

## การกำหนดระยะถอยร่นชายฝั่งทะเล กรณีศึกษา: หาดชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา

### Determination of coastal setback: A case study of Chalatat Beach, Songkhla Province

ขวัญชนก คุณกิตติ<sup>1</sup> และ สมปรารถนา ฤทธิ์พริ้ง<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพมหานคร

E-mail address: khwanchanok.kun@ku.th

#### บทคัดย่อ

ระยะถอยร่นเปรียบเสมือนแนวกันชนระหว่างทะเลกับพื้นแผ่นดิน เพราะเป็นการรักษาความสมดุลของกระบวนการชายฝั่งไม่ให้ถูกรบกวน จากกิจกรรมของมนุษย์บนพื้นที่ชายฝั่ง และเป็นการลดผลกระทบจาก ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลจากภัยธรรมชาติ และอื่นๆ ที่อาจมีต่อชีวิต และทรัพย์สินของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่ง การศึกษานี้จึงมี วัตถุประสงค์เพื่อกำหนดระยะถอยร่นชายฝั่งทะเลของประเทศไทย ซึ่ง กรณีศึกษาคือ หาดชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา โดยประเมินระยะถอยร่นเพื่อ รองรับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในปี ค.ศ. 2100 จาก 3 กระบวนการ ได้แก่ การกัดเซาะที่เกิดจากพายุ อัตราการกัดเซาะในอดีต และการกัดเซาะอัน เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ผลการศึกษาพบว่า อัตราการกัด เซาะที่เกิดจากพายุอยู่ที่ 50 เมตร อัตราการกัดเซาะในอดีตเท่ากับ 0.05 เมตรต่อปี และอัตราการกัดเซาะอันเนื่องมาจากการเพิ่มระดับน้ำขึ้นจาก กระบวนการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมีอัตราการกัดเซาะน้อยสุดเท่ากับ 21.49 เมตร(RCP 2.6) และมากที่สุดเท่ากับ 38.34 เมตร(RCP 8.5) จากผล ดังกล่าวทำให้สามารถคำนวณหาระยะถอยร่นในกรณี RCP 2.6, 4.5, 6.0 และ 8.5 ได้เท่ากับ 75.99, 81.17, 82.04 และ 90.91 เมตร ตามลำดับ โดยผลการศึกษาจะใช้เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินระยะถอยร่นของ ชายฝั่งทะเล ซึ่งเป็นหนึ่งในมาตรการจัดการพื้นที่ชายฝั่งทะเล ของประเทศ ไทยในอนาคต

คำสำคัญ: ระยะถอยร่นชายฝั่งทะเล, การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล, แบบจำลองบรูณ, หาดชลาทัศน์, การกัดเซาะชายฝั่ง

#### Abstract

The coastal setback is like a buffer between sea & coast because it will save the balance of coastal processes from human activity on coastal areas and reduce the impact of erosion from disasters and others that may affect the lives and property of people living on the coast. This study has an objective for the determination of coastal setback of Thailand. The case study is Chalatat Beach. With estimate coastal setback to support coastal change in 2100 B.E. from 3

processes is Erosion from the storm, erosion in the past, and Erosion from sea level rise. This study suggests that erosion rate of the storm of 50 m., erosion rate in the past of 0.05 m./year, and erosion rate from sea level rise a minimum of 21.49 m. (RCP 2.6) and a maximum of 38.34 m. (RCP 8.5) the results can calculate the coastal setback as follows. In the case of RCP 2.6, 4.5, 6.0, and 8.5 of 75.99, 81.17, 82.04, and 90.91 m. sequent. The results can be used to a guideline for estimate coastal setback Which is one of the measures for managing coastal areas of Thailand in the future.

Keywords: coastal setback, sea level rise, Bruun's Rule, Chalatat Beach, coastal erosion

#### 1. คำนำ

จากข้อมูลการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ( Climate Change) ขององค์กร Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [1] พบว่า ระดับน้ำทะเลของโลกรวมมีการเพิ่มขึ้นเฉลี่ย +1.8±0.5 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งส่งผลกระทบต่อโดยตรง ทำให้ชายฝั่งเกิดการกัดเซาะ จาก การศึกษาเรื่องผลกระทบจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นทั่วโลก [2] โดยใช้ แบบจำลอง EMRICES จำลองระดับน้ำเมื่ออุณหภูมิโลกสูงขึ้น ผลการวิจัย พบว่า เมื่ออุณหภูมิโลกสูงขึ้น 2.00 องศาเซลเซียส ทำให้ระดับน้ำทะเล สูงขึ้น 74.7 เซนติเมตร คิดเป็นความสูญเสียทางเศรษฐกิจเท่ากับ 4,961.52 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ เมื่ออุณหภูมิโลกสูงขึ้น 3.38 องศาเซลเซียส ทำให้ ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 97.4 เซนติเมตร พื้นที่จำนวน 663,794.7 ตาราง กิโลเมตร จะได้รับผลกระทบ คิดเป็นความสูญเสียทางเศรษฐกิจเท่ากับ 6,214.35 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ

การศึกษาแบบจำลองอย่างง่ายสำหรับการตอบสนองของชายฝั่งต่อ การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง 6 แห่งในพื้นที่ จังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดสงขลา [3] พบว่า แบบจำลองของบรูณ อย่างง่ายแสดงปริมาณพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะ สำหรับ 50 ปี เท่ากับ 0.44 ตร. กม.สำหรับ 100 ปี เท่ากับ 0.89 ตร.กม.และแบบจำลองของบรูณแสดง ปริมาณพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะ สำหรับ 50 ปี เท่ากับ 2.22 ตร.กม.สำหรับ 100 ปี เท่ากับ 4.45 ตร.กม.

นอกจากนี้ กิจกรรมของมนุษย์ที่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ชายฝั่งเกินศักยภาพที่จะรองรับได้ ทำให้เกิดการสูญเสียปรากฏการณ์ธรรมชาติและพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้วยเช่นกัน จึงจำเป็นต้องใช้มาตรการป้องกันชายฝั่ง ซึ่งมีอยู่ 2 วิธี ได้แก่ แบบใช้โครงสร้าง (Structural measure) และแบบไม่ใช้โครงสร้าง (Non-structural measure) โดยแบบใช้โครงสร้าง เช่น เขื่อนกันคลื่น กำแพงกันคลื่น และรอดักทราย ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวนี้มีประสิทธิภาพในการลดผลกระทบจากคลื่นและลดผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งได้ แต่มีข้อจำกัดคือสามารถลดผลกระทบได้เฉพาะบริเวณที่มีโครงสร้างเท่านั้น ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณพื้นที่ข้างเคียงตามมา จึงทำให้โครงสร้างทางวิศวกรรมแบบไม่ใช้โครงสร้างเป็นมาตรการที่กำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นมาตรการป้องกันชายฝั่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การเติมทรายชายหาด การปลูกป่าชายเลน รวมทั้งมาตรการระยะถอยร่นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ซึ่งเป็นการลดผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่อาจเกิดขึ้นจากการกัดเซาะชายฝั่ง อีกทั้งเป็นการคืนสมดุลตามกระบวนการธรรมชาติให้แก่ชายฝั่งด้วย

จากการศึกษาบทบาทของระยะถอยร่นในบริบทของการกัดเซาะชายฝั่งและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ [4] โดยพิธิสารว่าด้วย ICZM ของอนุสัญญาบาร์เซโลนา กลุ่มน้ำทะเลเมดิเตอร์เรเนียน บังคับใช้เมื่อวันที่ 24 มีนาคม 2011 บทบัญญัติเกี่ยวกับ ICZM และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมชายฝั่ง การป้องกันและฟื้นฟูพิธิสารระบุให้ระยะถอยร่นมีระยะ 100 m เป็น มาตรการที่ตกลงกันเพื่อปกป้องการตั้งถิ่นฐานชายฝั่งทะเลและโครงสร้างพื้นฐานจากผลกระทบเชิงลบของกระบวนการชายฝั่งและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การกำหนดระยะถอยร่นบริเวณชายฝั่งต่ำเหลียน ประเทศจีน [5] โดยการใช้ Arc GIS 9 จำลองสภาพชายฝั่ง พิจารณาดัชนี 3 ประเภท (1) ภัยพิบัติทางชายฝั่ง (2) สภาพภูมิประเทศ และ (3) ระบบนิเวศวิทยา ผลการศึกษาพบว่า ชายฝั่งโอบซา (Baisha) เป็นหาดทราย มีสิ่งปลูกสร้างห่างจากชายฝั่งประมาณ 100 เมตร ระยะถอยร่นชายฝั่งอยู่ที่ 90 เมตร ในส่วนของชายฝั่ง Huangniwo เป็นหาดทรายกรวด มีสิ่งปลูกสร้างห่างจากชายฝั่งประมาณ 50 เมตร ระยะถอยร่นชายฝั่งอยู่ที่ 90 เมตร ส่วนชายฝั่ง Bedrock เป็นหาดกรวด ไม่มีสิ่งปลูกสร้างโดยรอบ ระยะถอยร่นชายฝั่งอยู่ที่ 75 เมตร และชายฝั่ง Xingshutun เป็นหาดทราย มีสิ่งปลูกสร้างห่างจากชายฝั่งประมาณ 80 เมตร ระยะถอยร่นชายฝั่งอยู่ที่ 75 เมตร

การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลสัมพันธ์ที่มีต่อการกัดเซาะชายฝั่งทะเลของประเทศไทย [6] โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองบูรณ และแบบจำลองของบูรณอย่างง่าย เพื่อนำไปสู่การกำหนดมาตรการระยะถอยร่นเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลของประเทศไทย โดยกำหนดชายหาดตัวแทนของพื้นที่ศึกษา 27 แห่ง ครอบคลุมทั้งอ่าวไทยและอ่าวอันดามัน ผลการศึกษาพบว่า ระยะถอยร่นอยู่ระหว่าง -11.25 เมตร ถึง -247.50 เมตร ในอีก 50 ปีข้างหน้า และ -22.48 ถึง -495.77 เมตร ใน 100 ปีข้างหน้า

จากการศึกษาข้างต้นเป็นการศึกษาระยะถอยร่นโดยพิจารณาเพียงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลของประเทศเท่านั้น ซึ่งยังมีปัจจัยอื่นที่ควรนำมาพิจารณาร่วมด้วย ได้แก่ อิทธิพลของพายุ และ อัตราการกัดเซาะที่ผ่านมาของชายฝั่ง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงศึกษาการกำหนดระยะถอยร่นชายฝั่งทะเล โดยการวิเคราะห์จาก 3 กระบวนการที่มีอิทธิพลต่อการกัดเซาะชายฝั่ง ได้แก่ การกัดเซาะที่เกิดจากพายุ อัตราการกัดเซาะในอดีต และการกัดเซาะอันเนื่องมาจากการเพิ่มระดับน้ำขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ โดยเลือกหาดชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา เป็นพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีลักษณะเป็นหาดทราย ผลจากการศึกษานี้จะนำมาซึ่งแนวทางในการจัดการพื้นที่ชายฝั่งทะเล เพื่อเป็นหนึ่งในมาตรการรับมือต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการกัดเซาะชายฝั่งต่อไป

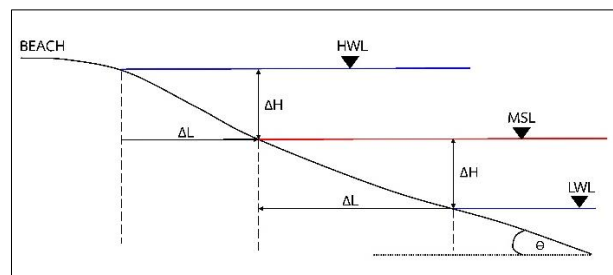
## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

ในขั้นตอนนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง พื้นที่ศึกษา ข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ ขั้นตอนการศึกษา แสดงเนื้อหาต่อไปนี้

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1.1 การปรับแก้ระดับน้ำเพื่อระบุแนวชายฝั่ง

การระบุแนวชายฝั่งนั้นสามารถทำได้โดยการปรับแนวชายฝั่ง ณ เวลาที่ถ่ายภาพ ไปเป็นแนวชายฝั่ง ณ ระดับทะเลปานกลาง ซึ่งในการระบุแนวชายฝั่งใหม่นั้น จะใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ ความกว้างชายหาด และความลาดชันชายหาดในการพิจารณา โดยแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ ความกว้างชายหาด และความลาดชันชายหาด

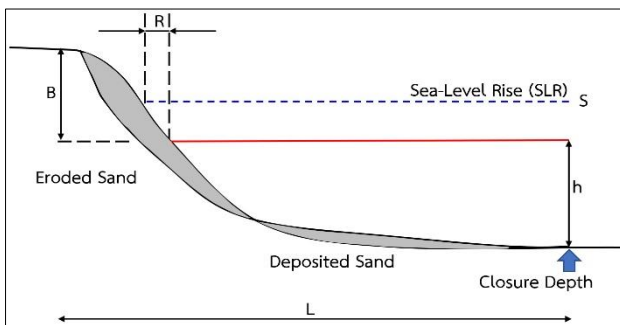
จากภาพจะให้เห็นได้ว่า ถ้าระดับน้ำทะเล ณ เวลาถ่ายภาพมีระดับอยู่สูงกว่าระดับทะเลปานกลาง ทำให้แนวชายฝั่งที่ได้นั้นอยู่ประชิดฝั่งมากกว่าความเป็นจริง หากใช้แนวชายฝั่งที่ระดับทะเลปานกลางเป็นเกณฑ์ จำเป็นต้องปรับระยะแนวชายฝั่งให้ห่างออกไปเป็นระยะ  $+\Delta L$  และถ้าระดับน้ำ ณ เวลาที่ถ่ายภาพมีระดับต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง จะทำให้แนวชายฝั่งที่วิเคราะห์ได้นั้นอยู่ห่างฝั่งมากกว่าความเป็นจริง จำเป็นต้องปรับระยะแนวชายฝั่งให้ใกล้ฝั่งเข้ามาเป็นระยะ  $-\Delta L$  โดยสามารถคำนวณ  $\Delta L$  ได้จากสมการที่ (1)

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

โดย MSL คือ ระดับทะเลปานกลาง, HWL คือ ระดับน้ำที่สูงกว่าระดับทะเลปานกลาง, LWL คือ ระดับน้ำที่ต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง, H คือ ระดับที่แตกต่างระหว่าง HWL กับ MSL หรือ LWL กับ MSL,  $\Delta L$  คือ ระยะห่างระหว่างแนวชายฝั่งที่ระบุได้ ณ ช่วงเวลาที่ถ่ายภาพกับระดับทะเลปานกลาง,  $\Theta$  คือ ความลาดชันชายหาดส่วนหน้า (Foreshore slope)

### 2.1.2 แบบจำลองของบรุณ

แบบจำลองของบรุณใช้เพื่อการจำลองรูปตัดชายหาดในลักษณะสองมิติของเส้นชายฝั่งปกติ เพื่อคำนวณผลกระทบต่อเส้นแนวชายฝั่งจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ซึ่งส่งผลต่อการกำหนดระยะถอยร่น โดยมีสมมติฐานคือ พิจารณาเฉพาะการถ่ายโอนปริมาณตะกอนทรายสุทธิตลอดหน้าตัดที่เข้าออกในแนวตั้งฉากกับเส้นชายฝั่ง โดยไม่พิจารณาการถ่ายโอนของตะกอนที่เข้าออกในแนวนอนกับเส้นชายฝั่ง โดยสมมติแนวชายหาดให้อยู่ในสภาวะสมดุล โดยรูปตัดชายหาดต้องแสดงถึง สภาพภูมิประเทศ คลื่น และขนาดของตะกอน และตะกอนทรายที่เคลื่อนเข้าหาชายฝั่ง สมมติให้มีคุณสมบัติเป็นทรายที่มีลักษณะเดียวกับทรายที่อยู่บนชายฝั่ง ผลจากการกัดเซาะของคลื่น และการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ทำให้เกิดการถ่ายโอนของชายฝั่ง ปริมาณทรายที่ถูกกัดเซาะจากบนฝั่งจะถูกถ่ายโอนมาทับถมด้านล่าง ซึ่งปริมาณทรายที่ถูกกัดเซาะจะเท่ากับปริมาณทรายที่เกิดการทับถม แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเส้นแนวชายฝั่งเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ตามแบบจำลองของบรุณดังรูปที่ 2 ความหนาของตะกอนทรายที่เกิดจากการทับถม (Deposited sand) จากปริมาณทรายที่ถูกกัดเซาะจากบนชายฝั่ง (Eroded sand) จะทำให้ระดับน้ำในทะเลสูงขึ้น



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลตามแบบจำลองของบรุณ

ในการคำนวณหาระยะถอยร่นของชายฝั่งทะเล สามารถคำนวณได้จากสมการของบรุณ [7] ตามสมการที่ (2)

$$R = \frac{SL}{h * + B} \quad (2)$$

โดย R คือ ระยะการถอยร่นของเส้นชายฝั่งในแนวราบ, S คือ การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล, L คือ ความยาวของชายหาดที่พิจารณา, h คือ ระดับน้ำเดิม (Old sea Level) ถึงระดับท้องเดิม (Old bottom level) ซึ่งเป็นระดับความลึกที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของตะกอน (Depth of closure), B คือ ความสูงของตะกอนทรายก่อนการกัดเซาะ (Berm height)

สำหรับสมการแบบจำลองบรุณอย่างง่ายนั้น เนื่องจาก  $\tan\beta$  คือ ค่าเฉลี่ยความชันของชายฝั่งตลอดความยาวรูปตัดชายหาดที่พิจารณา สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$R = \frac{s}{\tan\beta} \quad (3)$$

ความยาวของหน้าตัดชายฝั่ง (Equilibrium profile) [8] คำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$h = Ay^{2/3} \quad (4)$$

โดย h คือ ความลึกของระดับน้ำทะเลเดิมถึงระดับท้องเดิม (Old bottom level) ที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของตะกอน, y คือ ระยะทางนอกชายฝั่ง, A คือ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ค่า A (A value) ที่ปรับตามลักษณะของตะกอนที่ได้จากความสัมพันธ์ของขนาดตะกอนทราย (D50) และความลาดชันชายฝั่ง (Beach slope)

การคำนวณหาความสูงคลื่นนัยสำคัญสูงสุดและคาบคลื่นสูงสุด เพื่อใช้ในการคำนวณหาระดับความลึกที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของตะกอน (Depth of closure) [9] ใช้สมการที่ (5)

$$h * = 2.28H_{e,t} - 68.5 \left( \frac{H_{e,t}^2}{gT_{e,t}^2} \right) \quad (5)$$

โดย  $h_*$  คือ ความลึกของระดับน้ำทะเลเดิมถึงระดับท้องเดิม (Old bottom level) ที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของตะกอน (Depth of closure),  $H_{e,t}$  คือ ความสูงคลื่นนัยสำคัญสูงสุด (Maximum significant wave height),  $T_{e,t}$  คือ คาบคลื่นสูงสุด (Maximum wave period),  $g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

การคำนวณหาค่าความสูงคลื่น ณ บริเวณคลื่นแตกตัว (Wave height at breaking wave) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความสูงของตะกอนก่อนการกัดเซาะ [10] ใช้สมการที่ 6

$$\frac{H_b}{H_s} = (\tan \alpha)^{0.2} \left( \frac{H_s}{L_s} \right)^{-0.25} \quad (6)$$

โดย  $H_b$  คือ ความสูงคลื่น ณ บริเวณคลื่นแตกตัว (Wave height at breaking wave),  $\tan\alpha$  คือ ความลาดชันของชายฝั่ง (Beach slope),  $H_s$  คือ ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย (Mean significant wave height),  $L_s$  คือ ความยาวคลื่นนัยสำคัญ (Significant wave length)

การคำนวณหาความยาวคลื่นนัยสำคัญสามารถคำนวณได้จากคาบคลื่นเฉลี่ย [10] ดังสมการที่ (7)

$$L_s = \frac{gT_s^2}{2\pi} \quad (7)$$

โดย  $L_s$  คือ ความยาวคลื่นนัยสำคัญ (Significant wave length),  $g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก,  $T_s$  คือ คาบคลื่นเฉลี่ย (Mean significant wave period)

การคำนวณหาค่าความสูงของตะกอนทรายก่อนการกัดเซาะ (Berm height), [11] สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8)

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

โดย  $B_h$  คือ ความสูงของตะกอนทรายก่อนการกัดเซาะ (Berm height),  $H_b$  คือ ความสูงคลื่น ณ บริเวณคลื่นแตกตัว (Wave height at breaking wave),  $g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก,  $T_s$  คือ คาบคลื่นเฉลี่ย (Mean wave period)

### 2.1.3 ระยะถอยร่นของชายฝั่งทะเล

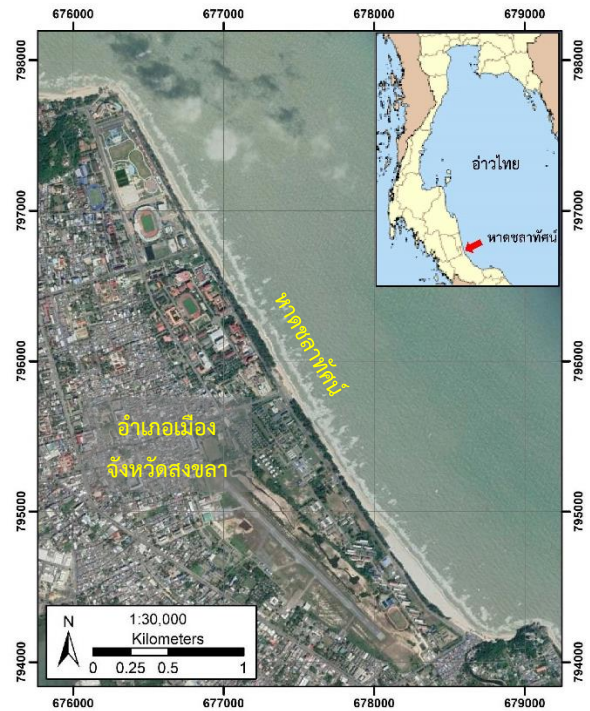
ระยะถอยร่นของชายฝั่งทะเล (Coastal Setback) เป็นแนวในการควบคุมเขตชายฝั่งทะเลไม่ให้มีสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่ ซึ่งระยะถอยร่นนี้จะเป็ นแนวกันชนระหว่างทะเลกับผืนแผ่นดิน ช่วยลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับพื้นที่อยู่อาศัย โดยกรอบระยะเวลาในการกำหนดระยะถอยร่นนั้นควรได้รับการวางแผนที่ 50 ปีขึ้นไป นิยมใช้ในประเทศที่มีพื้นที่ติดกับชายฝั่งทะเลที่ประสบปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง เช่น การกัดเซาะที่เกิดจากพายุ คลื่น ลม และภัยพิบัติตามธรรมชาติ การกัดเซาะที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของมนุษย์ รวมทั้ง การกัดเซาะชายฝั่งจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ [12] สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (9)

$$\text{ระยะถอยร่น} = D1 + (D2 \times \text{จำนวนปีที่พิจารณา}) + D3 \quad (9)$$

เมื่อ  $D1$  คือ ระยะที่เกิดจากการพังทลายอย่างรวดเร็ว อันเกิดจากพายุ (Extreme Storm Sequence) โดยระยะนี้ต้องการแบบจำลองในการใช้ศึกษาผลกระทบจากพายุที่กระทำต่อชายฝั่ง ซึ่งจะพิจารณาที่ปี ค.ศ 2100 ในกรณีไม่มีข้อมูลเพียงพอ ให้กำหนดค่าเริ่มต้นของ  $D1$  เท่ากับ 40 เมตร,  $D2$  คือ อัตราการกัดเซาะต่อปี ซึ่งประเมินจากการกัดเซาะที่เคยเกิดขึ้นในอดีต (Chronic Erosion or Accretion) ซึ่งหากชายฝั่งเกิดการทับถมหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ค่า  $D2$  จะมีค่าเป็น 0 เมื่อนำค่า  $D2$  คูณด้วยจำนวนปีที่พิจารณา จะทำให้ได้ระยะการกัดเซาะชายฝั่ง ณ ปีที่พิจารณา ทั้งนี้จะพิจารณาที่ปี ค.ศ 2100,  $D3$  คือ ระยะการกัดเซาะอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ซึ่งจะพิจารณาที่ปี ค.ศ 2100 โดยอาศัยหลักการของแบบจำลองของบรูเนอ [7]

## 2.2 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาคือ หาดชลาทัศน์ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา มีลักษณะเป็นหาดทราย ยาวประมาณ 4.53 กิโลเมตร ตั้งอยู่บริเวณอ่าวไทยตอนล่าง แสดงดังรูปที่ 3 โดยหาดชลาทัศน์มีสภาพชายหาด แสดงดังรูปที่ 4 โดยพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านภาคใต้ฝั่งตะวันออกของประเทศ ในช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนมกราคมของทุกปี



รูปที่ 3 พื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4 สภาพชายหาดในพื้นที่ศึกษา

## 2.3 ข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้

ข้อมูลแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลได้จากแบบจำลอง 21CMIP5 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในระดับภูมิภาค (ความละเอียด 1 องศาละติจูดลงจิจูด) สำหรับ RCP 2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 โดยอ้างอิงจากสถานการณ์ในปี ค.ศ 1986 – 2005 ซึ่งค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลของหาดชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา เท่ากับ 0.38-0.62 เมตร

ข้อมูลความลาดชันของชายหาด (Beach Slope) และขนาดคลื่นเฉลี่ยของทรายได้จากการสำรวจภาคสนามทั้งสิ้น 14 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 5





รูปที่ 5 ตำแหน่งตัวแทนข้อมูลภาคสนาม

ข้อมูลค่าเฉลี่ยของตะกอนทราย ( $D_{50}$ ) เพื่อหาการกระจายของตะกอนทราย โดยการเก็บตัวอย่างทรายจากภาคสนาม และวิเคราะห์โดยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Sieve Analysis) ใช้มาตรฐาน US Standard โดยความลาดชันชายหาดและขนาดของตะกอนทรายของแต่ละตำแหน่ง แสดงดังตารางที่ 1.

ตารางที่ 1 แสดงความลาดชันชายหาดและค่าขนาดเฉลี่ยของตะกอนทราย

พื้นที่	ความลาดชันชายหาด (องศา)	ค่าขนาดเฉลี่ย (มม.)
B1	0.8	0.27
B2	9.5	0.27
B3	14.5	0.27
B4	9.8	0.27
B5	9.2	0.27
B6	5.9	0.27
B7	6.5	0.27
B8	8.4	0.27
B9	2.5	0.27
B10	4.7	0.27
B11	3.8	0.27
B12	4.9	0.27
B13	3.2	0.27
B14	6.4	0.27

## 2.4 ขั้นตอนการศึกษา

ในการศึกษานี้จะประเมินระยะถอยร่นโดยพิจารณาจากผลกระทบที่เกิดจากการกัดเซาะชายฝั่งใน 3 กระบวนการ ดังนี้

### 2.4.1 การกัดเซาะที่เกิดจากพายุ

จากการศึกษาที่เกี่ยวข้อง [13] พบว่าอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกำลังแรงกว่าปกติเมื่อเดือนมกราคม 2559 นั้นส่งผลกระทบต่อชายหาดสมิหลาเกิดการกัดเซาะ 10 ถึง 50 เมตร และเนื่องจากการศึกษานี้ต้องการประเมินการกัดเซาะในสภาวะที่ครอบคลุมกรณีวิกฤตจึงพิจารณาอัตราการกัดเซาะที่เกิดจากพายุที่ 50 เมตร ซึ่งนับจนถึงปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาใดที่สำรวจผลกระทบจากอิทธิพลของพายุ จึงนับได้ว่าเป็นเพียงข้อมูลเดียว ที่สามารถนำมาอ้างอิงได้ในการศึกษานี้

### 2.4.2 อัตราการกัดเซาะในอดีต

การวิเคราะห์อัตราการกัดเซาะชายฝั่งในอดีตดำเนินการโดยเปรียบเทียบจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้ภาพถ่ายจาก Google earth ซึ่งจำเป็นต้องระบุแนวชายฝั่ง โดยปรับแก้ค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งใดๆของภาพให้เป็นค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งระดับทะเลปานกลาง เพื่อให้เป็นแนวเส้นอ้างอิงในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง ซึ่งหากระบุแนวชายฝั่งจากค่าระดับน้ำที่ได้จากภาพถ่ายโดยตรง จะทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากแนวชายฝั่งที่ได้เกิดจากค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งใดๆที่ไม่ใช่แนวเส้นอ้างอิง ทั้งนี้ในการปรับแก้ระดับน้ำที่ตำแหน่งใดๆไปที่ระดับทะเลปานกลางนั้น จำเป็นต้องทราบเวลาที่ถ่ายภาพนั้นด้วย เพราะเวลาถ่ายภาพจะสัมพันธ์กับค่าระดับน้ำ ซึ่งมีวิธีดำเนินการดังนี้

#### 2.4.2.1 การระบุหตุคควบคุมและพิกัดภาพถ่าย

โดยการใช้อุปกรณ์จาก Google Earth ในการประเมิน โดยดูข้อมูลภาพถ่ายย้อนหลังของหาดชลาทัศน์ได้ 10 ปี ซึ่งแสดงข้อมูลปีที่พิจารณาและวันที่เก็บภาพดังในตารางที่ 2 จากนั้นตรึงพิกัดในโปรแกรม Auto CAD 2019 ซึ่งจะใช้พิกัดอ้างอิงจากตำแหน่งวัตถุบนภาพถ่ายทางอากาศที่ไม่มีกรเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้พิจารณาใช้ตำแหน่งทางวิ่ง (Runway) ของสนามบินสงขลา เป็นพิกัดอ้างอิง

#### 2.4.2.2 การระบุแนวชายฝั่ง

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการระบุแนวชายฝั่งด้วยโปรแกรม Auto CAD 2019 โดยผู้วิเคราะห์จะพิจารณาจากความเข้มสีที่แตกต่างกันบนภาพเพื่อเป็นตัวกำหนดแนวชายฝั่ง โดยใช้รียามแนวระดับน้ำตัดกับชายหาด (Water Line)

#### 2.4.2.3 การระบุเวลาให้ภาพถ่าย

วัดมุม Azimuth ของเงาที่ตกกระทบอาคาร จากภาพถ่ายดาวเทียมของ Google Earth แล้วจึงนำข้อมูลละติจูด ลองจิจูด และวันที่ถ่ายภาพ กรอกลงในเว็บไซต์ <https://keisan.casio.com/exec/system> ซึ่งจะแสดงข้อมูลมุมตกกระทบ (Azimuth) ของแต่ละช่วงเวลาในวันที่ถ่ายภาพนั้น จากนั้นเปรียบเทียบค่ามุมตกกระทบ (Azimuth) ที่วัดได้จากภาพถ่าย เพื่อหาช่วงเวลาขณะถ่ายภาพ ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้อ่านค่าระดับน้ำจริงรายชั่วโมงจากข้อมูลของกรมอุทกศาสตร์

#### 2.4.2.4 การระบุระดับน้ำจริง ณ เวลาที่ถ่ายภาพ

เมื่อได้เวลาจากการวัดมุม Solar Azimuth Angle ( $\Theta_s$ ) ตามข้อ 2.4.2.3 แล้ว จะนำเวลาที่ได้อ่านค่าระดับน้ำจริงรายชั่วโมงของกรมอุทกศาสตร์ เพื่อพิจารณาแนวชายฝั่งที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง ณ เวลาที่ถ่ายภาพ ซึ่งหากค่าที่ได้เป็นบวก แสดงว่าแนวชายฝั่งหลังปรับแก้สูงกว่าแนวชายฝั่งก่อนปรับแก้ และหากค่าที่ได้เป็นลบ แสดงว่าแนวชายฝั่งหลังปรับแก้ต่ำกว่าแนวชายฝั่งก่อนปรับแก้ แสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลภาพถ่ายและข้อมูลระดับน้ำจริงที่ปรับแก้แล้ว

ปี	วันที่เก็บภาพ	มุมของเงาที่อ่านได้	ระดับน้ำจริงที่ปรับแก้แล้ว
2004	12/31/2004	139.24	0.30
2006	03/16/2006	144.16	0.25
2007	10/03/2007	154.62	-0.20
2010	08/08/2010	61.62	-0.29
2011	07/31/2011	72.50	0.05
2013	03/25/2013	90.00	0.23
2014	04/17/2014	146.34	0.39
2015	04/06/2015	151.12	0.22
2017	03/23/2017	162.75	0.25
2018	05/07/2018	56.75	0.09

#### 2.4.2.5 การระบุแนวชายฝั่งใหม่

เมื่อได้ระดับน้ำจริง ณ เวลาที่ถ่ายภาพแล้ว จากนั้นจะทำการปรับแนวชายฝั่ง ณ เวลาที่ถ่ายภาพ ไปเป็นแนวชายฝั่ง ณ ระดับทะเลปานกลาง เพื่อใช้เป็นเส้นอ้างอิงในการพิจารณาการกัดเซาะชายฝั่ง โดยตัวอย่างการระบุแนวชายฝั่งเดิมเทียบกับแนวชายฝั่งปรับแก้ (ที่ระดับ MSL) แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงรูปเปรียบเทียบระหว่างแนวชายฝั่งก่อนและหลังปรับแก้ที่ระดับทะเลปานกลาง

#### 2.4.3 การกัดเซาะอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

โดยการใช้แบบจำลอง Bruun เพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยการวิเคราะห์การกัดเซาะอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) ถึง สมการที่ (8) ซึ่งจะใช้ข้อมูลแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลของโลกจากข้อมูลของ IPCC [1] และ ข้อมูลความลาดชันชายหาดและค่าขนาดคลื่นเฉลี่ยของตะกอนทรายจากตารางที่ 1

#### 2.4.4 การคำนวณระยะถอยร่น

เมื่อคำนวณการกัดเซาะที่เกิดขึ้นเกิดจาก 3 กระบวนการ ได้แก่ การกัดเซาะที่เกิดจากพายุ อัตรากการกัดเซาะในอดีต และการกัดเซาะอันเนื่องมาจากการเพิ่มระดับน้ำขึ้นจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change) [12] แล้วจากนั้นจะนำไปใช้ในการคำนวณระยะถอยร่น

ได้จากสมการที่ (9) กล่าวคือ ระยะถอยร่น =  $D1 + (D2 \times \text{จำนวนปีที่พิจารณา}) + D3$

### 3. วิเคราะห์ผลการศึกษา

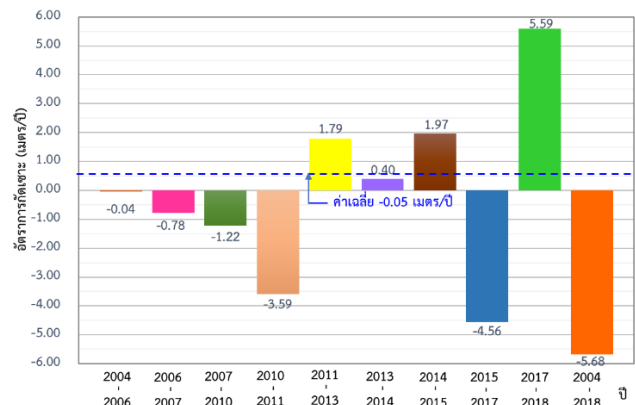
จากการศึกษากระบวนการกัดเซาะชายฝั่งทั้ง 3 กระบวนการข้างต้น ได้ผลการศึกษาดังนี้

#### 3.1 การกัดเซาะที่เกิดจากพายุ

จากข้อมูลการสำรวจภาคสนาม [13] โดยใช้วิธีการตรวจวัดรูปตัดชายหาดด้วยหลักการของ Water Level Method พบว่าอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือส่งผลกระทบให้ชายหาดสมิหลาเกิดการกัดเซาะ 10 ถึง 50 เมตร และเนื่องจากการศึกษานี้ต้องการประเมินการกัดเซาะในสถานะที่ครอบคลุมกรณีวิกฤตจึงพิจารณาอัตราการกัดเซาะที่เกิดจากพายุที่ 50 เมตร

#### 3.2 อัตราการกัดเซาะในอดีต

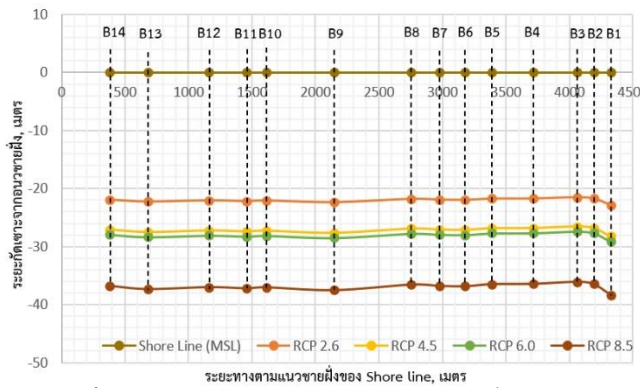
จากการศึกษาโดยวิธีการเปรียบเทียบจากภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อวิเคราะห์ประวัติการกัดเซาะที่เกิดขึ้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน พบว่าช่วงปี 2015-2017 เกิดการกัดเซาะสูงสุด -4.56 เมตร และปี 2017-2018 เกิดการทับถมสูงสุดเท่ากับ +5.59 เมตร โดยค่าเฉลี่ยการกัดเซาะชายฝั่งตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 ถึง 2018 เท่ากับ -0.05 เมตรต่อปี ซึ่งแสดงข้อมูลดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 อัตราการกัดเซาะเฉลี่ย

#### 3.3 การกัดเซาะอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

จากการศึกษาโดยใช้แบบจำลองของบรูน [7] ในการคำนวณหาแนวชายฝั่งที่หายไปจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคต พบว่า ที่ RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5 ค่าแนวระยะถอยร่นเฉลี่ยเท่ากับ -21.989, -27.173, -28.038 และ -36.911 เมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างแนวชายฝั่งเดิมกับแนวชายฝั่งในอนาคต

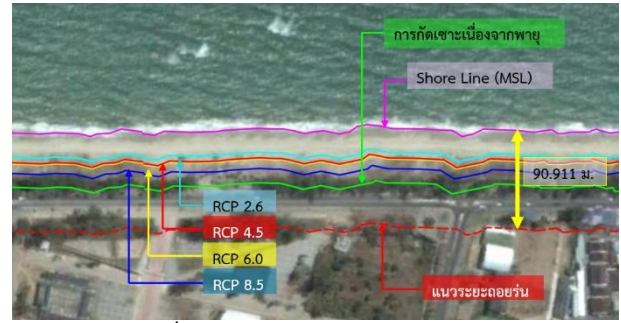
### 3.4 ระยะถอยร่น (Setback)

จากการศึกษาข้างต้น ได้ผลการกัดเซาะชายฝั่งทั้ง 3 กระบวนการ ดังนี้ (1) อัตราการกัดเซาะที่เกิดจากพายุเท่ากับ 50 เมตร (2) อัตราอัตราการกัดเซาะในอดีตเท่ากับ 0.05 เมตรต่อปี (3) อัตราการกัดเซาะอันเนื่องมาจากการเพิ่มระดับน้ำขึ้นของระดับน้ำทะเลในแต่ละ Scenarios แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงระยะถอยร่นที่ Scenarios ในแต่ละช่วง

ตำแหน่ง	ระยะถอยร่น กรณี RCP 2.6	ระยะถอยร่น กรณี RCP 4.5	ระยะถอยร่น กรณี RCP 6.0	ระยะถอยร่น กรณี RCP 8.5
B1	76.840	82.224	83.123	92.339
B2	75.712	80.830	81.684	90.446
B3	75.490	80.555	81.401	90.072
B4	75.696	80.810	81.664	90.419
B5	75.728	80.850	81.705	90.473
B6	75.950	81.123	81.987	90.844
B7	75.902	81.065	81.927	90.765
B8	75.775	80.907	81.764	90.550
B9	76.351	81.620	82.500	91.519
B10	76.059	81.259	82.127	91.028
B11	76.159	81.383	82.255	91.196
B12	76.039	81.234	82.101	90.995
B13	76.239	81.481	82.356	91.330
B14	75.910	81.074	81.936	90.777
Avg.	75.989	81.173	82.038	90.911

การศึกษานี้จะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ปี ค.ศ 2100 เมื่อคำนวณที่ RCP 8.5 แล้วจะได้ระยะถอยร่นของหาดชลาลัยเฉลี่ยเท่ากับ 90.911 เมตร แสดงตัวอย่างในบางตำแหน่งของหาดดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงระยะถอยร่นของหาดชลาลัย

## 4. บทสรุป

การศึกษานี้ได้วิเคราะห์ระยะถอยร่นชายฝั่งทะเลเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล สำหรับชายหาดที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์ชายฝั่งแบบหาดในชุมชน กรณีศึกษาคือ หาดชลาลัย จังหวัดสงขลา โดยวิเคราะห์การกัดเซาะชายฝั่งจาก 3 กระบวนการ ได้แก่ การกัดเซาะที่เกิดจากพายุ อัตราการกัดเซาะในอดีต และการกัดเซาะอันเนื่องมาจากการเพิ่มระดับน้ำขึ้นของระดับน้ำทะเล ซึ่งการศึกษาประกอบด้วย (1) หาอัตราการกัดเซาะเฉลี่ยรายปีด้วยการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างปี โดยการปรับแก้ระดับน้ำในภาพถ่ายดาวเทียมให้อยู่ที่ระดับทะเลปานกลาง (2) หาอัตราการกัดเซาะอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลด้วยแบบจำลองของบรูไน โดยใช้ข้อมูลความลาดชันชายหาด ค่าขนาดคลื่นเฉลี่ยของตะกอนทราย และระดับน้ำที่ปี ค.ศ 2080 – 2100 ใน RCP 2.4, RCP 4.5, RCP 6.0 และ RCP 8.5

ผลการศึกษาพบว่า 1.อัตราการกัดเซาะที่เกิดจากพายุเท่ากับ 50 เมตร 2.อัตราการกัดเซาะในอดีตเท่ากับ 0.05 เมตรต่อปี ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งเท่ากับ 4 เมตรในปี ค.ศ 2100 และ 3.อัตราการกัดเซาะอันเนื่องมาจากการเพิ่มระดับน้ำขึ้นจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโดยพิจารณาในปี ค.ศ. 2100 ผลคือ RCP 2.6 มีอัตราการกัดเซาะน้อยสุดเท่ากับ 21.49 เมตร และ RCP 8.5 มีอัตราการกัดเซาะมากที่สุดเท่ากับ 38.34 เมตร ดังนั้นระยะถอยร่นเฉลี่ยของชายหาดชลาลัย กรณี RCP 2.6, 4.5, 6.0 และ 8.5 ได้เท่ากับ 75.99, 81.17, 82.04 และ 90.91 เมตร โดยผลการศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อประเมินระยะถอยร่นของชายหาด และเป็นมาตรการจัดการพื้นที่ชายฝั่งที่มีประสิทธิภาพต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้อยู่ภายใต้โครงการ Advancing Co-design of Integrated Strategies with Adaptation to Climate Change on Thailand (ADAP-T) โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก JICA และ JST และขอขอบคุณ นางสาว ภัทธกร นิธิรางกูร ที่ช่วยสนับสนุนข้อมูล

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). "Climate Change2007", The Physical Science Basis.
- [2] Zheng Wang., Changjiang Shao., Chandxin Liu., Rui Huang., (2017). "The Impact of Sea Level Rise under the Global

- Carbon Reduction Strategy Based on EMRICES Model in China". [www.researchgate.net/publication/314667935](http://www.researchgate.net/publication/314667935).
- [3] กิรพัฒน์ พชรพิชชากร และ สมปรารถนา ฤทธิพิริ้ง. (2557). แบบจำลองอย่างง่ายสำหรับการตอบสนองของชายฝั่งต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19. ณ โรงแรมพูลแมน, ขอนแก่น.
- [4] M.Sano, J.A Jimenez, R.Medina, A.Stanica, A.Sanchez-Arcilla, I.Trumbic. (2011). The role of coastal setbacks in the context of coastal erosion and climate change: *Ocean & Coastal Management* 54, pp. 943-950
- [5] Peng Wang., Jianzheng Wu., Xiaojie Tan. (2012). "Coastal Building Setback Line Determining Method and Application". *Advanced Materials Research Vol 575*:142-146
- [6] กิรพัฒน์ พชรพิชชากร. (2560). ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลสัมพันธ์ที่มีต่อการกัดเซาะชายฝั่งทะเลของประเทศไทย, ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.
- [7] J. Andrew, G. Cooper, Orrin H. Pilkey. (2004). "Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule", *Global and Planetary Change* 43, pp. 157-171
- [8] Dean, R.G. (1991). "Equilibrium beach Profiles: characteristics and application". *Journal of Coastal Research*, 7, 1, 53-84.
- [9] R. J. Hallermeier. (1981). "A profile zonation for seasonal sand beaches from wave. *Coastal Engineering*, pp. 253-277
- [10] I. Takeda, and T. Sunamura. (1983). "Topographic evolution of sandy beaches in the Proceedings of Coastal Engineering", *JSCE*, 30, pp. 254-258, (in Japanese).
- [11] T. Sunamura. (1983). "Determination of Breaker Height and Depth in the Field". Annual Report No.8, Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Japan, pp. 53-54
- [12] Western Australia Planning Commission and Department for Planning and Infrastructure. (2008). The changing Cockburn coasts. *Oceanica, Coastal Processes Report*.
- [13] สมปรารถนา ฤทธิพิริ้ง, อภิศักดิ์ ทศนีย์, อริสรา บินดุส๊ะ และ พรณนิกา โสทธิพันธุ์. (2559). การมีส่วนร่วมของเยาวชนสงขลาเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของชายหาด กรณีศึกษา: การกัดเซาะชายฝั่งช่วงมรสุม. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21, สงขลา, 28-30 มิถุนายน 2559, หน้า 2239-2244