

การประเมินหาพื้นที่เปราะบางชายฝั่งโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ จังหวัดสมุทรสงคราม

Geo-Information Technology for Coastal Vulnerability Assessment, Samut Songkram Province

กัทลี คุรุกุล และกาญจนา นาคะภากร*

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ตำบลศาลายา อำเภอศาลายา จังหวัดนครปฐม 73170

Kattalee Gurukul and Kanchana Nakhapakorn*

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University,

Salaya, Phuttamonthon, Nakhonpathom 73170

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์วิธีการประเมินความเปราะบางชายฝั่งทะเล (coastal vulnerability assessment) เพื่อศึกษาความเปราะบางของพื้นที่ศึกษาต่อการถูกกัดเซาะชายฝั่ง คือ พื้นที่ชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสงคราม มีความยาวตลอดแนวชายฝั่งประมาณ 23 กิโลเมตร โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการวิเคราะห์ข้อมูล สำหรับการประเมินความเปราะบางชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสงคราม ได้แบ่งตัวแปรความเปราะบางออกเป็น 2 กลุ่ม คือ (1) ปัจจัยการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ตัวแปรความสูงคลื่นนัยสำคัญ ตัวแปรน้ำขึ้นน้ำลง และตัวแปรการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล และ (2) ปัจจัยความอ่อนไหว ได้แก่ ตัวแปรความลาดชัน ตัวแปรอัตราการกัดเซาะชายฝั่ง ตัวแปรความหนาแน่นของประชากร ตัวแปรความหนาแน่นของหลังคาเรือน ตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดิน และตัวแปรมาตรการป้องกันแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง ผลการศึกษาพบว่าแนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา มีความเปราะบาง 4 ระดับ ตั้งแต่ความเปราะบางต่ำมากถึงความเปราะบางสูง พื้นที่ที่มีความเปราะบางต่ำมาก มีขนาดพื้นที่ 4.42 ตารางกิโลเมตร (2,763 ไร่) พบในพื้นที่ตำบลคลองโคน และพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูง มีขนาดพื้นที่ 0.56 ตารางกิโลเมตร (350 ไร่) พบในพื้นที่ตำบลบางจะเกร็งและตำบลบางแก้ว สำหรับตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเปราะบาง ได้แก่ น้ำขึ้นน้ำลง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ความลาดชัน ความหนาแน่นของประชากร และ การใช้ประโยชน์ที่ดิน

คำสำคัญ : ความเปราะบางชายฝั่ง; ภูมิสารสนเทศ; สมุทรสงคราม; ปัจจัยการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ; ปัจจัยความอ่อนไหว

Abstract

This study used the coastal vulnerability assessment to examine the vulnerability coastal area of Samut Songkram province (23 km). By applying geo-information technology to organize the variables affecting coastal changes was categorized variables into 2 groups: (1) climate exposure variables consists of mean significant wave height, mean tide range ,and sea level rise; and (2) coastal sensitivity variables consists of slope, shoreline erosion rate, population density, household density, land use, and coastal protection measure. The result was integrated into the model of coastal vulnerability index. The result was found four classes from very low to high vulnerability. The very low coastal vulnerability area was 4.42 km² (2,763 Rai) located in the Khlong Khon district. The high coastal vulnerability area was 0.56 km² (350 Rai) located in the Bang Chakreng and the Bang Keao districts. The variables that affected vulnerability including mean tide range, sea level rise, slope, population density, and land use.

Keywords: coastal vulnerability; geo-information; Samut Songkram; climate exposure variable; coastal sensitivity variable

1. บทนำ

พื้นที่ชายฝั่งทะเลเป็นระบบที่ประกอบด้วยแผ่นดินและทะเล ทำให้เป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพมากอีกพื้นที่หนึ่ง มนุษย์สามารถเข้าไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย [1] ซึ่งการเข้าไปใช้ประโยชน์ของมนุษย์นั้น ทำให้พื้นที่ชายฝั่งทะเลมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม แต่โดยธรรมชาติชายฝั่งทะเลก็มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจากอิทธิพลของลมและคลื่น ในรูปแบบของการกัดเซาะที่บริเวณหนึ่งและพัดพาไปทับถมอีกบริเวณหนึ่ง ปรากฏการณ์การกัดเซาะชายฝั่งทะเลดังกล่าวทำให้สูญเสียแผ่นดินบริเวณชายฝั่งไป ซึ่งนับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งนำไปสู่ความเสียหายต่อสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม

จังหวัดสมุทรสงครามเป็น 1 ใน 5 จังหวัดชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนที่มีทรัพยากรอุดมสมบูรณ์ ทั้งทรัพยากรป่าชายเลนและทรัพยากรสัตว์น้ำ รวมทั้งมีพื้นที่ชุ่มน้ำชายฝั่งทะเลที่สำคัญในระดับ

นานาชาติตามอนุสัญญาแรมซาร์ คือ พื้นที่ชุ่มน้ำดอนหอยหลอด อยู่บริเวณปากแม่น้ำแม่กลองต่อเนื่องไปจนถึงชายฝั่งทะเล เป็นบริเวณที่มีหอยหลอดอยู่มากเพียงแหล่งเดียวในประเทศไทย [2] ชายฝั่งทะเลของจังหวัดสมุทรสงครามจึงเป็นพื้นที่หนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตและประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่ง มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อประโยชน์ทางเศรษฐกิจของประเทศ เช่น แหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กิจกรรมการท่องเที่ยว สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ และเป็นแหล่งเรียนรู้ด้านนิเวศวิทยา อย่างไรก็ตาม ลักษณะทางกายภาพและลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ ประกอบกับความแปรปรวนของปัจจัยทางธรรมชาติเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ทำให้พื้นที่ชายฝั่งทะเลของจังหวัดสมุทรสงครามมีความเปราะบางต่อปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งมากขึ้น จากการศึกษาพบว่าแนวชายฝั่งทะเลหลายแห่งของจังหวัดสมุทรสงครามมีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 1-5 เมตรต่อปี แม้ว่าจะอยู่ในระดับปานกลาง แต่ก็จัดว่า

เป็นพื้นที่เสี่ยงและควรเฝ้าระวัง [3] ดังนั้นพื้นที่ชายฝั่งทะเลจังหวัดสมุทรสงครามจึงควรได้รับการประเมินความเปราะบางต่อปัญหาภัยกัดเซาะชายฝั่ง เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการสถานการณ์การกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่ได้ โดยดำเนินการศึกษาในบริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (intergovernmental panel on climate change, IPCC) และเนื่องด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในปัจจุบันที่สามารถจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และแสดงผลลัพธ์เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง จึงได้นำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นเครื่องมือในการจัดการข้อมูล ติดตามการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งทะเล วิเคราะห์ดัชนีความเปราะบางชายฝั่งทะเล (coastal vulnerability index, CVI) และแสดงผลเป็นแผนที่ความเปราะบางชายฝั่งทะเล

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาดัชนีความเปราะบางชายฝั่ง ในพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดสมุทรสงคราม

2.2 เพื่อประเมินหาพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดสมุทรสงครามที่มีความเปราะบางต่อการถูกกัดเซาะ

3. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ชายฝั่งทะเลจังหวัดสมุทรสงคราม ตั้งอยู่บริเวณอ่าวไทยตอนบน มีลักษณะโดยทั่วไปเป็นที่ราบลุ่มชายฝั่งทะเล มีลักษณะทางธรณีสัณฐานเป็นที่มีการทับถมกันของตะกอนน้ำทะเลและน้ำกร่อย ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง ทำให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนทรายแป้ง ดินเหนียว และทรายเม็ดละเอียดจนเกิดเป็นลานแบนราบ [4] มีความลาดชันของพื้นที่โดยเฉลี่ยน้อยกว่า 1 % สำหรับลักษณะภูมิอากาศ

ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกุมภาพันธ์ และได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม [5]

4. ขอบเขตและข้อจำกัดของการศึกษา

4.1 ขอบเขตของการศึกษา

4.1.1 พื้นที่ศึกษาสำหรับการประเมินความเปราะบางชายฝั่งครั้งนี้ ทำการศึกษาบริเวณชายฝั่งทะเลของจังหวัดสมุทรสงคราม จำนวน 4 ตำบล ประกอบด้วยตำบลคลองโคน แหลมใหญ่ บางจะเกร็ง และบางแก้ว โดยทั้ง 4 ตำบล ตั้งอยู่ในอำเภอเมืองสมุทรสงคราม ความยาวของแนวชายฝั่งประมาณ 23 กิโลเมตร แสดงในรูปที่ 1

4.1.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่และคุณลักษณะของตัวแปรความเปราะบางชายฝั่งทะเลในบริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประกอบด้วย

(1) ปัจจัยเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ (climate exposure variable) ได้แก่ ความสูงคลื่น นัยสำคัญ น้ำขึ้นน้ำลง และการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

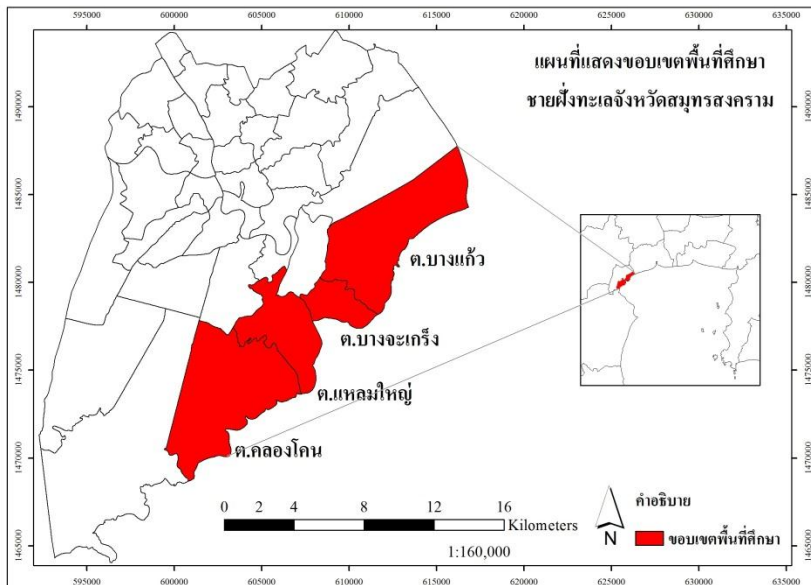
(2) ปัจจัยความอ่อนไหว (coastal sensitivity variable) ได้แก่ ความลาดชัน อัตราการกัดเซาะชายฝั่ง ความหนาแน่นของประชากร ความหนาแน่นของหลังคาเรือน สิ่งปลูกสร้าง การใช้ประโยชน์ที่ดิน และมาตรการป้องกันแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง

4.2 ข้อจำกัดของการศึกษา

การประเมินความเปราะบางชายฝั่งทะเล (coastal vulnerability assessment, CVA) เป็นการประเมินในระดับภูมิภาค (regional) หรือระดับประเทศ แต่สำหรับการศึกษาคั้งเป็นการประเมิน

ความเปราะบางชายฝั่งในระดับท้องถิ่น (ระดับตำบล) และพื้นที่ศึกษามีขนาดเล็ก ทำให้ค่าของตัวแปรบางตัว เช่น ความสูงคลื่นนัยสำคัญ น้ำขึ้นน้ำลง การเพิ่มขึ้น

ของระดับน้ำทะเล ไม่มีความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ โดยค่าของตัวแปรนั้น ๆ มีค่าเท่ากันตลอดทั้งพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดสมุทรสงคราม

5. ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 1990 Gonitz [6] ได้คิดค้นดัชนีความเปราะบางชายฝั่ง (coastal vulnerability index, CVI) เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลบริเวณด้านตะวันออกของชายฝั่งประเทศสหรัฐอเมริกา ต่อมา ในปี 2003 Hammer-Klose และคณะ [7] ได้พัฒนา CVI โดยจัดแบ่งดัชนีออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ด้านธรณีวิทยา และด้านกระบวนการทางกายภาพ เพื่อจัดทำแผนที่ความเปราะบางของชายฝั่งต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ Cape Cod ในขณะเดียวกัน ปี 2002 McLaughlin และคณะ [8] ได้เพิ่มปัจจัยด้านสังคม-เศรษฐกิจเข้าไป ซึ่งการบูรณาการปัจจัยทั้งด้านกายภาพหรือด้านธรรมชาติ และด้านสังคม-เศรษฐกิจด้วยนั้น จะทำให้การประเมินความเปราะบางมีความครอบคลุมมากขึ้น

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการประเมินความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศเนื่องมาจากการที่อุณหภูมิของโลกร้อนขึ้น จากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ สาเหตุดังกล่าวส่งผลให้สภาพอากาศเกิดความแปรปรวน ทำให้เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติต่าง ๆ ตามมา เช่น การเกิดพายุที่รุนแรงมากขึ้น เกิดอุทกภัย ซึ่งก็จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ต่าง ๆ รวมถึงพื้นที่ชายฝั่งด้วย Gayoung และคณะ [9] ได้ประเมินความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศของชุมชนเมืองบริเวณชายฝั่งทะเลของเมืองปูซาน ประเทศเกาหลีใต้ ผู้วิจัยได้ทำตามกรอบแนวคิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศของ IPCC โดยกำหนดตัวแปรการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล จำนวนครั้งของการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และคลื่นความร้อน ให้อยู่ในด้านการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ

ตัวแปรความหนาแน่นของประชากร และช่วงอายุของประชากรตั้งแต่ 65 ปีขึ้นไป จัดอยู่ในด้านความอ่อนไหว และกำหนดให้ประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจ สาธารณูปโภค และประสิทธิภาพของหน่วยงาน อยู่ในด้านความสามารถในการปรับตัว สำหรับ Sousa และคณะ [10] ได้ประยุกต์แนวคิดการประเมินความเปราะบางต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ซึ่งทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วมและการกัดเซาะชายฝั่ง นำไปสู่ความเสียหายต่อสังคม-เศรษฐกิจ โดยศึกษาในด้านของอันตรายจากการเกิดน้ำท่วมและการกัดเซาะชายฝั่ง การเปิดรับ และความสามารถในการรับมือ

6. ระเบียบวิธีวิจัย

6.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

6.1.1 ข้อมูลปฐมภูมิ จากการสำรวจพื้นที่ศึกษา เพื่อเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง การใช้ประโยชน์ที่ดิน และมาตรการป้องกันแก้ไข ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา

6.1.2 ข้อมูลทุติยภูมิ สืบค้นจากฐานข้อมูล และขอความอนุเคราะห์ข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ ประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

(1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายเทียม LANDSAT 5, 7 และ 8 และ ในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) และแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 กรมแผนที่ทหาร เพื่อนำมาศึกษาอัตราการกัดเซาะชายฝั่ง การใช้ประโยชน์ที่ดิน และความลาดชันของพื้นที่ศึกษา

(2) ข้อมูลเชิงคุณลักษณะ ได้แก่

• ข้อมูลความสูงคลื่นนัยสำคัญในช่วงปี พ.ศ. 2551-2555 จากศูนย์อุตุนิยมวิทยาทะเล สำนักตรวจและเฝ้าระวังสภาวะอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญนี้ ประมวลผลมาจาก

แบบจำลองพยากรณ์คลื่นลมในทะเล (ocean wave forecast model, The WAM model)

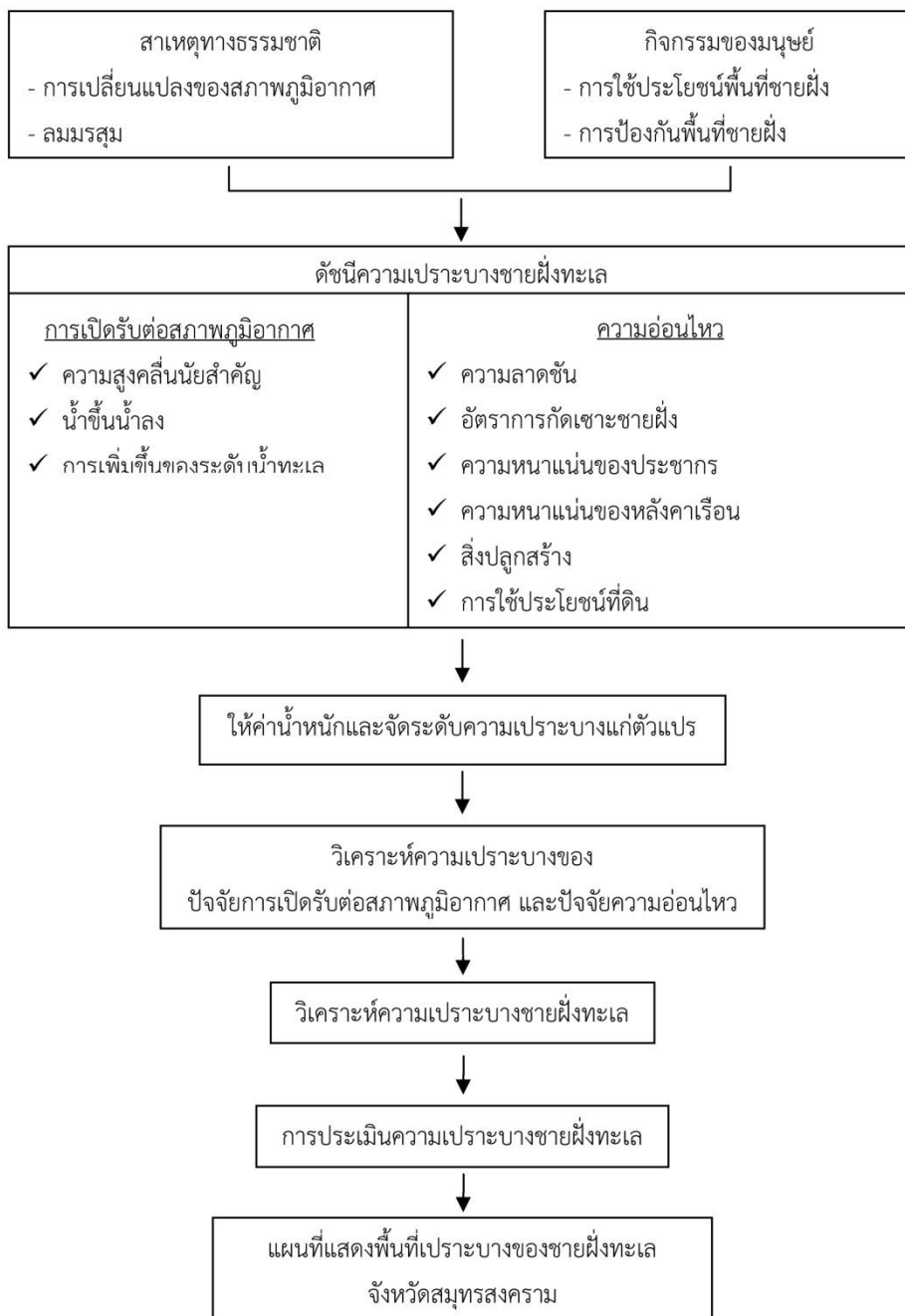
• ข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลงในช่วงปี พ.ศ. 2547-2556 จากสถานีตรวจวัดระดับน้ำ กรมเจ้าท่า จำนวน 3 สถานี ครอบคลุมชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ สถานีปากน้ำแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม สถานีปากน้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร และสถานีบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ในการศึกษาเลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำขึ้นเต็มที่ทั้งหมด เนื่องจากในขณะที่น้ำกำลังขึ้น กระแสน้ำจะมีความรุนแรง [11] เป็นสาเหตุให้ตะกอนดินเคลื่อนย้ายออกจากบริเวณชายฝั่งได้

• ข้อมูลจำนวนประชากรและจำนวนหลังคาเรือนในช่วงปี พ.ศ. 2551-2555 จากรายงานสถิติจำนวนประชากร และบ้าน ทั่วประเทศและรายจังหวัด สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง นำข้อมูลจำนวนประชากรและหลังคาเรือนมาคำนวณหาความหนาแน่นของประชากร ในระดับตำบลต่อขนาดพื้นที่ของตำบลนั้น ๆ

• ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2552 และ 2554 จากกรมพัฒนาที่ดิน

• ข้อมูลมาตรการป้องกันแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง จากหน่วยงานท้องถิ่นในพื้นที่ศึกษา และรายงานทางวิชาการ ในการศึกษาใช้ข้อมูลโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง ความร่วมมือในการจัดการปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง ประกอบด้วยความร่วมมือในการกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไข และความร่วมมือในการศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง

เมื่อรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาแล้ว ทำการนำเข้าข้อมูลและแปลงข้อมูลให้เป็นเชิงตัวเลข โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geographic information system) เป็นเครื่องมือในการจัดการ จัดเก็บ และวิเคราะห์ข้อมูล (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดในการศึกษา

6.2 กรอบแนวคิดในการศึกษา

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสงครามเนื่องมาจากสาเหตุจากธรรมชาติและกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ซึ่งทำให้สภาพภูมิ

อากาศเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ปัจจัยทางธรรมชาติต่าง ๆ จึงเกิดความรุนแรงและแปรปรวนตามไปด้วย ส่งผลกระทบให้พื้นที่ชายฝั่งทะเลเกิดการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบของการกัดเซาะอย่างรุนแรงมากขึ้น จึงได้ทำ

การประเมินความเปราะบางชายฝั่งทะเลในบริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สามารถกำหนดตัวแปรได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ปัจจัยเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ และปัจจัยความอ่อนไหว ให้น้ำหนักและจัดระดับความเปราะบางของตัวแปรแต่ละตัว เพื่อวิเคราะห์หาความเปราะบางของทั้ง 2 ปัจจัย และความเปราะบางชายฝั่งทะเล โดยแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของแผนที่แสดงความเปราะบางชายฝั่งทะเลของจังหวัดสมุทรสงคราม

6.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการให้น้ำหนักแก่ตัวแปรแต่ละตัว และให้คะแนนความเปราะบาง ตั้งแต่ค่าที่ 1-5 ตามระดับความเปราะบาง ซึ่งค่า 5 หมายถึงเปราะบางสูงมาก ค่า 4 หมายถึง เปราะบางสูง ค่า 3 หมายถึง เปราะบางปานกลาง ค่า 2 หมายถึง เปราะบางต่ำ และค่า 1 หมายถึง เปราะบางต่ำมาก ซึ่งน้ำหนักและการจัดแบ่งระดับความเปราะบางของแต่ละตัวแปรประยุกต์มาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ระดับความเปราะบางของตัวแปรความเปราะบางชายฝั่ง

	ตัวแปร	ระดับความเปราะบาง				
		ต่ำมาก 1	ต่ำ 2	ปานกลาง 3	สูง 4	สูงมาก 5
ปัจจัยการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (ม.)	< 0.55	0.55 - 0.85	0.85 - 1.05	1.05 - 1.25	> 1.25
	น้ำขึ้นน้ำลง (ม.)	< 1.0	1.0 - 1.9	2.0 - 4.0	4.1 - 6.0	> 6.0
	การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล (มม./ปี)	< 1.8	1.8 - 2.5	2.5 - 3.0	3.0 - 3.4	> 3.4
ปัจจัยความอ่อนไหว	ความลาดชัน (%)	> 0.20	0.20 - 0.07	0.07 - 0.04	0.04 - 0.025	< 0.025
	อัตราการกัดเซาะชายฝั่ง (ม./ปี)	> 2.0	1.0 - 2.0	-1.0 - 1.0	-2.0 - -1.0	< -2.0
	ความหนาแน่นของประชากร (คน/ตร.กม.)	0 - 100	101 - 200	201 - 400	401 - 600	> 600
	ความหนาแน่นของหลังคาเรือน (หลังคาเรือน/ตร.กม.)	ไม่มีหลังคาเรือน	1 - 200	201 - 500	501 - 1,000	> 1,000
	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ทิ้งร้าง, พื้นที่ขุดน้ำ, แหล่งน้ำ	ทุ่งหญ้า, ไม้พุ่มเตี้ย	ป่าชายเลน	เกษตรกรรม, พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, พืชสวน	พื้นที่เมือง, พาณิชยกรรม, สาธารณูปโภค, อุตสาหกรรม, สถานที่ท่องเที่ยว
มาตรการป้องกันแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง	-	มีมาตรการป้องกันแก้ไข	อยู่ระหว่างการดำเนินโครงการ	ไม่มีมาตรการป้องกันแก้ไข	-	

ที่มา : ดัดแปลงจาก Hammer-Klose และคณะ [7], McLaughlin และคณะ [8], Duriyapong และ Nakapakorn [12], Dwarakish และคณะ [13] และสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [14]

ตารางที่ 2 ค่าน้ำหนักของตัวแปรความเปราะบางชายฝั่ง

		ตัวแปร	ค่าน้ำหนัก
ปัจจัยเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ		ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (ม.)	0.29
		น้ำขึ้นน้ำลง (ม.)	0.11
		การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล (มม./ปี)	0.06
ปัจจัยความอ่อนไหว		ความลาดชัน (%)	0.35
		อัตราการกัดเซาะชายฝั่ง (ม./ปี)	0.25
		ความหนาแน่นของประชากร (คน/ตร.กม.)	0.24
		ความหนาแน่นของหลังคาเรือน (หลังคาเรือน/ตร.กม.)	0.30
		สิ่งปลูกสร้าง	0.27
		การใช้ประโยชน์ที่ดิน	0.25
	มาตรการป้องกันแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง	0.10	

ที่มา : ดัดแปลงจาก Duriyapong และ Nakapakorn [12], Dwarakish และคณะ [13] และสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [14]

เมื่อให้ค่าน้ำหนักและค่าคะแนนความเปราะบางของตัวแปรแต่ละตัวแล้ว นำค่าคะแนนทั้งสองนั้นมาคูณกัน จากนั้นนำตัวแปรภายในปัจจัยนั้น ๆ มาซ้อนทับกัน (overlay) โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และใช้สมการคำนวณเพื่อให้ได้เป็นดัชนีความเปราะบางด้านการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ (climate exposure index, CEI) ดัชนีความเปราะบางด้านความอ่อนไหว (coastal sensitivity index, CSI) แสดงในสมการที่ (1) และ (2)

$$CEI = W_1X_1 + \dots + W_nX_n \quad (1)$$

$$CSI = W_1X_1 + \dots + W_nX_n \quad (2)$$

เมื่อ CEI คือ ดัชนีความเปราะบางด้านการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ

CSI คือ ดัชนีความเปราะบางด้านความอ่อนไหว
 W_n คือ ค่าน้ำหนักของตัวแปรในปัจจัยการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ ค่าน้ำหนักของตัวแปรในปัจจัยความอ่อนไหว

X_n คือ ค่าคะแนนความเปราะบางของตัวแปรในปัจจัยการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ, ค่าคะแนนความเปราะบางของตัวแปรในปัจจัยความอ่อนไหว

เมื่อได้ค่าความเปราะบางของปัจจัยทั้งสองแล้ว จะนำมาวิเคราะห์หาดัชนีความเปราะบางชายฝั่ง (coastal vulnerability index, CVI) โดยใช้สมการที่ประยุกต์มาจากการหาความเปราะบางของชายฝั่งที่ใช้ปัจจัยด้านกายภาพ และปัจจัยด้านสังคม-เศรษฐกิจในการวิเคราะห์ แสดงในสมการที่ (3)

$$CVI = (CEI + CSI)/\text{Number of Indies} \quad (3)$$

เมื่อ CVI = ดัชนีความเปราะบางของชายฝั่ง

Number of Indies = จำนวนของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา คือ ปัจจัยเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ และปัจจัยความอ่อนไหว จำนวน 2 ปัจจัย

7. ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

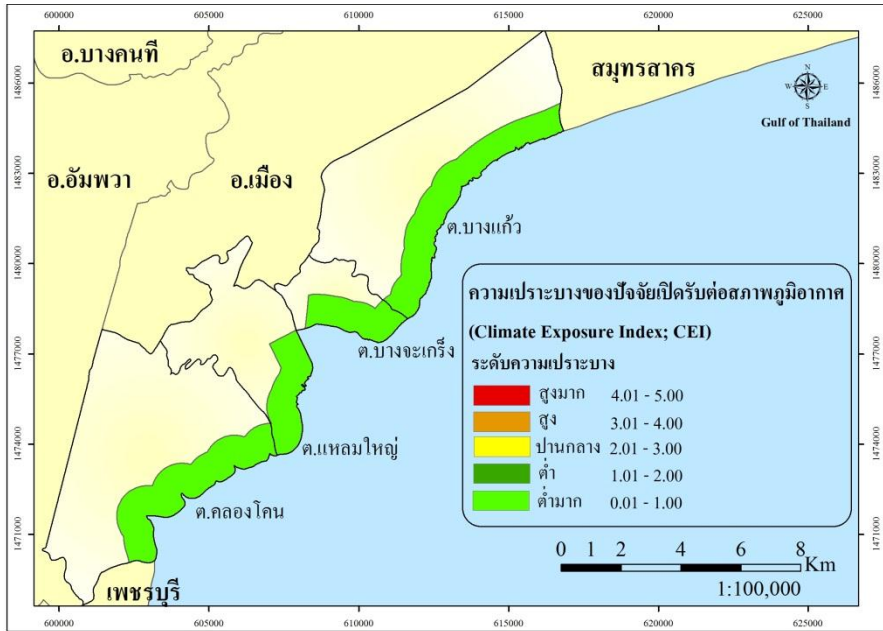
7.1 ผลการศึกษา

7.1.1 ผลการประเมินความเปราะบางชายฝั่ง

ดัชนีความเปราะบางด้านการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ ได้กำหนดว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อให้ชายฝั่งเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นผลการวิเคราะห์ความเปราะบางจะเป็นค่าเฉลี่ยของตัวแปรแต่ละตัว และแสดงผลของค่า CEI ในลักษณะเป็นค่าตัวแทน

เพียงค่าเดียวตลอดแนวชายฝั่ง ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความเปราะบางของ CEI อยู่ในระดับต่ำมาก (รูปที่ 3) มีขนาดพื้นที่ 24.86 ตารางกิโลเมตร (15,538 ไร่) ดัชนีที่ส่งผลกระทบต่อความเปราะบางของพื้นที่ ได้แก่ น้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งระดับน้ำขึ้นเต็มที่ในแต่ละปีมีแนวโน้ม

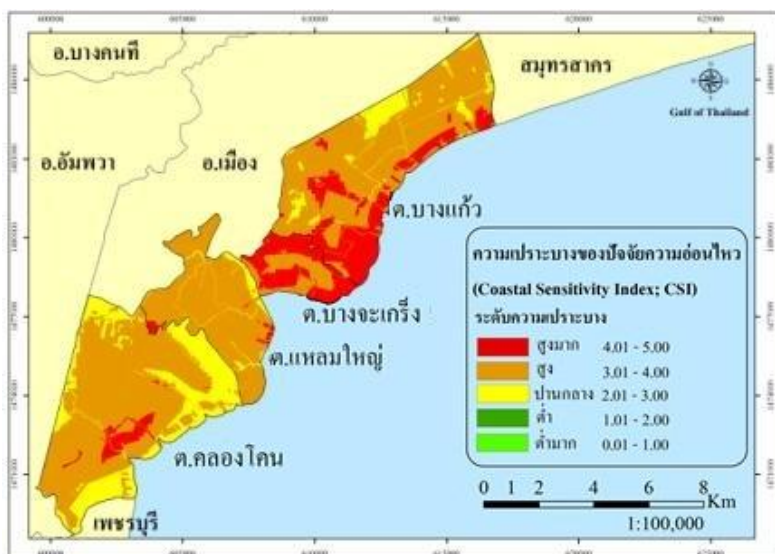
สูงขึ้น ยิ่งส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนย้ายของมวลตะกอนดิน รองลงมาคือดัชนีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงอยู่ในระดับสูงมาก แต่เนื่องจาก ค่าน้ำหนักของทั้งสองตัวแปรค่อนข้างน้อย เมื่อนำมาซ้อนทับกันค่าของ CEI จึงอยู่ในระดับต่ำมาก



รูปที่ 3 ดัชนีความเปราะบางด้านการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ

ดัชนีความเปราะบางด้านความอ่อนไหว พบความเปราะบาง 4 ระดับ (รูปที่ 4) ตั้งแต่ความเปราะบางต่ำถึงสูงมาก พื้นที่โดยส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเปราะบางสูง มีขนาดพื้นที่ 12.45 ตารางกิโลเมตร (7,781ไร่) พบมากที่สุดที่ตำบลบางแก้วและตำบลแหลมใหญ่ รองลงมาคือความเปราะบางปานกลาง มีขนาดพื้นที่ 4.23 ตารางกิโลเมตร (2,644 ไร่) พบมากที่สุดที่ตำบลคลองโคน ความเปราะบางสูงมาก มีขนาดพื้นที่ 8.17 ตารางกิโลเมตร (5,106 ไร่) พบมากที่สุดที่ตำบลบางแก้ว และความเปราะบางต่ำ มีขนาดพื้นที่ 0.01 ตารางกิโลเมตร (6 ไร่) พบที่ตำบลคลองโคน ดัชนีที่ส่งผลกระทบต่อความเปราะบางของพื้นที่ ได้แก่ ความลาด

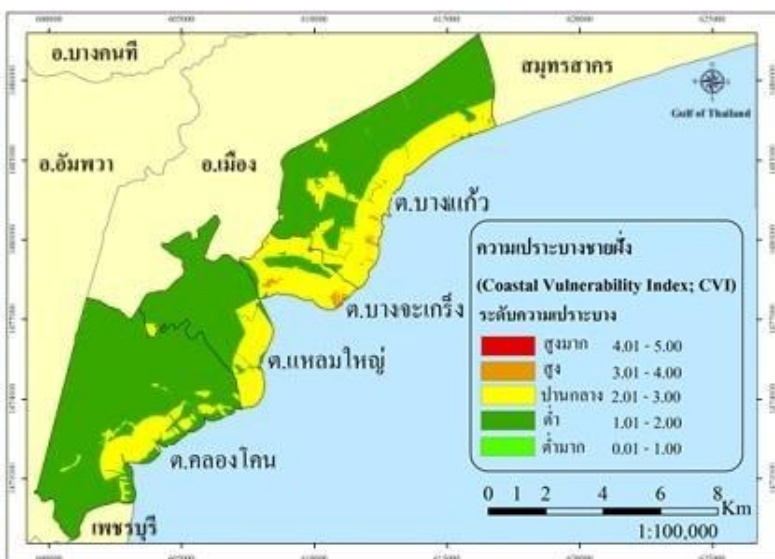
ชัน เนื่องจากพื้นที่ศึกษาที่มีความลาดชันต่ำ มีโอกาสเกิดน้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล อีกทั้งยังเปิดรับแรงกระทำจากคลื่นได้มาก ทำให้เกิดการกัดเซาะมากขึ้นตามไปด้วย ประกอบกับการใช้ที่ดินโดยส่วนใหญ่เป็นการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เนื่องจากบริเวณนี้เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำทะเลและน้ำกร่อย ดินจึงมีความเค็ม ประกอบกับความใกล้ทะเล ทำให้พื้นที่ชายฝั่งมีศักยภาพในการทำนาเกลือและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งได้ ซึ่งเป็นการรุกร้าและทำลายระบบนิเวศชายฝั่ง ส่งผลให้พื้นที่ศึกษาที่มีความอ่อนไหวและเปราะบางต่อการถูกกัดเซาะมากขึ้น



รูปที่ 4 ดัชนีความเปราะบางด้านความอ่อนไหว

ดัชนีความเปราะบางชายฝั่ง พบว่ามีความเปราะบาง 3 ระดับ (รูปที่ 5) ตั้งแต่ความเปราะบางต่ำถึงสูง พื้นที่โดยส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเปราะบางปานกลาง มีขนาดพื้นที่ 19.89 ตารางกิโลเมตร (12,431 ไร่) พบมากที่สุดที่ตำบลบางแก้ว รองลงมาคือความเปราะบางต่ำ มีขนาดพื้นที่ 4.42 ตารางกิโล

เมตร (2,763 ไร่) พบมากที่สุดที่ตำบลคลองโคน และความเปราะบางสูง มีขนาดพื้นที่ 0.55 ตารางกิโลเมตร (344 ไร่) พบมากที่สุดที่ตำบลบางจะเกร็ง โดยดัชนีความเปราะบางด้านความอ่อนไหวมีผลกระทบต่อความเปราะบางชายฝั่งมากกว่าดัชนีความเปราะบางด้านการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ



รูปที่ 5 ดัชนีความเปราะบางชายฝั่งทะเล

7.1.2 การตรวจสอบผลการประเมินความเปราะบางชายฝั่ง

(1) ผลการประเมินความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งตำบลคลองโคนในพื้นที่ 1 กิโลเมตรจากแนวชายฝั่งเข้าไปในแผ่นดิน พบความเปราะบางต่ำและปานกลางมีขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนของค่า CSI พบความเปราะบางปานกลางและสูงมีขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งจัดอยู่ในระดับความเปราะบางสูง ประกอบกับดัชนีน้ำขึ้นน้ำลงมีค่าความเปราะบางในระดับปานกลางแต่จากที่มีการฟื้นฟูป่าชายเลน จนมีพื้นที่ป่าชายเลนเพิ่มขึ้นตลอดแนวชายฝั่งของพื้นที่ จึงสามารถช่วยป้องกันชายฝั่งและลดแรงปะทะจากลมและคลื่น จัดได้ว่าเป็นแนวป้องกันชายฝั่งที่มีส่วนช่วยให้ค่าความเปราะบางในพื้นที่ต่ำลง

(2) ผลการประเมินความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งตำบลแหลมใหญ่ในพื้นที่ 1 กิโลเมตรจากแนวชายฝั่งเข้าไปในแผ่นดินพบว่าความเปราะบางปานกลางเกือบทั้งหมดของพื้นที่ สำหรับค่าของ CSI พบความเปราะบางสูง เนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้ใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และมีพื้นที่อยู่อาศัยตั้งอยู่ด้วย ประกอบกับเป็นบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง แม้ว่าเกือบตลอดแนวชายฝั่งของพื้นที่จะมีการปักไม้ไผ่ และมีป่าชายเลน แต่ก็ยังทำให้ค่าของ CSI อยู่ในระดับความเปราะบางสูง

(3) ผลการประเมินความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งตำบลบางจะเกร็งในพื้นที่ 1 กิโลเมตรจากแนวชายฝั่งเข้าไปในแผ่นดินพบว่าเกือบทั้งหมดของพื้นที่ที่มีความเปราะบางปานกลาง สำหรับค่าของ CSI พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเปราะบางสูง เนื่องจากมีพื้นที่ชุมชนตั้งอยู่ และเป็นพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำ อีกทั้งยังมีดอนหอยหลอดซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความ

หลากหลายทางชีวภาพ และเป็นบริเวณที่มีตะกอนดินมาทับถม แต่จากการที่สภาพภูมิอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้ตัวแปรในปัจจัยการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศมีความแปรปรวน ส่งผลกระทบต่อแนวชายฝั่งของพื้นที่ ทำให้เกิดความเสื่อมโทรมทางกายภาพและชีวภาพของดอนหอยหลอดได้ จึงจัดว่าเป็นบริเวณที่มีความอ่อนไหวมาก แม้ว่าจะมีการสร้างกำแพงไม้ไผ่กำแพงกันคลื่นและแนวหินทิ้ง ซึ่งสามารถช่วยลดพลังงานของคลื่นได้ แต่โครงสร้างของกำแพงกันคลื่นและแนวหินทิ้งทำให้ตะกอนไม่สามารถมาตกทับถมที่บริเวณด้านหลังของโครงสร้างได้ [15]

(4) ผลการประเมินความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งตำบลบางแก้วในพื้นที่ 1 กิโลเมตรจากแนวชายฝั่งเข้าไปในแผ่นดินพบว่าเกือบทั้งหมดของพื้นที่อยู่ในระดับความเปราะบางปานกลางแต่ในขณะเดียวกันค่าของ CSI มีความเปราะบางสูงและสูงมากในขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกัน และยังเป็นพื้นที่ที่มีการกัดเซาะมากที่สุด เพราะเป็นพื้นที่ที่เปิดรับลม และคลื่นมากกว่าบริเวณอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูมรสุม จะเกิดการกัดเซาะมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การพัฒนาการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำก็ยิ่งส่งผลให้พื้นที่ที่มีความเปราะบางมาก แม้ว่าการก่อสร้างแนวกำแพงไม้ไผ่สลักกับกำแพงกันคลื่นและแนวหินทิ้งซึ่งช่วยให้ค่าความเปราะบางต่ำลง แต่เนื่องจากยังมีบางบริเวณที่ไม่โครงสร้างป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง ประกอบกับพื้นที่ของตำบลบางแก้วที่ติดต่อกับตำบลนาโคก จังหวัดสมุทรสาคร ยังขาดแคลนพื้นที่ป่าชายเลน ทำให้ค่าของ CSI อยู่ในระดับสูงและสูงมาก

8. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการศึกษา

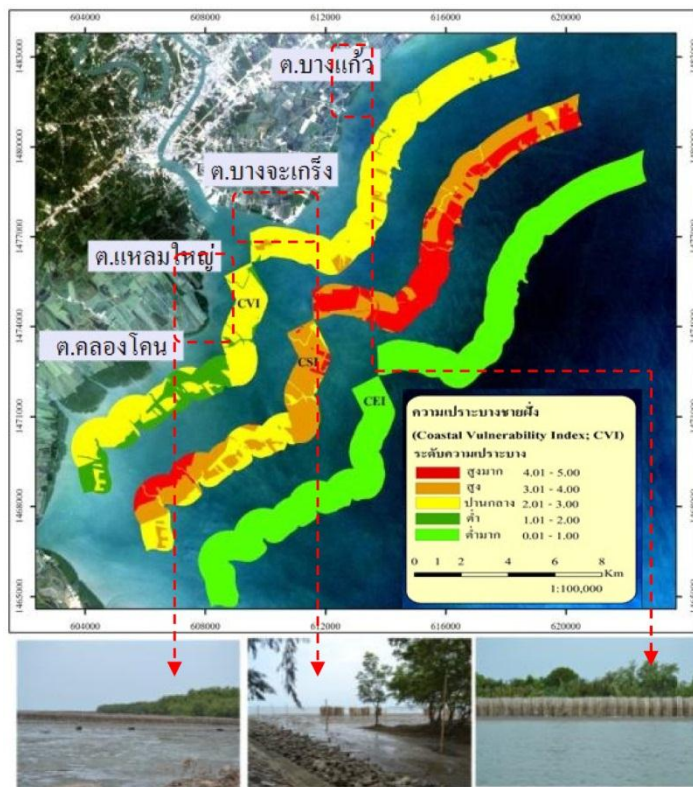
ปัจจัยการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศพบว่าอยู่ในระดับความเปราะบางต่ำมาก ดัชนีที่ส่งผล

กระทบมากที่สุด ได้แก่ น้ำขึ้นน้ำลง และการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล สำหรับปัจจัยความอ่อนไหว พบว่ามีความเปราะบางตั้งแต่ระดับต่ำมาถึงสูงมาก ดัชนีที่ส่งผลกระทบต่อมากที่สุด คือ ความลาดชัน รองลงมาคือความหนาแน่นของประชากร และการใช้ประโยชน์ที่ดิน และความเปราะบางชายฝั่ง พบความเปราะบางตั้งแต่ระดับต่ำถึงสูง

8.2 ข้อเสนอแนะ

8.2.1 ผลการศึกษาการประเมินความเปราะบางชายฝั่งทะเลได้จัดทำในรูปของแผนที่แสดง

ความเปราะบางชายฝั่ง เพื่อแสดงความเปราะบางในระดับต่าง ๆ ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะช่วยให้ชุมชนสถาบันการศึกษา และหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในด้านการจัดการชายฝั่งได้รับทราบและเข้าใจถึงปัญหาการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง รวมถึงสถานการณ์ความเปราะบางในแต่ละจุดของพื้นที่ได้ง่าย เพื่อเป็นแนวทางในการจัดทำแผนงานหรือนโยบายในการแก้ไขปัญหาหรือจัดการกับสถานการณ์กัดเซาะชายฝั่ง รวมถึงการของงบประมาณเพื่อจัดทำมาตรการป้องกันแก้ไขปัญหาคารกัดเซาะชายฝั่ง



รูปที่ 6 ผลการสำรวจของพื้นที่ศึกษา

8.2.2 ดัชนีความเปราะบาง และผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปปรับใช้เพื่อประเมินความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งอื่น ๆ ได้ แต่ต้องมีการปรับหรือประยุกต์ดัชนีที่จะใช้ในการวิเคราะห์ให้มีความ

เหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพและสังคมเศรษฐกิจของพื้นที่ชายฝั่งนั้น ๆ ด้วย

8.2.3 ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจเพิ่มเติมแปรในการวิเคราะห์ความเปราะบาง เช่น การเกิดน้ำ

ท่วมบริเวณชายฝั่ง ปริมาณน้ำฝน การสะสมของ ปริมาณตะกอน ซึ่งจะช่วยให้การประเมินความเปราะบางชายฝั่งมีความครอบคลุมมากขึ้น ดังนั้นต้องมีการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่ชายฝั่งที่จะทำการประเมินความเปราะบาง เพื่อกำหนดตัวแปรให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ชายฝั่งนั้น ๆ

8.2.4 การกำหนดค่าน้ำหนักของตัวแปร อาจดำเนินการให้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้และความเข้าใจในพื้นที่ศึกษาและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อพื้นที่ศึกษาจริง ๆ เป็นผู้ให้ค่าน้ำหนักให้มีความเหมาะสมกับตัวแปรและลักษณะของพื้นที่ที่ศึกษาด้วย

9. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และมหาวิทยาลัยมหิดล ภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ พ.ศ. 2554-2556 คลัสเตอร์วิจัยด้านนวัตกรรมการวิจัยด้านสังคม การศึกษาสิ่งแวดล้อมต่อสุขภาพประชาชน รวมถึงหน่วยงานทั้งจากภาครัฐและเอกชนที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อการวิจัย และอนุญาตให้เข้าพื้นที่เพื่อการสำรวจและเก็บข้อมูล และสละเวลาในการสัมภาษณ์ข้อมูลเพิ่มเติมทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ รศ.ดร.สุเพชร จิรขจรกุล ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผศ.ดร.อภิเศก ปันสุวรรณ และ ดร.กัลยา เทียนวงศ์ คณะอักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้คำปรึกษาและสนับสนุนให้การศึกษาสำเร็จลุล่วงมาด้วยดี

10. รายการอ้างอิง

[1] สุวลักษณ์ สาธุมนัสพันธุ์, 2555, การจัดการชายฝั่ง : บูรณาการสู่ความยั่งยืน, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม.

[2] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2555, โครงการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลต่อพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน, กรุงเทพฯ.

[3] บุญช่วย อรรถวรรณ, 2555, การแก้ไขปัญหการกัดเซาะชายฝั่งโดยวิธีการปักไม้ไผ่ชะลอกคลื่น, เอกสารวิชาการ, สำนักการจัดการป้องกัน การกัดเซาะชายฝั่งทะเลและพื้นที่ชายฝั่งทะเล, กรุงเทพฯ.

[4] ไพฑูรย์ ปิยะปกรณ์, ม.ป.ป., ธรณีวิทยา ภูมิภาค และธรณีสัณฐาน, ม.ป.ท.

[5] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2551, โครงการจัดทำแผนหลักและแผนปฏิบัติการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน, รายงานการวิจัย, กรุงเทพฯ.

[6] Gonitz, V., 1990, Vulnerability of the East coast, USA to future sea level rise, J. Coast. Res. 1: 201 -37.

[7] Hammer Klose, E.S., Pendleton, E.A., Thieler, E.R. and Williams, S.J., 2003, Coastal vulnerability assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to sea-level rise, Open-File Report, U.S. Geological Survey.

[8] McLaughlin, S., McKenna, J. and Cooper, J.A.C., 2002, Socio-economic data in coastal vulnerability indices: Constraints and opportunities, J. Coast. Res. 36: 487-497.

[9] Gayoung, Y., Hwang, H.J. and Choongik, C., 2011, Development and application of a methodology for vulnerability assessment of climate change in coastal cities, Ocean Coast. Manag. 54: 524-534.

- [10] Sousa, Paulo, H.G.O., Siegle, E. and Tessler, M.G., 2013, Vulnerability assessment of Massaguacu Beach (SE Brazil), *Ocean Coast. Manag.* 77: 24-30.
- [11] Gornitz, V., 1991, Global coastal hazards from future sea level rise, *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Alaeoecol.* 89: 379-398.
- [12] Duriyapong, F. and Nakapakorn, K., 2011, Coastal vulnerability assessment: A case study of Samut Sakhon coastal zone, *Songklanakar J. Sci. Technol.* 33: 469-476.
- [13] Dwarkish, G.S, Vinay, S.A, Natesan, U., Asano, T., Kakinuma, T., Venkataramana, K., Jagadeesha Pai, B. and Babita, M.K., 2009, Coastal vulnerability assessment of the future sea level rise in Udupi coastal zone of Karnataka state, west coast of India, *Ocean Coast. Manag.* 52: 467-478.
- [14] สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย และบริษัท เซ้าท์อีส เอเชียเทคโนโลยี จำกัด, 2546, โครงการศึกษาแผนแม่บทการแก้ไขปัญหาคารกัดเซาะชายฝั่งทะเล ตั้งแต่ปากแม่น้ำเพชรบุรี จ.เพชรบุรี ถึงปากแม่น้ำปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์, รายงานการวิจัย, สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- [15] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2551, โครงการจัดทำแผนหลักและแผนปฏิบัติการแก้ไขปัญหาคารกัดเซาะชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน, กรุงเทพฯ.