มาตรการปรับตัวต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลโดยการเติมทรายชายหาด ณ หาดบ้านเพ จังหวัดระยอง

Adaptation Measure to Sea Level Rise by Beach Nourishment at Banpae Beach, Rayong Province

ภัทรกร นิธินรางกูร[1,*] และ สมปรารถนา ฤทธิ์พริ้ง[2]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยโตเกียว บุนเกียว กรุงโตเกียว 113-8654

[2]ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพมหานคร10900

Pattrakorn Nidhinarangkoon[1,*] and Sompratana Ritphring[2]

[1]Department of Civil Engineer, Faculty of Engineering, The University of Tokyo,

Bunkyo city, Tokyo, 113-8654, Japan

[2] Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University,

Lat Yao Subdistrict, Chatuchak district, Bangkok, 10900, Thailand

***Corresponding Author E-mail:** pattrakorn.n@gmail.com

Received: Aug 24, 2022; **Revised:** Feb 19, 2023; **Accepted:** Feb 20, 2023

บทคัดย่อ

ชายฝั่งทะเลคือพื้นที่ที่มีความเป็นพลวัตสูง พื้นที่ชายฝั่งกว่า 70% ทั่วโลกกำลังเผชิญกับปัญหาระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงภัยพิบัติทางทะเลที่มีแนวโน้มมากขึ้นทั้งความถี่และความรุนแรง ผลกระทบทางตรงจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลคือพื้นที่ริมชายฝั่งจะค่อยๆหายไปจากการปรับสมดุลใหม่ของกระบวนการทางชายฝั่งทะเลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ซึ่งการหายไปของชายหาดที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์เพื่อการท่องเที่ยวนั้น อาจส่งผลกระทบต่อความเสียหายทางเศรษฐกิจมากกว่าชายหาดที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์ในด้านอื่น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคตบริเวณชายหาดบ้านเพ ซึ่งเป็นชายหาดท่องเที่ยวของ อ.เมือง จ.ระยอง ด้วยแบบจำลองบรูน ร่วมกับการสำรวจภาคสนาม พร้อมทั้งใช้มาตรการเติมทรายชายหาดเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยพบว่า ความกว้างของชายหาดที่อาจถูกกัดเซาะในอนาคตมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 16–27 เมตร โดยมีปริมาตรชายหาดสูญเสียเฉลี่ยประมาณ 5.0–8.4 แสนลูกบาศก์เมตร เมื่อเลือกมาตรการเติมทรายชายหาดเพื่อบรรเทาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต พบว่า งบประมาณที่จำเป็นต้องใช้อยู่ในช่วงประมาณ 294–493 ล้านบาท จากสถานการณ์สมมติในอนาคต ผลจากการศึกษานี้จะมีส่วนช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเลือกมาตรการเพื่อบรรเทาผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคตสำหรับชายหาดบ้านเพ รวมถึงชายหาดท่องเที่ยวอื่นๆต่อไป

คำสำคัญ: เติมทรายชายหาด, การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล, กัดเซาะชายฝั่ง, แบบจำลองบรูน

Abstract

Coastal zone is one of the most dynamic areas in the world. More than 70 percent of the coastal areas around the world are experiencing the effect of sea level rise. In addition, Climate change has exacerbated the intensity and frequency

of coastal disasters. The gradual erosion of the coast owing to the shoreline recovery process is the direct effect of sea level rise. The economy is affected severely by the loss of tourism beaches more than other types of beaches. This study aims to use Bruun rule with the field investigation to analyze the future beach loss due to sea level rise at Banpae tourism beach, which is located in Rayong Province. The beach nourishment was determined to be the adaptation measure in this study. Results showed that the average loss of beach width will be about 16–27 meters and the average beach volume is projected to be lost about 5.0–8.4 hundred thousand cubic meters. The cost of adaptation to sea level rise in the future by using beach nourishment was estimated about 294–493 million baht for the future scenarios, respectively. The results will support the planning of adaptation to sea level rise for Banpae beach and other tourism beaches in the further.

Keywords: Beach nourishment, Sea level rise, Coastal erosion, Bruun rule

1. บทนำ

ในปี ค.ศ. 2007 พบว่า 60% ของเมืองริมชายฝั่งทะเลที่มีประชากรมากกว่า 5 ล้านคนนั้นตั้งอยู่ในระยะไม่เกิน 100 กิโลเมตรจากชายฝั่ง [1] ชายฝั่งทะเลนั้นนับได้ว่าเป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลากทางชีวภาพและเป็นหนึ่งในสิ่งแวดล้อมบนโลกที่มีความเป็นพลวัตมากที่สุด [2] และกำลังถูกคุกคามอย่างหนักจากทั้งธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ [3] ทั้งยังมีความเปราะบางสูงต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ [4] ซึ่งส่งผลกระทบต่อพื้นที่ชายฝั่งทะเลในหลายมิติ เป็นต้นว่า การกัดเซาะชายฝั่ง น้ำท่วมริมชายฝั่ง พายุซัดฝั่ง การแทรกตัวของน้ำทะเลริมชายฝั่ง [5] โดยกระทบทั้งสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม ของผู้ที่ตั้งถิ่นฐานและใช้ประโยชน์ริมชายฝั่งทะเล

จากการศึกษาในปี ค.ศ. 2014 พบว่าพื้นที่ชายฝั่งกว่า 70% ทั่วโลกกำลังเผชิญกับปัญหาระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 20% จากค่าระดับน้ำทะเลโลกเฉลี่ย รวมถึงภัยพิบัติทางทะเลที่มีแนวโน้มมากขึ้นทั้งความถี่และความรุนแรง [6] โดยนักวิทยาศาสตร์คาดเดากันว่าพื้นที่ริมมหาสมุทรแปซิฟิกจะเป็นพื้นที่ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลมากที่สุด [7]

สำหรับประเทศไทย เริ่มมีการศึกษาเรื่องการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลอย่างจริงจังในช่วงปี พ.ศ. 2540–2550 โดยใช้ทั้งข้อมูลจากสถานีวัดระดับน้ำชายฝั่งทะเล [8] ข้อมูลจากดาวเทียมและจากแบบจำลอง [9] ในระยะแรกของการศึกษาพบว่ามีข้อจำกัดเรื่องการบันทึกและความต่อเนื่องของข้อมูลระดับน้ำเป็นอย่างมาก ต่อมาเริ่มมีการบันทึกข้อมูลอย่างเป็นระบบมากขึ้น รวมถึงเริ่มใช้เทคโนโลยีอื่นๆ เข้ามาช่วยวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น ผลการศึกษาส่วนใหญ่เป็นไปในทิศทางเดียวกันคือระดับน้ำทะเลในประเทศไทยกำลังค่อยๆเพิ่มขึ้นเป็นไปตามแนวโน้มเดียวกันกับโซนเอเชียแปซิฟิค

ข้อมูลการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลโลกจากแบบจำลองภูมิอากาศ (CMIP5) พบว่า ช่วงปี ค.ศ. 2081–2100 ระดับน้ำทะเลทั้งสองฝั่งของประเทศไทยทั้งอ่าวไทยและอันดามัน จะมีระดับเพิ่มขึ้นประมาณ 0.21–0.49 เมตร สำหรับสถานการณ์ที่ดีที่สุด และเพิ่มขึ้นถึง 0.55–0.65 เมตร สำหรับสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด อ้างอิงจากระดับน้ำทะเลในปี ค.ศ. 1861–1900 [6] และพบว่า ที่ปี ค.ศ 2100 จะสูญเสียชายหาด 45.8% สำหรับ RCP 2.6, 55.0% สำหรับ RCP4.5, 56.9% สำหรับ RCP6.0 และ 71.8% สำหรับ RCP8.5 [10]

ผลกระทบทางตรงจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลคือพื้นที่ริมชายฝั่งจะค่อยๆถูกกลืนหายไป จากการปรับสมดุลใหม่ของกระบวนการทางชายฝั่งทะเลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลนี้ ซึ่งหมายความว่ายิ่งระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น พื้นที่ชายฝั่งทะเลจะยิ่งถูกกลืนหายไปเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งทะเลที่มีความลาดชันต่ำ จะหายไปมากกว่าชายฝั่งทะเลที่มีความลาดชันสูงกว่า [11] ซึ่งการหายไปของพื้นที่ชายหาดที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์เพื่อการท่องเที่ยวนั้น อาจส่งผลกระทบต่อความเสียหายทางเศรษฐกิจมากกว่าชายหาดที่มีการประโยชน์ในทางอื่น [12]

สำหรับประเทศไทย หน่วยงานที่เกี่ยวข้องยังคงใช้มาตรการป้องกันชายฝั่งที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อรับมือกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ได้แก่ กำแพงกันคลื่น เขื่อนกัน

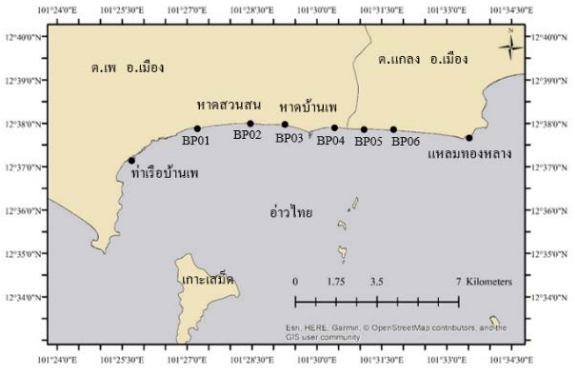
คลื่นนอกชายฝั่ง รอดักทราย และการเติมทรายชายหาด โดยที่ชายหาดท่องเที่ยวนั้น มาตรการเติมทรายชายหาดกำลังถูกนำมาใช้เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากเป็นการเพิ่มพื้นที่ชายหาด ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของมูลค่าทางเศรษฐกิจของชายหาด [13] ถือได้ว่าเป็นมาตรการที่ส่งผลกระทบทางลบต่อเนื่องไปยังพื้นที่ข้างเคียงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมาตรการที่ใช้โครงสร้างทางวิศวกรรมเพื่อป้องกันชายฝั่งประเภทอื่น [14]

การศึกษานี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลบริเวณชายหาดบ้านเพ ซึ่งเป็นชายหาดท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงตั้งอยู่ใน อ.เมือง จ.ระยอง หาดบ้านเพมีการใช้ประโยชน์หลากหลายรูปแบบ นอกจากการใช้ประโยชน์สำหรับกิจกรรมชายหาดเพื่อการท่องเที่ยวแล้ว ยังเป็นที่ตั้งของชุมชนประมงขนาดใหญ่ มีร้านอาหารริมทะเล และเป็นท่าเรือข้ามไปเกาะเสม็ด เนื่องจากกิจกรรมทั้งหมดจำเป็นต้องใช้พื้นที่ชายหาด จึงควรใช้มาตรการเติมทรายชายหาดเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้น

แนวชายฝั่งที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคต วิเคราะห์ด้วยแบบจำลองบรูนร่วมกับการสำรวจภาคสนาม และอ้างอิงข้อมูลการเติมทรายชายหาดจากการดำเนินงานของกรมเจ้าท่าที่ผ่านมา ผลการศึกษาจะสามารถใช้เป็นแนวทางจัดการพื้นที่ชายฝั่งทะเลเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคต

2. พื้นที่ศึกษา

หาดบ้านเพ (**รูปที่ 1**) มีลักษณะเป็นอ่าว ตั้งอยู่ใน ตำบลเพ อำเภอเมือง จังหวัดระยอง มีความยาวประมาณ 14.5 กิโลเมตร จำนวน 6 จุดสำรวจ ตั้งแต่ BP01 ถึง BP06 มีสภาพชายหาดในแต่ละตำแหน่งแสดงดัง**รูปที่ 2** สภาพโดยรวมมีลักษณะเป็นหาดทรายและบริเวณปากแม่น้ำได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดปกคลุมตั้งแต่ประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์กับมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งพัดปกคลุมในช่วงฤดูฝนประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ซึ่งพัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นส่วนใหญ่ ทำให้อากาศชื้นและมีฝนตก หาดบ้านเพมีการใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย ทั้งเพื่อการท่องเที่ยว พักผ่อนหย่อนใจ ชุมชนประมง ที่อยู่อาศัย และท่าเทียบเรือ



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา

BP01 (ความยาว 2.2 กม.) BP02 (ความยาว 1.0 กม.)

BP03 (ความยาว 2.8 กม.) BP04 (ความยาว 4.0 กม.)

BP05 (ความยาว 2.8 กม.) BP06 (ความยาว 1.7 กม.)

รูปที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

3. ข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้มี ภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลคลื่น ข้อมูลการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ข้อมูลความลาดชันชายหาดและขนาดกลางตะกอน และ มูลค่าโครงการเสริมทรายชายหาด

3.1.ภาพถ่ายดาวเทียม

ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth ในช่วงระหว่างเดือน เมษายน ปี พ.ศ. 2560 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2563 (**ตารางที่ 1**) ใช้เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายหาด

ตารางที่ 1 ข้อมูลวันที่ถ่ายภาพถ่ายดาวเทียม

วันที่
3 เมษายน พ.ศ. 2560
19 มกราคม พ.ศ. 2561
10 มีนาคม พ.ศ. 2562
13 ธันวาคม พ.ศ. 2562
24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563

3.2.ข้อมูลคลื่น

ข้อมูลที่ใช้เป็น 3-hour significant wave ซึ่งมี 12-hour exceeds significant wave height re-analyzed (มีความละเอียด 1-ดีกรีละติจูด-ลองจิจูด) จาก European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) เป็นข้อมูลเฉลี่ย 30 ปี ในช่วงปี พ.ศ. 2523 ถึง พ.ศ. 2553

ข้อมูลคลื่นที่นำมาใช้ในพื้นที่ศึกษามีดังนี้ ค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญสูงสุดมีค่าเท่ากับ 3.60 เมตร, คาบคลื่นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 13.82 วินาที, ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.92 เมตร และ คาบคลื่นเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 7.18 วินาที

3.3.ข้อมูลการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

ข้อมูลจาก 21CMIP5 models เป็นข้อมูลแบบ ensemble-mean regional sea-level rise (มีความละเอียด 1-ดีกรีละติจูด-ลองจิจูด) โดย RCP คือ Representative Concentration Pathway สำหรับสถานการณ์สมมติในอนาคต RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 และ RCP8.5 ณ ปี พ.ศ.2643 เมื่อ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับข้อมูลในปี พ.ศ.2529 ถึง พ.ศ. 2548 [15]

3.4.ข้อมูลความลาดชันชายหาดและขนาดกลางของตะกอน

จากการสำรวจภาคสนาม ข้อมูลความลาดชันชายหาดได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดความลาดชันชายหาด ขนาดกลางของตะกอนได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) พื้นที่ศึกษาบ้านเพในแต่ละบริเวณมีค่าความลาดชันชายหาดและขนาดกลางของตะกอนแสดงดัง**ตารางที่ 2** โดยพบว่าชายหาดมีความลาดชันอยู่ในช่วง 2–9 องศา และมีขนาดกลางของตะกอนอยู่ในช่วง 0.25–1.2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2 ความลาดชันชายหาดและขนาดกลางของตะกอน

พื้นที่ศึกษา	ความลาดชันชายหาด (องศา)	ขนาดกลางของตะกอน(D_{50}) (มม.)
BP01	8.5	0.28
BP02	3.3	0.25
BP03	2	0.25
BP04	6.3	0.6
BP05	7.4	0.48
BP06	9	1.2

3.5.มูลค่าโครงการเติมทรายชายหาด

การเติมทรายชายหาดเป็นมาตรหนึ่งในการป้องกันชายหาดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ปัจจุบันในประเทศไทยมีโครงการเติมทรายชายหาดที่ก่อสร้างแล้วเสร็จเพียง 1 โครงการ ณ หาดพัทยา จ.ชลบุรี และที่กำลังดำเนินการอยู่ที่หาดจอมเทียน จ.ชลบุรี และหาดชลาทัศน์ จ.สงขลา การศึกษานี้ประเมินมูลค่าของการเติมทรายจากค่าเฉลี่ยต่อลูกบาศก์เมตรของการเติมทรายจากทั้ง 3 โครงการ มูลค่า 803 บาท/ลบ.ม. ซึ่งได้รวมทั้งค่า ขุด ล้าง ขนย้าย และค่าดำเนินการทุกอย่างครบทั้งกระบวนการแล้ว [16–18]

4. วิธีการวิจัย

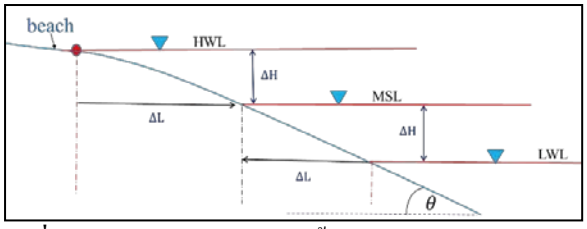
ในการศึกษานี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การระบุแนวชายฝั่งด้วยวิธีการปรับแก้ระดับน้ำทะเล (Tidal correction) [19–20] และการประเมินการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลด้วยแบบจำลองบรูน (Bruun rule) เพื่อหาพื้นที่เปลี่ยนแปลงของชายหาดในแต่ละสถานการณ์สมมติ

4.1.การระบุแนวชายฝั่งด้วยวิธีการปรับแก้ระดับน้ำทะเล (Tidal correction)

การระบุแนวชายฝั่งด้วยการปรับแก้ระดับน้ำทะเลมีจุดประสงค์เพื่อระบุแนวชายฝั่ง ณ เส้นระดับทะเลปาน

กลาง เพื่อเป็นระดับอ้างอิงในการระบุการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง [19–21] สามารถทำได้โดยการหาเวลาที่ถ่ายภาพจากเงาในภาพ เพื่อระบุค่าระดับน้ำทะเล ณ เวลาถ่ายภาพ และปรับแก้ระดับน้ำทะเล ขั้นตอนในการทำคือ ตรึง Ground control point เพื่อปรับพิกัดของภาพ และใช้กระบวนการ image-processing ในการวิเคราะห์ความต่างสีของภาพเพื่อระบุตำแหน่งของชายฝั่ง ก่อนจะวัดมุม solar-azimuth angle (θ) เพื่อประมาณเวลาในการถ่ายภาพจากมุมและปรับแนวชายฝั่ง ให้เป็นชายฝั่ง ณ ระดับทะเลปานกลาง โดยใช้สมการที่ (1) จาก**รูปที่ 3** [21] เมื่อ MSL คือ ระดับทะเลปานกลาง, HWL คือ ระดับน้ำที่สูงกว่าระดับทะเลปานกลาง, LWL คือ ระดับน้ำที่ต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง, ΔH คือ ระดับที่แตกต่างระหว่าง HWL กับ MSL หรือ LWL กับ MSL, ΔL คือ ระยะห่างระหว่างแนวชายฝั่งที่ระบุได้ ณ ช่วงเวลาที่ถ่ายภาพกับระดับทะเลปานกลาง และ θ คือ ความลาดชันชายหาด หรือ Foreshore slope

$$\Delta L = \frac{\Delta H}{tan\theta} \quad (1)$$

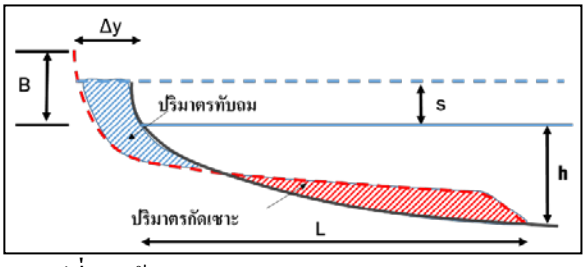


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำ ความกว้างชายหาด และความลาดชันชายหาด

4.2. ระบุการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลด้วย แบบจำลองบรูนและประเมินพื้นที่เปลี่ยนแปลงของแต่ละสถานการณ์สมมติ (Future scenarios)

Bruun [22] เป็นแบบจำลองซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล โดยมีสมมติฐานว่า แบบจำลองมีลักษณะเป็นสองมิติและไม่คิดผลกระทบจากคลื่น โดยมีสมการของ Bruun (Bruun rule equation) แสดงดังสมการที่ (2) และ **รูปที่ 4** เมื่อ Δy คือ ระยะแนวชายฝั่งที่หายไปจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล, y_* คือ ความยาวของรูปตัดชายหาดที่พิจารณา, S คือ ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น, h คือ ความลึกของระดับน้ำทะเลเดิมถึงระดับท้องเดิม (Old bottom level) ที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของตะกอน (Depth of closure) และ B คือความสูงของตะกอนทรายก่อนการกัดเซาะ (Berm height)

$$\frac{\Delta y}{y_*} = \frac{S}{\mathrm{h} + \mathrm{B}} \quad (2)$$



รูปที่ 4 หน้าตัดชายหาดและตัวแปร Bruun rule

ระดับความลึกที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของตะกอน (Depth of closure) คำนวณจากความสูงคลื่นนัยสำคัญสูงสุดและคาบคลื่นสูงสุดโดยใช้สมการที่ (3) [23] เมื่อ $H_{e,t}$ คือ ความสูงคลื่นนัยสำคัญสูงสุด (Maximum significant wave height), $T_{e,t}$ คือ คาบคลื่นสูงสุด (Maximum wave period) และ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

$$\mathrm{h} = 2.28H_{e,t} - 68.5\left(\frac{H_{e,t}^2}{gT_{e,t}^2}\right) \quad (3)$$

ความยาวของรูปตัดชายหาด พิจารณาจากความสัมพันธ์ของระดับน้ำทะเลเดิมถึงระดับท้องเดิม หรือระดับความลึกที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของตะกอน (Depth of closure) คำนวณจากสมการที่ (4) [24] เมื่อความลึกของระดับน้ำทะเลเดิมถึงระดับท้องเดิมไม่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของตะกอน และ A คือสัมประสิทธิ์ค่า A (A value) ที่ได้จากความสัมพันธ์ขนาดกลางตะกอนทราย (D_{50}) และ ความลาดชันชายฝั่ง (Beach slope)

$$\mathrm{h} = \mathrm{A}y_*^{2/3} \quad (4)$$

ค่าความสูงคลื่น ณ บริเวณคลื่นแตกตัว (Wave height at breaking wave) คำนวณโดยสมการที่ (5) [25] เพื่อนำไปหาค่าความสูงของชายหาดก่อนการกัดเซาะ เมื่อ h_b คือ ความสูงคลื่น ณ บริเวณคลื่นแตกตัว (Wave height at breaking wave), $\tan\alpha$ คือ ความลาดชันของชายฝั่ง (Beach slope), H_s คือ ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย (Mean significant wave height) และ L_s คือ ความยาวคลื่นนัยสำคัญ (Significant wave length) ซึ่งคำนวณโดยใช้สมการที่ (6) เมื่อ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก และ T_s คือ คาบคลื่นเฉลี่ย (Mean significant wave period)

$$\frac{H_b}{H_s} = (\tan\alpha)^{0.2}\left(\frac{H_s}{L_s}\right)^{-0.25} \quad (5)$$

$$L_s = \frac{gT_s^2}{2\pi} \quad (6)$$

ค่าความสูงของชายหาดก่อนการกัดเซาะ (Berm height) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) [26]

$$\mathrm{B} = 0.125H_b^{5/8}(gT_s^2)^{3/8} \quad (7)$$

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

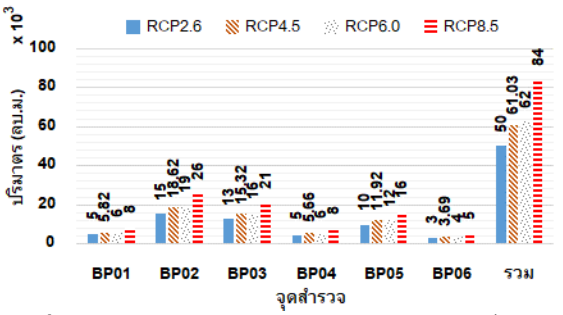
ผลการวิจัยและการอภิปรายผลประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงชายหาดชายหาดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล และ มาตรการเติมทรายชายหาด แสดงดังต่อไปนี้

5.1. การเปลี่ยนแปลงชายหาดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

จากการวิเคราะห์พบว่าบริเวณ BP02 มีระยะกัดเซาะจากการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลมากที่สุด (**ตารางที่ 3** และ **รูปที่ 5**) และบริเวณ BP06 มีระยะกัดเซาะเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลน้อยที่สุดเนื่องจากความลาดชันชายหาดและขนาดกลางของตะกอน ส่งผลต่อการวิเคราะห์ระยะการเปลี่ยนแปลง หาดบริเวณ BP02 มีความลาดชันต่ำ (2 องศา) และขนาดกลางตะกอนมีขนาดเล็ก (0.25 มม.) หาดบริเวณ BP06 มีความลาดชันสูงกว่าบริเวณอื่นๆ (9 องศา) และขนาดกลางของตะกอนมีขนาดใหญ่ (1.2 มม.)

ตารางที่ 3 ปริมาตรชายหาดสูญเสียเฉลี่ยและระยะการเปลี่ยนแปลงชายหาดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

สถานการณ์สมมติ	ปริมาตรชายหาดสูญเสียเฉลี่ย (ลบ.ม)	ระยะเฉลี่ยของหาดที่หายไป (ม.)
RCP 2.6	500,753	16.23
RCP 4.5	610,264	19.77
RCP 6.0	624,875	20.25
RCP 8.5	838,616	27.17



รูปที่ 5 ปริมาตรชายหาดสูญเสียเฉลี่ยจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

จาก**ตารางที่ 3** พบว่าระยะเฉลี่ยของหาดที่หายไปในแต่ละสถานการณ์สมมติอยู่ในช่วง 16 ถึง 27 เมตร จากความกว้างชายหาดเฉลี่ยปัจจุบันซึ่งมีความกว้าง 15.80 เมตร และมีปริมาตรชายหาดสูญเสียเฉลี่ยในช่วง 5–8.4 แสนลูกบาศก์เมตร

โดยพบว่า ผลการศึกษานี้สามารถระบุปริมาณการเปลี่ยนแปลงของชายหาดทั้งเชิงระยะทาง รวมถึงปริมาตรของทรายที่หายไปจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลได้ ในแต่ละพื้นที่ย่อย ซึ่งมีความยาวหาด 1–4 กม. ดังแสดงใน**รูปที่ 2** ซึ่งละเอียดกว่างานศึกษาที่ผ่านมา ที่เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของชายหาดแถบนี้ไว้เพียง 1 ค่า ตลอดแนวความยาวกว่า 30 กม. [10]

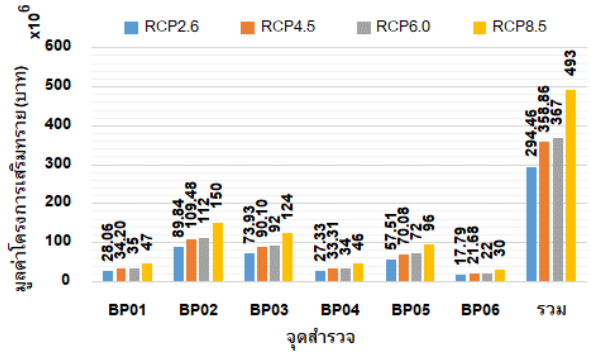
5.2. มาตรการเติมทรายชายหาด

มาตรการป้องกันชายฝั่งมีหลายรูปแบบ แต่การเลือกใช้มาตรการที่เป็นโครงสร้างทางวิศวกรรม เช่น กำแพงกันคลื่น จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ชายหาด ที่มีความสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ในบริเวณพื้นที่ศึกษา การศึกษานี้เลือกมาตรการเติมทรายชายหาดเพื่อฟื้นฟูพื้นที่ชายหาดที่หายไปเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล โดยจะเติมทรายมี

ความกว้างเท่ากับระยะกัดเซาะชายหาดเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล และมีความสูงเท่ากับสันหาดเดิม จากการประเมินปริมาตรทรายที่เปลี่ยนแปลงและคำนวณราคาโครงการเติมทรายชายหาด ในแต่ละสถานการณ์สมมติต่างๆ แสดงดัง**ตารางที่ 4** และ **รูปที่ 6** โดยมูลค่าการเติมทรายชายหาดแปรผันตรงกับปริมาตรทรายที่เปลี่ยนแปลงจากการประเมินในขั้นแรก และขนาดกลางตะกอนที่นำมาเติมมีค่าเท่ากับขนาดกลางตะกอนเดิม โดยมีงบประมาณที่จำเป็นต้องใช้อยู่ในช่วงประมาณ 294–493 ร้อยล้านบาท

ตารางที่ 4 โครงการเสริมทรายชายหาดโดยใช้ทรายจากทะเล

สถานการณ์สมมติ	มูลค่าโครงการ (บาท)
RCP 2.6	294,463,039
RCP 4.5	358,859,625
RCP 6.0	367,451,596
RCP 8.5	493,139,663



รูปที่ 6 มูลค่าโครงการเสริมทรายชายหาด

6. สรุป

ผลกระทบจากเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลบริเวณชายหาดบ้านเพ โดยการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคตด้วยแบบจำลองบรูน ร่วมกับการสำรวจภาคสนาม พบว่า ความกว้างของชายหาดที่อาจถูกกัดเซาะในอนาคตมีค่าเฉลี่ยประมาณ 16–27 เมตร โดยมีปริมาตรชายหาดสูญเสียเฉลี่ยเท่ากับ 5–8.4 แสนลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติที่ดีที่สุด (RCP 2.6) และเลวร้ายที่สุด (RCP 8.5) ตามลำดับ เมื่อเลือกมาตรการเติมทรายชายหาดเพื่อบรรเทาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยการเพิ่มความกว้างชายหาดให้เท่ากับระยะกัดเซาะของชายหาดที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล โดยใช้ความสูงเท่ากับสันชายหาดเดิม และเลือกใช้ทรายจากทะเลเหมือนกับที่หน่วยงานเลือกใช้อยู่ในปัจจุบันพบว่า งบประมาณที่จำเป็นต้องใช้อยู่ในช่วงประมาณ 294–493 ร้อยล้านบาท สำหรับสถานการณ์สมมติที่ดีที่สุด (RCP 2.6) และเลวร้ายที่สุด (RCP 8.5) ตามลำดับ ผลจากการศึกษานี้จะมีส่วนช่วยสนับสนุนข้อมูลเพื่อการตัดสินใจของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการเลือกมาตรการเพื่อบรรเทาผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคตกรณีศึกษาชายหาดบ้านเพ รวมถึงชายหาดท่องเที่ยวอื่นๆต่อไป โดยสามารถนำวิธีการศึกษานี้ไปปรับใช้ตามบริบทของแต่ละชายหาดที่แตกต่างกัน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ต้องการ

เอกสารอ้างอิง

[1] V. R. Burkett, J. O. Codignotto, J. E. Hay, R. F. McLean, S. Ragoonaden, C. D. Woodroffe, R. J. Nicholls and P. P. Wong, “Coastal systems and low-lying areas,” in *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson, Eds., Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007, 315–356.

[2] R. F. McLean, A. Tsyban, V. Burkett, J. O. Codignott, D. L. Forbes, N. Mimura, R. J. Beamish and V. Ittekkot, “Coastal Zones and Marine Ecosystems,” in *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken

and K. S. White, Eds, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001, 343–379.

[3] R. J. Nicholls and J. A. Lowe, "Benefits of mitigation of climate change for coastal areas," *Global environmental change*, vol. 14, no. 3, 229–244, 2004, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2004.04.005.

[4] U.S. EPA, "Assessment of the Impacts of Global Change on Regional U.S. Air Quality: A Synthesis of Climate Change Impacts on Ground-Level Ozone," U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, Rep. EPA/600/R-07/094, 2009.

[5] G. Camarsa, J. P. Silva, J. Toland, J. Eldridge, T. Hudson, W. Jones, E. O'Hara, E. Thorpe and C. Thévignot, "Coastal climate change adaptation," in *Life and coastal management*, Gare, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012, ch.4, sec. 1, pp.54.

[6] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "Climate Change 2014 Synthesis Report," Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, Rep. AR5, 2014.

[7] D. Charan, M. Kaur, P. Singh, "Customary Land and Climate Change Induced Relocation - A Case Study of Vunidogoloa Village, Vanua Levu, Fiji," in *Climate Change Adaptation in Pacific Countries*, W. L. Filho, Ed., Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017, ch. 2, pp. 19–33.

[8] K. Putcharapitchakon and S. Ritphring, "Sea level change in Thailand," Ladkrabang Engineering Journal, vol. 29, no. 3, pp. 55–60, 2012. (in Thai)

[9] T. Intang, M. Anongponyoskun and P. Sojisuporn, "Application of numerical model to study the tidal current: Case study-The Chao Phraya River mouth, Samutprakarn province," in *Proc. 5th Marine Science Conference*, Bangkok, Thailand, 2016. pp. 619–625. (in Thai)

[10] S. Ritphring, C. Somphong, K. Udo and S. Kazama, "Projections of Future Beach Loss due to Sea Level Rise for Sandy Beaches along Thailand's Coastlines," *Journal of Coastal Research*, vol. 85, no. sp1, pp. 541–545, 2018, doi: 10.2112/SI85-109.1.

[11] S. Ritphring, "Beach Nourishment for Coastal Protection," Ladkrabang engineering Journal. vol. 31, no. 4, pp. 7–12, 2014. (in Thai)

[12] K. Kunkitti. and S. Ritphring, "Ban Krut beach change due to sea level rise," in *the 26th National Convention on Civil Engineering*, 2021, pp. WRE-05-1– WRE-05-6. [Online]. Available: https://www.conference.thaince.org/index.php/ncce26/article/download/1108/669. (in Thai)

[13] M. Kiguchi, K. Takata, N. Hanasaki, B. Archevarahuprok, A. Champathong, E. Ikoma, C. Jaikaeo, S. Kaewrueng, S. Kanae and S. Kazama, "A review of climate-change impact and adaptation studies for the water sector in Thailand," *Environmental Research Letters*, vol. 16, no. 2. 2021. Art. no. 023004, doi: 10.1088/1748-9326/abce80.

[14] P. Nidhinarangkoon and S. Ritphring, "Beach Tourism Carrying Capacity Assessment to Sea Level Rise Scenarios," *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, vol. 21, no. 3, pp. 27–42, 2021. (in Thai)

[15] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "Climate Change 2013 The Physical Science Basis," New York, NY, USA: Cambridge University Press, Rep. AR5, 2013.

[16] Department of Marine and Coastal Resources, "The master plan of designing and observing for beach nourishment at Pattaya beach, Chonburi," Department of Marine and Coastal Resources, Bangkok, Thailand, Final Rep, 2012. (in Thai)

[17] Department of Marine and Coastal Resources, "The environmental impact assessment report and design for coastal protection project at Samila-Chalatat beach

in Songkhla," Department of Marine and Coastal Resources, Bangkok, Thailand, Final Rep, 2015. (in Thai)

[18] Department of Marine and Coastal Resources, "The master plan of designing and observing for beach nourishment at Jomtien beach, Chonburi," Department of Marine and Coastal Resources, Bangkok, Thailand, Final Rep, 2016. (in Thai)

[19] V. C. Hoang, H. Tanaka and Y. Mitobe, "A method for correcting tidal effect on shoreline position extracted from image with unknown capture time," *Geosciences*, vol. 7, no. 3, 2017, Art. no. 62, doi: 10.3390/geosciences7030062.

[20] P. Nidhinarangkoon and S. Ritphring, "Shoreline changes by using Google Earth images with tidal correction: a case study of Samui island, Thailand," in Proc. *the the 8th International Conference on Fluid Mechanics*, Sendai, Japan, Sep. 25–28, 2018, pp. 1–5.

[21] P. Nidhinarangkoon and S. Ritphring, "The comparative of shoreline detection methods," Proc. *the 24 th National Convention on Civil Engineering*, Udonthani, Thailand, Jul. 10–12, 2019, pp. 2106–2113. (in Thai)

[22] P. Bruun. Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of the Waterways and Harbors Division*, vol. 88, no. 1, pp. 117–132, 1962, doi: 10.1061/JWHEAU.0000252.

[23] R. J. Nicholls, W. A. Birkemeier and R. J. Hallermeier, "Application of the depth of closure concept," *Coastal Engineering Proceedings*, vol. 1, no. 25, pp. 3874–3887, 1996.

[24] R. G. Dean, "Equilibrium beach Profiles: characteristics and applications," *Journal of Coastal Research*, vol. 7, no. 1, pp. 53–84, 1991.

[25] I. Takeda and T. Sunamura, "Formation and spacing of beach cusps," *Coastal Engineering in Japan*, vol. 26, no. 1, pp. 121–135, 1983, doi: 10.1080/05785634.1983.11924363. (in Japanese).

[26] T. Sunamura, "Coastal and beach changes by waves," *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, vol. 4, no. 2, pp. 179–188, 1983. (in Japanese).