

รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การติดตามผลกระทบของโครงสร้างทางวิศวกรรมต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในประเทศไทย

ทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช

ประจำปี 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย

บุศวรรณ บิตร

เสรี จันทโรยธา

ณัฐมน พนมวงศ์ไพศาล

กรกฎาคม 2561

Project Title: Monitoring of the impact of engineering structures on shoreline changes
in Thailand

Name of the Investigators: Dr. Butsawan Bidorn, Assoc. Professor Dr. Seree Chanyotha,
Ms. Nathamon Phanomphongphaisan

Year: 2018

Abstracts

This study monitor the effect of coastal protection structures on shoreline change along the 43.1 km of the Phetchaburi coast located on the western portion of the Upper Gulf of Thailand during the period 1953-2017. Historical shoreline positions along the coast were derived from the aerial photographs taken in 1953, 1967, 1976, 1994, 2002 and the satellite imagery in 2006, 2009, 2014, and 2017 using the Geographic Information System (ArcGIS) software. All imagery data were geo-referenced into World Geodetic System 1983 (WGS1983) to eliminate distortion from the aerial photographs and satellite imagery. The shoreline positions along the study area were then digitized for each time period. The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.4 was used to analyze the changes of shoreline positions in the study area. Results from this study revealed that about 47% of the study area had continuously retreated over the past sixty years with the average rates of -1.3 and -5 m/y for the sandy and muddy beaches, respectively. The remaining, which was muddy coast, had advanced seaward with the maximum rate of 30 m/y and average rate of 8.6 m/y. The causes of shoreline recession mainly related to local coastal processes, especially wave and current conditions. Several engineering structures, such as seawalls, breakwaters, and groins, were applied to these areas to protect the eroded shorelines. Based on shoreline analysis, it was found that the breakwaters have successfully stabilize the shoreline along the sandy coast of the Phetchaburi coast by reducing wave energy and inducing sedimentation behind the structures. Unfortunately, the stable shoreline has caused a destruction of Laem Pak Bia spit, which is one of the largest natural sand spit of Thailand due to the lack of sediment supply from upcoast. Meanwhile, the construction of breakwaters and seawalls along the Phetchaburi muddy coast did not show any negative effect on shoreline change but stabilize the coast.

ชื่อโครงการวิจัย: การติดตามผลกระทบของโครงสร้างทางวิศวกรรมต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งใน
ประเทศไทย

ชื่อผู้วิจัย: ดร. บุศวรรณ บิตร, รศ. ดร. เสรี จันทโรยธา และ นางสาว อนุมน พนมพงศ์ไพศาล
เดือน และ ปี ที่ทำวิจัยเสร็จ: กรกฎาคม 2561

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ได้ติดตามผลกระทบของการใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่งต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง 43.1 กิโลเมตรของชายฝั่งเพชรบุรีซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของอ่าวไทยตอนบน ในช่วงปี 2497-2560 ตำแหน่งของแนวชายฝั่งในอดีตที่ช่วงเวลาต่างๆ ได้จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศปี 2497, 2510, 2519, 2537 และข้อมูลดาวเทียมปี 2541, 2552, 2558 และ 2560 โดยใช้ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศ ArcGIS โดยข้อมูลภาพทั้งหมดจะถูกตรึงพิกัดสู่ระบบ World Geodetic 1983 (WGS 1983) เพื่อกำจัดความบิดเบี้ยวจากภาพถ่ายและข้อมูลดาวเทียม ตำแหน่งของแนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาถูกลากขึ้นสำหรับแต่ละช่วงปีข้อมูล ระบบ Digital Shoreline Analysis (DSAS) เวอร์ชัน 4.4 ถูกใช้เพื่อการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งแนวชายฝั่งบริเวณพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ประมาณ 47 เปอร์เซ็นต์ ของแนวชายฝั่งในพื้นที่ศึกษาเกิดการถดถอยอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลา 60 ปี ด้วยอัตราเฉลี่ย -1.3 และ -5 เมตรต่อปี สำหรับชายฝั่งทรายและชายฝั่งโคลนตามลำดับ ชายฝั่งส่วนที่เหลือซึ่งเป็นชายฝั่งโคลนมีการงอกเพิ่มอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราสูงสุด 30 เมตรต่อปี และอัตราเฉลี่ย 8.6 เมตรต่อปี สำหรับสาเหตุของการถดถอยของชายฝั่งจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการชายฝั่งเฉพาะที่เป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพคลื่นและกระแสน้ำ โครงสร้างทางวิศวกรรมหลายประเภท เช่น กำแพงกันคลื่น เขื่อนกันคลื่น และคันดักตะกอน ถูกนำมาใช้ในการป้องกันแนวชายฝั่งที่ถูกกัดเซาะ จากการวิเคราะห์แนวชายฝั่งพบว่า โครงสร้างเขื่อนกันคลื่นสามารถนำมาใช้ในการรักษาเสถียรภาพของหาดทรายของชายฝั่งเพชรบุรีได้สำเร็จ อย่างไรก็ตามเสถียรภาพของชายฝั่งดังกล่าวได้ก่อให้เกิดการสลายตัวของสันทรายแหลมผักเบี้ยซึ่งเป็นหนึ่งในสันทรายธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากขาดตะกอนทรายจากด้านเหนือน้ำเข้ามาเติมในพื้นที่ ในขณะที่การก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นและกำแพงกันทรายบริเวณชายฝั่งโคลนของจังหวัดเพชรบุรีไม่แสดงผลกระทบด้านลบต่อการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งในพื้นที่ศึกษาแต่กลับช่วยรักษาเสถียรภาพของแนวชายฝั่งไว้ได้

1. บทนำ

การกัดเซาะชายฝั่งของประเทศไทยเป็นปัญหาที่มีต่อเนื่องมาอย่างยาวนาน ซึ่งรัฐบาลไทยได้ตระหนักถึงปัญหานี้และมีนโยบายที่จะเร่งควบคุมการกัดเซาะชายฝั่งของประเทศ เนื่องจากปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อประชาชนมากถึง 12 ล้านคนผู้อาศัยในบริเวณชายฝั่งทะเล 23 จังหวัดของประเทศ อันเป็นพื้นที่เศรษฐกิจหลักของประเทศ ทั้งในด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม การประมงและการท่องเที่ยวของประเทศไทย และปัจจุบันปัญหาดังกล่าวยังคงอยู่ในสภาวะวิกฤตอยู่ จากการศึกษาของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) พบว่าชายฝั่งประเทศไทยมีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งขั้นรุนแรง (> 5 เมตร/ปี) มีความยาวถึงประมาณ 360 กิโลเมตร สำหรับสาเหตุของการกัดเซาะชายฝั่งในประเทศไทยอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น การใช้พื้นที่ชายฝั่งอย่างไม่เหมาะสม, การสร้างเขื่อนในแม่น้ำทำให้ขาดตะกอนมาทับถมบริเวณชายฝั่ง, กระบวนการชายฝั่งตามธรรมชาติ (natural coastal processes) และโครงการพัฒนาพื้นที่บริเวณชายฝั่ง ถึงแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งในอดีตนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการชายฝั่งทะเล (coastal processes) อย่างไรก็ตามตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา การกัดเซาะชายฝั่งมีความสัมพันธ์กับการพัฒนาอุตสาหกรรม (industrialization) และการปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตของสังคมยุคใหม่ (modernization of the society) และชายฝั่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ ค.ศ. 1980 เป็นต้นมา .

สำหรับการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งนั้น เป็นกระบวนการชายฝั่ง (coastal processes) เพื่อปรับสมดุลระหว่างชายฝั่งกับลักษณะคลื่นและกระแสน้ำในบริเวณนั้น ๆ การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งอาจเป็นได้ทั้งการถอยร่นของแนวชายฝั่ง (shoreline recession) และการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่ง (shoreline accumulation) ซึ่งอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น, กระแสน้ำและปริมาณตะกอนบริเวณ และเมื่อใดที่แนวชายฝั่งปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่แล้ว ก็จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งอีกต่อไป อย่างไรก็ตามเนื่องจากลักษณะคลื่นและกระแสน้ำในแต่ละพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล แนวชายฝั่งส่วนใหญ่จึงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา (seasonal shoreline change) ในทางวิศวกรรมชายฝั่งจะสนใจเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งระยะยาว (long-term shoreline change) ดังนั้นการประเมินผลกระทบของโครงสร้างชายฝั่งที่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและกระแสน้ำบริเวณชายฝั่ง เช่น ท่าเทียบเรือ โครงสร้างป้องกันชายฝั่ง โรงไฟฟ้า ฯลฯ จึงจำเป็นต้องศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลง (rate of shoreline change) ของชายฝั่งกรณีก่อนและหลังการก่อสร้างโครงการ เพื่อนำมาเปรียบเทียบหาผลกระทบที่แท้จริงของโครงการ ที่ผ่านมากการประเมินผลกระทบของโครงการหรือโครงสร้างบริเวณชายฝั่งมักเปรียบเทียบเฉพาะแนวชายฝั่งก่อนและหลังมีการก่อสร้าง (change of shoreline positions) ซึ่งวิธีดังกล่าวอาจให้ค่าผลกระทบเนื่องจาก

โครงการที่มากเกินไปจริง นอกจากนี้การติดตามผลการดำเนินการโครงการว่าเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่ จะช่วยให้สามารถปรับปรุงการออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมให้ประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย

ในการวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งก่อนมีการก่อสร้างโครงสร้างและศึกษารูปแบบของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งภายหลังจากมีโครงสร้างแล้ว เพื่อประเมินผลกระทบที่แท้จริงของโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง โดยผลการศึกษามีประโยชน์ใน 2 ส่วนคือ ด้านวิศวกรรมชายฝั่ง สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อปรับปรุงการศึกษาและวิธีการออกโครงสร้างทางชายฝั่งทะเลในพื้นที่อื่นๆ และด้านสังคม สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงทางวิชาการสำหรับหน่วยงานและประชาชนที่เกี่ยวข้องหรือได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเล อันจะนำไปสู่การลดความขัดแย้งระหว่างหน่วยงานผู้รับผิดชอบโครงการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งและประชาชน

2. การสำรวจแนวความคิด และการวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Survey of related literature)

กรมโยธาธิการ (2538) มีโครงการศึกษาและแก้ไขปัญหาการกัดเซาะตลิ่งริมทะเลด้านอ่าวไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลลักษณะชายฝั่ง การกัดเซาะชายฝั่งตลอดแนวชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย เพื่อหาแนวทางในการป้องกันการกัดเซาะและการจัดการพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย ซึ่งผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า พื้นที่ชายฝั่งทะเลของจังหวัดในภาคกลาง อันประกอบด้วย จ. สมุทรสาคร จ.สมุทรปราการ จ.สมุทรสงคราม จ.เพชรบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ มีพื้นที่ชายฝั่งของ 3 จังหวัดที่อยู่ด้านเหนือสุดมีลักษณะเป็นโคลนที่ถูกพัดพามาจากแม่น้ำ 3 สายหลัก คือ แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง ซึ่งตะกอนและดินเหนียวที่พัดพามาจากแม่น้ำทั้งสามนี้ถูกทับถมอยู่ในบริเวณที่มีคลื่นลมค่อนข้างสงบ โดยตะกอนโคลนที่ถูกพัดพอยู่ตามแนวด้านเหนือจะขยายตัวไปจนถึงแหลมผักเบี้ย จ.เพชรบุรี ส่วนชายฝั่งด้านใต้ถัดจากแหลมผักเบี้ย จะถูกควบคุมโดยภูเขาและหน้าผาหิน ซึ่งรูปร่างของชายฝั่งที่อยู่ระหว่างภูเขาหินส่วนใหญ่จะมีรูปร่างใกล้เคียงกับอ่าวสมดุลง ในส่วนของพื้นที่การกัดเซาะและการทับถมของตะกอนบริเวณจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ พบการกัดเซาะของชายฝั่งที่ บ้านบางแก้ว หาดเจ้าสำราญ และบ้านสหคาม ใน จ. เพชรบุรี ซึ่งได้มีการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันโดยใช้ คันหินนอกชายฝั่ง หินเรียงตามแนวชายฝั่ง และกำแพงหินป้องกันชายฝั่ง ส่วนในพื้นที่ จ.ประจวบคีรีขันธ์ พบการกัดเซาะชายฝั่งที่บ้านปากน้ำปราณ และบ้านทุ่งประดู่ แต่พบการป้องกันชายฝั่งด้วยโครงสร้างหินเรียงที่บ้านปากน้ำปราณ ในขณะที่บ้านทุ่งประดู่ใช้กำแพงกันหินป้องกันชายฝั่งเป็นระยะทางประมาณ 200 เมตร

กรมเจ้าท่า (2539) ได้ศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรมและสิ่งแวดล้อมและการออกแบบเบื้องต้น เพื่อแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน ซึ่งการกำหนดพื้นที่ประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งใช้ข้อมูลแผนที่สภาพภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ข้อมูลดาวเทียม SPOT ที่มีความชัดเจนของพื้นที่ขนาด 20x20 เมตร แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1: 250,000

ภาพถ่ายทางอากาศ และใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS-Arc Info) ร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม (ERDAS) ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง สำหรับผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าอ่าวไทยตอนบนมีการกัดเซาะรุนแรงของชายฝั่งบริเวณช่วงบนของอ่าวไทยเป็นแนวยาวประมาณ 77 กิโลเมตร ซึ่งเป็นชายฝั่งที่ติดต่อกันของ 5 จังหวัดคือ จ.สมุทรสงคราม สมุทรสาคร กรุงเทพฯ สมุทรปราการ และ ฉะเชิงเทรา โดยชายฝั่งทั้งหมดมีลักษณะเป็นหาดเลน (muddy flat) ในส่วนของจังหวัดเพชรบุรีที่มีลักษณะชายฝั่งเป็นหาดโคลนปนทราย ถูกกัดเซาะเป็นช่วงๆ มีความยาวไม่ต่อเนื่อง ระยะทางตามแนวชายฝั่งที่ถูกกัดเซาะประมาณ 13.6 กิโลเมตร มีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ยประมาณ 3-4 เมตรต่อปี โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นแหล่งท่องเที่ยว ชายหาด หมู่บ้านจัดสรร และชุมชนประมง โดยสาเหตุหลักของการกัดเซาะชายฝั่งที่เกิดขึ้นบริเวณด้านบนของอ่าวไทย คาดว่าน่าจะเกิดจากสภาพคลื่นลมในทะเลตามแนวชายฝั่ง และมีปัจจัยเสริมอื่นๆ ได้แก่ การลดลงของป่าชายเลนเนื่องจากถูกทำลายอย่างรวดเร็วเพื่อเปลี่ยนพื้นที่เป็นนาุ้ง รวมถึงการลดลงของปริมาณตะกอนปากแม่น้ำ เนื่องจากการสร้างเขื่อนกักเก็บน้ำบนแผ่นดิน ส่วนแนวคิดในการแก้ปัญหาการกัดเซาะพื้นที่ด้านบนของอ่าวไทย แนะนำให้สร้างเสถียรภาพของชายฝั่งโดยใช้โครงสร้างเขื่อนกันคลื่นนอกชายฝั่ง (offshore breakwater) เพื่อเร่งให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนระหว่างแนวเขื่อนกับชายฝั่ง จากนั้นจึงใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบอ่อน โดยการปลูกป่าชายเลนในบริเวณที่มีการสะสมตัวของตะกอน เพื่อสร้างพื้นที่ป่าชายเลนและแนวชายฝั่งใหม่

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (2546) ได้ศึกษาแผนแม่บทการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล ตั้งแต่ปากแม่น้ำเพชรบุรี จ.เพชรบุรีถึงปากแม่น้ำปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และเทคนิคการสำรวจข้อมูลระยะไกล (remote sensing) ในการจัดลำดับความรุนแรงของปัญหาการกัดเซาะในพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ยังใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพชายฝั่ง จ.เพชรบุรี และ จ.ประจวบคีรีขันธ์ในอนาคต รวมทั้งใช้ในการติดตามและประเมินผลของการดำเนินการป้องกันชายฝั่งและแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาซึ่งมีความยาวประมาณ 105 กิโลเมตร มีการสร้างสิ่งก่อสร้างชายฝั่งเป็นช่วงๆ (โดยมิได้รับการอนุญาตจากหน่วยงานที่ดูแลชายฝั่ง เช่น กรมเจ้าท่า) และสิ่งก่อสร้างดังกล่าวอาจส่งผลให้เกิดการกัดเซาะมากกว่าการกัดเซาะตามธรรมชาติ ในการศึกษาครั้งนี้มีการออกสำรวจสถานภาพของสิ่งก่อสร้างเดิมเพื่อประกอบการวางแผนป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งในบริเวณนี้อย่างเป็นระบบ โดยสิ่งก่อสร้างเดิมที่มีอยู่เดิม คือ

- ก) เขื่อนกันทรายและคลื่น ร่องน้ำปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ ก่อสร้างโดยกรมเจ้าท่า
- ข) เขื่อนหินเรียงป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี ตั้งแต่แยกถนนราษฎรพลีไปทางทิศใต้ ยาว 2.07 กิโลเมตร สร้างเมื่อ 1 มิถุนายน 2538 แล้วเสร็จเมื่อ 1 มีนาคม 2539 ใช้งบประมาณในการก่อสร้าง 24.7 ล้านบาท

- ค) เชื้อนก้นทรายและคลื่นของบริษัทชลประทานซีเมนต์ ไกล้วัดเนรัญชราราม อ.ชะอำ จ. เพชรบุรี เป็นเขื่อนหินยาวประมาณ 1,000 เมตร สร้างเมื่อปี 2511 เพื่อใช้รักษาร่องน้ำ เติมน้ำเรือขนส่งซีเมนต์กับกรุงเทพมหานคร
- ง) บริเวณหาดเจ้าสำราญ บ้านเจ้าสำราญ จ.เพชรบุรี มีการสร้างกำแพงกันคลื่น (seawall) แบบบัวศตูกอง ด้านหน้าทั้งหมดขนาดใหญ่กันคลื่น
- จ) บริเวณหาดปึกเตียน จ.เพชรบุรี มีแนวกองหินทิ้งขนานชายฝั่ง 2-3 กอง ห่างจากฝั่ง 100-200 เมตร
- ฉ) บริเวณบ้านบางแก้ว จังหวัดเพชรบุรี กรมชลประทานสร้างกองหินทิ้งนอกชายฝั่งเพื่อ ป้องกันการกัดเซาะ จำนวน 14 กอง

ผลการศึกษาสรุปแนวทางในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะใน 3 พื้นที่วิกฤตของจังหวัดเพชรบุรี ไว้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ชายฝั่งบ้านบางไทร้อย พระราชนิเวศน์มฤคทายวันและคลองบังตราใหญ่ โดยใน ส่วนของการป้องกันพระราชนิเวศน์มฤคทายวันควรใช้โครงสร้างเขื่อนกันคลื่นขนานแนวชายฝั่ง (breakwater) ร่วมกับการถมทรายเสริมชายฝั่ง ส่วนพื้นที่บริเวณปากบังตราใหญ่มีความจำเป็นต้องใช้ เชื้อนก้นทรายที่บริเวณปากคลอง (jetty) เพื่อป้องกันการตกระกอน สำหรับการแก้ไขปัญหาการกัด เซาะบริเวณบ้านบางไทร้อย ควรใช้เขื่อนกันคลื่นนอกชายฝั่ง (breakwater)

กลุ่มที่ 2 ชายฝั่งด้านใต้ของหาดเจ้าสำราญถึงคลองหัวช้าง ต.หาดเจ้าสำราญ อ.เมือง จ. เพชรบุรี ควรมีการถมทรายชายหาด และการก่อสร้างเขื่อนกันทรายป้องกันร่องน้ำที่ปากคลอง (jetty) รวมทั้งสร้างเขื่อนกันคลื่นนอกฝั่งเป็นแนวป้องกันหาดทรายไว้ โดยควรรื้อกองหินที่มีอยู่เดิม

กลุ่มที่ 3 ชายฝั่งคลองบังตราใหญ่ถึงบ้านห้วยทรายใต้ ต.ชะอำ อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี ซึ่งเป็น ชายฝั่งที่ต่อเนื่องกับพระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จึงควรใช้มาตรการการแก้ไขปัญหาเช่นเดียวกันกับ กลุ่มที่ 1 คือการก่อสร้างแนวเขื่อนกันคลื่นขนานแนวชายฝั่งและถมทรายเสริมชายหาดให้กว้างขึ้น

สำหรับการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีการเสนอมาตรการแก้ไข ปัญหาในพื้นที่วิกฤต 2 พื้นที่คือ บริเวณด้านเหนือของอ.หัวหิน (วังไกลกังวล) และบริเวณด้านเหนือ ของท่าเทียบเรือประมงหัวหิน หรือรวมเรียกว่า ชายฝั่งหัวหินด้านเหนือของท่าเทียบเรือประมงหัวหิน โดยเสนอให้มีการถมทรายเสริมชายหาดให้สูงและกว้างมากขึ้น โดยต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง และ มีการก่อสร้างกำแพง 2 แห่ง คือ บริเวณท่าเทียบเรือและชายหาดด้านเหนือ บริเวณหน้าที่ดินของ กองทัพเรือ จากนั้นทำการขุดลอกร่องน้ำ รวมทั้งออกแบบเป็นช่องจอดเรือ เพื่อให้เกิดทัศนียภาพที่ สวยงาม

บุศวรรณ (2546) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนรูปตัว ก ด้วย ภาพถ่ายทางอากาศช่วงปี 2497 ถึงปี 2539 ผลการศึกษาพบว่าชาวชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนด้าน ตะวันตก ตั้งแต่บริเวณบ้านหัวหิน อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ จนถึงปากแม่น้ำแม่กลอง บริเวณบ้าน

คลองน้อย จ.สมุทรสงคราม ส่วนใหญ่มีการอัตราการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่เป็นแบบทึบถม (ประมาณ 20 ตารางกิโลเมตร) ส่วนพื้นที่ที่เกิดการกัดเซาะมีประมาณ 3.3 ตารางกิโลเมตร ซึ่งพื้นที่ที่มีอัตราการทับถมสูงสุดคือพื้นที่ชายฝั่งบ้านแพรงทะเล จ.สมุทรสงคราม (+22 เมตรต่อปี) ในขณะที่พื้นที่ที่มีอัตราการกัดเซาะสูงสุด (-7 เมตรต่อปี) อยู่ที่บ้านปากทะเล จ.เพชรบุรี และมีระยะถดถอยของชายฝั่งมากถึง 475 เมตร

Vongvisessomjai (2007) ศึกษาผลกระทบของพายุไต้ฝุ่นเว้ (ปี 1952) และพายุไต้ฝุ่นลินดา (ปี 1997) ต่อคลื่นลม (wind wave) ในทะเลอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งด้านตะวันออกของประเทศ ไทย ผู้วิจัยได้นำเสนอลักษณะคลื่นลมในช่วงปี 1997-2002 ที่บริเวณทึบเพชรบุรีและทึบสีซัง ซึ่งคำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ WAM ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าคลื่นลมบริเวณอ่าวไทยตอนบนนั้นถูกจำกัดด้วยระยะทางการเกิดคลื่นประสิทธิผล (fetch length) ประมาณ 100 กิโลเมตร ตามทิศทางในแนวเหนือ-ใต้ และ 100 กิโลเมตร ตามทิศทางในแนว ตะวันออก-ตะวันตก เป็นผลให้คลื่นที่เกิดขึ้นเนื่องจากพายุไต้ฝุ่นเว้ในบริเวณนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 2.3-2.5 เมตร ในขณะที่ชายฝั่งด้านตะวันออกซึ่งมีระยะทางการเกิดคลื่นประสิทธิผลยาวกว่าแต่ยังคงถูกจำกัดด้วยสภาพแนวชายฝั่งทำให้พายุลินดา (ปี 1997) มีอิทธิพลทำให้ความสูงคลื่นสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 4 เมตร ส่วนแนวชายฝั่งทางตอนใต้ซึ่งมี fetch length ที่ไม่จำกัดหากพายุเคลื่อนที่มาจากทะเลจีนใต้ อันจะทำให้สามารถเกิดคลื่นได้สูงถึง 6 เมตร กรณีพายุไต้ฝุ่นแฮเรียต (ปี 1962) และคลื่นสามารถสูงได้ถึง 11 เมตร กรณีพายุไต้ฝุ่นเกย์ (ปี 1989) อย่างไรก็ตามพายุเขตร้อนเหล่านี้พัดผ่านพื้นที่อ่าวไทยเพียงแค่วาระสั้นไม่เกิน 1 สัปดาห์ ในขณะที่คลื่นที่เกิดขึ้นเนื่องจากลมมรสุมตามฤดูกาลพัดผ่านด้วยช่วงเวลาที่ยาวนานกว่าถึงครึ่งปีต่อลมมรสุมทิศทางหนึ่งๆ โดยคลื่นบริเวณอ่าวไทยตอนบนที่เกิดจากลมมรสุมเหล่านี้มีขนาดเพียงแค่อประมาณ 0.5 เมตร และ 1.0 เมตรสำหรับชายฝั่งภาคตะวันออก ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าคลื่นที่เกิดจากพายุฤดูร้อนอย่างมาก

Siripong (2010) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในประเทศไทยอันเนื่องจากธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ด้วยข้อมูลระยะไกล (remote sensing) ผลการศึกษาแนวชายฝั่งด้านตะวันออกคาบสมุทรประเทศไทยตอนใต้ (Southern Peninsular Thailand) จากข้อมูลดาวเทียม Landsat และ THEOS ในช่วงปี 1987 ถึง 2002 แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งบริเวณแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี มากกว่าสาเหตุจากธรรมชาติ

Choowong et al. (2009) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัณฐานวิทยาชายหาด บริเวณอ่าวพรานบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พบว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนสุทธิอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ มีการก่อสร้างกำแพงกันคลื่น (seawall) ในบริเวณที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ แต่ในช่วงที่มีพายุ (storm

period) ยังพบว่ามื่ออัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนสูง ช่วงเวลาที่ทำการสำรวจ (พฤศจิกายน 2546 ถึง เมษายน 2547) พบว่าชายฝั่งมีแนวโน้มที่เป็นชายฝั่งสะสมตัวมากกว่าชายฝั่งกัดเซาะ

กรมทรัพยากรธรณี (2557) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยภาพถ่ายดาวเทียม ในช่วงปี พ.ศ. 2552, 2555, และ 2556 ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ หมู่ที่ 2 บ้านปากน้ำปราณ จนถึง หมู่ที่ 3 บ้านปรือน้อย ตำบลปากน้ำปราณ อำเภอปากน้ำปราณ ผลการศึกษาพบว่าโดยเฉลี่ยพื้นที่ชายฝั่งเกิดการสะสมตัวมากกว่าการกัดเซาะ บริเวณที่มีการสะสมตัวของตะกอนชายหาดเด่นชัด ได้แก่ บริเวณวนอุทยานปราณบุรี เนื่องจากการก่อสร้างเขื่อนกั้นคลื่นหินทิ้งนอกชายฝั่ง จำนวน 3 ตัว และบริเวณหมู่ที่ 3 บ้านปรือน้อย ในขณะที่บริเวณด้านใต้เขื่อนกั้นทรายและคลื่น พบปัญหาการกัดเซาะปานกลาง (1 ถึง 5 เมตรต่อปี) นอกจากนี้บริเวณชายหาดปราณบุรี มีการสร้างกำแพงกั้นคลื่น มีความยาวมากกว่า 2,000 เมตร โดยกรมโยธาธิการและผังเมือง เมื่อปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 ส่งผลให้บริเวณนี้มีลักษณะชายหาดคงสภาพ

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) ได้ศึกษาสถานการณ์ชายฝั่งและการจัดการปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งจากอดีตถึงปัจจุบันใน 23 จังหวัด สำหรับสถานการณ์ชายฝั่งบริเวณอ่าวไทย ตอนบนด้านทิศตะวันตก (จ.เพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์) ได้มีการสรุปการดำเนินการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งไว้ ดังนี้

แนวชายฝั่งเพชรบุรี มีพื้นที่ประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทั้งสิ้นรวมระยะทางประมาณ 34 กิโลเมตร ดำเนินการก่อสร้างป้องกันกัดเซาะของชายฝั่งรูปแบบต่างๆ จำนวน 50 แห่ง รวมระยะทางของแนวโครงสร้างประมาณ 14 กิโลเมตร โดยแบ่งตามพื้นที่เขตการปกครองได้ดังนี้

- ก) ชายฝั่ง อ.ชะอำ ประสบปัญหาการกัดเซาะ 19 แห่ง คิดเป็นระยะทางประมาณ 13.6 กิโลเมตร ดำเนินการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งไปแล้วเป็นระยะทาง 6.45 กิโลเมตร โดยใช้รูปแบบโครงสร้างอันประกอบด้วย เขื่อนป้องกันคลื่นนอกชายฝั่ง เขื่อนกั้นทรายและคลื่น เขื่อนหินทิ้งหรือหินเรียงริมชายหาด และกำแพงกั้นคลื่นริมชายหาด ซึ่งมีการดำเนินการโดยทั้งภาครัฐและเอกชน ส่วนพื้นที่ที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขมีระยะทางประมาณ 6.1 กิโลเมตร
- ข) ชายฝั่ง อ.เมืองเพชรบุรี มีพื้นที่ประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งยาว 6.2 กิโลเมตร มีการดำเนินการแก้ไขปัญหาไปแล้ว 1.4 กิโลเมตร โดยใช้โครงสร้าง เขื่อนป้องกันคลื่นนอกชายฝั่ง เขื่อนกั้นทรายและคลื่น กำแพงกั้นคลื่นริมชายหาด และเขื่อนหินเรียงริมชายหาด ซึ่งดำเนินการโดยทั้งภาครัฐและเอกชน ยังเหลือชายฝั่งที่ยังไม่ได้รับการแก้ปัญหาอีกประมาณ 4.8 กิโลเมตร
- ค) ชายฝั่ง อ.ท่ายาง มีปัญหาการกัดเซาะเป็นระยะทางประมาณ 3.1 กิโลเมตร ได้ดำเนินการก่อสร้างป้องกันชายฝั่งอันประกอบด้วย เขื่อนป้องกันคลื่นชิดชายฝั่ง เขื่อนหินทิ้งหรือ

เขื่อนหินเรียงริมชายหาด และเขื่อนกันทรายและคลื่น รวมความยาวชายฝั่งที่ได้รับการแก้ไขแล้วประมาณ 0.9 กิโลเมตร ยังเหลือส่วนที่ยังไม่ได้ดำเนินการอีก 2.2 กิโลเมตร

- ง) ชายฝั่ง อ.บ้านแหลม มีพื้นที่ชายฝั่งถูกกัดเซาะเป็นระยะทาง 11 กิโลเมตร มีการก่อสร้างโครงสร้างเพื่อป้องกันชายฝั่งด้วย เขื่อนหินทิ้งหรือหินเรียงริมชายหาด เขื่อนกันคลื่นนอกชายฝั่ง ไม้ไผ่ชะลอกคลื่น แนวท่อซีเมนต์ เขื่อนหินทิ้งหรือหินเรียงลาดคอนกรีต รวมระยะทาง 4.3 กิโลเมตร สำหรับส่วนที่ยังไม่ได้ดำเนินการยังเหลืออยู่อีกประมาณ 7.5 กิโลเมตร

แนวชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์ มีระยะแนวชายฝั่งยาวประมาณ 247 กิโลเมตร มีพื้นที่ชายฝั่งประสบปัญหาการถดถอยของชายฝั่งรวมประมาณ 38.8 กิโลเมตร ดำเนินการก่อสร้างโครงสร้างทางวิศวกรรมเพื่อป้องกันปัญหาชายฝั่งแล้ว 15 แห่ง เป็นระยะทางรวม 15.7 กิโลเมตร แบ่งตามเขตการปกครองดังต่อไปนี้

- ก) ชายฝั่ง อ.เมืองประจวบคีรีขันธ์ มีปัญหากัดเซาะเป็นระยะทางประมาณ 11.1 กิโลเมตร ได้ดำเนินการก่อสร้างป้องกันชายฝั่งอันประกอบด้วย เขื่อนหินทิ้งกันคลื่น กำแพงคอนกรีตแบบลาดเอียง เขื่อนหินทิ้งหรือหินเรียงริมชายหาด กำแพงกล่องลวดใส่หิน รวมความยาวชายฝั่งที่ได้รับการแก้ไขแล้วประมาณ 7.5 กิโลเมตร ยังเหลือส่วนที่ยังไม่ได้ดำเนินการอีก 6.3 กิโลเมตร
- ข) ชายฝั่ง อ.บางสะพาน บริเวณหาดแม่รำพึง มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งเป็นระยะทางประมาณ 6 กิโลเมตร มีการก่อสร้างกำแพงเข้มน้ำคอนกรีต และกำแพงคอนกรีตแบบลาดเอียง ป้องกันแนวชายฝั่งยาวประมาณ 300 เมตร ยังเหลือชายฝั่งที่ยังไม่ได้ดำเนินการอีก 5.7 กิโลเมตร
- ค) ชายฝั่ง อ.บางสะพานน้อย บริเวณปากแพรก พบแนวชายฝั่งถูกกัดเซาะเป็นระยะทาง 780 เมตร สร้างกำแพงคอนกรีตแบบลาดเอียงเพื่อป้องกันชายฝั่งไปแล้ว 480 เมตร ยังเหลือพื้นที่ที่ยังไม่ได้ดำเนินการอีกประมาณ 300 เมตร
- ง) ชายฝั่ง อ.ทับสะแก ไม่พบพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะ แต่มีการก่อสร้างกำแพงป้องกันชายฝั่งยาวรวมกันประมาณ 300 เมตร
- จ) ชายฝั่ง อ.หัวหิน มีการกัดเซาะของชายฝั่งยาวประมาณ 3.3 กิโลเมตร มีการดำเนินการแก้ไขโดยก่อสร้างกำแพงป้องกันชายฝั่ง เป็นระยะทางรวมเพียง 1.5 กิโลเมตร ยังเหลือส่วนที่ยังไม่ได้ดำเนินการอีก 0.8 กิโลเมตร

สำหรับพื้นที่ชายฝั่งหัวหิน ตั้งแต่ อ.ทับสะแก จนถึง อ.กุยบุรี ยังมีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งอยู่ประมาณ 16.2 กิโลเมตร ที่ยังไม่ได้มีการจัดการป้องกันแก้ไข

Tessler et al. (2015) ได้ประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูลความเสี่ยงของ 48 พื้นที่ปากแม่น้ำทั่วโลก รวมถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยาของประเทศไทย ซึ่งความเสี่ยงที่เห็นได้ชัดเจนมากที่สุดคือ

ผลกระทบที่เกิดขึ้นทันทีหลังจากเกิดเหตุการณ์รุนแรงต่างๆ เช่น การเกิดน้ำท่วมทั้งในแม่น้ำและตามชายฝั่งทะเล โดยมักจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ (short time scale) อย่างไรก็ตาม ความเสี่ยงโดยรวม (overall risk) นั้นจะถูกกำหนดจากเงื่อนไขในระยะยาวโดยการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางธรณีสัณฐาน (geomorphic processes) จากการกระทำของมนุษย์ เช่น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณตะกอนจากแม่น้ำสู่ทะเล การทับถมของตะกอน (deposition) และการอัดแน่นของตะกอน (compaction) ซึ่งทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน (land subsidence) และการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลสัมพัทธ์ (relative sea level rise) นอกจากนี้สภาพเศรษฐกิจสังคมซึ่งมีความสัมพันธ์ชัดเจนความอ่อนไหว (vulnerability) ของพื้นที่ชายฝั่งก็ถูกนำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าความอ่อนไหวพื้นที่ชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาทำให้ค่าลงทุนของโครงสร้างพื้นฐานเพิ่มขึ้นอยู่ในกลุ่ม ที่มีค่ามากที่สุด (Mississippi, Rhine, Han และ Yangtze) เมื่อเทียบกับพื้นที่ชายฝั่งปากแม่น้ำอื่นๆ ในโลก

Prukpitikul et al. (2016) ได้ศึกษาผลกระทบของการขยายตัวของชุมชนและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของพื้นที่ชายฝั่งหาดเจ้าสำราญ จ.เพชรบุรี โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม 1999-2011 โดยผลการศึกษาพบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณชายฝั่งพื้นที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะพื้นที่เมือง, พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์ทะเลและนาเกลือ และพื้นที่ว่างเปล่า ในขณะที่พื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่น้ำไม่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ มีเพียงพื้นที่เกษตรกรรมและนาข้าวเท่านั้นที่ลดลง นอกจากนี้ผลการศึกษาายังแสดงให้เห็นว่าการกระจายความหนาแน่น (density distribution) ของชุมชนตามแนวชายฝั่งเป็นผลจากแผนพัฒนาสังคมและเศรษฐกิจของเทศบาล และความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่ได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2004 ซึ่งเศรษฐกิจของพื้นที่นี้ขึ้นอยู่กับ 2 ส่วนหลักคือ รายได้จากการเพาะปลูกข้าว คิดเป็นร้อยละ 59.26 ของรายได้รวมทั้งหมด และรายได้จากการท่องเที่ยวอีกร้อยละ 36.6 จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ พบว่าชายหาดของพื้นที่มีการกัดเซาะรุนแรงในปี 2005-2006 และปี 2008-2009 และการศึกษายังสรุปว่าจำเป็นต้องมีการศึกษาการสูญเสียระยะยาวทางกายภาพ สังคมและเศรษฐกิจ เพื่อให้สามารถเข้าใจการพัฒนาพื้นที่บริเวณชายฝั่ง

จากการสำรวจแนวความคิดและผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนบนมายาวนานแล้ว ในช่วงกว่าสองทศวรรษมีความพยายามอย่างต่อเนื่องที่จะใช้มาตรการต่างๆ ในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ทั้งการใช้มาตรการทางโครงสร้าง (hard measure) หรือ มาตรการแบบไม่ใช้โครงสร้าง (soft measure) รวมถึงมาตรการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมชายฝั่ง ซึ่งที่ผ่านมายังไม่มี การติดตามผลของมาตรการต่างๆ โดยเฉพาะมาตรการที่ใช้โครงสร้างทางวิศวกรรมในการแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งอย่างเป็นระบบ มีเพียงการรายงานผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งที่ยังคงมีอยู่จนถึงปัจจุบัน รวมทั้งปัจจัยด้านต่างๆ ที่อาจเป็นสาเหตุของการ

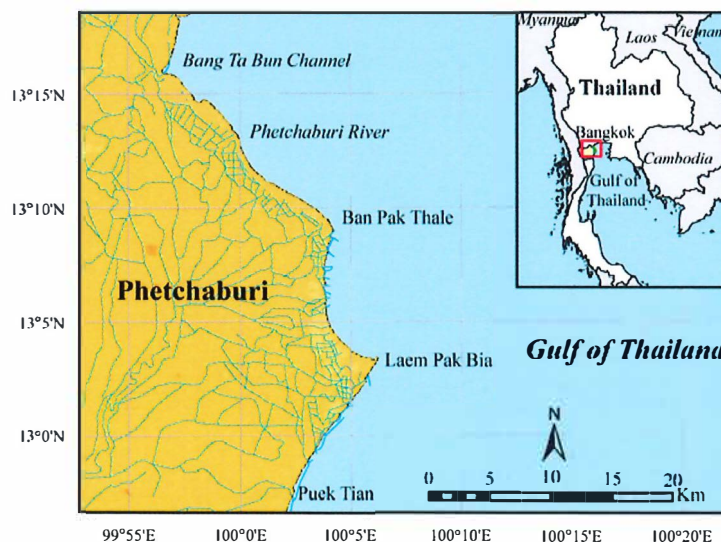
เปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนด้านทิศตะวันตก และผลกระทบอันเกิดจากปัญหาการกัดเซาะของชายฝั่งในบริเวณดังกล่าวเท่านั้น

3. วิธีการวิจัย (Procedure)

ในการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง รวมถึงผลกระทบจากการก่อสร้างโครงสร้างทางวิศวกรรมต่อแนวชายฝั่งทะเลด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนบนนั้น พื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งทะเลของ จ.เพชรบุรี ตั้งแต่บริเวณปากคลองปึกเตียน จนถึง ปากคลองบางตะบูน ซึ่งมีระยะทางตามแนวชายฝั่งยาวประมาณ 43 กิโลเมตร ดังแสดงในรูป 1 โดยในการศึกษาครั้งนี้ มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยสรุปดังนี้

3.1) รวบรวมหลักการการศึกษา เอกสารทางวิชาการ รายงาน รวมทั้งข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการศึกษาครั้งนี้ มีการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เพื่อใช้ในขั้นตอนต่างๆ ของงานวิจัย โดยข้อมูลที่สำคัญในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย

1) ข้อมูลจากรายงานการศึกษาที่ผ่านมา จะถูกนำมาใช้ในศึกษาภาพรวมทั่วไปสภาพชายฝั่งในอดีต รวมทั้งทฤษฎีและขั้นตอนทางวิศวกรรมที่ใช้ในการศึกษาออกแบบโครงสร้างทางชายฝั่งในบริเวณพื้นที่ศึกษาที่ได้ถูกดำเนินการไปแล้ว ซึ่งรายงานเหล่านี้รวบรวมได้จาก กรมเจ้าท่า กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กรมชลประทาน กรมโยธาธิการและผังเมือง สำนักงานนโยบายและแผนแห่งชาติ เป็นต้น



รูป 1 พื้นที่ศึกษา

2) ข้อมูลพื้นฐานและการสำรวจทางอุทกศาสตร์และสมุทรศาสตร์ อุทกวิทยา สภาพภูมิศาสตร์และภูมิประเทศ ที่สำรวจและรวบรวมโดยหน่วยงานต่าง ๆ ในช่วงปี 1954-2017 เช่น ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 (กรมแผนที่ทหาร) ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ (กรม

แผนที่ทหาร) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (<https://www.google.com>) ข้อมูลแผนที่เดินเรือ (กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ) ข้อมูลอุทกวิทยา (ปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า, กรมชลประทาน) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (กรมอุตุนิยมวิทยา) ข้อมูลอุทกศาสตร์ (คลื่นลมทะเลและกระแสน้ำ, สำนักงานเทคโนโลยีทางอากาศ และภูมิสารสนเทศ) ได้ถูกรวบรวมเพื่อประกอบการศึกษาและวิเคราะห์สภาพชายฝั่ง การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง และกระบวนการชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา

3.2) ศึกษาเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ (ปี 2497, 2510, 2539 และ 2545) และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (ปี 2549, 2552, 2553, 2554, 2556, 2557, 2559) ที่รวบรวมได้จะถูกนำมาจัดทำให้อยู่ในรูปแบบ (format) ที่เป็นดิจิทัล เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งของชายฝั่งที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อปรับแก้ความบิดเบี้ยวของภาพด้วยระบบภูมิสารสนเทศ (geographic information system: โปรแกรม ArcGIS เวอร์ชัน 10.4 ที่พัฒนาโดย บริษัท ERSI ในการศึกษาคั้งนี้ข้อมูลภาพถ่ายในปี 2545 ซึ่งถูกปรับแก้ให้มีพิกัดที่ถูกต้องเรียบร้อยแล้ว ได้ถูกนำมาใช้เป็นแผนที่พื้นฐาน (base map) สำหรับใช้ในการปรับแก้ความบิดเบี้ยวของภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูลดาวเทียมที่รวบรวมได้

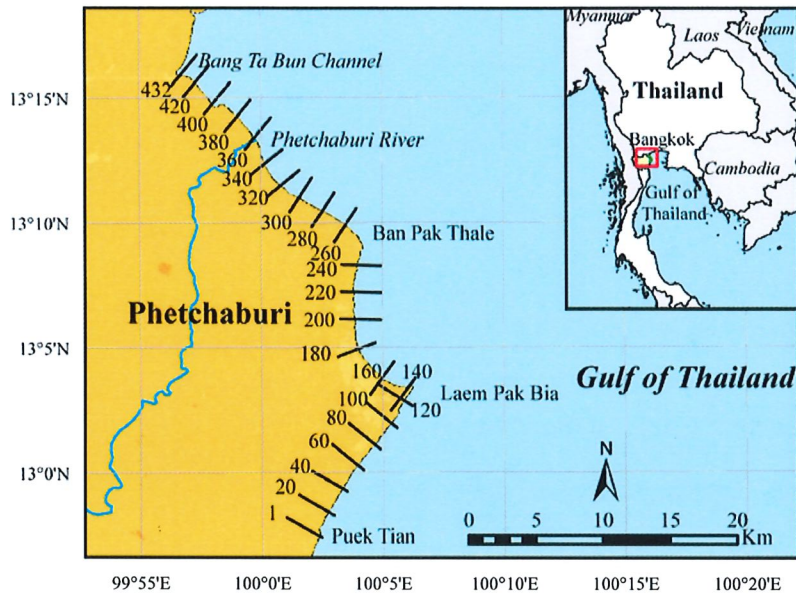
แนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาจำนวน 12 ปี ถูกคัดลอกจากภาพถ่ายทางอากาศที่ถูกปรับแก้แล้ว ด้วยโปรแกรม ArcGIS จากการศึกษาที่ผ่านมา ลักษณะทางกายภาพหลายประเภทที่สามารถเห็นได้จากภาพถ่ายถูกนำมาใช้เป็นตัวแทนของตำแหน่งแนวชายฝั่ง เช่น แนวชายป่าชายเลนถูกนำมาใช้เป็นแนวชายฝั่งสำหรับหาดเลนหรือหาดโคลน แนวขอบของพืชที่ขึ้นบริเวณชายฝั่งสามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนแนวชายฝั่งธรรมชาติ ส่วนแนวถนน หรือ โครงสร้างชายฝั่งบางชนิด เช่น กำแพงกันคลื่น คันดิน ฯลฯ สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนแนวชายฝั่งเทียม (artificial shoreline) หรือชายฝั่งที่ถูกพัฒนาเป็นเมือง เป็นต้น

อัตราเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งตามแนวพื้นที่ศึกษาจะถูกคำนวณโดยใช้โปรแกรม Digital Shoreline Analysis System (DSAS) ซึ่งถูกพัฒนาโดย U.S. Geological Survey (USGS) เวอร์ชัน 4.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมส่วนขยาย (extension) ของ ArcGIS ในการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งระหว่างปี 2497 และปี 2560 ด้วย DSAS เส้นผ่านตามขวางแนวชายฝั่ง (transect) จะถูกสร้างขึ้นอัตโนมัติโดยจะตั้งฉากกับเส้นฐาน (baseline) ที่ระยะห่างทุกๆ 100 เมตร ดังแสดงในรูป 2 จากนั้นการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งเทียบกับเส้นฐานในแต่ละช่วงเวลาจะถูกคำนวณ ด้วยวิธี linear regression, endpoint rate, หรือ weighted-linear regression rate ที่ค่าความเชื่อมั่น 90%

3.3) ศึกษาผลกระทบโครงสร้างทางชายฝั่งทะเลต่อการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง

การศึกษาผลกระทบของโครงสร้างชายฝั่งทะเลต่อแนวชายฝั่ง จ.เพชรบุรีใช้วิธีการเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาก่อนมีการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งและหลังจากการก่อสร้างโครงสร้าง ซึ่งในการศึกษาคั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงของเส้นแนวชายฝั่งระหว่างปี 2497-2519 จะถูกนำมาใช้ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งก่อนการก่อสร้าง

เชื่อมกันคลื่นแยกขนานชายฝั่งบ้านบางแก้ว จำนวน 14 ตัว และแนวชายฝั่งระหว่างปี 2519-2560 จะถูกนำมาใช้ประเมินผลกระทบของก่อสร้างเชื่อมกันคลื่นชุดนี้ นอกจากนี้แนวชายฝั่งปี 2497 และ 2510 ได้ถูกใช้เพื่อประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งก่อนการก่อสร้างโครงสร้างเขื่อนตักตะกอน (groin) และเชื่อมกันคลื่นแยก (detach breakwater) ที่ก่อสร้างตามแนวชายฝั่งด้านใต้ และใช้แนวชายฝั่งระหว่างปี 2510 ถึง 2560 ในการประเมินผลกระทบของเขื่อนตักตะกอนและเชื่อมกันคลื่นแยกต่อแนวชายฝั่งตั้งแต่บริเวณคลองปึกเตียนจนถึงแหลมผักเบี้ย (ดังแสดงในรูป 1)



รูป 2 เส้นผ่านตามขวางแนวชายฝั่ง (transects) ที่ใช้ในการศึกษา

4. ผลของการวิจัย (Result)

4.1) ลักษณะทั่วไปของพื้นที่โครงการ

จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษา สามารถสรุปลักษณะทั่วไปของพื้นที่โครงการ ได้ตามหัวข้อต่อไปนี้

4.1.1) สภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมชายฝั่ง จ.เพชรบุรี ตั้งแต่ 12.96°เหนือ 100.035°ตะวันออก ลักษณะ (บริเวณปากคลองปึกเตียน อ.เมืองเพชรบุรี) จนถึง 13.27°เหนือ 99.96°ตะวันออก (ปากคลองบางตะบูน อ.บ้านแหลม) โดยลักษณะชายฝั่งในพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทหลัก ๆ คือ ชายหาดทราย และชายหาดเลน/ชายหาดเลนปนทราย โดยพื้นที่ชายฝั่งบ้านปึกเตียน (ตั้งแต่ปากคลองปึกเตียนจนถึงแหลมผักเบี้ย เป็นระยะทาง 11.5 กิโลเมตร) มีลักษณะชายฝั่งส่วนใหญ่เป็นหาดทรายและได้รับการพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียง ในขณะที่ชายฝั่งถัดขึ้นไปด้านเหนือตั้งแต่

แหลมผักเบี้ย บ้านบางแก้ว บ้านบางตะบูนอก และบ้านทะเล (รวมระยะทางประมาณ 21.8 กิโลเมตร) มีลักษณะเป็นหาดเลน/หาดเลนปนทรายเป็นหลัก จึงเป็นพื้นที่เหมาะสมสำหรับการประมง
สภาพอากาศบริเวณชายฝั่งในพื้นที่ศึกษาอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมประจำฤดูกาล 2 ชนิด คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ สำหรับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นลมเย็นและแห้งที่พัดจากประเทศจีนลงมาปกคลุมประเทศไทยในช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้พื้นที่บริเวณนี้มีอากาศเย็นและมีฝนตกชุก โดยเฉพาะในช่วงเดือนตุลาคม ส่วนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งพัดผ่านมหาสมุทรอินเดีย จะนำพาเอาไอน้ำและความชุ่มชื้นสู่ประเทศไทยในช่วงระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ทำให้มีฝนตกชุกในพื้นที่

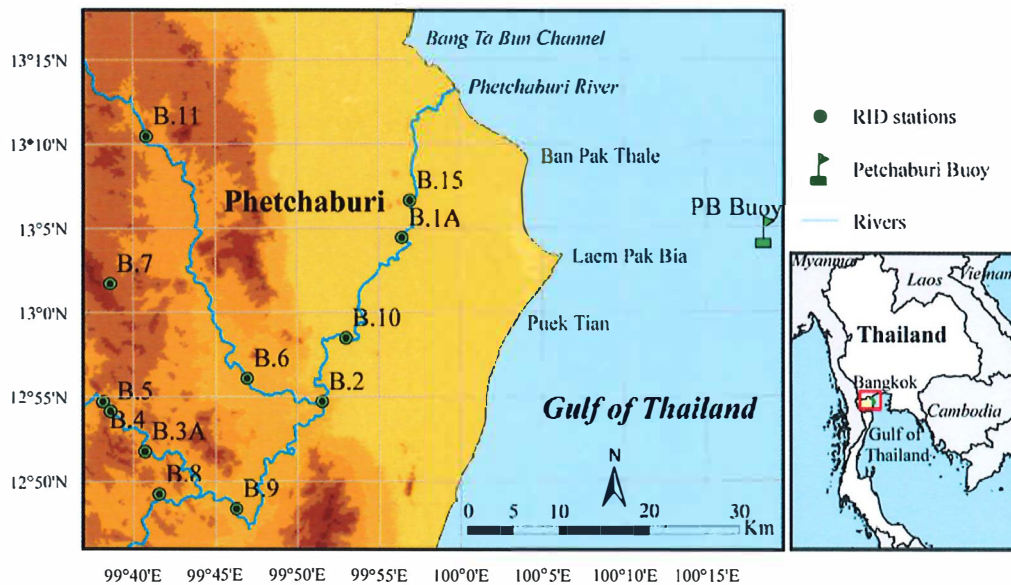
จากสถิติอุณหภูมิในคาบ 30 ปี ตั้งแต่ปี 2504-2533 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยมีค่าประมาณ 33.2 องศาเซลเซียส และเกิดขึ้นในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม ในขณะที่อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยมีค่าประมาณ 20.1 องศาเซลเซียส จะเกิดในช่วงระหว่างเดือนธันวาคม และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีในช่วง 2504-2533 นี้มีค่าประมาณ 27.6 องศาเซลเซียส (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ 2537) ในขณะที่สถิติอุณหภูมิในคาบ 30 ปี ตั้งแต่ปี 2524-2553 (<http://climate.tmd.go.th/data/province/ใต้ฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือ/ภูมิอากาศเพชรบุรี.pdf>) พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในพื้นที่นี้มีค่าลดลงเหลือ 32.0 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยมีค่ากลับมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 24.3 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา มีค่าสูงขึ้นเป็น 32 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิสูงสุดที่เคยวัดได้ในพื้นที่นี้คือ 38.5 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2553 และอุณหภูมิต่ำสุดที่เคยวัดได้คือ 12.4 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 25 ธันวาคม 2542

สำหรับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา จังหวัดเพชรบุรีเป็นจังหวัดที่มีฝนตกทุกเดือนแต่กลับมีปริมาณฝนน้อย เนื่องจากภูมิประเทศเป็นพื้นที่อับฝน ฝนที่ตกส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ที่พัดผ่านอ่าวไทยแต่เป็นบริเวณแคบ และถูกปิดกั้นโดยทิวเขาสูงด้านตะวันออก ในขณะที่ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งพัดพาความชุ่มชื้นจากมหาสมุทรอินเดียถูกปิดกั้นโดยเทือกเขาตะนาวศรี ทำให้พื้นที่นี้ได้รับความชุ่มชื้นไม่เต็มที่ (<http://climate.tmd.go.th/data/province/ใต้ฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือ/ภูมิอากาศเพชรบุรี.pdf>) จากสถิติปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ปี 2504-2533 พบว่าในพื้นที่ จ.เพชรบุรีมีจำนวนฝนตกประมาณปีละ 102 วัน คิดเป็นปริมาณฝนประมาณ 1,044 มิลลิเมตรต่อปี โดยฝนตกมากที่สุดในช่วงเดือนตุลาคม และมีปริมาณฝนเฉลี่ยประมาณ 264 มิลลิเมตร (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ 2537) ในขณะที่สถิติปริมาณน้ำฝนในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา (ปี 2524-2553) แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำฝนในพื้นที่มีค่าลดลงเล็กน้อย เหลือ 987.3 มิลลิเมตร ในขณะที่จำนวนวันฝนไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (104 วัน) และช่วงการเกิดฝนยังคงเกิดขึ้นในเดือนตุลาคม ซึ่งมีปริมาณฝนเฉลี่ยประมาณ 278.4 มิลลิเมตร (<http://climate.tmd.go.th/data/province/ใต้ฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือ/ภูมิอากาศเพชรบุรี.pdf>)

พื้นที่ชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี เป็นพื้นที่ที่มีโอกาสสูงที่จะได้รับผลกระทบจากพายุหมุนเขตร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตั้งแต่ครึ่งหลังของเดือนกันยายนไปจนถึงสิ้นเดือนพฤศจิกายน จากสถิติพายุหมุนเขตร้อนในคาบ 66 ปี ตั้งแต่ปี 2495-2559 พบว่ามีพายุที่เคลื่อนจากอ่าวไทยและเคลื่อนที่ผ่านหรือเคลื่อนที่เข้าใกล้จังหวัดเพชรบุรีจำนวน 7 ลูก ส่วนใหญ่เคลื่อนที่เข้ามาในช่วงเดือนตุลาคม (6 ลูก ในปี 2495 (2 ลูก), 2502, 2507, 2523, และ 2535) และเดือนพฤศจิกายน 1 ลูก ในปี 2512 โดยมากพายุที่เกิดขึ้นมีกำลังแรงเป็นพายุดีเปรสชัน

4.1.2) สภาพอุทกวิทยา

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้รวบรวมข้อมูลอุทกวิทยาจาก กรมชลประทาน ซึ่งเป็นหน่วยงานรับผิดชอบหลักในการวัดข้อมูลอุทกวิทยาของประเทศ และจากรายงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยข้อมูลน้ำท่ารายวันที่รวบรวมได้จากสถานีวัดน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรีจำนวน 6 สถานี คือ สถานี B.3A, B.6, B.8, B.9, B.10 และ B.11 (ดังแสดงรูป 3) ในช่วงปี 2532-2559 และสถิติข้อมูลน้ำท่าที่สถานี B.1, B.1A, B.2, B.2A, B.4, B.5 และ B.7 (ดังแสดงรูป 3) ซึ่งรวบรวมไว้โดยรายงานการศึกษาต่างๆ ได้ถูกรวบรวมไว้ในตาราง 1



รูป 3 ตำแหน่งสถานีวัดข้อมูลอุทกศาสตร์ กรมชลประทาน (RID) และทุ่นสมุทรศาสตร์

4.1.3) สภาพธรณีวิทยาและการใช้ที่ดิน

ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา ตามที่กรมทรัพยากรธรณีได้ศึกษาไว้ดังแสดงในรูป 4 พบว่าประกอบด้วย ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ดินเหนียว ททรายแป้ง และทรายละเอียดของที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึง ที่ลุ่มชื้นแฉะ และที่ลุ่มน้ำขังป่าชายเลน และชวากทะเล (Q_{mc}) และ

ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลของคลื่น ทราย และทรายปนกรวดของหาดสันดิน สันทรายและเนินทราย (Q_{ms})

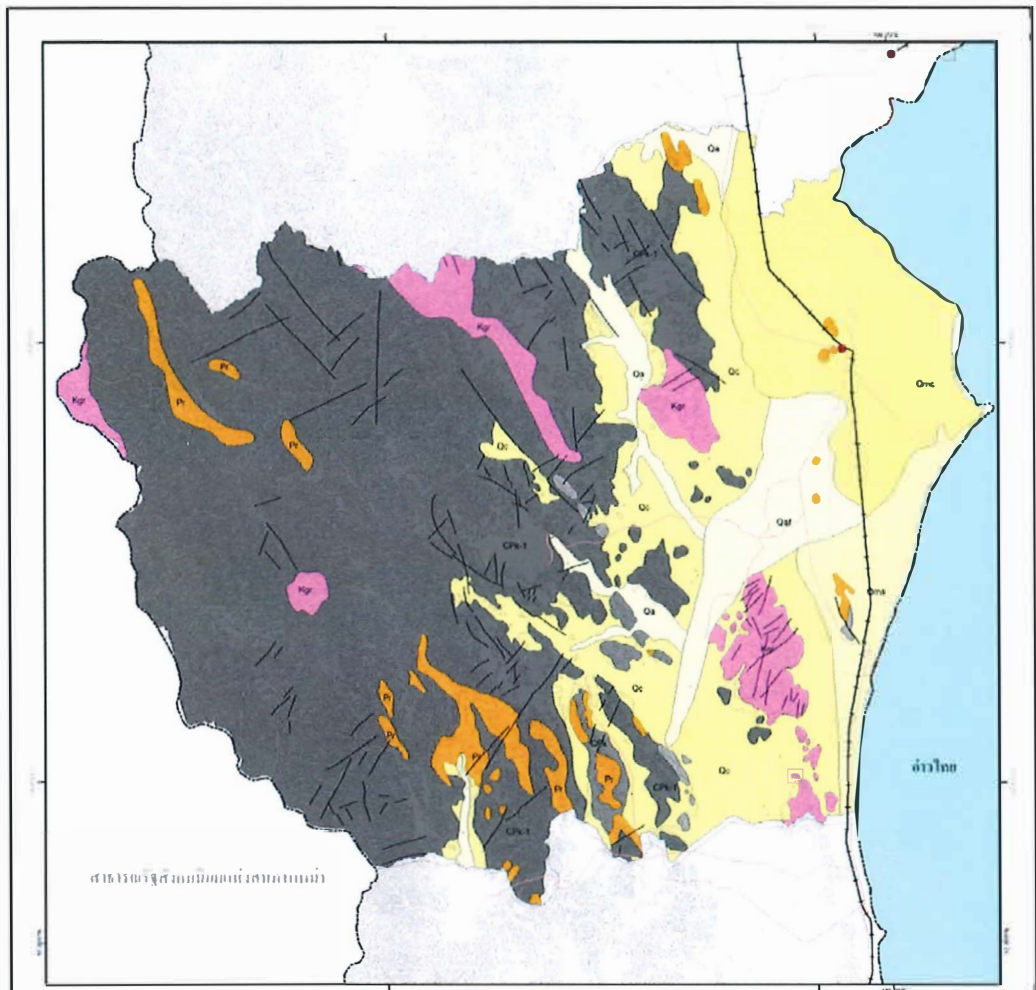
จากการศึกษาข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดินในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี ของกรมพัฒนาที่ดิน (สสนก, 2555) ในรูป 5 พบว่า ลักษณะดินในพื้นที่ศึกษาเป็น กลุ่มดินที่เกิดจากตะกอนน้ำทะเลในบริเวณที่ราบน้ำทะเลท่วมถึงและชะวากทะเล เป็นดินลึก การระบายน้ำเร็วมาก เนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง มีลักษณะเป็นดินเลน ดินบนสีดำนเทา ในขณะที่ดินล่างเป็นดินเลนสีเทาแก่หรือ สีเทาปนเขียว มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง ค่า pH อยู่ระหว่าง 7-8.5

ตาราง 1 สถิติปริมาณน้ำท่ารายปีที่สถานีวัดน้ำของกรมชลประทานในกลุ่มน้ำเพชรบุรี

สถานี	ลำน้ำ	ที่ตั้ง		พิกัด		พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงปีข้อมูล	ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)			
		สถานที่ตั้ง	อำเภอ	จังหวัด	ละติจูด			ลองจิจูด	รายปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
B.1	เพชรบุรี	บ้านไร่พะเนียด	เมือง	เพชรบุรี	13.0744	99.9436	4,188	2464-2493	1,095.8	972.7	123.1
B.1A	เพชรบุรี	บ้านไร่พะเนียด	เมือง	เพชรบุรี	13.0744	99.9436	4,188	2504-2542	832.2	716.3	116.0
B.2	เพชรบุรี		ท่ายาง	เพชรบุรี	12.9122	99.8586	4,060	2473-2491	968.9	880.6	88.3
B.2A	เพชรบุรี	ท้ายเขื่อนเพชรบุรี	ท่ายาง	เพชรบุรี	12.7455	99.8586	4,060	2504-2526	796.4	735.9	60.5
B.3	เพชรบุรี	บ้านสองพี่น้อง	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	12.8677	99.6777	2,244	2511-2546	492.2	370.8	121.4
B.4	เพชรบุรี	แก่งกระจาน	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	12.9122	99.6361	2,203	2503-2504	811.9	746.2	65.7
B.5	เพชรบุรี	บ้านตะเคียนห้าบาท	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	12.9027	99.6438	2,207	2506-2534	992.4	776.6	215.8
B.6	ห้วยแม่ประจันต์	บ้านสระยายนต์	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	12.9322	99.7847	1,015	2515, 2520-2546	969.7	907.0	62.7
B.7	ห้วยแม่ประจันต์	บ้านหนองบัว	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	13.0291	99.7333	846	2521-2534	949.9	882.7	67.1
B.8	ห้วยผาก	บ้านกระเหรียง	ท่ายาง	เพชรบุรี	12.8136	99.6922	264	2521-2545	899.0	705.6	193.4
B.9	เพชรบุรี	บ้านสาระเห็ด	ท่ายาง	เพชรบุรี	12.9750	99.8829	2,617	2546-2560	178.9	165.6	13.3
B.10	เพชรบุรี	บ้านท่ายาง	ท่ายาง	เพชรบุรี	12.9733	99.8861	4,111	2528-2546	124.3	118.0	6.3
B.11	ห้วยแม่ประจันต์	บ้านจะโปรง	หนองหญ้าปล้อง	เพชรบุรี	13.1777	99.6750	460	2543-2546	34.0	31.4	2.7
									331.3	194.6	137.0
									429.1	412.5	79.6
									61.5	55.0	6.5

ที่มา: สำนักงานสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน), 2555

จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2527 (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2537) ปี 2545 และปี 2552 (สสนก, 2555) สามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของกลุ่มน้ำเพชรบุรีในช่วง 25 ปี ได้ดังตาราง 2



แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบูรณ์

มาตราส่วน 2550
 กรมทรัพยากรธรณี
 อธิบดี ชวงจิฑูภะ อธิษิต

สำนักธรณีวิทยา
 ของ วารณ จงกฤษดิ์ ผู้ดำรงตำแหน่ง
 แผนกแสดงสิ่งมหัศจรรย์



คำอธิบาย EXPLANATION

หินตะกอนและหินแปร
Sedimentary and Metamorphic rocks

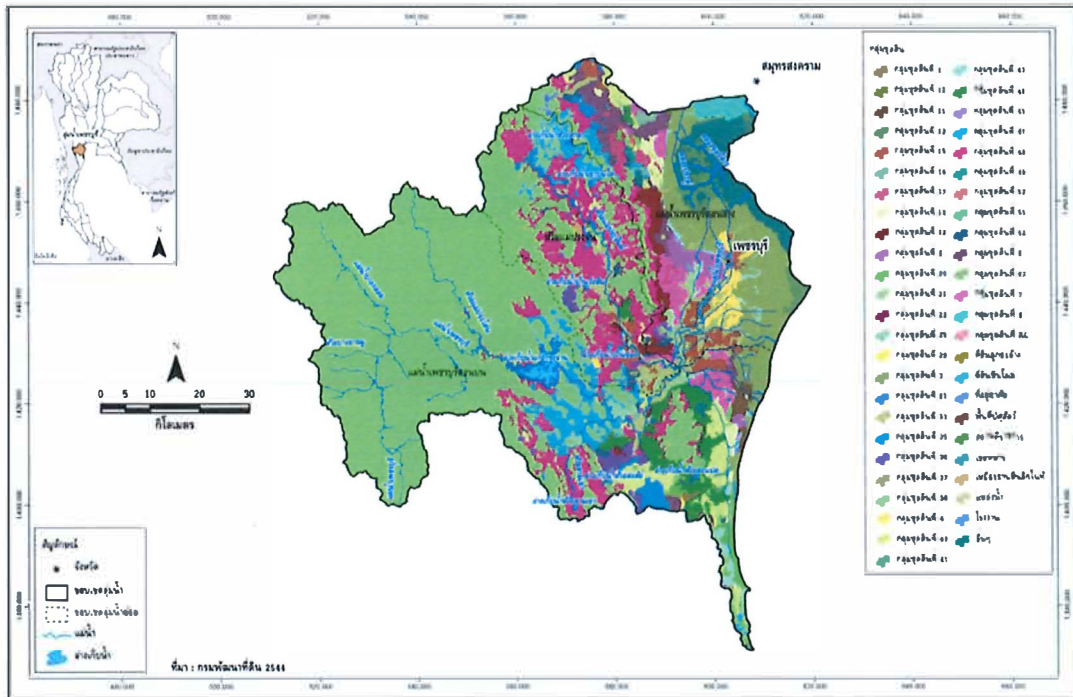
- Oa** หินทรายสีน้ำตาลถึงเทา ประกอบด้วยหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 4 มิลลิเมตร มีรูปร่างกลมถึงเหลี่ยม และมีหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 0.0075 มิลลิเมตร
- Qmc** หินทรายสีน้ำตาลถึงเทา ประกอบด้วยหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 4 มิลลิเมตร มีรูปร่างกลมถึงเหลี่ยม และมีหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 0.0075 มิลลิเมตร
- Qms** หินทรายสีน้ำตาลถึงเทา ประกอบด้วยหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 4 มิลลิเมตร มีรูปร่างกลมถึงเหลี่ยม และมีหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 0.0075 มิลลิเมตร
- Om** หินทรายสีน้ำตาลถึงเทา ประกอบด้วยหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 4 มิลลิเมตร มีรูปร่างกลมถึงเหลี่ยม และมีหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 0.0075 มิลลิเมตร
- Oc** หินทรายสีน้ำตาลถึงเทา ประกอบด้วยหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 4 มิลลิเมตร มีรูปร่างกลมถึงเหลี่ยม และมีหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 0.0075 มิลลิเมตร
- Pr** หินทรายสีน้ำตาลถึงเทา ประกอบด้วยหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 4 มิลลิเมตร มีรูปร่างกลมถึงเหลี่ยม และมีหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 0.0075 มิลลิเมตร
- CPL-2** หินทรายสีน้ำตาลถึงเทา ประกอบด้วยหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 4 มิลลิเมตร มีรูปร่างกลมถึงเหลี่ยม และมีหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 0.0075 มิลลิเมตร
- Gr** หินทรายสีน้ำตาลถึงเทา ประกอบด้วยหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 4 มิลลิเมตร มีรูปร่างกลมถึงเหลี่ยม และมีหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 0.0075 มิลลิเมตร
- CPM** หินทรายสีน้ำตาลถึงเทา ประกอบด้วยหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 4 มิลลิเมตร มีรูปร่างกลมถึงเหลี่ยม และมีหินทรายที่มีขนาดเม็ดทรายตั้งแต่ 0.075 ถึง 0.0075 มิลลิเมตร

หินอัคนี
Igneous rocks

- Kgp** หินอัคนีสีน้ำตาลถึงเทา ประกอบด้วยหินอัคนีที่มีขนาดเม็ดหินตั้งแต่ 0.075 ถึง 4 มิลลิเมตร มีรูปร่างกลมถึงเหลี่ยม และมีหินอัคนีที่มีขนาดเม็ดหินตั้งแต่ 0.075 ถึง 0.0075 มิลลิเมตร

ที่มา: http://www.dmr.go.th/download/pdf/Central_East/Petchaburi.pdf

รูป 4 แผนที่ทางธรณีวิทยา จังหวัดเพชรบูรณ์



ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน 2544 (อ้างอิง สสนก, 2555)

รูป 5 ลักษณะดินจังหวัดเพชรบุรี

4.1.4) สภาพสมุทรศาสตร์และอุทกศาสตร์

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาสภาพคลื่นในบริเวณพื้นที่ศึกษาจากข้อมูลคลื่นที่รวบรวมได้จาก รายงานข้อมูลสมุทรศาสตร์ทุ่นเพชรบุรี (รูป 3) ที่วัดโดยสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและสารสนเทศ (มหาชน) หรือ สทอภ. โดยเครื่องมือวัดขนาดคลื่นอัตโนมัติจะถูกติดตั้งไว้กับทุ่นสมุทรศาสตร์ ข้อมูลที่วัดทุกๆ 3 ชั่วโมงจะถูกส่งผ่านสัญญาณดาวเทียมมายัง สทอภ. ทันที ซึ่งเจ้าหน้าที่จะตรวจสอบข้อมูล ก่อนนำมาให้บริการ ข้อมูลคลื่น กระแสน้ำ และข้อมูลลมที่ได้จากการวัดที่ทุ่นสมุทรศาสตร์เพชรบุรีที่มีการวัดในช่วงปี 2539-2544 จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพสมุทรศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่รวบรวมได้มีความสมบูรณ์ของข้อมูลเพียง 45-50% เท่านั้น เนื่องจากสัญญาณมักขัดข้อง และทุ่นมักหลุดจากตำแหน่งในช่วงพายุ

ข้อมูลความสูงคลื่นและคาบเวลาคลื่นราย 3 ชั่วโมง (ไม่มีการวัดทิศทางคลื่น) ที่ได้จากทุ่นเพชรบุรี เป็นข้อมูลคลื่นในน้ำลึกประมาณ 10-20 เมตร อยู่ห่างจากชายฝั่งประมาณ 20 กิโลเมตร ดังแสดงในรูป 3 จากข้อมูลคลื่นที่รวบรวมได้ในช่วงปี 2539-2544 พบว่า 51% ของคลื่นเป็นคลื่นลูกเล็ก (wavelets: 0.1-0.5 เมตร) มีคาบคลื่นประมาณ 3-4 วินาที และอีก 48% เป็นคลื่นขนาดเล็ก

(Slight: 0.5-1.0 เมตร) มีคาบคลื่นอยู่ระหว่าง 4-5 วินาที และที่เหลืออีก 1% เป็นคลื่นขนาดกลาง (Moderate: 1.25-2.5 เมตร) และจากข้อมูลคลื่นที่วัดได้ในช่วง 5 ปี ไม่ปรากฏคลื่นที่มีความสูงมากกว่า 2.5 เมตร ส่วนในช่วงที่พายุลินดาเข้าปะทะอ่าวไทยบริเวณนี้ในวันที่ 4 พฤศจิกายน 2540 ทุ่นไม่สามารถวัดข้อมูลได้ สำหรับผังการกระจายของคลื่น (wave rose) ที่สถานีนี้แสดงในรูป 6 (สมมติให้ทิศทางคลื่นตามทิศทางลม)

ตาราง 2 พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำเพชรบุรี

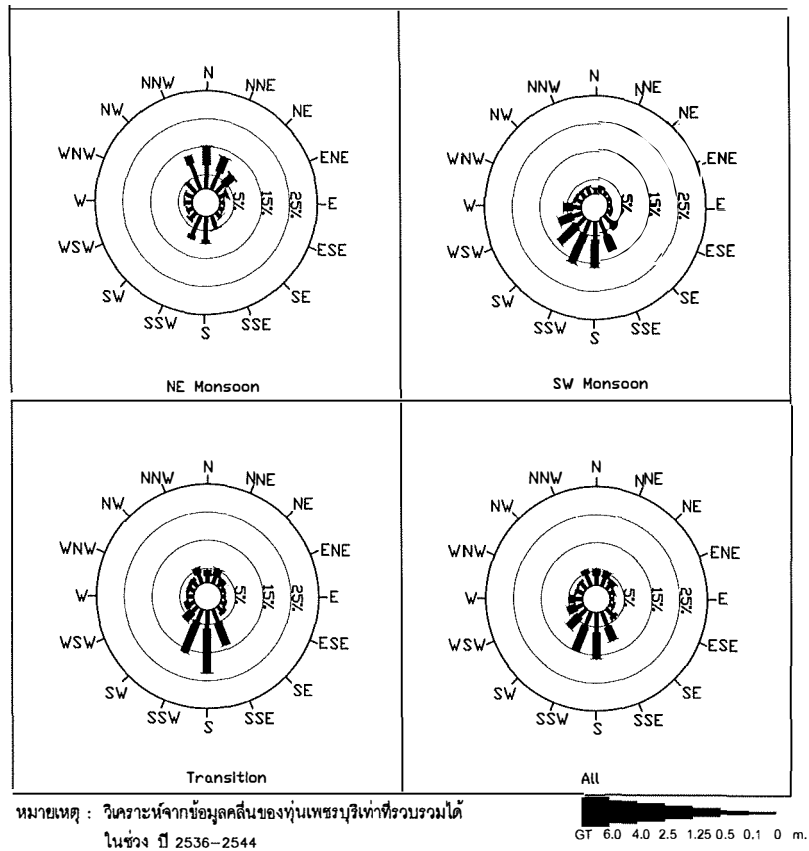
ประเภทของการใช้ที่ดิน	ปี 2527		ปี 2545		ปี 2552	
	พื้นที่	สัดส่วน	พื้นที่	สัดส่วน	พื้นที่	สัดส่วน
นาข้าว	510,412	0.13	583,032	0.15	516,823	0.13
พืชผัก	200	0.00	494	0.00	19,349	0.00
พืชไร่	234,887	0.06	236,905	0.06	225,132	0.06
ไม้ผล-ไม้ยืนต้น	179,599	0.05	286,808	0.07	358,097	0.09
เกษตรกรรมอื่นๆ	25,560	0.01	76,603	0.02	124,850	0.03
ป่าไม้	2,780,124	0.71	2,266,224	0.58	2,070,057	0.53
พื้นที่อื่นๆ	178,249	0.05	458,965	0.12	594,723	0.15
รวม	3,909,031		3,909,031		3,909,031	

ที่มา: ข้อมูลปี 2545 และปี 2552 สรุปรจาก สสนก (2555)

หมายเหตุ: เกษตรกรรมอื่นๆ ได้แก่ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์, พืชน้ำ (aquatic plant), พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (aquacultural area) และเกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม (integrated farm/diversified farm)

พื้นที่อื่น ๆ ได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (urban and built-up area), พื้นน้ำ (water body) และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (miscellaneous area)

ข้อมูลกระแสน้ำที่สทอภ.ตรวจวัด ประกอบด้วย ขนาด (magnitude) และทิศทางกระแส (direction) ราย 3 ชั่วโมง แต่จากการตรวจสอบข้อมูลพบว่า ข้อมูลไม่ค่อยต่อเนื่อง เนื่องจากสัญญาณขัดข้องและทุ่นมักหลุดจากตำแหน่งในช่วงพายุ ตาราง 3.3 แสดงสรุปผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของข้อมูลกระแสน้ำ ซึ่งผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าความเร็วกระแสสูงสุดในบริเวณนี้มีค่าน้อยกว่า 1 เมตร/วินาที ความเร็วสูงสุดมีค่าไม่เกิน 0.5 เมตร/วินาที เกิดขึ้นในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม โดยมีทิศทางหลักคือทิศเหนือ ในขณะที่ความเร็วกระแสน้ำจะสูงขึ้นในช่วงเดือนเมษายนจนถึงเดือนพฤศจิกายน และส่วนใหญ่มีทิศทางหลักไปทางใต้ แต่ความเร็วสูงสุดที่เคยวัดได้คือ 0.99 เมตร/วินาที เกิดขึ้นในเดือนตุลาคม 2542 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ตรวจสอบแล้วว่าเป็นช่วงเดือนที่มีค่าข้อมูลผิดปกติ เนื่องจากข้อมูลทิศทางการไหลมีเพียงค่าเดียวตลอดทั้งเดือน



รูป 6 ผังการกระจายของคลื่น (wave rose) ที่ทุ่นเพชรบุรี

4.1.5) ปริมาณตะกอนแม่น้ำ

จากการตรวจสอบข้อมูลตะกอนที่รวบรวมได้จากการศึกษาต่าง ๆ พบว่าข้อมูลตะกอนแม่น้ำ มีการสำรวจโดยกรมชลประทาน โดยมีการวัดเพียงข้อมูลตะกอนแขวนลอยเท่านั้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลตะกอนแม่น้ำที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษาได้จำนวน 8 สถานี คือ สถานี B.1A, B.3, B.4, B.5, B.6, B.8, B.10 และ B.11 สำหรับปริมาณตะกอนแขวนลอยรายปีที่เคลื่อนที่ในแม่น้ำเพชรบุรี สามารถสรุปได้ดังตาราง 4

4.2 การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งเพชรบุรีในช่วงเวลาต่าง ๆ

ชายฝั่งมีคุณสมบัติที่สำคัญคือมี ลักษณะเป็นพลวัต (dynamic) หรือมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งเป็นการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของทั้งธรรมชาติ และการกระทำของมนุษย์ แนวชายฝั่งปีระหว่งปีต่างๆ ที่มีข้อมูลแนวชายฝั่ง ถูกนำมาเปรียบเทียบกับ เพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งและผลของกิจกรรมของมนุษย์ต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ผลการเปรียบเทียบชายฝั่งในช่วงปีต่างๆ แสดงในรูป 7 ก) ถึง จ)

ตาราง 3 ความเร็วกระแสน้ำสูงสุดรายเดือนที่ห้วยเพชรบุรีระหว่างปี 2539-2544

เดือน	ความเร็วกระแสน้ำ (เมตร/วินาที)			
	พิสัย	ทิศทาง	ความเร็วสูงสุด	ทิศทาง
ม.ค.	0.46-0.50	N, NNW	0.50	N
ก.พ.	0.40-0.48	N, NNW	0.48	N
มี.ค.	0.36-0.45	N, SSE	0.45	N
เม.ย.	0.40-0.55	N, NW	0.55	N
พ.ค.	0.46-0.52	N, ENE	0.52	ENE
มิ.ย.	0.50-0.57	ENE-ESE	0.57	ESE
ก.ค.	0.50-0.51	ENE-SSE	0.51	SSE
ส.ค.	0.46-0.64	ENE-SSE	0.64	SSE
ก.ย.	0.49-0.59	N, NE, SSE	0.59	SSE
ต.ค.	0.63-0.68	ENE-SSE	0.68	SSE
พ.ย.	0.99	NNE	0.99	NNE
ธ.ค.	0.45	NE	0.45	NE

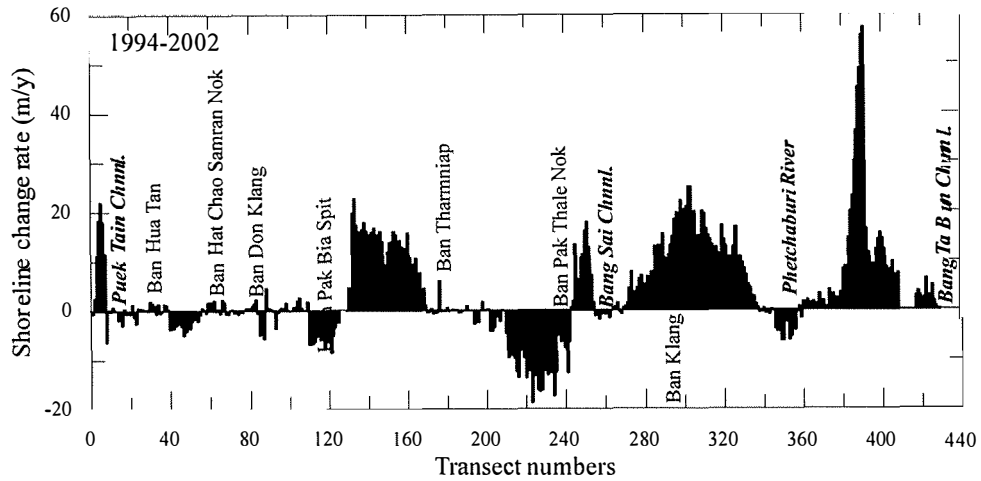
ตาราง 4 ข้อมูลตะกอนแขวนลอยรายปีเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

สถานี	ลำน้ำ	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงปีข้อมูล	ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายปีเฉลี่ย (ตัน)
B.1A	เพชรบุรี	4,188	2541-2542	67,806
B.3	เพชรบุรี	2,244	2541-2543	22,398
B.4	เพชรบุรี	2,203	2498-2505	81,538
B.5	เพชรบุรี	2,207	2506, 2501-2518	59,874
B.6	ห้วยแม่ประจันต์	1,015	2509-2528, 2540-2543	81,363
B.8	ห้วยผาก	264	2529-2543	4,276
B.10	เพชรบุรี	4,111	2541-2543	94,736
B.11	ห้วยแม่ประจันต์	460	2543	4,393

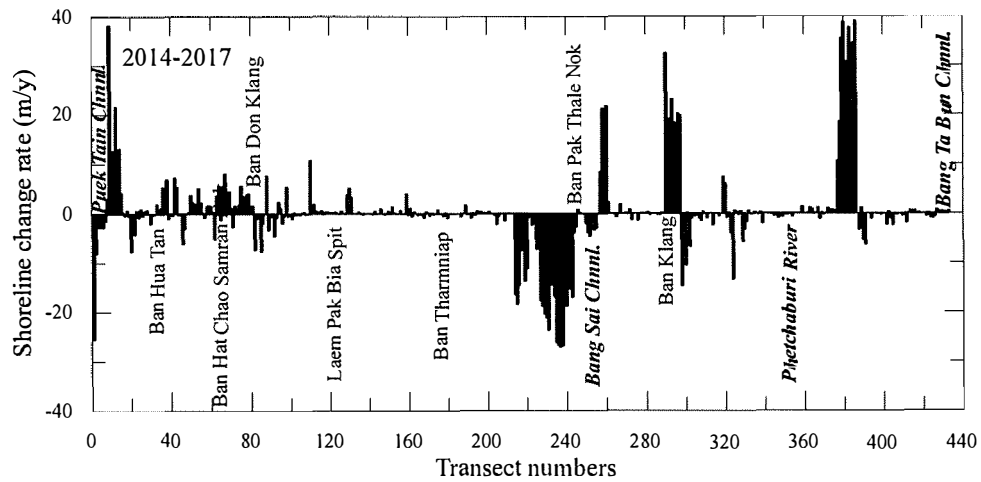
ที่มา: สสนก. (2555)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งในช่วงปีต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการตอบสนองของชายฝั่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากปัจจัยทั้งจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยการตอบสนองของชายฝั่งอันเนื่องมาจากปัจจัยทางธรรมชาติ สามารถวิเคราะห์ได้จากการข้อมูลเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในระยะยาว ส่วนกิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง สามารถคาดการณ์ได้จากรูปแบบ

รูป 7 อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งเพชรบุรีในระยะเวลาต่างๆ



ง) ช่วงปี 2537-2545



จ) ช่วงปี 2557-2560

รูป 7 (ต่อ) อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งเพชรบุรีในระยะเวลาต่างๆ

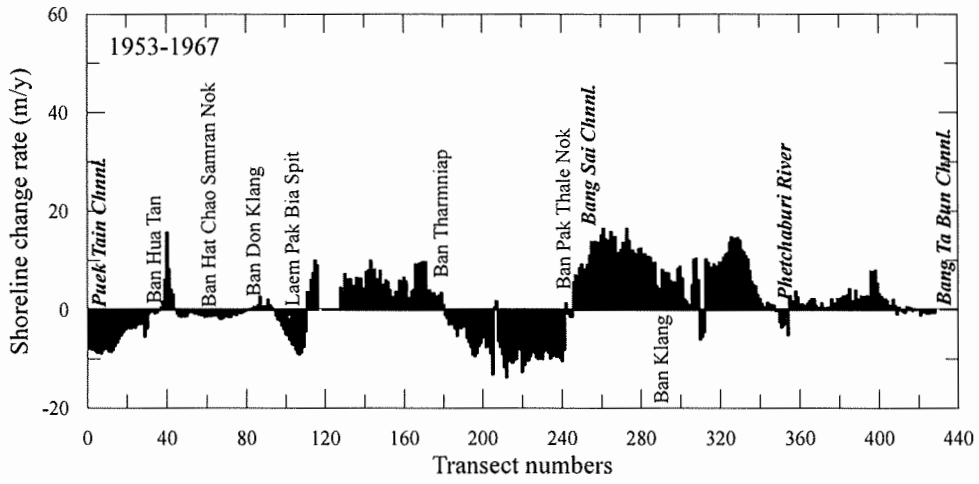
4.3 การเปลี่ยนแปลงระยะยาวและระยะสั้นของแนวชายฝั่งเพชรบุรี

เพื่อให้สามารถเข้าใจรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งในรายละเอียด ในการศึกษาครั้งนี้ จึงแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 5 ส่วนหลัก คือ Cell-1, Cell-2, Cell-3, Cell-4 และ Cell-5 ดังแสดงในรูป 8 โดยผลการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งระยะยาวตั้งแต่ปี 2496-2560 แสดงในรูป 9 และการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังหัวข้อย่อยต่อไปนี้

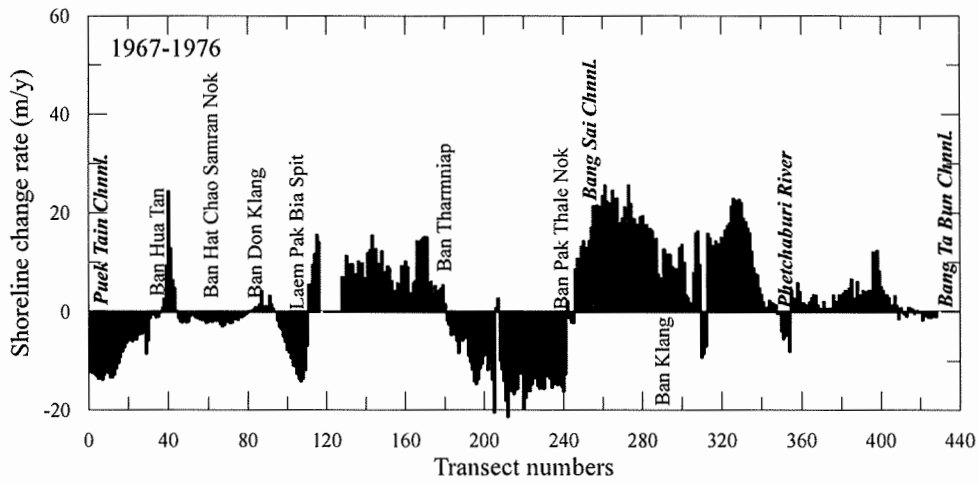
4.3.1 การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งตั้งแต่ปากคลองปึกเตียนถึงแหลมผักเบี้ย (Cell-1)

แนวชายฝั่งในส่วน Cell-1 นี้ เริ่มตั้งแต่ปากคลองปึกเตียน (transect 1) จนถึงปลายแหลมผักเบี้ยด้านใต้ (transect 138) มีระยะทางตามแนวชายฝั่งประมาณ 13.8 กิโลเมตร คิดเป็น 32% ของพื้นที่โครงการ ชายฝั่งในส่วนนี้เป็นหาดทราย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอัตราการ

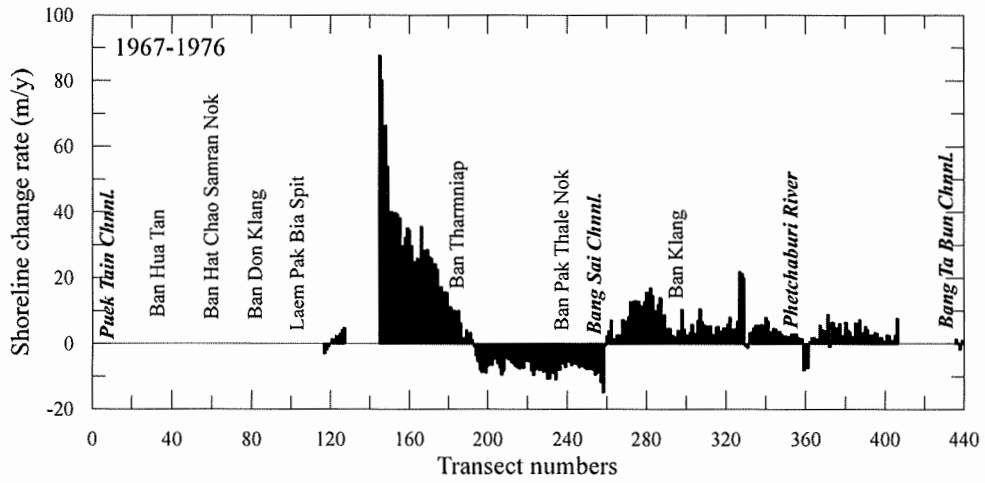
ของการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในระยะสั้นหรือในช่วงเวลาที่สอดคล้องกับกิจกรรมของมนุษย์ที่เกิดขึ้น



ก) ช่วงปี 2496-2510

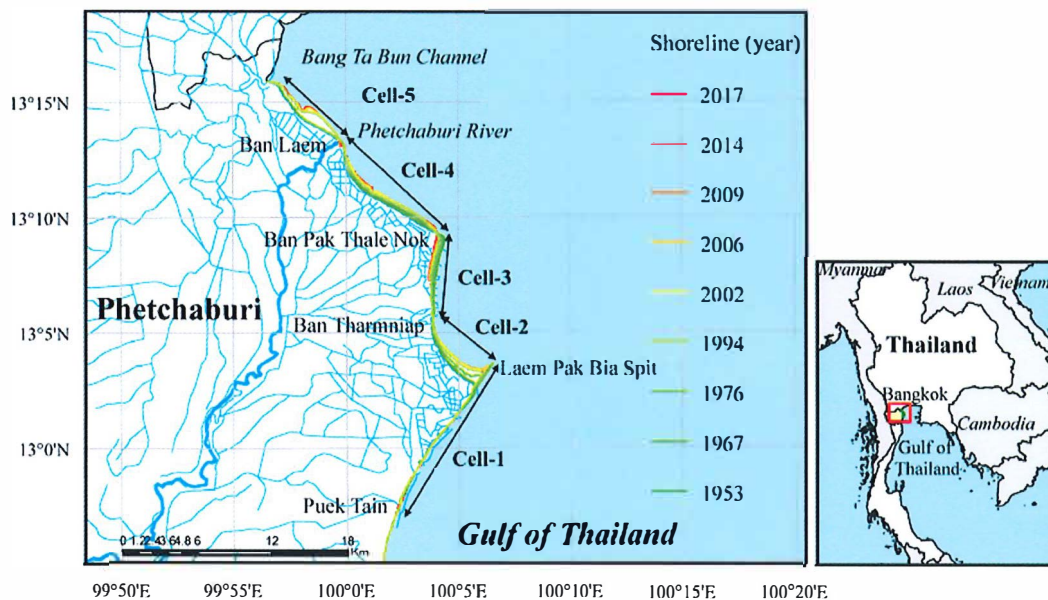


ข) ช่วงปี 2510-2519

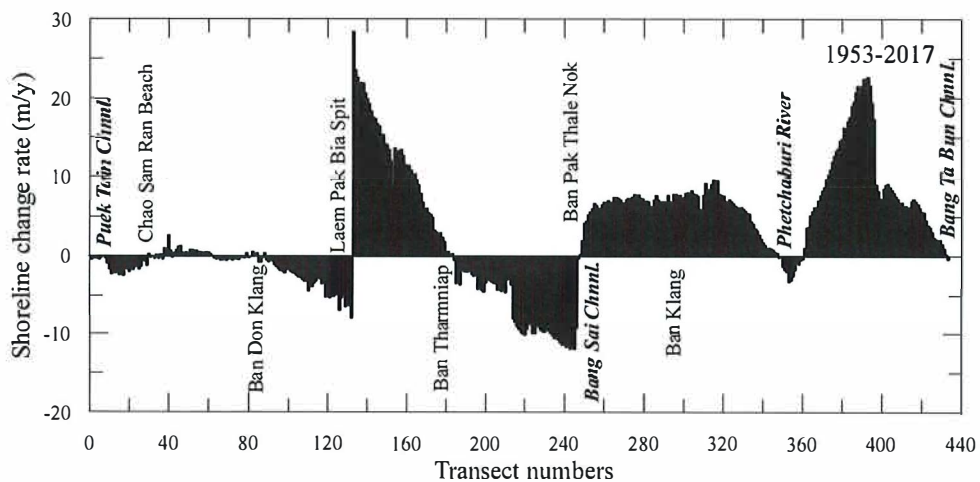


ค) ช่วงปี 2519-2537

เปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของ Cell-1 มีค่าประมาณ -1.3 เมตร/ปี สำหรับอัตราการงอกเพิ่มและการกัดเซาะสูงสุดในส่วนนี้ คือ +2.6 เมตร/ปี และ -7.8 เมตรต่อปี ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ใน Cell-1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งแบบถดถอย (กัดเซาะ) เป็นหลัก ถึงแม้พบการงอกเพิ่มของชายฝั่งในส่วนนี้บริเวณบ้านหัวตาลจนถึงบ้านหาดเจ้าสำราญนอก (transects 38-50) แต่ไม่นับสำคัญเมื่อเทียบกับการถดถอยของชายฝั่งในพื้นที่อื่นๆ ใน Cell-1 สำหรับพื้นที่ที่มีอัตราการกัดเซาะสูงอย่างมีนัยสำคัญ (มากกว่า -1 เมตร/ปี) พบในพื้นที่ระหว่างปากคลองปึกเตียนและปากคลองบ้านหัวตาล (รูป 9) ซึ่งมีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ยประมาณ -1.7 เมตร/ปี และในพื้นที่ตั้งแต่บ้านดอนกลางจนถึงปลายแหลมผักเบี้ยด้านใต้ (รูป 3.9) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาการกัดเซาะรุนแรงมาอย่างยาวนาน (อัตราการกัดเซาะเฉลี่ย -3.1 เมตร/ปี)



รูป 8 การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งเพชรบุรีในช่วงหกทศวรรษที่ผ่านมา (2497-2560)



รูป 9 อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งเพชรบุรีในช่วงปีพ.ศ. 2497-2560

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในส่วนนี้แต่ละช่วงเวลาพบว่า ในระหว่างปี 2496-2510 พื้นที่ชายฝั่งบ้านโตนดน้อยถึงบ้านหัวตาล (transects 4-38) ส่วนใหญ่มีการงอกเพิ่มของชายฝั่งด้วยอัตราเฉลี่ยประมาณ 2.8 เมตรต่อปี ยกเว้นหาดเจ้าสำราญ (transects 40-61) มีการกัดเซาะด้วยอัตราเฉลี่ย -2.2 เมตร/ปี อย่างไรก็ตามชายฝั่ง Cell-1 ส่วนใหญ่เกิดการถดถอยของแนวชายฝั่งในช่วงระหว่างปี 2510-2537 ด้วยอัตราเฉลี่ยประมาณ -1.3 เมตร/ปี โดยพบพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะในระดับรุนแรง (อัตราการกัดเซาะเฉลี่ยประมาณ -7.0 เมตร/ปี) ที่บริเวณท่าเทียบเรือแหลมผักเบี้ย จนถึงปลายสันทรายแหลมผักเบี้ย (transects 110-127) ในระหว่างปี 2537-2546 พื้นที่ส่วนใหญ่ของ Cell-1 ค่อนข้างมีเสถียรภาพมากขึ้น โดยอัตราการกัดเซาะในพื้นที่นี้ลดลงเหลือเพียง -0.4 เมตร/ปี อย่างไรก็ตามการกัดเซาะระดับรุนแรงยังคงพบในบริเวณท่าเรือแหลมผักเบี้ยถึงปลายแหลมผักเบี้ย (transects 110-124) อัตราการกัดเซาะเฉลี่ยประมาณ -5.5 เมตร/ปี โดยปลายแหลมผักเบี้ยมีการกัดเซาะอย่างรุนแรงมากที่สุด หาดทรายปลายแหลมถูกกัดเซาะหายไปหลายร้อยเมตรในช่วงปี 2537-2546 หลังจากปี 2546 เป็นต้นมาชายฝั่ง Cell-1 ค่อนข้างมีเสถียรภาพ อัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของชายฝั่งบริเวณนี้น้อยกว่า 0.5 เมตรต่อปี

4.3.2) การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งตั้งแต่แหลมผักเบี้ยถึงบ้านทำเนียบ (Cell-2)

แนวชายฝั่ง Cell-2 เริ่มตั้งแต่ปลายแหลมผักเบี้ยด้านเหนือ (transect 139) จนถึงบ้านท่าทำเนียบ (transect 189) มีความยาวของชายฝั่งประมาณ 5 กิโลเมตร ชายหาดเป็นหาดเลน ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทับถมของตะกอน และเป็นพื้นที่ที่มีอัตราการทับถมสูงที่สุดในพื้นที่ศึกษาครั้งนี้ อัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งเฉลี่ยตลอดทั้ง Cell-2 มีค่าประมาณ 11.5 เมตร/ปี และอัตราการงอกเพิ่มสูงสุดมีค่า 28.4 เมตร/ปี พบที่บริเวณปลายแหลมผักเบี้ยด้านเหนือ ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นรอกกันคลื่น (groin) ตามธรรมชาติ จากการวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งระหว่างปี 2497 ถึง 2560 พบว่า อัตราเฉลี่ยการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 5.7 เมตร/ปี ในช่วงปี 2497-2510 เป็น 8.2 เมตร/ปี ในช่วงปี 2510-2519 และเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง เป็น 13.9 เมตร/ปี จนถึงปี 2537 หลังจากนั้น อัตราการงอกเพิ่มของชายฝั่งเฉลี่ยเริ่มลดลงเหลือ 9.1 เมตร/ปี ในปี 2545 และลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เหลือเพียง 1.9 เมตร/ปี ในช่วงปี 2545-2560 โดยอัตราการงอกเพิ่มสูงสุดในพื้นที่นี้ ก็ลดลงเหลือเพียง 18 เมตร/ปี ในช่วง 25 ปีที่ผ่านมา คิดเป็นพื้นที่งอกเพิ่มประมาณ 21 เฮกแตร์ โดยอัตราการงอกเพิ่มของพื้นที่ในระยะ 25 ปีหลัง เหลือประมาณ 1 เฮกแตร์/ปี ซึ่งลดลงถึง 85% เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการงอกเพิ่มของพื้นที่ชายฝั่งในระยะยาว ซึ่งน่าจะบ่งชี้ถึงการลดลงของตะกอนชายฝั่งที่เคลื่อนที่ลงใต้ในช่วง 15 ปี ที่ผ่านมา

4.3.3) การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งตั้งแต่บ้านท่าเนียบถึงบ้านปากทะเลนอก (Cell-3)

แนวชายฝั่ง Cell-3 มีความยาวประมาณ 6.3 กิโลเมตร ทอดตัวอยู่ด้านเหนือของบ้านท่าเนียบ (transect 189) Cell-3 นี้ครอบคลุมแนวชายฝั่งประมาณ 21% ของแนวชายหาดเลนของจังหวัดเพชรบุรี และเป็นพื้นที่เพียงส่วนเดียวของพื้นที่ศึกษาที่ไม่มีป่าชายเลนขึ้นที่ขอบด้านนอกของชายฝั่ง พื้นที่ชายฝั่งเกือบทั้งหมดถูกพัฒนาเป็นพื้นที่เมืองและเปลี่ยนเป็นนาเกลือไปตั้งแต่ก่อนปี 2497 แล้ว

ผลจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในระยะยาวของ Cell-3 แสดงให้เห็นว่าชายฝั่งในส่วนนี้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งแบบถดถอย โดยมีอัตราการถดถอยของชายฝั่งเฉลี่ยในระยะยาว -6.5 เมตร/ปี ตามแนวชายฝั่งประมาณ 3 กิโลเมตรของ Cell-3 (ระหว่าง transect 190 และ 253) ประสบปัญหาการกัดเซาะรุนแรง ด้วยอัตราเฉลี่ย -5 เมตร/ปี สำหรับอัตราการกัดเซาะสูงที่สุด (-12 เมตร/ปี) พบที่บริเวณบ้านปากทะเลนอก (transect 249) แนวชายฝั่งส่วนที่เหลือของ Cell-3 พบว่ามีอัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งต่ำ เนื่องจากมีใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่ง เช่น กำแพงกันคลื่น (seawall) และเขื่อนกันคลื่นแยก (segment breakwaters) ในการสร้างเสถียรภาพของชายฝั่ง การกัดเซาะที่พบอย่างต่อเนื่องในส่วนนี้ คาดว่าจะเกิดจากการปรับตัวของแนวชายฝั่งธรรมชาติ เพื่อให้สมดุลกับลักษณะคลื่นและกระแสน้ำในพื้นที่

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งระยะสั้น พบว่าอัตราการถดถอยเฉลี่ยของชายฝั่ง Cell-3 มีค่า -7.6 เมตร/ปี และเพิ่มขึ้นเป็น -11.8 เมตร ในช่วง 9 ปีต่อมา ในช่วงปี 2519-2537 อัตราการกัดเซาะเฉลี่ยลดลงเป็น 6.9 เมตร/ปี และลดลงอีกเล็กน้อยในช่วงปี 2537-2545 ก่อนที่จะเพิ่มเป็น -12 เมตร/ปี ในช่วงปี 2545-2549 อย่างไรก็ตามในช่วง 15 ปีที่ผ่านมา อัตราการกัดเซาะเฉลี่ยของชายฝั่งลดลงเหลือประมาณ -5.6 เมตร/ปี สำหรับอัตรากัดเซาะสูงสุด (-19 เมตร/ปี) พบบริเวณชายฝั่งบ้านทะเลนอก ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ชายฝั่งเกือบทั้งหมดเคยเป็นป่าชายเลนและถูกพัฒนาเป็นนาเกลือและนาุ้ง ทำให้แรงอัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งในบริเวณนี้ให้สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนเป็นนาุ้งและนาเกลือไม่แน่ว่าจะเป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง Cell-3 การกัดเซาะรุนแรงในบริเวณนี้เกิดจากการที่แนวเขื่อนกันนาุ้งถูกทำลายด้วยแรงคลื่นทำให้น้ำทะเลรุกเข้าไปในแผ่นดินได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อัตราการถดถอยของแนวชายฝั่งมีค่าสูงไปด้วย

ผลการศึกษาข้างชี้ให้เห็นว่าดินตะกอนที่ถูกกัดเซาะจากชายฝั่งในส่วน Cell-3 จะเคลื่อนที่ลงไปทางใต้ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และถูกดักไว้ด้วยแหลมผักเบี้ย จนทำให้เกิดการสะสมของตะกอนใน Cell-1 เกิดเป็นพื้นที่ป่าชายเลนขนาดใหญ่ ถึงแม้ว่าป่าชายเลนริมชายฝั่ง Cell-2 จะถูกเปลี่ยนไปเป็นนาเกลือตั้งแต่ก่อนปี 2503 ดังนั้นจึงสามารถระบุได้ว่าการเปลี่ยนแปลงป่าชายเลนเพื่อการพัฒนาบริเวณชายฝั่ง จากการศึกษาพบว่ามีการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งใน Cell-3 เนื่องจากการกัดเซาะชายฝั่งในช่วงกว่า 60 ปีที่ผ่านมาทั้งสิ้นประมาณ 280 เฮกเตอร์ และมีเพียง 56 เฮกเตอร์ที่เกิดขึ้น

ในช่วง 15 ปีที่ผ่านมา ซึ่งพื้นที่ชายฝั่ง Cell-3 ที่ถูกกัดเซาะคิดเป็น 70% และ 80% ของพื้นที่ที่ตื้นอกใน Cell-2 ในระยะยาวและระยะสั้น ตามลำดับ

4.3.4) การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งตั้งแต่บ้านปากทะเลนอกถึงปากแม่น้ำเพชรบุรี (Cell-4) แนวชายฝั่ง Cell-4 เริ่มตั้งแต่บ้านปากทะเลนอก จนถึงปากแม่น้ำเพชรบุรี (transect 254-366) มีความยาวประมาณ 11 กิโลเมตร คิดเป็น 38% ของแนวชายหาดโคลนในพื้นที่ศึกษา ชายฝั่ง Cell-4 มีลักษณะเป็นหาดโคลนที่มีป่าชายเลนขึ้นที่แนวชายฝั่งเช่นเดียวกับ Cell-2 จากการเปรียบเทียบแนวชายฝั่งปี 2497 และ ปี 2560 พบว่าชายฝั่ง Cell-4 เกือบทั้งหมดงอกเพิ่มอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราเฉลี่ยประมาณ 6.3 เมตร/ปี ยกเว้นแนวชายฝั่งประมาณ 1 กิโลเมตรบริเวณปากแม่น้ำเพชรบุรี ซึ่งพบการกัดเซาะเฉลี่ยประมาณ -1.3 เมตร/ปี พื้นที่ที่ตื้นอกเพิ่มในช่วง 60 ปีที่ผ่านมาของ Cell-4 รวมทั้งสิ้น 415 เฮกแตร์ เนื่องจากตำแหน่งของปากแม่น้ำเพชรบุรีทำมุมปะทะกับคลื่นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ปริมาณตะกอนแม่น้ำจากแม่น้ำเพชรบุรีเคลื่อนที่แยกออกเป็น 2 ทิศทาง คือ ตะกอนที่เคลื่อนที่ขึ้นด้านเหนือของปากแม่น้ำ และตะกอนที่เคลื่อนที่ลงทิศใต้ของปากแม่น้ำ ซึ่งตะกอนที่เคลื่อนที่ลงใต้มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทับถมของตะกอนและการงอกเพิ่มของชายฝั่งในส่วนนี้

อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งระยะสั้นพบว่า อัตราการงอกเพิ่มเฉลี่ยของแนวชายฝั่ง ช่วงปี 2497-2510 มีค่าประมาณ 9 เมตร/ปี แล้วเพิ่มเป็น ประมาณ 14 เมตร/ปี ในช่วงปี 2510-2519 จากนั้นในช่วงปี 2519-2537 อัตราการงอกเพิ่มเฉลี่ยในส่วนนี้ลดลงเหลือประมาณ 7 เมตร/ปี ก่อนที่จะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 11 เมตร/ปี ในช่วงปี 2537-2545 สำหรับอัตราการงอกเพิ่มในช่วง 15 ปีที่ผ่านมา (ปี 2545-2560) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.7 เมตร/ปี ในขณะที่อัตราการกัดเซาะบริเวณปากแม่น้ำเพชรบุรีเพิ่มขึ้นเป็น -2.3 เมตร/ปี พื้นที่ที่ตื้นอกเพิ่มในช่วง 15 ปีนี้มีเพียง 31 เฮกแตร์ เท่านั้น นอกจากนี้ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นว่า พื้นที่ที่มีอัตราการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งสูง (มากกว่า 5 เมตร/ปี) นั้นมีเพียง 7% ส่วนที่เหลือพบการงอกเพิ่มของแผ่นดินเพียงเล็กน้อย อีก 78% ของแนวชายฝั่ง Cell-4 มีการงอกเพิ่มด้วยอัตราเฉลี่ยน้อยกว่า 2 เมตร/ปี ในขณะที่แนวชายฝั่งส่วนที่เหลือกำลังประสบปัญหาการถดถอยของชายฝั่ง การลดลงของพื้นที่ตื้นอกเพิ่มของชายฝั่งและการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะในส่วน Cell-4 นั้นชี้ให้เห็นถึงการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง พื้นที่ทั้งหมดของ Cell-4 ที่สูญเสียไปในช่วง 60 ปีที่ผ่านมาคือ 5 เฮกแตร์ แต่ 58% ของพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะ พบว่าเกิดขึ้นในช่วง 15 ปีที่ผ่านมา

4.3.5) การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งตั้งแต่ปากแม่น้ำเพชรบุรีถึงคลองบางตะบูน (Cell-5) แนวชายฝั่งในส่วนของ Cell-5 มีความยาวประมาณ 7 กิโลเมตร เริ่มตั้งแต่ปากแม่น้ำเพชรบุรี (transects 367) ยาวไปถึงปากคลองบางตะบูน (transect 443) ดังแสดงในรูป 2 โดยพื้นที่ชายฝั่งในส่วนนี้จะปกคลุมไปด้วยแนวป่าชายเลนเช่นเดียวกับที่พบใน Cell-2 และ Cell-4 จากการศึกษาพบว่า

การเปลี่ยนแปลงสุทธิระยะยาวมีการงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งโดยเฉลี่ยประมาณ 10 เมตรต่อปี โดยที่ อัตราการงอกเพิ่มสูงสุดในพื้นที่ที่มีค่าสูงถึง 30 เมตร พบที่บริเวณบ้านเนินมะขาม (transect 399) ซึ่งเป็นบริเวณที่พื้นที่ที่ตะกอนจากปากแม่น้ำเพชรบุรีที่เคลื่อนที่ขึ้นด้านเหนือ และตะกอนจากคลอง บางตะบูนที่เคลื่อนที่ลงด้านใต้ เนื่องจากพื้นที่ได้รับตะกอนจากแม่น้ำลำคลองต่างๆ แต่ในทิศทางที่ แตกต่างกันจึงทำให้พื้นที่ส่วนนี้เป็นส่วนที่มีการทับถมและงอกเพิ่มของแผ่นดิน ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อม ที่เอื้อให้ป่าชายเลนแพร่ขยายได้อย่างรวดเร็ว

บริเวณชายฝั่ง Cell-5 นี้ ยังพบการทับถมและงอกเพิ่มของชายฝั่งอย่างต่อเนื่องตลอดแนว ชายฝั่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณส่วนกลางของ Cell-5 สำหรับแนวชายฝั่งส่วนนี้มีการงอกของ พื้นที่เพิ่มขึ้นในช่วง 60 ปีที่ผ่านมาประมาณ 60 เฮกตาร์ เช่นเดียวกับกับแนวชายฝั่ง Cell-2 และ Cell-4 ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพป่าชายเลนเพื่อการประมงชายฝั่งและการเกษตรกรรมชายฝั่ง อย่างมากมายในช่วงปี 2519-2540 ก็ตาม พื้นที่ป่าชายเลนตามแนวชายฝั่งของ Cell-5 ในช่วงเวลา ดังกล่าวก็ยังมี การขยายตัวอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราเฉลี่ย 11.6 เมตรต่อปี อันเป็นผลจากปริมาณ ตะกอนจำนวนมากจากปากแม่น้ำเพชรบุรี บางตะบูนและระบบคลองระบายน้ำบริเวณชายฝั่งที่ เคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ ดังแสดงในรูป 7

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะสั้นตามแนวชายฝั่ง Cell-5 แสดงให้เห็นว่า อัตรา การงอกเพิ่มของแนวชายฝั่งบริเวณนี้ลดลงอย่างชัดเจนในช่วง 15 ปีที่ผ่านมา โดยลดลงเหลือ 2.9 เมตรต่อปี อย่างไรก็ตามพบพื้นที่ชายฝั่งที่มีการทับถมอย่างมีนัยสำคัญเป็นแนวยาวประมาณ 2.5 กิโลเมตรบริเวณตอนกลางของ Cell-5 ซึ่งการลดลงของอัตราการงอกของแนวชายฝั่งที่เกิดขึ้นใน บริเวณนี้ชี้ให้เห็นว่าอาจมีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมชายฝั่งในพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการ เปลี่ยนแปลงดังกล่าวคาดว่าจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณตะกอนจากแม่น้ำอันเป็นผล จากการบริหารจัดการน้ำผิวดินเพื่อการชลประทานและการท่องเที่ยวในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา อีก หนึ่งปัจจัยที่อาจจะเป็นสาเหตุของการลดลงของอัตราการงอกของชายฝั่งในพื้นที่นี้คือการ เปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ของระดับน้ำทะเล (relative sea-level change) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการ ถดถอยของชายฝั่งในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง เช่น ชายฝั่งดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นต้น (Bidorn, 2016)

5. การอภิปรายผล (Discussion)

ในส่วนของการติดตามผลกระทบของโครงสร้างทางวิศวกรรมต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เพชรบุรีครั้งนี้ อยู่บนพื้นฐานของข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งก่อนและหลังจากการ ก่อสร้างโครงสร้าง จากข้อมูลสำรวจโครงสร้างบริเวณชายฝั่งในบริเวณพื้นที่ศึกษา พบว่ามีการใช้ โครงสร้างป้องกันชายฝั่งในบริเวณที่มีการกัดเซาะชายฝั่ง คือ Cell-1 และ Cell-3 เป็นหลัก ดังแสดง ในรูป 10 สำหรับผลกระทบของการใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่งต่อแนวชายฝั่งเพชรบุรีในแต่ละส่วน มี ดังต่อไปนี้

5.1 ผลกระทบของโครงสร้างทางวิศวกรรมต่อแนวชายฝั่ง Cell-1

ชายฝั่ง Cell-1 ตั้งแต่ปากคลองปึกเตียนไปจนถึงแหลมผักเบี้ย มีลักษณะชายฝั่งส่วนใหญ่เป็นหาดทราย ซึ่งประสบปัญหาการกัดเซาะปานกลาง (< -5 เมตรต่อปี) ก่อนปี 2537 พบบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งสูงบริเวณ หาดเจ้าสำราญซึ่งเป็นพื้นที่ท่องเที่ยวสำคัญ รวมถึงการกัดเซาะรุนแรงของหาดทรายด้านใต้ของแหลมผักเบี้ยตั้งแต่บริเวณบ้านดอนกลาง ถึงปลายแหลมผักเบี้ย (transects 87-138) ชายฝั่งถดถอยไป 70-230 เมตร การกัดเซาะชายฝั่งตลอดทั้งแนวชายฝั่ง Cell-1 ส่งผลให้เกิดการงอกของแนวสันทราย (spit) ที่แหลมผักเบี้ย



รูป 10 โครงสร้างทางวิศวกรรมตามแนวชายฝั่งเพชรบุรี

อย่างไรก็ตามการกัดเซาะที่เกิดขึ้นทำให้มีการก่อสร้างกำแพงกำแพงกันคลื่น (seawall) ในหลายตำแหน่ง บริเวณชายฝั่งบ้านหาดเจ้าสำราญนอก บ้านหาดเจ้าสำราญใน และบ้านดอนกลาง เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบการก่อสร้างท่าเทียบเรือ (piers) และคันตักตะกอน (groins) ความยาวประมาณ 70-80 เมตร จำนวน 4 ตัว (transects 85, 93, 106 และ 108) ถึงแม้ว่าการก่อสร้างคันตักตะกอน และกำแพงกันคลื่นจะช่วยรักษาแนวชายฝั่งของ Cell-1 บางส่วน รวมทั้งลดอัตราการกัดเซาะรุนแรงบริเวณบ้านดอนกลาง-แหลมผักเบี้ยลงได้บ้าง แต่ยังไม่เพียงพอที่จะรักษาแนวชายฝั่งบริเวณแหลมผักเบี้ย รวมถึงยังพบการกัดเซาะที่มีนัยสำคัญในพื้นที่บริเวณบ้านหัวตาลถึงหาดเจ้าสำราญ รวมทั้งบ้านดอนกลางเพิ่มขึ้นใน Cell-1 อีกด้วย การกัดเซาะชายหาดทรายเป็นแหลมผักเบี้ย ทำให้การยื่นของสันทรายแหลมผักเบี้ยหยุดลง เนื่องจากขาดตะกอนทรายมาทับถม ซึ่งดูเหมือนจะส่งผลกระทบต่อทำให้อัตราการขยายพื้นที่ป่าชายเลนตามธรรมชาติด้านเหนือของแหลมผักเบี้ยลดลง (รูป 7)

จากข้อมูลแนวชายฝั่งปี 2545 ชี้ให้เห็นว่ามีการใช้สิ่งก่อสร้างบริเวณชายฝั่ง Cell-1 เพิ่มเติมคือการก่อสร้างกำแพงกันคลื่น บริเวณบ้านหนองโสนถึงบ้านหัวตาล (transects 24-34) และสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่น (jetty) ความยาว 90 และ 135 เมตรที่บริเวณปากคลองเวซ (transects 87-88) เพื่อสร้างเสถียรภาพชายฝั่งบริเวณปากคลอง ซึ่งประสบปัญหาการถอยร่นของชายฝั่งรุนแรง (>-5 เมตรต่อปี) แต่ต่อมาต้องเพิ่มความยาวเป็น 170 และ 200 เมตร เนื่องจากความยาวของโครงสร้างเดิมไม่เพียงพอต่อการรักษาเสถียรภาพของแนวชายฝั่งได้ นอกจากนี้การกัดเซาะชายหาดยังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อธุรกิจท่องเที่ยว อันเป็นหนึ่งในรายได้หลักของจังหวัดเพชรบุรี ภายหลังจึงมีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นจำนวน 36 ตัว โดยมีความยาวระหว่าง 75-130 เมตร ตลอดแนวชายฝั่ง 14 กิโลเมตร ตั้งแต่คลองปึกเตียน บ้านคลองโตนดน้อย ไปจนถึงปลายแหลมผักเบี้ย

จากการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง ตั้งแต่ 2557-2560 ในรูป 7 จ) (ภายหลังการก่อสร้างระบบเขื่อนกันคลื่นป้องกันชายฝั่ง) พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งบริเวณพื้นที่ Cell-1 ส่วนใหญ่ลดลงอย่างชัดเจน ถึงแม้จะพบการกัดเซาะบ้างในบางพื้นที่บางส่วน แต่คาดว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงระยะสั้นตามอิทธิพลของคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยรวมแล้วพบการงอกเพิ่มของชายฝั่งในพื้นที่ที่เคยมีการกัดเซาะอันเป็นผลโดยตรงจากการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่น เนื่องจากเขื่อนกันคลื่นทำหน้าที่โดยตรงในลดพลังงานคลื่นและกระแสน้ำที่ปะทะกับชายฝั่งและพัดพาตะกอนออกจากพื้นที่ ทำให้ตะกอนทรายตกทับถมอยู่ด้านหลังของเขื่อนกันคลื่น โดยทั่วไปแล้วจะเกิดแนวชายฝั่งรูปคลื่น (crenulated shoreline) ด้านหลังเขื่อนกันคลื่น

การเกิด crenulated shoreline นั้น เป็นการแสดงถึงเสถียรภาพของแนวชายฝั่งในบริเวณนั้นๆ ซึ่งหมายความว่าตะกอนในพื้นที่ไม่ถูกพัดพาออกไปด้านท้ายน้ำ (downdrift) อีกต่อไปหรือถูกพัดพาออกไปในปริมาณที่น้อยกว่าเดิม อันจะก่อให้เกิดการขาดตะกอนเข้าไปเติมในพื้นที่ด้านท้ายน้ำแทน จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตลอดพื้นที่ศึกษา พบว่าการลดลงของตะกอนทรายที่เคลื่อนที่ไปด้านท้ายน้ำ ทำให้การงอกเพิ่มของแหลมทรายที่ปลายแหลมผักเบี้ยหยุดลง และเนื่องจากการวางตัวของแหลมทรายทำมุมเอียงกับทิศทางคลื่นจึงกระแสน้ำทำให้ตะกอนเคลื่อนที่ตามแนว

ชายฝั่งออกสู่ทะเลที่ปลายแหลมผักเบี้ยเมื่อไม่มีตะกอนเข้ามาเติมในพื้นที่บริเวณแหลมทรายจึงเกิดการกัดเซาะต่อมา เพื่อเป็นการป้องกันแนวป่าชายเลนด้านหลังสันทรายที่กำลังถูกกัดเซาะ กรมเจ้าท่าจึงได้สร้างกำแพงกันคลื่น (seawall) ยาว 1.8 กิโลเมตร โครงสร้างคันดักตะกอน (groin) ยาว 200 เมตร 2 ตัวเพื่อดักตะกอนทรายตั้งแต่ปี 2553 แต่ถึงปัจจุบันทำได้เพียงชะลอการสลายตัวของสันทรายแหลมผักเบี้ยได้เท่านั้นไม่สามารถรักษาเสถียรภาพของแนวสันทรายของแหลมผักเบี้ยหรือทำให้เกิดการงอกเพิ่มของสันทรายได้ดังเช่นในอดีตที่ผ่านมา

การสลายตัวของแนวสันทรายแหลมผักเบี้ย เป็นปรากฏการณ์ที่ชายฝั่งตอบสนองต่อมาตรการที่ใช้ในการสร้างเสถียรภาพให้แก่ชายฝั่งเพชรบุรีด้านใต้ตั้งแต่คลองปึกเตียนจนถึงแหลมผักเบี้ย ซึ่งปัจจุบันแนวสันทรายจะยังถูกรักษาไว้ได้โดยใช้มาตรการทางวิศวกรรม แต่ก็ส่งผลต่อการขยายตัวของผืนป่าชายเลนด้านเหนือ (Cell-2) ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการสลายตัวของแนวสันทรายแหลมผักเบี้ย ซึ่งทำหน้าที่เหมือนเขื่อนธรรมชาติที่ดักตะกอนเลนจากระบบคลองชายฝั่งและตะกอนที่เกิดจากการกัดเซาะแผ่นดินชายฝั่งบ้านปากทะเลนอก (Cell-3) ที่เคลื่อนที่ลงมาทางใต้ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อพื้นที่ป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยใน Cell-2 โดยในช่วงปี 2497-2002 การแพร่ขยายตัวของผืนป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วไปพร้อมๆ กับการย่นของสันทรายแหลมผักเบี้ย แต่หลังจากแนวสันทรายธรรมชาตินี้สลายตัว อัตราการงอกเพิ่มของแนวป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยก็หยุดชะงักลง เนื่องจากไม่มีแนวดักตะกอนอีกต่อไป ทำให้ตะกอนเลนไหลออกสู่ทะเลไม่ทับถมบริเวณชายฝั่งอีกต่อไป ทำให้ป่าชายเลนไม่มีพื้นที่ในการขยายตัว จึงเป็นสาเหตุให้อัตราการงอกเพิ่มของแนวป่าชายเลนไม่มีนัยสำคัญในช่วงสิบกว่าปีที่ผ่านมา

5.2 ผลกระทบของโครงสร้างทางวิศวกรรมต่อชายหาดทราย Cell-3

แนวชายฝั่งใน Cell-3 ตั้งแต่บ้านท่าท่าเนียบจนถึงบ้านปากทะเลนอก เป็นพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะเนื่องจากชายฝั่งกำลังปรับตัวเพื่อเข้าสู่สมดุลกับสภาพคลื่นและกระแสน้ำในพื้นที่ จากผลการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งในช่วงปี 2497-2519 (รูป 7 ก) และ ข)) พบว่าชายฝั่งบริเวณนี้มีการถดถอยของชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง และอยู่ในระดับรุนแรง (มากกว่า -5 เมตรต่อปี) ก่อนปี 2537 มีความพยายามที่จะรักษาเสถียรภาพชายฝั่งด้วยการใช้โครงสร้างเขื่อนกันคลื่น ยาว 40 เมตร จำนวน 14 ตัว บริเวณบ้านบางแก้ว (transects 110-211) ก็ดูเหมือนจะไม่ได้ผลมากนักเนื่องจากพบการก่อสร้างกำแพงกันคลื่นตลอดแนวชายฝั่ง ในขณะที่แนวชายฝั่งตั้งแต่บ้านสะพานยาวจนถึงบ้านปากทะเลนอก (transects 212-253) ซึ่งไม่มีการใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่ง ยังคงถดถอยอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลา 60 ปีที่ผ่านมา

ถึงแม้การก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งจะส่งผลต่อกระบวนการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง ดังเช่นในกรณีการสร้างเขื่อนกันคลื่นและคันดักตะกอนเพื่อรักษาเสถียรภาพของชายหาดเพชรบุรีตั้งแต่คลองปึกเตียนถึงแหลมผักเบี้ยจนทำให้เกิดการสลายตัวของสันทรายแหลมผักเบี้ยใน Cell-1 แต่ในกรณีชายฝั่ง Cell-3 การก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นรวมถึงกำแพงกันคลื่นเพื่อป้องกันแนว

ชายฝั่งด้านใต้ของ Cell-3 นั้นไม่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้านเหนือของ Cell-3 เนื่องจากตะกอนสุทธิของ Cell-3 ซึ่งเกิดจากการกัดเซาะชายฝั่งด้านเหนือ (บ้านสะพานยาวจนถึงบ้านปากทะเลนอก) รวมทั้งตะกอนจากระบบคลองริมชายฝั่งที่ไหลลงสู่ทะเลนั้นเคลื่อนที่ลงทางใต้และจะถูกดักไว้ที่ปลายแหลมผักเบี้ย อีกทั้งโครงสร้างป้องกันชายฝั่งที่ใช้ในพื้นที่นี้มี 2 รูปแบบ คือกำแพงกันคลื่น ซึ่งก่อสร้างขนานติดไปกับชายฝั่ง จึงไม่มีผลต่อการดักตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง ส่วนเขื่อนกันคลื่นจำนวน 14 ตัว ที่ก่อสร้างบริเวณบ้านบางแก้วนั้น มีความยาว (l) เพียง 40 เมตร และมีระยะห่างจากชายฝั่ง (y) ระหว่าง 70-110 เมตร โดยระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น (b) มีค่า 120 เมตร ทำให้อัตราส่วน l/y มีค่าระหว่าง 0.36-0.56 ซึ่งน้อยกว่า อัตราส่วน $2b/l$ ที่มีค่าเท่ากับ 6 จึงไม่เกิดสันตะกอนทับถมเชื่อมระหว่างแผ่นดินกับเขื่อนกันคลื่น (tombolo) (Suh and Dalymple, 1987) จากการตรวจสอบภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูลดาวเทียมก็ไม่พบการเกิด tombolo ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นชุดดังกล่าว อันจะทำให้เกิดการขัดขวางการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งไป ดังนั้นจึงยังมีตะกอนเคลื่อนที่ไปทางใต้ของ Cell-3 เข้าสู่ Cell-3 ได้เช่นเดิม ดังจะเห็นได้จากการที่แนวชายฝั่ง Cell-2 ยังงอกเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างปี 2537- 2545 หรือหลังจากที่มีการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นและกำแพงกันคลื่นไปแล้ว

6. ข้อสรุป (Conclusion)

การศึกษาครั้งนี้ได้ประเมินการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งทางทิศตะวันตกของอ่าวไทย ในช่วงปี 2497-2560 ที่ผ่านมา โดยพื้นที่ศึกษารอบคลุมแนวชายฝั่งตั้งแต่ปากคลองปึกเตียนจนถึงปากคลองบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรม การประมงชายฝั่ง ป่าชายเลน รวมถึงเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศ แต่ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมาประสบปัญหาการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหาดทรายที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวของจังหวัดเกิดการถดถอยส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชน รวมถึงระบบเศรษฐกิจของจังหวัดเพชรบุรี ที่ผ่านมา โครงสร้างทางวิศวกรรมเช่น กำแพงกันคลื่น คันดักตะกอน และเขื่อนกันคลื่น ถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีประเด็นคำถามถึงใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่งซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงมากขึ้นในพื้นที่ใกล้เคียง

จากการศึกษาโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและภาพดาวเทียม รวมถึงข้อมูลสมุทรศาสตร์ อุทกศาสตร์ อุทกวิทยา ในพื้นที่ศึกษา พบว่าชายฝั่งของเพชรบุรีในพื้นที่ศึกษาแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ชายหาดทราย (ตั้งแต่ปากคลองปึกเตียนจนถึงปลายแหลมผักเบี้ย) และชายหาดโคลน (ตั้งแต่แหลมผักเบี้ยจนถึงปากคลองบางตะบูน) โดยแนวชายหาดทรายเกือบ 14 กิโลเมตร ของ จ. เพชรบุรีมีการถดถอยของชายฝั่งมายาวนานตลอด 60 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากการเคลื่อนที่ตะกอนสุทธิมีทิศทางไปด้านเหนือ และตกสะสมเป็นแนวสันทรายแหลมผักเบี้ย ถึงแม้อัตราการกัดเซาะชายฝั่งเฉลี่ยจะไม่อยู่ในขั้นวิกฤต (น้อยกว่า -5 เมตรต่อปี) แต่การถดถอยของชายฝั่งส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชนบริเวณชายฝั่งอย่างยิ่ง หน่วยงานที่รับผิดชอบจึงใช้โครงสร้างทางวิศวกรรม เช่น กำแพง

กันคลื่น เขื่อนตักตะกอน และเขื่อนกันคลื่น ในการสร้างเสถียรภาพให้แก่ชายฝั่ง ซึ่งการใช้โครงสร้างเหล่านี้ โดยเฉพาะเขื่อนกันคลื่น ที่มีความยาว 75-130 เมตร ส่งผลโดยตรงให้ชายฝั่ง จ.เพชรบุรี ที่เคยถูกกัดเซาะมีเสถียรภาพมากขึ้น และทำให้เกิดการรอกเพิ่มของหาดทรายด้านหลังโครงสร้างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการสร้างเสถียรภาพให้กับชายฝั่งดังกล่าว ทำให้ขาดตะกอนทรายไปเติมให้กับสันทรายแหลมผักเบี้ยซึ่งเป็นเสมือนคันตักตะกอนเลนตามธรรมชาติให้แก่ป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย ส่งผลให้ป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยซึ่งเป็นระบบนิเวศทางทะเลที่ใหญ่ที่สุดของจังหวัดเพชรบุรีหยุดการขยายตัว

สำหรับชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี ตั้งแต่แหลมผักเบี้ยถึงปากคลองบางตะบูนยาวประมาณ 29 กิโลเมตร มีลักษณะเป็นชายหาดโคลน ขอบชายฝั่งส่วนใหญ่ปกคลุมไปด้วยป่าชายเลนยกเว้นบริเวณชายฝั่งความยาวประมาณ 6 กิโลเมตร ตั้งแต่บ้านท่าท่าทำเนียบจนถึงบ้านปากทะเลนอก ที่พบการถดถอยของชายฝั่งรุนแรง (มากกว่า -5 เมตรต่อปี) อย่างต่อเนื่องในช่วงกว่าหกทศวรรษที่ผ่านมา ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งชี้ให้เห็นว่า การกัดเซาะในพื้นที่บ้านท่าท่าทำเนียบถึงบ้านปากทะเลนอกนั้นเกิดจากการปรับตัวตามธรรมชาติของแนวชายฝั่งให้สมดุลกับลักษณะคลื่นและกระแสน้ำ

ตั้งแต่ บ้านท่าท่าทำเนียบถึงบ้านหนองแห้ว (2.8 กิโลเมตร) มีการใช้กำแพงกันคลื่นเกือบตลอดทั้งแนว ในขณะที่พบการใช้เขื่อนกันคลื่นขนาด 40 เมตร จำนวน 14 ตัว ในการป้องกันชายฝั่งบ้านบางแก้ว ซึ่งอยู่บริเวณเดียวกัน จากการวิเคราะห์ข้อมูลตำแหน่งชายฝั่งในช่วงเวลาต่างๆ พบว่า การก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นทั้ง 14 ตัวนั้นมีประสิทธิผลในการป้องกันชายฝั่งน้อยกว่าการใช้กำแพงกันคลื่น ในขณะเดียวกันพบว่าโครงสร้างที่สร้างขึ้นไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของตะกอนในพื้นที่หรือการกัดเซาะที่รุนแรงบริเวณชายฝั่งท่าท่าทำเนียบถึงบ้านปากทะเลนอก เนื่องจากโครงสร้างที่มีอยู่ถูกสร้างอยู่ด้านท้ายน้ำของพื้นที่ อีกทั้งกำแพงกันคลื่นไม่ก่อให้เกิดการขวางทางการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ส่วนเขื่อนกันคลื่นที่สร้างขึ้นนั้นมีขนาดและตำแหน่งที่ไม่ก่อให้เกิดการตกตะกอนด้านหลังโครงสร้างจนขวางทางตะกอนที่เคลื่อนที่ลงได้อย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

สำหรับผลการศึกษาในครั้งนี้ สามารถนำผลการศึกษาเผยแพร่ในรูปแบบบทความทางวิชาการได้อย่างน้อย 2 บทความ คือ

- 1) ชื่อบทความ : Evolution of Mangrove Muddy Coast in the Western Coast of the Upper Gulf of Thailand over the Past Six Decades.

ผู้แต่ง Butsawan Bidorn, Panida Kongsawadworakul, Nathamon Phanomphongphaisarn, and Chaipant Rukvichai

งานประชุมวิชาการ: The Sixth International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC-2018), August 20-23, 2018, Caen, France.

สถานะ : บทความฉบับสมบูรณ์ได้รับการตอบรับให้นำเสนอในงานประชุมวิชาการ
เรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในภาคผนวก ก

2) ชื่อบทความ : Effects of coastal stabilization structures on mangrove
evolution in the western coast of the Upper Gulf of Thailand.

ผู้แต่ง : Butsawan Bidorn, Nathamon Phanomphongphaisarn, and Chaipant
Rukvichai

วารสารทางวิชาการ: Journal of Korean Society of Civil Engineering.

(ISI/Scopus Q2)

สถานะ : อยู่ระหว่างการเขียนบทความ

8. เอกสารอ้างอิง

กรมเจ้าท่า. (2539). “การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรมและสิ่งแวดล้อมและการ
ออกแบบเบื้องต้น เพื่อแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน,” รายงานฉบับ
สมบูรณ์, จัดทำโดย บริษัท เซ้าอีสท์เอเซียเทคโนโลยี จำกัด และ บริษัท บางกอกเอ็นเนียเนียริง
เซอร์วิสแอนด์เทคโนโลยี จำกัด.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2557). “สถานการณ์ชายฝั่งและการจัดการปัญหาการกัดเซาะ
ชายฝั่งจากอดีตจนถึงปัจจุบัน,” คู่มือสำหรับเจ้าหน้าที่รัฐส่วนกลาง, จัดทำโดย บริษัท วิสพธิ
คอนซัลแตนท์ จำกัด. ISBN: 978-616-91902-3-3, 280 หน้า.

กรมทรัพยากรธรณี. (2557). “การติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งในพื้นที่วิกฤติการกัดเซาะ
ชายฝั่งด้วยภาพถ่ายดาวเทียม,” กรุงเทพมหานคร : สำนักธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม.

กรมโยธาธิการ. (2538). “โครงการศึกษาและแก้ไขปัญหาการกัดเซาะตลิ่งริมทะเลด้านอ่าวไทย,”
รายงานฉบับสมบูรณ์, จัดทำโดย บริษัท แสปน จำกัด, บริษัท วอเตอร์ ดีเวลลอปเม้นท์ คอนซัล
เทนส์ จำกัด และ Netherland Engineering Consultants.

บุศวรรณ บิตร. (2546). “การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนรูปตัว ก,” รายงานวิจัย,
คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2537). “ลุ่มน้ำเพชรบุรี,” รายงาน
สุดท้ายการศึกษาศักยภาพการพัฒนาลุ่มน้ำ, จัดทำโดย ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. (2546). “แผนแม่บทการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง
ทะเล ตั้งแต่ปากแม่น้ำเพชรบุรี จ.เพชรบุรีถึงปากแม่น้ำปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์,”
รายงานฉบับสมบูรณ์, จัดทำโดย สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย และ บริษัท เซ้าอีสท์เอเซีย
เทคโนโลยี จำกัด.

- สำนักงานสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน) (สสนก). (2555). “ลุ่มน้ำเพชรบุรี,” รายงานการดำเนินการด้านรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลโครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 ลุ่มน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง. จัดทำโดย บริษัท แอสตีคอนคอร์ปอเรชั่น จำกัด, 138 หน้า.
- Bidorn, B. (2016). “Causes of shoreline recession in the Chao Phraya delta,” Doctoral dissertation, The Florida State University.
- Choowong, M., R. Songmuang, S. Phantuwongraj, V. Daorerk, P. Charusiri and L. Numeer. "Monitoring beach morphology changes and coastal sediment balance from Prachuap Khiri Khan, Thailand." BEST 2009, 2(1&2): 1-10.
- Prukpitikul, S., Narangjavana, P., and Tokrisna R. (2016). "Assessment of the Effects of Community Expansion and Land Use Transformation on a Coastal Area in Thailand." International Journal of Environmental Science and Development, 7(7): 537.
- Siripong, A. (2010). "Detect the coastline changes in Thailand by remote sensing." International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 38(Part 8): 992-996.
- Suh, K., and Dalrymple, R. A. (1987). “Offshore Breakwater in laboratory and field,” Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, American Society of Civil Engineers, 113(2): 105-121.
- Tessler, Z., Vörösmarty, C., Grossberg, M., Gladkova, I., Aizenman, H., Syvitski, J., and Foufoula-Georgiou, E. (2015). "Profiling risk and sustainability in coastal deltas of the world." Science, 349(6248): 638-643.
- Vongvisessomjai, S. (2007). "Impacts of Typhoon Vae and Linda on wind waves in the Upper Gulf of Thailand and East Coast." Songklanakarin Journal of Science and Technology, 29(5): 1199-1216.

ภาคผนวก ก

บทความนำเสนอในการประชุมทางวิชาการ

The Sixth International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC-2018)

August 20-23, 2018, Caen, France.

Evolution of Mangrove Muddy Coast in the Western Coast of the Upper Gulf of Thailand over the Past Six Decades

Butsawan Bidorn^{*}, Nathamon Phanomphonghaisarn, Chaipant Rukvichai

*Department of Water Resources Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand
Research Unit on Technology for Oil Spill and Contamination Management, Chulalongkorn University, Thailand*

Panida Kongsawadworakul

Department of Plant Science, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok, Thailand

Abstract: This study analyzed the shoreline change processes along the Phetchaburi intertidal mudflats with mangroves located on the western portion of the Upper Gulf of Thailand during the period 1953-2017. Historical shoreline positions along the coast were derived from the aerial photographs taken in 1953, 1967, 1976, 1994, 2002 and the satellite imagery in 2006, 2009, 2014, and 2017 using the Geographic Information System (ArcGIS) software. All imagery data were geo-referenced into Universal Transverse Mercator projection with the World Geodetic System 1983 (WGS1983) to eliminate distortion from the aerial photographs and satellite imagery. The shoreline positions along the study area were then digitized for each time period. The outer boundary of the mangrove forest was mainly used as a proxy to define shoreline positions of the muddy beach. The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.4 was used to analyze the changes of shoreline positions in the study area. Results from this study revealed that about 26% of the 30 km Phetchaburi muddy shoreline in the mid portion of the study area had continuously retreated over the past sixty years with an average rate of -6.5 ± 1.8 m/y. The remaining, which was mainly located in the uppermost portion (near the major river mouths) and the lowermost portion (near a natural sandspit) had advanced seaward with the maximum and average rates of 30.0 ± 1.8 and 8.6 ± 1.8 m/y, respectively. Unlike mangrove muddy coasts in other regions, the results of this study suggested that the conversion of mangrove forest to agriculture and shrimp farming had not affected the rate of shoreline accretion of the study area. The variation of shoreline advanced rates likely reflected the changes in river sediment supply from the Phetchaburi River basin and in coastal sediment transport processes of the Phetchaburi coastal system. Meanwhile, the local wave and current conditions and the adjacent shoreline stabilization appeared to be the major factors dominating the shoreline recession of the Phetchaburi coast during the past six decades.

Key words: shoreline change, mangrove deforestation, coastal erosion, human activities.

^{*} Corresponding author. Email: butsawan.p@chula.ac.th

1. Introduction

Coasts are a highly dynamic landform that is continuously modified by natural processes and anthropogenic activities (Mujabar and Chandrasekar, 2001; Saito et al., 2001). Shoreline change along deltaic coasts is a chronic problem in many regions such as the Yellow River and Pearl River deltas in China, Mekong River delta in Vietnam, and Chao Phraya River in Thailand (Li and Damen, 2010; Saito et al. 2007; Uehara et al., 2010). Rapid industrialization and urbanization combined with improper coastal zone management can cause various coastal hazards, for example, land subsidence, beach erosion,

flooding, storm impacts, seawater intrusion, and river channel siltation (Mujabar and Chandrasekar, 2001; Hapke et al. 2006; Saito et al., 2007; Hapke et al., 2009; Siripong, 2010). Shoreline position is commonly used as a monitoring indicator of environmental change (Camfield and Morang, 1996; Hapke et al. 2009). Therefore, information regarding past and present trends and rates of shoreline movement are vital for better understanding of coastal processes and for sustainable coastal planning and management including coastal environmental protection.

Even though shoreline movement processes in deltaic coasts have been documented by several studies (Blodget et al., 1991; Thanh et al., 2004; Thampanya et al., 2006;

Chaverot et al., 2008; Yang et al., 2015; Anthony et al., 2017), the shoreline change studies of intertidal coasts in tropical regions are still erratic (Uehara et al., 2010). In Thailand, muddy coasts adjacent to several major rivers have undergone a significant shoreline retreat for decades, especially the deltaic coasts situated in the northern part of the Upper Gulf of Thailand, such as the Chao Phraya River, Tha Chin River, and Bang Pakong River deltas (Fig. 1) (Bidorn, 2016; Natalaya et al., 1996; Uehara et al., 2010; Vongvisessomjai et al., 1996; Winterwerp et al., 2005). The recession of shoreline was reported as much as about 1 km during the past sixty years. The objective of this study is to quantitatively assess the shoreline changes of the Phetchaburi mangrove muddy coast located in the western portion of the Upper Gulf of Thailand. The evolution of the mangrove muddy coast during the period 1953-2017 was evaluated using geographic information system framework. Results of this study will facilitate future multidisciplinary studies on coastal environmental management and protection not only in the study area but hopefully also be useful in other similar low-lying areas.

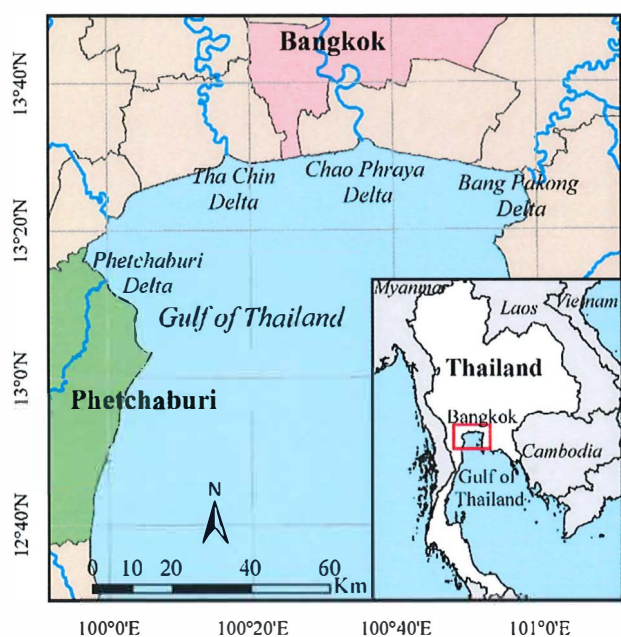


Figure 1. Major deltas in the upper Gulf of Thailand

2. Study Area

The study area lies between 13° 02'-13° 16' N latitude and 99° 57'-100° 07' E longitude, and the coastline extends for approximately 30 km from Lam Phak Bia spit and Bang Ta Bun channel as a part of the coastal zone of Phetchaburi Province (Fig. 2). The coast is characterized by active tidal flats, estuaries, and mangrove forests with an average beach gradient less than 4° (Office of the Nation Economic and Social Development Board, 1993; Office of Environmental Policy and Planning, 2000). The Phetchaburi River delta is alluvial deposits formed during Quaternary period, and the

coastal plain mostly comprises of silty clay. With the long period of delta development and the width of 500 m, the Phetchaburi River delta is considered as the oldest and largest river delta in Thailand (Office of the Nation Economic and Social Development Board, 1993).

The Phetchaburi coast has a tropical monsoon climate characterized by the Southwest and Northeast monsoon seasons. The Southwest monsoon starting from May and ended in October brings moderate to heavy rains into the study area. The Northeast monsoon brings cold and dry air from the land between November and February; these winds generate high waves on the Phetchaburi coast. An annual rainfall in this study averages about 1,000 mm (Hydro and Agro Informatics Institute, 2012). The major rivers of the study area are the Phetchaburi River and Bang Ta Bun Channel.

Astronomical tides in the Gulf of Thailand are diurnal or mixed and typically have a range of more than 2 m (Hydro and Agro Informatics Institute, 2012), and the tidal current ranges between 0.25 and 0.40 m/s during the flood tide and between 0.1 and 0.15 m/s during the ebb tide. For wave climate in the study area, wave height less than 1.25 m is predominant (90%), and the wave period was between 4 and 5 seconds. Fishery and aquaculture farming in backwater are the major economic activities along this coast (Office of the Nation Economic and Social Development Board, 1993; Hydro and Agro Informatics Institute, 2012).

3. Materials and Methods

3.1 Data Sources and Geo-referencing

Information on shoreline positions along the Phetchaburi coast from series of aerial photographs (1953, 1967, 1976, 1994, and 2002) and high-resolution satellite imagery (2006, 2009, 2014, and 2017) was used to quantify historical shoreline changes over the past six decades. All aerial photos were georeferenced to the 2002 georeferenced map and were rectified to remove image distortion due to changes in altitude along the flight lines (Alberico et al., 2012) using ArcGIS release 10.4. Satellite imagery data acquired from Google Earth Pro were also georeferenced with the map of 2002. The details regarding aerial photograph and satellite data including the errors associated the georeferencing procedure are listed in Table 1.

3.2 Shoreline Detection and Digitization

Nine shoreline positions during the period 1953-2017 along the Phetchaburi coast were digitized from georeferenced aerial photographs and satellite imagery using ArcGIS. Different descriptions of shoreline were used in the scientific literature (Alberico et al., 2012). As the coastline along the study area comprises of the natural muddy coast with mangrove at the fringe and urbanized

coast, seaward edge of vegetation was used as shoreline proxy for the natural coast and as suggested by Zhang et al. (2014). Additionally, roads, bridges, dikes, seawalls, and structures were used to define the coastline of artificial or urbanized coasts.

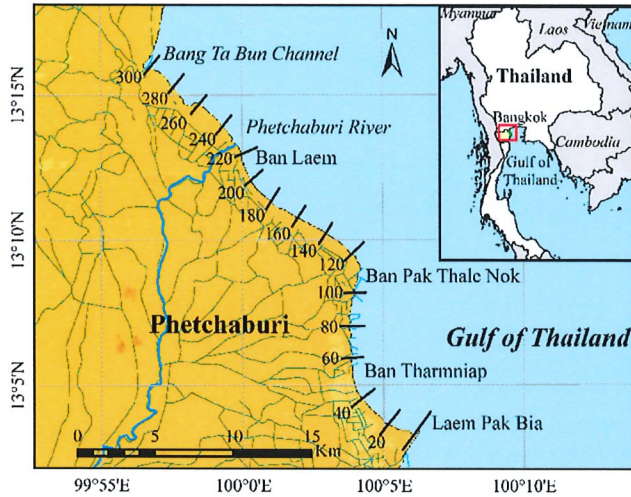


Figure 2. Phetchaburi coast and the plot of transects used for evaluating shoreline change from Laem Pak Bia spit to Bang Ta Bun Channel

Table 1. List of data sources used for assessing shoreline change along the Phetchaburi muddy coast

Year	Data source	Scale	RMSE (m)
1953	Aerial photo	1:42,000	9.2
1967	Aerial photo	1:15,000	9.5
1976	Aerial photo	1:50,000	3.4
1994	Aerial photo	1:50,000	4.5
2002	Orthophoto map	1:4,000	Base map
2006	Satellite imagery ^a	1: 1,500	1.5
2009	Satellite imagery ^a	1: 1,500	1.7
2014	Satellite imagery ^a	1: 1,500	1.5
2017	Satellite imagery ^a	1: 1,500	1.0

^a Downloaded in TIFF format at no cost from Google Earth Pro software. (<https://www.google.co.th/intl/th/earth/download/gep/agree.html>)

3.3 Shoreline Change Rate Calculation

The rates of shoreline change along the coast were calculated using USGS Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.4, which is an extension of ArcGIS (Thieler, 2011). To measure shoreline positions between

1953 and 2017 using DSAS, A total number of 300 transects were automatically generated perpendicular to the baseline at 100 m spacing as illustrated in Fig. 2. Then, the shoreline change for each time period corresponding to the baseline was calculated using either linear regression, endpoint rate, or weighted-linear regression rate. In this study, the analyses of changes in shoreline position during the periods 1953-2017 and 2002-2017 were performed to determine the long-term and short-term coastline trends, respectively. The statistic of shoreline change rates was calculated with 90 percent of the confident interval.

4. Results and Discussion

Figure 3 shows the historical shoreline changes during the period 1953-2017. The long-term and short-term rates of the shoreline evolution are summarized in Table 2. It was revealed that about 26% of the 30 km Phetchaburi muddy shoreline in the mid portion of the study area had continuously eroded with an average rate of -6.5 ± 1.8 m/y during the past six decades. While the remaining coast had advanced seaward with the maximum and average rates of 30.0 ± 1.8 and 8.6 ± 1.8 m/y, respectively. To understand shoreline change in details, the study area was divided into four portions as Cell-1, Cell-2, Cell-3, and Cell-4 as depicted in Fig. 3. The Cell-1 extended from Laem Phak Bia Spit to Ban Tharmniap (transects 1-51) with the length of 5 km; Cell-2 had 6.3 km long started from Ban Tharmniap to Ban Pak Thale Nok (transects 52-115). The Cell-3 stretched from Ban Pak Thale Nok to the Phetchaburi River mouth (transects 116-228) with a 10.5 km long coastline, and Cell-4 was a 7.1 km long of coastline between the Phetchaburi River mouth and Bang Ta Bun Channel (transects 229-300). The major shoreline change trends are discussed in the following subsections.

4.1 Laem Pak Bia Spit Zone (Cell-1)

The 5 km coastline of Laem Pak Bia area (Cell-1 in Fig. 3), which accounts for 17% of the study area coastline located in the southernmost of the study area. This cell is characterized by fringe mangroves or tide-dominated mangroves. The results of this study indicated that the Cell-1 shoreline has continuously moved seaward owing to the colonization of the mangrove forest in this area (Fig. 3). Long-term and short-term shoreline changes were analyzed along 5 km of this portion as shown in Figs. 4 and 5, respectively. The long-term shoreline change rate for the Cell-1 was accretional with an average rate of 11.5 m/y. The highest shoreline advance rate of about 28 m/y was found in an area adjacent to the Laem Pak Bia spit, which functions as a natural groin trapping the southward sediment transport. The net area evolution of this cell over the past six decades was approximately 400 ha (6.3 ha/y).

Whereas many studies documented that aquaculture expansion was a major cause of mangrove destruction (Wolanski et al., 2000; Muttithanon and Tripathi, 2005; Seto and Fragkias, 2007; Ha et al., 2012; Hossain et al.,

2013; Rahman et al., 2013; Ottinger et al., 2016), the analysis of shoreline evolution in this cell revealed that the conversion of mangroves to aquaculture which has been promoted in this section by 1967 did not cause mangrove degradation in this area. In contrast, the highest rate of mangrove extension (14 m/y) occurred during the intensive agricultural expansion period (1976-1994).

In the short term (2002-2017), the rate of shoreline growth significantly decreased to less than 2 m/y, and the maximum shoreline advance near the Laem Pak Bia spit also reduced to 8 m/y during the past 25 years. Only 21 ha of land advanced seaward in this cell recently, and the land accumulation rate decreased more than 85% (less than 1 ha/y) compared to the long-term rate. This indicated the

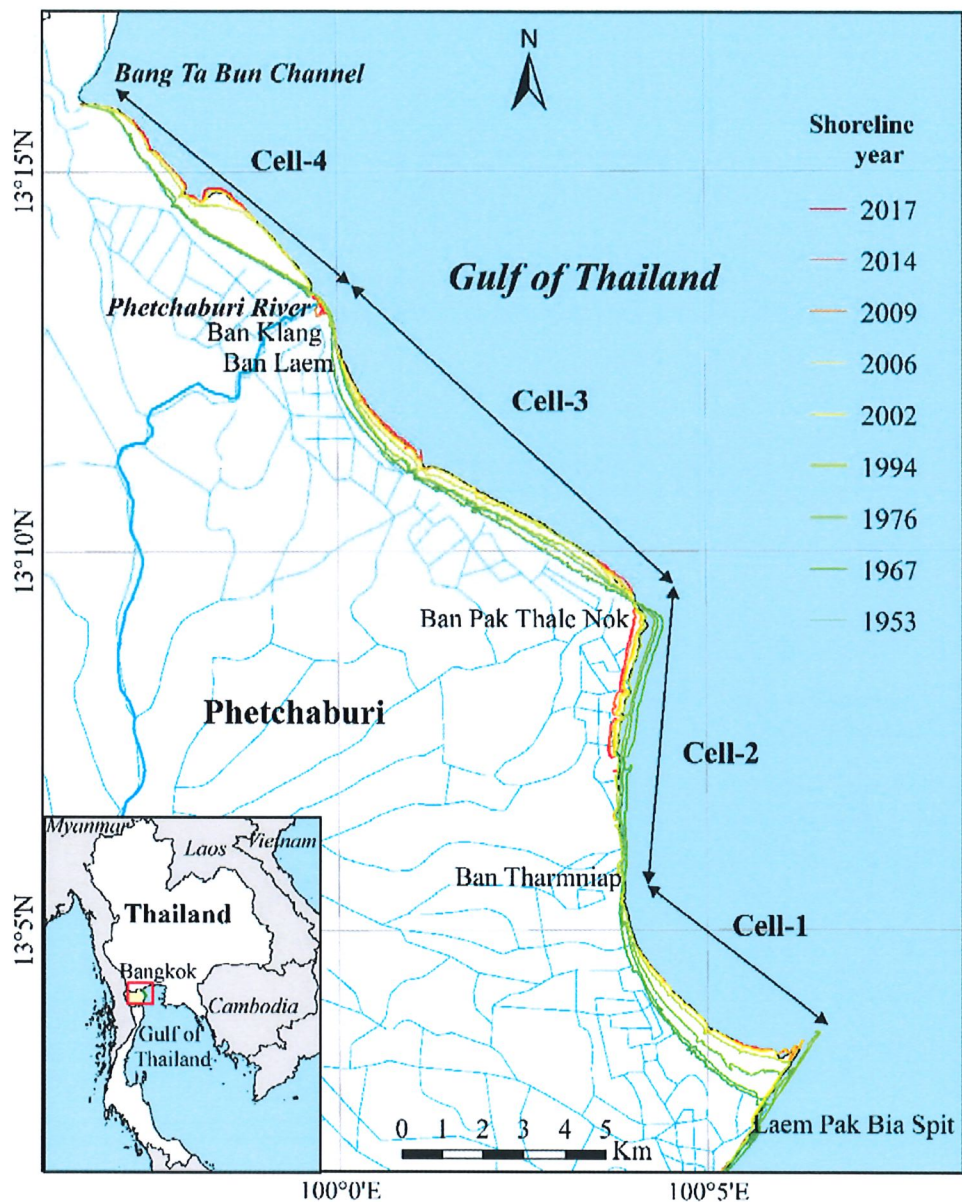


Figure 3. Shoreline changes along the Phetchaburi coast from 1953 to 2017

considerable reduction on the sediment transported southward during the past 15 years.

4.2 Ban Pak Thale Nok Zone (Cell-2)

The Ban Pak Thale Nok or Cell-2 section extends 6.3 km from the north of the Cell-1 to Ban Pak Thale Nok (Fig.

3). This section covers about 21% of the total muddy coastline of the Phetchaburi Province, and it is the only section that no fringe mangrove was found along the shoreline. Most of the coastline has been urbanized and developed for aquacultures by 1953. Results from the long-term shoreline change analysis indicated that the Cell-2 had

a recessional trend, and the coastline of this cell had continuously retreated with an average erosion rate of -6.5 m/y. Along approximately 6.3 km of coastline between transects 52 and 115 has experienced a severe shoreline retreat with the erosion rate greater than -5 m/y. The highest rate of long-term shoreline retreat, -11.9 m/y, was found at Ban Pak Thale Nok (transects 111). The low rate of shoreline erosion was found in the remaining portion where the coast has been protected by coastal protection structures, such as seawalls and segment breakwaters.

The continuous erosion in this cell seemed to be shoreline adjustment in response to natural wave climate in the study area. Based on the short-term analysis, although, the average retreat rate slightly decreased to -5.6 m/y during the last 15 years, the highest short-term rate of shoreline retreat increased to about -19 m/y and occurred along Ban Thale Nok coast on which aquaculture farms have been intensively developed. Even though several studies suggested that severe shoreline erosion on muddy flat in Thailand may be caused by conversion of mangrove to aqua-culture ponds (Naohiro et al., 2012; Saito et al., 2001; Siripong, 2010; Thampanya et al., 2006; Winterwerp et al., 2005), those aquaculture ponds just have accelerated the shoreline retreat rate. However, they seemed not to be a major cause of the coastal erosion along the Cell-2, since the pond dikes were devastated by wave action. The sea water rapidly encroached into those ponds and jumped up the rate of shoreline retreat in the area.

Table 2. Shoreline change trends along the Phetchaburi muddy coast during the period 1953-2017

Zone	Transect No.	Shoreline change rate (m/y)			
		Long-term trend (± 1.8 m/y)		Short-term trend ($< \pm 1.0$ m/y)	
		Ave.	Max.	Ave.	Max.
Cell-1	1-51	11.5	28.4	1.9	18.0
Cell-2	52-115	-6.5	-11.9	-5.6	-18.8
Cell-3	116-228	6.3	2.6	2.7	14.2
Cell-4	229-300	9.6	30.0	2.9	30.0

The sediment from the eroded coast along the Cell-2 were transported to the south during the Northeast monsoon and were trapped by the Laem Pak Bia spit resulting in the significant shoreline accumulation along the Cell-1 (as discussed in Section 4.1), even though the fringe mangrove forest in the Cell-1 had also been converted to salt pans and shrimp farms by 1960s. As mentioned above, the conversion of mangrove to aquaculture did not directly drive the shoreline recession in this region. From Table 2, it reveals that total land losses over the past 60 years in the Cell-2 was about 280 ha, and only 56 ha occurred during the last 15 years. The land losses from the Cell-2 to Cell-1

seemed to be accounted for 70% and 80% of the Cell-1's land accretion for the long-term and short-term, respectively.

4.3 Ban Laem Zone (Cell-3)

Ban Laem section (Cell-3) had about 11 km long of the coastline (about 35% of the total study coastline) stretching between Ban Pak Thale Nok and the Phetchaburi River mouth (from transects 116 to 228). Similar to the Cell-1, the Cell-3 coast is characterized by fringe mangrove. The comparison of shorelines between 1953 and 2017 showed that most of the Cell-3 coastline has constantly developed seaward by 6.3 m/y on average except the 1 km of coastline adjacent to the Phetchaburi River mouth (transects 216-228) that has eroded with the long-term rate of -1.3 m/y. The land accretion in this cell over the past six decades was totally about 415 ha. Because the location of the Phetchaburi River mouth directly confronts the northeasterly wave, the sediment discharged from the river transport separately in two directions, northward and southward of the river. The southward sediment transport plays a major role in land growth process along the Cell-3 coast as the major sediment source of the cell.

Similar to the Cell-1, the impact of aquaculture development along the Cell-3 was not significant during the past 60 years. The highest average rate of shoreline movement in this section was 14 m/y during the period 1967-1976. An expansion of mangrove forest (>6 m/y) was still observed even during the aquaculture blooming period (1976-1997). The amount of riverine sediment supplied from the Phetchaburi River and the network of irrigation channel (Fig. 3) seemed to be the dominant factor controlling the proliferation of mangrove in this cell.

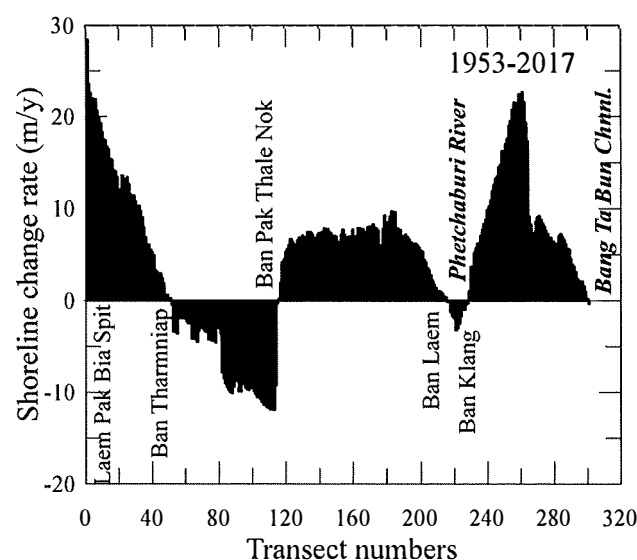


Figure 4. Long-term shoreline changes along the Phetchaburi coast from 1953 to 2017

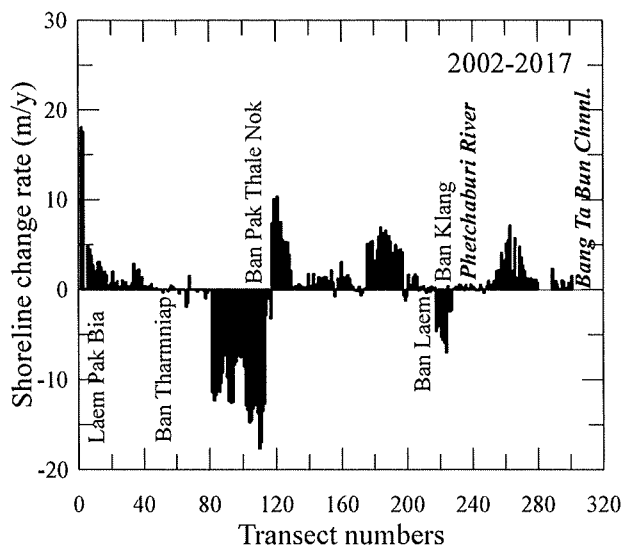


Figure 5. Short-term shoreline changes along the Phetchaburi coast from 2002 to 2017

However, based on the short-term analysis, the average rate of shoreline advance during the past 15 years in this cell significantly decreased to 2.7 m/y. Meanwhile, the rate of shoreline erosion adjacent the Phetchaburi River mouth rose to -2.3 m/y, and only 31 ha of land accumulation occurred during this period. Figure 5 revealed that 7% of the Cell-3 shoreline had the high short-term rate of shoreline accretion (>5 m/y). The low shoreline advanced rate (< 2 m/y) was found along the 78% of total coastline in this section. Meanwhile, the remaining coastline had experienced shoreline recession during the last 15 years. The reduction of land accumulation combined with the extension of eroded coastline found along the Cell-3 clearly indicated a significant decline in riverine and longshore sediment supply to this coastal cell. The total land loss in this cell over the past 60 years was about 5 ha, and almost 58% of the loss took place during the last 15 years.

4.4 Ao Bang Ta Bun zone (Cell-4)

The Ao Bang Ta Bun section (Cell-4) has approximately 7 km long of coastline extending from the Phetchaburi River to Bang Ta Bun Channel mouths (transects 229-300) as depicted in Fig.3. In this section, the coast fringe was covered with mangrove belt as found in Cell-1 and Cell-3. The net long-term shoreline change rate for this cell was accretion with an average of almost 10 m/y. The maximum long-term rate of shoreline accretion, almost 30 m/y, was found at transect 261 where the northward sediment transport from the Phetchaburi River and the southward sediment transport from the Bang Ta Bun Channel converged. Since this cell received sediment from those of river channels but different direction, this cell became an accretionary zone. Regarding its depositional environment, the fringe mangrove along the coast has rapidly colonized, and the Cell-4 shoreline has continued to

grow seaward along most of its coastline, especially in the middle portion of the cell. Totally, the long-term land growth of this cell was approximately 360 ha over the past six decades. In a similar manner to the Cell-1 and Cell-3, even though mangrove deforestation for aquaculture along the Cell-4 coastline was intensive during the period 1976-1997, the mangrove forest expansion rate was about 11.6 m/y due to the high rate of sediment supplied from the Phetchaburi River, the Bang Ta Bun Channel and the irrigation channel network (Fig. 3).

Based on the short-term analysis of this cell, the results indicated that the shore-line advance rate considerably decreased during the recent 15 years with the average shoreline accretion rate of 2.9 m/y. The significant shoreline advance was found only along 2.5 km coastline at the mid of the cell. The reduction in shoreline growth and mangrove colonization rates in the Cell-4 indicated a significant change in coastal environment. The change possibly related to the change in riverine sediment supply due to the freshwater management for agricultural and tourism purposes during the past few decades. Another possible factor affected the rate of shoreline advance in this area is relative sea level change, which is responsible for severe shoreline retreat in some muddy beaches nearby the study area such as the Chao Phraya delta (Bidorn, 2016).

5. Conclusion

In this paper, the historical shoreline changes along the Phetchaburi muddy coast was assessed. Based on the long-term analyzes of 300 transects, the 30 km coastline of the study area had an accretional trend with the average net rate of long-term 3.1 m/y. Approximately 76% of the total coastline had continuously advanced with an average shoreline growth of 8.6 m/y, and the maximum shoreline advance of 30 m/y was found between the Phetchaburi River and Bang Ta Bun Channel mouths, which are the major sediment supply sources in the study area. Most of the accretion coastlines are characterized by fringe mangrove. Meanwhile, the remaining coastline has experienced shoreline recession, and the average shoreline retreat rate was about -6.5 m/y over the past six decades. The erosional trends were found along the 6.3 km coastline between Ban Tharmniap and Ban Pak Thale Nok; the highest rate of shoreline retreat was up to -12 m/y at the tip Ban Pak Thale Nok coast. In overall, the land loss and land growth along the Phetchaburi's coast during the period 1953-2017 were totally 287 ha and 1165 ha, respectively.

Results from the short-term analysis indicated that the majority of Phetchaburi muddy coast was still advancing seaward during the last 15 years, but the rate of shoreline growth was significantly plummeted to less than 3 m/y. This trend can be implied that the Phetchaburi coastal environment has changed, and the changes are likely associated with the decrease in riverine sediment supply and relative sea level rise due to human activities. Meanwhile, the percentage of eroding beaches decreased to

14% as a result of coastal protection measures. However, the maximum rate of the shoreline recession in some unprotected areas rose to -18 m/y. As the long- and short-term shoreline retreat rates are slightly different, local coastal processes seem to be a major factor that controlled the pattern of shoreline retreat in this area. The results also suggested that the fringe mangroves can be only found in the area with the depositional environment. From 2002 to 2017, the total land loss and land growth were 58 ha and 118 ha, respectively.

Additionally, in contrast to the mangrove muddy coasts in other regions, such as Vietnam, Indonesia, Bangladesh, and even in the Southern part of Thailand, the population of mangrove along the Petchaburi muddy coast had not affected by the conversion of mangrove to aquaculture. The results showed that if the river basin system can provide a sufficient sediment to maintain a depositional environment along the coast, the mangrove can naturally and rapidly proliferate. Therefore, the pattern of mangrove evolution possibly can be used as a proxy to indicate the changes in riverine sediment supply, which typically involves the changes in climate and human activities.

Acknowledgments

The study was financially supported by the Grants for Development of New Faculty Staff, Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund and Research Assistantship Fund, Graduate School, Chulalongkorn University.

References

- Alberico, I., Amato, V., Aucelli, P., D'Argenio, B., Di Paola, G. and Pappone, G. 2012. "Historical Shoreline Change of the Sele Plain (Southern Italy): The 1870-2009 Time Window", *Journal of Coastal Research*, 28, 1638-1647.
<https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-10-00197.1>
- Anthony, E., Dussouillez P., Dolique F., Besset M., Brunier G., Nguyen V. and Goichot M. 2017. "Morphodynamics of an Eroding Beach and Foredune in the Mekong River Delta: Implications for Deltaic Shoreline Change", *Continental Shelf Research*, 147, 155-164.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.06.018>
- Bidorn, B. 2016. "Causes of Shoreline Recession in the Chao Phraya Delta", Ph.D. Dissertation, Florida State University, USA.
- Blodget, H., Taylor, P. and Roark, J. 1991. "Shoreline Changes along the Rosetta-Nile Promontory: Monitoring with Satellite Observations", *Marine Geology*, 99, 67-77.
[https://doi.org/10.1016/0025-3227\(91\)90083-G](https://doi.org/10.1016/0025-3227(91)90083-G)
- Camfield, F.E. and Morang, A. 1996. "Defining and Interpreting Shoreline Change", *Ocean & Coastal Management*, 32, 129-151.
[https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(96\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(96)00059-2)
- Chaverot, S., Héquette, A. and Cohen, O. 2008. "Changes in Storminess and Shoreline Evolution along the Northern Coast of France during the Second Half of the 20 Century", *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 52, 1-20.
<https://doi.org/10.1127/0372-8854/2008/0052S3-0001>
- Ha, T. T. T., van Dijk, H., and Bush, S. R. 2012. "Mangrove conservation or shrimp farmer's livelihood? The devolution of forest management and benefit sharing in the Mekong Delta, Vietnam" *Ocean & coastal management*, 69, 185-193.
- Hapke, C.J., Reid, D. and Richmond B.M. 2009. "Rates and Trends of Coastal Change in California and the Regional Behavior of the Beach and Cliff System", *Journal of Coastal Research*, 25, 603-615.
<https://doi.org/10.2112/08-1006.1>
- Hapke, C.J., Reid, D., Richmond, B.M., Ruggiero, P. and List, J. 2006. "National Assessment of Shoreline Change Part 3: Historical Shoreline Change and Associated Coastal Land Loss along Sandy Shorelines of the California Coast. US Geological Survey Open-File Report, 1219, 27.
- Hossain, M. S., Uddin, M. J., and Fakhruddin, A. N. M. 2013. "Impacts of shrimp farming on the coastal environment of Bangladesh and approach for management" *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 12(3), 313-332.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11157-013-9311-5>
- Hydro and Agro Informatics Institute. 2012. "Phetchaburi River Basin." (in Thai)
<http://www.thaiwater.net/web/attachments/25basins/19-petchaburi.pdf>
- Li, X. and Damen, M.C. 2010. "Coastline Change Detection with Satellite Remote Sensing for Environmental Management of the Pearl River Estuary, China", *Journal of Marine Systems*, 82, S54-S61.
<https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2010.02.005>
- Mujabar, P.S. and Chandrasekar, N. 2001. "Shoreline Change Analysis along the Coast between Kanyakumari and Tuticorin of India using Remote Sensing and GIS", *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 647-664.
<https://doi.org/10.1007/s12517-011-0394-4>
- Muttitanon, W., and Tripathi, N. K. 2005. "Land use/land cover changes in the coastal zone of Ban Don Bay, Thailand using Landsat 5 TM data", *International Journal of Remote Sensing*, 26(11), 2311-2323.
<https://doi.org/10.1080/0143116051233132666>
- Naohiro, M., Putth, S. and Keiyo, M. 2012. "Mangrove Rehabilitation on Highly Eroded Coastal Shorelines at

- Samut Sakhon, Thailand”, *International Journal of Ecology*, 2012, 1-11.
<https://doi.org/10.1155/2012/171876>
- Natalaya, P., Yong, R.N., Chumnankit, T. and Buapeng, S. 1996. “Land Subsidence in Bangkok during 1978-1988”, In *Sea-level rise and coastal subsidence*, Springer, 131-150.
https://doi.org/10.1007/978-94-015-8719-8_6
- Office of Environmental Policy and Planning. 2000. “Mitigation of erosion problems along the coast from Phetchaburi River mouth, Phetchaburi Province, to Pranburi River mouth, Prachuap Kirikhan Province”, [Master plan report]. (in Thai)
- Office of the Nation Economic and Social Development Board. 1993. “Potentiality of the Phetchaburi River Basin Development”, [Report]. (in Thai)
- Ottinger, M., Clauss, K., and Kuenzer, C. 2016. “Aquaculture: Relevance, distribution, impacts and spatial assessments—A review”, *Ocean & Coastal Management*, 119, 244-266.
- Rahman, A. F., Dragoni, D., Didan, K., Barreto-Munoz, A., and Hutabarat, J. A. 2013. “Detecting large scale conversion of mangroves to aquaculture with change point and mixed-pixel analyses of high-fidelity MODIS data”, *Remote Sensing of Environment*, 130, 96-107.
- Saito, Y., Chaimanee, N., Jarupongsakul, T. and 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, 3-9.
- Saito, Y., Yang, Z. and Hori, K. 2001. “The Huanghe (Yellow River) and Changjiang (Yangtze River) Deltas: A Review on Their Characteristics, Evolution and Sediment Discharge during the Holocene”, *Geomorphology*, 41, 219-231.
[https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00118-0](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00118-0)
- Seto, K. C., and Fragkias, M. 2007. “Mangrove conversion and aquaculture development in Vietnam: A remote sensing-based approach for evaluating the Ramsar Convention on Wetlands” *Global Environmental Change*, 17(3-4), 486-500.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.03.00>
- Siripong, A. 2010. “Detect the Coastline Changes in Thailand by Remote Sensing”, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38, 992-996.
- Thampanya, U., Vermaat, J., Sinsakul, S. and Panapitukkul, N. 2006. “Coastal erosion and mangrove progradation of Southern Thailand”, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 68, 75-85.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.01.011>
- Thanh, T.D., Saito, Y., Van Huy, D., Nguyen, V.L., Ta. T. and Tateishi, M. 2004. “Regimes of Human and Climate Impacts on Coastal Changes in Vietnam”, *Regional Environmental Change*, 4, 49-62.
<https://doi.org/10.1007/s10113-003-0062-7>
- Thieler, E. 2011. “Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change”, US Geological Survey Open-File Report.
- Uehara, K., Sojisuporn, P., Saito, Y. and Jarupongsakul, T. 2010. “Erosion and Accretion Processes in a Muddy Dissipative Coast, the Chao Phraya River delta, Thailand”, *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 1701-1711.
<https://doi.org/10.1002/esp.2012>
- Vongvisessomjai, S., Polsi, R., Manotham, C., Srisaengthong, D. and Charulukkana, S. 1996. “Coastal Erosion in the Gulf of Thailand”, in Milliman, J.D. and Haq, B.U., Eds, *Sea-level Rise and Coastal Subsidence: Causes, Consequences, and Strategies*, Springer, 105-130.
https://doi.org/10.1007/978-94-015-8719-8_7
- Winterwerp, J.C., Borst, W.G. and De Vries, M.B. 2005. “Pilot Study on the Erosion and Rehabilitation of a Mangrove Mud Coast”, *Journal of Coastal Research*, 223-230.
<https://doi.org/10.2112/03-832A.1>
- Wolanski, E., Spagnol, S., Thomas, S., Moore, K., Alongi, D., Trott, L., and Davidson, A. 2000. “Modelling and visualizing the fate of shrimp pond effluent in a mangrove-fringed tidal creek”, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50 (1), 85-97.
- Yang, Z., Wang, T., Voisin, N. and Copping, A. 2015. “Estuarine Response to River Flow and Sea-Level Rise under Future Climate Change and Human Development”, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2, 156, 19-30.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.08.015>
- Zhang, X., Pan, D., Chen, J., Zhao, J., Zhu, Q. and 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, 9930-9950.
<https://doi.org/10.3390/rs6109930>