคงถดถอยอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการถดถอยเฉลี่ย -17 ม./ปี และอัตราการถดถอยสูงสุดประมาณ -49 ม./ปี

ตาราง 4-5 สรุปการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง และเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	2557–2559	2559–2561	2561–2564
	(2014–2016)	(2016–2018)	(2018–2021)
ระยะการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งสุทธิเฉลี่ย (ม.)	3 ±1.1	8 ±1.1	12 ±1.2
ระยะการถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม.)	-124 ±1.1	-141 ±1.1	-105 ±1.2
ระยะการงอกของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม.)	496 ±1.1	250 ±1.1	139 ±1.2
พื้นที่ชายฝั่งทั้งหมดที่ถูกกัดเซาะ (เฮกตาร์)	18 ±0.1	20 ±0.1	8 ±0.1
พื้นที่ชายฝั่งทั้งหมดที่งอกเพิ่ม (เฮกตาร์)	23 ±0.1	34 ±0.1	30 ±0.1
อัตราการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่ง (เฮกตาร์/ปี)	9 ±0.1	10 ±0.1	3 ±0.1
อัตราการงอกของพื้นที่ชายฝั่ง (เฮกตาร์/ปี)	12 ±0.1	17 ±0.1	10 ±0.1
แนวชายฝั่งที่งอกเพิ่ม (%)	18	27	23
แนวชายฝั่งที่ถดถอย (%)	18	17	10
แนวชายฝั่งที่มีเสถียรภาพ (%)	64	56	68
<b>อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง</b>			
อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	1 ±0.6	3 ±0.6	5 ±0.4
อัตราการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	245 ±0.6	89 ±0.6	59 ±0.4
อัตราการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	14 ±0.6	12 ±0.6	14 ±0.4
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	-61 ±0.6	-50 ±0.6	-44 ±0.4
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	-11 ±0.6	-9 ±0.6	-7 ±0.4

ใน ตาราง 4-6 ประสิทธิภาพผลของเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้งต่อการรักษาเสถียรภาพชายฝั่ง ตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา ถูกประเมินจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งก่อนและหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นฯ เฉพาะพื้นที่ที่ไม่มีการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งชนิดอื่น จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า หลังจากปรับปรุงโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นจากไส้กรอกทรายเป็นเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้ง พบว่า 57% ของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกัน เกิดการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่ง และแนวชายฝั่งที่เกิดการถดถอยลดลงเหลือเพียง 28% ของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกัน และแม้ว่าเปอร์เซ็นต์ของแนวชายฝั่งที่เกิดการงอกของชายฝั่งจะลดลงเล็กน้อย แต่อัตราการถดถอยของ

แนวชายฝั่งลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยลดลงจาก -5 ม./ปี ถึง -2 ม./ปี และอัตราการถดถอยสูงสุดลดลง -23 ม./ปี เหลือเพียง -13 ม./ปี



**Note**

- Seawall
- ..... Sand Sausage
- Nearshore Breakwater
- ..... Bamboo Fence
- - - - Rubble-mound-submerged breakwater

CPY River = Chao Pharaya River, BPK River = Bang Pakong River, NB=Nearshore Breakwater, NF= structure does not function

รูป 4-3 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเขื่อนกั้นคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง และเขื่อนกั้นคลื่นไกล้ชายฝั่ง

ตาราง 4-6 ผลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อน-หลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ  
ด้วยหินทิ้ง (rubble-mound-submerged breakwater)

เขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้ง		
ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	ก่อนก่อสร้าง (2553-2557)	หลังก่อสร้าง (2559-2564)
<b>อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกัน</b>		
อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	-2.3 ±0.23	1.7 ±0.23
อัตราการงอกของชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	18.5 ±0.23	19.1 ±0.23
อัตราการงอกของชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	3.0 ±0.23	3.7 ±0.23
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	-23.0 ±0.23	-13.3 ±0.23
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	-5.1 ±0.23	-2.2 ±0.23
<b>การตอบสนองของแนวชายฝั่งต่อโครงสร้างป้องกันชายฝั่งหลังการก่อสร้าง (%)</b>		
เกิดการงอกของแนวชายฝั่ง		57%
เกิดการถดถอยของแนวชายฝั่ง		28%
แนวชายฝั่งมีเสถียรภาพ		15%

#### 4.1.5 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

ถึงแม้ว่า การถดถอยของแนวชายฝั่งตลอดแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา ระหว่างปี 2557-2561 จะลดลงเหลือ 17-18% ของแนวชายฝั่งทั้งหมด ชุมชนที่อาศัยอยู่ตามแนวชายฝั่งที่อยู่ใกล้ปากคลองชายทะเล ส่วนใหญ่ยังคงได้รับผลกระทบจากการถดถอยของแนวชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง องค์การบริหารส่วนท้องถิ่น จึงดำเนินการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้แนวชายฝั่ง ระหว่างปี 2558-2562 ที่ปากคลองของแต่ละชุมชนตามแนวชายฝั่ง (#6-#10 ใน รูป 3-2) โดยมีความยาวและความสูงของเขื่อนกันคลื่นใกล้แนวชายฝั่ง อยู่ในช่วงระหว่าง 45-280 ม. และ 2-2.8 ม. ตามลำดับ ตัวโครงสร้างถูกก่อสร้างห่างจากแนวชายฝั่งประมาณ 40-280 ม. (ระยะห่างเฉลี่ย 130 ม.) (ตาราง 3-9)

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ระหว่างปี 2559-2561 (รูป 4-3ข) พบว่าที่บ้านสีลัง (Sta.28+000) และบ้านคลองหงษ์ทอง (Sta.30+680-30+820) เกิดการงอกของแนวชายฝั่งประมาณ 100 ม. (30-40 ม./ปี) และ 190 ม. (57-67 ม./ปี) ตามลำดับ สำหรับชายฝั่งบ้านคลองหงษ์ทอง จ.ฉะเชิงเทรา (Sta.31+860-32+680) พบว่าด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง มีระยะงอกสุทธิจากแนวชายฝั่งเดิมถึงตัวโครงสร้างประมาณ 140 ม.

(38 ม./ปี) โดยการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งทั้งสามตำแหน่งเป็นผลมาจากการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งในปี 2558–2559

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ระหว่างปี 2561–2564 (ตาราง 4-5) พบว่าร้อยละของแนวชายฝั่งที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเพิ่มขึ้นจาก 56% เป็น 68% ของแนวชายฝั่งทั้งหมด ถึงแม้ว่าแนวชายฝั่งที่เกิดการงอกจะลดลงเหลือ 23% ของแนวชายฝั่งทั้งหมด แต่อัตราการงอกของชายฝั่ง เพิ่มขึ้นเป็น 14 ม./ปี ส่วนอัตราการงอกของชายฝั่งสูงสุดมีค่า ประมาณ 41–48 ม./ปี และเกิดขึ้นระหว่างชายฝั่งบ้านคลองด่านถึงบ้านคลองเจริญวัย (Sta.23+960–Sta.32+600) โดยเป็นตำแหน่งที่มีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (รูป 4-3ค) สำหรับแนวชายฝั่งที่เกิดการถดถอยมีความยาวประมาณ 10% ของแนวชายฝั่งทั้งหมด และอัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งลดลงเหลือ -7 ม./ปี ตำแหน่งที่เกิดการถดถอยยังคงพบที่ชายฝั่งใกล้ปากแม่น้ำบางปะกง (Sta.37+600–39+800) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่มีการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งจนกระทั่งปี 2562

จากตาราง 4-7 พบว่าชายฝั่งที่ถูกป้องกันโดยเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งคิดเป็น 82% ของแนวชายฝั่งที่ติดตั้งโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง อัตราการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 4 ม./ปี (ก่อนการก่อสร้าง) เป็น 11 ม./ปี (หลังการก่อสร้าง) ส่วนแนวชายฝั่งที่ไม่เปลี่ยนแปลงคิดเป็น 18% ของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกัน และไม่พบการถดถอยของแนวชายฝั่งด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งแต่อย่างใด

ตาราง 4-7 ผลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อน-หลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง		
ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	ก่อนก่อสร้าง (2553–2557)	หลังก่อสร้าง (2559–2564)
<b>อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกัน</b>		
อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	-0.9 ±0.23	9.8 ±0.23
อัตราการงอกของชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	10.3 ±0.23	30.9 ±0.23
อัตราการงอกของชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	3.9 ±0.23	11.0 ±0.23
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	-15.9 ±0.23	-0.2 ±0.23
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	-3.6 ±0.23	-0.1 ±0.23
<b>การตอบสนองของแนวชายฝั่งต่อโครงสร้างป้องกันชายฝั่งหลังการก่อสร้าง (%)</b>		
เกิดการงอกของแนวชายฝั่ง		82%
เกิดการถดถอยของแนวชายฝั่ง		0%
แนวชายฝั่งมีเสถียรภาพ		18%

#### 4.1.6 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังจากการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น

การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นถูกพิจารณาว่าเป็นโครงสร้างอ่อน (green nature-based solution) ถูกนำมาใช้ป้องกันชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาระหว่างปี 2552–2564 โดยกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง โดยปกติแล้วการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นไม่มีรูปแบบการเรียงตัวของโครงสร้างที่ตายตัว สำหรับไม้ไผ่ชะลอคลื่นจะถูกติดตั้งห่างจากชายฝั่งประมาณ 50–200 ม. จากชายฝั่งเริ่มต้น และมีความสูงอย่างน้อย 3 ม. จากท้องน้ำ และความยาวของโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ชายฝั่งที่ต้องการจะป้องกัน สำหรับการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นในพื้นที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออกอยู่ในช่วง ระหว่าง 100–4,140 ม. ดังตาราง 3-9

จากตาราง 4-8 พบว่า 43% ของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกันโดยไม้ไผ่ชะลอคลื่น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งด้านหลังโครงสร้างที่มีนัยสำคัญ และแนวชายฝั่งที่เกิดการงอกเพิ่มขึ้นเป็น 31% โดยมีอัตราการงอกเพิ่มเฉลี่ยประมาณ 5.5 ม./ปี ซึ่งสูงกว่าก่อนติดตั้งโครงสร้าง สำหรับอัตราการงอกเพิ่มสูงสุดของแนวชายฝั่ง พบที่บริเวณชายฝั่งใกล้สถานตากอากาศบางปู (Bang Pu Recreation Center) (Sta.6+400–Sta.7+780) เนื่องจากการปลูกป่าชายเลนด้านหลังโครงสร้างไม้ไผ่ชะลอคลื่น ตั้งแต่ปี 2552 สำหรับแนวชายฝั่งที่เกิดการถดถอยคิดเป็น 26% ของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกัน อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยของการถดถอยของแนวชายฝั่งลดลงเป็น -1.6 ม./ปี และอัตราการถดถอยสูงสุดประมาณ -3.2 ม./ปี เกิดขึ้นที่บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง (Sta.37+780–Sta.39+800) ดังรูป 4-3ค และแนวชายฝั่งยังคงเกิดการถดถอยอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

ตาราง 4-8 ผลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อน-หลังการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น

การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น		
ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	ก่อนก่อสร้าง (2553–2557)	หลังก่อสร้าง (2557–2564)
<b>อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกัน</b>		
อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	-2.3 ±0.23	3.7 ±0.23
อัตราการงอกของชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	1.5 ±0.23	12.2 ±0.23
อัตราการงอกของชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	0.83 ±0.23	5.5 ±0.23
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งสูงสุด (ม./ปี)	-9.9 ±0.23	-3.2 ±0.23
อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งเฉลี่ย (ม./ปี)	-4.2 ±0.23	-1.6 ±0.23
<b>การตอบสนองของแนวชายฝั่งต่อโครงสร้างป้องกันชายฝั่งหลังการก่อสร้าง (%)</b>		
เกิดการงอกของแนวชายฝั่ง		31%
เกิดการถดถอยของแนวชายฝั่ง		26%
แนวชายฝั่งมีเสถียรภาพ		43%

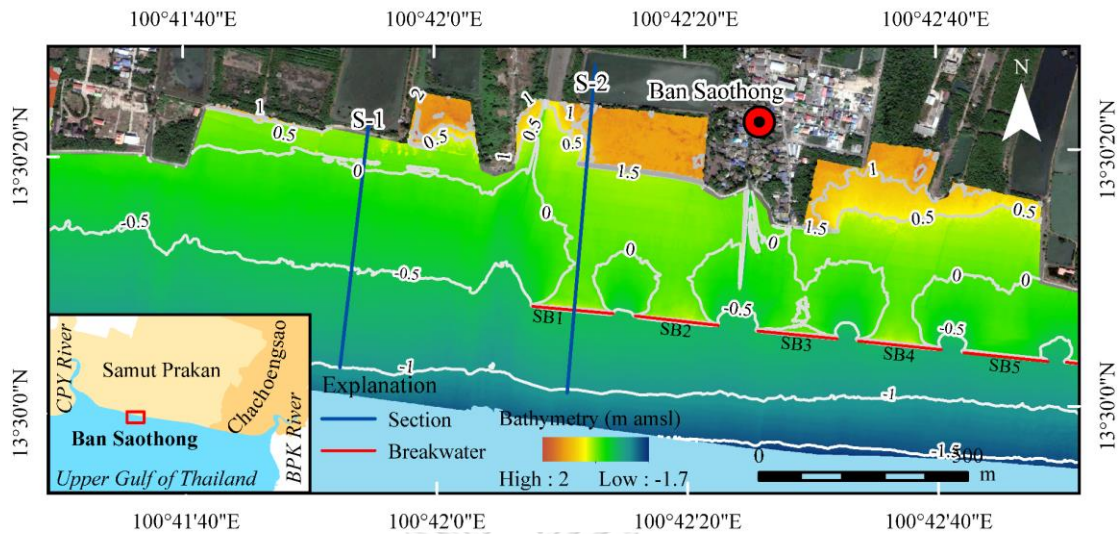
## 4.2 ผลการสำรวจประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งด้วย UAV LiDAR

ในการศึกษาครั้งนี้เทคนิค UAV-LiDAR ถูกนำมาใช้เพื่อการศึกษาประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาอันประกอบด้วย ได้แก่ เชือกกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง เชือกกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ ยังศึกษาลักษณะชายฝั่งในพื้นที่ ที่ไม่มีการก่อสร้างโครงสร้างด้านนอกชายฝั่ง เพื่อเปรียบเทียบลักษณะชายฝั่งระหว่าง กรณีไม่มีโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง และกรณีมีโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง โดยมีตำแหน่งสำรวจรวมทั้งสิ้น 10 ตำแหน่ง ตามแนวชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออกที่มีการก่อสร้างเชือกกันคลื่นสำหรับข้อมูลสำรวจที่ใช้ในการประเมินประสิทธิผลของโครงสร้างทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย ระดับท้องทะเล, ความลาดชันท้องทะเล ด้านหน้า และด้านหลังโครงสร้าง ซึ่งใช้ในการคำนวณระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง (sedimentation depth) สำหรับข้อมูลรูปตัดตามยาวของพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ถูกแสดงใน **ภาคผนวก ค** ส่วนผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR แสดงไว้ใน **ภาคผนวก ง** และผลการศึกษาประสิทธิผลของโครงสร้าง สามารถสรุปได้ดัง หัวข้อย่อยต่อไปนี้

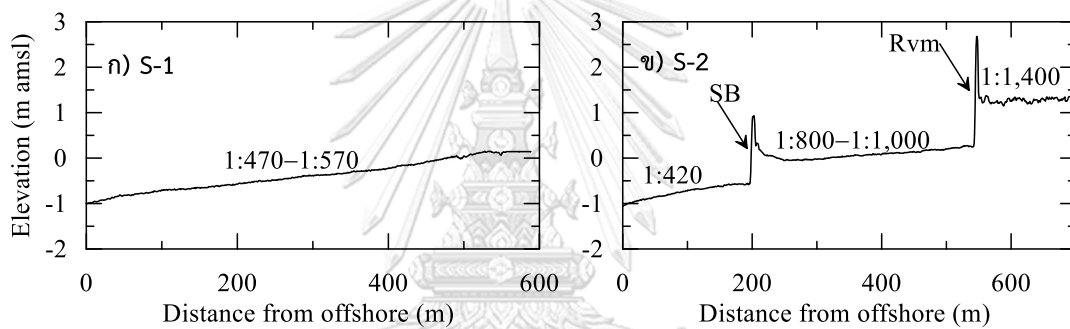
### 4.2.1 ลักษณะของชายฝั่งบริเวณที่ไม่มีการก่อสร้างเชือกกันคลื่น

การศึกษาลักษณะชายฝั่งบริเวณที่ไม่มีการก่อสร้างป้องกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อ เปรียบเทียบความชัน และค่าระดับพื้นดิน ระหว่างกรณีมีโครงสร้างเชือกกันคลื่น และกรณีไม่มีโครงสร้าง สำหรับใช้ประกอบการวิเคราะห์ประสิทธิผลของเชือกกันคลื่นตลอดแนวชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้ผลสำรวจ UAV-LiDAR ของพื้นที่ชายฝั่งบริเวณคลองเสาตรง เป็นข้อมูลตัวแทนลักษณะชายฝั่งที่ไม่มีการก่อสร้างเชือกกันคลื่น ดังรูป 4-4

จากผลการศึกษา พบว่าแนวชายฝั่งบ้านเสาตรงที่ไม่มีเชือกกันคลื่นป้องกันมีความชันท้องน้ำผันแปรระหว่าง 1:470 ถึง 1:570 นอกจากนี้ เส้นชั้นระดับท้องน้ำใน รูป 4-4 แสดงให้เห็นว่าเส้นระดับ 0 ม.รทก. ของพื้นที่ชายฝั่งบริเวณดังกล่าว อยู่ห่างจากแนวชายฝั่งที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายเทียม ประมาณ 50–90 ม. ในขณะที่ บริเวณข้างเคียงที่มีการก่อสร้างเชือกกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง มีการทับถมของตะกอน อันเนื่องมาจากเชือกกันคลื่นอย่างเห็นได้ชัดเจน ส่งผลให้ค่าระดับความสูงพื้นด้านหลังเชือกกันคลื่นมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0 ม.รทก. ซึ่งสูงกว่าบริเวณที่ไม่มีการก่อสร้างป้องกันชายฝั่ง ดังรูป 4-5



รูป 4-4 แนวชายฝั่งที่ไม่มีการก่อสร้างเชื่อมกันคลื่น (ตะวันตกของบ้านเสาธง จ.สมุทรปราการ)



Note: SB= เชื่อมกันคลื่นจมน้ำ, Rvm= เชื่อมกันตลิ่ง

รูป 4-5 การเปรียบเทียบระหว่างแนวชายฝั่งที่ไม่มีการก่อสร้างป้องกัน และแนวชายฝั่งข้างเคียงที่มีการก่อสร้างเชื่อมกันคลื่นจมน้ำ ก) แนวชายฝั่งที่ไม่มีการก่อสร้างโครงสร้าง ข) แนวชายฝั่งที่มีการก่อสร้างโครงสร้าง

#### 4.2.1 ประสิทธิภาพของโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง

ในการศึกษาประสิทธิภาพของโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง ใช้ข้อมูลการสำรวจด้วย UAV-LIDAR ในบริเวณพื้นที่ชายฝั่ง จำนวน พื้นที่ ตั้งแต่ บ้านเสาธง จ.สมุทรปราการ ถึง บ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา (Sta.12+200–Sta.37+700) จำนวน 9 พื้นที่ (ตาราง 4-9) รวมระยะทางประมาณ 25 กม. สำหรับผลการวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจ ในแต่พื้นที่สำรวจ มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 4-9 สรุปผลการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ของเขื่อนกั้นคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ตลอดแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

Location	Station		Ground Elev. (m amsl)						Diff Elev. (m)						Slope (1:S)						Sed <sub>rate</sub> (cm/y)					
			in front of			behind			min			max			avg			min						max		
			from	to	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min
1) Sao Thong	12+200	13+500	-0.7	-0.5	-0.6	-0.1	0.3	0.1	0.6	0.9	0.7	338	521	426	819	1,433	1,034	9±0.8	15±0.8	12±0.8						
2) Happy Land Sea View	13+500	14+500	-0.8	-0.7	-0.7	-0.6	-0.3	-0.4	0.1	0.4	0.3	382	478	421	338	1,433	725	2±0.8	7±0.8	5±0.8						
3) Ta Chia	14+500	15+500	-0.6	-0.1	-0.3	-0.4	0.3	0.0	0.2	0.4	0.3	230	319	283	410	1,146	694	4±0.8	7±0.8	6±0.8						
4) Ta Kok	15+500	18+700	-1.2	-0.2	-0.6	-1.0	0.3	-0.2	0.2	0.8	0.5	250	410	322	338	955	533	4±0.8	14±0.8	8±0.8						
5) Khlong Dan	20+900	26+800	-1.3	-0.3	-0.8	-0.9	0.1	-0.6	0.0	0.5	0.3	134	955	481	131	717	358	1±0.5	9±0.5	4±0.5						
6) Si Long	26+800	30+600	-0.9	-0.6	-0.7	-0.6	-0.3	-0.4	0.2	0.4	0.3	338	955	507	478	2,865	1,246	3±0.3	7±0.3	4±0.3						
7) Hong Thong	30+600	32+900	-1.2	-0.7	-0.9	-0.9	-0.4	-0.6	0.2	0.5	0.3	382	955	55	338	1,146	759	4±0.5	8±0.5	6±0.5						
8) Samae Khao	32+900	34+800	-1.0	-0.6	-0.9	-0.5	-0.2	-0.4	0.3	0.6	0.5	441	717	560	637	1,433	1,162	6±0.3	10±0.3	8±0.3						
9) Charoen Wai	34+800	37+700	-0.7	-0.5	-0.6	-0.4	0.0	-0.2	0.3	0.5	0.4	287	521	400	819	5,730	1,685	5±0.2	9±0.2	6±0.2						

Note: min=minimum, max=maximum, avg=average, Diff elev.=ความแตกต่างระหว่างระดับของทะเลด้านหน้าและด้านหลังโครงสร้าง, S<sub>i</sub>= ความลาดชันของทะเล

ด้านหน้าโครงสร้าง, S<sub>b</sub>= ความลาดชันของทะเลด้านหลังโครงสร้าง, Sed<sub>rate</sub>=อัตราการทับถมของตะกอนด้านหน้าด้านหลังโครงสร้าง



### บ้านเสาชิง จ.สมุทรปราการ

จากข้อมูลการจำลองความสูงภูมิประเทศ (Digital Terrain Model) ซึ่งสำรวจด้วย UAV-LiDAR ที่ บ้านเสาชิง จ.สมุทรปราการ (Sta.12+280–Sta.13+460) (รูป 4-4) พบว่า มีการก่อสร้างโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้งในบริเวณนี้ 5 ตัว (SB1–SB5) ขนานกับแนวชายฝั่ง โดยโครงสร้างถูกสร้างห่างจากแนวชายฝั่งเริ่มต้นประมาณ 250–400 ม. ระดับสันของโครงสร้างปัจจุบันมีค่าอยู่ระหว่าง 0.56–0.86 ม.รทก. และโครงสร้างมีความสูง อยู่ระหว่าง 1–1.5 ม.

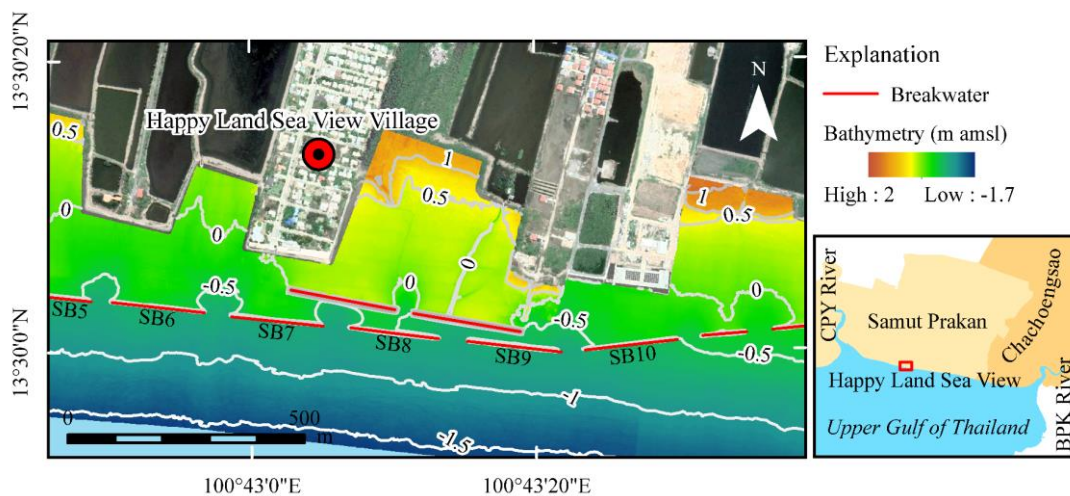
ผลสำรวจใน ตาราง 4-9 แสดงให้เห็นว่า ระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้าง ผันแปรอยู่ในช่วง -0.53 ถึง -0.65 ม.รทก. ในขณะที่ ระดับท้องน้ำด้านหลังมีค่าอยู่ระหว่าง -0.1 ถึง 0.26 ม.รทก. ความลึกการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง ผันแปรระหว่าง 0.6–0.9 ม. โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.7 ม. สามารถคำนวณเป็นอัตราการทับถมประมาณ 9–15 ซม./ปี เฉลี่ย 12 ซม./ปี ความลาดชันท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้าง มีความผันแปรระหว่าง 1:340 ถึง 1:520 (เฉลี่ยประมาณ 1:425) ในขณะที่ด้านหลังโครงสร้างมีความลาดชัน 1:820 ถึง 1:1,430 (เฉลี่ยประมาณ 1:1,030)

### หมู่บ้านแฮปปี้แลนด์ซีวีว จ.สมุทรปราการ

จากข้อมูลการสำรวจด้วย UAV-LiDAR บริเวณ หมู่บ้านแฮปปี้แลนด์ซีวีว จ.สมุทรปราการ (Sta.13+560–Sta.14+500) ในรูป 4-6 พบว่ามีการก่อสร้างโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้งบริเวณนี้ 4 ตัว (SB6–SB9) โดยตัวโครงสร้างถูกวางห่างจากแนวชายฝั่งเริ่มต้นประมาณ 60–360 ม. ส่วนระดับสันของโครงสร้างปัจจุบัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.3–0.5 ม.รทก. และมีความสูงของโครงสร้างอยู่ระหว่าง 1–1.5 ม.

ตาราง 4-9 แสดงให้เห็นว่า ระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้างอยู่ที่ระดับ -0.8 ถึง -0.7 ม.รทก. ในขณะที่ระดับท้องน้ำด้านหลังมีค่า -0.6 ถึง -0.3 ม.รทก. ความลึกทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง ผันแปรระหว่าง 0.1–0.4 ม. (เฉลี่ยประมาณ 0.3 ม.) โดยอัตราการทับถมของดินด้านหลังโครงสร้างมีค่า ประมาณ 2–7 ซม./ปี เฉลี่ย 5 ซม./ปี ส่วนความลาดชันด้านหน้าโครงสร้าง มีความผันแปรระหว่าง 1:380 ถึง 1:480 เฉลี่ยประมาณ 1:420 ในขณะที่ด้านหลังโครงสร้างมีความผันแปรระหว่าง 1:338 ถึง 1:1,430 เฉลี่ยประมาณ 1:725

สำหรับเชื่อมกันคลื่น SB7 มีความลาดชันท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้างประมาณ 1:478 และด้านหลังประมาณ 1:338 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับเชื่อมกันคลื่นตัวอื่นในบริเวณเดียวกัน แต่ระดับท้องน้ำด้านหลังโครงสร้างต่างจากด้านหน้าประมาณ 40 ซม. ซึ่งที่ตำแหน่งนี้พบว่า มีเขื่อนกันคลื่น (seawall) ถูกสร้างที่ชายฝั่งอยู่ด้านหลังเชื่อมกันคลื่น

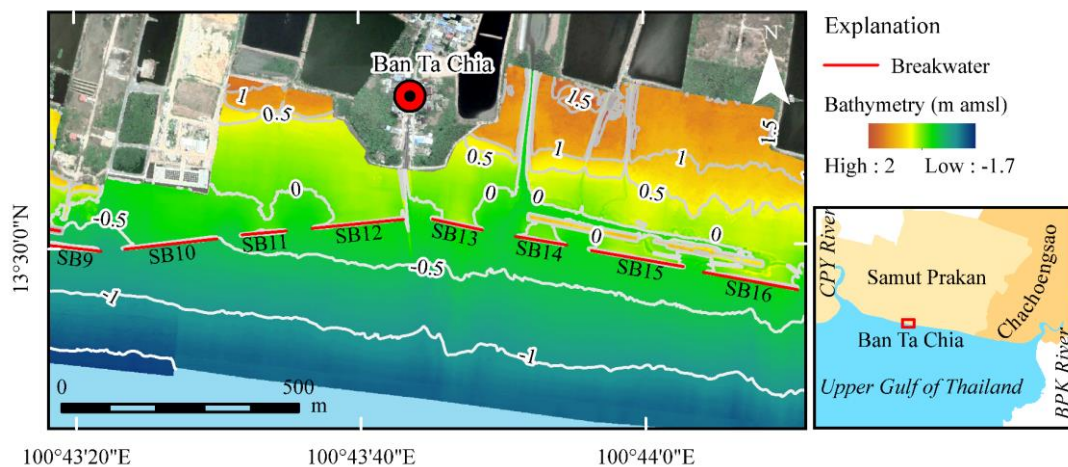


รูป 4-6 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศและเส้นชั้นความสูงต่อน้ำบริเวณหมู่บ้าน  
แฮปปี้แลนด์ซีวิว จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

#### บ้านตาเจ็ย จ.สมุทรปราการ

ข้อมูลสำรวจด้วย UAV-LiDAR ที่ บ้านตาเจ็ย จ.สมุทรปราการ (Sta.14+500–Sta.15+500) ในรูป 4-7 แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างเขื่อนกันคลื่น 5 ตัว (SB10–SB14) ถูกก่อสร้างห่างจากแนวชายฝั่งประมาณ 63–358 ม. โดยระดับสันของโครงสร้างในปัจจุบันอยู่ที่ระดับ 0.32–0.81 ม.รทก. (เฉลี่ย 0.6 ม.รทก.) และโครงสร้างเขื่อนมีความสูง ประมาณ 1 ม.

จากผลการศึกษาใน ตาราง 4-9 พบว่าระดับต่อน้ำด้านหน้าโครงสร้างมีค่า ผันแปรระหว่าง -0.6 ถึง -0.1 ม.รทก. ด้วยค่าเฉลี่ยประมาณ -0.3 ม.รทก. ในขณะที่ระดับต่อน้ำด้านหลังโครงสร้างมีความผันแปร ระหว่าง -0.4 ถึง 0.3 ม.รทก. ด้วยค่าระดับเฉลี่ย 0.0 ม.รทก. สำหรับความลึกทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง มีค่าอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.4 ม. (เฉลี่ย 0.3 ม.) โดยสามารถคำนวณเป็นอัตราการทับถมประมาณ 4–7 ซม./ปี เฉลี่ย 6 ซม./ปี ความลาดชันต่อน้ำด้านหน้าโครงสร้าง มีค่าระหว่าง 1:230 ถึง 1:320 (เฉลี่ย 1:280) ในขณะที่ ความลาดชันต่อน้ำด้านหลังโครงสร้างผันแปรระหว่าง 1:410 ถึง 1:1,150 โดยมีความลาดชันเฉลี่ยประมาณ 1:700

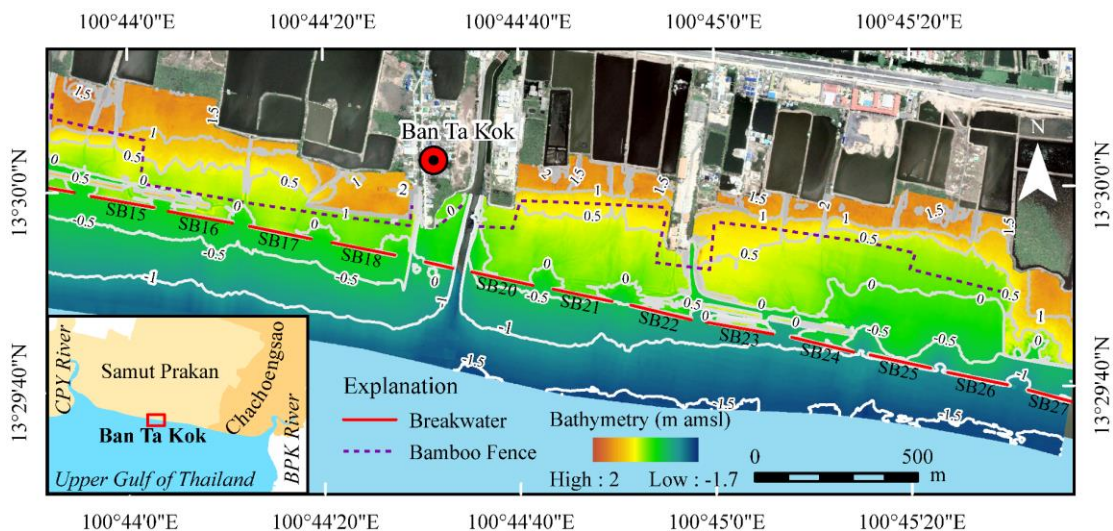


รูป 4-7 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศและเส้นชั้นความสูงต่อน้ำบริเวณบ้านตาเจ็ย  
จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

#### บ้านตาก๊ก จ.สมุทรปราการ

รูป 4-8 ซึ่งเป็นผลการสำรวจ ที่ชายฝั่งบริเวณ บ้านตาก๊ก จ.สมุทรปราการ (Sta.15+500–Sta.18+700) แสดงให้เห็นว่า บริเวณนี้มีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้งจำนวน 13 ตัว (SB15–SB27) เพื่อป้องกันพื้นที่ชายฝั่งกว่า 3.2 กม. โดยก่อสร้างเขื่อนห่างจากชายฝั่ง ประมาณ 100–435 ม. ส่วนระดับสันของโครงสร้างอยู่ที่ระดับ 0.1–0.7 ม.รทก. (เฉลี่ย 0.6 ม.รทก.) ระดับสันโครงสร้างลดลงตามระยะทางตามแนวชายฝั่งไปทางด้านทิศตะวันออก และความสูงของโครงสร้างผันแปรระหว่าง 0.9–1.5 ม. (เฉลี่ย 1.2 ม.)

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจ ในตาราง 4-9 พบว่าระดับต่อน้ำด้านหน้าโครงสร้างมีค่าอยู่ในช่วง -1.2 ถึง -0.2 ม.รทก. (เฉลี่ย -0.6 ม.รทก.) ในขณะที่ระดับต่อน้ำด้านหลังโครงสร้างผันแปร ระหว่าง -1.0 ถึง 0.3 ม.รทก. (เฉลี่ย -0.2 ม.รทก.) สำหรับความลึกทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างมีค่าอยู่ ระหว่าง 0.2–0.8 ม. (เฉลี่ย 0.5 ม.) โดยมีอัตราการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง ผันแปรในช่วง 4–14 ซม./ปี (เฉลี่ย 8 ซม./ปี) ส่วนความลาดชันด้านหน้าโครงสร้าง ผันแปรระหว่าง 1:250 ถึง 1:410 (เฉลี่ย 1:322) ในขณะที่ความลาดชันด้านหลังโครงสร้างมีค่าระหว่าง 1:340 ถึง 1:955 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1:530



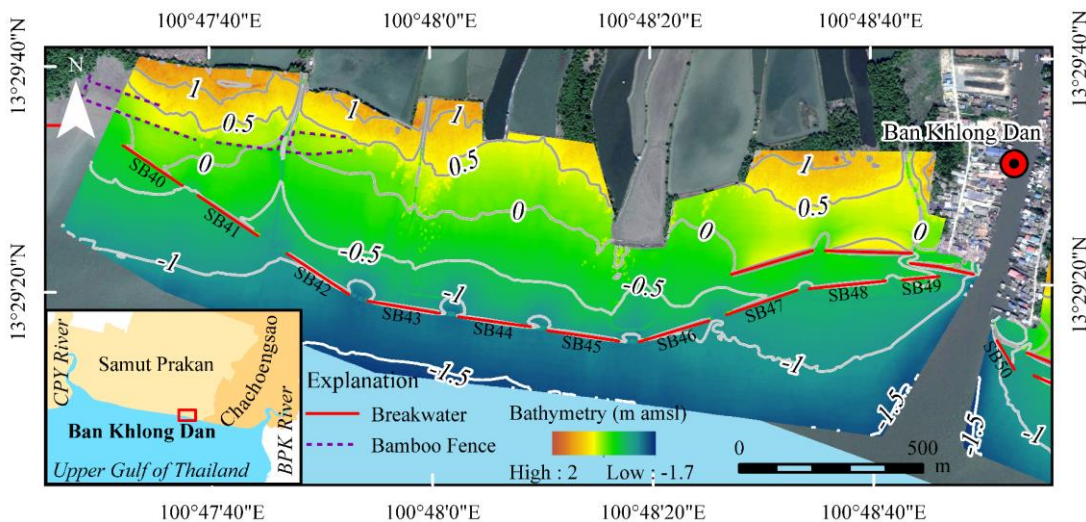
รูป 4-8 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ และเส้นชั้นความสูงท้องน้ำ บริเวณบ้านตาก๊ก จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

#### บ้านคลองด่าน จ.สมุทรปราการ

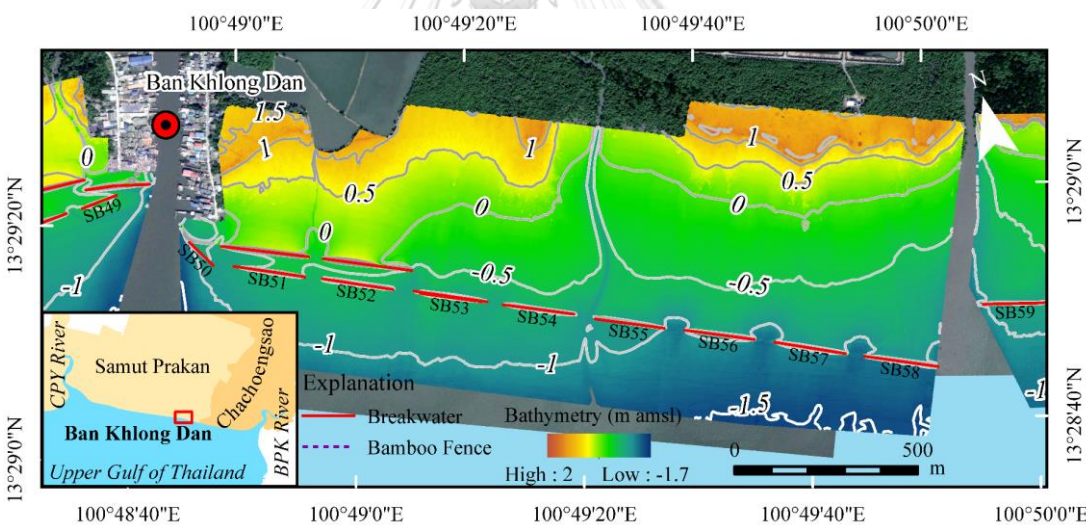
รูป 4-9 แสดงข้อมูลสำรวจพื้นที่ชายฝั่งด้วย UAV-LiDAR ที่ บ้านคลองด่าน จ.สมุทรปราการ (Sta. 20+900–Sta.26+800) แสดงให้เห็นว่า ในพื้นที่นี้มีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง 24 ตัว (SB35-SB58) เพื่อป้องกันแนวชายฝั่งกว่า 6 กม. โดยโครงสร้างเขื่อนถูกสร้างห่างจากชายฝั่งเริ่มต้น ประมาณ 150–625 ม. และมีระดับสันของโครงสร้างอยู่ที่ -0.1 ถึง 0.6 ม. รทก. (ระดับสันโครงสร้างเฉลี่ยอยู่ที่ 0.3 ม.รทก.) ส่วนโครงสร้างเขื่อนในปัจจุบันมีความสูงระหว่าง 1–1.5 ม. (เฉลี่ย 1.2 ม.)

ข้อมูลสำรวจใน ตาราง 4-9 แสดงให้เห็นว่า ระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้าง ผันแปรอยู่ในช่วง -1.3 ถึง -0.3 ม.รทก. (เฉลี่ย -0.8 ม.รทก.) ในขณะที่ระดับท้องน้ำด้านหลังโครงสร้าง มีค่าอยู่ในช่วง -0.9 ถึง 0.1 ม.รทก. (เฉลี่ย -0.6 ม.รทก.) สำหรับความลึกทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง มีค่าผันแปรระหว่าง 0 ถึง 0.5 ม. และคิดเป็นอัตราการทับถมด้านหลังโครงสร้าง ประมาณ 1–9 ซม./ปี (เฉลี่ย 4 ซม./ปี) นอกจากนี้ยังพบว่า ระดับท้องน้ำด้านหน้าและด้านหลังของเขื่อนกันคลื่นหมายเลข SB49 ถึง SB53 มีความแตกต่างกันน้อยกว่า 10 ซม. จากการสำรวจพบว่า มีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ห่างจากเขื่อนกันคลื่นจมน้ำเพียง 30–50 ม. ส่วนความลาดชันท้องน้ำด้านหน้าเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ ผันแปรระหว่าง 1:130 ถึง 1:950 (เฉลี่ย 1:480) ในขณะที่ความลาดชันด้านหลังโครงสร้างผันแปรระหว่าง 1:130 ถึง 1:720 (เฉลี่ย 1:360)

สำหรับพื้นที่ชายฝั่งที่มีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งห่างจากเขื่อนกันคลื่นจมน้ำประมาณ 50-100 ม. ไม่สามารถประเมินค่าความลาดชันได้ เนื่องจากอิทธิพลของการก่อสร้างโครงสร้างหลายชนิดในพื้นที่ ทำให้ความลึกตะกอนที่ทับถมด้านหลังโครงสร้างไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน



ก) เขื่อนกันคลื่นจมน้ำบริเวณบ้านคลองด่านฝั่งตะวันตก



ข) เขื่อนกันคลื่นจมน้ำบริเวณบ้านคลองด่านฝั่งตะวันออก

รูป 4-9 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศและเส้นชั้นความสูงท้องน้ำบริเวณบ้านคลองด่าน

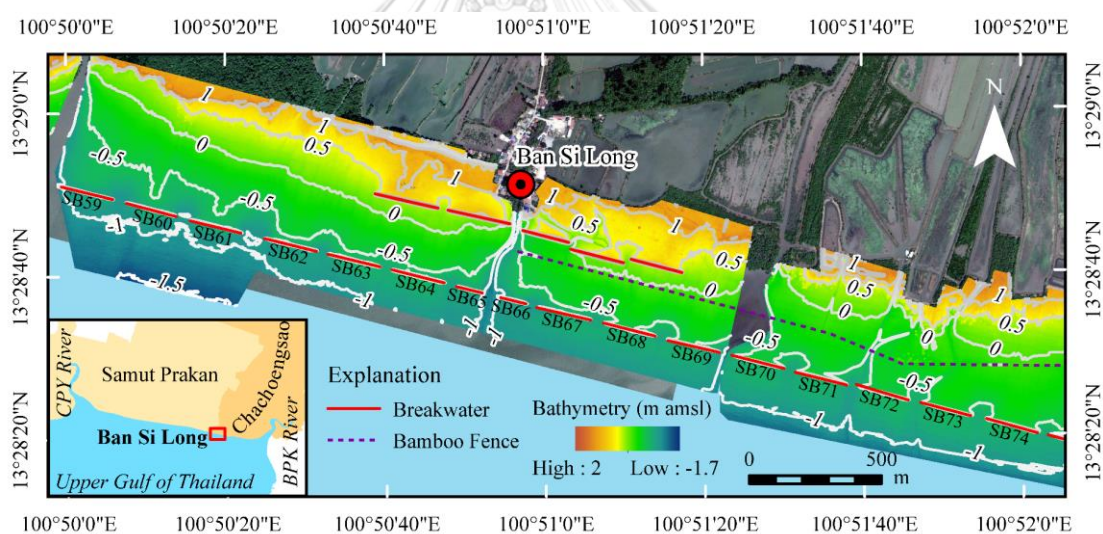
จ. สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

บ้านสีลัง จ.สมุทรปราการ และ จ.ฉะเชิงเทรา

รูป 4-10 แสดงข้อมูลสำรวจพื้นที่ชายฝั่งบ้านสีลัง จ.สมุทรปราการ และ จ.ฉะเชิงเทรา (Sta.26+800–Sta.30+600) ซึ่งพบว่ามี การก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง ทั้งหมด 16 ตัว

(SB59–SB74) เพื่อป้องกันแนวชายฝั่งกว่า 4 กม. โดยโครงสร้างถูกก่อสร้างห่างจากแนวชายฝั่ง เริ่มต้นประมาณ 290–450 ม. (เฉลี่ยประมาณ 370 ม.) ระดับสันของโครงสร้างในปัจจุบัน ผันแปร ระหว่าง 0.25–0.62 ม.รทก. โดยระดับสันโครงสร้างเฉลี่ยอยู่ที่ 0.44 ม.รทก. โครงสร้างมีความสูง 1–1.4 ม.(เฉลี่ย 1.2 ม.) นอกจากนี้ ยังมีการก่อสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ฝั่งอยู่ห่างจากด้านหลังเชื่อมกัน คลื่นจมน้ำหมายเลข SB64–SB68 เป็นระยะทาง 250 ม.

ตาราง 4-9 แสดงให้เห็นว่า ระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้างมีค่า อยู่ระหว่าง -0.9 ถึง -0.6 ม.รทก. (เฉลี่ย -0.7 ม.รทก.) ในขณะที่ระดับท้องน้ำด้านหลังโครงสร้างมีค่าผันแปร ระหว่าง -0.6 ถึง -0.3 ม.รทก. (เฉลี่ย -0.4 ม.) สำหรับความลึกของตะกอนที่ทับถมด้านหลังโครงสร้าง มีค่าผันแปร ระหว่าง 0.2–0.4 ม. โดยมีค่าเฉลี่ย 0.3 ม. และคิดเป็นอัตราการทับถมของตะกอน ประมาณ 3–7 ซม./ปี เฉลี่ย 4 ซม./ปี ดังตาราง 4-9 ความลาดชันด้านหน้าโครงสร้างผันแปรระหว่าง 1:340 ถึง 1:960 ด้วยค่าเฉลี่ยประมาณ 1:500 ในขณะที่ความลาดชันด้านหลังโครงสร้างผันแปรระหว่าง 1:480 ถึง 1:2,860 เฉลี่ยประมาณ 1:1,250



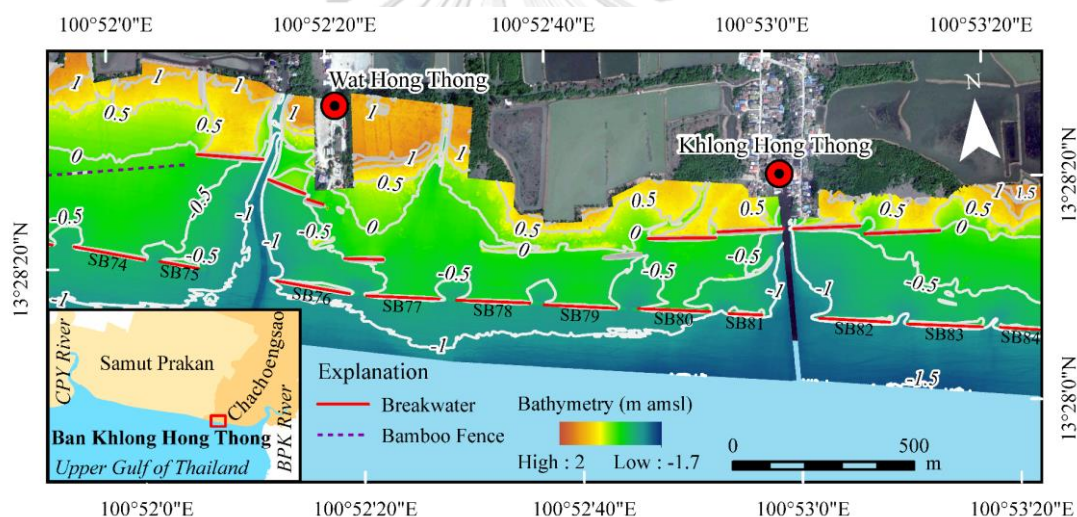
รูป 4-10 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ และเส้นชั้นความสูงท้องน้ำ บริเวณบ้านสีลัง จ.สมุทรปราการ และ จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

#### บ้านคลองหงษ์ทอง จ.ฉะเชิงเทรา

จากข้อมูลสำรวจด้วย UAV-LiDAR ที่บ้านคลองหงษ์ทอง จ.ฉะเชิงเทรา (Sta.30+600–Sta.32+900) (รูป 4-11) พบว่ามีการติดตั้งโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง ทั้งหมด 9 ตัว (SB75–SB83) เพื่อป้องกันชายฝั่งกว่า 2 กม. ของแนวชายฝั่งปากคลองหงษ์ทอง โดยก่อสร้างเชื่อมกัน คลื่นห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นเป็นระยะทาง 140–500 ม. โดยมีระดับสันของโครงสร้างผันแปรในช่วง

0.4 ถึง 0.67 ม.รทก. เฉลี่ย 0.53 ม.รทก. ความสูงของโครงสร้างปัจจุบันผันแปรระหว่าง 1.3 ถึง 1.7 ม. นอกจากนี้ ด้านหลังโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นจมน้ำ ยังมีการก่อสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งที่ วัดหงษ์ทอง (Sta.30+680–Sta.31+160) และปากคลองหงษ์ทอง (Sta.31+740–Sta.32+680) โดยเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งถูกก่อสร้างห่างจากเชื่อมกันคลื่นจมน้ำ เป็นระยะทาง 250 ม.

ข้อมูลสำรวจในตาราง 4-9 ชี้ให้เห็นว่าระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้างผันแปรระหว่าง -1.2 ถึง -0.7 ม.รทก. โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ -0.9 ม.รทก. ในขณะที่ระดับท้องน้ำด้านหลังโครงสร้างผันแปรในช่วงระหว่าง -0.9 ถึง -0.4 ม.รทก. เฉลี่ยประมาณ -0.6 ม.รทก. สำหรับความลึกที่บดมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างมีค่า ผันแปรในช่วง 0.2–0.5 ม. (เฉลี่ย 0.35 ม.) คิดเป็นอัตราการทับถมด้านหลังโครงสร้าง ประมาณ 4–8 ซม./ปี เฉลี่ย 6 ซม./ปี ส่วนความลาดชันด้านหน้าโครงสร้างผันแปร ระหว่าง 1:380 ถึง 1:955 ด้วยค่าเฉลี่ยประมาณ 1:550 ในขณะที่ ความลาดชันด้านหลังโครงสร้าง ผันแปรระหว่าง 1:340 ถึง 1:1150 เฉลี่ยประมาณ 1:760



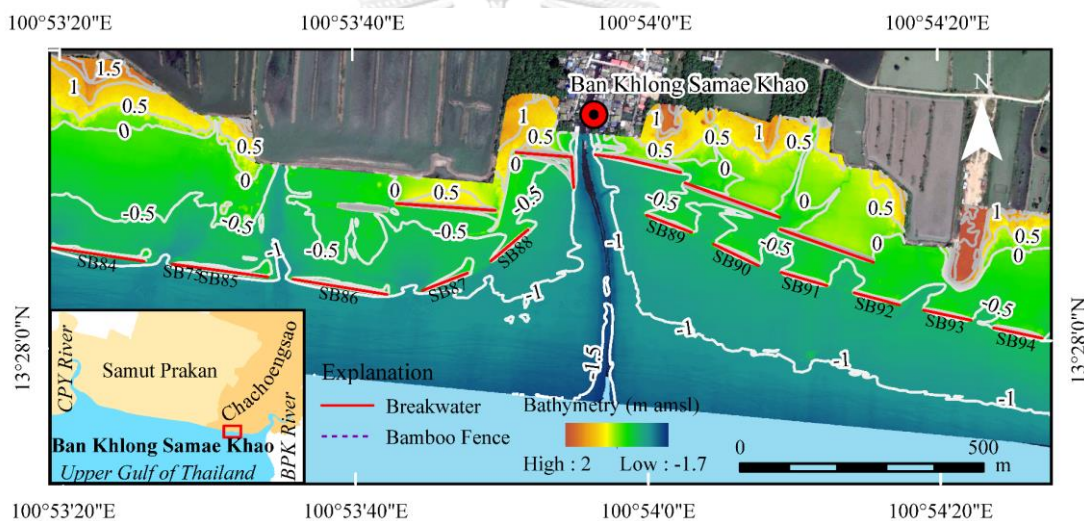
รูป 4-11 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ และเส้นชั้นความสูงท้องน้ำ บริเวณบ้านคลองหงษ์ทอง จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

#### บ้านคลองแสมขาว จ.ฉะเชิงเทรา

รูป 4-12 แสดงผลสำรวจ UAV-LiDAR ที่พื้นที่ชายฝั่งทะเลบ้านคลองแสมขาว จ.ฉะเชิงเทรา (Sta.32+900–Sta.34+800) บริเวณนี้พบว่าการก่อสร้างโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้งทั้งหมด 10 ตัว (SB84–SB93) เพื่อป้องกันแนวชายฝั่งเป็นระยะทางกว่า 2 กม. โดยเชื่อมกันคลื่นจมน้ำถูกก่อสร้างห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นเป็นระยะทาง 130–300 ม. ด้วยระดับสันของโครงสร้างในปัจจุบัน ผันแปรระหว่าง 0.3 ถึง 0.9 ม.รทก. (เฉลี่ย 0.64 ม.รทก.) ส่วนความสูงของโครงสร้างมีค่า

ระหว่าง 1.2 ถึง 1.5 ม. และมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 1.4 ม. นอกจากนี้ ด้านหลังโครงสร้างเชื่อมกัน คลื่นตัวที่ SB87-SB92 ซึ่งตั้งอยู่บริเวณปากคลองแสมขาว มีการก่อสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งห่างจากแนวเชื่อมกันคลื่นแบบจมน้ำ 80-150 ม.

จาก ตาราง 4-9 พบว่าระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้างเชื่อม มีค่าผันแปรระหว่าง -1.0 ถึง -0.7 ม.รทก. (เฉลี่ย -0.9 ม.รทก.) ในขณะที่ระดับท้องน้ำด้านหลังโครงสร้างผันแปรระหว่าง -0.5 ถึง -0.2 ม.รทก. เฉลี่ยประมาณ -0.4 ม.รทก. สำหรับความลึกที่บมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างผันแปรระหว่าง 0.3-0.6 ม. เฉลี่ยประมาณ 0.5 ม. ซึ่งสามารถคำนวณเป็นอัตราการทับถมประมาณ 6-10 ซม./ปี เฉลี่ย 8 ซม./ปี โดยความลาดชันด้านหน้าโครงสร้าง อยู่ในช่วง 1:440 ถึง 1:720 (เฉลี่ย 1:560) ในขณะที่ความลาดชันท้องน้ำด้านหลังโครงสร้าง มีค่าระหว่าง 1:640 ถึง 1:1,430 (เฉลี่ย 1:1,160)



รูป 4-12 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ และเส้นชั้นความสูงท้องน้ำ บริเวณบ้านคลองแสมขาว จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

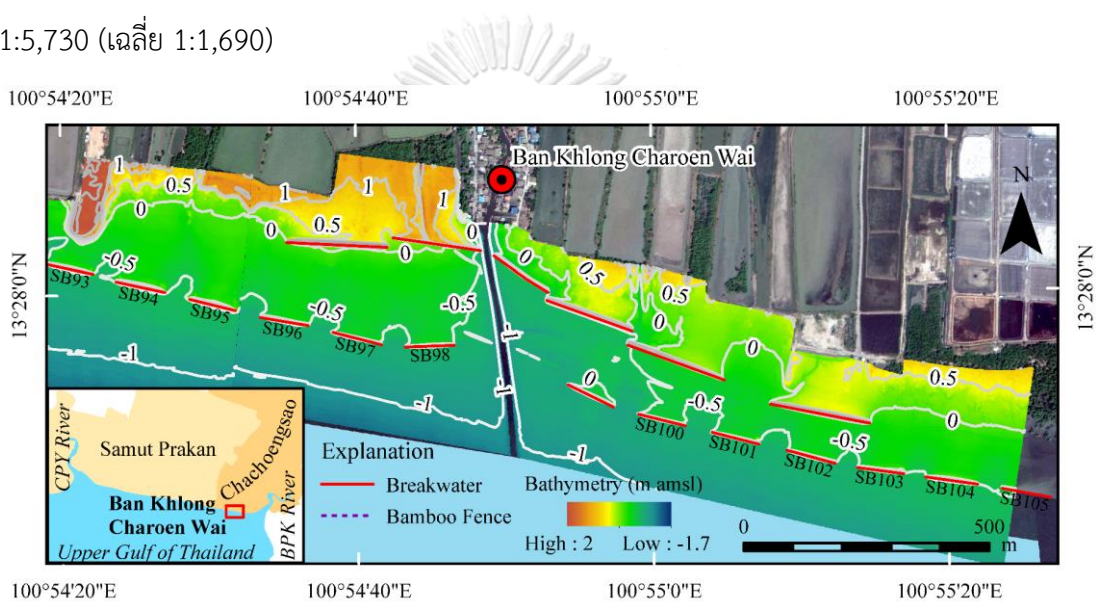
#### บ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา

แนวเชื่อมกันคลื่นที่ปากคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา มีจำนวนเชื่อมกันคลื่นจมน้ำจำนวน 19 ตัว แต่เนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่บริเวณปากคลองเจริญวัย ทำให้ขอบเขตการสำรวจมีลดลง และครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งของแนวเชื่อมกันคลื่นที่ปากคลองเจริญวัยทั้งหมด 11 ตัว (SB94-SB104) ดังแสดงในรูป 4-13 โดยเชื่อมกันคลื่นถูกก่อสร้างห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นเป็นระยะทาง 100-250 ม. ด้วยระดับสันของโครงสร้างปัจจุบันผันแปรระหว่าง 0.4 ถึง 0.8 ม.รทก. (เฉลี่ย 0.55 ม.รทก.) และมีความสูง 1.1-1.3 ม. (ความสูงเฉลี่ยประมาณ 1.2 ม.) นอกจากนี้ ด้านหลังโครงสร้างเชื่อมกันคลื่น



หมายเลข SB96-SB102 ที่อยู่บริเวณปากคลองเจริญวัย มีการก่อสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ห่างจากแนวเชื่อมกันคลื่นแบบจมน้ำ เป็นระยะทาง 90-200 ม.

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจใน ตาราง 4-9 แสดงให้เห็นว่า ระดับท้องน้ำด้านหน้าเชื่อมกันคลื่นจมน้ำฝั่ง มีค่าผันแปรระหว่าง -0.7 ถึง -0.5 ม.รทก. (เฉลี่ย -0.6 ม.รทก.) ในขณะที่ ระดับท้องน้ำด้านหลังโครงสร้างมีค่า อยู่ระหว่าง -0.4 ถึง 0 ม.รทก. (เฉลี่ย -0.2 ม.รทก.) สำหรับความลึกที่บดของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง มีค่าอยู่ในช่วง 0.3-0.5 ม. (เฉลี่ย 0.4 ม.) คิดเป็นอัตราการทับถมด้านหลังโครงสร้าง 5-9 ซม./ปี เฉลี่ย 6 ซม./ปี ส่วนความลาดชันด้านหน้าโครงสร้างผันแปรระหว่าง 1:290 ถึง 1:520 (เฉลี่ย 1:400) ในขณะที่ความลาดชันด้านหลังโครงสร้างผันแปรระหว่าง 1:820 ถึง 1:5,730 (เฉลี่ย 1:1,690)



รูป 4-13 แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ และเส้นชั้นความสูงท้องน้ำ บริเวณบ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2565

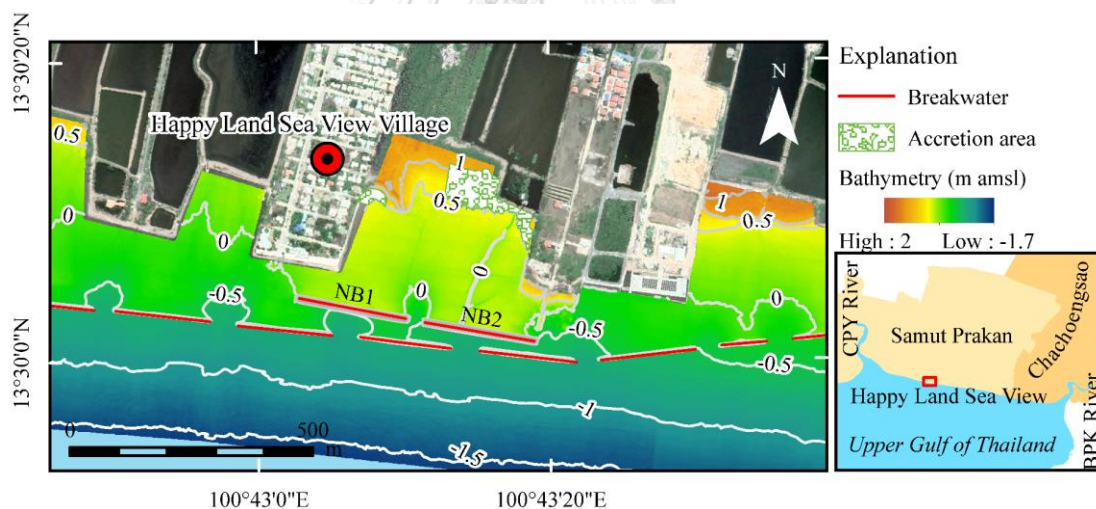
#### 4.2.2 ประสิทธิภาพของโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (nearshore breakwater) ถูกก่อสร้างโดยองค์การบริหารส่วนตำบล ที่บริเวณปากคลองสายหลัก 5 พื้นที่ ได้แก่ หมู่บ้านแฮปปี้แลนด์ซีวิว บ้านคลองด่าน บ้านสีลัง บ้านคลองหงษ์ทอง บ้านคลองแสมขาว และบ้านคลองเจริญวัย โดยเริ่มมีการก่อสร้างตั้งแต่ปี 2554 จนถึงปัจจุบัน โดยปัจจุบันมีเชื่อมกันคลื่นที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ 31 ตัว ในพื้นที่ชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งด้วยข้อมูล UAV-LiDAR พิจารณาจากตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ความสูงโครงสร้าง (H) ระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้น ระยะงอกของชายฝั่ง (y) พื้นที่งอกของชายฝั่ง ( $A_s$ ) และปริมาตรการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง

( $V_s$ ) ความลาดชันท้องน้ำด้านหน้า ( $S_f$ ) และด้านหลังโครงสร้าง ( $S_b$ ) สำหรับผลการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ของเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งถูกรวมไว้ใน **ภาคผนวก ค และ ง** และข้อมูลประกอบการประเมินประสิทธิผลของเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ถูกสรุปไว้ใน ตาราง 4-10 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจชายฝั่งบริเวณเขื่อนกันคลื่นใกล้ฝั่งในแต่ละพื้นที่ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

#### หมู่บ้านแฮปปี้แลนด์ซีวิว จ.สมุทรปราการ

ในปี 2564 เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง 2 ตัว (NB1-NB2) ถูกสร้างขึ้นบริเวณด้านตะวันออกของหมู่บ้านแฮปปี้แลนด์ซีวิว โดยมีความยาวประมาณ 200 ม. และความสูงประมาณ 3 ม. โครงสร้างถูกติดตั้งห่างจากแนวชายฝั่งเริ่มต้นประมาณ 250–270 ม. สำหรับผลการสำรวจพื้นที่ชายฝั่งโดย UAV-LiDAR แสดงใน รูป 4-14 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจใน ตาราง 4-10 พบว่าระดับท้องน้ำด้านหน้า และด้านหลังโครงสร้าง มีความสูงแตกต่างกันประมาณ 1 ม. และความลาดชันด้านหน้ามีค่าเฉลี่ยประมาณ 1:525 ในขณะที่ความลาดชันด้านหลังโครงสร้างมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1:1,125 นอกจากนี้ ยังพบว่ามีพื้นที่อกด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งประมาณ 1,300–10,200 ตร.ม. เมื่อใช้ระดับอ้างอิงที่ 0.5 ม.รทก. ดังตาราง 4-10 และรูป 4-14



รูป 4-14 เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และพื้นที่อกด้านหลังโครงสร้าง บริเวณหมู่บ้านแฮปปี้แลนด์ซีวิว จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

ตาราง 4-10 สรุปข้อมูลสำรวจด้วย UAV-LiDAR ในพื้นที่ก่อสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

Location	Year	n	H (m)	y (m)	L (m)	Diff Elev. (m) (avg)	Slope (1:S)		As ( $\times 10^3$ m <sup>2</sup> )	Vs (m <sup>3</sup> )	Sed <sub>rate</sub> * (m/y)	Sed <sub>rate</sub> ** (m/y) (avg)
							Si (avg)	Sb (avg)				
Happy land sea view village	2021	2	3.0-3.2	250-270	220	1-1.1 (1.0)	525	1,000	1.3-10.2	-	-	-
Khlong Dan	2012-2018	5	2.0-2.7	100-280	180-240	0.7-0.9 (0.8)	330	850	0-18.8	-	-	0.22-0.28 (0.26)
Si Long	2015-2019	5	2.5-2.7	50-150	180-240	0.5-1.0 (0.8)	420	690	10.9-26.8	6,070-19,640	0.07-0.31	0.17-0.4 (0.27)
Hong Thong	2014-2021	8	2.6-3.0	70-190	50-200	0.4-1.3 (0.8)	480	1,040	7.7-26.4	18,200	0.14	0.07-0.3 (0.18)
Samae Khao	2013-2019	5	2.5-3.0	50-170	120-204	0.5-1.0 (0.8)	460	830	0.2-12	-	-	0.12-0.54 (0.32)
Charoen Wai	2011-2019	6	1.4-2.7	0-160	135-202	0.1-1.0 (0.7)	470	590	0.4-3.4	-	-	0.04-0.23 (0.16)

Note: avg= average, n= จำนวนโครงสร้างในพื้นที่, H=ความสูงโครงสร้าง, y= ระยะทางจากชายฝั่งเริ่มต้น, L= ความยาวโครงสร้าง, Diff elev.= ผลต่างระหว่างระดับพื้นดิน

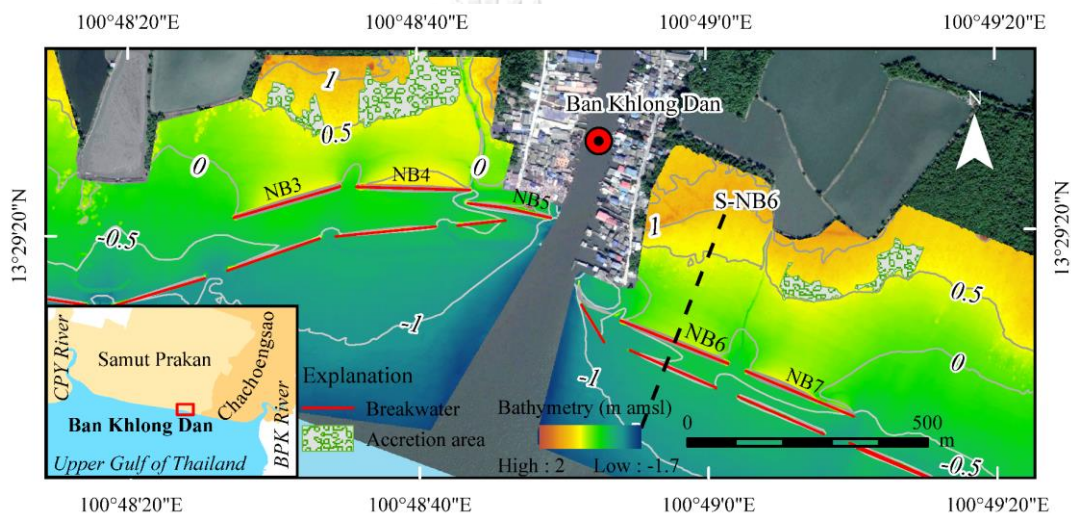
ด้านหน้า และด้านหลังโครงสร้าง, Si= ความลาดชันด้านหน้าโครงสร้าง, Sb= ความลาดชันด้านหลังโครงสร้าง, As= พื้นที่อกของชายฝั่งด้านหลังโครงสร้าง, Vs = ปริมาตรดินทับถมด้านหลังโครงสร้าง,

Sedimentation rate\* = อัตราการตกตะกอนด้านหลังโครงสร้างประเมินจาก แผนที่ท้องน้ำของ Seangsupavanich (2013),

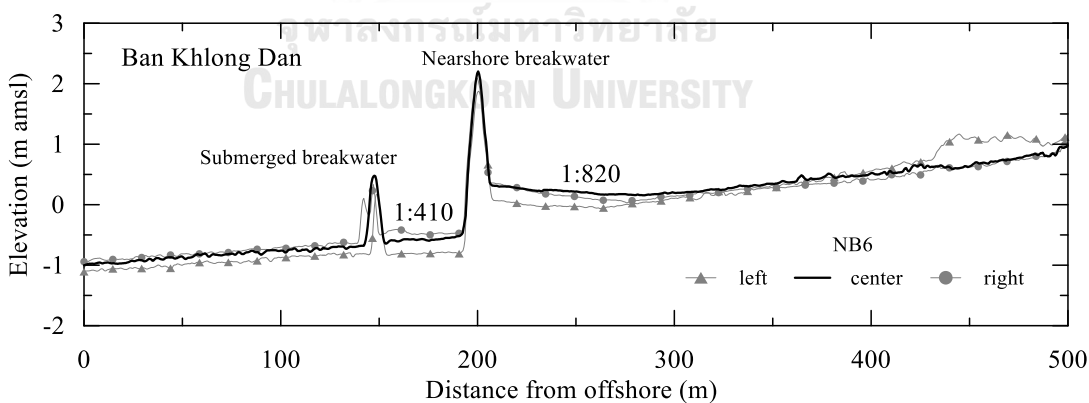
Sedimentation rate\*\* = อัตราการตกตะกอนด้านหน้าด้านหลังโครงสร้างประเมินจากผลต่างระหว่างระดับท้องทะเลด้านหน้า และด้านหลัง

บ้านคลองด่าน จ.สมุทรปราการ

จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ที่บ้านคลองด่าน จ.สมุทรปราการ พบว่าเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง 5 ตัว (NB3-7) ถูกก่อสร้างไว้ที่ปากคลองตั้งแต่ ปี 2555-2561 โดยมีความสูงอยู่ระหว่าง 2-2.7 ม. ความยาวของโครงสร้างอยู่ระหว่าง 180-280 ม. และถูกก่อสร้างห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นประมาณ 100-280 ม. ความแตกต่างของระดับท้องน้ำด้านหน้า และด้านหลังโครงสร้าง ผันแปรอยู่ระหว่าง 0.7-0.9 ม. เฉลี่ยประมาณ 0.8 ม. ความลาดชันด้านหน้าโครงสร้างผันแปรระหว่าง 1:210 ถึง 1:480 ในขณะที่ความลาดชันด้านหลังผันแปรอยู่ระหว่าง 1:820 ถึง 1:950 นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ทับถมด้านหลังโครงสร้างประมาณ 0 ถึง 18,800 ตร.ม.



ก) พื้นที่ทับถมด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งบริเวณ บ้านคลองด่าน



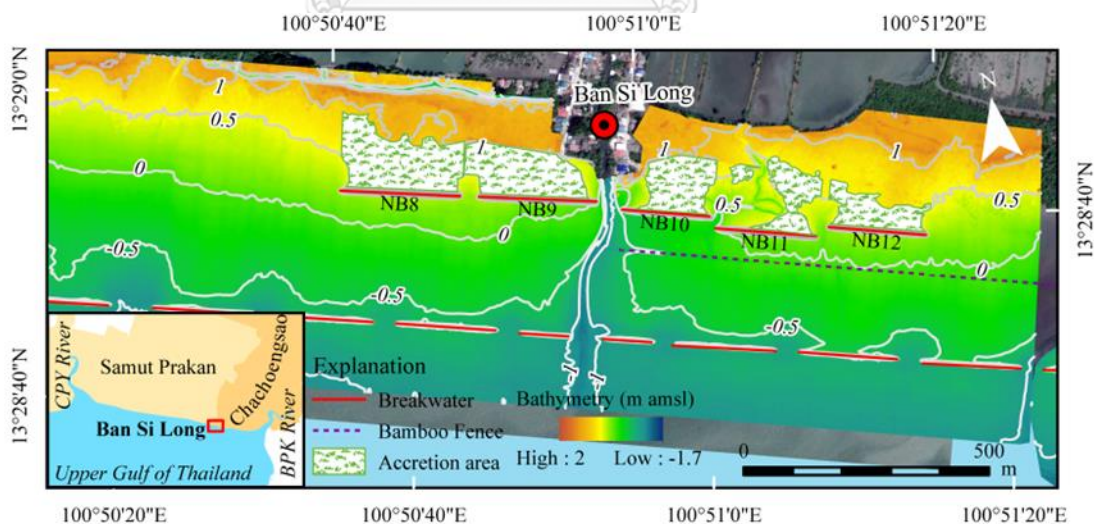
ข) รูปตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งหมายเลข NB6

รูป 4-15 พื้นที่ทับถมด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งบริเวณ บ้านคลองด่าน จ.สมุทรปราการ และ รูปตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งหมายเลข NB6 จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

ตำแหน่งที่ไม่เกิดการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่ง เป็นตำแหน่งที่เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งถูกสร้าง อยู่ติดกับปากคลอง โดยมีระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นประมาณ 180 ม. ตัวฐานของโครงสร้างอยู่ที่ ระดับ -0.49 ม.รทก. และระดับสันอยู่ที่ +2.2 ม.รทก. ซึ่งถืออยู่ในระดับใกล้เคียงกับเชื่อมกันคลื่นตัว อื่นในบริเวณนี้ ถึงแม้ว่าด้านหลังโครงสร้างดังกล่าวจะไม่มีพื้นที่ทับถมด้านหลังโครงสร้าง แต่ระดับ ท้องน้ำด้านหน้า และหลังโครงสร้างมีความแตกต่างกันประมาณ 0.8 ม. และความลาดชันด้านหน้า และด้านหลังต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังรูป 4-15

#### บ้านสี่ลิ่ง จ.สมุทรปราการ และ จ.ฉะเชิงเทรา

จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ที่บ้านสี่ลิ่ง จ.สมุทรปราการ และฉะเชิงเทรา พบว่าเชื่อมกัน คลื่นใกล้ชายฝั่ง 5 ตัว (NB8-12) ถูกก่อสร้างไว้ที่ปากคลองตั้งแต่ ปี 2558-2562 โดยมีความสูงอยู่ ระหว่าง 2.5-2.7 ม. มีความยาวของโครงสร้างอยู่ระหว่าง 180-280 ม. และถูกก่อสร้างห่างจาก ชายฝั่งเริ่มต้นประมาณ 50-150 ม. โดยผลจากโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งส่งผลให้ ระดับท้อง น้ำด้านหลังโครงสร้าง สูงกว่าด้านหน้า เฉลี่ยประมาณ 0.8 ม. ในขณะที่ ความลาดชันด้านหน้า และ ด้านหลังโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นแต่ละตัวมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1:420 และ 1:690 ตามลำดับ นอกจากนี้ด้านหลังโครงสร้างยังมีพื้นที่ทับถมประมาณ 10,900 ถึง 26,800 ตร.ม. คิดเป็นพื้นที่งอก รวมประมาณ 81,790 ตร.ม. ดังรูป 4-16



รูป 4-16 เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และพื้นที่งอกด้านหลังโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง บริเวณ บ้านสี่ลิ่ง จ.สมุทรปราการ และ จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

จากการประเมินปริมาตรการทับถมของตะกอน โดยการเปรียบเทียบระหว่าง ข้อมูลท้องน้ำ จากการศึกษาของ Saengsupavanich (2013) และข้อมูลท้องน้ำที่สำรวจโดย UAV-LiDAR พบว่า เชื้อกันคลื่นใกล้ชายฝั่งบริเวณบ้านสีลัง มีประสิทธิผลดักตะกอนด้านหลังโครงสร้างได้ประมาณ 6,000–20,000 ลบ.ม. เฉลี่ยประมาณ 10,000 ลบ.ม. และคิดเป็นปริมาตรทั้งหมดประมาณ 50,148 ลบ.ม. นอกจากนี้จากการคำนวณอัตราการทับถมด้านหลังโครงสร้าง (sedimentation rate) โดยการเปรียบเทียบระหว่างปีที่ก่อสร้างจนถึงปัจจุบัน พบว่าเชื้อกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง มีประสิทธิภาพในการดักตะกอนด้านหลังโครงสร้าง ด้วยอัตราการทับถมผันแปรระหว่าง 7–30 ซม./ปี หรือโดยเฉลี่ยประมาณ 22 ซม./ปี

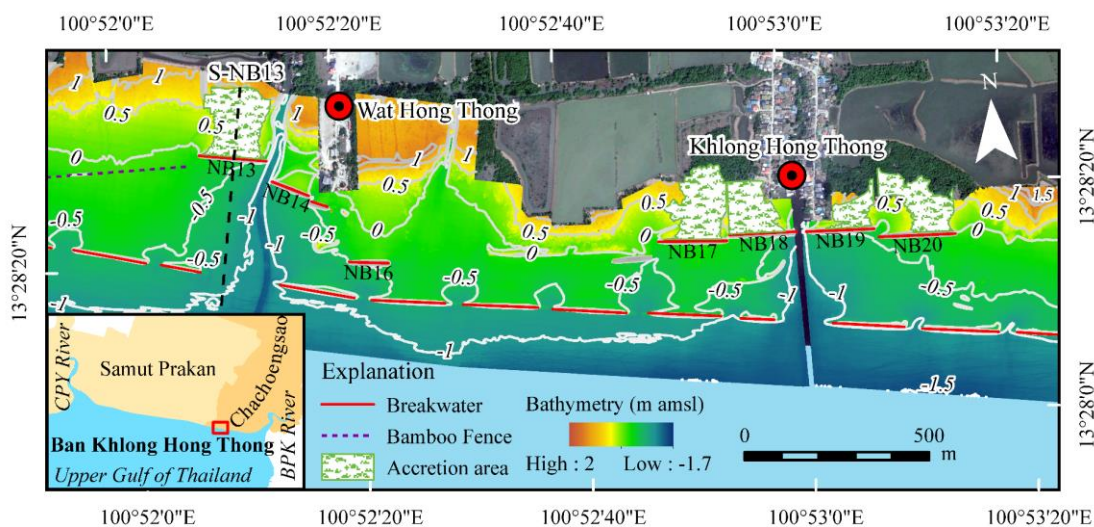
#### บ้านคลองหงษ์ทอง จ.ฉะเชิงเทรา

จากผลการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ที่บ้านคลองหงษ์ทอง จ.ฉะเชิงเทรา รูป 4-17 พบว่า ตั้งแต่ปี 2557–2564 มีการก่อสร้างเชื้อกันคลื่นใกล้ชายฝั่งทั้งหมด 8 ตัว (NB13–NB20) ซึ่งเชื้อกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง 4 ตัว ถูกสร้างขึ้นบริเวณชายฝั่งด้านหน้าวัดหงษ์ทอง (NB13–NB16) และอีก 4 ตัว (NB17–NB20) ถูกสร้างอยู่บริเวณปากคลองหงษ์ทอง โดยเชื้อกันคลื่นใกล้ชายฝั่งบริเวณวัดหงษ์ทอง (NB13–NB16) มีความยาวระหว่าง 50–180 ม. สูงประมาณ 2.5–3.0 ม. ถูกติดตั้งห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นประมาณ 90–200 ม. และมีระดับสันของโครงสร้างอยู่ที่ระดับ 2.1–2.5 ม.รทก. โดยผลการสำรวจแสดงให้เห็นว่า โครงสร้างเชื้อกันคลื่นใกล้ชายฝั่งส่งผลให้ระดับท้องน้ำด้านหลัง สูงกว่าด้านหน้าโครงสร้างประมาณ 0.3–1.2 ม. (เฉลี่ยประมาณ 0.7 ม.) ส่วนความลาดชันด้านหน้าและด้านหลังโครงสร้างเชื้อกันคลื่นแต่ละตัว มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1:480 และ 1:1,040 ตามลำดับ

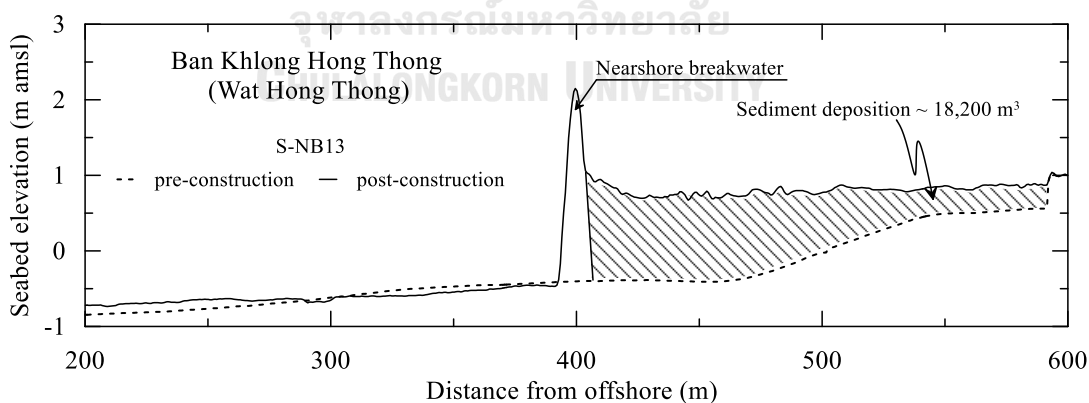
อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้พบพื้นที่อกด้านหลังโครงสร้างเชื้อกันคลื่น NB13 ที่ถูกสร้างขึ้นเมื่อปี 2559 เท่านั้น ทั้งนี้สามารถคำนวณพื้นที่อกของชายฝั่งได้ประมาณ 26,400 ตร.ม. (16.5 ไร่) และคิดเป็นปริมาณตะกอนทับถมด้านหลังโครงสร้างได้ประมาณ 18,200 ลบ.ม. หรือมีอัตราการทับถม ประมาณ 0.14 ม./ปี โดยมีตัวอย่างรูปตัดขวางแสดงการทับถมของตะกอนด้านหลัง ดังรูป 4-18 อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะไม่พบพื้นที่อกด้านหลังโครงสร้างหมายเลข NB14 และ NB16 อย่างมีนัยสำคัญ (เทียบกับเส้นอ้างอิง +0.5 ม.รทก.) แต่โครงสร้างเชื้อกันคลื่นใกล้ชายฝั่งส่งผลต่อระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง เนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างระดับท้องน้ำด้านหน้า และด้านหลังโครงสร้าง อย่างมีนัยสำคัญ

เชื้อกันคลื่นใกล้ชายฝั่งบริเวณปากคลองหงษ์ทอง (NB17–NB20) มีความยาวระหว่าง 175–200 ม. สูงประมาณ 2.7–3.0 ม. ถูกติดตั้งห่างจากชายฝั่งประมาณ 70–192 ม. และมีระดับสันของ

โครงสร้างอยู่ที่ 2.3–2.6 ม.รทก. ผลการสำรวจ แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ส่งผลให้ระดับท้องน้ำด้านหลังสูงกว่าด้านหน้าประมาณ 0.7–1.3 ม. ความลาดชันเฉลี่ยของท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้างมีค่าประมาณ 1:490 ในขณะที่ความลาดชันด้านหลังโครงสร้างเฉลี่ยมีค่าประมาณ 1:870 ซึ่งพบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างชัดเจน นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์การงอกของแนวชายฝั่ง แสดงให้เห็นว่า แนวชายฝั่งเกิดการงอกเพิ่มจนชิดถึงขอบเชื่อมกันคลื่นทั้ง 4 ตัว โดยมีระดับท้องน้ำด้านหลังของโครงสร้างอยู่ที่ 0.53–0.9 ม.รทก. และมีพื้นที่งอกของชายฝั่ง ผันแปรระหว่าง 7,700–23,300 ตร.ม. ซึ่งคิดเป็นพื้นที่รวมประมาณ 65,600 ตร.ม. (41 ไร่) ดังรูป 4-17



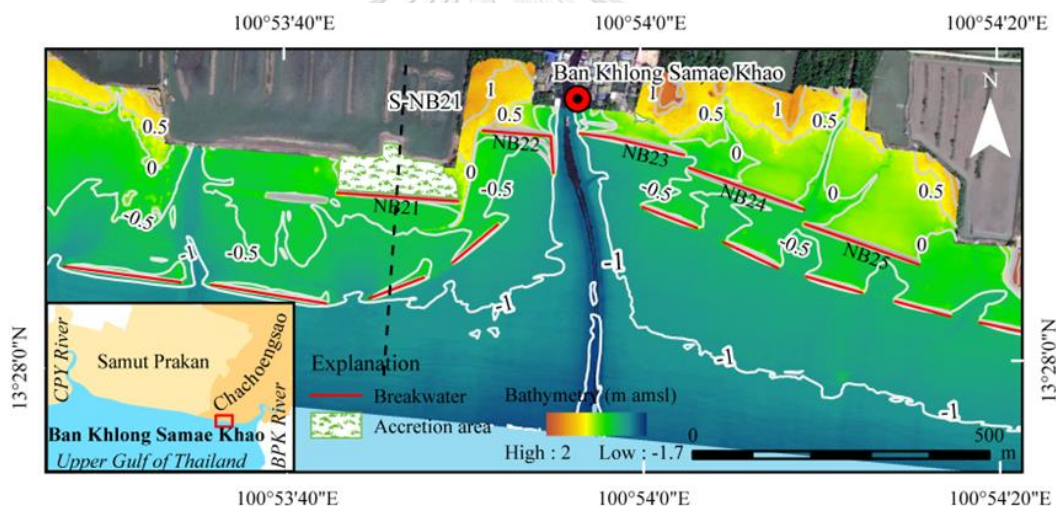
รูป 4-17 เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และพื้นที่งอกด้านหลังโครงสร้าง บริเวณ บ้านคลองหงษ์ทอง จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564



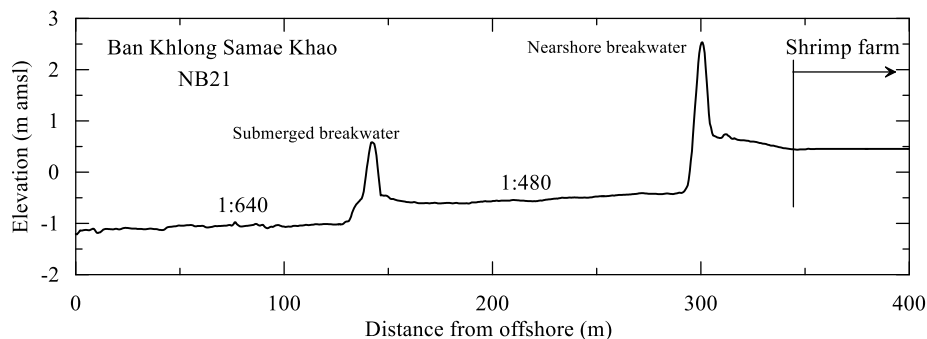
รูป 4-18 เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งหมายเลข NB13 ที่วัดหงษ์ทอง และรูปตัดตามขวางแสดงการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง

บ้านคลองแสมขาว จ.ฉะเชิงเทรา

จากการสำรวจพื้นที่ชายฝั่งบ้านคลองแสมขาว จ.ฉะเชิงเทรา (รูป 4-19) พบว่ามีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งทั้งหมด 5 ตัว (NB21–NB25) ในช่วงปี 2556–2562 โครงสร้างมีความสูงประมาณ 2.5–3.0 ม. และมีความยาวโครงสร้าง อยู่ในช่วง 120–204 ม. ถูกติดตั้งห่างจากชายฝั่ง 50–170 ม. และระดับสันของโครงสร้างผันแปร ระหว่าง 1.8–2.5 ม.รทก. สำหรับระดับท้องน้ำด้านหน้าอยู่ที่ -0.7 ถึง -0.38 ม.รทก. และพบว่ามี ความแตกต่างระหว่างระดับท้องน้ำด้านหน้าและด้านหลังโครงสร้าง 0.5–1 ม. (เฉลี่ยประมาณ 0.8 ม.) ชายฝั่งด้านหน้าและด้านหลังโครงสร้าง โดยเฉลี่ยมีความลาดชัน 1:460 และ 1:600 ตามลำดับ ถึงแม้ว่า ในพื้นที่บริเวณนี้จะมีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งที่มีรูปแบบใกล้เคียงกับตำแหน่งอื่น แต่พื้นที่อกของชายฝั่งด้านหลังเขื่อนกันคลื่นมีพื้นที่เพียง 200–12,000 ตร.ม. คิดเป็นพื้นที่รวมเพียง 12,500 ตร.ม. (7.8 ไร่) ซึ่งถือว่าน้อยเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่นที่มีเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งที่มีรูปแบบคล้ายกัน



ก) แบบจำลองสภาพภูมิประเทศแสดงพื้นที่อกด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง



ข) รูปตัดตามขวาง เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งหมายเลข NB21

รูป 4-19 เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และพื้นที่อกด้านหลังโครงสร้างหมายเลข NB21 บริเวณบ้านคลองแสมขาว จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

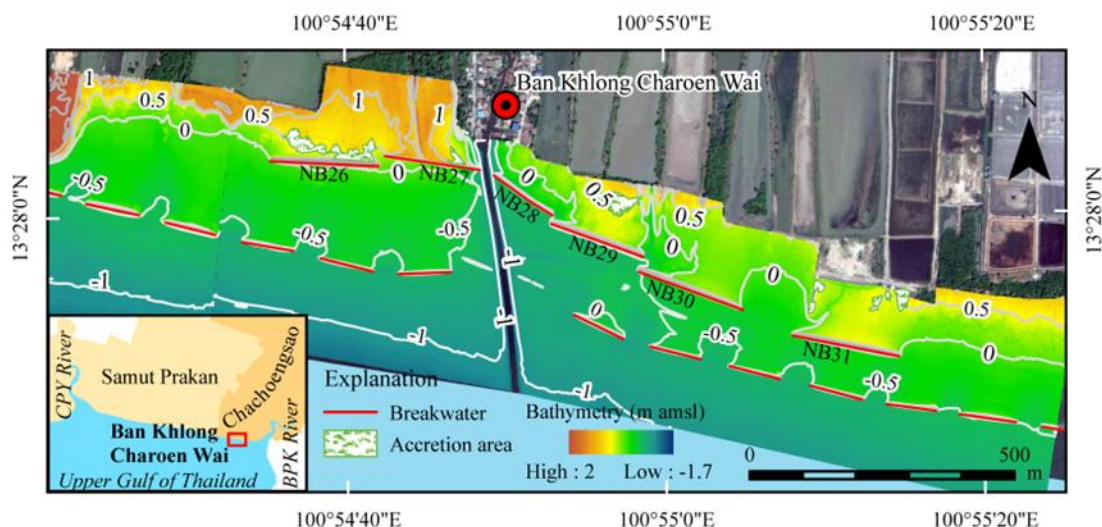


จากข้อมูลสำรวจ พบว่าถึงแม้ว่าระดับการทับถมของตะกอนเฉลี่ยประมาณ 0.8 ม. แต่ระดับการทับถมของดินด้านหลังโครงสร้างบริเวณนี้ อยู่ต่ำกว่าตำแหน่งอื่น ๆ โดยระดับท้องทะเลด้านหลังโครงสร้างอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 0.3 ม.รทก. ยกเว้นเขื่อนกันคลื่นหมายเลข NB21 ที่มีระดับการทับถมด้านหลังอยู่ที่ +0.7 ม.รทก. อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการก่อสร้างเขื่อนอยู่ใกล้กับแนวคันดินนาุ้งเป็นระยะทาง 75 ม. ทำให้มีพื้นที่ทับถมน้อย เมื่อเทียบกับเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งในพื้นที่อื่น ๆ ดังรูป 4-19

#### บ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา

จากผลการสำรวจ บ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา ในรูป 4-20 แสดงให้เห็นว่ามีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ทั้งหมด 6 ตัว (NB26-NB31) ในช่วงปี 2554-2562 โดยตัวโครงสร้างมีความสูงประมาณ 1.4-2.7 ม. มีความยาวผันแปรระหว่าง 135-202 ม. ถูกติดตั้งห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นประมาณ 0-160 ม. ซึ่งเขื่อนกันคลื่นที่มีระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นเท่ากับ 0 ม. เพราะถูกสร้างรุกเข้าไปในป่าชายเลน สำหรับระดับสันของโครงสร้างปัจจุบันอยู่ที่ระดับ 0.9-2.75 ม.รทก. การก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งส่งผลให้ ระดับท้องน้ำด้านหลังสูงกว่าด้านหน้าโครงสร้างประมาณ 0.1-1.0 ม. ด้วยค่าเฉลี่ยประมาณ 0.7 ม. เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง ความลาดชันด้านหน้าและด้านหลังโครงสร้าง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1:470 และ 1:505 ตามลำดับ

นอกจากนี้ จากผลการศึกษา พื้นที่อกของชายฝั่งบริเวณนี้ พบว่า ด้านหลังโครงสร้างมีพื้นที่งอกผันแปรระหว่าง 400-3,400 ตร.ม. คิดเป็นพื้นที่รวมประมาณ 7,590 ตร.ม. ถึงแม้ว่าการตกตะกอนด้านหลังเขื่อนกันคลื่นบริเวณนี้จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.8 ม. ซึ่งค่อนข้างจะใกล้เคียงกับบริเวณอื่นในพื้นที่ศึกษา แต่ระดับท้องน้ำที่เกิดจากการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างในพื้นที่บริเวณนี้ มีค่าระดับต่ำกว่าพื้นที่อื่น (<0.5 ม.รทก.) ส่งผลให้ป่าชายเลนไม่สามารถเจริญเติบโตมาถึงด้านหลังโครงสร้างได้



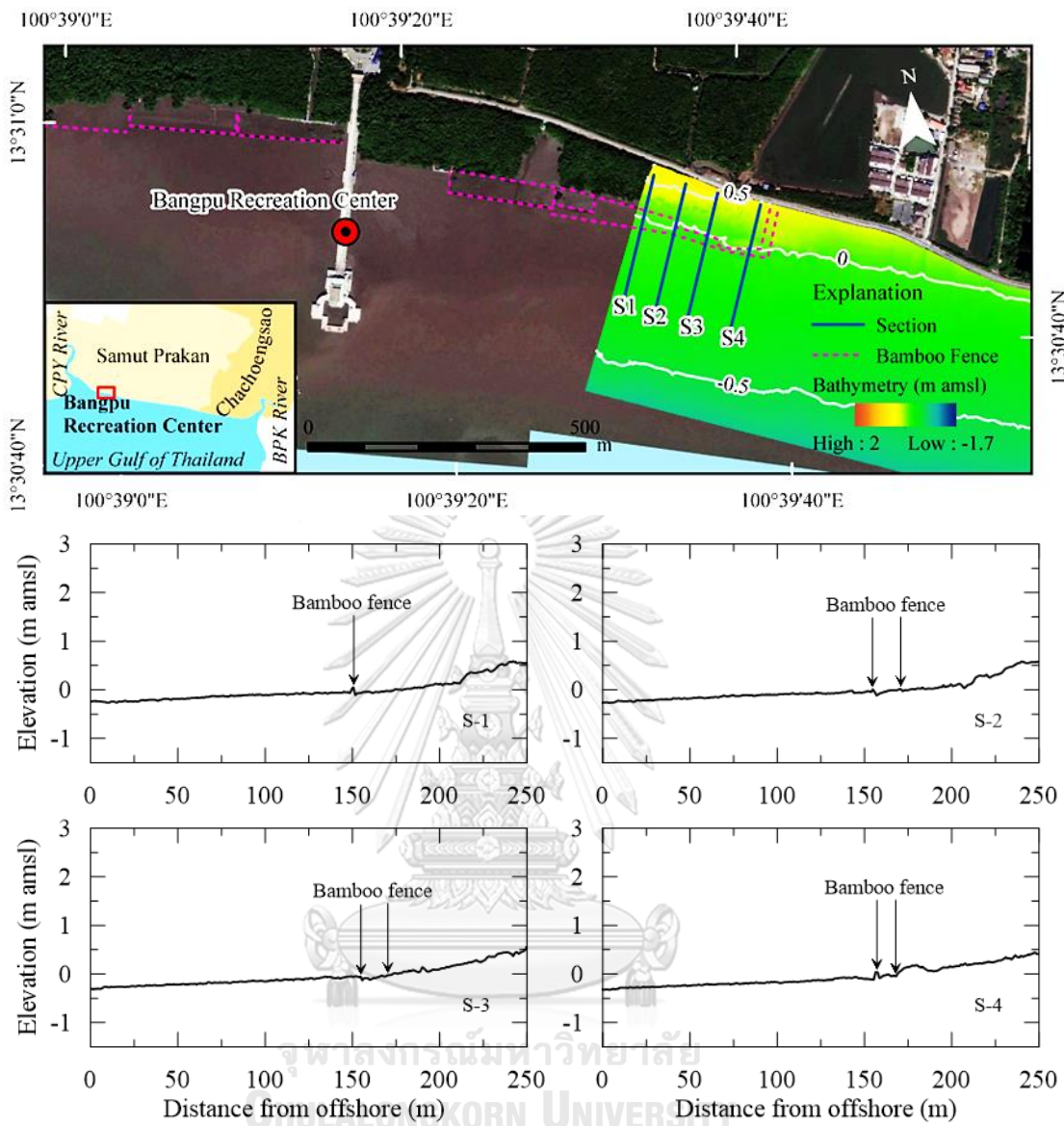
รูป 4-20 เชื้อกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และพื้นที่อกด้านหลังโครงสร้าง บริเวณบ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2565

#### 4.2.3 ประสิทธิภาพของการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น

การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น (bamboo fence) ได้รับการส่งเสริมโดย กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และถูกนำมาใช้ในพื้นที่ชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาตั้งแต่ปี 2554 จนถึงปัจจุบัน โดยการศึกษาครั้งนี้ มีตำแหน่งสำรวจประสิทธิภาพของการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นด้วย UAV-LiDAR ได้แก่ สถานีตากอากาศบางปู บ้านตำรุ บ้านตาก๊ก บ้านคลองด่าน และบ้านสีลัง สำหรับผลการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ของไม้ไผ่ชะลอคลื่น สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

##### บริเวณสถานีตากอากาศบางปู จ.สมุทรปราการ

สถานีตากอากาศบางปู เริ่มมีการปักแนวไม้ไผ่ชะลอคลื่น และมีการปลูกป่าชายเลนด้านหลังการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น ตั้งแต่ปี 2552 จนถึงปัจจุบัน จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ในพื้นที่นี้สามารถสำรวจสภาพชายฝั่งบริเวณที่มีการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นได้เพียงส่วนเดียว (รูป 4-21) เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นเขตห้ามบินสำรวจด้วยโดรน จากข้อมูลสำรวจด้วย UAV-LiDAR พบว่า ระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังแนวไม้ไผ่บริเวณ สถานีตากอากาศบางปู มีความสูงประมาณ 0-4 ซม. ด้วยค่าเฉลี่ยประมาณ 1 ซม. เมื่อเปรียบเทียบกับความลาดชัน ระหว่างด้านหน้า และด้านหลังโครงสร้าง พบว่ามีความลาดชันแตกต่างกันในบางตำแหน่งของการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นเท่านั้น

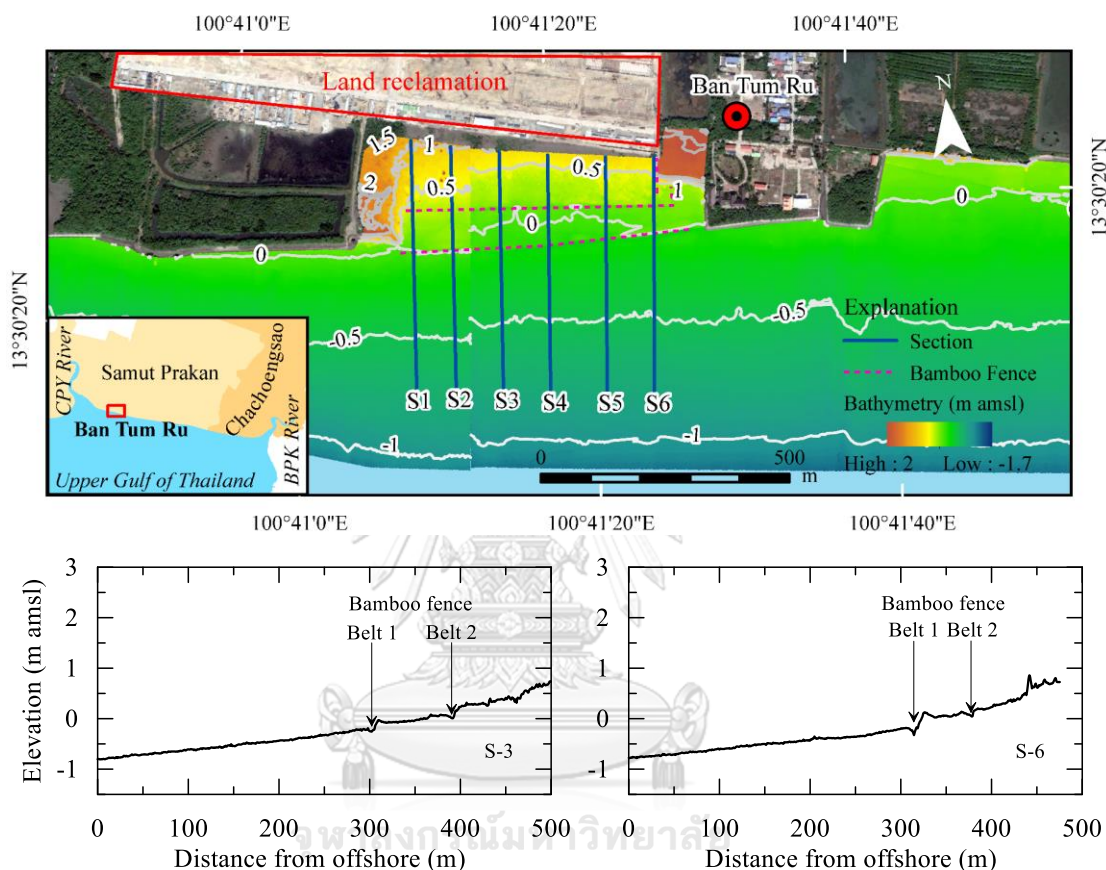


รูป 4-21 แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ และตัวอย่างภาพตัดขวางการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นบริเวณ  
สถานตากอากาศบางปู จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2565

บ้านตำหุ จ.สมุทรปราการ

ไม้ไผ่ชะลอคลื่นที่บ้านตำหุ จ.สมุทรปราการ เริ่มมีการติดตั้งตั้งแต่ ปี 2560 มีรูปแบบการปัก  
ไม้ไผ่ แบบซ้อนกันสองชั้น โดยจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวราบ พบว่าไม้ไผ่ชะลอ  
คลื่นถูกติดตั้งอยู่ด้านหน้าพื้นที่ ที่มีการก่อสร้างรูก้าออกไปทางทะเล หลังจากการติดตั้งไม้ไผ่ชะลอ  
คลื่น พบว่าด้านหลังของแนวไม้ไผ่เกิดการงอกของป่าชายเลนอย่างรวดเร็ว จากผลการสำรวจด้วย  
UAV-LiDAR แสดงให้เห็นว่า ค่าระดับท้องน้ำด้านหน้า และด้านหลังโครงสร้าง มีความแตกต่างกัน

ประมาณ 10-20 ซม. เฉลี่ยประมาณ 15 ซม. ดังรูป 4-22 ซึ่งตลอดแนวด้านหลังโครงสร้างไม้ไผ่ชะลอคลื่น มีระดับท้องน้ำด้านหลังที่แตกต่างกันไป และไม่สม่ำเสมอ สำหรับความลาดชันท้องน้ำด้านหลังโครงสร้าง มีความลาดชันประมาณ 1:420 ถึง 1:590 โดยประมาณ (รูป 4-22)

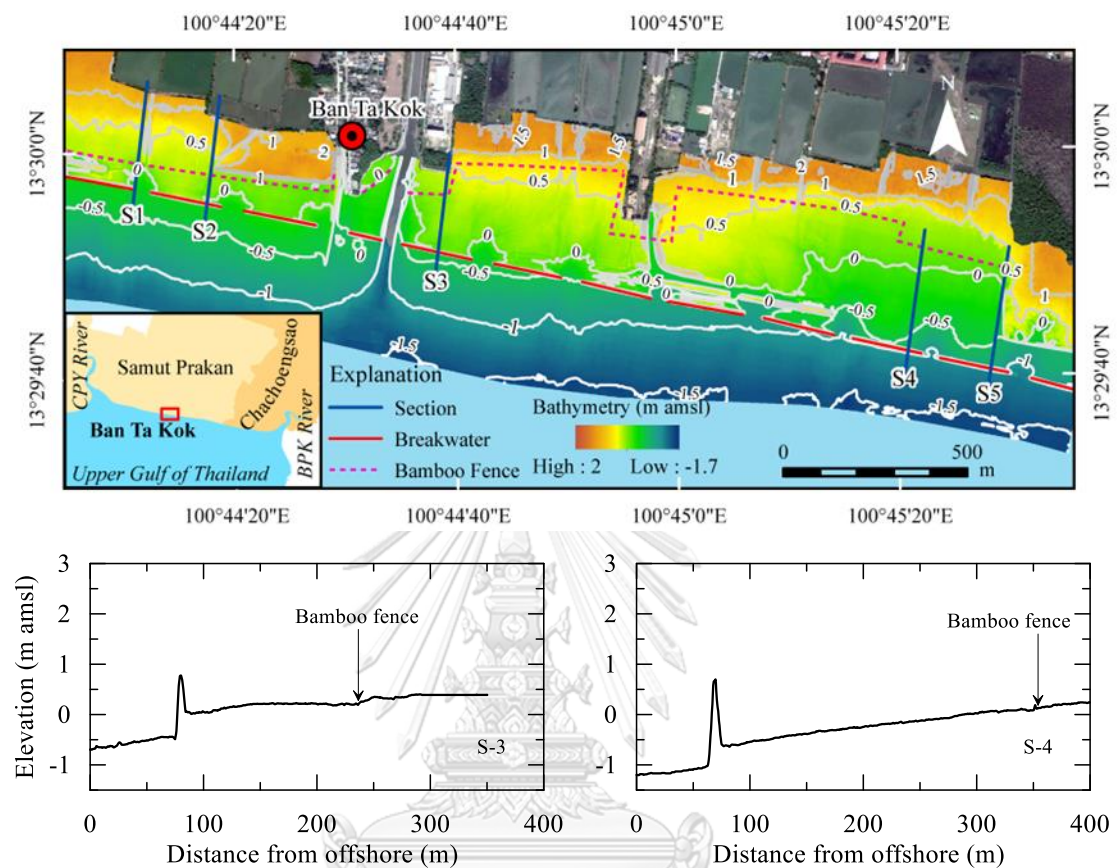


รูป 4-22 แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ และตัวอย่างภาพตัดขวางการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นบริเวณบ้านตำหรุ จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2565

บ้านตาก๊ก จ.สมุทรปราการ

บริเวณบ้านตาก๊ก เริ่มมีการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น ไว้ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ ตั้งแต่ปี 2554 โดยการติดตั้งไม้ไผ่มีรูปแบบที่ซ้อนกันหลายชั้น ป้องกันชายฝั่งตั้งแต่ บ้านตาเจ็ย จนถึงเขตบ้านตาก๊ก จ.สมุทรปราการ ดังรูป 4-23 จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ในปี 2564 พบว่า ระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังแนวไม้ไผ่ ผันแปรระหว่าง 2-12 ซม. คิดเป็นค่าเฉลี่ยประมาณ 5 ซม. แสดงให้เห็นว่า อัตราการทับถมมีค่าน้อยกว่า 1 ซม./ปี จากข้อมูลรูปตัดตามขวางแนวไม้ไผ่ไม่พบความ

แตกต่างกันระหว่างระดับท้องน้ำด้านหน้า และด้านหลังโครงสร้าง อีกทั้งความลาดชันด้านหน้าและด้านหลังแนวไม้ไผ่ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (รูป 4-23)

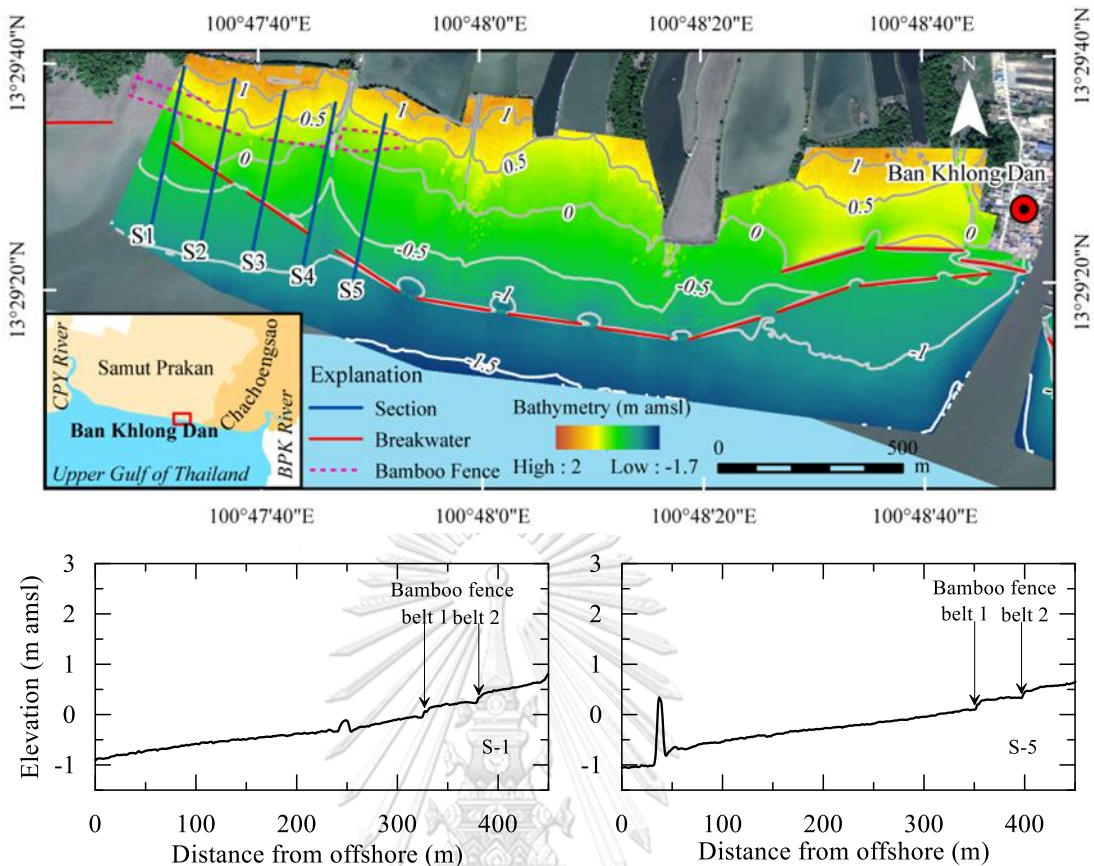


รูป 4-23 แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ และตัวอย่างภาพตัดขวางการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นบริเวณ บ้านตาเจีย-ตาก๊ก จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

CHULALONGKORN UNIVERSITY

#### บ้านคลองด่าน จ.สมุทรปราการ

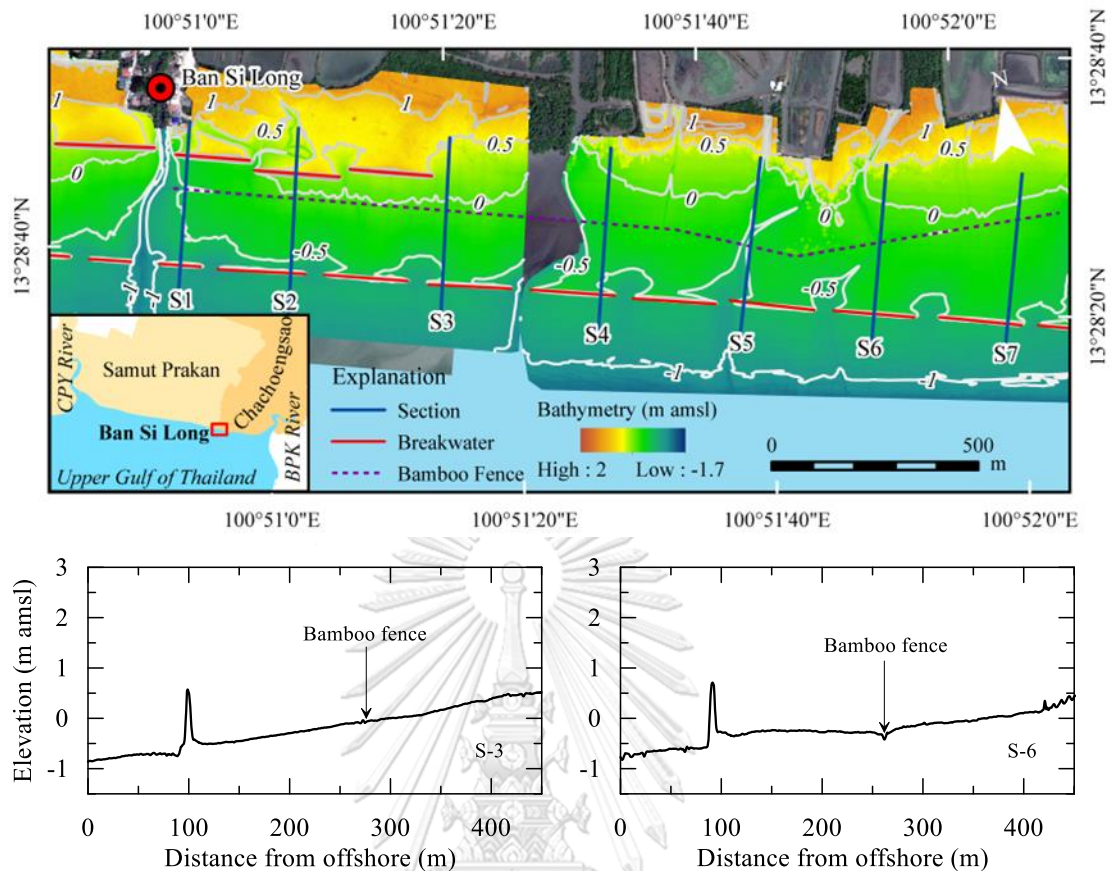
การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นบริเวณบ้านคลองด่าน ถูกติดตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันตกของ บ้านคลองด่าน ระหว่างปี 2563-2564 โดยมีรูปแบบการปักไม้ไผ่ซ้อนกันสองแถว แถวที่อยู่ด้าน ชายฝั่ง ห่างจากชายฝั่ง น้อยกว่า 50 ม. ส่วนแถวด้านนอกสุดอยู่ห่างจากแถวในประมาณ 50-60 ม. จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR พบว่าระดับท้องน้ำด้านหลังไม้ไผ่แถวนอกสูงกว่าด้านหน้าแนวไม้ไผ่ ประมาณ 15-35 ซม. ในขณะที่ ระดับท้องน้ำด้านหลังแนวไม้ไผ่ด้านใกล้ฝั่ง (belt 2) สูงกว่าแถวนอก (belt 1) ประมาณ 10-15 ซม. ดังรูป 4-24



รูป 4-24 แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ และตัวอย่างภาพตัดขวางการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นบริเวณ บ้านคลองด่าน จ.สมุทรปราการ จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

บ้านสีลัง จ.ฉะเชิงเทรา

ไม้ไผ่ชะลอคลื่น ถูกนำมาติดตั้งที่ชายฝั่งตะวันออกของบ้านสีลัง จ. ฉะเชิงเทรา ตั้งแต่ ปี 2558 โดยติดตั้งห่างจากชายฝั่งเริ่มต้น ประมาณ 150–250 ม. จากผลการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ชี้ให้เห็นว่า ระดับท้องน้ำด้านหน้า และด้านหลังแนวไม้ไผ่ มีความแตกต่างกันเพียง 5–8 ซม. นอกจากนี้ ความลาดชันที่ได้จากการสำรวจ ด้านหลัง และด้านหน้า มีความชันแปรระหว่าง 1:350 ถึง 1:600 และ 1:500 ถึง 1:600 ตามลำดับ ดังรูป 4-25



รูป 4-25 แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ และตัวอย่างภาพตัดขวางการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นบริเวณ บ้านสีลัง จ.ฉะเชิงเทรา จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ปี 2564

#### 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบ และเกณฑ์การออกแบบ

การสร้างเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นในหาดเลน จะพิจารณาจากข้อมูล การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวราบ ควบคู่กับข้อมูลสำรวจด้วย UAV-LiDAR อย่างไรก็ตาม ในหาดเลนไม่มีเส้นแบ่งแนวเขตชายฝั่งที่ชัดเจน เนื่องจากลักษณะหาดมีความลาดชันน้อยกว่าหาดทรายมาก ดังนั้นในการศึกษาหาเกณฑ์การออกแบบในครั้งนี้ จะใช้เส้นแนวชายฝั่งที่ได้จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวราบ เป็นตัวแทนเส้นแนวชายฝั่ง และจะถูกอ้างอิงไว้ที่ระดับความสูง 0.5 ม.รทก. เนื่องจาก การศึกษาข้อมูลระดับเส้นชั้นความสูงที่ได้จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR พบว่า ระดับความสูงที่ป่าชายเลนสามารถเจริญเติบโตได้ ในพื้นที่ชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 0.5 ม.รทก.

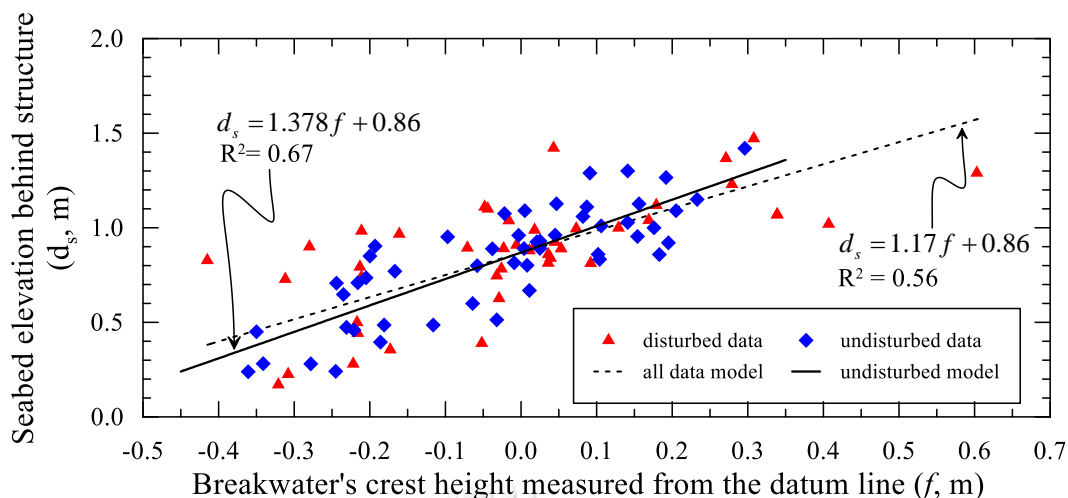
#### 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอันเนื่องมาจากเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ

การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบโครงสร้างและการตอบสนองของแนวชายฝั่ง เป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญในการสร้างเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง สำหรับการศึกษานี้ ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวราบ และข้อมูลชายฝั่งจากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR โดยในการศึกษาเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแบบจมน้ำครั้งนี้ พิจารณาตัวแปรออกแบบเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ อันประกอบด้วยด้วยระดับสันโครงสร้าง ( $f$ ), ระยะห่างของโครงสร้างจากแนวชายฝั่งเริ่มต้น ( $y$ ), ระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้าง ( $d_{s2}$ ) และตัวแปรตาม คือ ระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง ( $d_s$ ) ดังแสดงในรูป 3-29 สำหรับระดับอ้างอิงในการศึกษานี้ ใช้ระดับน้ำทะเล 0.5 ม.รทก. ซึ่งเป็นระดับเส้นแนวชายฝั่งที่ป่าชายเลนเจริญเติบโตได้ สำหรับผลการศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรออกแบบต่าง ๆ และการตอบสนองของชายฝั่ง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสันโครงสร้างและระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง

อิทธิพลของระดับสันของเขื่อนกันคลื่นแบบจมน้ำต่อระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง ถูกศึกษาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $d_s$  และ  $f$  ในรูป 4-26 จากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นทุกตัว (จุดสีน้ำเงินและสีแดง) พบว่าค่า  $f$  และ  $d_s$  มีความสัมพันธ์ค่อนข้างกระจายตัว แต่มีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ( $R^2$ ) อยู่ที่ 0.55 หมายความว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง การทับถมด้านหลังโครงสร้างและระดับสันของโครงสร้าง ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นนั้น สามารถเป็นตัวแทนของชุดข้อมูลสำรวจได้ประมาณ 55% ของข้อมูลทั้งหมด จากข้อมูลสำรวจยังพบว่า ระดับท้องน้ำด้านหลังเขื่อนกันคลื่นจมน้ำในบางตำแหน่งไม่สามารถประเมินประมาณทับถมของตะกอนได้ เนื่องจากมีการก่อสร้างโครงสร้างหลายชนิดอยู่ใกล้กับเขื่อนกันคลื่นจมน้ำเพียง 50–100 ม. และบางตำแหน่งถูกการรบกวนจากกิจกรรมของชุมชน เช่น การทำประมง เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การทิ้งแนวหินเพื่อป้องกันแนวชายฝั่ง เป็นต้น ในรูป จุดสีน้ำเงิน (undisturbed data) เป็นชุดข้อมูลที่ไม่นำข้อมูลที่ถูกรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์โดยตรง (จุดสีแดง, disturbed data) มาพิจารณา ซึ่งพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $d_s$  และ  $f$  ยังมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ที่มีค่า  $R^2$  เพิ่มขึ้นเป็น 0.67

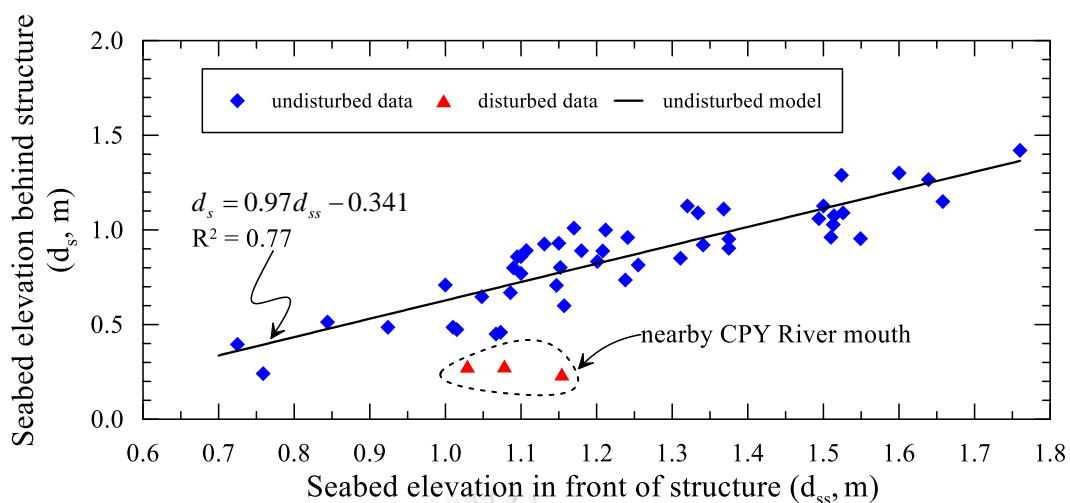




รูป 4-26 ความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับสันโครงสร้าง และระดับการทับถมของตะกอนด้านหลัง  
โครงสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำในพื้นที่ศึกษา

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้างและระดับการทับถมของตะกอน  
ด้านหลังโครงสร้าง

เนื่องจาก ระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้าง หรือ  $d_{ss}$  ในกรณีการศึกษาครั้งนี้ เป็นผลรวมระหว่างความสูงของเขื่อนกันคลื่น และระดับสันเขื่อนกันคลื่น ( $f$ ) หรือระยะจมของสันเขื่อน ซึ่งเป็นหนึ่งในตัวแปรออกแบบที่โดยทั่วไปมีอิทธิพลกับระดับการทับถมของตะกอนทรายด้านหลังโครงสร้าง รูป 4-27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $d_{ss}$  และ  $d_s$  ในพื้นที่ศึกษา ซึ่งพบว่า  $d_{ss}$  และ  $d_s$  มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น หมายถึง หากก่อสร้างเขื่อนกันคลื่น โดยให้มีฐานของโครงสร้างอยู่ที่ระดับท้องน้ำต่ำกว่าเส้นเกณฑ์มาก จะส่งผลให้ค่าระดับการทับถมด้านหลังโครงสร้างจะน้อยลงด้วยเช่นกัน (อัตราการทับถมต่ำ) จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าเขื่อนกันคลื่นบางตำแหน่งมีระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างสูงกว่าตำแหน่งอื่น โดยมีสาเหตุมาจากการก่อสร้างอยู่ใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยา และคลองสายหลัก (จุดสีแดง ในรูป 4-27) อาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้มีปริมาณตะกอนทับถมด้านหลังโครงสร้างสูง ( $d_s$  น้อย) กว่าตำแหน่งอื่นแม้ว่าโครงสร้างถูกติดตั้งในระดับที่ต่ำกว่า (ห่างจากฝั่งมากกว่า) เมื่อข้อมูลดังกล่าวถูกแยกออกจากการวิเคราะห์ พบว่ายังคงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยมีค่า  $R^2 = 0.77$

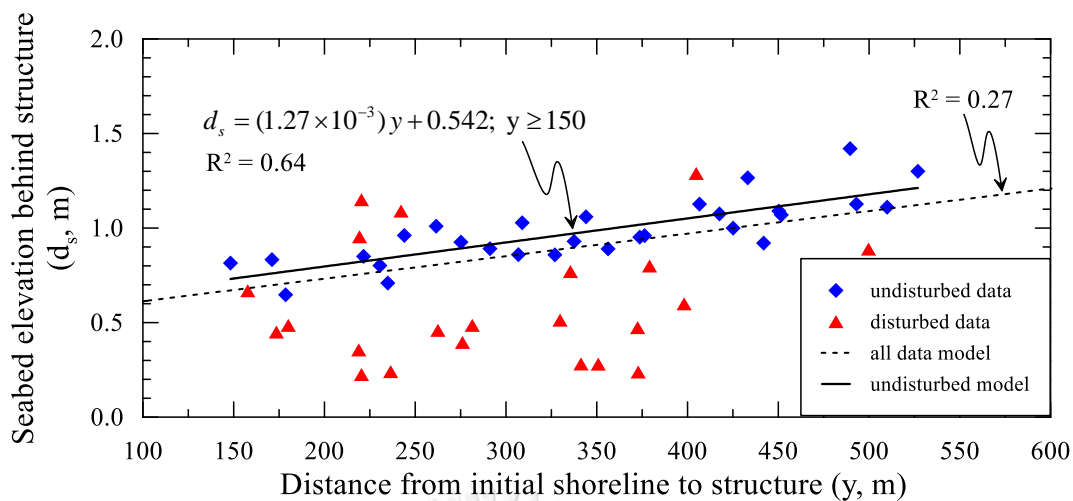


รูป 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับท้องน้ำด้านหลังโครงสร้าง และระดับการทับถมของตะกอน ด้านหลังโครงสร้าง เชื่อมกันคลื่นจมน้ำในพื้นที่ศึกษา

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากชายฝั่งถึงโครงสร้างและระดับการทับถมของตะกอน ด้านหลังโครงสร้าง

ระยะห่างจากโครงสร้างถึงแนวชายฝั่ง ( $y$ ) เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญในการกำหนดเกณฑ์การออกแบบเชื่อมกันคลื่นสำหรับหาดทราย เนื่องจากลักษณะของคลื่น กระแสน้ำ มีความแตกต่างกันตามระยะห่างจากชายฝั่ง นอกจากนี้ ระยะห่างจากโครงสร้างถึงแนวชายฝั่ง จะเป็นเงื่อนไขสำคัญในการกำหนด ระดับฐาน และระดับสันของโครงสร้างเชื่อม ถ้าหากเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างที่มีความสูงเท่ากัน โครงสร้างที่อยู่ห่างจากชายฝั่งมากกว่า อาจมีระดับสันของโครงสร้างต่ำกว่าโครงสร้างที่อยู่ใกล้ชายฝั่ง ซึ่งระดับสันโครงสร้าง มีผลต่อระดับการทับถมของตะกอนด้านหลัง ดังแสดงในผลการศึกษาหัวข้อที่ผ่านมา ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงวิเคราะห์อิทธิพลของ  $y$  ที่มีต่อ  $d_s$  เพื่อประกอบการสร้างเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างเชื่อมกันทรายและคลื่นในหาดเลน

กราฟระหว่าง  $y$  และ  $d_s$  จากข้อมูลสำรวจ ถูกพลอตใน รูป 4-28 (จุดสีแดงและสีน้ำเงิน) ซึ่งจากกราฟไม่เห็นความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจนระหว่างทั้ง 2 ตัวแปร จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าในบางพื้นที่เชื่อมกันคลื่นจมน้ำในบางตำแหน่ง ถูกก่อสร้างไว้ใกล้ปากคลองสายหลัก หรือปากคลองระบายน้ำจากนาทุ่ง ที่มีระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างสูงหรือต่ำผิดปกติ (จุดสีแดงในรูป 4-28) เมื่อแยกข้อมูลที่ถูกรบกวนโดยกิจกรรมของมนุษย์ (จุดสีแดง) ออกจากการวิเคราะห์พบว่าค่าของ  $y$  และ  $d_s$  (จุดสีน้ำเงิน) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยมีค่า  $R^2$  เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.27 เป็น 0.64



รูป 4-28 ความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะห่างจากชายฝั่งถึงโครงสร้าง และระดับการทับถมของตะกอน ด้านหลังโครงสร้าง เชื่อมกันคลื่นจมน้ำในพื้นที่ศึกษา

#### เกณฑ์การออกแบบเชื่อมกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้ง

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรออกแบบ ระดับสันของโครงสร้าง ( $f$ ) ระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้างหรือระดับฐานโครงสร้าง ( $d_{ss}$ ) ระยะห่างจากโครงสร้างถึงแนวชายฝั่ง ( $y$ ) และระดับการทับถมด้านหลังโครงสร้าง ( $d_s$ ) พบว่าค่า  $d_s$  มีความสัมพันธ์กับ  $f$ ,  $d_{ss}$ , และ  $y$  และมีแนวโน้มความสัมพันธ์ที่สามารถนำไปสู่การประยุกต์ใช้เกณฑ์การออกแบบเชื่อมกันคลื่นจมน้ำในหาดเลนได้ สำหรับการสร้างเกณฑ์การออกแบบ ตัวแปรต่าง ๆ จะถูกทำให้อยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิติ (dimensionless) เพื่อให้สามารถนำผลการศึกษา ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเชื่อมกันคลื่นในเงื่อนไขสภาพเงื่อนไขชายฝั่งที่หลากหลายได้

สำหรับการสร้างเกณฑ์การออกแบบเชื่อมกันคลื่นจมน้ำสำหรับหาดเลน ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนระหว่างระยะทางจากชายฝั่งถึงโครงสร้างต่อระดับการทับถมด้านหลังโครงสร้าง ( $y/d_s$ ) และอัตราส่วนระหว่างระดับสันของโครงสร้างต่อระดับด้านหน้าโครงสร้างหรือระดับฐานโครงสร้าง ( $f/d_{ss}$ ) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติทั้งสอง ด้วยสมการถดถอย (regression) รูปแบบต่าง ๆ ดังสรุปในตาราง 4-11 พบว่า สมการ Hyperbolic Decline มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนของเกณฑ์การออกแบบเชื่อมกันคลื่นจมน้ำมากที่สุดด้วยค่า  $R^2=0.73$  ดังรูป 4-29

ตาราง 4-11 สรุปการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติด้วยสมการถดถอย

Equation	R <sup>2</sup>
Hyperbolic Decline $\frac{y}{d_s} = 401.9 \left( 1 + \frac{1.5957(f/d_{ss})}{0.6094} \right)^{(-1/1.5957)}$	0.72
Bleasdale $\frac{y}{d_s} = \left( 0.00198 + 0.00432 \frac{f}{d_{ss}} \right)^{-1/1.04}$	0.71
Polynomial Regression (degree=2) $\frac{y}{d_s} = 357 - 739 \left( \frac{f}{d_{ss}} \right) + 5,200 \left( \frac{f}{d_{ss}} \right)^2$	0.69
Exponential $\frac{y}{d_s} = 413.8e^{-2.988 \left( \frac{f}{d_{ss}} \right)}$	0.62
Linear $\frac{y}{d_s} = 478 - 1,350 \left( \frac{f}{d_{ss}} \right)$	0.51

ความสัมพันธ์สำหรับการคำนวณระดับการทับถมด้านหลังโครงสร้าง ( $d_s$ ) เมื่อทราบค่าตัวแปรออกแบบ  $y$ ,  $d_{ss}$  และ  $f$  สามารถเขียนได้ดังสมการ 4-1 และจากความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ระดับสันและระดับการติดตั้งโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นจมน้ำ จะมีผลต่อความลาดชันท้องน้ำด้านหลังโครงสร้างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระดับสันโครงสร้างอยู่เหนือระดับอ้างอิงขึ้นไป (มากกว่า 0.5 ม.รทก.)

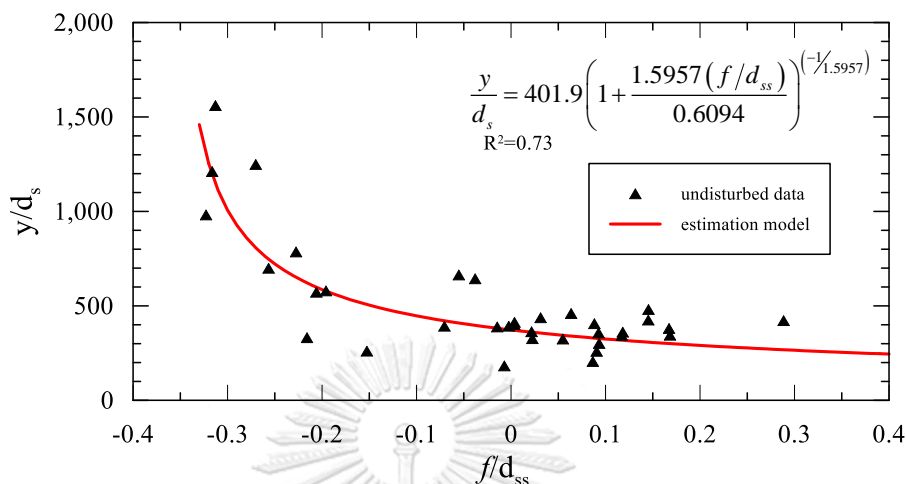
$$\frac{y}{d_s} = 401.9 \left( 1 + \frac{1.5957(f/d_{ss})}{0.6094} \right)^{(-1/1.5957)} \quad (4-1)$$

โดยที่  $y$  คือ ระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นถึงตัวโครงสร้าง

$d_s$  คือ ระดับการทับถมด้านหลังโครงสร้างถึงเส้นอ้างอิง (+0.5 ม.รทก.)

$f$  คือ ระยะจากระดับสันโครงสร้างถึงเส้นอ้างอิง (+0.5 ม.รทก.)

$d_{ss}$  คือ ระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้างถึงเส้นอ้างอิง (+0.5 ม.รทก.)



รูป 4-29 เกลนธ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้งในหาดเลนอ่าวไทยตอนบน

#### เงื่อนไขการใช้เกณฑ์การออกแบบ

เนื่องจากการสร้างเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ (submerged breakwater) ถูกสร้างขึ้นบนพื้นฐานของโครงสร้างที่อยู่ในพื้นที่หาดเลนจริงจึงทำให้ เกณฑ์การออกแบบมีข้อจำกัดตามข้อมูลที่สามารถได้ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการใช้โครงสร้าง ในการลดการกัดเซาะชายฝั่ง และ/หรือ ทำให้เกิดการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างมากขึ้น เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นจมน้ำจึงควรมีเงื่อนไขดังนี้

เงื่อนไขสภาพสมุทรศาสตร์ ควรมีสภาพสมุทรศาสตร์ใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษาได้แก่

ความสูงคลื่นนัยสำคัญในน้ำลึก ( $H_0$ )	$H_0 < 0.5$	ม.
คาบเวลาคลื่น (T)	$2 < T < 4$	วินาที
ฐานโครงสร้างควรมีความกว้างประมาณ	5–8	ม.
ระดับการวางโครงสร้างควรอยู่ระหว่าง	$-0.2 < d_{ss} \text{ (elev.)} < -1.3$	ม.รทก.
ระยะห่างจากชายฝั่งควรอยู่ระหว่าง	$150 < y < 550$	ม.
ระดับสันของโครงสร้างต้องอยู่ระหว่าง	$0.2 < f \text{ (elev.)} < 0.9$	ม.รทก.

#### 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอันเนื่องมาจากเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

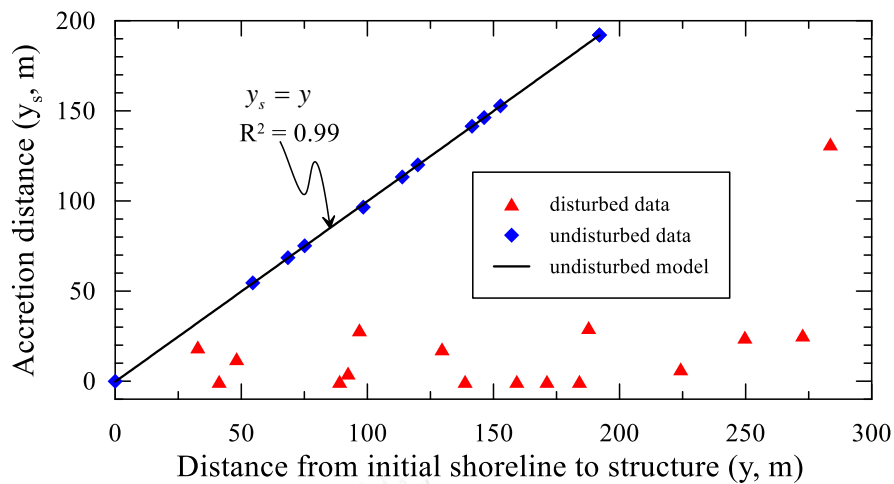
สำหรับการศึกษาเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง มีตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอนเพื่อก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้แนวชายฝั่ง ได้แก่ ระยะห่างจากแนวชายฝั่ง เริ่มต้นถึงตัวโครงสร้าง ( $y$ ) ระยะงอกของชายฝั่ง ( $y_s$ ) พื้นที่อกด้านหลังโครงสร้าง ( $A_s$ ) ระดับการทับถมด้านหลังโครงสร้าง ( $d_s$ ) ระดับสันของโครงสร้าง ( $f$ ) ระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้าง ( $d_{ss}$ ) เป็นต้น โดยระดับอ้างอิง ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าระดับ 0.5 ม.รทก. ซึ่งเป็นระดับที่ป่าชายเลนสามารถเจริญเติบโตได้ สำหรับผลการศึกษาคำสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร สรุปได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

##### ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากแนวชายฝั่งถึงตัวโครงสร้างและระยะงอกของชายฝั่ง

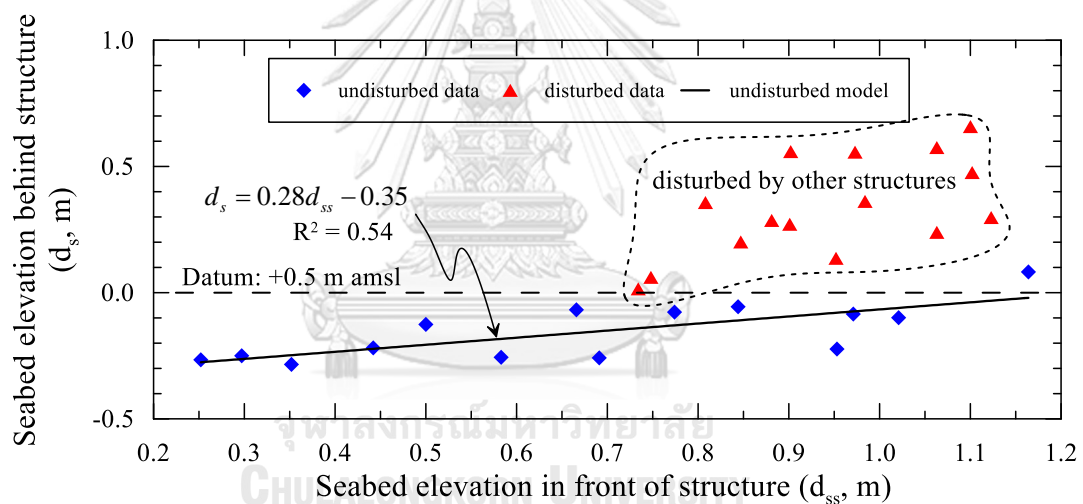
ความสัมพันธ์ระหว่าง  $y$  และ  $y_s$  แสดงในรูป 4-30 จากกราฟพบว่า กรณีที่เขื่อนกันคลื่นตั้งอยู่ห่างจากชายฝั่ง 0–200 ม. ( $0 < y < 200$  ม.) ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 23 ตัว ด้านหลังของเขื่อนกันคลื่นจำนวน 11 ตัว เกิดการงอกของแผ่นดินเป็นระยะทางเท่ากับระยะห่างของโครงสร้างต่อชายฝั่ง (แนวชายฝั่งงอกจนชิดกับเขื่อนกันคลื่น) ดังแสดงด้วยจุดสีน้ำเงิน ในรูป 4-30 สำหรับเขื่อนกันคลื่นที่เหลือ (จุดสีแดง) พบว่าระยะงอกของแนวชายฝั่งด้านหลังโครงสร้าง ไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับระยะห่างของโครงสร้างจากแนวชายฝั่ง โดยปัจจัยหลักเกิดจาก การที่เขื่อนกันคลื่นถูกก่อสร้างบริเวณด้านหน้าโครงสร้างชนิดอื่น เช่น แนวหินป้องกันตลิ่งของชาวบ้าน หรือ การที่เขื่อนกันคลื่นถูกสร้างอยู่ที่มีระดับท้องน้ำต่ำ (หรือมีค่า  $d_{ss}$  สูง)

##### ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำด้านหน้าและด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

รูป 4-31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $d_s$  และ  $d_{ss}$  จากกราฟไม่พบแนวโน้มความสัมพันธ์ที่ชัดเจนของข้อมูลทั้งหมด อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเงื่อนไขสภาพแวดล้อมบริเวณที่ก่อสร้างเขื่อนกันคลื่น พบว่า มีเขื่อนกันคลื่นจำนวนหนึ่ง (จุดสีแดง ในรูป 4-31) ที่ตั้งอยู่ในน้ำลึกกว่า 0.7 ม.จากระดับอ้างอิง ถูกก่อสร้างในบริเวณที่มีโครงสร้างอื่น ๆ ซึ่งอาจรบกวนกระบวนการตกตะกอนด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ทำให้ระดับการตกตะกอนด้านหลังโครงสร้างต่ำกว่าระดับอ้างอิง เมื่อพิจารณาข้อมูล  $d_s$  และ  $d_{ss}$  เฉพาะเขื่อนกันคลื่นที่ไม่มีโครงสร้างอื่นรบกวน (จุดสีน้ำเงินใน รูป 4-31) พบว่าค่าความลึกน้ำด้านหน้า และด้านหลังโครงสร้างมีความสัมพันธ์ ในเชิงเส้นตรง ด้วยค่า  $R^2 = 0.54$  อย่างไรก็ตาม ความลึกน้ำด้านหน้าโครงสร้าง หรือระดับฐานของโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น อาจไม่ใช่ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง อันเห็นได้จาก ช่วงค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของ  $d_{ss}$  มีผลต่อความลึกน้ำด้านหลังโครงสร้าง หรือระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างมีค่าเพียงแค่ 30 ซม. เท่านั้น



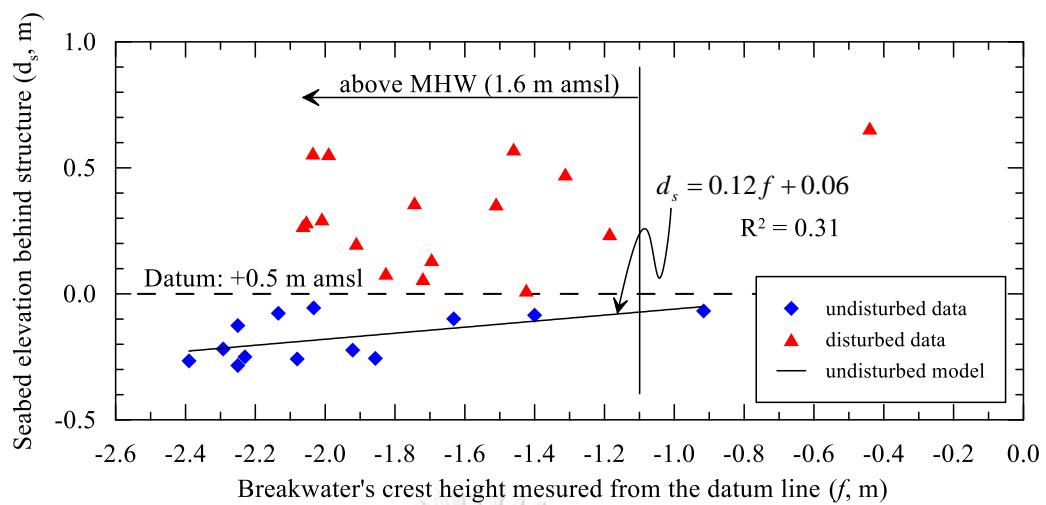
รูป 4-30 ความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้น และระยะงอกของชายฝั่งด้านหลัง  
เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง



รูป 4-31 ความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับต่อน้ำด้านหน้า และระดับการทับถมด้านหลังเขื่อนกันคลื่น  
ใกล้ชายฝั่ง

#### ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสันโครงสร้างและความลึกน้ำด้านหลังโครงสร้าง

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความสูงสันโครงสร้าง ( $f$ ) และระดับความลึกน้ำด้านหลังโครงสร้าง ( $d_s$ ) แสดงใน รูป 4-32 จากรูปพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวค่อนข้างมาก แม้ว่าเลือกข้อมูลที่ไม่มีการรบกวนจากโครงสร้างมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (จุดสีน้ำเงิน รูป 4-32) แต่ยังไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างตัวแปรทั้งสอง เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงความสูงของสันโครงสร้างไม่ทำให้ระดับความลึกน้ำด้านหลังของโครงสร้างเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ (น้อยกว่า 30 ซม.)



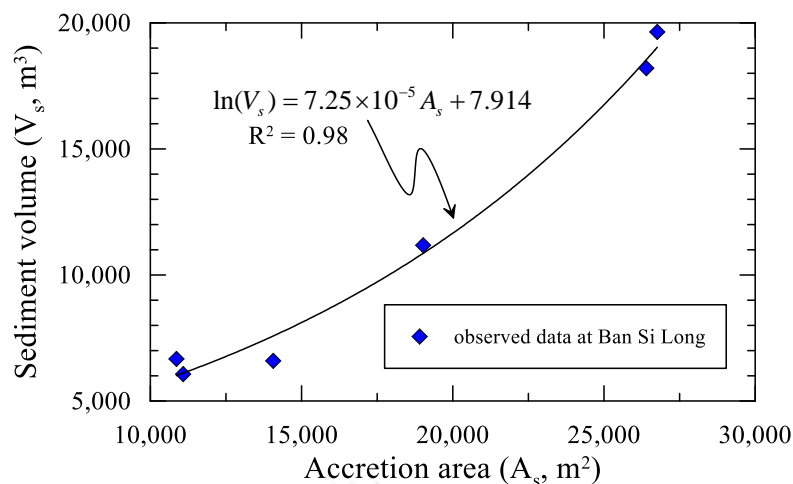
รูป 4-32 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของโครงสร้างและความลึกน้ำด้านหลังโครงสร้าง

ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ตอก และปริมาตรตะกอนที่ทับถมด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ตอก ( $A_s$ ) และปริมาตรตะกอนที่ทับถมด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ( $V_s$ ) แสดงในรูป 4-33 จากรูปพบว่า พื้นที่ทับถม มีความสัมพันธ์ กับปริมาตรทับถมด้านหลังโครงสร้าง เป็นความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียล และมีค่า  $R^2 = 0.98$  โดยเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งที่นำมาวิเคราะห์ ตั้งอยู่บริเวณ บ้านสีลัง ถึง วัดหงษ์ทอง จ.ฉะเชิงเทรา ซึ่งเป็นกรณีที่ไม่มีการก่อสร้างโครงสร้างอื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และเกิดการงอกของแนวชายฝั่งชิดกับด้านหลังโครงสร้าง

เนื่องจากชุดข้อมูลเส้นชั้นความสูงท้องน้ำ ก่อนการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งมีข้อมูลเพียง บริเวณบ้านสีลัง ไปจนถึงวัดหงษ์ทอง ที่ได้มาจากการศึกษาของ Saengsupavanich (2013) เท่านั้น จากการประเมินปริมาตรการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง โดยใช้ข้อมูลเส้นชั้นความสูงท้องน้ำของกรมอุทกศาสตร์ พบว่าปริมาตรตะกอนมีความเบี่ยงเบนจากข้อมูลของ Saengsupavanich (2013) อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเส้นชั้นความสูงที่สำรวจโดยกรมอุทกศาสตร์ เป็นการสำรวจในน้ำลึกเท่านั้น ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง  $A_s$  และ  $V_s$  จึงวิเคราะห์จากข้อมูลชายฝั่งบริเวณ บ้านสีลัง ถึง วัดหงษ์ทอง จ.ฉะเชิงเทรา ซึ่งมีข้อมูลเพียง 6 ชุดเท่านั้น





รูป 4-33 ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่งอก และปริมาตรตะกอนที่ทับถมด้านหลังเขื่อนกันคลื่น  
ใกล้ชายฝั่ง

#### เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง สามารถสรุปได้ว่า ตัวแปรแต่ละตัวที่พิจารณายังไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจน และด้วยสภาพพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง มีผลของโครงสร้างอื่นที่ก่อสร้างอยู่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ทำให้กระบวนการกัดตะกอนของเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ถูกครอบงำโดยโครงสร้างอื่น ๆ เช่น เขื่อนกันตลิ่ง เป็นต้น จึงไม่สามารถหาเกณฑ์การออกแบบที่ชัดเจนได้

## บทที่ 5

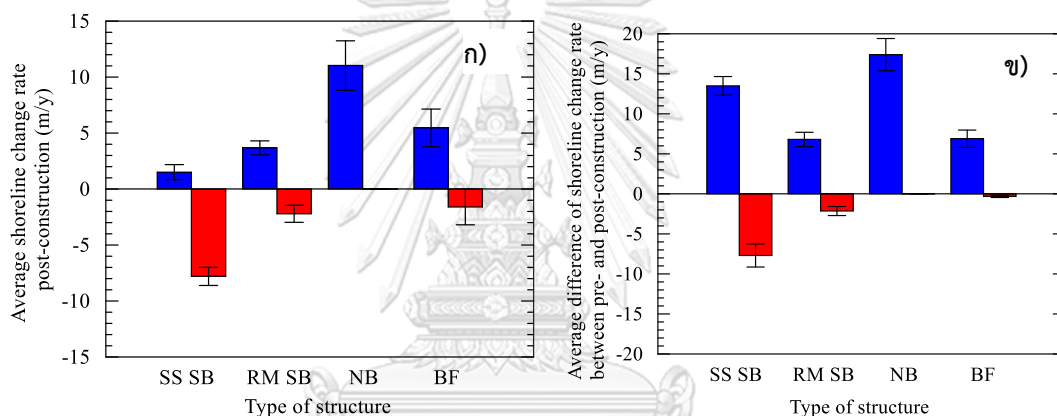
### อภิปรายผลการศึกษา

ชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาถูกพิจารณาว่า เป็นหนึ่งในชายฝั่งที่มีการถดถอยมากที่สุดแห่งหนึ่งโลก และมีการใช้มาตรการป้องกันชายฝั่งจำนวนมากในการป้องกันแนวชายฝั่ง มาตรการสีเทา (grey solution) และสีเขียว (green nature-based solution) ถูกนำมาใช้ป้องกันชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา เชือกกันคลื่น (seawall) เป็นหนึ่งในมาตรการสีเทา ที่ถูกนำมาใช้ในพื้นที่ศึกษาเป็นโครงสร้างแรก จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวราบ เชือกกันคลื่นก่อสร้างเสร็จเมื่อปี 2537 ประสบความสำเร็จในการสร้างเสถียรภาพชายฝั่งกว่า 23% ของแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา อย่างไรก็ตามแนวชายฝั่งที่ยังไม่มีโครงสร้างยังคงเกิดการถดถอยของแนวชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี 2497–2557 สำหรับการอภิปรายประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง และเกณฑ์การออกแบบเชือกกันคลื่นสำหรับหาดเลน มีรายละเอียดในหัวข้อย่อย ดังต่อไปนี้

#### 5.1 ประสิทธิภาพของไส้กรอกทรายต่อการป้องกันแนวชายฝั่งด้านตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

เชือกกันคลื่นจมน้ำ (submerged breakwater) เป็นหนึ่งในมาตรการสีเทา ซึ่งถูกนำมาใช้ป้องกันชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออกครอบคลุมระยะทางกว่า 23 กม. และเชือกกันคลื่นแบบไส้กรอกทรายถูกนำมาใช้เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาเรื่องการทรุดตัวของโครงสร้างในหาดเลน เนื่องจากมีน้ำหนักเบากว่าหิน สำหรับประสิทธิผลของไส้กรอกทรายสำหรับการศึกษารั้งนี้ ประเมินได้จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวราบเพียงเท่านั้น เนื่องจากในปี 2558 ได้มีการก่อสร้างเชือกกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้งทดแทนไส้กรอกทรายที่เสื่อมสภาพหลังจากติดตั้ง จึงทำให้ไม่มีข้อมูลสำรวจท้องน้ำซึ่งเป็นตัวแทนของโครงสร้างไส้กรอกทราย จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง (ตาราง 4-4) และ รูป 5-1ก ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งภายหลังการก่อสร้าง เชือกกันคลื่นจมน้ำแบบไส้กรอกทราย (SS SB) เชือกกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง (RM SB) และ เชือกกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (NB) แสดงให้เห็นว่า หลังจากติดตั้งไส้กรอกทราย ชายฝั่งที่เกิดการงอกหรือมีเสถียรภาพ มีเพียง 12% เท่านั้น และมีอัตราการงอกเฉลี่ยน้อยที่สุด (1.5 ม./ปี) เมื่อเทียบกับโครงสร้างชนิดอื่น ในขณะที่อีก 88% ของแนวชายฝั่งยังคงถูกกัดเซาะด้วยอัตราการกัดเซาะเฉลี่ยสูงสุด (-7.8 ม./ปี) ดังนั้นเชือกกันคลื่นจมน้ำด้วยไส้กรอกทราย จึงดูเหมือนไม่ประสบความสำเร็จในการรักษาเสถียรภาพชายฝั่ง สอดคล้องกับ Saengsupavanich (2013) ที่รายงานว่า ไส้กรอกทรายไม่มีประสิทธิผลในการ

ป้องกันชายฝั่งในช่วงน้ำขึ้นสูง (high tides) เนื่องจากคลื่นสามารถเคลื่อนที่ข้ามสันของไส้กรอกทราย และทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่ง อย่างไรก็ตาม ข้อมูลผลต่างระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง ก่อนและหลังการก่อสร้างโครงสร้างแต่ละชนิด (ตาราง 4-4) แสดงให้เห็นว่าอัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งเฉลี่ย หลังจากก่อสร้างไส้กรอกทราย ลดเหลือเพียงครึ่งเดียวเมื่อเทียบกับก่อนการก่อสร้าง และรูป 5-1ข ซึ่งแสดงผลต่างของอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยก่อนและหลังการก่อสร้างไส้กรอกทราย เปิดเผยให้เห็นว่า ถึงแม้ว่าแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกันโดยไส้กรอกทราย จะเกิดการถดถอยอย่างต่อเนื่องหลังจากการก่อสร้าง แต่เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระหว่างก่อน และหลังการก่อสร้าง พบว่าไส้กรอกทรายสามารถชะลอการถดถอยของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกันได้ โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยได้ถึง 13.5 ม./ปี สำหรับชายฝั่งบางส่วนที่ยังคงเกิดการถดถอยรุนแรงหลังการก่อสร้างเขื่อน มีค่าเฉลี่ยความรุนแรงเพิ่มขึ้นประมาณ -7.7 ม./ปี



ก) อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยหลังการก่อสร้างของโครงสร้างแต่ละชนิด ข) ผลต่างเฉลี่ยระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนและหลังการก่อสร้างโครงสร้างแต่ละชนิด

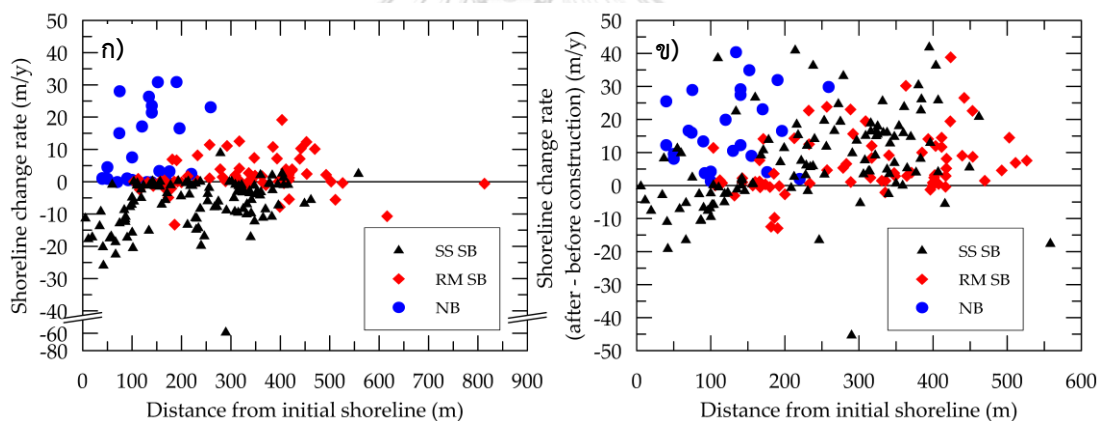
Note: SS SB=sand-sausage-submerged breakwater, RM SB=rubble-mound-submerged breakwater, NB= nearshore breakwater

รูป 5-1 ค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างโครงสร้างแต่ละชนิด

รูป 5-2ก แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง หลังจากการติดตั้งโครงสร้างแต่ละชนิด และระยะการติดตั้งโครงสร้างห่างจากชายฝั่ง ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลแนวชายฝั่ง พบว่าแนวชายฝั่งที่มีการติดตั้งไส้กรอกทรายเกือบทั้งหมดยังมีอัตราการกัดเซาะอยู่ระหว่าง 0 ถึง -22 ม./ปี โดยไม่ขึ้นกับระยะการติดตั้งโครงสร้าง ส่วนรูป 5-2ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนและหลังการก่อสร้างโครงสร้าง กับระยะห่างการติดตั้งโครงสร้างจากแนวชายฝั่งเริ่มต้น จากรูปพบว่า ไส้กรอกทรายที่ถูกสร้างห่างจากแนวชายฝั่ง ระหว่าง 40-450 ม. ส่งผลให้ 64% ของชายฝั่งที่ถดถอย มีอัตราการถดถอยของชายฝั่งน้อยลงกว่าก่อนการ

ก่อสร้างไส้กรอกทราย และ 78% ของไส้กรอกทรายดังกล่าว สามารถช่วยลดอัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งได้ประมาณ 1–20 ม./ปี ในทางกลับกัน 36% ของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกันโดยไส้กรอกทราย ยังคงเกิดการถดถอยอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าโครงสร้างจะถูกก่อสร้างห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นเพียง 10–150 ม.

รูป 5-3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อน (กราฟแท่งสีเทา) และหลังการติดตั้งไส้กรอกทราย (กราฟแท่งสีน้ำเงิน) ของ 10 พื้นที่ ตั้งแต่บ้านสีลัง จ.สมุทรปราการ ถึง บ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา จากรูปพบว่าพื้นที่ชายฝั่งที่ติดตั้งไส้กรอกทราย ส่วนใหญ่มีอัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งลดลงหลังจากก่อสร้างไส้กรอกทราย ยกเว้นชายฝั่งบริเวณบ้านคลองแสมขาว และบ้านคลองเจริญวัย จ.ฉะเชิงเทรา (Sta.32+940–Sta.37+680) ซึ่งอยู่ใกล้ปากแม่น้ำบางปะกง มีอัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งเพิ่มมากขึ้นหลังการป้องกัน (รูป 5-3) ดังนั้น การตอบสนองของแนวชายฝั่งต่อการมีอยู่ของไส้กรอกทรายในบริเวณดังกล่าว อาจมีปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลเหนือประสิทธิภาพในการป้องกันชายฝั่งของไส้กรอกทราย

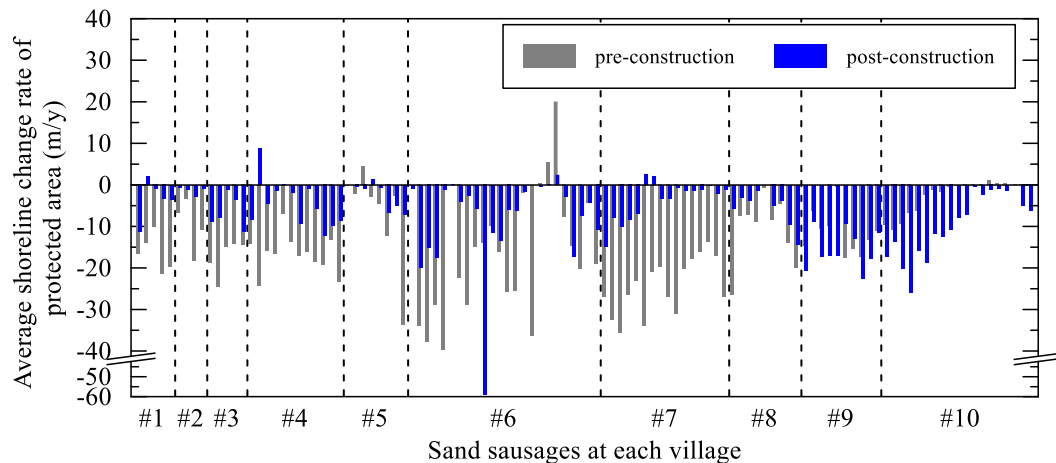


ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ย และระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้น

ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง ผลต่างของอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้าง กับระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้น

Note: SS SB=sand-sausage-submerged breakwater, RM SB=rubble-mound-submerged breakwater, NB= nearshore breakwater

รูป 5-2 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้านหลังโครงสร้างแต่ละชนิด

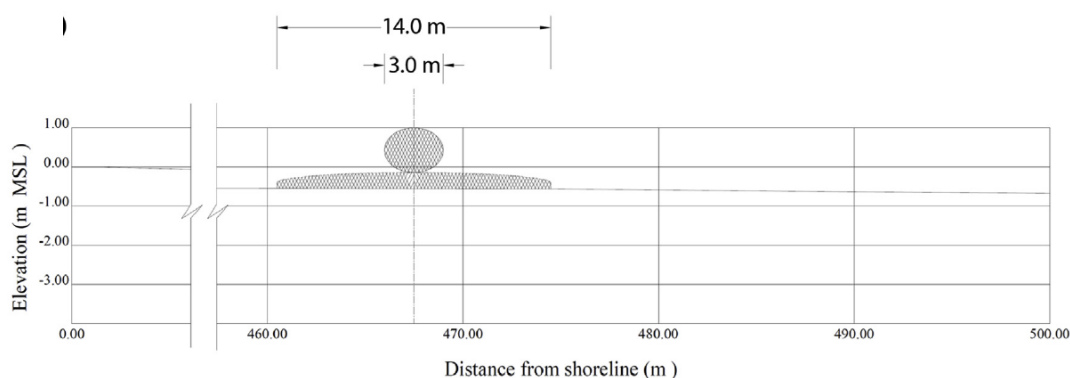


Note

#1 = Ban Sao Thong, #2 = Happy land sea view, #3 = Ban Ta Chia, #4 = Khlong Ta Kok, #5 = Ban Khlong Bang Pu, #6 = Ban Khlong Dan, #7 = Ban Si Long, #8 = Ban Khlong Hong Thong, #9 = Ban Khlong Samae Khao, #10 = Ban Khlong Charoen Wai

รูป 5-3 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยของพื้นที่ที่ถูกป้องกันโดยไส้กรอกทราย ก่อนและหลังการก่อสร้าง

สำหรับพื้นที่แนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาถูกพิจารณาว่าเป็นพื้นที่ ที่มีอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินสูง มากกว่า 6 ซม./ปี ในช่วงปี 2535–2558 (Bidorn et al., 2021; Sok et al., 2022) ดังนั้นความไม่ประสบความสำเร็จในการป้องกันชายฝั่งของไส้กรอกทราย อาจมีสาเหตุมาจากอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินสูง และอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้ไส้กรอกทรายไม่มีประสิทธิภาพดีตามที่ออกแบบไว้คือ การจมของโครงสร้าง รวมถึงการรั่วของทรายออกจากวัสดุห่อหุ้ม ส่งผลให้ระดับสันของไส้กรอกทรายต่ำกว่าที่ออกแบบ (Saengsupavanich, 2013) รูป 5-4ก-ค แสดงแบบการก่อสร้าง ภาพการติดตั้งไส้กรอกทราย และภาพการเสื่อมสภาพของไส้กรอกทรายตามลำดับ นอกจากนี้ ชัยพันธุ์ รักวิจัย และคณะ (2555) รายงานถึงผลกระทบของการขุดลอกร่องน้ำที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา และคาดว่าจะป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สูญเสียแหล่งตะกอนตามแนวชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยา เนื่องจากตะกอนที่ขุดลอกถูกนำไปทิ้งนอกชายฝั่ง (offshore) โดยการเสียดุลตะกอนที่เข้ามาเติมในพื้นที่ ย่อมทำให้เกิดการสูญเสียเสถียรภาพของแนวชายฝั่งได้ อย่างไรก็ตาม ผลกระทบจากการขุดลอกตะกอนปากแม่น้ำเจ้าพระยาต่อการถดถอยของแนวชายฝั่งบริเวณใกล้เคียงยังไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน เนื่องจากชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาถูกป้องกันด้วยกำแพงกันคลื่น ซึ่งอิทธิพลของการขุดลอกร่องเดินเรือปากแม่น้ำ อาจเป็นหนึ่งสาเหตุของการถดถอยของแนวชายฝั่งปากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งประสบปัญหาการถดถอยของชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ช่วงปี 2545 ถึงปัจจุบัน



ที่มา: Saengsupavanich (2013)

ก) ภาพตัดขวางของไส้กรอกทรายที่ไม่ได้รับความเสียหาย



ที่มา: Saengsupavanich (2013)



ที่มา: Saengsupavanich (2013)

ข) การก่อสร้างไส้กรอกทราย

ค) ไส้กรอกทรายที่ได้รับความเสียหาย

รูป 5-4 ไส้กรอกทรายในพื้นที่ชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

CHULALONGKORN UNIVERSITY

## 5.2 ประสิทธิภาพของเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้งต่อการป้องกันแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

นอกจากไส้กรอกทรายจะมีอายุการใช้งานสั้นเพียง 4–5 ปี ในการป้องกันชายฝั่ง และไม่มีผลในการป้องกันชายฝั่งในเชิงประจักษ์แล้ว การเสื่อมสภาพของไส้กรอกทรายยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Bidorn et al., 2018; Saengsupavanich, 2013) การรั่วของทรายออกจากถุงทรายส่งผลให้เกิดการผสมกันระหว่างดินเลนในพื้นที่ที่ทับทรายที่รั่วออกมา และก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศในหาดเลนเป็นอย่างมาก เช่น การตายของสัตว์น้ำ และป่าชายเลน เป็นต้น (Saengsupavanich, 2013) ในปี 2558 กรมเจ้าท่าได้ปรับปรุงโครงสร้างไส้กรอกทราย โดย

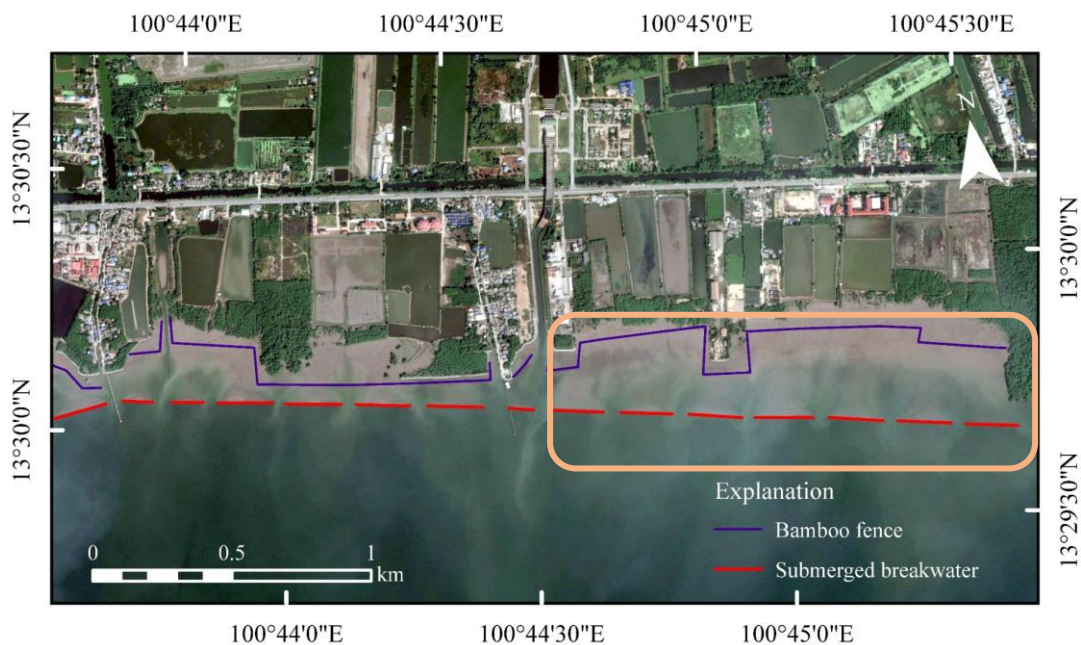
การนำหินไปเรียงซ้อนกับโครงสร้างไส้กรอกทราย ทดแทนเขื่อนกันคลื่นจมน้ำเดิมเพื่อลด ผลกระทบ ในเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อม และบรรเทาปัญหาการถดถอยของชายฝั่ง

ผลการศึกษากการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังจากก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง (RM SB) ใน รูป 5-1ก แสดงให้เห็นว่า เขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง มีประสิทธิผลในการป้องกันชายฝั่งสูงกว่าเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบไส้กรอกทราย โดยมีค่าเฉลี่ยของอัตราการงอกของชายฝั่งเพิ่มขึ้นจากเดิม เป็น 4 ม./ปี และลดอัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งเฉลี่ยเหลือน้อยกว่า -3 ม./ปี อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณา รูป 5-1ข พบว่าเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้งสามารถเพิ่มอัตราการงอกเพิ่มของชายฝั่ง ได้ ประมาณ 7 ม./ปี และลดความรุนแรงของการกัดเซาะเฉลี่ยเหลือ -2 ม./ปี (มีประสิทธิผลน้อยกว่าไส้กรอกทราย) นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเส้นชั้นความสูงภูมิประเทศ (ตาราง 4-9) แสดงให้เห็นว่า เขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้งประสบความสำเร็จในการป้องกันชายฝั่ง โดยมีอัตราการทับถมของ ตะกอนด้านหลังโครงสร้างเฉลี่ยผันแปรระหว่าง 4–12 ซม./ปี ข้อมูลภาพถ่ายเทียมปี 2558 ซึ่ง บันทึกภาพชายฝั่งในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (รูป 5-5) แสดงให้เห็นว่า การก่อสร้างเขื่อนกัน คลื่นจมน้ำ น่าจะมีผลดีต่อการตกตะกอนด้านหลังโครงสร้าง โดยเขื่อนทำหน้าที่ดักตะกอนที่เคลื่อนที่ ออกจากชายฝั่ง

รูป 5-2ก แสดงให้เห็นว่า การติดตั้งเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง ที่ระยะ 100–550 ม. สามารถสร้างเสถียรภาพของชายฝั่ง และเพิ่มระยะงอกของชายฝั่งได้มากกว่าไส้กรอกทราย โดยมี อัตราการงอกของชายฝั่งสูงสุดที่ระยะการติดตั้งเขื่อนห่างจากชายฝั่งประมาณ 400 ม. (อัตราการงอก หลังการก่อสร้างเขื่อน ประมาณ 20 ม./ปี) ในขณะที่ รูป 5-2ข ชี้ให้เห็นว่าการติดตั้งเขื่อนกันคลื่น จมน้ำแบบหินทิ้ง ที่ระยะห่างจากแนวชายฝั่ง 100–500 ม. ยังสามารถช่วยลดอัตราการเปลี่ยนแปลง ของแนวชายฝั่งได้ดี อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่าง ระยะห่างจาก แนวชายฝั่งเริ่มต้น และอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้าง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ ที่มี กิจกรรมของมนุษย์รบกวนกระบวนการตกตะกอนชายฝั่ง เช่น การก่อสร้างแนวไม้ไผ่ชะลอคลื่น การ สร้างแนวหินหรือคอนกรีตด้านหลังเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ เพื่อป้องกันชายฝั่งของเอกชน เป็นต้น

หากพิจารณาเพียงอัตราการงอกเพิ่มและการหยุดการถดถอยของแนวชายฝั่งหลังจากการ ก่อสร้างเขื่อนกันคลื่น (รูป 5-1ก) จะทำให้เขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้งมีระดับความสำเร็จในการ ป้องกันชายฝั่งมากกว่าไส้กรอกทราย ในขณะที่ รูป 5-1ข ให้ข้อสรุปที่ตรงข้ามกัน (ไส้กรอกทรายมี ประสิทธิภาพในการป้องกันชายฝั่งได้มากกว่าเขื่อนกันคลื่นด้วยหินทิ้ง) ซึ่งคาดว่าอาจมีสาเหตุมาจาก อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินที่ค่อย ๆ ลดลงในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา โดยในช่วงปี 2548–2553 ยังมี อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในบริเวณนี้ประมาณ 2.2-2.5 ซม./ปี ส่วนในปี 2558–ปัจจุบัน อัตราการ ทรุดตัวของแผ่นดินลดลงเหลือน้อยกว่า 1 ซม./ปี (Sok et al., 2022) คาดว่าจะเป็นปัจจัยที่ทำให้

ระดับตะกอนที่ตกสะสมในพื้นที่ชายฝั่งด้านหลังเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้ง สูงได้มากกว่าไส้กรอกทราย และส่งผลให้ป่าชายเลนขยายอาณาเขตได้มากกว่าช่วงที่ติดตั้งไส้กรอกทราย



ก) ประสิทธิภาพในการดักตะกอนด้านหลังโครงสร้างของ เขื่อนกันคลื่นจมน้ำ บริเวณ บ้านตาก๊ก จ. สมุทรปราการ ระหว่าง Station 15+000–18+400



ข) การดักตะกอนด้านหลังโครงสร้างของเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ ส่วนเส้นสีม่วงแสดงแนวไม้ไผ่ติดกับท้องน้ำ ซึ่งได้รับความเสียหายไปตั้งแต่ปี 2558

รูป 5-5 ประสิทธิภาพในการดักตะกอนที่เคลื่อนที่ออกนอกชายฝั่งของเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง



นอกจากนี้ หลังจากการก่อสร้างเชื่อมกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้งจนถึงปัจจุบัน ยังไม่พบว่ามีรายงานเรื่องผลกระทบในเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมแต่อย่างใด ในทางกลับกัน ชุมชนที่อาศัยอยู่ตลอดแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา ยังให้ข้อมูลว่าพื้นที่งอกด้านหลังเชื่อมกันคลื่น เคยเป็นพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะมาก่อน ส่วนโครงสร้างหินยังเป็นสถานที่ในการอนุบาลตัวอ่อนของสัตว์น้ำชายฝั่ง และแหล่งที่อยู่สัตว์น้ำ โดยเฉพาะ หอยนางรม ปลาตีน และปู อีกด้วย

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบ ได้แก่ ระดับสันโครงสร้าง ระดับพื้นด้านหน้าโครงสร้าง และระยะห่างจากชายฝั่งถึงตัวโครงสร้าง และตัวแปรตาม ได้แก่ ระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง พบว่า ตัวแปรออกแบบดังกล่าว มีความสัมพันธ์ ต่อการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง โดยตัวแปรออกแบบที่มีผลต่อระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังอย่างชัดเจน คือ ระดับสันของโครงสร้าง และระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้าง อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นถึงตัวโครงสร้าง จะดูเหมือนว่ามีผลต่อการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง น้อยกว่าตัวแปรอื่น (รูป 4-28) แต่ระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นนั้น ยังคงมีผลต่อระดับการวางโครงสร้าง ( $d_{ss}$ ) เนื่องจากได้รับอิทธิพลของความชันหน้าหาดและสภาพหาดในแต่ละพื้นที่

### 5.3 ประสิทธิภาพไม่ไผ่ชะลอคลื่นต่อการป้องกันแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

ถึงแม้ว่ากรมเจ้าท่า จะใช้เชื่อมกันคลื่นจมน้ำ (ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงสร้างทางวิศวกรรม (engineered structures) ทั่วไปที่ใช้ป้องกันชายฝั่งหาดทรายได้อย่างมีประสิทธิภาพ) ในการรักษาเสถียรภาพแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา แต่โดยทั่วไปการตอบสนองของหาดเลนต่อโครงสร้างนั้นช้ากว่าชายหาดทราย เนื่องจากความแตกต่างของลักษณะตะกอน รวมทั้งปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ ทำให้ผลสัมฤทธิ์ในการป้องกันชายฝั่งของการใช้โครงสร้างทางวิศวกรรมยังไม่ชัดเจน หลังจากการก่อสร้าง ดังนั้นกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (ทช.) ได้ริเริ่มการติดตั้งไม้ไผ่ชะลอคลื่น ซึ่งเป็นมาตรการสีเขียว/มาตรการใช้ธรรมชาติ (green/nature-based measure) ที่ถูกส่งเสริมให้ใช้ทดแทนมาตรการทางวิศวกรรม เนื่องจากมาตรการทางวิศวกรรมถูกมองว่าอาจมีผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อม

ดังนั้น แม้ว่าจะมีการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งอยู่แล้ว ตามแนวชายฝั่งที่มีอัตราการถอยร่นของแนวชายฝั่งรุนแรง ตั้งแต่ปี 2552 ทช. ได้เสริมการติดตั้งไม้ไผ่ชะลอคลื่น ตามแนวชายฝั่งด้านในของแนวเชื่อมกันคลื่นจมน้ำ เพื่อช่วยเร่งการตกตะกอนและลดพลังงานคลื่น ตั้งแต่ Sta.6+400 ถึง Sta.41+300 (รูป 3-2) โดยมีระยะห่างจากชายฝั่งผันแปร ตั้งแต่ 50–200 ม. จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งแนวราบ พบการงอกของชายฝั่งอย่างรวดเร็วด้านหลังแนวไม้ไผ่

บริเวณบ้านตาเจ็ย ถึงบ้านตาก็ก (#3 ใน รูป 3-2, Sta.14+500–Sta.18+380) โดยมีอัตราการงอกมากกว่า 20 ม./ปี ในช่วง 2557–2559 (หลังจากปักไม้ไผ่อย่างน้อย 3 ปี)

จากการวิเคราะห์เชิงพื้นที่จากข้อมูลดาวเทียม และข้อมูลการสัมภาษณ์ชุมชนพบว่า แนวไม้ไผ่ชะลอคลื่นส่วนใหญ่ในพื้นที่ได้รับความเสียหายทั้งหมดในช่วงปี 2558 ดังรูป 5-6 ส่วนรูป 5-6x ที่ได้จากการสำรวจพื้นที่ในปี 2564 แสดงภาพแนวไม้ไผ่ที่เหลืออยู่เพียงต่อไม้ไผ่สั้น ๆ และไม่ได้ทำหน้าที่ดักตะกอนหรือสลายพลังงานคลื่น โดยเฉพาะช่วงน้ำขึ้นสูงและคลื่นแรง อย่างไรก็ตาม แนวป่าชายเลนยังคงขยายอาณาเขตตามธรรมชาติออกสู่ทะเล ดังแสดงในรูป 5-7 และพบว่าป่าชายเลนไม่เพียงเจริญเติบโตด้านหลังแนวไม้ไผ่เท่านั้น แต่แนวป่าชายเลนปี 2564 ยังเกิดการงอกข้ามแนวไม้ไผ่อีกด้วย เนื่องจากป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษาครั้งนี้ จะเจริญเติบโตได้เมื่อระดับดินสูงกว่า 0.5 ม.รทก. จึงสามารถตีความได้ว่า ระดับท้องน้ำด้านหน้าและด้านหลังแนวไม้ไผ่นำมีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งผลการสำรวจระดับท้องน้ำด้วย UAV-LiDAR ที่บ้านตาเจ็ย (รูป 4-7) สนับสนุนสมมติฐานนี้ เนื่องจากไม่พบความแตกต่างระหว่างระดับท้องน้ำด้านหน้าและด้านหลังแนวไม้ไผ่ (อัตราการทับถมเฉลี่ยด้านหลังโครงสร้าง น้อยกว่า 1 ซม./ปี)

แนวไม้ไผ่ชะลอคลื่นที่บริเวณ บ้านสี่ลัง จ.ฉะเชิงเทรา (#7 ในรูป 3-2) ถูกสร้างในปี 2558 มีความสูงของเสาไม้ไผ่จากพื้นดินประมาณ 3 ม. (รูป 5-9ก) ผลการสำรวจพื้นที่ชายฝั่งในปี 2564 พบว่า แนวไม้ไผ่บางส่วนยังสมบูรณ์ดีอยู่ แต่บางส่วนชำรุดและเหลือแต่ส่วนต่อไม้ไผ่ ดังแสดงใน รูป 5-9ก-ข จากผลการสำรวจระดับท้องน้ำในบริเวณนี้ด้วย UAV-LiDAR ในรูป 4-25 พบว่า ระดับท้องน้ำด้านหน้าและด้านหลังโครงสร้างไม้ไผ่ชะลอคลื่นมีความแตกต่างกันเพียง 5.5 ซม. คิดเป็นอัตราการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างไม้ไผ่ประมาณ 1 ซม./ปี

ในพื้นที่ชายฝั่งคลองด่าน จ.สมุทรปราการ มีการติดตั้งแนวไม้ไผ่ชะลอคลื่นเมื่อ ปี 2563 ที่ระยะห่างจากชายฝั่ง 30–90 ม. ผลการสำรวจระดับท้องน้ำด้วย UAV-LiDAR ในปี 2564 (รูป 4-24) แสดงให้เห็นว่า ระดับท้องน้ำด้านหลังโครงสร้างไม้ไผ่สูงกว่าระดับท้องน้ำด้านหน้า โดยเฉลี่ยประมาณ 15 ซม. หรือคิดเป็นอัตราการทับถมตะกอน 15 ซม./ปี ซึ่งมีค่าสูงกว่าพื้นที่อื่นอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังพบการงอกเพิ่มของป่าชายเลนด้านหลังโครงสร้าง ประมาณ 5 ม./ปี ในบริเวณที่แนวไม้ไผ่อยู่ห่างจากชายฝั่งประมาณ 30 ม. ในขณะที่ ไม่พบการงอกเพิ่มของแนวป่าชายเลนในบริเวณที่แนวไม้ไผ่อยู่ห่างจากชายฝั่ง 90 ม.

จากผลการวิเคราะห์อัตราการทับถมของตะกอนและอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งด้านหลังแนวไม้ไผ่ พบว่าอัตราการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างลดลงตามอายุการใช้งานของไม้ไผ่ เนื่องจากไม้ไผ่ จะเสื่อมสภาพภายใน 2–3 ปี ส่วนอัตราการงอกเพิ่มของแนวป่าชายเลนด้านหลัง

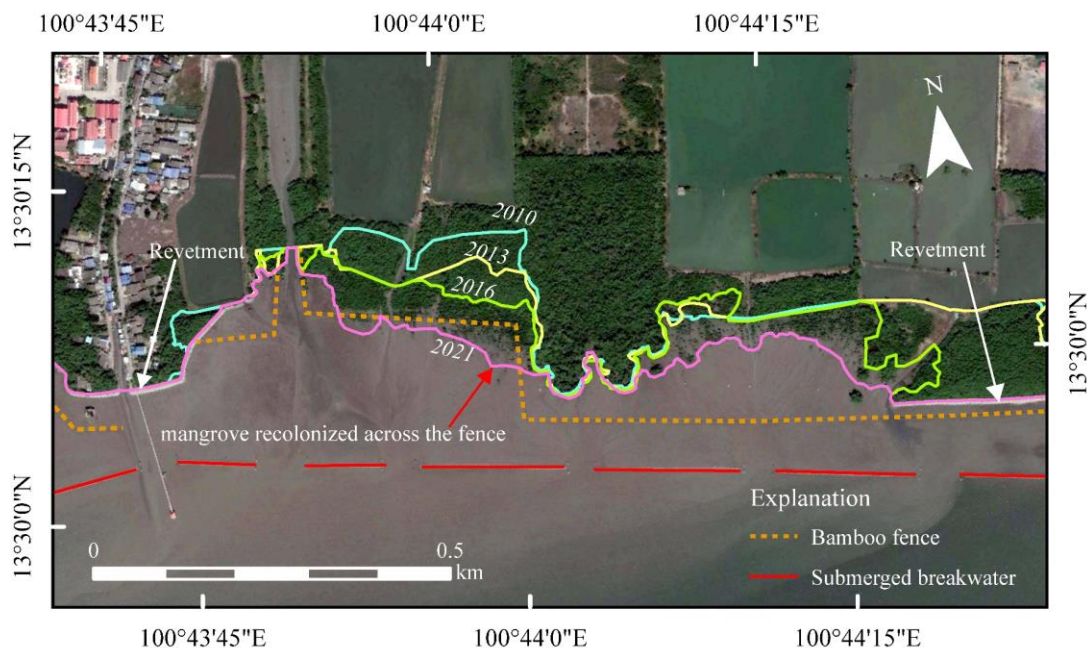
โครงสร้าง โดยทั่วไปขึ้นอยู่กับอัตราการทับถมของตะกอนจนถึงระดับน้ำต่ำสุดที่ป่าชายเลนจะเจริญเติบโตได้ (0.5 ม.รทก.) แต่ปัจจัยอื่น ๆ เช่น การทรุดตัวของแผ่นดิน การรบกวนกระบวนการตกตะกอนชายฝั่งเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ ก็สามารถส่งผลต่อรูปแบบ และอัตราการงอกของป่าชายเลนได้เช่นกัน



ก) ภาพถ่ายเทียมแสดงความเสียหายของแนวไม้ไผ่ชะลอคลื่น

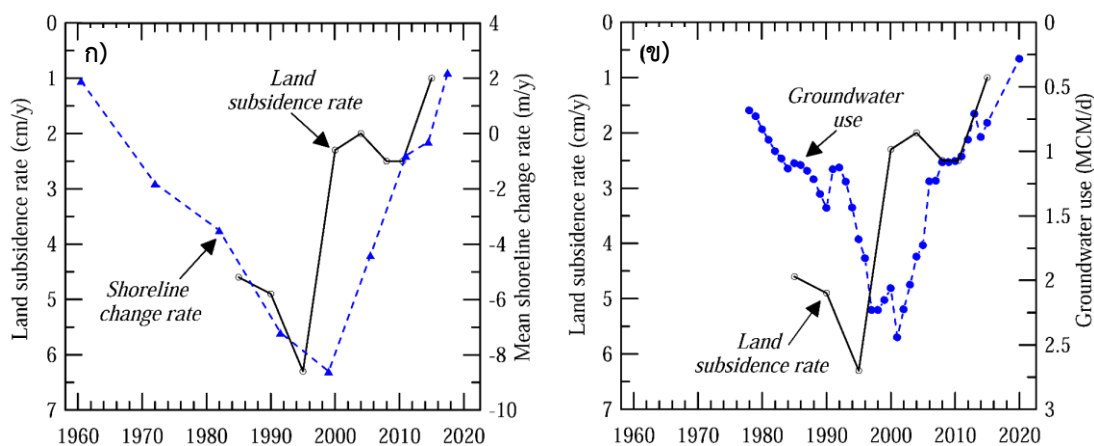


ข) แนวไม้ไผ่ชะลอคลื่นปี 2564 เหลือเพียงต่อไม้ไผ่ฝิ่งอยู่กับดินเลนที่ปากคลองตาก๊กฝิ่งตะวันตก  
รูป 5-6 แนวไม้ไผ่ส่วนที่หักและติดอยู่กับท้องน้ำที่บริเวณบ้านตาก๊กถึงบ้านตาเจ็ย



รูป 5-7 การรอกของป่าชายเลนข้ามแนวไม้ไผ่ที่หักไปตั้งแต่ปี 2557 บริเวณบ้านตาเจ็ย (Sta.15+040–Sta.16+500)

สำหรับการทรุดตัวของแผ่นดิน จากการศึกษากของ Sok et al. (2022) ได้รายงานข้อมูล อัตราการทรุดตัวในบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออก อัตราการใช้น้ำบาดาล และอัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง ในช่วงปี 2496–2563 ดังแสดงใน รูป 5-8 ซึ่งอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินเพิ่มสูงขึ้นจาก 5 ซม./ปี ในปี 2528 เป็น 6.3 ซม./ปี ในปี 2538 หลังจากนั้นลดลงเหลือน้อยกว่า 2.5 ซม./ปี ในปี 2543 และ น้อยกว่า 1 ซม./ปี ในปี 2558 ซึ่งสอดคล้องกับระดับการเกิดการถดถอยของแนวชายฝั่งที่รุนแรงในช่วงระหว่างปี 2539–2547 และแม้ว่ากรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งติดตั้งไม้ไผ่ชะลอคลื่นเพื่อป้องกันแนวชายฝั่ง บริเวณ บ้านตาก๊ก ในปี 2554 แต่ผลการรอกของชายฝั่งเกิดขึ้นอย่างชัดเจนหลังจากปี 2557 เป็นต้นไป โดยน่าจะมีสาเหตุมาจากอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินที่ลดลง ส่งผลให้อัตราการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง มีค่าสูงกว่าอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินจนเกิดการสะสมตัวของตะกอนถึงระดับที่ป่าชายเลนสามารถเจริญเติบโตได้ นอกจากนี้ยังพบว่าแนวชายฝั่งป่าชายเลนบริเวณบ้านตาก๊ก ยังไม่เกิดการถดถอยตั้งแต่ ปี 2557 จนถึงปัจจุบัน ถึงแม้ว่าในปัจจุบันแนวไม้ไผ่ชะลอคลื่นจะเสื่อมสภาพไม่สามารถดักตะกอนหรือลดพลังงานคลื่นได้อีกต่อไปก็ตาม



ที่มา : Sok et al. (2022)

รูป 5-8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราทรุดตัวของแผ่นดิน การใช้น้ำบาดาล และอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา

อย่างไรก็ตาม จากข้อมูลการสำรวจด้วย UAV-LiDAR บริเวณ บ้านตาเจ็ยถึงบ้านตาก๊ก ไม่พบการทับถมของตะกอนด้านหลังแนวไม้ไผ่ หรือพฤติกรรมในการตักตะกอนของแนวไม้ไผ่อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูป 4-23 และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการทับถมของตะกอนด้านหลังแนวไม้ไผ่กับเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้งพบว่า ไม้ไผ่ชะลอคลื่นที่บ้านสี่ลิ่งซึ่งมีสภาพสมบูรณ์ มีความสามารถในการตักตะกอนด้านหลังโครงสร้าง ด้วยอัตราการทับถมตะกอนด้านหลังแนวไม้ไผ่ เฉลี่ยน้อยกว่า 1.3 ซม./ปี ในขณะที่เขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง บริเวณบ้านตาเจ็ยถึงบ้านตาก๊ก มีความสามารถในการตักตะกอนด้านหลังโครงสร้างด้วยอัตราการทับถมเฉลี่ย 6-8 ซม./ปี จึงเห็นได้ชัดเจนว่า อัตราการทับถมของตะกอนด้านหลังแนวไม้ไผ่ชะลอคลื่นมีค่าน้อยกว่าอัตราการทรุดตัวของแผ่นดิน ด้วยเหตุนี้การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น จึงไม่สามารถทำให้เกิดการงอกของแนวชายฝั่งได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การงอกของแนวชายฝั่งด้านหลังแนวไม้ไผ่ เป็นผลอันเนื่องมาจากการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง

ถึงแม้ว่าการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นจะเป็นมาตรการสีเขียว (nature-based solution) และถูกส่งเสริมให้เป็นมาตรการป้องกันชายฝั่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่หากไม้ไผ่ที่หักกลายเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างคาดไม่ถึง หลังจากการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นเพียงไม่กี่ปี ไม้ไผ่จะเกิดการผุพัง และหักออกเป็นสองท่อน ส่งผลให้มีประสิทธิภาพต่ำ ในการลดพลังงานคลื่นและตักตะกอนด้านหลังโครงสร้าง สำหรับไม้ไผ่ที่หัก ส่วนบนจะกลายเป็นขยะจำนวนมากลอยอยู่ตามแนวชายฝั่ง ดังแสดงใน รูป 5-10 ในขณะที่ ส่วนล่างที่ติดอยู่กับพื้นดินเลนจะเป็นส่วนที่กีดขวางทางน้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อการสัญจรตามแนวชายฝั่งของคนในชุมชนได้ (รูป 5-9) ถึงแม้ว่าชุมชนตามแนวชายฝั่ง

ตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาจะไม่เห็นด้วยด้วยกับ การใช้ไม้ไผ่ชะลอคลื่นในการป้องกันชายฝั่ง เนื่องจากมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในเชิงลบ แต่การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น ยังคงถูกใช้ป้องกันแนวชายฝั่งของประเทศไทยจนถึงปัจจุบัน



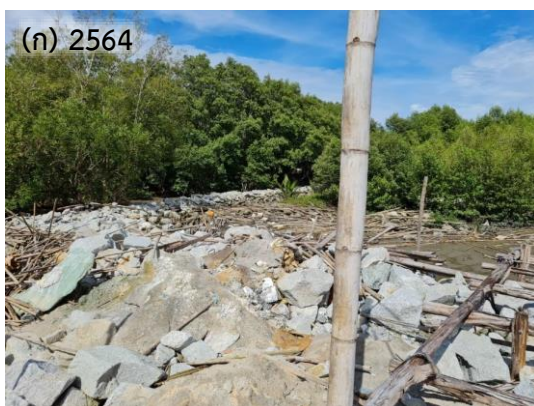
ก) การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นที่ด้านตะวันออกของบ้านสีลัง ระหว่าง Sta.28+540–Sta.29+500



ข) ไม้ไผ่ท่อนล่างที่หักและฝังอยู่ในดินเลน

รูป 5-9 การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นที่บริเวณบ้านสีลัง ระหว่าง Sta.28+540–Sta.29+500

CHULALONGKORN UNIVERSITY



ก) ซากไม้ไผ่ชะลอคลื่นฝั่งตะวันออกของบ้านสีลัง



ข) ซากไม้ไผ่ชะลอคลื่นฝั่งตะวันตกของบ้านสีลัง

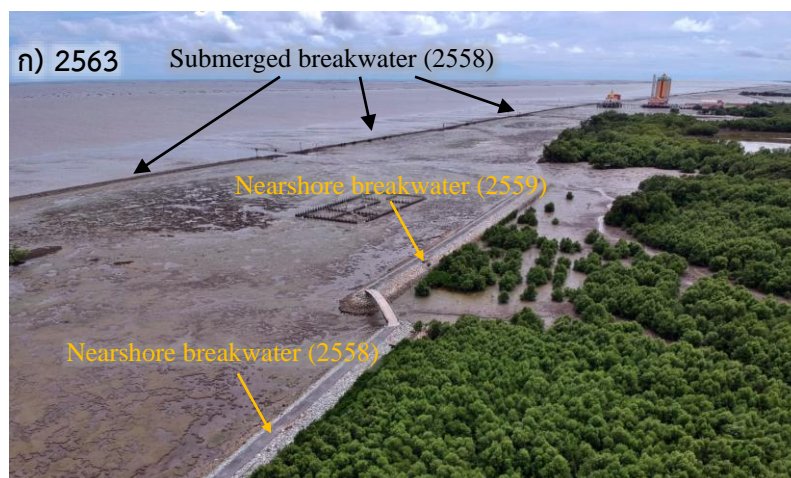
รูป 5-10 ซากไม้ไผ่ชะลอคลื่นที่บ้านสีลัง

#### 5.4 ประสิทธิภาพของเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งต่อการป้องกันแนวชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

เนื่องจากการป้องกันชายฝั่ง ด้วยมาตรการสีเทาหรือมาตรการทางวิศวกรรม (เขื่อนกันคลื่นจมน้ำ) ยังไม่สามารถรักษาเสถียรภาพชายฝั่งได้ตามเป้าหมายที่วางไว้ และผลกระทบในเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้มาตรการสีเขียว (แนวไม้ไผ่ชะลอคลื่น) ทำให้ยังมีบางพื้นที่ประสบปัญหาการถดถอยของแนวชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นตั้งแต่ปี 2558 เป็นต้นมา องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น จึงเริ่มโครงการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้แนวชายฝั่ง (nearshore breakwater) ซึ่งเป็นหนึ่งในมาตรการสีเทา เพื่อแก้ปัญหาความเดือดร้อนของชุมชนชายฝั่งที่ตั้งอยู่บริเวณปากคลองสายหลัก โดยเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งถูกสร้างห่างจากแนวชายฝั่ง ประมาณ 40–280 ม. และสันโครงสร้างมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 1.5 ม. การใช้เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งประสบความสำเร็จในการสร้างเสถียรภาพให้แนวชายฝั่ง และป้องกันชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา สังเกตได้จากผลการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้าง ที่ไม่พบการถดถอยของแนวชายฝั่ง ด้านหลังโครงสร้างเขื่อนทุกตัว (รูป 5-2ก) โดยมีอัตราการงอกเฉลี่ย 11 ม./ปี ในขณะที่ รูป 5-2ข แสดงให้เห็นว่า เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งมีประสิทธิภาพสูงสุดในด้านลดความรุนแรงของการกัดเซาะชายฝั่งและก่อให้เกิดการงอกเพิ่มของชายฝั่งด้านหลังโครงสร้าง ภายหลังการก่อสร้างเพียงไม่กี่ปี

จากผลการสำรวจด้วย UAV-LiDAR พบว่า เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งมีประสิทธิภาพสูงในการดักตะกอนเคลื่อนที่ติดฉากกับแนวชายฝั่ง (onshore-offshore) เป็นผลให้เกิดการทับถมด้านหลังโครงสร้างเฉลี่ยประมาณ 16–32 ซม./ปี ด้วยอัตราการตกตะกอนด้านหลังโครงสร้างที่สูง ส่งผลให้ในบางตำแหน่งเกิดการงอกของแนวป่าชายเลนจนชิดกับแนวโครงสร้าง ดังรูป 5-11 นอกจากนี้ จากการเปรียบเทียบกับโครงสร้างแต่ละชนิดในพื้นที่ศึกษา ยังพบว่าเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง น่าจะสามารถสร้างเสถียรภาพชายฝั่งได้ดีที่สุด (รูป 5-1) เนื่องจากมีอัตราการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างที่สูงกว่าโครงสร้างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

จากข้อมูลสำรวจเขื่อนกันคลื่นใกล้ฝั่ง บริเวณบ้านสีลัง ที่ถูกสร้างขึ้นในปี 2558 มีอัตราการทับถมของตะกอน (7 ซม./ปี) น้อยกว่าเขื่อนกันคลื่นตัวอื่นที่ถูกสร้างภายหลัง ทั้ง ๆ ที่เขื่อนที่บ้านสีลัง มีความลึกการทับถมของตะกอนประมาณ 1 ม. ซึ่งสูงกว่าระดับการทับถมด้านหลังเขื่อนกันคลื่นตัวอื่น แต่กลับมีอัตราการทับถมของตะกอนที่ต่ำกว่า ซึ่งจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวราบ พบว่า ป่าชายเลนสามารถเจริญเติบโตจนชิดกับด้านหลังเขื่อนกันคลื่นที่บ้านสีลัง ภายใน 3–4 ปี ดังรูป 5-12 ซึ่งอาจหมายความว่า อัตราการทับถมของตะกอนด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งจะมีค่าสูงในช่วง 1–3 ปี แรกหลังการก่อสร้าง



ก) เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งถูกสร้างในปี 2558 และ 2559 มีประสิทธิผลในการดักตะกอน ด้านหลังโครงสร้าง ส่งผลให้ป่าชายเลนเจริญเติบโตจนชิดหลังโครงสร้าง



ข) ป่าชายเลนเจริญเติบโตเต็มด้านหลังเขื่อนกันคลื่นที่ถูกสร้างในปี 2557 โดยระดับท้องน้ำ ด้านหลังโครงสร้างสูงกว่าด้านหน้า ประมาณ 1 ม. ใช้เวลา 5 ปี หลังการก่อสร้าง  
รูป 5-11 การงอกของป่าชายเลนด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง บริเวณบ้านคลองหงษ์ทอง (Sta.31+860–Sta.32+220)

จากความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการงอกของชายฝั่งด้านหลังโครงสร้าง และระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้น พบว่า ตำแหน่งการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งที่สามารถช่วยให้เกิดการงอกของแนวป่าชายเลน ควรอยู่ระหว่าง 100–200 ม. (รูป 5-2) นอกจากนี้จากความสัมพันธ์ ระหว่างระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นถึงตัวโครงสร้าง และระยะงอกของชายฝั่งด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (รูป 4-30) ยังพบว่า หากก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งห่างจากชายฝั่งเดิมไม่เกิน 200 ม. ป่าชายเลนจะสามารถเจริญเติบโตจนชิดแนวโครงสร้างได้ ในกรณีที่ไม่มีโครงสร้างอื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่น



ใกล้ชายฝั่ง อย่างไรก็ตาม ถ้าหากก่อสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง อยู่ใกล้ชายฝั่งน้อยกว่า 100 ม. ก็  
จะเกิดการงอกของพื้นที่ชายฝั่งน้อยกว่าการก่อสร้างในระยะห่างที่ไกลกว่า



รูป 5-12 การงอกของป่าชายเลน ติดกับเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งที่ บ้านสีลัง จ.ฉะเชิงเทรา

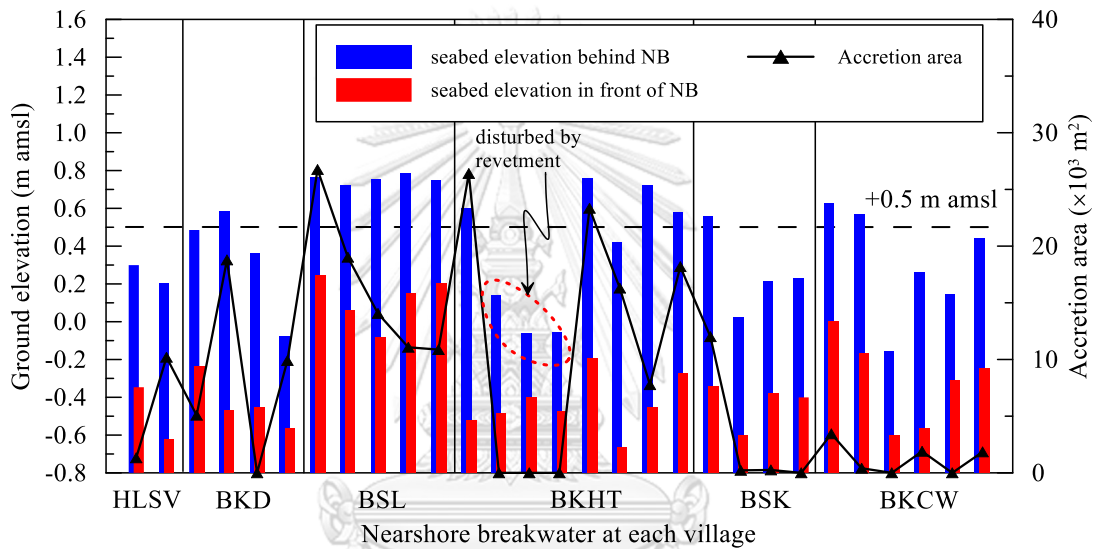
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

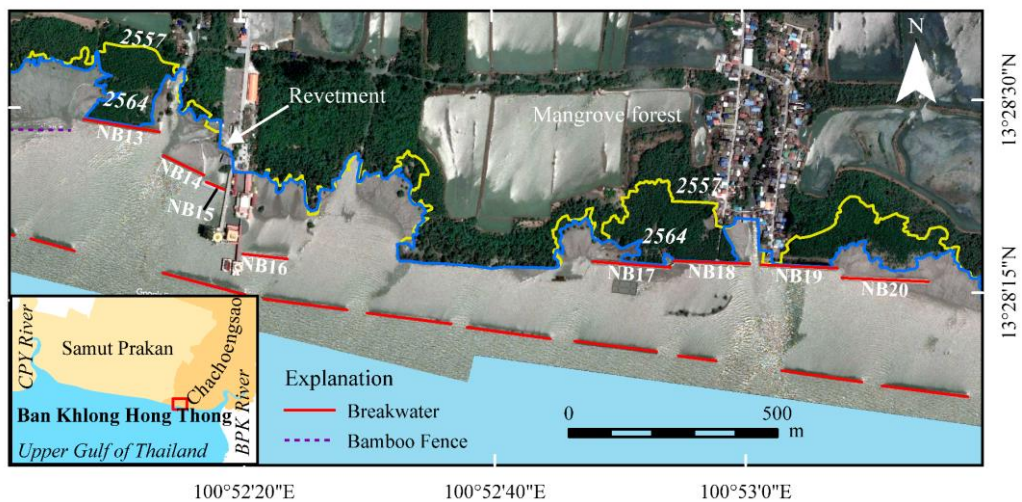
ความสัมพันธ์ระหว่างระดับท้องน้ำด้านหน้าและด้านหลังโครงสร้างกับการทับถมของตะกอน  
ด้านหลังโครงสร้าง

จากการประเมินระดับท้องน้ำ และพื้นที่การงอกของแนวชายฝั่งเทียบกับระดับ 0.5 ม.รทก. (รูป 5-13) พบว่า เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งที่สร้างบริเวณบ้านสีลัง (BSL) ซึ่งตั้งอยู่ตอนกลางของพื้นที่  
ศึกษาเกิดการงอกด้านหลังเขื่อนอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณากระดับด้านหน้า (กราฟแท่งสีแดง) และ  
ด้านหลังเขื่อน (กราฟแท่งสีน้ำเงิน) ในรูป 5-13 พบว่าระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้าง (ซึ่งเท่ากับ  
ระดับการติดตั้งโครงสร้าง) มีค่าสูงกว่าระดับด้านหน้าเชื่อมกันคลื่นในพื้นที่อื่น ส่งผลให้เกิดการงอก  
ของแนวชายฝั่งป่าชายเลนอย่างชัดเจน ในขณะที่ เชื่อมกันคลื่นใกล้ฝั่งบริเวณบ้านคลองหงษ์ทอง  
(BKHT) มีระดับท้องน้ำด้านหน้าโครงสร้าง ประมาณ -0.5 ม.รทก. (ต่ำกว่าระดับด้านหน้าของเขื่อนตัว  
อื่น) แต่กลับมีการงอกของชายฝั่งอย่างรวดเร็วจนขีดตัวโครงสร้างเพียงไม่กี่ปีหลังจากการก่อสร้าง ดัง

แสดงในรูป 5-14 สำหรับเขื่อนกันคลื่นบริเวณวัดหงษ์ทอง (ซึ่งอยู่ระหว่าง BSL และ BKHT ในรูป 5-13) มีระดับการทับถมด้านหลังโครงสร้างน้อยกว่าบริเวณ BSL และ BKHT คาดว่าอาจมีสาเหตุมาจากการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นหันทั้งติดชายฝั่งด้านหลังเขื่อนกันคลื่น ทำให้มีปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่เข้า-ออกชายฝั่ง น้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ จึงส่งผลให้ระดับการทับถมด้านหลังเขื่อนที่วัดหงษ์ทอง มีระดับต่ำกว่าเขื่อนที่ก่อสร้างในตำแหน่งอื่นอย่างชัดเจน ดังนั้นการก่อสร้างโครงสร้างอื่น ๆ ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง อาจส่งผลให้แหล่งตะกอนเลนที่เคลื่อนที่เข้า-ออกชายฝั่งมีน้อยลง ทำให้ความลึกการทับถมของตะกอนด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง น้อยกว่าบริเวณที่ไม่ถูกรบกวนโดยโครงสร้างอื่น



รูป 5-13 ระดับท้องน้ำด้านหน้า และด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง-พื้นที่งอกด้านหลังเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



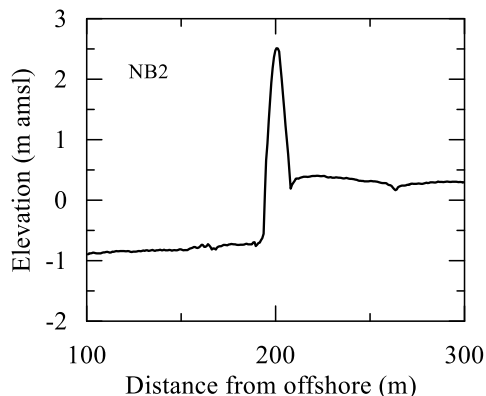
รูป 5-14 การพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งบริเวณ บ้านคลองหงษ์ทอง

รูป 5-13 ยังแสดงให้เห็นถึงพื้นที่งอกของแนวชายฝั่งป่าชายเลน (เส้นทึบสีดำ) ด้านหลังเชื่อมกันคลื่นแต่ละพื้นที่ ซึ่งพบว่าแม้ว่า หมู่บ้านแฮปปี้แลนด์ซีวีว (HLSV), บ้านคลองด่าน (BKD), บ้านคลองแสมขาว (BSK), และบ้านคลองเจริญวัย (BKCW) จะเกิดการงอกของพื้นที่ชายฝั่งน้อยกว่า BSL และ BKHT แต่จากการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับท้องน้ำด้านหน้า และด้านหลังเชื่อมในแต่ละพื้นที่ แสดงให้เห็นว่า เชื่อมกันคลื่นทั้ง 4 พื้นที่ สามารถดักตะกอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ผลต่างระหว่างกราฟแท่งสีแดง และสีน้ำเงินในรูป 5-13) แต่เนื่องจากระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างแต่ละตัวส่วนใหญ่ต่ำกว่าระดับ 0.5 ม.รทก. (ระดับที่ป่าชายเลนสามารถเจริญเติบโตได้) จึงทำให้ไม่พบการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งป่าชายเลนด้านหลังเชื่อมกันคลื่นในพื้นที่ทั้ง 4 ตำแหน่ง

นอกจากนี้ ถึงแม้ว่าเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง จะถูกพิจารณาเป็นมาตรการสีเทา และเป็นโครงสร้างแข็ง เช่นเดียวกับเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง แต่ไม่พบการรายงานว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่อย่างใด จากการสำรวจพื้นที่ และการสัมภาษณ์ชาวชุมชนชายฝั่งแต่ละพื้นที่ ยังพบว่า เชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งสามารถสร้างเสถียรภาพให้กับแนวชายฝั่งที่ถูกกัดเซาะได้เป็นอย่างดี และยังสามารถปลูกป่าชายเลนด้านหลังโครงสร้างเพื่อฟื้นฟูระบบนิเวศของแนวชายฝั่งได้อีกด้วย

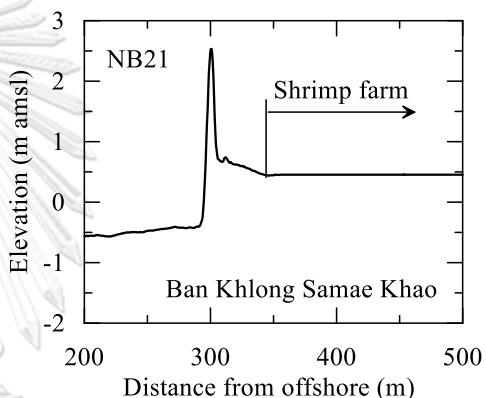
## 5.5 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการประเมินประสิทธิผลของโครงสร้างด้วยวิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวราบ

จากการประเมินประสิทธิผลของการป้องกันชายฝั่ง จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวราบ โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศ และภาพดาวเทียม แสดงให้เห็นว่า การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่นมีประสิทธิผลสูงในการเร่งการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ป่าชายเลน ดังรูป 4-2 และรูป 5-7 อย่างไรก็ตาม ผลการประเมินประสิทธิผลการดักตะกอน ของไม้ไผ่ชะลอคลื่นด้วยการสำรวจโดยใช้ UAV-LiDAR กลับชี้ให้เห็นว่า ระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังแนวไม้ไผ่ไม่แตกต่างกับระดับท้องทะเลด้านหน้า โครงสร้างอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ การก่อสร้างเชื่อมกันคลื่นจมน้ำ และเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งในบางพื้นที่ อาจไม่ส่งผลต่อการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งอย่างเด่นชัด เช่น เชื่อมกันคลื่นบริเวณหมู่บ้านแฮปปี้แลนด์ซีวีว และบ้านคลองแสมขาว รูป 5-15ก และ ค แต่ผลการสำรวจค่าระดับท้องน้ำกลับแสดงให้เห็นว่า เชื่อมกันคลื่นมีประสิทธิผลในการดักตะกอนมากกว่าไม้ไผ่ชะลอคลื่น รูป 5-15ข และ ง ดังนั้นการประเมินประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งควรใช้ข้อมูลการสำรวจระดับท้องน้ำก่อน และหลังการก่อสร้าง มาประกอบการศึกษา จึงจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนเลือกโครงสร้างที่เหมาะสมกับการป้องกันชายฝั่ง



ก) ภาพถ่ายเทียมแสดงเขื่อนกันคลื่นที่บริเวณ หมู่บ้านแฮปปี้แลนด์ ซีวี

ข) ภาพตัดตามขวางของเขื่อนกันคลื่นใกล้ ชายฝั่งที่หมู่บ้านแฮปปี้แลนด์ซีวี



ค) ภาพถ่ายเทียมแสดงเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง บริเวณ บ้านคลองแสมขาว จ.ฉะเชิงเทรา

ง) ภาพตัดตามขวางของเขื่อนกันคลื่นใกล้ ชายฝั่ง ที่บ้านคลองแสมขาว จ.ฉะเชิงเทรา

รูป 5-15 การเปรียบเทียบข้อมูลดาวเทียม และข้อมูลภาพถ่ายตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 5.6 สรุปข้อดี-ข้อเสียการใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่งในพื้นที่ชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

การใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่งด้านตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา มีทั้งหมด 4 รูปแบบ เป็นหลัก ได้แก่ เขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยไส้กรอกทราย เขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้ง เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และไม้ไผ่ชะลอคลื่น โดยโครงสร้างแต่ละประเภท มี ข้อดี-ข้อเสีย และงบประมาณในการก่อสร้าง ที่แตกต่างกันไป สำหรับ ข้อดี-ข้อเสีย ของโครงสร้างแต่ละชนิดถูกสรุปไว้ดัง ตาราง 5-1 และมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

ตาราง 5-1 สรุปข้อดี-ข้อเสียของโครงสร้างแต่ละชนิด

โครงสร้าง	ข้อดี	ข้อเสีย
1) กำแพงกันคลื่น และเขื่อนกันคลื่นหินทิ้ง (seawall and revetment)	1) รักษาเสถียรภาพชายฝั่งได้ทันที หลังการก่อสร้างเสร็จ 2) ตัวโครงสร้างสามารถเป็นที่พักผ่อนหย่อนใจได้	1) ราคาสูง 2) ต้องมีการบำรุงรักษา 3) ทำให้ชายหาดด้านหน้าโครงสร้างชั้น (กัดเซาะด้านหน้าโครงสร้าง)
2) ไส้กรอกทราย (sand sausage)	1) ติดตั้งง่าย เนื่องจากโครงสร้างมีน้ำหนักเบา 2) ชะลอกลิ้นขนาดเล็กได้ 3) ดักตะกอนเคลื่อนที่เข้า-ออก ชายฝั่ง (on-offshore) ทำให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนชายฝั่ง ด้านหลังโครงสร้าง 4) ลดการสูญเสียภูมิทัศน์	1) ราคาสูง 2) มีอายุการใช้งานเพียง 4-5 ปี 3) เมื่อวัสดุห่อหุ้ม (geotextile) เสื่อมสภาพ ทรายจะหลุดออกจากตัวโครงสร้างส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในหาดเลน 4) ไม่เหมาะกับการป้องกันชายหาดเลน
3) เขื่อนกันคลื่นจมน้ำหินทิ้ง	1) อายุการใช้งาน 10 ปี 2) อัตราการทับถมตะกอนด้านหลังโครงสร้าง 7-10 ซม./ปี 3) เป็นแหล่ง เพาะเลี้ยงและอนุบาลสัตว์น้ำ	1) ราคาสูง 2) น้ำหนักมาก ส่งผลให้โครงสร้างทรุดตัวเร็ว 3) ต้องบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง
4) เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (nearshore breakwater)	1) สามารถรักษาเสถียรภาพของชายฝั่ง และเพิ่มพื้นที่อกของป่าชายเลนด้านหลังโครงสร้างได้อย่างรวดเร็ว 2) โครงสร้างมีประสิทธิภาพในการดักตะกอนด้านด้วยอัตราการทับถม 15-30 ซม./ปี	1) ราคาสูง 2) ตัวโครงสร้างสามารถเป็นที่พักผ่อนหย่อนใจได้ 3) ต้องมีการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง
5) ไม้ไผ่ชะลอกลิ้น (bamboo fence)	1) ราคาถูก 2) สามารถก่อสร้างได้รวดเร็ว	1) มีอายุการใช้งานเพียง 1-2 ปี 2) ไม่เหมาะกับพื้นที่หาดเลนที่มีอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินสูง 3) เมื่อไม้ไผ่เสื่อมสภาพ ส่วนที่หักของไม้ไผ่จะกลายเป็นขยะลอยน้ำส่งผลต่อภูมิทัศน์ของแนวชายฝั่ง

จากการศึกษาครั้งนี้ มีข้อเสนอแนะในการเลือกใช้ โครงสร้างป้องกันชายฝั่งในพื้นที่ ชายฝั่ง ตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา เบื้องต้นดังนี้

1) เชือกกันคลื่นจมน้ำ ไม่ควรใช้แบบไส้กรอกทราย เนื่องจากมีอายุการใช้งานสั้นและ ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในหาดเลน เว้นแต่วัสดุที่บรรจุอยู่ในถุง geotextile จะเป็นวัสดุชนิดเดียวกันกับ วัสดุชายหาด (beach material) ตัวเชือกอาจใช้หินทิ้งเนื่องจากมีความทนทานมากกว่า 10 ปี แต่ จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง การติดตั้งโครงสร้างควรมีระยะห่างไม่เกิน 500 ม. จากแนว ชายฝั่งเริ่มต้น

2) เชือกกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ควรมีระดับสันของโครงสร้างอยู่เหนือระดับน้ำทะเลสูงสุดบริเวณ ที่ก่อสร้าง สำหรับการติดตั้งโครงสร้างเชือกกันคลื่นใกล้ชายฝั่งควรอยู่ห่างจากชายฝั่งไม่เกิน 200 ม. จึงจะสามารถทำให้เกิดการงอกของป่าชายเลนติดกับตัวโครงสร้างได้ภายใน 3-5 ปี อย่างไรก็ตาม การก่อสร้างเชือกกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ไม่ควรก่อสร้าง ด้านหน้าโครงสร้างชนิดอื่น เนื่องจากโครงสร้าง อื่น จะรบกวนกระบวนการตกตะกอน รวมถึงการเจริญเติบโตของป่าชายเลนด้านหลังเชือกกันคลื่น ใกล้ฝั่ง

3) การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น ควรติดตั้งในพื้นที่ ที่มีอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินต่ำกว่าอัตรา การทับถมของตะกอนด้านหลังแนวไม้ไผ่ และระดับการทับถมของตะกอนจะต้องสูงกว่า 0.5 ม.รทก. ภายใน 1-3 ปี (ก่อนการเสื่อมสภาพของไม้ไผ่ชะลอคลื่น) เพื่อให้ป่าชายเลนสามารถเจริญเติบโต และสร้างเสถียรภาพให้กับชายฝั่งแทนแนวไม้ไผ่

## 5.7 ตัวอย่างการใช้เกณฑ์การออกแบบเชือกกันคลื่นในหาดเลนอ่าวไทยตอนบน

ในหัวข้อนี้ได้นำเสนอเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนที่ได้จากผลการศึกษา มา ประยุกต์ใช้ในการออกแบบเชือกกันคลื่นจมน้ำ โดยมีวิธีการออกแบบดังนี้ คือ

### กำหนดตัวแปรออกแบบ

ระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้น (y)	300	ม.
กำหนดระดับการวางโครงสร้าง (ระดับฐานโครงสร้าง)	-0.2	ม.รทก.
ระดับสันของโครงสร้าง	0.7	ม.รทก.

### วิธีการออกแบบ

- 1) หาค่าตัวแปรเทียบกับระดับอ้างอิง

$$d_{ss} = 0.5 - (-0.2) = 0.7 \quad \text{ม.}$$

$$f = 0.5 - 0.7 = -0.2 \quad \text{ม.}$$

- 2) หาอัตราส่วนระหว่าง สันโครงสร้าง และระดับการวางโครงสร้าง ( $f/d_{ss}$ )

$$f/d_{ss} = -0.2/0.7 = -0.2857$$

- 3) จากสมการ 4-1 หรือ รูป 4-29 สามารถหาค่า อัตราส่วนระหว่างระยะห่างจากชายฝั่ง และความลึกน้ำด้านหลังโครงสร้าง ( $y/d_s$ ) ได้ประมาณ 950 (รูป 5-16)

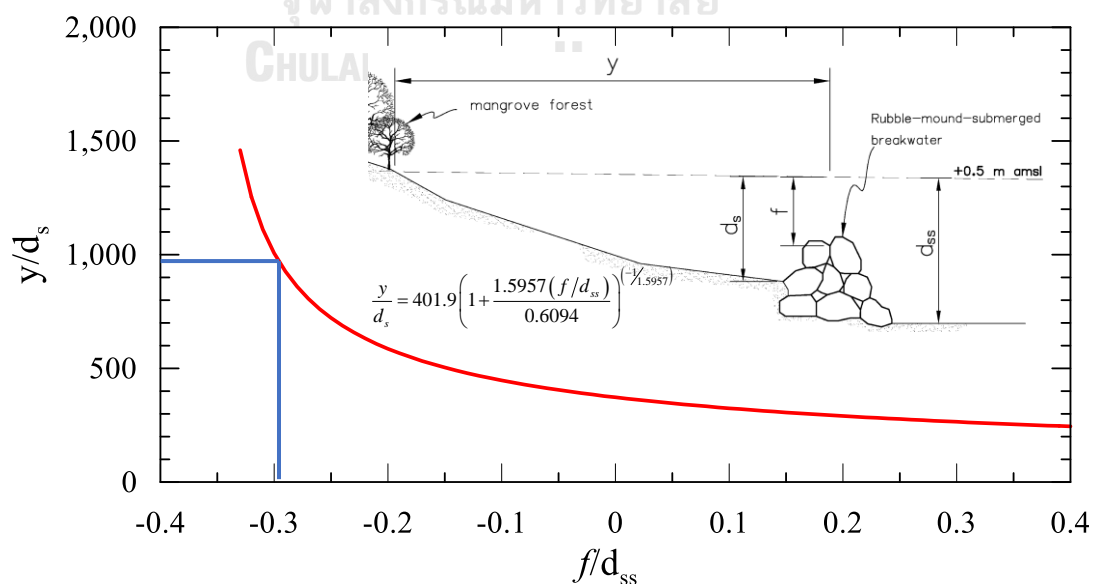
- 4) เทียบค่าที่ได้จากการใช้กราฟ กับ  $y/d_s$  จะได้

$$950 = 300/d_s$$

$$d_s = 300/950 = 0.315 \quad \text{ม.}$$

ดังนั้น ระดับการทับถมด้านหลังโครงสร้างจะอยู่ที่  $0.5 - 0.315 = 0.185 \sim 0.18$  ม.รทก. และสามารถประเมินความลึกการทับถมด้วย  $d_s - d_{ss} = 0.18 - (-0.2) = 0.38$  ม. หรือ 38 ซม.

สำหรับค่าระดับการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างนี้ เป็นเพียงค่าโดยประมาณเท่านั้น เนื่องจาก ในสภาพพื้นที่จริง อาจมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นในขั้นตอนการออกแบบ รายละเอียดควรมีการศึกษาในรายละเอียด เกี่ยวกับลักษณะชายฝั่ง สภาพคลื่นทะเล และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเฉพาะโครงการ ก่อนการก่อสร้างอีกครั้งหนึ่ง



รูป 5-16 ตัวอย่างการใช้เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นจมน้ำในหาดเลนอ่าวไทยตอนบน

## บทที่ 6

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาก่อนและหลังการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง

ในการศึกษาครั้งนี้ วิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงปี 2497-2564 (67 ปี) โดยครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งระหว่าง ปากแม่น้ำเจ้าพระยา ถึงปากแม่น้ำบางปะกง เป็นระยะทางประมาณ 42.5 กม. เพื่อใช้ประกอบการติดตามสถานการณ์การกัดเซาะชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาและประเมินประสิทธิผลของมาตรการป้องกันชายฝั่งที่ผ่านมา โดยแบ่งการพิจารณาในรูปแบบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่

##### 1) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนมีโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง

รูปแบบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาฝั่งตะวันออกในอดีต ระหว่างปี 2497-2539 (ก่อนมีการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง) แสดงให้เห็นว่า แนวชายฝั่งประมาณ 53% ซึ่งส่วนใหญ่อยู่บริเวณกลางพื้นที่ชายฝั่งเกิดการถอยร่นอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการถอยเฉลี่ย -8 ม./ปี ทำให้สูญเสียพื้นที่ชายฝั่งไปเกือบ 700 เฮกตาร์ในช่วง 44 ปี ส่วนอีก 47% ของแนวชายฝั่ง ซึ่งอยู่บริเวณใกล้ปากแม่น้ำ พบการงอกเพิ่มของชายฝั่งเฉลี่ยประมาณ 5 ม./ปี คิดเป็นพื้นที่งอก 390 เฮกตาร์

##### 2) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างกำแพงกันคลื่น

เนื่องจากการถดถอยอย่างต่อเนื่องของแนวชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาฝั่งตะวันออก ในปี 2537 กำแพงกันคลื่น ถูกนำมาใช้ในการรักษาเสถียรภาพของชายฝั่งยาว 10 กม. บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งเป็นพื้นที่อุตสาหกรรมสำคัญของ จ.สมุทรปราการ หลังจากก่อสร้างกำแพงกันคลื่นพบว่า 23% ของแนวชายฝั่ง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งจนถึงปัจจุบัน แต่การถดถอยของชายฝั่งพื้นที่ศึกษาเพิ่มขึ้นเป็นเกือบ 70% ของแนวชายฝั่งทั้งหมด และอัตราการถดถอยสูงขึ้นถึง 2 เท่า ทำให้สูญเสียพื้นที่ชายฝั่งเพิ่มขึ้นอีก กว่า 260 เฮกตาร์ ภายในระยะเวลาเพียง 6 ปี ในขณะที่พื้นที่งอกของชายฝั่งลดลงเหลือเพียง 10%

##### 3) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบไส้กรอกทราย

ในปี 2548 เขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบไส้กรอกทราย ถูกนำมาติดตั้งตามแนวชายฝั่ง 25 กม. บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา เนื่องจากชายฝั่งยังคงถูกกัดเซาะอย่างต่อเนื่องและรุนแรง หลังจากติดตั้งไส้กรอกทราย พบว่าชายฝั่งที่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้นเป็น 35% และยังเกิดการกัดเซาะใน



อีก 56% ของแนวชายฝั่ง แต่อัตราการกัดเซาะลดลงเหลือเพียง -9 ม./ปี ส่วนแนวชายฝั่งที่มีการงอกลดลงเล็กน้อย (8%) จากข้อมูลชายฝั่งระหว่างปี 2553-2554 (หลังจากก่อสร้างเขื่อนกันคลื่น 6 ปี) พบว่า แนวชายฝั่งที่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้นเป็น 62% และพบพื้นที่งอกเพิ่มขึ้นเป็น 13% ของแนวชายฝั่ง ส่วนแนวชายฝั่งที่เกิดการถดถอยลดลงจากเดิมครึ่งหนึ่ง (25% ของแนวชายฝั่งทั้งหมด) แต่อัตราการกัดเซาะเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น -15 ม./ปี โดยการกัดเซาะรุนแรงยังคงเกิดขึ้นบริเวณตอนกลางของแนวชายฝั่งพื้นที่ศึกษา

4) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้ง (ปี 2557-2564)

เขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้งถูกนำมาทดแทนไส้กรอกทราย ในปี 2558 เนื่องจากไส้กรอกทรายเสื่อมสภาพ ไม่สามารถทำหน้าที่สลายพลังงานคลื่นหรือดักตะกอนได้ หลังจากติดตั้งเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้ง 3 ปี พบว่า แนวชายฝั่งที่เกิดการถดถอยลดเหลือ 17% ในขณะที่แนวชายฝั่งที่เกิดการงอกเพิ่มขึ้นเป็น 27% หลังจากการก่อสร้าง 6 ปี ชายฝั่งที่มีเสถียรภาพและงอกเพิ่มขึ้นเป็น 68% และ 22% ตามลำดับ เหลือเพียง 10% ของแนวชายฝั่ง ที่ยังคงถดถอย แต่ด้วยอัตราเฉลี่ย -10 ม./ปี โดยการถดถอยของแนวชายฝั่ง ส่วนใหญ่พบที่แนวผืนป่าชายเลนปากแม่น้ำบางปะกง ที่ยังคงไม่มีการป้องกันแนวชายฝั่ง

5) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (ปี 2557-2564)

เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ถูกนำมาใช้แก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งเฉพาะบริเวณปากคลองที่ยังคงเกิดการถอยร่นของแนวชายฝั่ง เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีชุมชนชายฝั่งอาศัยอยู่หนาแน่น โดยทยอยก่อสร้าง ตั้งแต่ปี 2558 เป็นต้นมา ถึงแม้เป็นการติดตั้งโครงสร้างเฉพาะจุด และครอบคลุมแนวชายฝั่ง ประมาณ 7% ของพื้นที่ศึกษา แต่มีช่วยให้ชายฝั่งมีเสถียรภาพและมีการงอกเพิ่มของแนวป่าชายเลน ชายฝั่ง ทำให้ในปี 2564 ชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาฝั่งตะวันออก มีเสถียรภาพและสามารถฟื้นฟูพื้นที่แนวชายได้ ถึง 90%

6) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังจากมีการติดตั้งโครงสร้างไม้ไผ่ชะลอคลื่น (ปี 2553-2564)

แนวไม้ไผ่ชะลอคลื่น เป็นมาตรการสีเขียวที่ถูกนำมาใช้ในการป้องกันแนวชายฝั่ง เพื่อทดแทนโครงสร้างทางวิศวกรรม ตั้งแต่ปี 2553 จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระยะสั้น (ช่วงปี 2554-2559, 1-3 ปี) หลังจากการติดตั้งแนวไม้ไผ่ พบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งมีลักษณะไม่คงเส้นคงวา เปอร์เซ็นต์การถดถอยของแนวชายฝั่ง ลดลงเหลือ 17% ในช่วง 3 ปีแรก (ปี 2557) ของการติดตั้งแนวไม้ไผ่ แล้วเพิ่มขึ้นเป็น 18% (ปี 2559) หลังจาก 5 ปีของการติดตั้ง ซึ่งอาจเป็นผลจากไม้ไผ่มีความคงทนเพียง 1-2 ปี ส่วนพื้นที่ที่เกิดกัดเซาะบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งได้ติดตั้งแนวไม้ไผ่ชะลอคลื่น ในปี 2563 มีอัตราการกัดเซาะลดลง หลังจากการติดตั้งแนวไม้ไผ่

## 6.2 ประสิทธิภาพของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งต่อการรักษาเสถียรภาพชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

การศึกษาในครั้งนี้ วิเคราะห์การตอบสนองของแนวชายฝั่งต่อการมีอยู่ของโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง จากข้อมูลแนวชายฝั่งในแนวราบ ที่อยู่ในพื้นที่ป้องกันของโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น 4 ประเภท ได้แก่ เขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยไส้กรอกทราย, เขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้ง และเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง และโครงสร้างไม่แผ่ชะลอคลื่น

ไส้กรอกทรายถูกก่อสร้างห่างแนวชายฝั่งเริ่มต้น ประมาณ 10–558 ม. โดยความยาวของโครงสร้างผันแปรระหว่าง 87–230 ม. และความสูงโครงสร้างประมาณ 1 ม. หลังจากการก่อสร้างในปี 2558 พบว่า 88% ของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกันโดยไส้กรอกทราย ยังคงเกิดการถอยร่นหลังจากก่อสร้าง ส่วนที่เหลืออีก 12% ของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกัน เกิดการงอกของแนวชายฝั่งประมาณ 6% และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง 6% ของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกัน ถึงแม้ว่า หลังการก่อสร้างไส้กรอกทราย แนวชายฝั่งยังคงเกิดการถอยของแนวชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง แต่ผลการศึกษการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระบุว่าไส้กรอกทรายก็ยังสามารถช่วยชะลอการถอยของแนวชายฝั่งกว่า 64% ของชายฝั่งที่ถูกป้องกัน โดยลดอัตราการถอยของชายฝั่งลงได้ครั้งหนึ่ง (-8 ม./ปี) อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้พบว่า แนวชายฝั่งบางพื้นที่ แม้ว่าไส้กรอกทรายจะถูกก่อสร้างห่างจากชายฝั่งเริ่มต้น เพียง 10–100 ม. แต่แนวชายฝั่งยังเกิดการถอยของแนวชายฝั่งด้วยอัตราที่สูงกว่าก่อนการก่อสร้างเขื่อน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการถอยร่นของแนวชายฝั่งที่รุนแรงในพื้นที่ศึกษา อาจมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น การทรุดตัวของแผ่นดิน หรือการลดลงของตะกอนชายฝั่ง ที่มีอิทธิพลเหนือความสามารถของไส้กรอกทรายในการดักตะกอนและเพิ่มพื้นที่ชายฝั่งตามทีออกแบบไว้

การก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้งแทนที่แนวไส้กรอกทรายเดิม พบว่าสามารถลดแนวชายฝั่งที่เกิดการถอยจนเหลือเพียง 28% ด้วยอัตราการถอยของชายฝั่งเฉลี่ย -2 ม./ปี และกว่า 57% ของชายฝั่งที่ถูกป้องกัน เกิดการงอกด้วยอัตราการงอกเฉลี่ยประมาณ 4 ม./ปี ในขณะที่ส่วนที่เหลืออีก 15% ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ

เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ถูกก่อสร้างห่างจากชายฝั่งประมาณ 40–280 ม. มีความยาวโครงสร้างผันแปรระหว่าง 45–245 ม. และระดับสันโครงสร้างมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 1.5 ม. จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า แนวชายฝั่งที่ถูกป้องกันโดยเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งเกิดการงอกจากการขยายอาณาเขตของป่าชายเลน ด้วยอัตราการงอกที่สูงกว่าโครงสร้างอื่น ๆ (เฉลี่ย 11 ม./ปี) และหลังจากการก่อสร้าง ไม่พบการถอยของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกันอย่างมี

นัยสำคัญ ด้วยความสูงของโครงสร้างที่สูงเกิน ระดับน้ำสูงสุด และการวางโครงสร้างอยู่ใกล้ชายฝั่ง ส่งผลให้เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งสามารถรักษาเสถียรภาพแนวชายฝั่งได้ดีกว่าเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ

โครงสร้างไม่ไผ่ชะลอกคลื่น มักถูกเลือกติดตั้งในบริเวณที่มีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งแนวราบ พบว่าแนวชายฝั่งที่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้นเป็น 43% หลังจากติดตั้งโครงสร้างไม่ไผ่ ส่วนแนวชายฝั่งอีก 31% และ 26% ยังคงมีการทับถมและกัดเซาะตามลำดับ และหากพิจารณาจากอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งเฉลี่ยหลังจากมีโครงสร้าง พบว่าชายฝั่งที่ถูกปกป้องด้วยไม่ไผ่จะมีอัตราการถดถอยเฉลี่ยของแนวชายฝั่งน้อยกว่าชายฝั่งที่ถูกป้องกันด้วยเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้ง และไส้กรอกทราย และมีอัตราการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งที่มากกว่าเขื่อนกันคลื่นจมน้ำทั้งสองชนิด แต่เมื่อพิจารณาอัตราการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างไม่ไผ่ชะลอกคลื่น พบว่า ไม่มีการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งคาดว่าจะจะเป็นผลจาก การทับถมของตะกอนเนื่องจากการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ

### 6.3 ประสิทธิภาพของโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นต่อการดักตะกอนเลน

ประสิทธิภาพของโครงสร้างแต่ละชนิดถูกประเมิน โดยใช้ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวราบ ร่วมกับข้อมูลท้องทะเลด้านหลังโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง ซึ่งสำรวจด้วยเทคนิคการสำรวจด้วยแสงเลเซอร์ แบบติดตั้งกับโดรน (UAV-LiDAR)

#### ประสิทธิภาพของเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยไส้กรอกทราย

การประเมินประสิทธิภาพของเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยไส้กรอกทราย ถูกประเมินโดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งแนวราบเท่านั้น เนื่องจากไส้กรอกทรายถูกเปลี่ยนเป็นโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้ง ในปี 2558 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ไส้กรอกทรายสามารถบรรเทาความรุนแรงของการถดถอยของแนวชายฝั่ง 64% ของแนวชายฝั่งที่ถูกป้องกัน อย่างไรก็ตาม แนวชายฝั่งที่ถูกป้องกันกว่า 36% ซึ่งอยู่บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ช่วง บ้านคลองแสมขาว ถึงบ้านคลองเจริญวัย จ. ฉะเชิงเทรา ยังคงเกิดการถดถอยรุนแรงในช่วงหลังการก่อสร้าง ทั้งที่พื้นที่ดังกล่าวมีการก่อสร้างไส้กรอกทรายห่างจากแนวชายฝั่งเริ่มต้นเพียง 10–150 ม. ดังนั้นการเกิดการถดถอยของแนวชายฝั่งบริเวณพื้นที่ดังกล่าว อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยอื่น ที่เข้ามามีอิทธิพลเหนือประสิทธิภาพในการป้องกันชายฝั่งของไส้กรอกทราย เช่น การทรุดตัวของแผ่นดิน การขุดลอกร่องน้ำบริเวณปากแม่น้ำ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เป็นต้น ซึ่งพื้นที่ชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา ถูกพิจารณาว่าเป็นพื้นที่ ที่มีอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินสูง (มากกว่า 6 ซม./ปี) และอีกหนึ่งปัจจัย ที่ส่งผลให้ไส้

กรอกทราย มีประสิทธิผลต่ำเท่าที่ควร คือการจมของโครงสร้าง รวมถึงการรั่วของทรายออกจากวัสดุท่อหุ้ม ส่งผลให้ระดับสันของไส้กรอกทรายต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ ด้วยปัจจัยเหล่านี้จึงส่งผลให้ ไส้กรอกทรายมีประสิทธิภาพในการรักษาเสถียรภาพชายฝั่งต่ำกว่าที่คาดการณ์ไว้ในขั้นตอนออกแบบ

#### ประสิทธิผลของเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้ง

แนวชายฝั่งที่ถูกป้องกันโดยเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้งทดแทนไส้กรอกทราย มีเสถียรภาพมากขึ้นหลังจากการก่อสร้างเขื่อน จากข้อมูลสำรวจด้วย UAV-LiDAR แสดงให้เห็นว่า เขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง มีความสามารถในการดักตะกอนด้านหลังโครงสร้าง ด้วยอัตราการทับถมของตะกอนเฉลี่ยประมาณ 4–12 ซม./ปี อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิผลในการลดความรุนแรงของการถดถอยของชายฝั่ง โดยการเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งก่อนและหลังมีโครงสร้าง พบว่าเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้ง มีประสิทธิภาพในการลดระดับความรุนแรงของการถดถอยของชายฝั่งได้น้อยกว่าไส้กรอกทราย ทั้งนี้อาจเนื่องจากระดับความรุนแรงของการกัดเซาะชายฝั่ง ในช่วงปีที่ก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้ง น้อยกว่าช่วงปีที่ก่อสร้างไส้กรอกทราย

#### ประสิทธิผลของเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งในพื้นที่ศึกษา ถูกสร้างห่างจากแนวชายฝั่ง ประมาณ 40–280 ม. ด้วยสันโครงสร้างมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 1.5 ม. ซึ่งจากผลการศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า เขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง มีประสิทธิภาพในการรักษาเสถียรภาพชายฝั่งในหาดเลน และช่วยให้เกิดการงอกของแนวชายฝั่ง ด้วยอัตราการงอกของชายฝั่งที่สูง และมีความสึกกร่อนทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างเฉลี่ยประมาณ 0.8 ม. ด้วยอัตราการทับถมผืนแปรระหว่าง 7–50 ซม./ปี โดยอัตราการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้าง จะสูงในช่วง 1–3 ปี นอกจากนี้ ถ้าหากก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ห่างจากชายฝั่งเดิมไม่เกิน 200 ม. พบว่าป่าชายเลนสามารถเจริญเติบโตและขยายอาณาเขตจนชิดแนวโครงสร้างได้

#### ประสิทธิผลของโครงสร้างไม้ไผ่ชะลอกคลื่น

แม้ว่าผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในแนวราบ จะแสดงให้เห็นว่า แนวชายฝั่งมีเสถียรภาพมากขึ้นและมีอัตราการถดถอยของชายฝั่งน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้ง และไส้กรอกทราย แต่จากการสำรวจด้วย UAV-LiDAR ในบริเวณที่มีการติดตั้งแนวไม้ไผ่ในเวลาที่แตกต่างกัน พบว่าอัตราการดักตะกอนของแนวไม้ไผ่ ผืนแปรอยู่ระหว่าง 1-15 ซม./ปี โดยที่ประสิทธิภาพในการดักตะกอนของแนวไม้ไผ่จะมีสูงเมื่อก่อสร้างในช่วง 1-2 ปี หลังจากนั้นแนวไม้ไผ่จะผุพังและไม่สามารถดักตะกอนได้เท่ากับช่วงที่เพิ่งก่อสร้างแล้วเสร็จ โดยอัตราการดักตะกอนจะลดลงเหลือน้อยกว่า 1 ซม./ปี หลังจากก่อสร้างแล้วเสร็จ 6 ปี สำหรับในบริเวณที่มีการงอกเพิ่มของ

ชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากก่อสร้างนานกว่า 3 ปี พบว่าเกิดขึ้นในพื้นที่ที่ชายฝั่งมีการติดตั้งเขื่อนกันคลื่นจมน้ำไว้ด้านหน้าแนวไม้ไผ่กันคลื่น ซึ่งสามารถดักตะกอนได้ 6–8 ซม./ปี ดังนั้นการรอกของแนวชายฝั่งได้ที่เกิดขึ้นหลังจากการก่อสร้างแนวไม้ไผ่ คาดว่าจะเกิดเนื่องตะกอนชายฝั่งที่ถูกดักสะสมไว้ด้านหลังของเขื่อนกันคลื่นจมน้ำ

#### 6.4 เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นในหาดเลน

##### เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นจมน้ำในหาดเลน

สำหรับเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นจมน้ำในหาดเลน ถูกสร้างจากข้อมูลสำรวจจริง ดังนั้น เงื่อนไขการใช้เกณฑ์การออกแบบจะถูกจำกัดตามข้อมูลที่ใช้ศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

เงื่อนไขสภาพสมุทรศาสตร์ ควรจะมีสภาพสมุทรศาสตร์ใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษานี้ ได้แก่

ความสูงคลื่นนัยสำคัญในน้ำลึก ( $H_0$ )	$H_0 < 0.5$	ม.
คาบเวลาคลื่น ( $T, m$ )	$2 < T < 4$	วินาที
ฐานโครงสร้างควรมีความกว้างประมาณ	5–8	ม.
ระดับการวางโครงสร้างควรรอยู่ระหว่าง	$-0.2 < d_{ss} \text{ (elev.)} < -1.3$	ม.รทก.
ระยะห่างจากชายฝั่งควรรอยู่ระหว่าง	$150 < y < 550$	ม.
ระดับสันของโครงสร้างต้องอยู่ระหว่าง	$0.2 < f \text{ (elev.)} < 0.9$	ม.รทก.
อัตราส่วนระหว่างระดับท้องน้ำด้านหน้าและหลัง	$d_s/d_{ss} < 1$	

สำหรับวิธีการใช้เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นด้วยหินทิ้งในหาดเลน สามารถทำได้โดยเริ่มต้นกำหนดตัวแปรออกแบบ ได้แก่ ระดับการวางโครงสร้าง ( $d_{ss}$ ), ระดับสันของโครงสร้าง ( $f$ ), ระยะห่างจากแนวชายฝั่งเริ่มต้น ( $y$ ) โดยตัวแปรทั้งหมดจะต้องอ้างอิงจากเส้นระดับ 0.5 ม.รทก. จากนั้นหาค่า ความสูงสันโครงสร้างต่อระดับการวางโครงสร้าง ( $f/d_{ss}$ ) จากนั้นจะสามารถหาค่า ระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นต่อระดับการทับถมโครงสร้าง ( $y/d_s$ ) ได้จากความสัมพันธ์

$$y/d_s = 401.9 \left( 1 + \frac{1.5957(f/d_{ss})}{0.6094} \right)^{-1/1.5957}$$

##### เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งในหาดเลน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง อันเนื่องมาจากโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง พบว่าตัวแปรแต่ละตัวยังไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจน

เนื่องจากสภาพพื้นที่ด้านหลังเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง มีการก่อสร้างโครงสร้างอื่น เช่น แนวหินกันคลื่นโดยเจ้าของพื้นที่ ทำให้กระบวนการตกตะกอนของเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ถูกกระทบโดยโครงสร้างอื่น ๆ เช่น เขื่อนกันคลื่น หรือถูกรบกวนด้วยผลกระทบจากการทำประมงพื้นบ้าน เช่น ปล่อยน้ำออกจากนาุ้ง หรือการสัญจรเข้าออกด้านหลังโครงสร้าง เป็นต้น อีกทั้งจำนวนโครงสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง มีการก่อสร้างเฉพาะบริเวณปากคลองสายสำคัญ ข้อมูลจึงไม่เพียงพอที่จะสร้างเกณฑ์การออกแบบที่เหมาะสมได้

## 6.5 ข้อเสนอแนะ

- 1) การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาระบบชายฝั่งแยกเฉพาะระบบหาดย่อย ชายฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อตรวจวัดผลของการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งแต่ละชนิด ที่ติดตั้งในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น ในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการชายฝั่งของระบบหาดสันดอนปากแม่น้ำเจ้าพระยา ควรมีการศึกษาภาพรวมทั้งระบบของชายฝั่งด้านตะวันตก และตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาไปพร้อมกัน
- 2) จากการประเมินประสิทธิผลของเชื่อมกันคลื่น และสร้างเกณฑ์การออกแบบเชื่อมกันคลื่นในครั้งนี้ มีข้อมูลสำรวจเพียงครั้งเดียว ดังนั้นการตอบสนองของแนวชายฝั่งต่อการมีอยู่ของเชื่อมกันคลื่น บางตำแหน่งอาจยังไม่เข้าสู่สมดุล ดังนั้นต้องมีการศึกษาเก็บข้อมูลเพิ่มเติม มากกว่าหนึ่งครั้ง
- 3) จากการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า การประเมินประสิทธิผลของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งในหาดเลน ไม่สามารถประเมินด้วยการศึกษาจากภาพถ่ายทางอากาศ หรือภาพถ่ายดาวเทียมเพียงอย่างเดียว เนื่องจากอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการตีความได้ ดังนั้นเพื่อที่จะไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการตีความ จำเป็นต้องต้องวิเคราะห์การตอบสนองของท้องทะเล จากข้อมูลเส้นชั้นความสูง หรือแบบจำลองภูมิประเทศ ร่วมด้วย
- 4) เนื่องจากในแต่ละฤดูมรสุม มีเงื่อนไขสภาพสมุทรศาสตร์ ที่แตกต่างกัน ดังนั้นควรมีการสำรวจและศึกษาประสิทธิผลของโครงสร้างรายฤดูด้วย
- 5) จากการประเมินประสิทธิผลของเชื่อมกันคลื่นในการป้องกันชายฝั่งหาดเลนในครั้งนี้ พบว่าลักษณะท้องน้ำด้านหลังเชื่อมกันคลื่นส่วนใหญ่ ถูกรบกวนด้วยกิจกรรมทางการประมง เช่น การสัญจรเข้าออกชายฝั่งโดยเรือ หรือไม้กระดาน, การทำประมงพื้นบ้าน, และการปล่อยน้ำออกจากคลอง และนาุ้ง เป็นต้น ส่งผลให้การประเมินประสิทธิผลเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่งบางตำแหน่ง อาจมีความคลาดเคลื่อนเป็นผลอันเนื่องมาจากกิจกรรมทางชายฝั่งของชุมชน ดังนั้นการศึกษางานด้านวิศวกรรมชายฝั่ง จำเป็นต้องมี

การลงพื้นที่สำรวจ เพื่อเก็บข้อมูลกับชุมชนบริเวณแนวชายฝั่ง หรือสำรวจสภาพชายฝั่ง เพื่อให้เกิดความเข้าใจในพื้นที่ศึกษามากที่สุด

- 6) ในการศึกษาครั้งนี้ พิจารณาการทับถมของตะกอนเลนอันเนื่องจากโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง จากความแตกต่างของระดับท้องน้ำด้านหน้า และด้านหลังของโครงสร้าง เนื่องจากสภาพหาดเลนที่มีความลาดชันน้อย รวมถึงความจำกัดของข้อมูลที่รวบรวมได้ ในการศึกษาประสิทธิผลของโครงสร้างในหาดชนิดต่าง ๆ ในอนาคต ควรมีการพิจารณาการกัดเซาะด้านหน้าโครงสร้าง ประกอบการวิเคราะห์อัตราการทับถมของตะกอนด้านหลังโครงสร้างเพิ่มเติม
- 7) เนื่องด้วยเวลา และเงินทุนที่จำกัดในการทำวิทยานิพนธ์ การศึกษาเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นในครั้งนี้ จึงไม่มีการตรวจวัดข้อมูลคลื่นในน้ำตื้น หรือคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านเขื่อนกันคลื่น ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการสร้างเกณฑ์การออกแบบ เกณฑ์การออกแบบที่เสนอในครั้งนี้ จึงมีข้อจำกัดว่าต้องมีสภาพสมุทรศาสตร์ที่ใกล้เคียงกับในพื้นที่ชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาตะวันออกเท่านั้น
- 8) ถึงแม้ว่า การสำรวจสภาพชายฝั่งด้วย แสงเลเซอร์แบบติดตั้งกับโดรน จะมีความสะดวกสบาย และได้ข้อมูลครบถ้วนกว่าการสำรวจแบบอื่น แต่ด้วยข้อจำกัดของน้ำขึ้น-น้ำลง (tidal effect) ส่งผลให้ช่วงเวลาในการสำรวจ จำเป็นต้องสำรวจเพียงช่วงเวลาที่น้ำลงต่ำกว่าพื้นที่สำรวจ และไม่สามารถสำรวจระหว่าง ช่วงเวลาที่ฝนตก หรือลมแรงได้ ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้ส่งผลให้การสำรวจจำเป็นต้องใช้เวลา และความพยายามอย่างยิ่ง

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

กรมชลประทาน. (2543). รายงานฉบับสุดท้าย งานศึกษาโครงการศึกษาการจัดการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา, จัดทำโดย บริษัท พอล คอนซัลแตนท์จำกัด และบริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์จำกัด.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2554a). แผนแม่บท และแผนการดำเนินงานสำหรับการป้องกันชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2554b). การติดตามและประเมินผลการฟื้นฟูระบบนิเวศชายฝั่งทะเลโดยการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น กรณีศึกษา จังหวัดสมุทรสงคราม สมุทรสาคร สมุทรปราการ และฉะเชิงเทรา.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2555). โครงการศึกษาสำรวจ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพประสิทธิผลและผลกระทบทางสังคมและสิ่งแวดล้อมของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งทะเลของประเทศไทย.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2557). สถานการณ์ชายฝั่งและการจัดการปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในอดีตถึงปัจจุบัน.

กรมแผนที่ทหาร. (2558). การติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินในเขต กรุงเทพฯ และปริมณฑล ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา

ชัยพันธุ์ รักรวิชัย, อนุรักษ ศรีอริยวัฒน์ และบุศวรรณ บิตร. (2555). โครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น การทำแนวป้องกันชายฝั่งป้อมพระจุลจอมเกล้า. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุศวรรณ บิตร, วิลเลียม ซี เบอร์เนท, สุพิชชา จันทโรยธา, อนุรักษ ศรีอริยวัฒน์, คมกริช บิตร, คิมสุขชก, เมธาฤทธิ์ แนมสัย, ณัฐมน พนมพงศ์ไพศาล และ วริทธิ์ เจริญฤกษ์ถวิล. (2563). การสำรวจสภาพชายฝั่งและการหาอายุจากธาตุกัมมันตรังสีเพื่อศึกษาการทับถมของตะกอนแม่น้ำบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน (ปีที่ 2 ชายฝั่งปากแม่น้ำบางปะกง).

บุศวรรณ บิตร, ชัยพันธุ์ รักรวิชัย, ชัยวัฒน์ เอกวัฒน์พานิชย์, ศุภกร ศิริพจนกุล, กัลยาณี สุวรรณประเสริฐ, ณัฐมน พนมพงศ์ไพศาล, เมธาฤทธิ์ แนมสัย และ คมกริช บิตร. (2564). การสำรวจและจำลองแม่น้ำในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนบนและตอนล่างเพื่อประเมินอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนแม่น้ำเจ้าพระยาลงสู่ชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (ปีที่ 3 แม่น้ำเจ้าพระยา).



- บุศวรรณ โปธิทอง. (2542). เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันตักตะกอนกรณีชายฝั่งสมดุลง [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (สสนก.). (2555a). การดำเนินการด้านการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล โครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 ลุ่มน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง: ลุ่มน้ำเจ้าพระยา, จัดทำโดย บริษัท แอสตีคอน คอร์ปอเรชั่น จำกัด, .
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (สสนก.). (2555b). การดำเนินการด้านการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลโครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 ลุ่มน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง: ลุ่มน้ำบางปะกง, จัดทำโดย บริษัท แอสตีคอน คอร์ปอเรชั่น จำกัด.
- สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. (2538a). รายงานสถานภาพทรัพยากรชายฝั่งทะเล จังหวัดฉะเชิงเทรา. จัดทำโดย กองประสานการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. (2538b). รายงานสถานภาพทรัพยากรชายฝั่งทะเล จังหวัดสมุทรปราการ. จัดทำโดย กองประสานการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- อาทิตยา เกศมาริช. (2540). เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกในงานป้องกันชายฝั่ง [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

### ภาษาอังกฤษ

- Ahrens, J., & Cox, J. (1990). Design and performance of reef breakwaters. *Journal of Coastal Research*, 61-75.
- Alberico, I., Amato, V., Aucelli, P. P. C., D'Argenio, B., Di Paola, G., & Pappone, G. (2012). Historical Shoreline Change of the Sele Plain (Southern Italy): The 1870–2009 Time Window. *Journal of Coastal Research*, 28(6), 1638-1647.  
<https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-10-00197.1>
- Alesheikh, A. A., Ghorbanali, A., & Nouri, N. (2007). Coastline change detection using remote sensing. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 4(1), 61-66.
- AlRuheili, A. M. (2022). A Tale of Shaheen's Cyclone Consequences in Al Khaboura City, Oman. *Water*, 14(3), 340. <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/3/340>
- Awad, M., & El-Sayed, H. M. (2021). The analysis of shoreline change dynamics and

- future predictions using automated spatial techniques: Case of El-Omayed on the Mediterranean coast of Egypt. *Ocean & coastal management*, 205, 105568. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105568>
- Bidorn, B. (2016). *Causes of shoreline recession in the Chao Phraya delta*. PhD thesis, Florida State University, USA.
- Bidorn, B., & Rukvichai, C. (2018). Impacts of coastal development on the shoreline change of the Eastern Gulf of Thailand. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Bidorn, B., Buser, M., Phanomphongphaisarn, N., & Sriariyawat, A. (2018). *EFFECTS OF COASTAL DISASTER ON COASTAL COMMUNITY LIVING ALONG THE UPPER GULF OF THAILAND* RCND, Yogyakarta, Indonesia.
- Bidorn, B., Chanyotha, S., Kish, S. A., Donoghue, J. F., Bidorn, K., & Mama, R. (2015). The effects of Thailand's Great Flood of 2011 on river sediment discharge in the upper Chao Phraya River basin, Thailand. *International Journal of Sediment Research*, 30(4), 328-337. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2015.10.001>
- Bidorn, B., Phanomphongphaisarn, N., Rukvichai, C., & Kongsawadworakul, P. (2020). Evolution of Mangrove Muddy Coast in the Western Coast of the Upper Gulf of Thailand Over the Past Six Decades. In *Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change* (pp. 429-442). [https://doi.org/10.1007/978-981-15-2081-5\\_25](https://doi.org/10.1007/978-981-15-2081-5_25)
- Bidorn, B., Sok, K., Bidorn, K., & Burnett, W. C. (2021). An analysis of the factors responsible for the shoreline retreat of the Chao Phraya Delta (Thailand). *Science of the Total Environment*, 769, 145253.
- Boak, E. H., & Turner, I. L. (2005). Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 688-703.
- Coastal Engineering Research Center (CERC). (1984). *Shore Protection Manual* (Vol. 1). Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers
- Charoenlerkthawin, W., Namsai, M., Bidorn, K., Rukvichai, C., Panneerselvam, B., & Bidorn, B. (2021). Effects of Dam Construction in the Wang River on Sediment Regimes in the Chao Phraya River Basin. *Water*, 13(16), 2146. <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/16/2146>

- Dally, W. R., & Pope, J. (1986). *Detached breakwaters for shore protection*.
- Ding, X., Shan, X., Chen, Y., Jin, X., & Muhammed, F. R. (2019). Dynamics of shoreline and land reclamation from 1985 to 2015 in the Bohai Sea, China. *Journal of Geographical Sciences*, 29(12), 2031-2046. <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1703-1>
- Dong, P., & Chen, Q. (2017). *LiDAR remote sensing and applications*. CRC Press.
- Duvat, V. (2013). Coastal protection structures in Tarawa Atoll, Republic of Kiribati. *Sustainability science*, 8(3), 363-379. <https://doi.org/10.1007/s11625-013-0205-9>
- Evans, J. S., Hudak, A. T., Faux, R., & Smith, A. (2009). Discrete return lidar in natural resources: Recommendations for project planning, data processing, and deliverables. *Remote sensing*, 1(4), 776-794.
- Gibbs, A. E., Snyder, A. G., & Richmond, B. M. (2019). *National assessment of shoreline change—Historical shoreline change along the north coast of Alaska, Icy Cape to Cape Prince of Wales* [Report](2019-1146). (Open-File Report, Issue. U. S. G. Survey. <http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20191146>
- Gourlay, M. (1981). Beach processes in the vicinity of offshore breakwaters. Proc. 5th Australasian Conf. on Coastal & Ocean Engin,
- Hapke, C. J., Himmelstoss, E. A., Kratzmann, M. G., List, J. H., & Thieler, E. R. (2010). *National assessment of shoreline change: Historical shoreline change along the New England and Mid-Atlantic coasts*.
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., & Farris, A. S. (2021). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 user guide* [Report](2021-1091). (Open-File Report, Issue. U. S. G. Survey. <http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20211091>
- JICA. (2000). *The feasibility study on mangrove revival and extension project in the Kingdom of Thailand*.
- Kankara, R. S., Selvan, S. C., Markose, V. J., Rajan, B., & Arockiaraj, S. (2015). Estimation of Long and Short Term Shoreline Changes Along Andhra Pradesh Coast Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Procedia Engineering*, 116, 855-862. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.374>
- Lee, S., & Mehta, A. (1997). Equilibrium hypsometry of fine-grained shore profiles. *Burt*

*N, Parker R & Watts J. Wiley Publishers.*

- Lee, S.-C. (1995). *Response of mud shore profiles to waves* University of Florida].
- Lin, Y.-C., Cheng, Y.-T., Zhou, T., Ravi, R., Hasheminasab, S. M., Flatt, J. E., Troy, C., & Habib, A. (2019). Evaluation of UAV LiDAR for Mapping Coastal Environments. *Remote sensing*, 11(24), 2893. <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/24/2893>
- Louati, M., Saïdi, H., & Zargouni, F. (2015). Shoreline change assessment using remote sensing and GIS techniques: a case study of the Medjerda delta coast, Tunisia. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(6), 4239-4255. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1472-1>
- Martinelli, L., Zanuttigh, B., De Nigris, N., & Preti, M. (2011). Sand bag barriers for coastal protection along the Emilia Romagna littoral, Northern Adriatic Sea, Italy. *Geotextiles and Geomembranes*, 29(4), 370-380. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2010.11.010>
- Milliman, J. D., & Farnsworth, K. L. (2013). *River discharge to the coastal ocean: a global synthesis*. Cambridge University Press.
- Moore, L. J. (2000). Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 111-124.
- Moussaid, J., Fora, A. A., Zourarah, B., Maanan, M., & Maanan, M. (2015). Using automatic computation to analyze the rate of shoreline change on the Kenitra coast, Morocco. *Ocean Engineering*, 102, 71-77.
- Namsai, M., Charoenlerkthawin, W., Sirapojanakul, S., Burnett, W. C., & Bidorn, B. (2021). Did the Construction of the Bhumibol Dam Cause a Dramatic Reduction in Sediment Supply to the Chao Phraya River? *Water*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/w13030386>
- Nassar, K., El-Adawy, A., Zakaria, M., Diab, R., & Masria, A. (2022). Quantitative appraisal of naturalistic/anthropic shoreline shifts for hurghada: Egypt. *Marine Georesources & Geotechnology*, 40(5), 573-588. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2021.1918807>
- Nutalaya, P., Yong, R., Chumnankit, T., & Buapeng, S. (1996). Land subsidence in Bangkok during 1978–1988. In *Sea-level rise and coastal subsidence* (pp. 105-130). Springer.

- Pecher, A., & Kofoed, J. P. (2017). *Handbook of ocean wave energy*. Springer Nature.
- Phanomphongphaisarn, N., Rukvichai, C., & Bidorn, B. (2020). Impacts of long jetties construction on shoreline change at the western coast of the Gulf of Thailand. *Engineering Journal*, 24(4), 1-17.
- Pilarczyk, K. (2000). *Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering*. CRC Press.
- Ranasinghe, R., & Turner, I. L. (2006). Shoreline response to submerged structures: A review. *Coastal Engineering*, 53(1), 65-79.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.08.003>
- Rêgo, J. C. L., Soares-Gomes, A., & da Silva, F. S. (2018). Loss of vegetation cover in a tropical island of the Amazon coastal zone (Maranhão Island, Brazil). *Land Use Policy*, 71, 593-601.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.055>
- Saathoff, F., Oumeraci, H., & Restall, S. (2007). Australian and German experiences on the use of geotextile containers. *Geotextiles and Geomembranes*, 25(4), 251-263. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2007.02.009>
- Saengsupavanich, C. (2013). Erosion protection options of a muddy coastline in Thailand: stakeholders' shared responsibilities. *Ocean & coastal management*, 83, 81-90.
- Saito, Y., Chaimanee, N., Jarupongsakul, T., & Syvitski, J. P. (2007). Shrinking megadeltas in Asia: Sea-level rise and sediment reduction impacts from case study of the Chao Phraya Delta. *Inprint Newsletter of the IGBP/IHDP Land Ocean Interaction in the Coastal Zone*, 2(39), 2007.
- Sale, P. F., Agardy, T., Ainsworth, C. H., Feist, B. E., Bell, J. D., Christie, P., Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Feary, D. A., & Saunders, M. I. (2014). Transforming management of tropical coastal seas to cope with challenges of the 21st century. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 8-23.
- Sam, C., & Balasubramanian, G. (2022). Coastal transgression and regression from 1980 to 2020 and shoreline forecasting for 2030 and 2040, using DSAS along the southern coastal tip of Peninsular India. *Geodesy and Geodynamics*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geog.2022.04.004>

- Santos, C. A. G., Nascimento, T., Mishra, M., & Silva, R. M. D. (2021). Analysis of long- and short-term shoreline change dynamics: A study case of Joao Pessoa city in Brazil. *Sci Total Environ*, 769, 144889.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144889>
- Shaw, L., Helmholtz, P., Belton, D., & Addy, N. (2019). COMPARISON OF UAV LIDAR AND IMAGERY FOR BEACH MONITORING. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W13, 589-596. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxii-2-w13-589-2019>
- Shin, E. C., & Oh, Y. I. (2007). Coastal erosion prevention by geotextile tube technology. *Geotextiles and Geomembranes*, 25(4), 264-277.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2007.02.003>
- Sinsakul, S. (2000). Late Quaternary geology of the Lower Central Plain, Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(4), 415-426.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(99\)00075-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1367-9120(99)00075-9)
- Siyal, A. A., Solangi, G. S., Siyal, Z.-u.-A., Siyal, P., Babar, M. M., & Ansari, K. (2022). Shoreline change assessment of Indus delta using GIS-DSAS and satellite data. *Regional Studies in Marine Science*, 53, 102405.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102405>
- Sok, K., Bidorn, B., Burnett, W. C., Sasaki, J., & Sola, P. (2022). Seven decades of shoreline changes along a muddy mangrove coastline of the Upper Gulf of Thailand. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Sorensen, R. M. (2005). *Basic coastal engineering* (Vol. 10). Springer Science & Business Media.
- 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. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(96\)00065-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0278-4343(96)00065-9)
- Štroner, M., Urban, R., & Línková, L. (2021). A New Method for UAV Lidar Precision Testing Used for the Evaluation of an Affordable DJI ZENMUSE L1 Scanner. *Remote sensing*, 13(23), 4811. <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/23/4811>

- Suh, K., & Dalrymple, R. A. (1987). Offshore breakwaters in laboratory and field. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 113(2), 105-121.
- Syvitski, J. P. (2008). Deltas at risk. *Sustainability science*, 3(1), 23-32.
- Syvitski, J. P. M., Kettner, A. J., Overeem, I., Hutton, E. W. H., Hannon, M. T., Brakenridge, G. R., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L., & Nicholls, R. J. (2009). Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, 2(10), 681-686.  
<https://doi.org/10.1038/ngeo629>
- Tanabe, S., Saito, Y., Sato, Y., Suzuki, Y., Sinsakul, S., Tiyaipairach, S., & Chaimanee, N. (2003). Stratigraphy and Holocene evolution of the mud-dominated Chao Phraya delta, Thailand. *Quaternary Science Reviews*, 22(8-9), 789-807.  
[https://doi.org/10.1016/s0277-3791\(02\)00242-1](https://doi.org/10.1016/s0277-3791(02)00242-1)
- Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. (2009). *The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0-an ArcGIS extension for calculating shoreline change* (2331-1258).
- Uehara, K., Sojisuporn, P., Saito, Y., & Jarupongsakul, T. (2010). Erosion and accretion processes in a muddy dissipative coast, the Chao Phraya River delta, Thailand. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(14), 1701-1711.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/esp.2012>
- U.S Army Corp. of Engineer (USACE). (1992). Coastal Groins and Near shore Breakwaters, Engineer Manual EM 1110-2 1617. *US Army Corps of Engineers, Washington, DC.*
- U.S Army Corp. of Engineer (USACE). (2002). *Coastal Engineering Manual.*
- U.S Army Corp. of Engineer (USACE). (2008). Shore Protection Projects. *Coastal Engineering Manual.*
- U.S Army Corp. of Engineer (USACE). (2011). Monitoring, maintenance, and repair of coastal projects. *Coastal Engineering Manual*, 6.
- Winterwerp, J. C., Borst, W. G., & de Vries, M. B. (2005a). Pilot Study on the Erosion and Rehabilitation of a Mangrove Mud Coast. *Journal of Coastal Research*, 212, 223-230. <https://doi.org/10.2112/03-832a.1>
- Winterwerp, J. C., Borst, W. G., & de Vries, M. B. (2005b). Pilot Study on the Erosion and Rehabilitation of a Mangrove Mud Coast. *Journal of Coastal Research*,

2005(212), 223-230, 228. <https://doi.org/10.2112/03-832A.1>

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(10), 9930-9950. <https://www.mdpi.com/2072-4292/6/10/9930>







ภาคผนวก ก  
การสำรวจสภาพชายฝั่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**



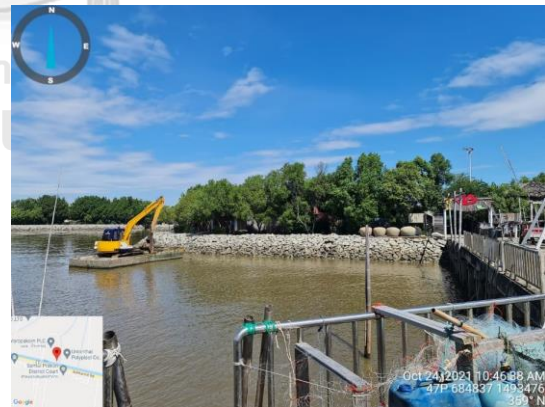
รูป ก-1 ชายฝั่งบริเวณบ้านเสาธง



รูป ก-2 ชายฝั่งบริเวณบ้านเสาธงฝั่งตะวันออก



รูป ก-3 ชายฝั่งบริเวณบ้านเสาธงฝั่งตะวันตก



รูป ก-4 การก่อสร้างเขื่อนกันตลิ่งที่บ้านเสาธง



NOVEMBER 20, 2021 | 03:44 PM  
KHLONG DAN, BANG BO, SAMUT PRAKAN

รูป ก-5 ชายฝั่งบ้านคลองด่าน ฝั่งตะวันออก

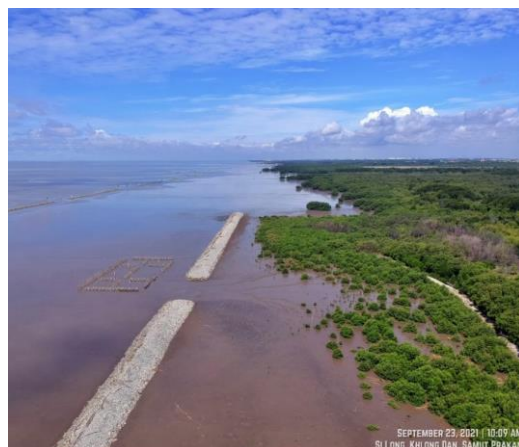


NOVEMBER 20, 2021 | 03:48 PM  
KHLONG DAN, BANG BO, SAMUT PRAKAN

รูป ก-6 ชายฝั่งบ้านคลองด่าน ฝั่งตะวันตก



รูป ก-7 เขื่อนกั้นคลื่นจมน้ำ ฝั่งตะวันตกของบ้าน  
สีลัง



รูป ก-8 เขื่อนกั้นคลื่นใกล้ชายฝั่ง ด้านตะวันตก  
ของบ้านสีลัง



รูป ก-9 ชายฝั่งด้านตะวันออกของบ้านสีลัง



รูป ก-10 เขื่อนกั้นคลื่นจมน้ำด้านตะวันออกของ  
บ้านสีลัง



รูป ก-11 สันเขื่อนกั้นคลื่นใกล้ชายฝั่งที่บ้านสีลัง



รูป ก-12 ป่าชายเลนหลังเขื่อนกั้นคลื่นใกล้ชายฝั่ง



รูป ก-13 ชายฝั่งวัดหงษ์ทองด้านตะวันตก



NOVEMBER 5, 2021 | 03:53 PM  
WAT HONG THONG, BANG PAKONG, CHACHOENGSAO

รูป ก-14 ชายฝั่งวัดหงษ์ทองด้านตะวันออก



NOVEMBER 5, 2021 | 04:05 PM  
WAT HONG THONG, BANG PAKONG, CHACHOENGSAO

รูป ก-15 ชายฝั่งบริเวณวัดหงษ์ทอง



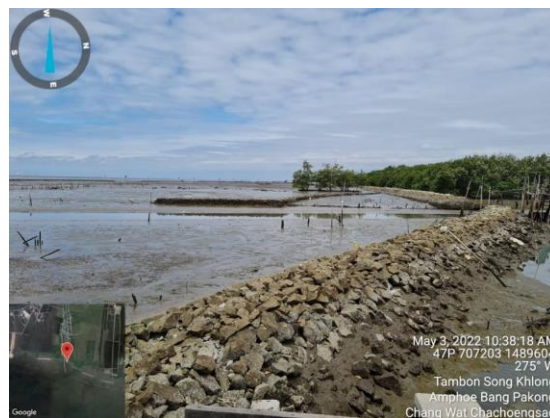
รูป ก-16 เชือกกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง ด้านตะวันออกของบ้านแสมขาว



รูป ก-17 สภาพแนวชายฝั่ง และโครงสร้างป้องกันชายฝั่งด้านตะวันตกของบ้านแสมขาว



รูป ก-18 สภาพแนวชายฝั่ง และโครงสร้างป้องกันชายฝั่งด้านตะวันออกของบ้านแสมขาว



รูป ก-19 เชือกกันคลื่นใกล้ชายฝั่งด้านตะวันออก  
ของบ้านคลองเจริญวัย

รูป ก-20 เชือกกันคลื่นใกล้ชายฝั่งด้านตะวันตก  
ของบ้านคลองเจริญวัย



รูป ก-21 สภาพชายฝั่งช่วงน้ำลงต่ำสุด



รูป ก-22 ซากไม้ไผ่ที่ลอยเข้ามาติดชายฝั่ง



รูป ก-23 การเจริญเติบโตของป่าชายเลน  
ด้านหลังเชือกกันคลื่นจมน้ำ

ภาคผนวก ข  
ผลการวิเคราะห์อัตราการใช้เปลี่ยนแปลงรายฝั่งเนื่องจากการก่อสร้าง  
โครงสร้างป้องกันชายฝั่งแต่ละชนิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ตาราง ข-1 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้างเขื่อนกั้นคลื่นแม่น้ำแบบไส้กรอกทราย ตลอดแนวชายฝั่งเจ้าพระยาตะวันออก

NO.	Year	Length (m)	Station.		Distance from initial shoreline (m)	SCR 1996-2002 (m/y)		SCR 2002-2010 (m/y)		diff. SCR (m/y)	Location	Remarks
			from	to		(m/y)	(m/y)	(m/y)				
SB1	2005	193	12+280	12+460	365	-16.4	-11.2	5.3	Ban Sao Thong			
SB2	2005	200	12+520	12+700	360	-13.8	2.1	15.9	Ban Sao Thong			
SB3	2005	190	12+820	12+980	322	-10.1	-1.0	9.1	Ban Sao Thong			
SB4	2005	200	13+060	13+240	354	-21.4	-3.4	18.0	Ban Sao Thong			
SB5	2005	203	13+320	13+460	338	-19.6	-3.5	16.0	Ban Sao Thong			
SB6	2005	195	13+560	13+740	229	-6.7	-0.6	6.1	Happy land sea view		In front of revetment	
SB7	2005	195	13+820	14+000	142	-3.4	-1.2	2.2	Happy land sea view		In front of seawall	
SB8	2005	187	14+080	14+240	325	-18.2	-2.8	15.4	Happy land sea view			
SB9	2005	200	14+320	14+500	60	-10.8	-1.0	9.8	Happy land sea view		In front of seawall	
SB10	2005	196	14+560	14+740	291	-18.7	-8.9	9.8	Ban Ta Chia			
SB11	2005	93	14+800	14+880	267	-24.4	-7.9	16.5	Ban Ta Chia			
SB12	2005	194	14+940	15+120	178	-14.9	-1.1	13.8	Ban Ta Chia		In front of revetment	
SB13	2005	107	15+200	15+280	171	-14.3	-3.6	10.7	Ban Ta Chia		In front of revetment	
SB14	2005	111	15+380	15+460	228	-14.5	-11.3	3.2	Ban Ta Chia			
SB15	2005	197	15+540	15+720	238	-14.3	-8.4	5.9	Ban Ta Kok			
SB16	2005	202	15+780	15+960	279	-24.3	8.9	33.1	Ban Ta Kok			
SB17	2005	194	16+040	16+200	199	-15.9	-4.5	11.4	Ban Ta Kok			
SB18	2005	198	16+300	16+480	218	-16.6	-1.3	15.3	Ban Ta Kok		in front of revetment (2005)	
SB19	2005	87	16+580	16+660	194	-6.9	0.2	7.1	Ban Ta Kok		in front of revetment (2005)	
SB20	2005	193	16+740	16+900	256	-13.7	-1.9	11.7	Ban Ta Kok			

Note: Year = construction year, Length = length of structure, SCR = shoreline change rate, SCR (1996-2002) and SCR (2002-2010) represent the shoreline change rate pre- and post-construction of sand sausage, respectively., diff. SCR = difference shoreline change rate between pre-and post-construction of sand sausage

ตาราง ข-1 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจนมาแบบใช้กรอกทราย ตลอดแนวชายฝั่งเจ้าพระยาตะวันออก (ต่อ)

NO.	Year	Length (m)	Station.		Distance from initial shoreline (m)	SCR 1996-2002 (m/y)	SCR 2002-2010 (m/y)	diff. SCR (m/y)	Location	Remarks
			from	to						
SB21	2005	186	16+980	17+160	308	-17.0	-9.3	7.7	Ban Ta Kok	
SB22	2005	192	17+220	17+400	309	-16.0	-0.9	15.0	Ban Ta Kok	land reclamation
SB23	2005	209	17+460	17+660	342	-18.4	-5.7	12.8	Ban Ta Kok	
SB24	2005	196	17+740	17+920	348	-19.1	-12.3	6.8	Ban Ta Kok	
SB25	2005	190	17+980	18+160	341	-13.3	-9.8	3.5	Ban Ta Kok	
SB26	2005	188	18+240	18+420	370	-23.3	-8.6	14.7	Ban Ta Kok	
SB27	2005	189	18+500	18+680	104	-0.1	0.0	0.1	Ban Khlong Bang Pu	in front of seawall (US Army)
SB28	2005	203	18+740	18+920	142	-2.1	-0.5	1.6	Ban Khlong Bang Pu	in front of seawall (US Army)
SB29	2005	209	19+160	19+360	416	4.6	-1.0	-5.5	Ban Khlong Bang Pu	in front of local Rip rap
SB30	2005	229	19+540	19+740	407	-2.8	1.3	4.1	Ban Khlong Bang Pu	in front of local Rip rap
SB31	2005	180	19+820	20+000	377	-4.5	-0.6	3.9	Ban Khlong Bang Pu	
SB32	2005	199	20+080	20+260	449	-12.3	-6.8	5.5	Ban Khlong Bang Pu	
SB33	2005	203	20+320	20+520	100	-2.6	-4.9	-2.3	Ban Khlong Bang Pu	in front of revetment
SB34	2005	206	20+580	20+720	160	-33.7	-7.1	26.6	Ban Khlong Bang Pu	
SB35	2005	97	20+940	21+000	395	-42.7	-0.9	41.8	Ban Khlong Dan	in front of local Rip rap
SB36	2005	201	21+060	21+220	240	-34.0	-19.9	14.1	Ban Khlong Dan	
SB37	2005	209	21+280	21+460	134	-37.6	-15.2	22.4	Ban Khlong Dan	
SB38	2005	206	21+520	21+700	55	-28.8	-17.6	11.2	Ban Khlong Dan	
SB39	2005	194	21+780	21+940	110	-39.8	-1.2	38.6	Ban Khlong Dan	
SB40	2005	195	22+140	22+300	214	-40.8	0.1	40.9	Ban Khlong Dan	

Note: Year = construction year, Length = length of structure, SCR = shoreline change rate, SCR (1996-2002) and SCR (2002-2010) represent the shoreline change rate pre- and post-construction of sand sausage, respectively., diff. SCR = difference shoreline change rate between pre-and post-construction of sand sausage

ตาราง ข-1 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจนมาแบบใช้กรอกทราย ตลอดแนวชายฝั่งเจ้าพระยาตะวันออก (ต่อ)

NO.	Year	Length (m)	Station.		Distance from initial shoreline (m)	SCR 1996-2002 (m/y)	SCR 2002-2010 (m/y)	diff. SCR (m/y)	Location	Remarks
			from	to						
SB41	2005	196	22+360	22+520	216	-22.4	-4.0	18.5	Ban Khlong Dan	
SB42	2005	202	22+620	22+800	384	-28.7	-2.6	26.1	Ban Khlong Dan	
SB43	2005	199	22+880	23+040	168	-14.8	-5.6	9.1	Ban Khlong Dan	
SB44	2005	199	23+080	23+260	290	-13.8	-59.2	-45.4	Ban Khlong Dan	
SB45	2005	197	23+320	23+480	231	-9.8	-11.5	-1.7	Ban Khlong Dan	Dike collapse
SB46	2005	199	23+560	23+720	212	-16.0	-13.4	2.6	Ban Khlong Dan	
SB47	2005	204	23+780	23+960	253	-25.7	-6.1	19.6	Ban Khlong Dan	
SB48	2005	211	24+000	24+200	275	-25.5	-6.1	19.3	Ban Khlong Dan	
SB49	2005	101	24+280	24+380	156	-1.9	-1.5	0.4	Ban Khlong Dan	
SB50	2005	92	24+640	24+680	238	-36.3	0.0	36.3	Ban Khlong Dan	at the canal entrance
SB51	2005	197	24+760	24+960	209	0.3	-0.4	-0.7	Ban Khlong Dan	
SB52	2005	195	25+040	25+240	302	5.3	0.0	-5.3	Ban Khlong Dan	
SB53	2005	202	25+340	25+500	558	20.1	2.4	-17.6	Ban Khlong Dan	
SB54	2005	196	25+580	25+800	338	-7.7	-2.9	4.9	Ban Khlong Dan	
SB55	2005	190	25+880	26+020	340	-14.6	-17.2	-2.6	Ban Khlong Dan	
SB56	2005	192	26+080	26+220	396	-20.2	-7.3	12.9	Ban Khlong Dan	
SB57	2005	198	26+280	26+420	359	-4.3	-4.3	0.0	Ban Khlong Dan	
SB58	2005	203	26+500	26+680	383	-19.0	-10.9	8.1	Ban Khlong Dan	
SB59	2005	200	26+820	27+000	230	-26.9	-14.9	12.0	Ban Si Long	
SB60	2005	195	27+080	27+240	272	-32.4	-7.8	24.6	Ban Si Long	

Note: Year = construction year, Length = length of structure, SCR = shoreline change rate, SCR (1996-2002) and SCR (2002-2010) represent the shoreline change rate pre- and post-construction of sand sausage, respectively, diff. SCR = difference shoreline change rate between pre- and post-construction of sand sausage

ตาราง ข-1 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจนมาแบบใช้กรอกทราย ตลอดแนวชายฝั่งเจ้าพระยาตะวันออก (ต่อ)

NO.	Year	Length (m)	Station.		Distance from initial shoreline (m)	SCR 1996-2002 (m/y)	SCR 2002-2010 (m/y)	diff. SCR (m/y)	Location	Remarks
			from	to						
SB61	2005	197	27+320	27+480	332	-35.6	-10.1	25.5	Ban Si Long	
SB62	2005	204	27+600	27+780	325	-26.4	-8.4	17.9	Ban Si Long	
SB63	2005	203	27+840	28+020	333	-23.0	-7.0	16.0	Ban Si Long	
SB64	2005	204	28+100	28+280	404	-33.8	2.6	36.3	Ban Si Long	
SB65	2005	100	28+340	28+440	384	-20.8	1.9	22.7	Ban Si Long	
SB66	2005	98	28+520	28+600	324	-19.8	-3.3	16.5	Ban Si Long	
SB67	2005	212	28+680	28+860	361	-27.0	-3.3	23.8	Ban Si Long	
SB68	2005	201	28+940	29+120	380	-31.1	-0.7	30.4	Ban Si Long	
SB69	2005	200	29+180	29+360	316	-20.1	-1.3	18.8	Ban Si Long	
SB70	2005	205	29+440	29+620	316	-17.7	-1.3	16.4	Ban Si Long	
SB71	2005	201	29+680	29+860	348	-16.0	-1.2	14.7	Ban Si Long	
SB72	2005	205	29+900	30+080	297	-13.7	-0.1	13.6	Ban Si Long	
SB73	2005	196	30+140	30+300	323	-17.0	-2.0	15.0	Ban Si Long	
SB74	2005	200	30+380	30+560	407	-26.8	-1.0	25.8	Ban Si Long	
SB75	2005	109	30+620	30+720	462	-26.5	-5.7	20.8	Ban Khlong Hong Thong	
SB76	2005	204	30+920	31+080	313	-7.4	-3.1	4.3	Ban Khlong Hong Thong	
SB77	2005	200	31+120	31+280	253	-7.1	-3.8	3.3	Ban Khlong Hong Thong	
SB78	2005	204	31+340	31+520	222	-8.8	-1.3	7.5	Ban Khlong Hong Thong	
SB79	2005	201	31+580	31+760	157	-0.6	0.0	0.6	Ban Khlong Hong Thong	
SB80	2005	198	31+840	32+020	306	-8.5	-5.1	3.4	Ban Khlong Hong Thong	

Note: Year = construction year, Length = length of structure, SCR = shoreline change rate, SCR (1996-2002) and SCR (2002-2010) represent the shoreline change rate pre- and post-construction of sand sausage, respectively, diff. SCR = difference shoreline change rate between pre-and post-construction of sand sausage

ตาราง ข-1 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจนมาแบบใช้กรอกทราย ตลอดแนวชายฝั่งเจ้าพระยาตะวันออก (ต่อ)

NO.	Year	Length (m)	Station		Distance from initial shoreline (m)	SCR 1996-2002 (m/y)		SCR 2002-2010 (m/y)		diff. SCR (m/y)	Location	Remarks
			from	to		SCR 1996-2002 (m/y)	SCR 2002-2010 (m/y)					
SB81	2005	91	32+100	32+160	350	-4.5	-3.9	0.6	Ban Khlong Hong Thong			
SB82	2005	194	32+340	32+520	315	-13.9	-9.6	4.3	Ban Khlong Hong Thong			
SB83	2005	208	32+600	32+840	234	-20.0	-14.4	5.6	Ban Khlong Hong Thong			
SB84	2005	191	32+940	33+140	102	-14.6	-20.6	-5.9	Ban Khlong Samee Khao			
SB85	2005	199	33+220	33+360	84	-6.2	-8.8	-2.6	Ban Khlong Samee Khao			
SB86	2005	196	33+420	33+600	90	-10.6	-17.3	-6.8	Ban Khlong Samee Khao			
SB87	2005	99	33+680	33+760	58	-9.9	-17.0	-7.1	Ban Khlong Samee Khao			
SB88	2005	100	33+820	33+860	246	-0.4	-16.9	-16.5	Ban Khlong Samee Khao			
SB89	2005	99	34+120	34+180	37	-17.5	-9.3	8.2	Ban Khlong Samee Khao			
SB90	2005	102	34+260	34+340	75	-15.3	-12.9	2.4	Ban Khlong Samee Khao			
SB91	2005	99	34+400	34+480	67	-17.3	-22.6	-5.3	Ban Khlong Samee Khao			
SB92	2005	97	34+560	34+640	11	-12.3	-17.8	-4.5	Ban Khlong Samee Khao			
SB93	2005	100	34+700	34+780	6	-11.1	-11.4	-0.3	Ban Khlong Samee Khao			
SB94	2005	102	34+860	34+940	20	-9.6	-17.2	-7.7	Ban Khlong Charoen Wai			
SB95	2005	97	35+000	35+080	35	-10.9	-13.8	-2.9	Ban Khlong Charoen Wai			
SB96	2005	100	35+160	35+240	41	-9.3	-20.3	-11.0	Ban Khlong Charoen Wai			
SB97	2005	103	35+300	35+380	42	-6.8	-26.0	-19.2	Ban Khlong Charoen Wai			
SB98	2005	100	35+460	35+520	100	-6.2	-15.8	-9.6	Ban Khlong Charoen Wai			
SB99	2005	103	35+780	35+860	67	-2.2	-18.8	-16.5	Ban Khlong Charoen Wai			
SB100	2005	98	35+940	36+020	86	-1.0	-11.7	-10.6	Ban Khlong Charoen Wai			

Note: Year = construction year, Length = length of structure, SCR = shoreline change rate, SCR (1996-2002) and SCR (2002-2010) represent the shoreline change rate pre- and post-construction of sand sausage, respectively, diff. SCR = difference shoreline change rate between pre- and post-construction of sand sausage

ตาราง ข-1 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจนมาแบบใช้กรอกทราย ตลอดแนวชายฝั่งเจ้าพระยาตะวันออก (ต่อ)

NO.	Year	Length (m)	Station		Distance from initial shoreline (m)	SCR 1996-2002 (m/y)		SCR 2002-2010 (m/y)		diff. SCR (m/y)	Location	Remarks
			from	to								
SB101	2005	98	36+100	36+160	86	-1.7	-12.4	-10.7			Ban Khlong Charoen Wai	
SB102	2005	102	36+240	36+320	87	-0.3	-10.9	-10.6			Ban Khlong Charoen Wai	
SB103	2005	95	36+400	36+460	96	-0.2	-7.9	-7.7			Ban Khlong Charoen Wai	
SB104	2005	107	36+540	36+620	99	-0.3	-7.1	-6.9			Ban Khlong Charoen Wai	
SB105	2005	100	36+700	36+780	111	0.1	-0.5	-0.6			Ban Khlong Charoen Wai	
SB106	2005	99	36+840	36+900	119	0.1	-2.4	-2.5			Ban Khlong Charoen Wai	
SB107	2005	100	36+960	37+020	123	1.0	-1.2	-2.2			Ban Khlong Charoen Wai	
SB108	2005	100	37+080	37+140	136	0.3	-1.0	-1.2			Ban Khlong Charoen Wai	
SB109	2005	104	37+200	37+260	146	0.3	-1.3	-1.6			Ban Khlong Charoen Wai	
SB110	2005	96	37+320	37+380	141	0.1	0.1	0.1			Ban Khlong Charoen Wai	
SB111	2005	102	37+460	37+540	119	0.0	-5.0	-5.0			Ban Khlong Charoen Wai	
SB112	2005	98	37+600	37+680	104	-0.3	-6.1	-5.8			Ban Khlong Charoen Wai	

Note: Year = construction year, Length = length of structure, SCR = shoreline change rate, SCR (1996-2002) and SCR (2002-2010) represent the shoreline change rate pre- and post-construction of sand sausage, respectively, diff. SCR = difference shoreline change rate between pre-and post-construction of sand sausage

ตาราง ข-2 ผลการศึกษ้อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง

NO.	Year	Length (m)	Station.		Distance from initial shoreline (m)	SCR		diff. SCR (m/y)	Location	Remarks
			from	to		2010-2014 (m/y)	2016-2021 (m/y)			
SB1	2015	193	12+280	12+460	412	-	2.8	11.7	Ban Sao Thong	in front of Revetment
SB2	2015	200	12+520	12+700	335	-	0.0	-2.1	Ban Sao Thong	in front of Revetment
SB3	2015	190	12+820	12+980	283	-	1.4	6.6	Ban Sao Thong	in front of Revetment
SB4	2015	200	13+060	13+240	404	-6.1	19.1	11.9	Ban Sao Thong	
SB5	2015	203	13+320	13+460	385	-5.0	10.7	10.0	Ban Sao Thong	
SB6	2015	195	13+560	13+740	233	0.0	0.2	0.6	Happy land sea view	In front of revetment
SB7	2015	195	13+820	14+000	166	-0.9	0.0	1.2	Happy land sea view	In front of sea wall
SB8	2015	187	14+080	14+240	348	-0.1	7.3	3.8	Happy land sea view	
SB11	2015	93	14+800	14+880	317	0.8	12.5	8.3	Ban Ta Chia	
SB12	2015	194	14+940	15+120	160	1.6	0.0	1.1	Ban Ta Chia	In front of revetment
SB13	2015	107	15+200	15+280	185	8.4	0.0	3.6	Ban Ta Chia	In front of revetment
SB14	2015	111	15+380	15+460	292	7.0	11.0	15.6	Ban Ta Chia	
SB15	2015	197	15+540	15+720	257	9.9	11.4	23.8	Ban Ta Kok	
SB16	2015	202	15+780	15+960	182	-0.6	6.9	-12.5	Ban Ta Kok	
SB17	2015	194	16+040	16+200	232	0.6	8.1	22.7	Ban Ta Kok	
SB19	2015	87	16+580	16+660	192	0.0	0.0	-0.2	Ban Ta Kok	in front of revetment (2005)
SB20	2015	193	16+740	16+900	279	-0.5	3.8	5.3	Ban Ta Kok	
SB21	2015	186	16+980	17+160	363	5.2	1.7	30.2	Ban Ta Kok	
SB22	2015	192	17+220	17+400	309	2.3	1.9	19.5	Ban Ta Kok	land reclamation
SB23	2015	209	17+460	17+660	394	-1.1	7.1	14.1	Ban Ta Kok	

Note: Year = construction year, Length = length of structure, SCR = shoreline change rate, SCR (2010-2014) and SCR (2016-2021) represent the shoreline change rate pre- and post-construction of rubble-mound-submerged breakwater, respectively, diff. SCR = difference shoreline change rate between pre-and post-construction of rubble-mound-submerged breakwater

ตาราง ข-2 ผลการศึกษาวัดสภาพการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจนมาแบบหินทิ้ง (ต่อ)

NO.	Year	Length (m)	Station.		Distance from initial shoreline (m)	SCR		diff. SCR (m/y)	Location	Remarks
			from	to		2010-2014 (m/y)	2016-2021 (m/y)			
SB24	2015	196	17+740	17+920	442	1.8	10.3	26.5	Ban Ta Kok	
SB25	2015	190	17+980	18+160	453	-9.5	12.3	22.6	Ban Ta Kok	
SB26	2015	188	18+240	18+420	424	7.0	3.8	38.8	Ban Ta Kok	
SB27	2015	189	18+500	18+680	106	-0.7	-0.2	0.0	Ban Khlong Bang Pu	in front of seawall (US Army)
SB28	2015	203	18+740	18+920	200	0.2	-0.2	-2.7	Ban Khlong Bang Pu	in front of seawall (US Army)
SB29	2015	209	19+160	19+360	417	0.1	0.4	-0.4	Ban Khlong Bang Pu	in front of Revetment
SB30	2015	229	19+540	19+740	396	0.0	0.0	-1.3	Ban Khlong Bang Pu	in front of Revetment
SB31	2015	180	19+820	20+000	408	-4.6	-0.5	0.4	Ban Khlong Bang Pu	
SB32	2015	199	20+080	20+260	511	-1.1	-5.6	6.8	Ban Khlong Bang Pu	
SB33	2015	203	20+320	20+520	186	-5.3	-13.3	-9.8	Ban Khlong Bang Pu	in front revetment
SB34	2015	206	20+580	20+720	616	-9.9	-10.7	-4.6	Ban Khlong Bang Pu	Breakwater ฝั่งริมฝั่ง
SB35	2015	97	20+940	21+000	400	0.8	0.2	0.8	Ban Khlong Dan	Dike collapse
SB36	2015	201	21+060	21+220	423	-0.3	3.4	19.4	Ban Khlong Dan	
SB37	2015	209	21+280	21+460	317	1.0	4.1	12.0	Ban Khlong Dan	
SB38	2015	206	21+520	21+700	213	-4.2	1.7	14.3	Ban Khlong Dan	
SB39	2015	194	21+780	21+940	112	1.6	0.8	1.6	Ban Khlong Dan	
SB40	2015	195	22+140	22+300	190	1.4	6.6	-12.9	Ban Khlong Dan	
SB41	2015	196	22+360	22+520	257	1.1	1.0	4.6	Ban Khlong Dan	
SB42	2015	202	22+620	22+800	402	0.8	0.6	3.2	Ban Khlong Dan	
SB43	2015	199	22+880	23+040	412	-11.3	3.8	14.4	Ban Khlong Dan	

Note: Year = construction year, Length = length of structure, SCR = shoreline change rate, SCR (2010-2014) and SCR (2016-2021) represent the shoreline change rate pre- and post-construction of rubble-mound-submerged breakwater, respectively, diff. SCR = difference shoreline change rate between pre-and post-construction of rubble-mound-submerged breakwater



ตาราง ข-2 ผลการศึกษาวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจนน้ำแบบหินทิ้ง (ต่อ)

NO.	Year	Length (m)	Station.		Distance from initial shoreline (m)	SCR		diff. SCR (m/y)	Location	Remarks
			from	to		2010-2014 (m/y)	2016-2021 (m/y)			
SB44	2015	199	23+080	23+260	813	0.3	-0.6	60.0	Ban Khlong Dan	Dike collapse
SB45	2015	197	23+320	23+480	399	-2.2	-7.8	-0.1	Ban Khlong Dan	
SB46	2015	199	23+560	23+720	341	-4.1	0.2	9.1	Ban Khlong Dan	
SB53	2015	202	25+340	25+500	470	18.5	10.1	1.4	Ban Khlong Dan	
SB54	2015	196	25+580	25+800	417	-13.0	2.1	2.9	Ban Khlong Dan	
SB55	2015	190	25+880	26+020	503	-9.9	0.0	14.5	Ban Khlong Dan	
SB56	2015	192	26+080	26+220	454	-1.8	2.4	8.7	Ban Khlong Dan	
SB57	2015	198	26+280	26+420	493	-23.0	2.1	4.6	Ban Khlong Dan	
SB58	2015	203	26+500	26+680	526	-15.6	-0.4	7.5	Ban Khlong Dan	
SB59	2015	200	26+820	27+000	418	-19.1	-5.5	5.2	Ban Si Long	
SB60	2015	195	27+080	27+240	371	-10.0	-1.1	3.9	Ban Si Long	
SB61	2015	197	27+320	27+480	439	-6.3	7.1	9.0	Ban Si Long	
SB62	2015	204	27+600	27+780	418	-7.1	1.2	8.1	Ban Si Long	
SB69	2015	200	29+180	29+360	336	-0.7	2.7	1.4	Ban Si Long	
SB70	2015	205	29+440	29+620	331	-0.6	-1.3	1.4	Ban Si Long	
SB71	2015	201	29+680	29+860	365	-1.9	-0.3	2.9	Ban Si Long	
SB72	2015	205	29+900	30+080	316	-0.7	0.6	2.3	Ban Si Long	
SB73	2015	196	30+140	30+300	349	-2.7	1.8	2.8	Ban Si Long	
SB74	2015	200	30+380	30+560	401	3.5	1.0	2.4	Ban Si Long	
SB78	2015	204	31+340	31+520	289	-6.7	0.1	1.0	Ban Khlong Hong Thong	

Note: Year = construction year, Length = length of structure, SCR = shoreline change rate, SCR (2010-2014) and SCR (2016-2021) represent the shoreline change rate pre- and post-construction of rubble-mound-submerged breakwater, respectively, diff. SCR = difference shoreline change rate between pre-and post-construction of rubble-mound-submerged breakwater

ตาราง ข-2 ผลการศึกษาดำเนินการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้างเขื่อนกั้นคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง (ต่อ)

NO.	Year	Length (m)	Station		Distance from initial shoreline (m)	SCR 2010-2014 (m/y)		SCR 2016-2021 (m/y)		diff. SCR (m/y)	Location	Remarks
			from	to		(m/y)	(m/y)					
SB79	2015	201	31+580	31+760	157	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	Ban Khlong Hong Thong	
SB84	2015	191	32+940	33+140	289	-6.5	0.4	0.4	23.0	23.0	Ban Khlong Samae Khao	
SB85	2015	199	33+220	33+360	233	-11.3	0.2	0.2	12.5	12.5	Ban Khlong Samae Khao	
SB93	2015	100	34+700	34+780	104	-2.0	0.0	0.0	11.4	11.4	Ban Khlong Samae Khao	
SB94	2015	102	34+860	34+940	171	-4.0	-0.7	-0.7	14.1	14.1	Ban Khlong Charoen Wai	
SB104	2015	107	36+540	36+620	166	-2.7	0.4	0.4	7.6	7.6	Ban Khlong Charoen Wai	
SB105	2015	100	36+700	36+780	115	-0.3	-2.5	-2.5	0.7	0.7	Ban Khlong Charoen Wai	
SB106	2015	99	36+840	36+900	143	-1.3	-1.4	-1.4	2.2	2.2	Ban Khlong Charoen Wai	
SB107	2015	100	36+960	37+020	132	0.1	-0.3	-0.3	-3.1	-3.1	Ban Khlong Charoen Wai	
SB108	2015	100	37+080	37+140	143	0.1	-0.3	-0.3	1.0	1.0	Ban Khlong Charoen Wai	
SB109	2015	104	37+200	37+260	164	-1.1	-0.1	-0.1	0.2	0.2	Ban Khlong Charoen Wai	
SB110	2015	96	37+320	37+380	167	-7.2	-2.1	-2.1	-0.6	-0.6	Ban Khlong Charoen Wai	
SB111	2015	102	37+460	37+540	180	-5.9	-2.1	-2.1	-0.5	-0.5	Ban Khlong Charoen Wai	
SB112	2015	98	37+600	37+680	174	-5.7	-4.9	-4.9	0.3	0.3	Ban Khlong Charoen Wai	

Note: Year = construction year, Length = length of structure, SCR = shoreline change rate, SCR (2010-2014) and SCR (2016-2021) represent the shoreline change rate pre- and post-construction of rubble-mound-submerged breakwater, respectively, diff. SCR = difference shoreline change rate between pre- and post-construction of rubble-mound-submerged breakwater

ตาราง ข-3 ผลการศึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้างเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

NO.	Year	Length (m)	Station		Distance from initial shoreline (m)	SCR 2010-2014 (m/y)	post- construction period	SCR varies-2021 (m/y)	diff. SCR (m/y)	Location
			from	to						
NB1	2021	223	13+940	14+140	218	-0.6	-	-	-	Happy land sea view village
NB2	2021	229	14+200	14+400	279	0.0	-	-	-	Happy land sea view village
NB3	2018	231	23+780	23+980	196	-5.1	2018-2021	16.5	16.5	Ban Khlong Dan
NB4	2018	236	24+040	24+260	259	-1.5	2018-2021	23.1	29.8	Ban Khlong Dan
NB5	2012	175	24+300	24+480	100	-0.5	2014-2021	0.6	1.3	Ban Khlong Dan
NB6	2018	241	24+720	24+980	176	-2.3	2018-2021	3.2	4.1	Ban Khlong Dan
NB7	2018	245	25+040	25+280	220	6.5	2018-2021	2.4	2.0	Ban Khlong Dan
NB8	2018	244	27+960	28+180	75	-5.3	2018-2021	28.0	28.9	Ban Si Long
NB9	2018	240	28+240	28+460	100	0.0	2018-2021	7.6	4.2	Ban Si Long
NB10	2015	178	28+540	28+700	120	0.1	2016-2021	17.1	19.9	Ban Si Long
NB11	2018	207	28+740	28+920	152	-0.5	2018-2021	30.8	34.9	Ban Si Long
NB12	2019	198	28+960	29+140	74	0.4	2018-2021	15.0	16.0	Ban Si Long
NB13	2016	184	30+680	30+840	190	-0.2	2016-2021	30.9	31.9	Ban Khlong Hong Thong (Wat Hong Thong)
NB14	2016	107	30+880	30+940	155	-1.4	2016-2021	3.3	9.0	Ban Khlong Hong Thong (Wat Hong Thong)
NB15	2016	45	30+980	31+000	92	-0.1	2016-2021	0.5	3.8	Ban Khlong Hong Thong (Wat Hong Thong)
NB16	2021	107	31+080	31+140	179	0.5	-	-	-	Ban Khlong Hong Thong (Wat Hong Thong)
NB17	2016	187	31+880	32+040	140	8.2	2016-2021	21.4	27.4	Ban Khlong Hong Thong (Khlong Hong Thong)
NB18	2015	183	32+060	32+180	140	7.2	2016-2021	23.5	29.1	Ban Khlong Hong Thong (Khlong Hong Thong)
NB19	2014	184	32+340	32+440	77	0.1	2014-2021	11.2	15.6	Ban Khlong Hong Thong (Khlong Hong Thong)
NB20	2018	207	32+480	32+660	134	2.9	2018-2021	26.3	40.4	Ban Khlong Hong Thong (Khlong Hong Thong)

Note: Year = construction year, Length = length of structure, SCR = shoreline change rate, SCR (2010-2014) and SCR (varies-2021) represent the shoreline change rate pre- and post-construction of nearshore breakwater, respectively, diff. SCR = difference shoreline change rate between pre-and post-construction of nearshore breakwater

ตาราง ข-3 ผลการศึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้างเขื่อนกั้นคลื่นใกล้ชายฝั่ง (ต่อ)

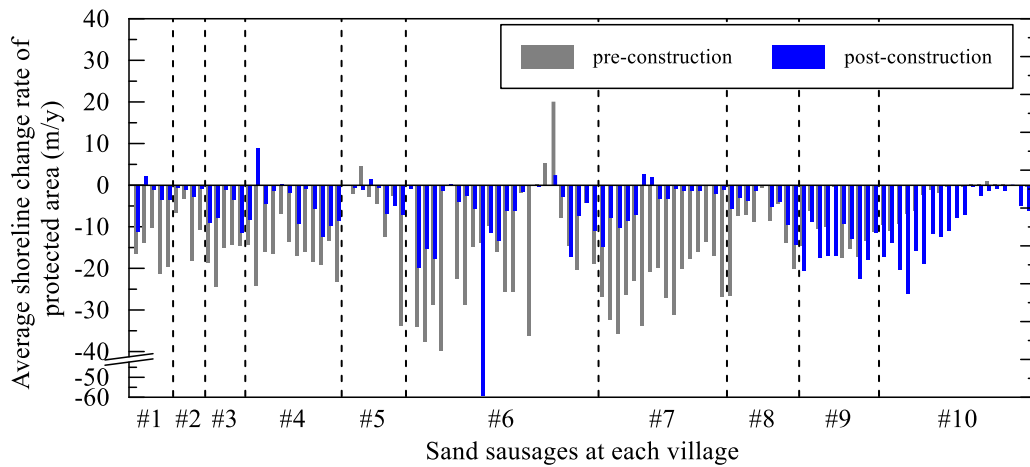
NO.	Year	Length (m)	Station		Distance from Original shoreline (m)	SCR 2010-2014 (m/y)	period post- construction	SCR Varies-2021 (m/y)	diff. SCR (m/y)	Location
			from	to						
NB21	2019	205	33+600	33+780	70	-5.9	2018-2021	-0.1	16.6	Ban Khlong Samae Khao
NB22	2016	177	33+840	33+920	50	10.3	2016-2021	4.5	9.6	Ban Khlong Samae Khao
NB23	2013	179	34+000	34+140	50	-2.6	2014-2021	0.9	8.1	Ban Khlong Samae Khao
NB24	2019	207	34+180	34+360	90	-2.6	2018-2021	1.0	13.3	Ban Khlong Samae Khao
NB25	2019	203	34+380	34+560	170	-2.1	2018-2021	0.1	23.1	Ban Khlong Samae Khao
NB26	2019	205	35+180	35+360	40	2.8	2018-2021	0.9	25.4	Ban Khlong Charoen Wai
NB27	2011	181	35+400	35+540	0	-2.1	2014-2021	0.0	17.7	Ban Khlong Charoen Wai
NB28	2011	133	35+600	35+700	40	-0.5	2014-2021	1.1	12.2	Ban Khlong Charoen Wai
NB29	2014	184	35+720	35+880	100	-6.2	2014-2021	5.8	22.9	Ban Khlong Charoen Wai
NB30	2019	209	35+900	36+080	140	-15.9	2018-2021	-0.2	12.2	Ban Khlong Charoen Wai
NB31	2018	206	36+200	36+380	130	-12.6	2018-2021	-0.1	10.5	Ban Khlong Charoen Wai

Note: Year = construction year, Length = length of structure, SCR = shoreline change rate, SCR (2010-2014) and SCR (varies-2021) represent the shoreline change rate pre- and post-construction of nearshore breakwater, respectively, diff. SCR = difference shoreline change rate between pre-and post-construction of nearshore breakwater

ตาราง ข-4 ผลการศึกษาดำเนินการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการปิดกั้นไม่ทะเลออคเคียนในพื้นที่ศึกษา

NO.	Year	Length (m)	Station.		Protected distance (m)	pre- construction period	SCR pre- construction (m/y)	post- construction period	SCR post- construction (m/y)	diff. SCR (m/y)	Location	Remarks
			from	to								
BF1	2009-2021	1338	6+400	7+840	1460	2002-2010	1.5	2010-2014	12.2	10.7	BRC	
BF2	2017	586	10+460	11+020	580	2014-2016	-	2016-2018	-	-	KBP	Land reclamation behind barrier (1st & 2 belt)
BF4	2017	385	14+140	14+360	240	2014-2016	0.7	2016-2018	7.2	6.5	HLSV	
BF5	2011	139	14+520	14+600	100	2002-2010	-2.1	2010-2014	5.9	8.0	BTC	
BF6	2011	591	14+620	15+100	500	2002-2010	-6.4	2010-2014	2.0	8.4	BTC	
BF7	2011	216	15+220	15+340	140	2002-2010	-	2011-2013	-	-	BTK	Disturbed by other structures
BF8	2011	1420	15+380	16+180	820	2002-2010	-2.0	2010-2014	4.7	6.7	BTK	
BF9	2011	100	16+600	16+660	80	2002-2010	0.3	2010-2014	0.0	-0.3	BTK	
BF10	2011	664	16+740	18+380	1660	2002-2010	-	2014-2016	-	-	BTK	Disturbed by other structures
BF11	2020	825	20+900	21+720	840	2016-2018	-	2018-2021	-	-	BKD	
BF12	2020	745	22+000	22+740	760	2016-2018	-	2018-2021	-	-	BKD	
BF13	2015	2165	29+160	30+640	1500	2013-2014	-0.7	2016-2018	0.6	1.4	BSL	
BF14	2019	4140	37+740	41+320	3600	2016-2018	-9.9	2018-2021	-3.2	6.7	BPRM	

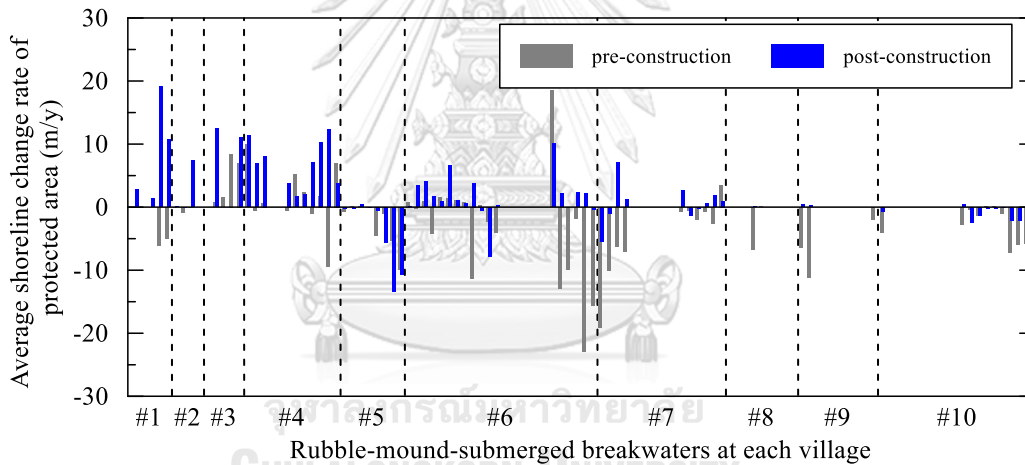
Note: Year = construction year, Length = length of structure, SCR = shoreline change rate, SCR pre- and post-construction represent the shoreline change rate pre- and post-construction of Bamboo Fence, respectively, diff. SCR = difference shoreline change rate between pre- and post-construction of Bamboo Fence, BRC = Bangpu Recreation Center, KBP = Ban Khlong Bang Pu, HLSV = Happy land sea view, BTC = Ban Ta Chia, BTK = Ban Ta Kok, BKD = Ban Khlong Dan, BSL = Ban Si Long, BPRM = Bang Pakong River Mouth



Note

#1 = Ban Sao Thong, #2 = Happy land sea view, #3 = Ban Ta Chia, #4 = Khlong Ta Kok, #5 = Ban Khlong Bang Pu, #6 = Ban Khlong Dan, #7 = Ban Si Long, #8 = Ban Khlong Hong Thong, #9 = Ban Khlong Samae Khao, #10 = Ban Khlong Charoen Wai

รูป ข-1 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยก่อนและหลังการก่อสร้างใ้กรอกทราย

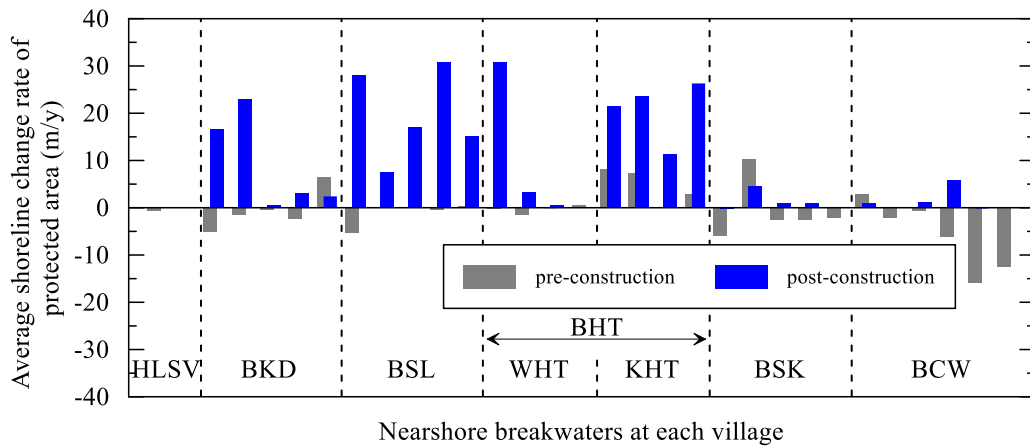


Note

#1 = Ban Sao Thong, #2 = Happy land sea view, #3 = Ban Ta Chia, #4 = Khlong Ta Kok, #5 = Ban Khlong Bang Pu, #6 = Ban Khlong Dan, #7 = Ban Si Long, #8 = Ban Khlong Hong Thong, #9 = Ban Khlong Samae Khao, #10 = Ban Khlong Charoen Wai

\*การคำนวณ shoreline change rate ของ rubble-mound-submerged breakwater จะไม่นำโครงสร้างที่มีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่งด้านหลังมาประกอบการคำนวณ

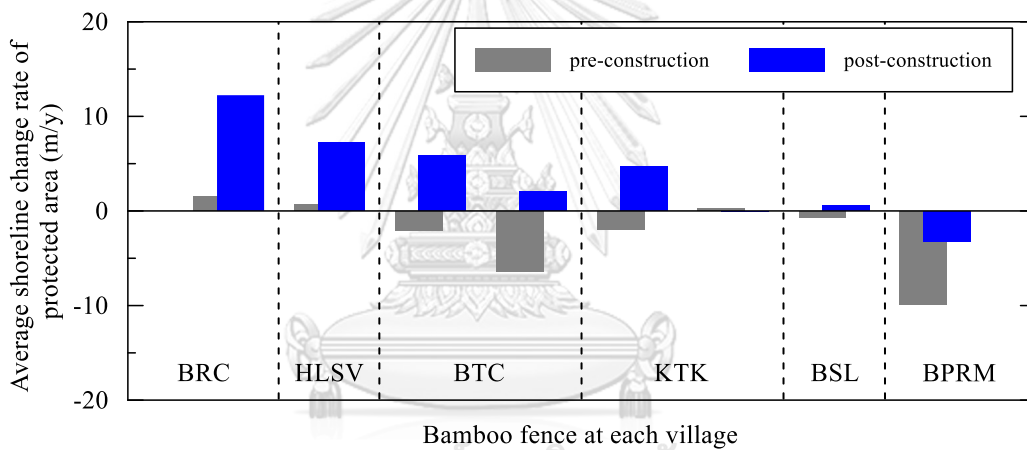
รูป ข-2 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยก่อนและหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำด้วยหินทิ้ง



Note

HLSV = Happy land sea view, BKD = Ban Khlong Dan, BSL = Ban Si Long, WHT = Wat Hong Thong, KHT = Khlong Hong Thong, BSK = Ban Khlong Samae Khao, BCW = Ban Khlong Charoen Wai

รูป ข-3 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยก่อนและหลังการก่อสร้างไม้ไผ่ชะลอคลื่น



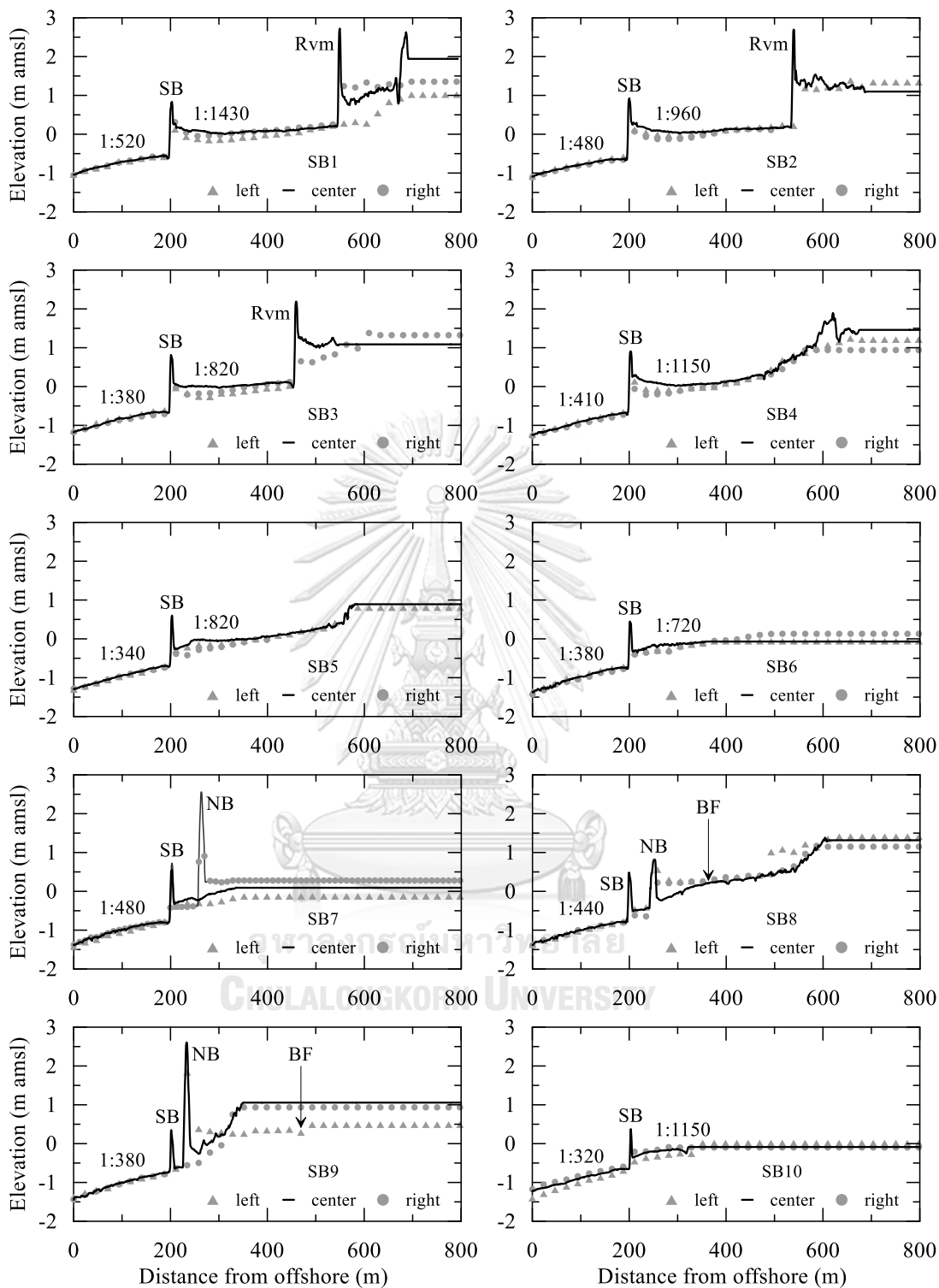
Note

BRC = Bangpu Recreation Center, HLSV = Happy land sea view, BTC = Ban Ta Chia, KTK = Khlong Ta Kok, BSL = Ban Si Long, BPRM = Bang Pakong River Mouth

รูป ข-4 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ยก่อนและหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นไผ่ชะลอชายฝั่ง

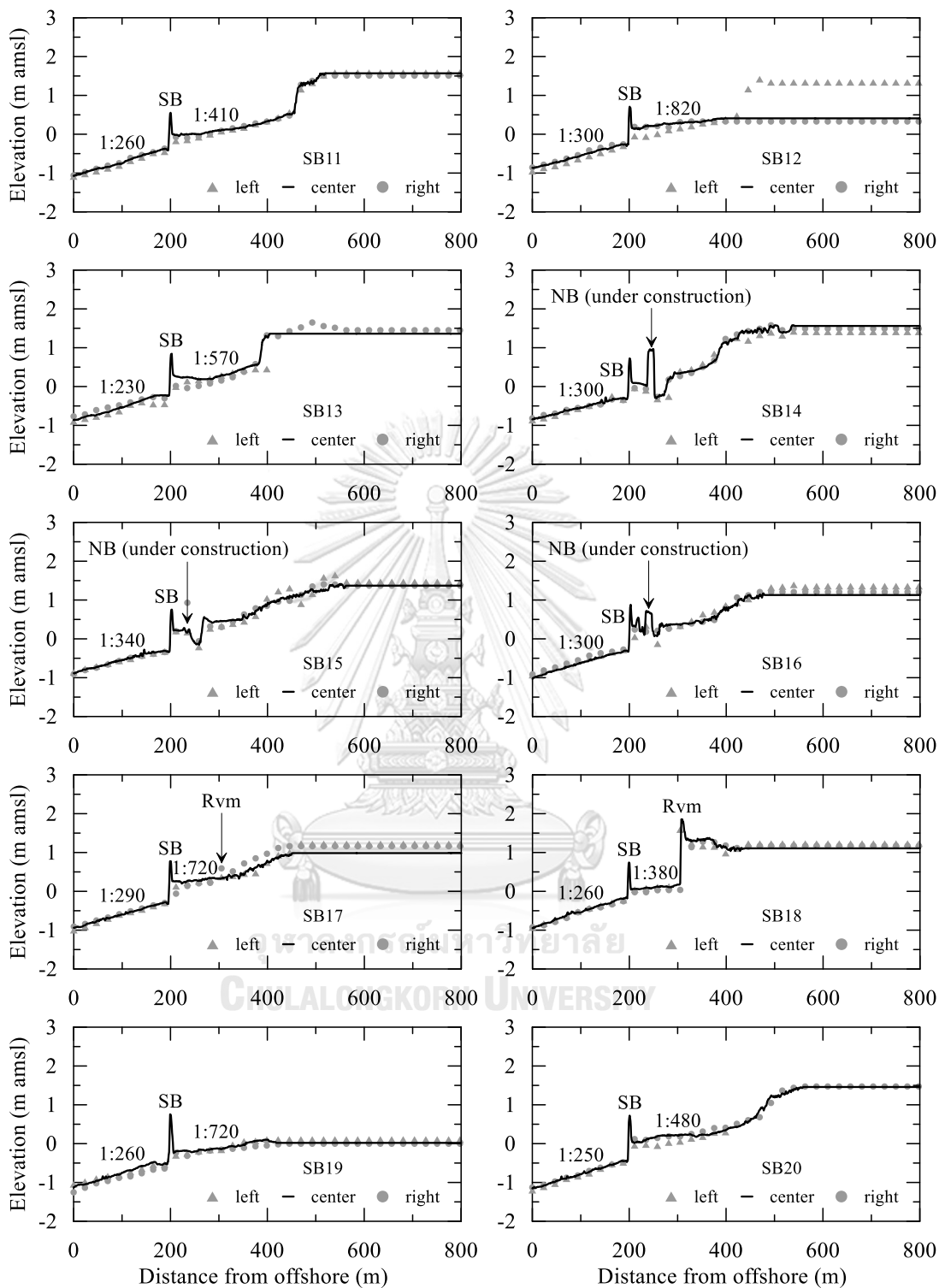






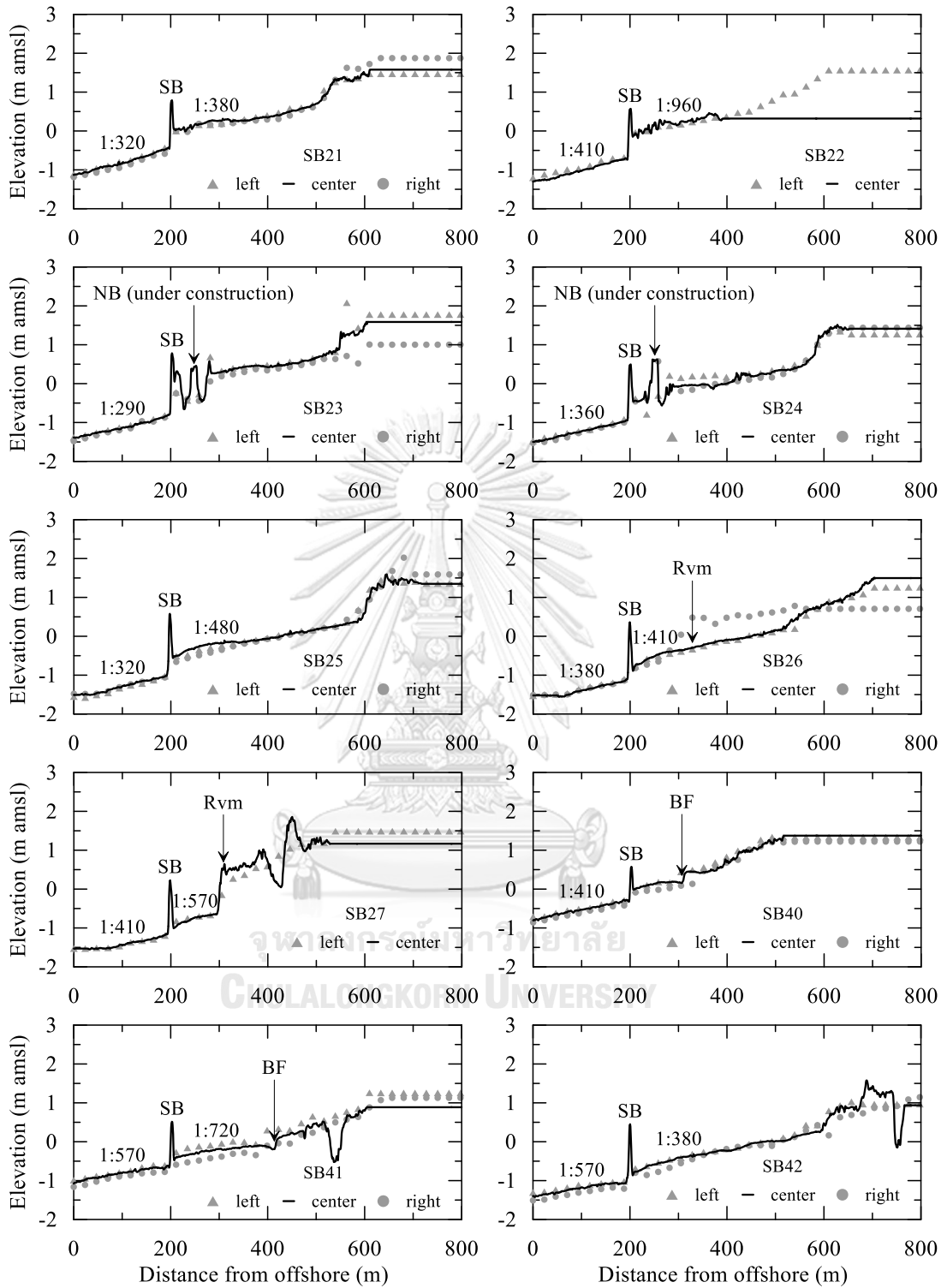
Note: NB = Nearshore breakwater, SB = submerged breakwater, BF = Bamboo fence, Rvm = Revetment

รูป ค-1 รูปตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง หมายเลข SB1-10



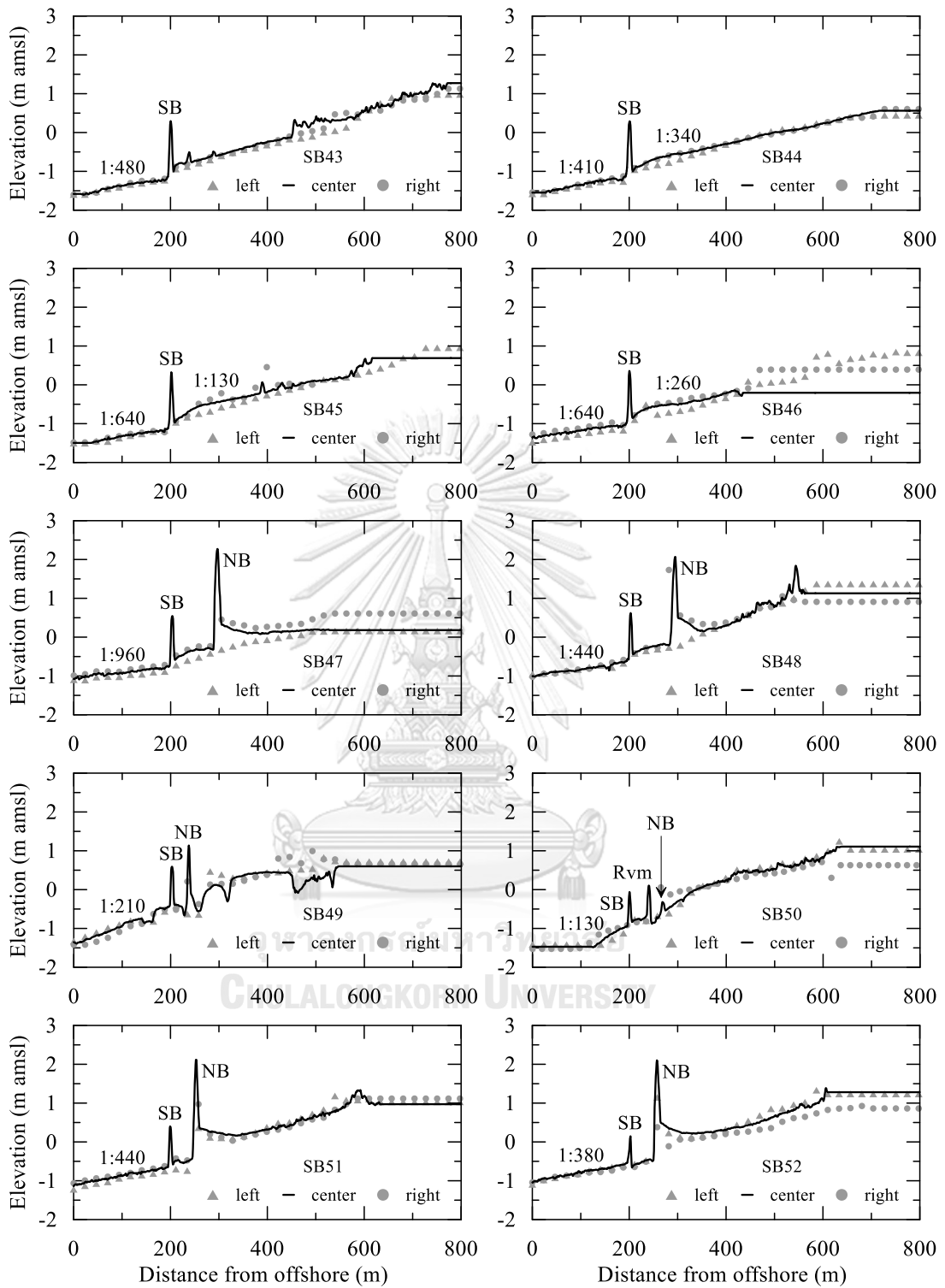
Note: NB = Nearshore breakwater, SB = submerged breakwater, BF = Bamboo fence, Rvm = Revetment

รูป ค-2 รูปตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง หมายเลข SB11-20



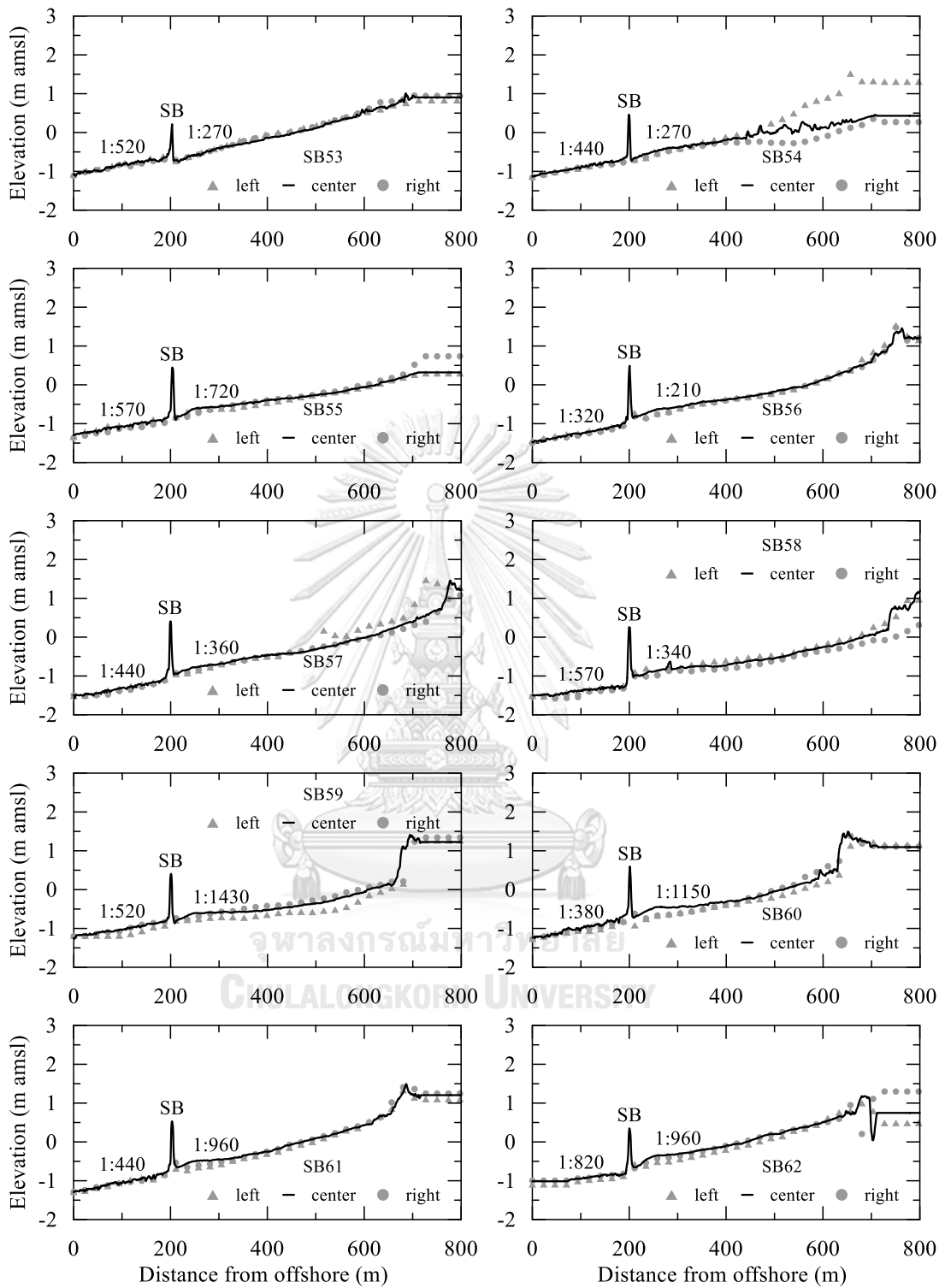
Note: NB = Nearshore breakwater, SB = submerged breakwater, BF = Bamboo fence, Rvm = Revetment

รูป ค-3 รูปตัดตามขวางเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง หมายเลข SB21-42



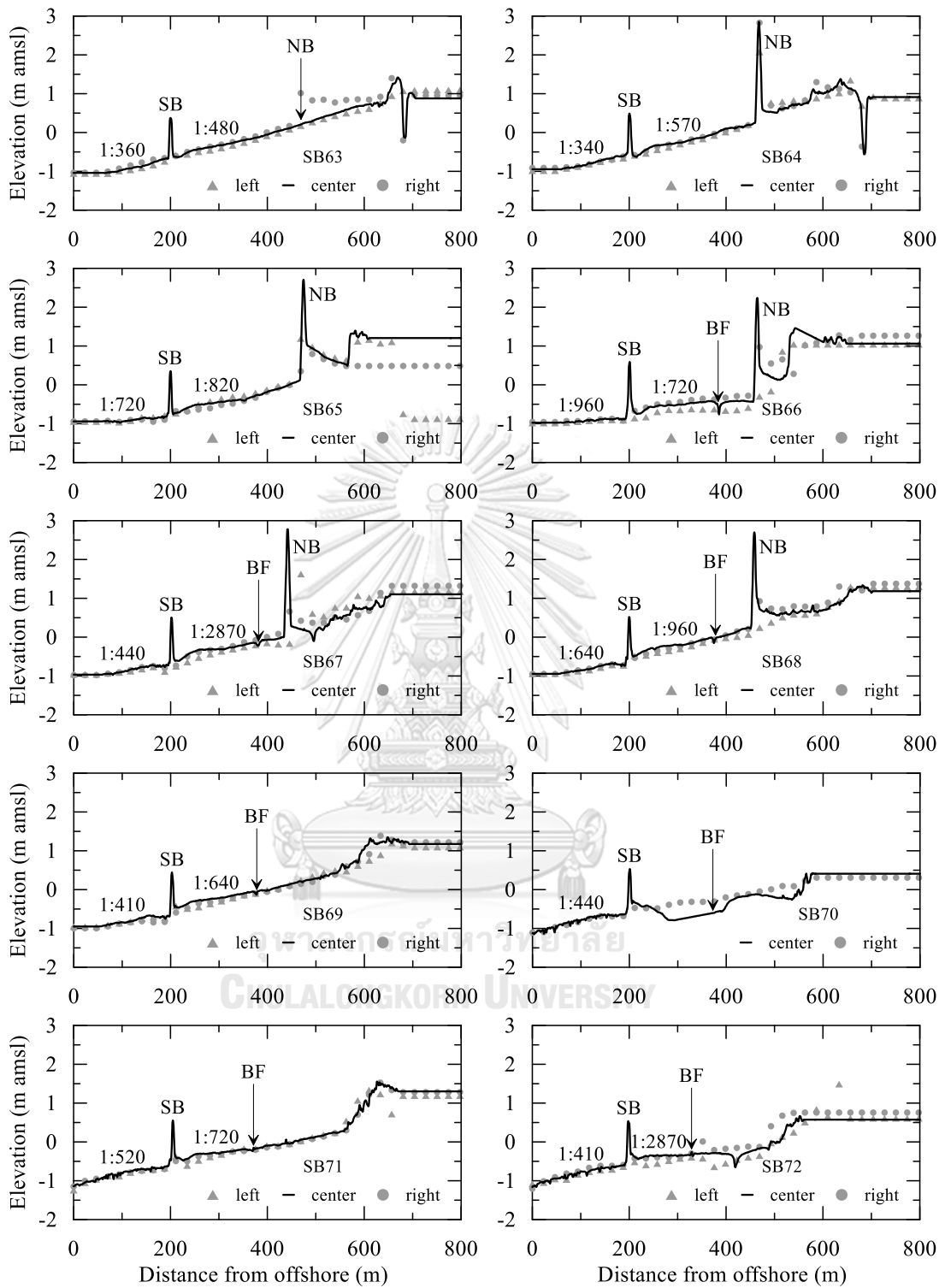
Note: NB = Nearshore breakwater, SB = submerged breakwater, BF = Bamboo fence, Rvm = Revetment

รูป ค-4 รูปตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง หมายเลข SB43-52



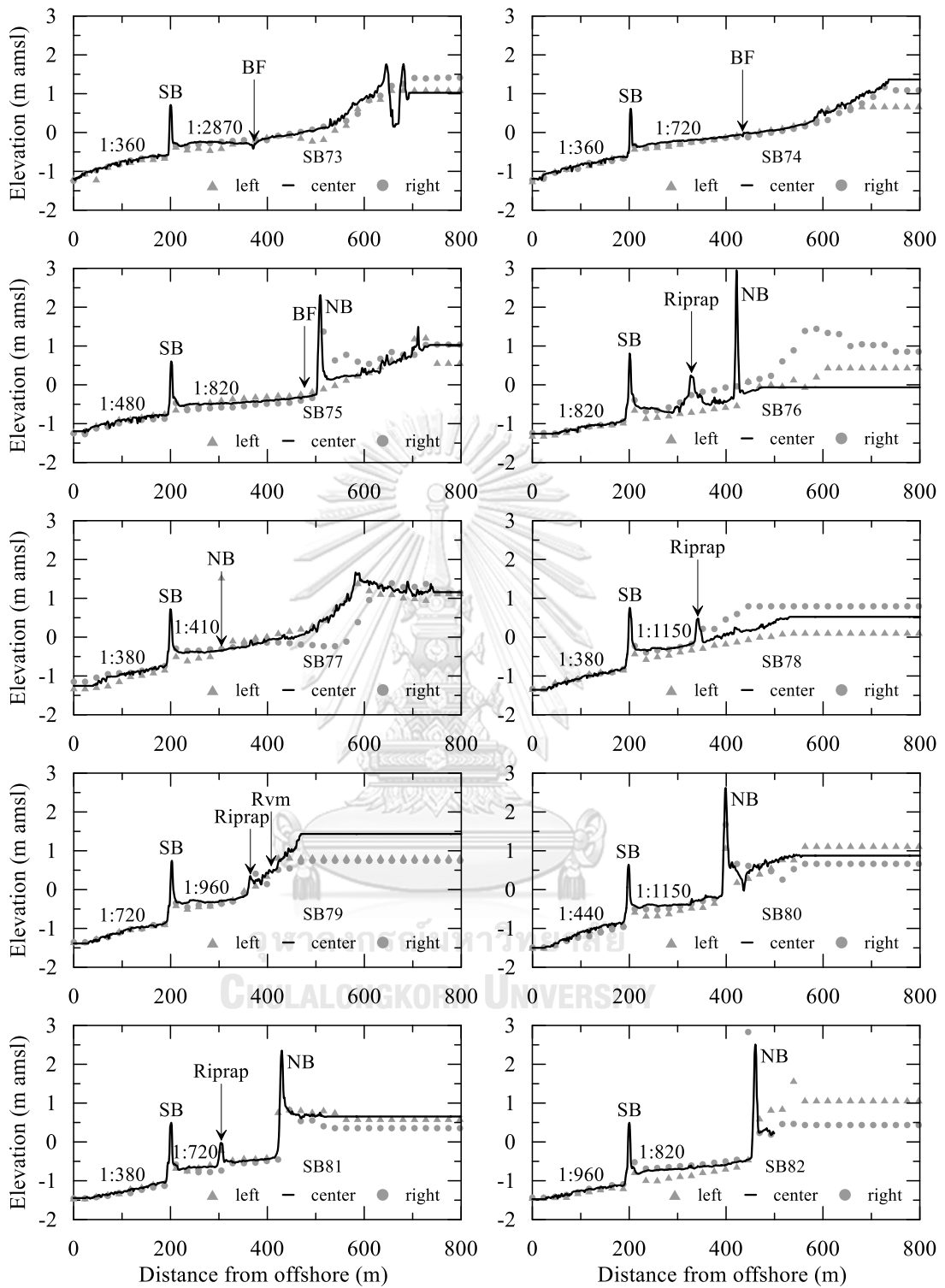
Note: NB = Nearshore breakwater, SB = submerged breakwater, BF = Bamboo fence, Rvm = Revetment

รูป ค-5 รูปตัดตามขวางเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง หมายเลข SB53-62



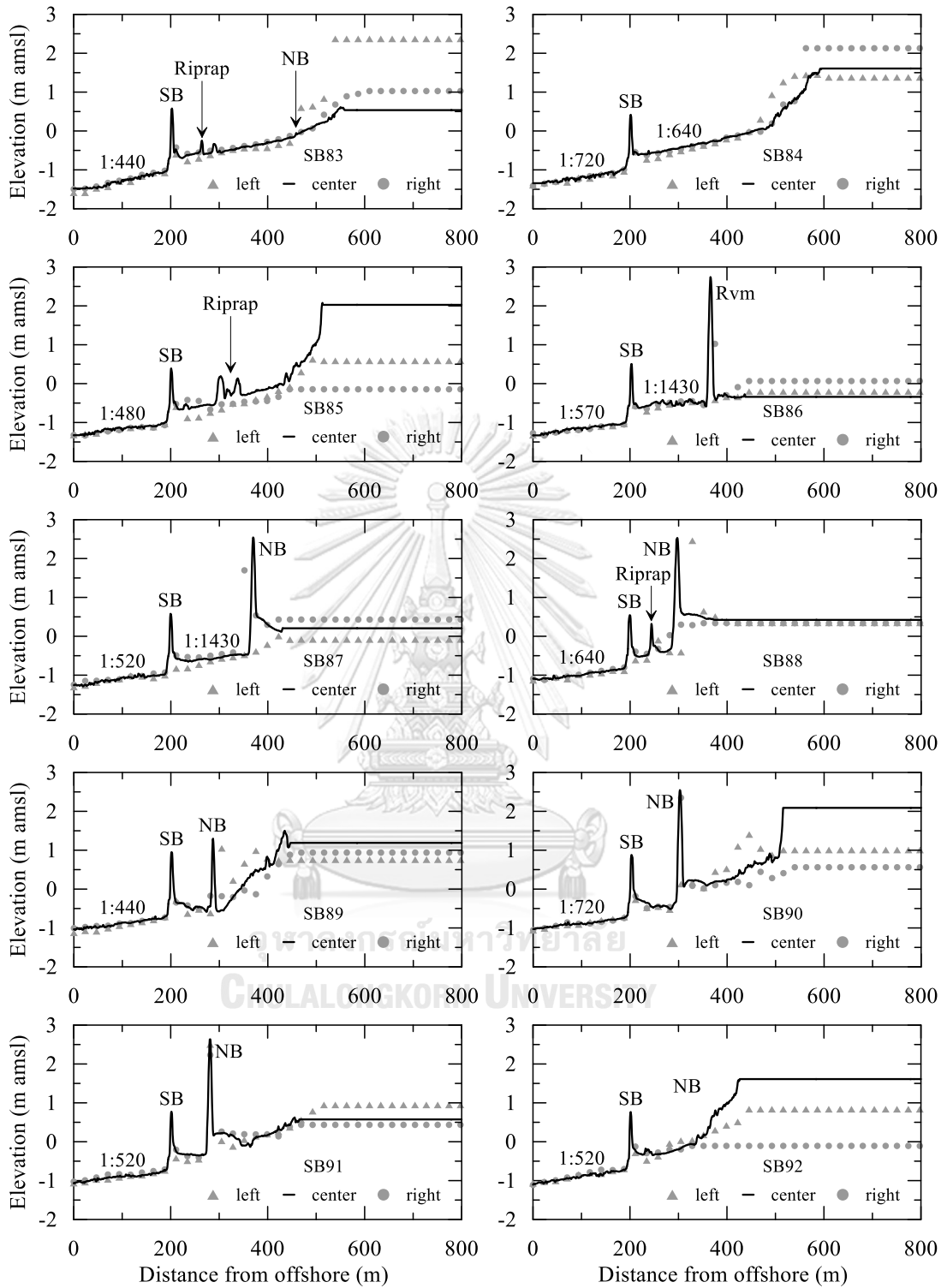
Note: NB = Nearshore breakwater, SB = submerged breakwater, BF = Bamboo fence, Rvm = Revetment

รูป ค-6 รูปตัดตามขวางเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง หมายเลข SB63-72



Note: NB = Nearshore breakwater, SB = submerged breakwater, BF = Bamboo fence, Rvm = Revetment

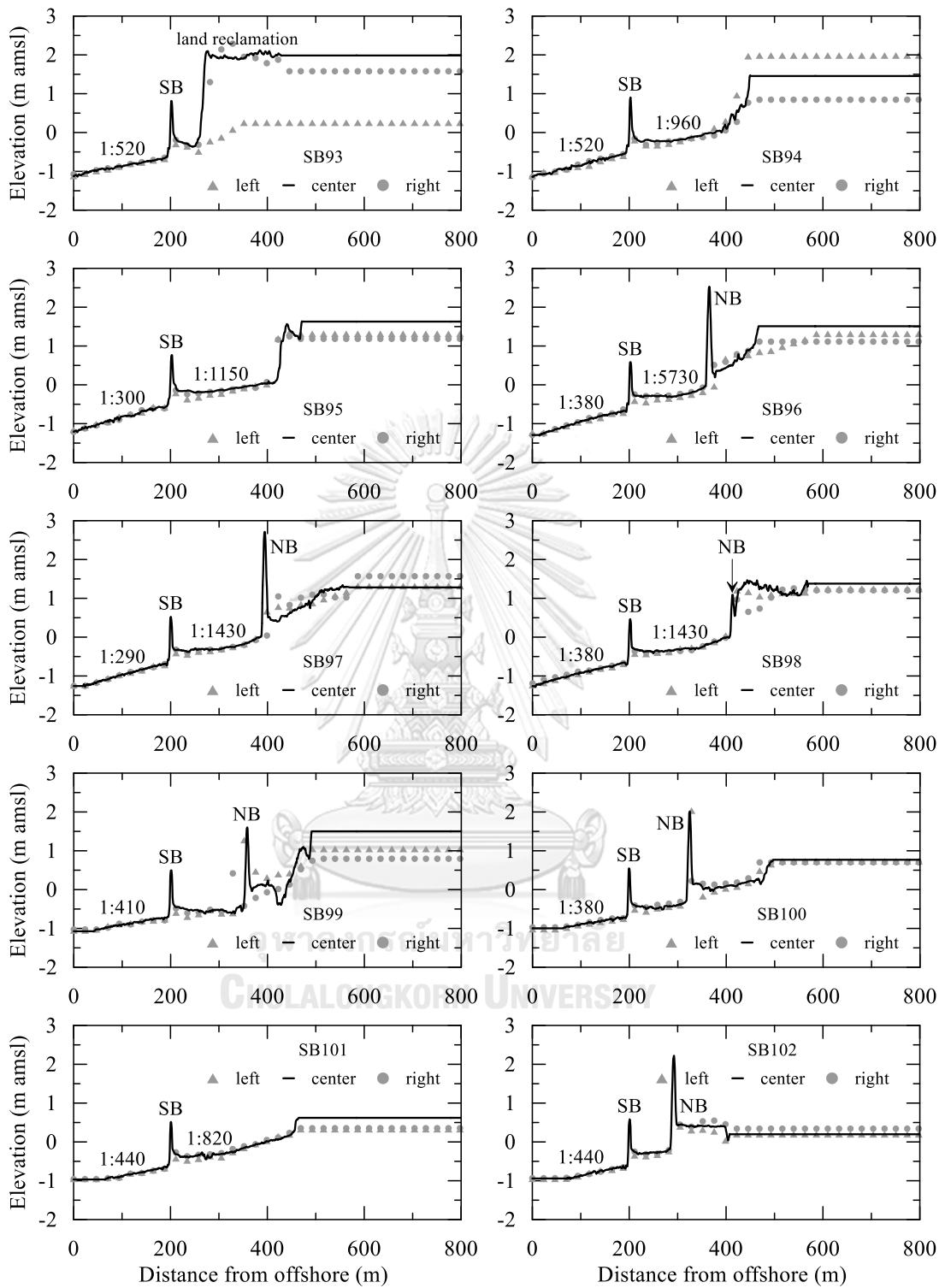
รูป ค-7 รูปตัดตามขวางเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง หมายเลข SB73-82



Note: NB = Nearshore breakwater, SB = submerged breakwater, BF = Bamboo fence, Rvm = Revetment

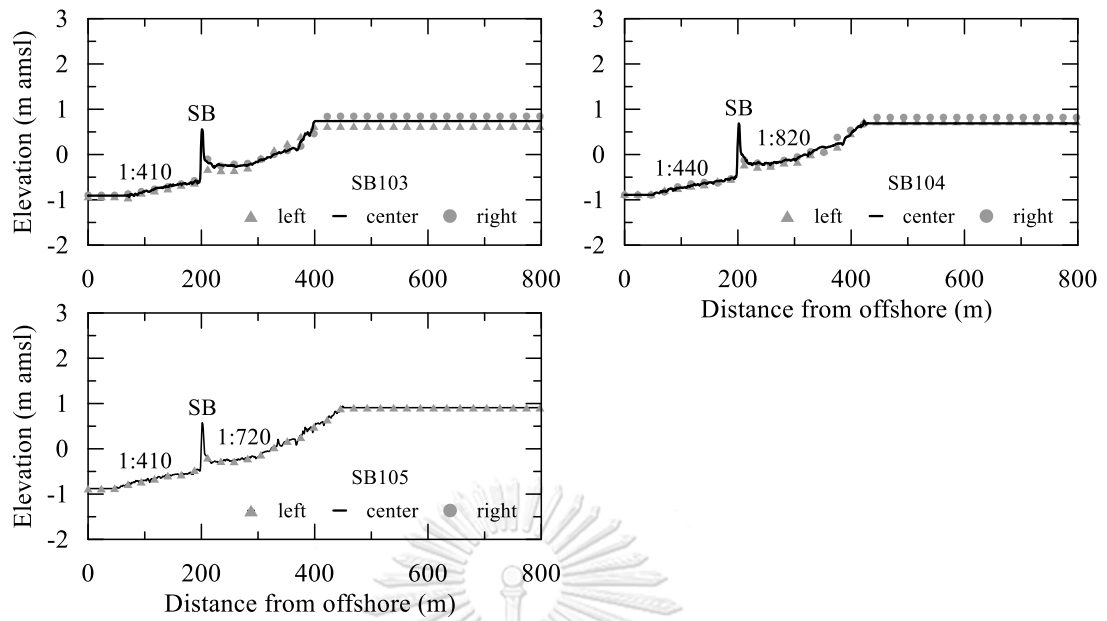
รูป ค-8 รูปตัดตามขวางเชื่อมกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง หมายเลข SB83-92





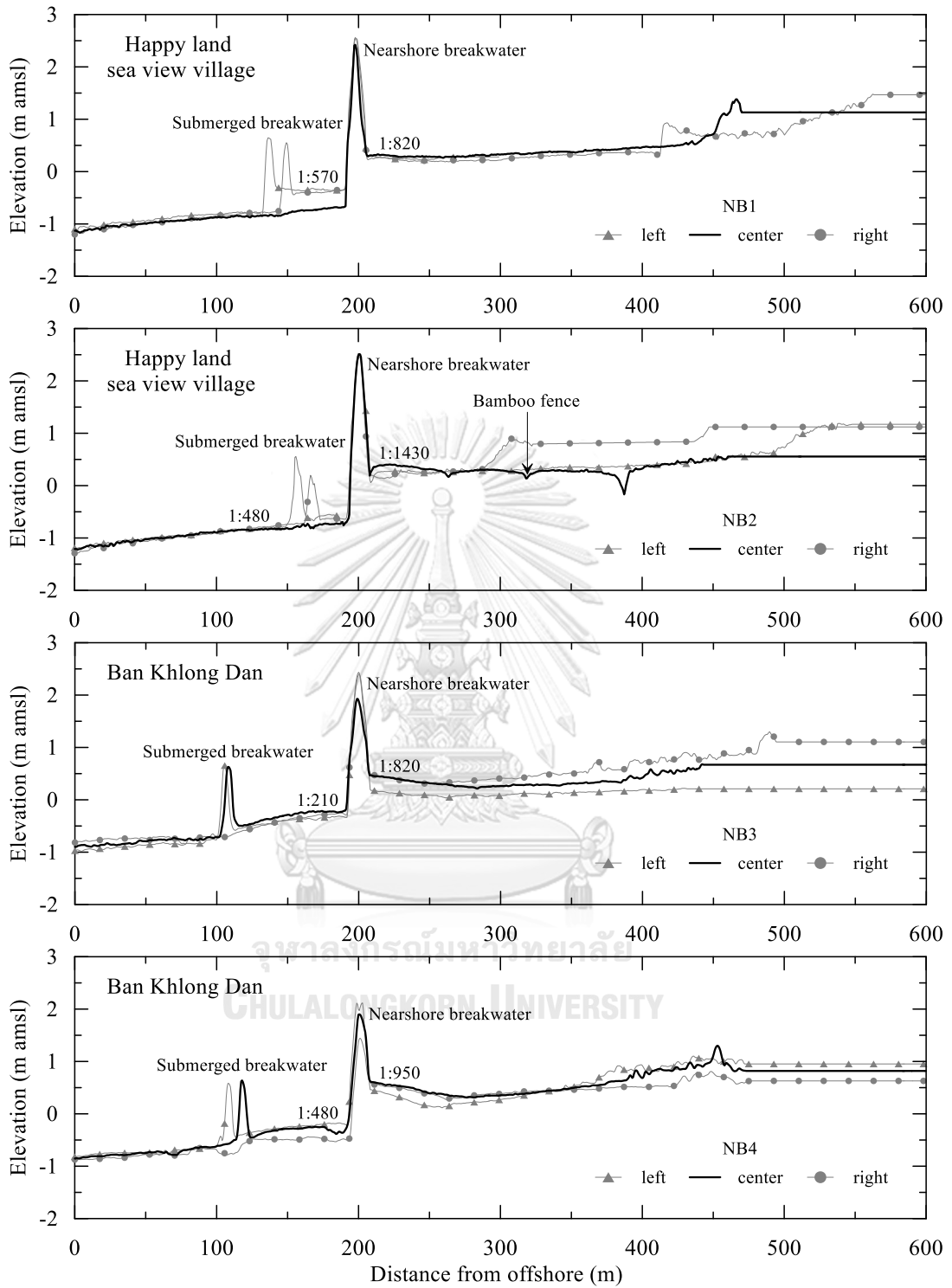
Note: NB = Nearshore breakwater, SB = submerged breakwater, BF = Bamboo fence, Rvm = Revetment

รูป ค-9 รูปตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง หมายเลข SB93-102

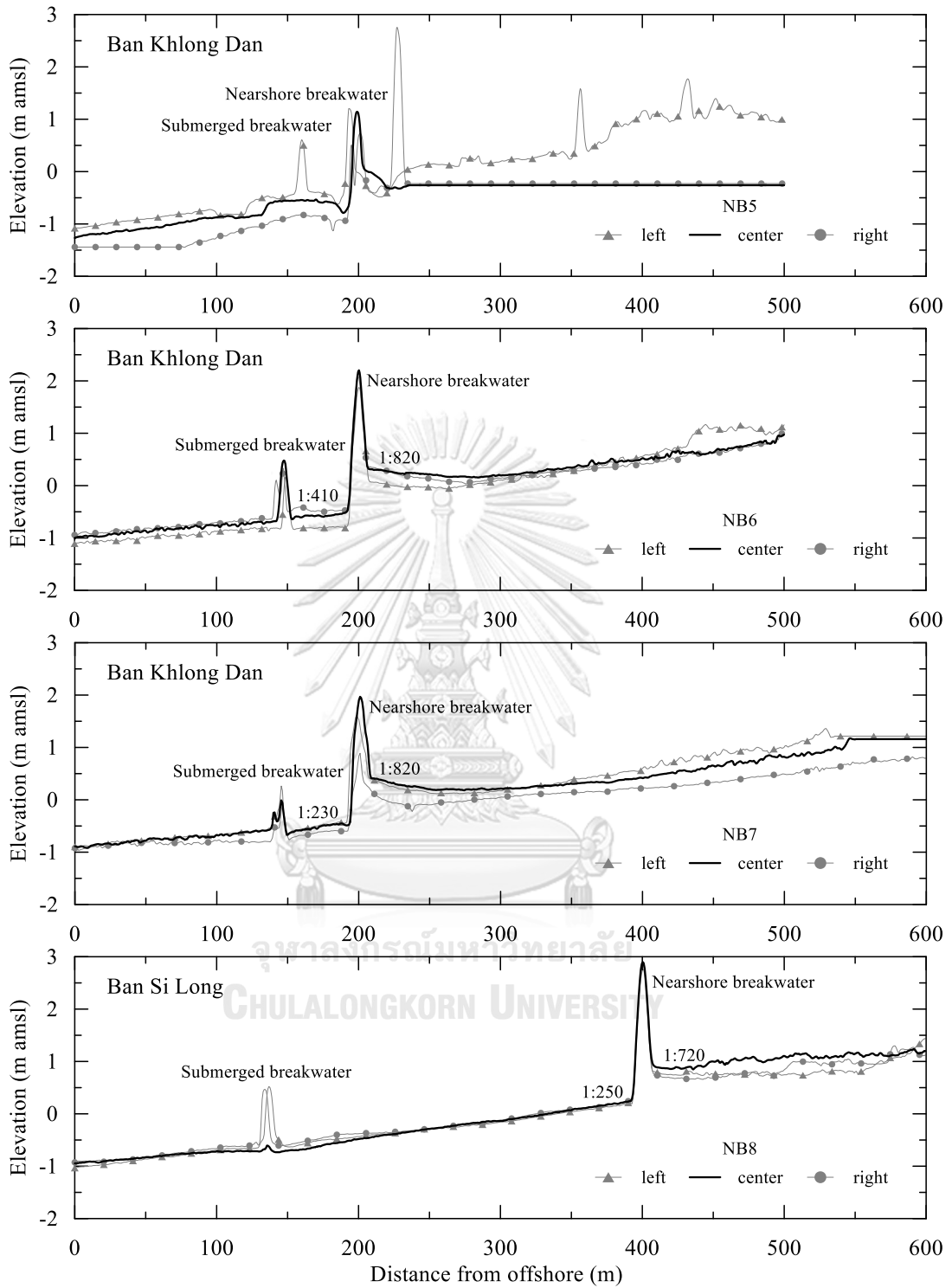


Note: NB = Nearshore breakwater, SB = submerged breakwater, BF = Bamboo fence, Rvm = Revetment

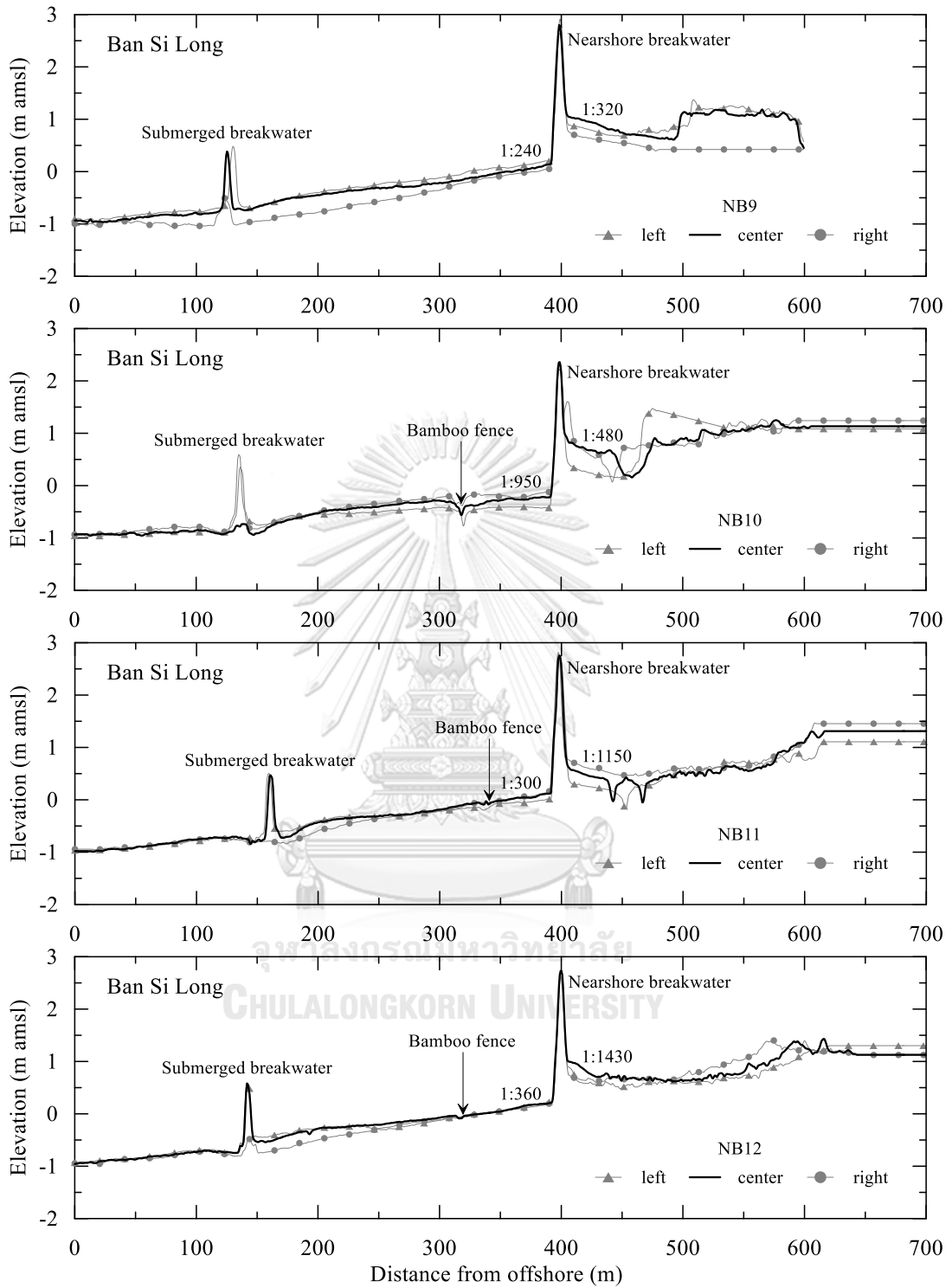
รูป ค-10 รูปตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง หมายเลข SB103-105



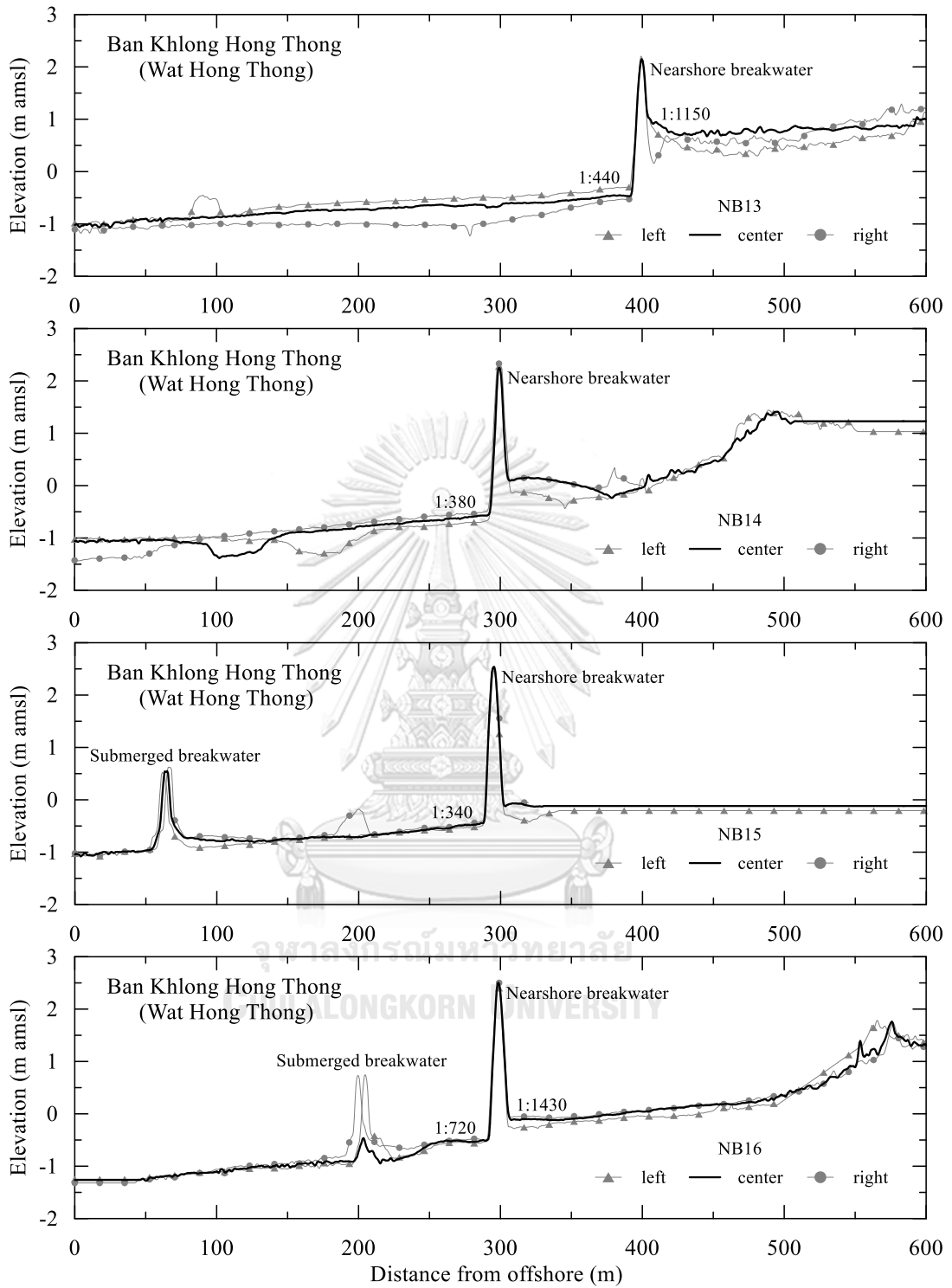
รูป ค-11 รูปตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง หมายเลข NB1-4



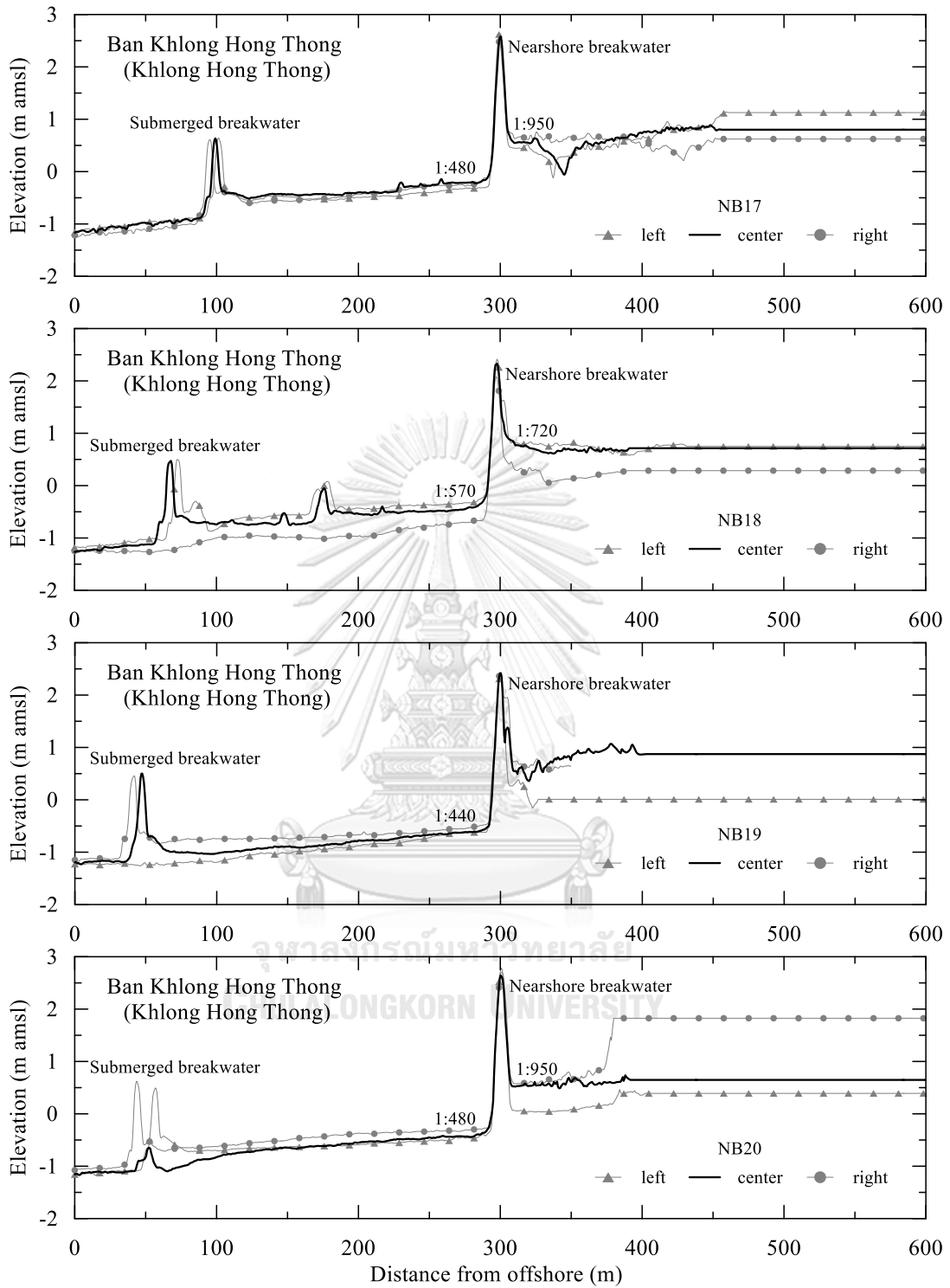
รูป ค-12 รูปตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง หมายเลข NB5-8



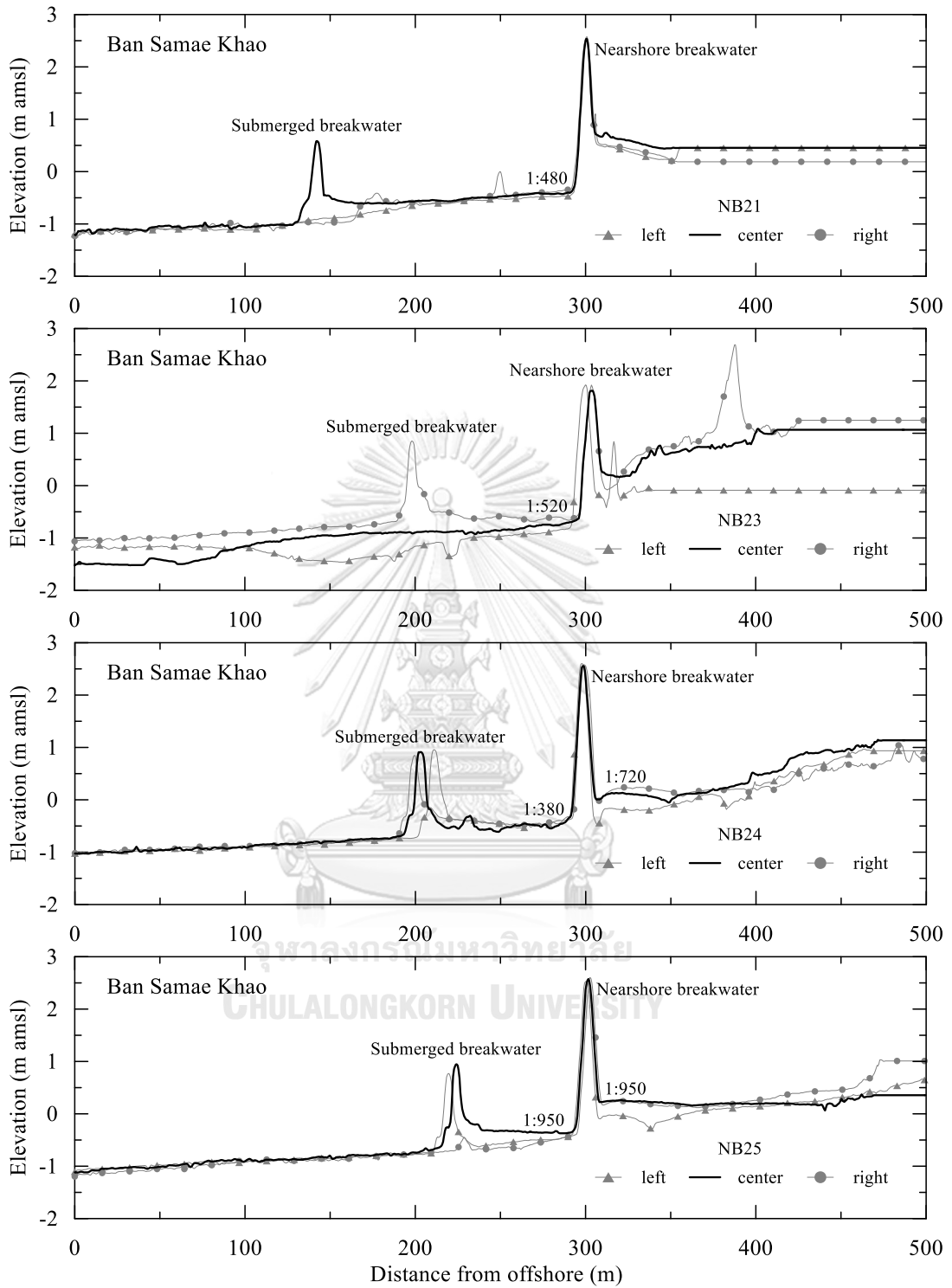
รูป ค-13 รูปตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง หมายเลข NB9-12



รูป ค-14 รูปตัดตามขวางเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง หมายเลข NB13-16

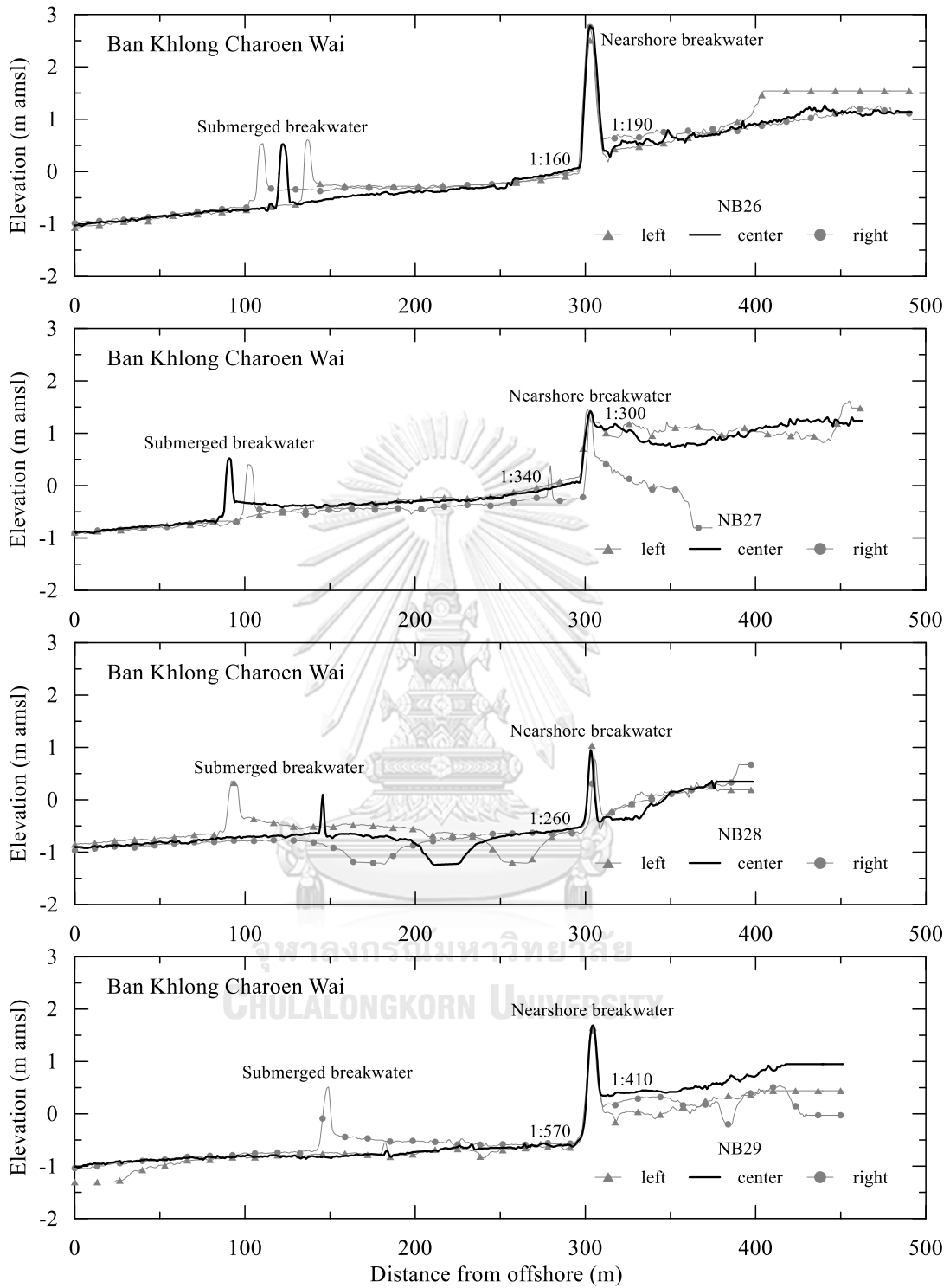


รูป ค-15 รูปตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง หมายเลข NB17-20

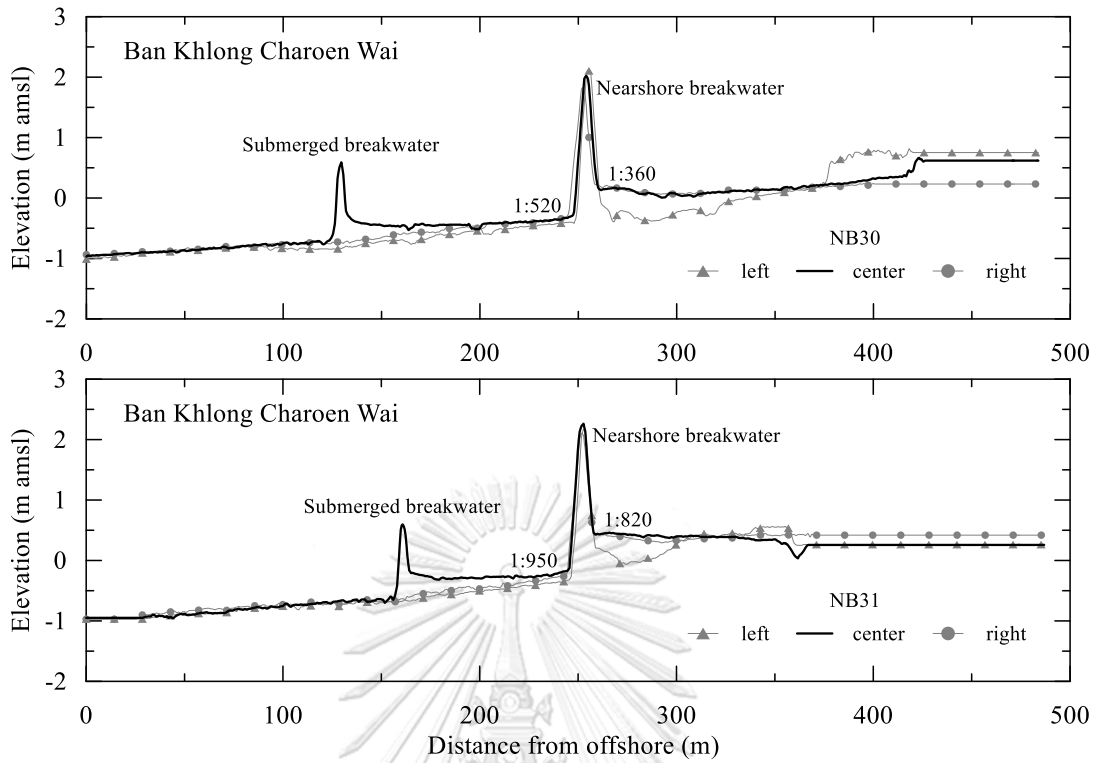


รูป ค-16 รูปตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง หมายเลข NB21-25

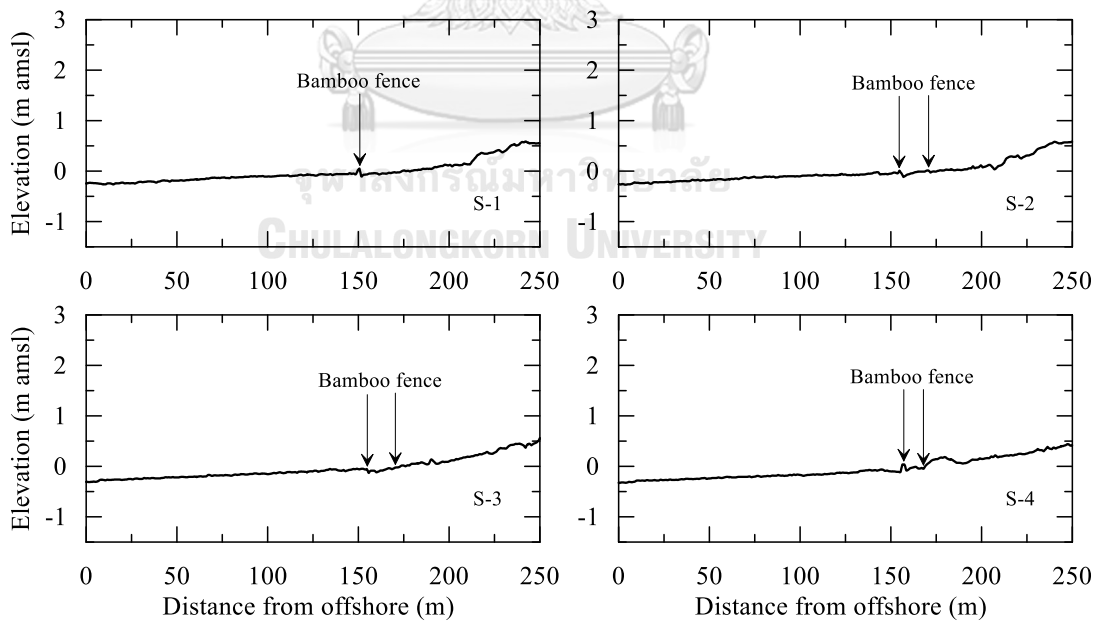




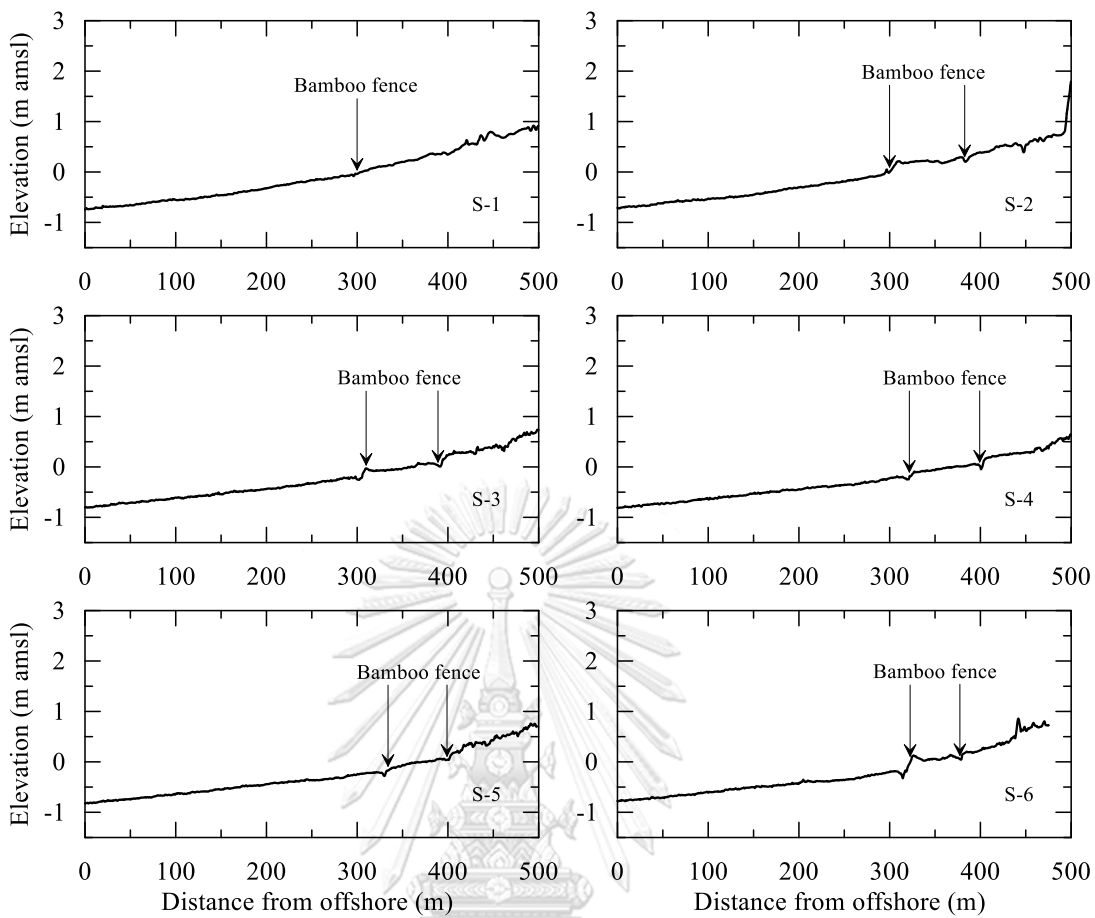
รูป ค-17 รูปตัดตามขวางเชื่อมกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง หมายเลข NB26-29



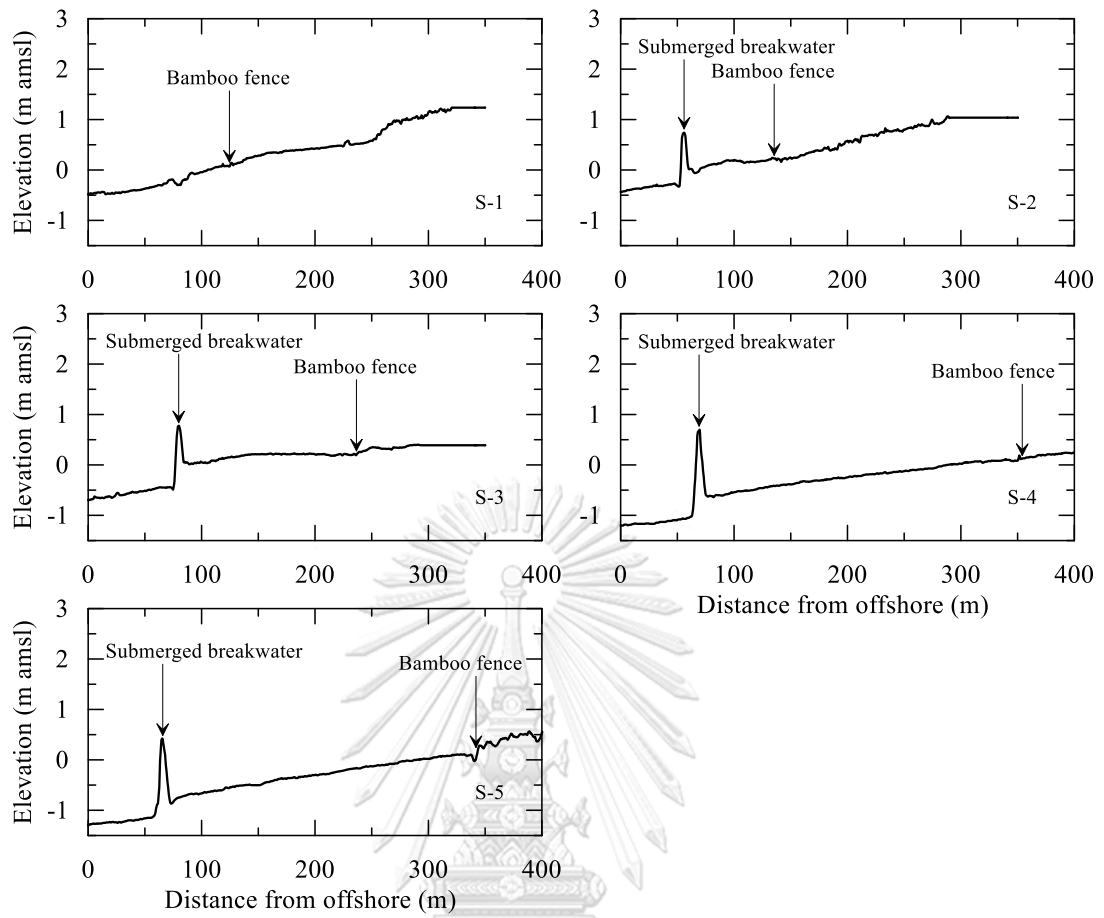
รูป ค-18 รูปตัดตามขวางเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง หมายเลข NB30-31



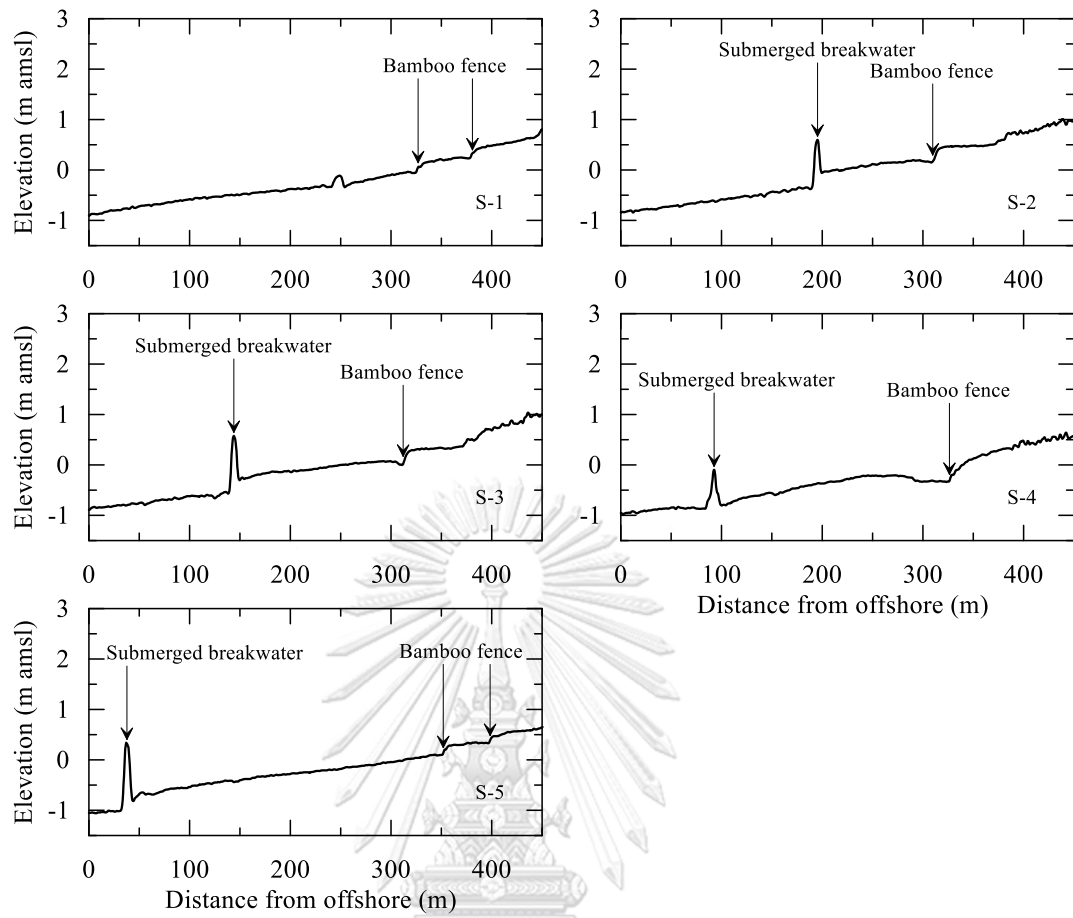
รูป ค-19 รูปตัดตามขวางไม้ไผ่ชะลอกคลื่น หมายเลข BF1



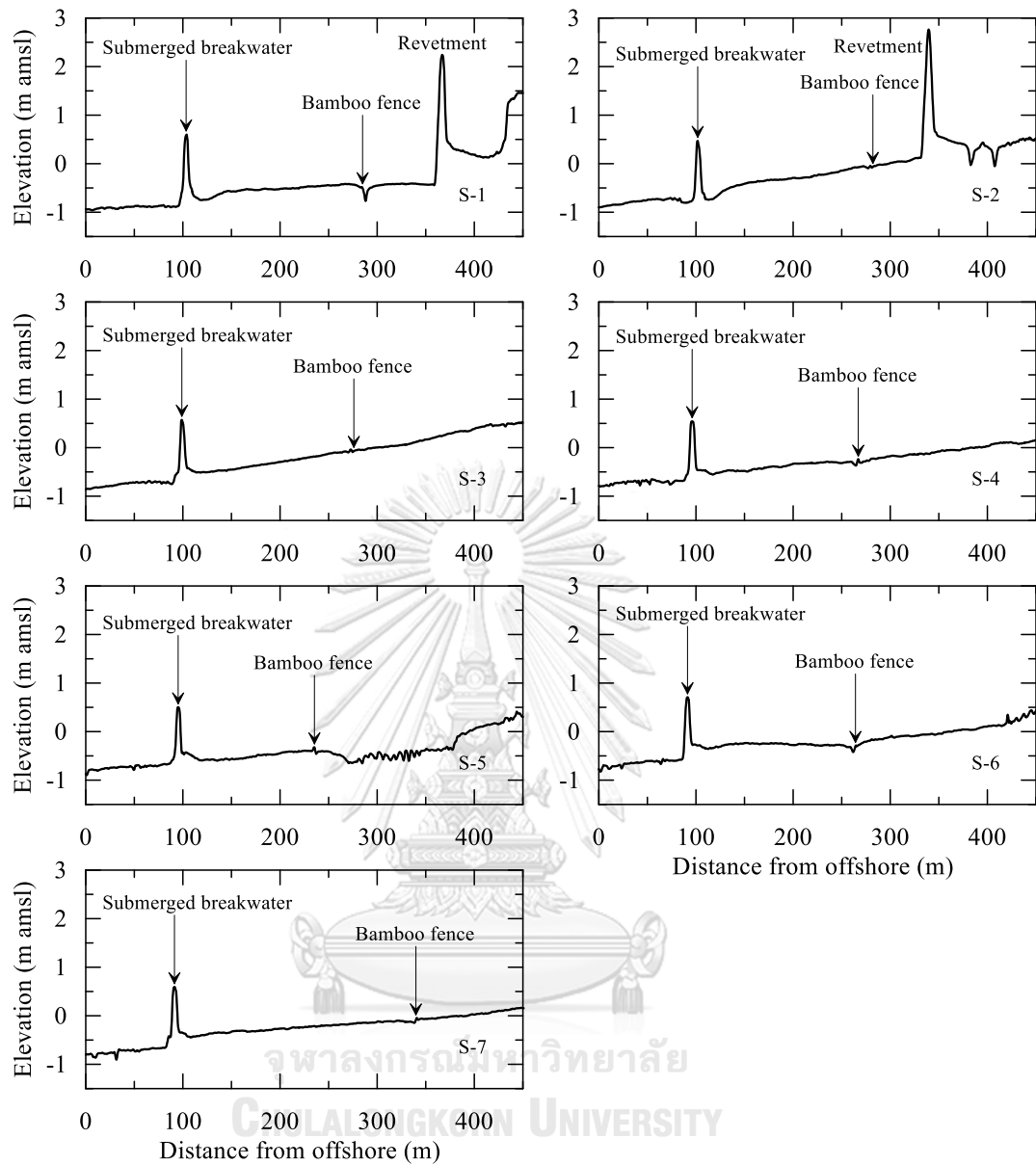
รูป ค-20 รูปตัดตามขวางไม้ไผ่ชะลอคลื่น หมายเลข BF2



รูป ค-21 รูปตัดตามขวางไม้ไผ่ชะลอคลื่น หมายเลข BF3



รูป ค-22 รูปตัดตามขวางไม้ไผ่ชะลอคลื่น หมายเลข BF4



รูป ค-23 รูปตัดตามขวางไม้ไผ่ชะลอกคลื่น หมายเลข BF5



ภาคผนวก ง  
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล UAV-LiDAR

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง ง-1 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม UAV-LIDAR ของเขื่อนกันคลื่นจอมน้ำแบบหินทิ้ง

NO.	Station.		Y <sub>s</sub> 2002	Y <sub>s</sub> 2014	l	B <sub>1</sub>	B <sub>r</sub>	structure Height		Elevation (m amsl)			Diff Elev.	Slope (1:S)		Sed <sub>rate</sub>	Location	Remarks
	from	to	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	ds	ds	crest	(m)	front	behind	(m/y)		
SB1	12+280	12+460	348.5	350.9	195	-	53	1.4	0.2	-0.5	0.8	0.75	521	1433	0.13	BST		
SB2	12+520	12+700	387.2	341.3	200	53	94	1.5	0.2	-0.6	0.8	0.80	478	955	0.13	BST		
SB3	12+820	12+980	363.0	262.5	194	94	48	1.4	0.0	-0.6	0.7	0.61	382	819	0.10	BST		
SB4	13+060	13+240	346.6	372.8	201	48	54	1.5	0.3	-0.7	0.9	0.92	410	1146	0.15	BST		
SB5	13+320	13+460	324.1	398.1	203	54	44	1.2	-0.1	-0.7	0.6	0.56	338	819	0.09	BST		
SB6	13+560	13+740	168.4	171.0	202	44	55	1.1	-0.3	-0.7	0.4	0.37	382	717	0.06	HLSV		
SB7	13+820	14+000	137.1	148.3	195	55	58	1.2	-0.3	-0.8	0.5	0.44	478	338	0.07	HLSV		
SB8	14+080	14+240	293.2	357.7	193	58	61	1.2	-0.5	-0.8	0.4	0.27	441	1433	0.05	HLSV		
SB9	14+320	14+500	60.9	62.5	191	61	55	1.0	-0.6	-0.7	0.3	0.11	382	410	0.02	HLSV		
SB10	14+560	14+740	286.9	326.9	201	55	51	0.9	-0.4	-0.6	0.3	0.24	319	1146	0.04	BTC		
SB11	14+800	14+880	220.2	329.8	95	51	60	0.9	0.0	-0.3	0.5	0.33	261	410	0.06	BTC		
SB12	14+940	15+120	188.3	218.9	191	60	62	1.0	0.1	-0.2	0.7	0.38	302	819	0.06	BTC		
SB13	15+200	15+280	182.7	220.3	108	62	81	1.0	0.3	-0.1	0.8	0.40	230	573	0.07	BTC		
SB14	15+380	15+460	233.1	276.1	99	81	54	1.0	0.1	-0.2	0.7	0.33	302	521	0.06	BTC		
SB15	15+540	15+720	259.6	270.9	205	54	52	1.0	0.2	-0.3	0.7	0.49	338	338	0.08	BTK		
SB16	15+780	15+960	396.3	210.2	194	52	54	1.1	0.3	-0.3	0.8	0.62	302	359	0.10	BTK		
SB17	16+040	16+200	209.2	236.5	194	54	70	1.1	0.3	-0.3	0.7	0.52	287	717	0.09	BTK		
SB18	16+300	16+480	221.1	131.3	197	70	91	0.9	0.1	-0.2	0.7	0.21	261	382	0.04	BTK	in front of revetment	
SB19	16+580	16+660	238.9	234.9	94	91	54	1.1	-0.2	-0.5	0.7	0.29	261	717	0.05	BTK		
SB20	16+740	16+900	281.0	281.4	196	54	60	1.1	0.0	-0.4	0.7	0.44	250	478	0.07	BTK		
SB21	16+980	17+160	302.2	372.5	189	60	59	1.2	0.0	-0.5	0.7	0.54	319	382	0.09	BTK		
SB22	17+220	17+400	291.9	202.1	194	59	57	1.3	-0.1	-0.7	0.5	0.58	410	955	0.10	BTK	in front of revetment	
SB23	17+460	17+660	323.3	348.7	198	57	55	1.5	-	-0.8	0.7	0.82	287	573	0.14	BTK		
SB24	17+740	17+920	337.1	435.7	199	55	51	1.4	-0.4	-1.0	0.5	0.53	359	573	0.09	BTK		

Note: BST = Ban Sao Thong, HLSV = Happy land sea view, BTC = Ban Ta Chia, BTK = Ban Ta Kok, KBP = Ban Khlong Bang Pu, BKD = Ban Khlong Dan, BSL = Ban Si Long, BHT = Ban Khlong Hong Thong, BSK = Ban Khlong Samae Khao, BCW = Ban Khlong Charoen Wai, ds = ground elevation behind structure, ds<sub>s</sub> = ground elevation in front of structure, crest = structure's crest elevation, B<sub>1</sub>, B<sub>r</sub> = gap width at the left and right of structure, respectively, l = length of structure, m amsl = elevation meter above mean sea level, Diff Elev. = difference of elevation between behind and in front of structure, Y<sub>s</sub> 2002 and Y<sub>s</sub> 2014 = distance from structure to the 2002 shoreline and 2010 shoreline, respectively, Sed<sub>rate</sub> = sedimentation rate behind structure



ตาราง ง-1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างต่าง ๆ ที่ได้จากการสำรวจด้วย UAV-LIDAR ของเขื่อนกันคลื่นจอมเจ้าแบบหินทิ้ง (ต่อ)

NO.	Station.		Y <sub>s</sub> 2002 (m)	Y <sub>s</sub> 2014 (m)	l (m)	B <sub>1</sub> (m)	B <sub>r</sub> (m)	structure Height (m)	Elevation (m amsl)			Slope (1:S)		Sed <sub>rate</sub> (m/y)	Location	Remarks
	from	to							d <sub>s</sub>	d <sub>ss</sub>	crest	front (m)	behind (m)			
SB25	17+980	18+160	337.4	417.6	200	51	45	1.5	-0.6	-1.0	0.5	0.44	319	478	0.07	BTK
SB26	18+240	18+420	375.1	433.1	195	45	63	1.4	-0.8	-1.1	0.3	0.37	382	410	0.06	BTK
SB27	18+500	18+680	103.4	100.2	-	63	-	1.3	-1.0	-1.2	0.2	0.23	410	573	0.04	BTK in front of revetment
SB28	18+740	18+920	136.4	132.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KBP
SB29	19+160	19+360	395.1	395.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KBP
SB30	19+540	19+740	392.1	392.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KBP
SB31	19+820	20+000	434.3	478.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KBP
SB32	20+080	20+260	458.4	512.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KBP
SB33	20+320	20+520	52.1	177.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KBP
SB34	20+580	20+720	163.8	190.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KBP
SB35	20+940	21+000	447.1	625.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BKD
SB36	21+060	21+220	195.9	333.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BKD
SB37	21+280	21+460	119.9	204.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BKD
SB38	21+520	21+700	54.4	218.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BKD
SB39	21+780	21+940	150.1	151.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BKD
SB40	22+140	22+300	196.3	195.6	198	-	50	0.9	0.1	-0.3	0.6	0.40	410	382	0.07	BKD in front of bamboo fence of about 10
SB41	22+360	22+520	280.2	275.2	200	50	91	1.1	-0.4	-0.6	0.5	0.21	573	717	0.04	BKD
SB42	22+620	22+800	385.5	404.8	203	91	51	1.5	-0.8	-1.0	0.4	0.24	573	382	0.04	BKD
SB43	22+880	23+040	57.2	397.9	201	51	50	1.4	-0.9	-1.2	0.2	0.32	478	-	0.05	BKD in front of -0.5 m amsl-crest-local reveal of about 40 m
SB44	23+080	23+260	311.4	-	202	50	48	1.4	-0.7	-1.1	0.2	0.41	410	338	0.07	BKD
SB45	23+320	23+480	217.8	220.3	201	48	52	1.3	-0.7	-1.2	0.3	0.51	637	131	0.09	BKD
SB46	23+560	23+720	149.9	242.2	204	52	50	1.2	-0.6	-1.0	0.3	0.44	637	261	0.07	BKD
SB47	23+780	23+960	264.5	332.7	207	50	38	1.3	-0.4	-0.8	0.5	0.40	955	250	0.07	BKD in front of Nearshore breakwater
SB48	24+000	24+200	247.0	338.6	205	38	48	1.2	-0.4	-0.6	0.6	0.24	441	359	0.04	BKD 90 m far from Nearshore Breakwater

Note:

BST = Ban Sao Thong, HLSV = Happy land sea view, BTC = Ban Ta Chua, BTK = Ban Ta Chua, BTK = Ban Khlong Bang Pu, BKP = Ban Khlong Dan, BSL = Ban Si Long, BHT = Ban Khlong Hong Thong, BSK = Ban Khlong Samae Khao, BCW = Ban Khlong Charoen Wai, ds = ground elevation behind structure, d<sub>ss</sub> = ground elevation in front of structure, crest = structure's crest elevation, B<sub>1</sub>, B<sub>r</sub> = gap width at the left and right of structure, respectively, l = length of structure, m amsl = elevation meter above mean sea level, Diff Elev. = difference of elevation between behind and in front of structure, y<sub>s</sub> 2002 and y<sub>s</sub> 2014 = distance from structure to the 2002 shoreline and 2010 shoreline, respectively, Sed<sub>rate</sub> = sedimentation rate behind structure

ตาราง ง-1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างต่าง ๆ ที่ได้จากการสำรวจด้วย UAV-LIDAR ของเขื่อนกันคลื่นจอมจำแบบหินทิ้ง (ต่อ)

NO.	Station.		Y <sub>s</sub> 2002 (m)	Y <sub>s</sub> 2014 (m)	l (m)	B <sub>1</sub> (m)	B <sub>r</sub> (m)	structure Height (m)	Elevation (m amsl)			Diff Elev.		Slope (1:S)		Sed <sub>rate</sub>	Location	Remarks
	from	to							d <sub>s</sub>	d <sub>ss</sub>	crest	(m)	(m)	front	behind			
SB49	24+280	24+380	258.3	377.1	95	48	-	1.0	-0.4	-0.5	0.5	0.06	205	-	0.01	BKD	35 m far from Nearshore Breakwater	
SB50	24+640	24+680	69.5	253.6	94	-	49	0.8	-0.8	-0.9	-0.1	0.11	134	478	0.02	BKD	closed to Nearshore Breakwater	
SB51	24+760	24+960	212.0	211.2	200	49	47	1.0	-0.5	-0.6	0.4	0.13	441	-	0.02	BKD	50 m far from Nearshore Breakwater	
SB52	25+040	25+240	274.8	286.9	204	47	51	0.8	-0.5	-0.6	0.1	0.04	382	250	0.01	BKD	50 m far from Nearshore Breakwater	
SB53	25+340	25+500	395.2	451.6	201	51	50	0.9	-0.6	-0.7	0.2	0.11	521	273	0.02	BKD		
SB54	25+580	25+800	229.6	261.5	200	50	50	1.1	-0.5	-0.7	0.4	0.16	441	273	0.03	BKD		
SB55	25+880	26+020	262.5	509.9	200	50	54	1.3	-0.6	-0.9	0.4	0.26	573	717	0.04	BKD		
SB56	26+080	26+220	361.2	493.0	190	54	56	1.3	-0.6	-1.0	0.5	0.37	319	213	0.06	BKD		
SB57	26+280	26+420	343.4	526.9	203	56	47	1.3	-0.8	-1.1	0.4	0.30	441	359	0.05	BKD		
SB58	26+500	26+680	365.5	489.5	-	47	-	1.4	-0.9	-1.3	0.2	0.34	573	338	0.06	BKD		
SB59	26+820	27+000	252.1	406.5	202	-	51	1.2	-0.6	-0.8	0.3	0.19	521	1433	0.03	BSL		
SB60	27+080	27+240	231.1	376.3	193	51	61	1.3	-0.5	-0.7	0.5	0.28	382	1146	0.05	BSL		
SB61	27+320	27+480	334.1	450.3	202	61	88	1.2	-0.6	-0.8	0.5	0.24	441	955	0.04	BSL		
SB62	27+600	27+780	337.2	442.0	204	88	45	1.1	-0.4	-0.8	0.3	0.42	819	955	0.07	BSL		
SB63	27+840	28+020	331.2	425.1	202	45	47	1.0	-0.5	-0.7	0.3	0.21	359	478	0.04	BSL		
SB64	28+100	28+280	389.8	376.7	206	47	49	1.1	-0.4	-0.6	0.4	0.19	338	573	0.03	BSL	in front of Nearshore breakwater	
SB65	28+340	28+440	372.6	370.1	103	49	69	1.1	-0.5	-0.8	0.3	0.25	717	819	0.04	BSL	in front of Nearshore breakwater	
SB66	28+520	28+600	310.9	331.3	101	69	46	1.4	-0.6	-0.9	0.5	0.26	955	717	0.04	BSL	in front of Nearshore breakwater	
SB67	28+680	28+860	365.9	377.7	205	46	49	1.1	-0.3	-0.7	0.5	0.36	441	2865	0.06	BSL	in front of Nearshore breakwater	
SB68	28+940	29+120	430.5	414.1	203	49	46	1.2	-0.4	-0.6	0.5	0.26	637	955	0.04	BSL	in front of Nearshore breakwater	
SB69	29+180	29+360	295.5	306.8	205	46	-	1.1	-0.4	-0.6	0.4	0.24	410	637	0.04	BSL	in front of Nearshore breakwater	
SB70	29+440	29+620	309.5	337.5	204	-	48	1.1	-0.4	-0.7	0.5	0.22	441	-	0.04	BSL		
SB71	29+680	29+860	350.3	356.2	199	48	41	1.1	-0.4	-0.7	0.5	0.29	521	717	0.05	BSL		
SB72	29+900	30+080	322.3	291.2	200	41	47	1.1	-0.4	-0.6	0.5	0.22	410	2865	0.04	BSL		

Note: BST = Ban Sao Thong, HLSV = Happy land sea view, BTC = Ban Ta Chua, BTK = Ban Ta Kok, KBP = Ban Khlong Bang Pu, BKD = Ban Khlong Dan, BSL = Ban Si Long, BHT = Ban Khlong Hong Thong, BSK = Ban Khlong Samae Khao, BCW = Ban Khlong Charoen Wai, ds = ground elevation behind structure, d<sub>ss</sub> = ground elevation in front of structure, crest = structure's crest elevation, B<sub>1</sub>, B<sub>r</sub> = gap width at the left and right of structure, respectively, l = length of structure, m amsl = elevation meter above mean sea level, Diff Elev. = difference of elevation between behind and in front of structure, y<sub>s</sub> 2002 and y<sub>s</sub> 2014 = distance from structure to the 2002 shoreline and 2010 shoreline, respectively, Sed<sub>rate</sub> = sedimentation rate behind structure

ตาราง ง-1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างต่าง ๆ ที่ได้จากการสำรวจด้วย UAV-LIDAR ของเขื่อนกันคลื่นจอมน้ำแบบหินทิ้ง (ต่อ)

NO.	Station.		Y <sub>s</sub> 2002 (m)	Y <sub>s</sub> 2014 (m)	l (m)	B <sub>1</sub> (m)	B <sub>r</sub> (m)	structure Height (m)	Elevation (m amsl)			Diff Elev. (m)	Slope (1:S)		Sed <sub>rate</sub> (m/y)	Location	Remarks
	from	to							d <sub>s</sub>	d <sub>cr</sub>	d <sub>bs</sub>		front	behind			
SB73	30+140	30+300	334.0	335.5	199	47	55	1.3	-0.3	-0.6	0.7	0.33	359	2865	0.06	BSL	
SB74	30+380	30+560	380.4	379.1	206	55	42	1.2	-0.3	-0.6	0.6	0.29	359	717	0.05	BSL	
SB75	30+620	30+720	454.8	499.6	102	42	226	1.3	-0.4	-0.7	0.5	0.32	478	819	0.05	BHT	
SB76	30+920	31+080	276.7	276.7	202	226	44	1.7	-0.7	-1.0	0.7	0.26	819	478	0.04	BHT	
SB77	31+120	31+280	209.9	221.5	203	44	55	1.4	-0.5	-0.8	0.7	0.34	382	410	0.06	BHT	
SB78	31+340	31+520	136.4	136.1	200	55	43	1.5	-0.5	-0.9	0.7	0.39	382	1146	0.07	BHT	
SB79	31+580	31+760	159.3	159.4	198	43	60	1.5	-0.4	-0.9	0.7	0.47	717	955	0.08	BHT	
SB80	31+840	32+020	300.5	373.7	200	60	52	1.4	-0.5	-0.9	0.6	0.42	441	1146	0.07	BHT	
SB81	32+100	32+160	355.6	344.0	93	52	-	1.4	-0.6	-1.0	0.4	0.43	382	717	0.07	BHT	
SB82	32+340	32+520	364.2	429.9	196	-	52	1.5	-0.9	-1.2	0.5	0.25	955	819	0.04	BHT	
SB83	32+600	32+840	236.7	352.7	200	52	52	1.5	-0.8	-1.0	0.5	0.24	441	338	0.04	BHT	
SB84	32+940	33+140	115.2	309.0	195	52	56	1.2	-0.5	-1.0	0.4	0.49	717	637	0.08	B SK	
SB85	33+220	33+360	97.0	219.3	201	56	45	1.3	-0.5	-1.0	0.3	0.60	478	-	0.10	B SK	
SB86	33+420	33+600	89.8	244.0	204	45	72	1.4	-0.5	-1.0	0.5	0.55	573	1433	0.09	B SK	
SB87	33+680	33+760	73.3	239.7	103	72	53	1.5	-0.5	-1.0	0.5	0.44	521	1433	0.07	B SK	170 m far from Nearshore Breakwater
SB88	33+820	33+860	26.2	220.5	103	53	-	1.3	-0.5	-0.8	0.5	0.33	637	-	0.06	B SK	50 and 100 m far from Revetment and
SB89	34+120	34+180	37.6	128.5	107	-	48	1.5	-0.3	-0.7	0.9	0.39	441	-	0.07	B SK	85 m far from Nearshore Breakwater
SB90	34+260	34+340	69.9	217.1	102	48	49	1.5	-0.2	-0.7	0.8	0.50	717	-	0.08	B SK	100 m far from Nearshore Breakwater
SB91	34+400	34+480	45.1	268.0	102	49	51	1.4	-0.3	-0.8	0.7	0.50	478	1146	0.08	B SK	80 m far from Nearshore Breakwater
SB92	34+560	34+640	-	120.0	102	51	50	1.4	-0.2	-0.7	0.7	0.50	521	-	0.08	B SK	in front of local Revetment
SB93	34+700	34+780	-	76.4	102	50	47	1.4	-0.2	-0.6	0.7	0.44	521	-	0.07	B SK	in front of light-crest revetment
SB94	34+860	34+940	-	173.5	104	47	50	1.3	-0.1	-0.6	0.8	0.44	521	955	0.07	BCW	
SB95	35+000	35+080	-	178.6	101	50	52	1.2	-0.1	-0.5	0.7	0.40	302	1146	0.07	BCW	
SB96	35+160	35+240	43.0	217.7	101	52	48	1.2	-0.3	-0.7	0.5	0.37	382	5730	0.06	BCW	160 m far from Nearshore Breakwater

Note: BST = Ban Sao Thong, HLSV = Happy land sea view, BTC = Ban Ta Chia, BTK = Ban Ta Kok, KBP = Ban Khlong Bang Pu, BKD = Ban Khlong Dan, BSL = Ban Si Long, BHT = Ban Khlong Hong Thong, BSK = Ban Khlong Samae Khao, BCW = Ban Khlong Charoen Wai, ds = ground elevation behind structure, ds\* = ground elevation in front of structure, crest = structure's crest elevation, B<sub>1</sub>, B<sub>r</sub> = gap width at the left and right of structure, respectively, l = length of structure, m amsl = elevation meter above mean sea level, Diff Elev. = difference of elevation between behind and in front of structure, Y<sub>s</sub> 2002 and Y<sub>s</sub> 2014 = distance from structure to the 2002 shoreline and 2010 shoreline, respectively, Sed<sub>rate</sub> = sedimentation rate behind structure

ตาราง ง-1 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมต่าง ๆ ที่ได้จากการสำรวจด้วย UAV-LIDAR ของเขื่อนกันคลื่นจอมจำแบบหินทิ้ง (ต่อ)

NO.	Station.		Y <sub>s</sub> 2002 (m)	Y <sub>s</sub> 2014 (m)	l (m)	B <sub>1</sub> (m)	B <sub>r</sub> (m)	structure Height (m)	Elevation (m amsl)		Diff Elev. (m)	Slope (1:5)		Sed. <sub>rate</sub> (m/y)	Location	Remarks
	from	to							d <sub>s</sub>	d <sub>ss</sub>		crest	front			
SB97	35+300	35+380	47.5	234.3	106	48	48	1.1	-0.3	-0.6	0.33	287	1433	0.06	BCW	190 m far from Nearshore Breakwater
SB98	35+460	35+520	58.2	211.4	102	48	-	1.1	-0.3	-0.7	0.35	382	1433	0.06	BCW	200 m far from Nearshore Breakwater
SB99	35+780	35+860	56.2	234.8	104	-	52	1.1	-0.4	-0.7	0.30	410	-	0.05	BCW	150 m far from Nearshore Breakwater
SB100	35+940	36+020	86.6	251.8	101	52	56	1.2	-0.4	-0.7	0.30	382	-	0.05	BCW	130 m far from Nearshore Breakwater
SB101	36+100	36+160	79.6	230.5	102	56	60	1.1	-0.3	-0.7	0.35	441	819	0.06	BCW	
SB102	36+240	36+320	83.8	219.7	103	60	45	1.2	-0.2	-0.6	0.38	441	1146	0.06	BCW	90 m far from Nearshore Breakwater
SB103	36+400	36+460	95.5	157.8	98	45	43	1.1	-0.2	-0.6	0.42	410	-	0.07	BCW	
SB104	36+540	36+620	102.6	180.1	109	43	47	1.1	0.0	-0.5	0.52	441	819	0.09	BCW	
SB105	36+700	36+780	109.8	116.5	-	47	-	-	-	-	-	-	-	-	BCW	
SB106	36+840	36+900	120.5	135.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BCW	
SB107	36+960	37+020	121.2	138.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BCW	
SB108	37+080	37+140	135.9	146.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BCW	
SB109	37+200	37+260	145.7	146.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BCW	
SB110	37+320	37+380	139.2	144.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BCW	
SB111	37+460	37+540	118.5	178.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BCW	
SB112	37+600	37+680	112.1	174.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BCW	

Note: BST = Ban Sao Thong, HLSV = Happy land sea view, BTC = Ban Ta Chia, BTK = Ban Ta Kok, KBP = Ban Khlong Bang Pu, BKD = Ban Khlong Dan, BSL = Ban Si Long, BHT = Ban Khlong Hong Thong, BSK = Ban Khlong Samae Khao, BCW = Ban Khlong Charoen Wai, ds = ground elevation behind structure, d<sub>ss</sub> = ground elevation in front of structure, crest = structure's crest elevation, B<sub>1</sub>, B<sub>r</sub> = gap width at the left and right of structure, respectively, l = length of structure, m amsl = elevation meter above mean sea level, Diff Elev. = difference of elevation between behind and in front of structure, y<sub>s</sub> 2002 and y<sub>s</sub> 2014 = distance from structure to the 2002 shoreline and 2010 shoreline, respectively, Sed.<sub>rate</sub> = sedimentation rate behind structure

ตาราง ง-2 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการสำรวจด้วย UAV-LIDAR ของเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง

NO.	Year	H (m)	y (m)	L (m)	Elevation (m amsl)	Sed <sub>depth</sub>	Slope (1:5)	A <sub>s</sub>	V <sub>sed</sub>	Sedimentation rate*	Sedimentation rate**	Location	Remarks	
		(m)	(m)	(m)	F	B	crest	(m)	Si (avg)	Sb (avg)	(m)	(m/y)	(m/y)	
NB1	2021	3.1	250	220	-0.7	0.3	2.4	1.0	570	820	1313	-	-	HLSV
NB2	2021	3.2	273	220	-0.7	0.4	2.5	1.1	480	1430	10186	-	-	HLSV
NB3	2018	2.1	188	227	-0.2	0.5	1.9	0.7	210	820	5088	-	0.22	BKD
NB4	2018	2.1	284	233	-0.2	0.6	1.9	0.8	480	950	18785	-	0.28	BKD
NB5	2012	2.0	103	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BKD
NB6	2018	2.7	178	240	-0.5	0.3	2.2	0.8	410	820	-	-	0.27	BKD
NB7	2018	2.4	224	240	-0.4	0.4	2.0	0.8	230	820	9913	-	0.28	BKD
NB8	2018	2.6	120	240	0.2	0.9	2.9	0.7	250	720	26762	19639	0.24	BSL
NB9	2018	2.7	98	235	0.1	1.1	2.8	0.9	240	320	19022	11176	0.20	BSL
NB10	2015	2.6	114	180	-0.2	0.8	2.4	1.0	950	480	14061	6593	0.08	BSL
NB11	2019	2.6	153	200	0.1	0.6	2.8	0.5	300	1150	11082	6069	0.27	BSL
NB12	2019	2.5	55	200	0.2	1.0	2.7	0.8	360	1430	10864	6671	0.31	BSL
NB13	2016	2.6	192	180	-0.5	0.7	2.1	1.2	440	1150	26397	18199	0.14	BHT
NB14	2016	2.8	139	100	-0.6	0.1	2.2	0.7	380	-	-	-	-	BHT
NB15	2016	3.0	89	50	-0.4	-0.1	2.5	0.4	340	-	-	-	-	BHT
NB16	2021	3.0	184	104	-0.5	-0.1	2.5	0.4	720	1430	-	-	-	BHT
NB17	2016	2.7	192	180	-0.2	0.6	2.6	0.7	480	950	23339	-	-	BHT
NB18	2015	2.7	142	175	-0.4	0.9	2.3	1.3	570	720	16287	-	0.22	BHT
NB19	2014	3.0	69	180	-0.6	0.6	2.4	1.2	440	-	7778	-	0.17	BHT
NB20	2018	3.0	146	200	-0.4	0.5	2.6	0.9	480	950	18192	-	0.30	BHT

Note: HLSV = Happy land sea view, BKD = Ban Khlong Dan, BSL = Ban Si Long, BHT = Ban Khlong Hong Thong, BSK = Ban Khlong Samae Khao, BCW = Ban Khlong

Charoen Wai, A<sub>s</sub> = พื้นที่อกด้านบนหลังโครงสร้าง, V<sub>sed</sub> = ปริมาตรทับถมด้านบนหลังโครงสร้าง, H = ความสูงโครงสร้าง, y = ระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นถึงตัวโครงสร้าง, L = ความยาวโครงสร้าง,

Diff elev. = ผลต่างระหว่างระดับด้านบน และด้านบนหลังโครงสร้าง, Si = ความลาดชันด้านบนหน้าโครงสร้าง, Sb = ความลาดชันด้านหลังโครงสร้าง, Elevation, F = ระดับข้อนำด้านบนหน้าโครงสร้าง,

B = ระดับข้อนำด้านบนหลังโครงสร้าง, crest = ระดับสันโครงสร้าง, Sed<sub>depth</sub> = ความลึกทับถมด้านบนหลังโครงสร้าง, Sedimentation rate\* = อัตราการตกตะกอนด้านบนหลังโครงสร้างประมาณจาก

แผนที่ข้อนำของ eangsupavanich (2013), Sedimentation rate\*\* = อัตราการตกตะกอนด้านบนหลังโครงสร้างระหว่างระดับข้อนำและด้านบนหน้า และด้านบนหลัง

ตาราง ง-2 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการสำรวจด้วย UAV-LIDAR ของเขื่อนกันคลื่นใกล้ชายฝั่ง (ต่อ)

NO.	Year	H (m)	y (m)	L (m)	Elevation (m amsl)	Sed <sub>depth</sub>	Slope (1:5)	A <sub>s</sub>	V <sub>sed</sub>	Sedimentation rate*	Sedimentation rate**	Location	Remarks	
		(m)	(m)	(m)	F	B	crest	(m)	Si (avg)	Sb (avg)	(m)	(m/y)	(m/y)	
NB21	2019	2.9	75	204	-0.4	0.7	2.5	1.1	480	-	12006	-	0.55	BSK
NB22	2016	2.6	-	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BSK
NB23	2013	2.5	48	180	-0.7	0.3	1.8	1.0	520	-	220	-	0.12	BSK
NB24	2019	3.0	92	200	-0.4	0.1	2.6	0.5	380	720	252	-	0.27	BSK
NB25	2019	2.9	171	200	-0.4	0.3	2.6	0.7	-950	950	-	-	0.33	BSK
NB26	2019	2.7	33	200	0.1	0.5	2.8	0.4	160	190	3439	-	0.21	BCW
NB27	2011	1.4	0	180	0.1	1.2	1.4	1.1	340	300	411	-	0.11	BCW
NB28	2011	1.5	41	135	-0.5	-0.1	0.9	0.5	260	950	-	-	0.05	BCW
NB29	2014	2.2	97	180	-0.6	0.4	1.7	0.9	570	410	1899	-	0.13	BCW
NB30	2019	2.4	159	202	-0.3	0.1	2.0	0.5	520	360	-	-	0.23	BCW
NB31	2018	2.5	130	202	-0.2	0.5	2.2	0.7	950	820	1839	-	0.23	BCW

Note: HLSV = Happy land sea view, BKD = Ban Khlong Dan, BSL = Ban Si Long, BHT = Ban Khlong Hong Thong, BSK = Ban Khlong Samae Khao, BCW = Ban Khlong

Charoen Wai, A<sub>s</sub> = พื้นที่อกด้านหลังโครงสร้าง, V<sub>sed</sub> = ปริมาตรถมด้านหลังโครงสร้าง, H = ความสูงโครงสร้าง, y = ระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มต้นถึงตัวโครงสร้าง, L = ความยาวโครงสร้าง,

Diff elev. = ผลต่างระหว่างระดับด้านบน และด้านหลังก่อสร้าง, Si = ความลาดชันด้านบนหน้าโครงสร้าง, Sb = ความลาดชันด้านหลังโครงสร้าง, Elevation, F = ระดับที่องน้ำด้านหน้าโครงสร้าง,

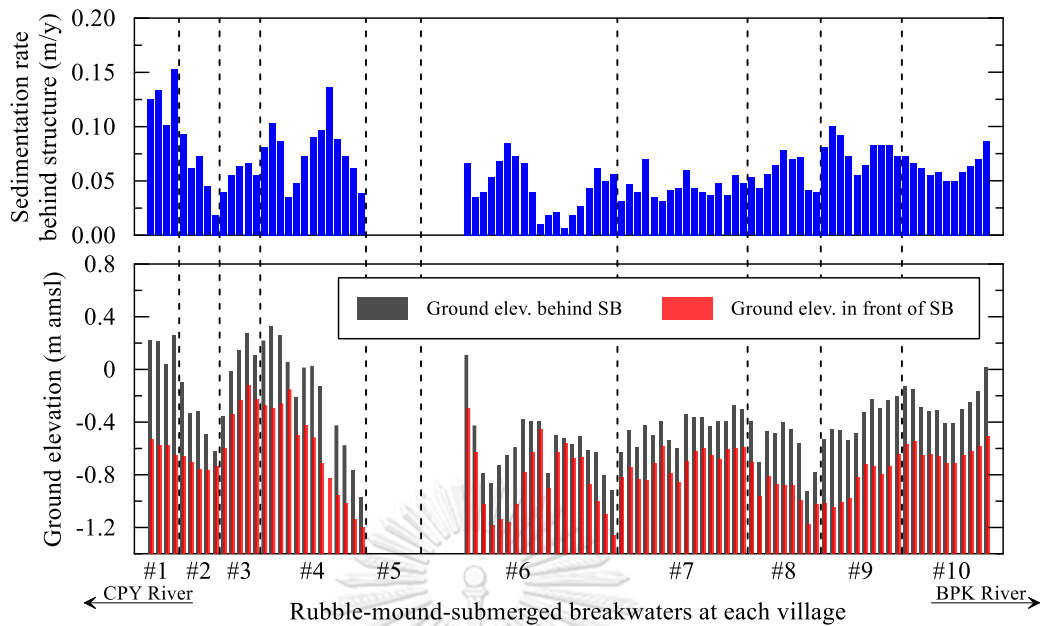
B = ระดับที่องน้ำด้านหลังโครงสร้าง, crest = ระดับสันโครงสร้าง, Sed<sub>depth</sub> = ความลึกกับถมด้านหลังโครงสร้าง, Sedimentation rate\* = อัตราการตกตะกอนด้านหลังโครงสร้างประเภท

แผนที่ตั้งของ eangsupavanich (2013), Sedimentation rate\*\* = อัตราการตกตะกอนด้านหลังโครงสร้างประเภทตะกอนน้ำ และด้านหลัง

ตาราง ง-3 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการสำรวจด้วย UAV-LIDAR ของไม่โพะลอคชั่น

location	Year	Station		Ground Elev. (m amsl)						Diff Elev. (m)			Sedbase (cm/y)					
		from	to	in front of			behind			min	max	avg	min	max	avg			
BRC	2552-2564	7+620	7+840															
Belt 1				-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.03	0.04	0.00	<1	<1	<1	<1	<1
Belt 2				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.03	0.01	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ban Tum Ru	2560	10+440	11+040															
Belt 1				-0.2	0.3	-0.2	-0.2	0.2	0.2	0.0	0.02	0.25	0.11	1.00	6.00	3.00	3.00	3.00
Belt 2				0.0	0.3	0.1	0.1	0.3	0.2	0.04	0.14	0.08	1.00	3.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Ban Ta Chia-Ta Kok	2554	14+500	18+400	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.02	0.12	0.05	<1	1.00	<1	<1	<1	<1
Ban Khlong Dan		22+120	22+760															
Belt 1	2563			-0.1	0.2	0.0	0.1	0.3	0.2	0.11	0.27	0.15	11.00	27.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Belt 2	2563			0.3	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.09	0.16	0.05	9.00	16.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Ban Si Long	2558	28+540	30+680	-0.4	-0.1	-0.2	-0.5	-0.1	-0.2	-0.03	0.07	0.02	<1	1.00	<1	<1	<1	<1

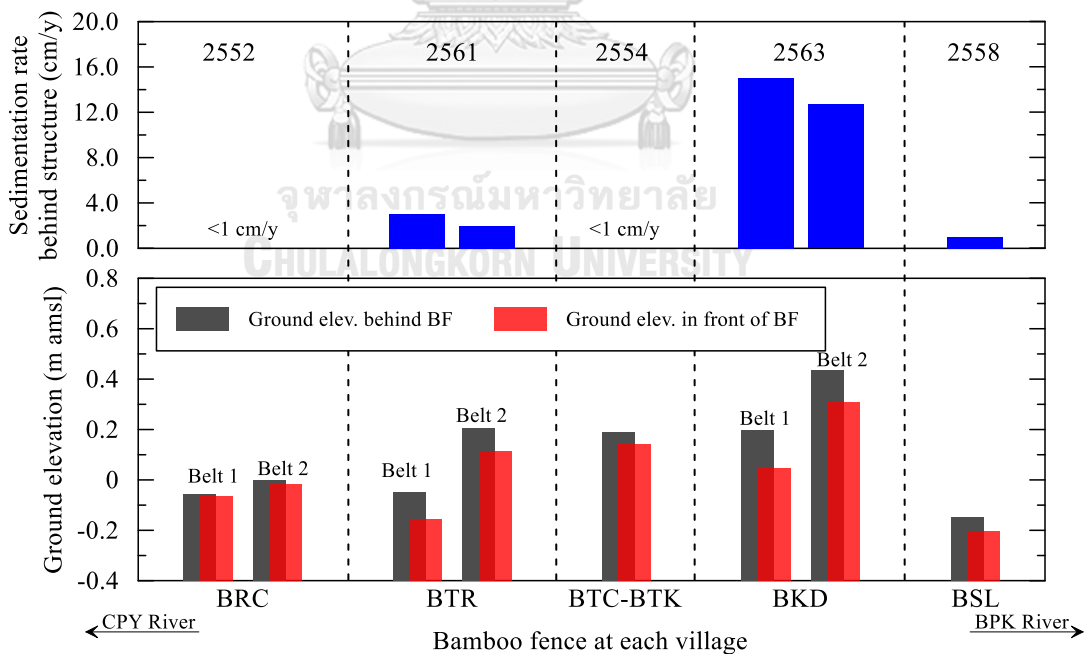
Note: Diff elev. = ผลต่างระหว่างระดับท้องน้ำด้านหน้า และด้านหลังโครงสร้าง, Year = ปีที่ก่อสร้าง, max = maximum, min= minimum, avg = average



**Note**

#1 = Ban Sao Thong, #2 = Happy land sea view, #3 = Ban Ta Chia, #4 = Ban Ta Kok, #5 = Ban Khlong Bang Pu, #6 = Ban Khlong Dan, #7 = Ban Si Long, #8 = Ban Khlong Hong Thong, #9 = Ban Khlong Samae Khao, #10 = Ban Khlong Charoen Wai, SB = Submerged breakwater, CPY River = Chao Phraya River, BPK River = Bang Pakong River

รูป ง-1 ผลการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจมน้ำแบบหินทิ้ง



**Note**

BRC = Bangpu Recreation Center, BTR = Ban Tum Ru, BTC = Ban Ta Chia, BTK = Khlong Ta Kok, BKD = Ban Khlong Dan, BSL = Ban Si Long, SB = Submerged breakwater, CPY River = Chao Phraya River, BPK River = Bang Pakong River, Belt 1= offshore, Belt 2= onshore

รูป ง-2 ผลการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ก่อน และหลังการปักไม้ไผ่ชะลอกคลื่น



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วริทธิ์ เจริญฤกษ์ถวิล
วัน เดือน ปี เกิด	7 มิถุนายน 2540
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2558 สำเร็จการศึกษาจากโรงเรียนชลประทานวิทยา พ.ศ.2562 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วศ.บ.โยธา) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ.2562 เข้าศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	483 ม.1 ซ.เรวัตติ ต.ตลาดขวัญ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
ผลงานตีพิมพ์	Charoenlerkthawin, W., Namsai, M., Bidorn, K., Rukvichai, C., Panneerselvam, B., & Bidorn, B. (2021). Effects of Dam Construction in the Wang River on Sediment Regimes in the Chao Phraya River Basin. <i>Water</i> , 13(16), 2146. <a href="https://www.mdpi.com/2073-4441/13/16/2146">https://www.mdpi.com/2073-4441/13/16/2146</a> Namsai, M., Charoenlerkthawin, W., Sirapojanakul, S., Burnett, W. C., & Bidorn, B. (2021). Did the Construction of the Bhumibol Dam Cause a Dramatic Reduction in Sediment Supply to the Chao Phraya River? <i>Water</i> , 13(3). <a href="https://doi.org/10.3390/w13030386">https://doi.org/10.3390/w13030386</a>
รางวัลที่ได้รับ	พ.ศ.2562–2564 ได้รับทุนการศึกษาจากภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ.2563–2565 ทุนผู้ช่วยวิจัยของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ.2563–2564 ทุนผู้ช่วยสอนของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ.2565 ได้รับทุนศึกษาต่อระดับปริญญาเอก จากโครงการสร้างเสริม พลังจุฬาฯ ก้าวสู่ศตวรรษที่ 2 (Second Century Fund, C2F)