



การตรวจสอบและการพยากรณ์ผลกระทบจากโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งทะเลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาโดยใช้เทคนิคเชิงพื้นที่

Geospatial Monitoring and Forecasts of Coastal Engineering Structures' Shoreline Transformational Impact at Songkhla Lake Mouth

เอกรักษ์ ใฝ่บุญ¹, วุฒิพงษ์ แสงมณี¹

Aekkarak Faiboon¹, Wutthipong Sangmanee¹

(Received: December 13, 2018; Revised: June 10, 2019; Accepted: July 22, 2019)

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและพยากรณ์ผลกระทบจากโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งทะเลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา ทำเรื่อน้ำลึกสงขลาก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2531 คลื่นที่เกิดขึ้นมีบทบาทสำคัญในการนำตะกอนเลียบชายฝั่งขึ้นมาจากทิศเหนือทำเรื่อซึ่งประกอบด้วยเขื่อนกันคลื่นยาวประมาณ 1,800 เมตร ไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของตะกอน และเกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงทางทิศเหนือยาวประมาณ 1,660 เมตร ข้อมูล 11 ชุดระหว่างช่วงคาบ 48 ปี (พ.ศ. 2510 – 2558) จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง แปลลาเส้นแนวชายฝั่งด้วยสายตาในโปรแกรม Arcview GIS 3.3 และ การเดินสำรวจด้วยเครื่องมือ GPS ใช้โปรแกรม Digital Shoreline Analysis System (DSAS) วิเคราะห์หาอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Rate, LRR) อัตราที่จุดเชื่อมต่อกัน (End Point Rate, EPR) ช่วงก่อน และหลังการก่อสร้างทำเรื่อน้ำลึกพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในอนาคต อีก 10 ปี และ 20 ปี ข้างหน้า

ผลการวิจัยพบว่า ช่วงก่อนก่อสร้างทำเรื่อน้ำลึก บริเวณพื้นที่ หาดทรายแก้วตอนบน หาดทรายแก้วตอนล่าง และหาดสมิหลา อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมีการสะสมตัว เนื่องมาจากในช่วงเวลาดังกล่าวระบบชายฝั่งเป็นหาดธรรมชาติ ไม่มีโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งแบบแข็งกีดขวางการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายชายฝั่ง แต่หลังจากการก่อสร้างทำเรื่อน้ำลึกชายฝั่งเกิดการกัดเซาะในระดับรุนแรง มากกว่า 5 เมตรต่อปี บริเวณพื้นที่หาดจันทร์สว่าง และหาดทรายแก้ว ในทางกลับกันมีการสะสมตัว บริเวณพื้นที่หาดสมิหลา มีสาเหตุมาจากตัวโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งขัดขวางการเคลื่อนที่ของตะกอน และเกิดการเลี้ยวเบนของคลื่น ในขณะที่ทางทิศเหนือเกิดการขาดแคลนตะกอนชายฝั่ง เพราะว่ามีตะกอนชายฝั่งจำนวนมากติดค้างอยู่ที่ทางด้านใต้ของตัวเขื่อนกันทรายปากร่องน้ำ ส่วนการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งทะเลอีก 10 และ 20 ปีข้างหน้า เกิดการกัดเซาะบริเวณจันทร์สว่าง และหาดทรายแก้ว ลึกเข้ามาในแผ่นดินเป็นระยะทางประมาณ 109 และ 263 เมตร ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามหาดสมิหลา มีการสะสมตัวออกไปจากแนวชายฝั่งปัจจุบันประมาณ 157 และ 170 เมตร ตามลำดับ โครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งเป็นตัวกีดขวางระบบของธรรมชาติ อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญคือต้องเลือกวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม เช่น การถ่ายเททราย หรือการเติมทรายเสริมหาด การพัฒนาทำเรื่อน้ำลึกควรอยู่ในพื้นที่ที่เหมาะสมมีการจัดการพื้นที่ชายฝั่งแบบบูรณาการเพื่อความยั่งยืนของทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง

คำสำคัญ: ภูมิสารสนเทศ โครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งทะเล การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ทะเลสาบสงขลา แบบจำลองวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง

¹ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

¹ Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Prince of Songkla University

Abstract

This study aimed to monitor and predict the transformational impact of coastal engineering structures on the shoreline of Songkhla Lake. Constructed in 1988, the Songkhla deepsea port is located at the lake's mouth in the lower part of the Gulf of Thailand. While generated waves play a significant role in the northward longshore drift, the sediment's movement is obstructed by the port and its 1,800-meter long embankment dam, resulting in severe structural erosion to 1,660 meters of the north area. Throughout 48 years (1967-2015), 11 datasets of aerial photos, high-resolution satellite images, ArcView GIS 3.3's visually estimated mapping, and GPS tracking, were collected. Transformational analysis was computed using Digital Shoreline Analysis System (DSAS), linear regression rate, and end point rate—before and after the construction of the deepsea port, in order to determine the past evolution and predict the 10- and 20-year future changes on the shoreline.

The findings revealed that prior to the construction of Songkhla deep sea port, the accretion of shoreline sediment at Chansawang Beach, Sai Kaew Beach, and Samila Beach, was positive due to the absence of coastal engineering structures and sediment blocking. After the construction, the coasts of Chansawang and Sai Kaew eroded at the severe rate of over 5 meters per year, whereas the coast of Samila received an accretion of shoreline sediment from structural blocking and wave redirection. The reason behind the northward sediment deficiency is a strong southward accretion at the sand-blocking dam near the lake mouth. In respective order, the 10- and 20-year forecasts indicated that the coastal erosion at Chansawang and Sai Kaew would worsen and claim 109 and 263 more meters into the land, whereas the sediment accretion at Samila would create outward coastal expansions for 157 and 170 more meters from the current shoreline. Since the coastal engineering structures obstruct the course of nature, it is imperative to take appropriate countermeasures, e.g., sand bypassing or beach nourishment. The expansion of the deepsea port should remain confined within a suitable area, and Integrated Coastal Zone Management (ICZM) should be employed to sustain marine and coastal resources.

Keywords: Geo-Informatics, Coastal Engineering Structure, Shoreline Change, Songkhla Lake, DSAS Model

บทนำ

ชายฝั่งทะเลของประเทศไทยมีความยาวประมาณ 2,614 กิโลเมตร ประกอบด้วยชายฝั่งทะเลทางด้านฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดที่ติดชายฝั่งทะเลจำนวน 23 จังหวัด มีประชากรอาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลมากกว่า 12 ล้านคน (Department of Marine and Coastal Resources, 2010) เป็นพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวทางด้านสิ่งแวดล้อม ในขณะเดียวกันเป็นฐานทรัพยากรที่อุดมสมบูรณ์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลโดยเฉพาอย่างยิ่งฝั่งอ่าวไทยซึ่งได้รับผลกระทบสูงกว่าฝั่งอันดามันตลอดแนวชายฝั่งและในอัตราความรุนแรงแตกต่างกัน พื้นที่ที่ประสบปัญหาถูกกัดเซาะชายฝั่งอย่างรุนแรง (มากกว่า 5 เมตรต่อปี) ยาวกว่า 600 กิโลเมตร (Charoensit, 2007) ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากกระบวนการทางธรรมชาติและถูกแทรกแซงโดยกิจกรรมของมนุษย์ นั้นมีความสำคัญทางเศรษฐกิจและสังคม



โครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งทะเลบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา ประกอบด้วย เขื่อนกันทรายปากร่องน้ำ (Jetty) ก่อสร้างเมื่อ ปี พ.ศ. 2531 และในปี พ.ศ. 2546 ได้ต่อเติมยาวออกไปอีก 450 เมตรท่าเรือน้ำลึกสงขลา ได้แก่ ตัวท่าเรือน้ำลึกสงขลาและเขื่อนกันคลื่นยาวประมาณ 1,800 เมตร เริ่มก่อสร้างปี พ.ศ. 2528 แล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2531

การกัดเซาะชายฝั่งบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา โดยแนวชายฝั่งมีระยะทางยาวประมาณ 8 กิโลเมตร ซึ่งเริ่มตั้งแต่บริเวณหาดหินธรรมชาติ (Headland) ตรงรูปปั้นนางเหือกหาดสมิหลา อ.เมืองสงขลา ผ่านเขื่อนกันทรายปากร่องน้ำ (Jetty) และเขื่อนกันคลื่น (Sea wall) ทะเลสาบสงขลาทางเข้าท่าเทียบเรือน้ำลึกสงขลา พื้นที่หมู่ที่ 1 ต.หัวเขา หาดทรายแก้ว ไปจนถึง ต.ชิงโค อ.สิงหนคร จ.สงขลา ซึ่งเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญของ จ.สงขลา หาดทรายแก้วมีลักษณะชายหาดที่เป็นหาดทรายขาวละเอียดคล้ายแก้ว มีอัตราการกัดเซาะของพื้นที่ 9.72 เมตรต่อปี จัดเป็นพื้นที่กัดเซาะในระดับรุนแรง โดยมีเนื้อที่กัดเซาะทั้งหมดประมาณ 97.45 ไร่ (155,901.80 ตารางเมตร) เป็นระยะทาง 1,800 เมตร (Department of Marine and Coastal Resources, 2011) ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลบริเวณนี้เริ่มเห็นอย่างชัดเจนมากขึ้นเมื่อมีการก่อสร้างท่าเรือน้ำลึกสงขลาแล้วเสร็จ การพัฒนาโครงสร้างต่าง ๆ ของท่าเรือน้ำลึกบนพื้นที่ชายฝั่ง ทำให้เป็นตัวกีดขวางการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของตะกอนทรายชายฝั่ง และส่งผลให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งอย่างชัดเจน

Kannan, Kanungo & Murthy (2016) ได้ศึกษาการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณชายฝั่งลิสซิปตันัม รัฐอานธรประเทศ ประเทศอินเดีย จากข้อมูลภาพจากดาวเทียมแบบหลายช่วงคลื่น ใช้ข้อมูลภาพความละเอียดสูง Landsat-5 Landsat-8 และ IRS ที่บันทึกในช่วงปี พ.ศ. 2532-2548 ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยใช้ Digital Shoreline Analysis System (DSAS) ประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งโดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Rate, LRR) และ อัตราที่จุดเชื่อมต่อกัน (End Point Rate, EPR) พบว่าชายฝั่งทะเลมีการสะสมตัวเป็นระยะทาง 74.6 กิโลเมตร โดยมีค่าเฉลี่ย +1.08 เมตรต่อปี แนวชายฝั่งที่มีการกัดเซาะเป็นระยะทาง 38.4 กิโลเมตร โดยเฉลี่ย -1.44 เมตรต่อปี และชายฝั่งทะเลที่มีเสถียรภาพเป็นระยะทาง 41.4 กิโลเมตร

Sarajit & Nakhapakorn (2014) ได้ศึกษาการประยุกต์ภูมิสารสนเทศสำหรับสถานการณ์การกัดเซาะชายฝั่ง จังหวัดเพชรบุรี โดยคัดเส้นแนวชายฝั่งจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT-5 ระบบ TM และ THEOS ช่วงปี พ.ศ.2544 - 2554 ใช้ Digital Shoreline Analysis System (DSAS) วิเคราะห์หาอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น (LRR) อัตราที่จุดเชื่อมต่อกัน (EPR) พบว่าชายฝั่งทะเลถูกกัดเซาะระยะทางรวม 11,638 เมตร ระยะทางแนวชายฝั่งที่มีอัตราการกัดเซาะรุนแรงมากกว่า 4 เมตรต่อปี รวมระยะทาง 3,700 เมตร

Sangmanee & Tanawut (2017) ได้ศึกษาการบูรณาการข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในจังหวัดปัตตานี โดยคัดเส้นแนวชายฝั่งจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ภาพดาวเทียม LANDSAT, Geoeye และดาวเทียม THEOS ช่วงปี พ.ศ.2518 - 2554 แยกแนวชายฝั่งด้วยวิธีแบบการแบ่งส่วน (Segmentation) เน้นขอบภาพแบบโซเบล (Sobel) ใช้ Digital Shoreline Analysis System (DSAS) วิเคราะห์หาอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น (LRR) อัตราที่จุดเชื่อมต่อกัน (EPR) พบว่าชายฝั่งทะเลในช่วงก่อนมีโครงสร้างวิศวกรรมป้องกันชายฝั่ง มีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 2.88 เมตรต่อปี ซึ่งน้อยกว่าในช่วงหลังมีโครงสร้างวิศวกรรมป้องกันชายฝั่ง ที่มีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 4.82 เมตรต่อปี

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อตรวจสอบและพยากรณ์ผลกระทบจากโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งทะเลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา ในช่วงคาบเวลา 48 ปี (พ.ศ.2510-2558) และพยากรณ์แนวชายฝั่งในอนาคตช่วง 10 ปี (พ.ศ. 2568) และ 20 ปี (พ.ศ. 2578) ข้างหน้า

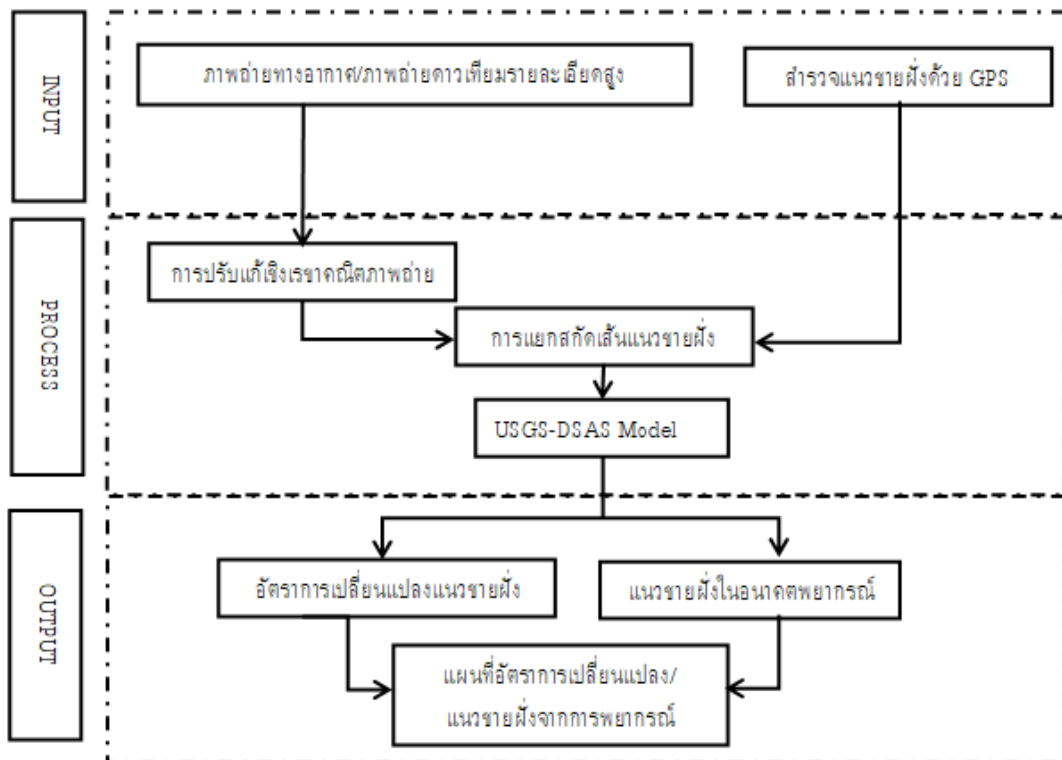
กรอบแนวคิด

กรอบแนวคิด (Concept framework) การศึกษาในครั้งนี้เพื่อตรวจสอบและพยากรณ์ผลกระทบจากจากโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งทะเลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา ในช่วงคาบเวลา 48 ปี (พ.ศ. 2510-2558) และพยากรณ์แนวชายฝั่งในอนาคตช่วง 10 ปี (พ.ศ. 2568) และ 20 ปี (พ.ศ. 2578) ข้างหน้าแสดงดังภาพที่ 1 โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) Input (ปัจจัยนำเข้า) คือข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง การสำรวจแนวชายฝั่งด้วยเครื่องมือหาพิกัดบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม (GPS) (2) Process (กระบวนการ)คือการตรึงพิกัด สร้างเส้นแนวชายฝั่ง (3) Output (ผลผลิต) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง และการพยากรณ์แนวชายฝั่งในอนาคต

ทฤษฎี

1. กระบวนการชายฝั่ง (Coastal processes) หมายถึงกระบวนการของคลื่น ลม กระแสน้ำ น้ำขึ้นน้ำลง ที่เกิดขึ้นในทะเล และบริเวณชายฝั่ง ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมชายฝั่งทะเล โดยมีอิทธิพลจากลมมรสุม (Monsoonal wind) คลื่น (Waves) น้ำขึ้นน้ำลง (Tides) (Charoensit, 2007 ; Satumanasphan, 2011)

2. การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งได้แก่ชายฝั่งสะสมตัว (Depositional coast) คือชายฝั่งที่ตะกอนถูกพัดพามาพอกตามแนวชายฝั่งหรือยื่นลงไปในทะเล ชายฝั่งคงสภาพ (Stable coast) คือพื้นที่ชายฝั่งที่มีการปรับสมดุลตะกอนชายฝั่งตามฤดูกาลธรรมชาติ โดยมีตะกอนออกจากชายฝั่งในอัตราที่ใกล้เคียงกับตะกอนที่เข้าสะสมตัวชายฝั่ง และชายฝั่งที่เกิดการกัดเซาะ (Erosion coast) คือพื้นที่ชายฝั่งที่ตะกอนถูกพัดพาออกไปและไม่มีตะกอนมาเติมเต็มอีก ทำให้เกิดการสูญเสียที่ดินทรัพยากร ตลอดจนทรัพย์สินของมนุษย์

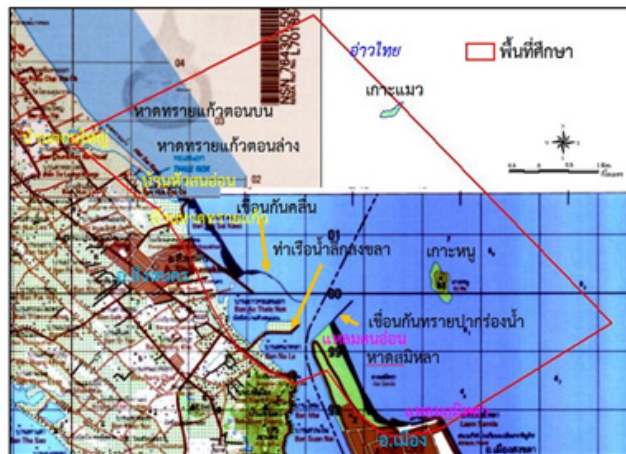


ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย (Concept framework)

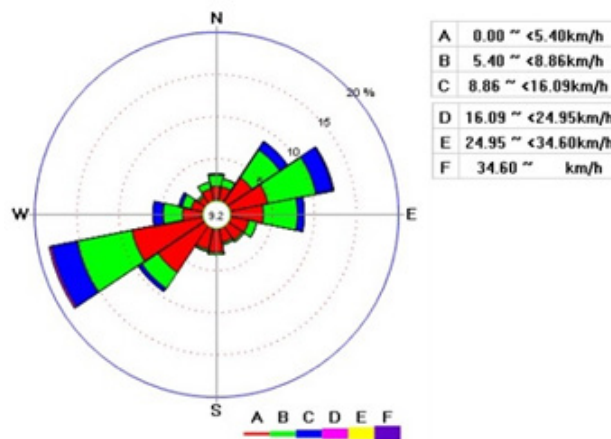


ระเบียบวิธีวิจัย

พื้นที่ศึกษาบริเวณหาดสมิหลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา หาดทรายแก้วตอนบนและหาดทรายแก้วตอนล่าง อำเภอสิงหนคร ตั้งอยู่ระหว่างพิกัดทางภูมิศาสตร์ ละติจูด $7^{\circ}12'46.41''$ เหนือ ลองจิจูด $100^{\circ}32'9.17''$ ตะวันออก ถึง $7^{\circ}15'48.82''$ เหนือ ลองจิจูด $100^{\circ}35'56.46''$ ตะวันออก (ระบบพิกัด UTM, Datum WGS84) ตามลักษณะทาง Physiographic unit มีความยาวตลอดแนวชายฝั่งประมาณ 10 กิโลเมตร (ภาพที่ 2) โดยเฉพาะบริเวณหาดแก้วที่เป็นสันทรายใหม่ยังไม่มีแนวเสถียรเป็นพื้นที่วิฤตติมีการกัดเซาะชายฝั่งในระดับรุนแรงมากกว่า 5 เมตรต่อปี (Department of Marine and Coastal Resources, 2010) ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ตุลาคม-กุมภาพันธ์) และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน) (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 พื้นที่ศึกษาบริเวณปากরণน้ำทะเลสาบสงขลา



ภาพที่ 3 แผนผังทิศทางและความเร็วลม (Wind Rose) บริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดสงขลา ปี พ.ศ. 2560

ที่มา : Thai Meteorological Department (2017)

ข้อมูลที่ใช้ศึกษา (Data Source) การศึกษาในครั้งนี้ใช้ข้อมูล 11 ชุดข้อมูล จากภาพถ่ายทางอากาศภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง และการเดินสำรวจด้วยเครื่องมือ GPS ที่ถ่ายไว้ก่อนและหลังการก่อสร้างโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งทะเล ระหว่างปี พ.ศ. 2510 - 2558 ครอบคลุมพื้นที่ใกล้เคียงท่าเรือน้ำลึกสงขลา ได้แก่

1. ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศขาวดำ มาตราส่วน 1:15,000 ปี พ.ศ. 2510, 2517, 2532, 2538 และภาพถ่ายทางอากาศออร์โธรี มาตราส่วน 1: 4,000 ปี พ.ศ. 2545
2. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง จากดาวเทียม Pleiades, SPOT-5, THAICHOTE, Quick-Bird-2 รายละเอียดภาพ 0.50- 2.5 เมตร บันทึกภาพ ปี พ.ศ. 2547 - 2556
3. ข้อมูลจากการเดินสำรวจด้วยเครื่องมือ GPS ปี พ.ศ. 2558 (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แหล่งข้อมูลแนวชายฝั่งที่นำมาใช้ในการศึกษา

ข้อมูล	ข้อมูล (ปี พ.ศ.)	รายละเอียดภาพ (เมตร)	แหล่งข้อมูล
Aerial Photo	ก.ย/2510	2.5	กรมแผนที่ทหาร
Aerial Photo	พ.ย/2517	2.5	กรมแผนที่ทหาร
Aerial Photo	ก.พ/2532	2.5	กรมแผนที่ทหาร
Aerial Photo	เม.ย/2538	2.5	กรมแผนที่ทหาร
Orthophoto	มี.ค/2545	1.0	กรมพัฒนาที่ดิน
QuickBird-2	ธ.ค/2547	1.0	สำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
SPOT- PAN Sharpened	มี.ค/2550	2.5	สำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
SPOT- PAN Sharpened	เม.ย/2552	2.5	สำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
THEOS PAN Sharpened	มี.ค/2554	2.0	สำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
Pleiades	พ.ค/2556	0.5	สำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
GPS Tracking	มี.ค/2558		การเดินแนวสำรวจ

การจัดการแผนที่และภาพถ่าย

1. แปลงข้อมูล แผนที่เชิงเลข (Digital Map) ที่ได้จากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ให้อยู่ในระบบเส้นโครงแผนที่ UTM (Universal Transverse Mercator, UTM) โดยอ้างอิงระบบพิกัดจากแผนที่ภูมิประเทศ (รูปแบบ Vector) ของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1: 50,000 ลำดับชุด L7018
2. สแกนแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศและปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต (Geometric Collection) ด้วยการกำหนดตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point: GCP) โดยวิธีการอ้างอิงจากแผนที่ (Image to map) และกำหนดจุดอ้างอิงกับข้อมูลเส้นถนนหรือเส้นทางน้ำซึ่งเป็นข้อมูล Vector จากภาพออร์โธรีมาตราส่วน 1:4,000 ของกรมพัฒนาที่ดินและใช้เทคนิคการจำลองภาพตัวอย่างใหม่ (Resampling Method) แบบ Nearest Neighbor โดยปรับขนาดจุดภาพให้มีขนาด 1x1 เมตร
3. นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Quickbird, SPOT และ THEOS PAN Sharpened รายละเอียดภาพขนาด 2.5 เมตร ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงเลข มากำหนดจุดโดยอ้างอิงกับระบบพิกัด UTM ใช้วิธีการภาพอ้างอิงภาพ (Image to image) กับภาพออร์โธรีที่ผ่านการกำหนดจุดอ้างอิงเรียบร้อยแล้ว โดยใช้โปรแกรม Erdas Imagine 2014

การนำเข้าข้อมูล

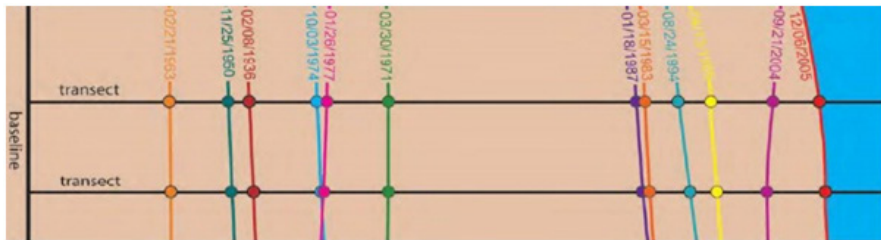
1. คัดลอกเส้นขอบเขตชายฝั่งจากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม Quickbird, SPOT และ THEOS Enhancement โดยใช้วิธีการแปลตีความด้วยสายตาและทำการลากเส้น (Digitize) โดยใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Arcview GIS 3.3



2. ข้อมูลแผนที่เชิงเลขที่ใดทั้งหมดจะอยู่ในรูปแบบ Vector นำมาแก้ไข ปรับความผิดพลาดของเส้นแนวชายฝั่งจากช่วงเวลาการบันทึกที่ระดับน้ำขึ้นน้ำลง (Tide) แตกต่างกันด้วยข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงตัวเลข (DEM) และข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลงจัดการฐานข้อมูลทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยายโดยใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Arcview GIS 3.3

3. คำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลองแนวชายฝั่งใช้สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression, LRR) ตามขั้นตอน ตามวิธีการของ Thieler, Himmeltoss, Zichichi, & Miller (2017)

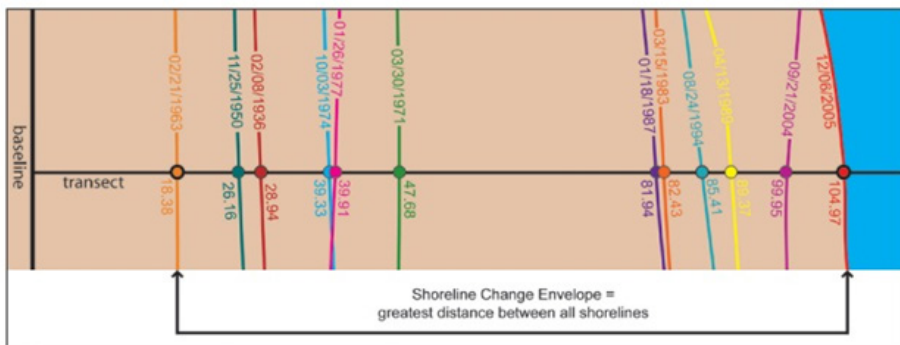
การพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งโดยใช้โปรแกรมเสริม Digital Shoreline Analysis System (DSAS) ซึ่งถูกพัฒนาโดยหน่วยสำรวจธรณีวิทยา ประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Geological Survey: USGS) โดยใช้ข้อมูลนำเขาคือ เส้นฐานสมมุติ (Baseline) และเส้นแนวชายฝั่ง (Shoreline) เพื่อสร้างเส้นตั้งฉาก (Transect) กำหนดให้โปรแกรมสร้างเส้นตั้งฉากกับเส้นแนวชายฝั่ง ทุกๆ ระยะทาง 100 เมตร มีระยะทางยาวออกไปจากเส้นฐานสมมุติ 1,100 เมตร DSAS จะสร้างเส้นตั้งฉากให้โดยอัตโนมัติ เส้นตั้งฉากเส้นแรกจะเริ่มจากจุดเริ่มต้นของเส้นฐานสมมุติ โดยจะทำมุม 90 องศา กับเส้นฐานสมมุติตัดผ่านเส้นแนวชายฝั่ง (แสดงดังภาพที่ 4-9) เลือกวิธีทางสถิติ ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4 เส้นฐานสมมุติ เส้นแนวชายฝั่ง เส้นตั้งฉาก และจุดตัดกันของ เส้นตั้งฉากกับเส้นแนวชายฝั่ง
ที่มา : Thieler, Himmeltoss, Zichichi & Miller (2017)

เส้นฐานสมมุติเป็นแนวอ้างอิงในการคำนวณค่าทางสถิติ (Statistics) การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง เส้นฐานสมมุตินั้นจะเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นตั้งฉากที่ลากตัดผ่านเส้นแนวชายฝั่ง โดยเส้นตั้งฉากจะทำมุมตั้งฉากกับเส้นฐานสมมุติ

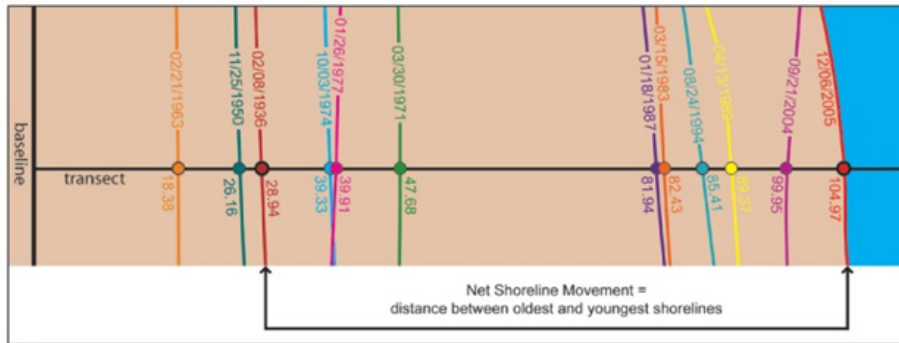
Shoreline Change Envelope (SCE) เป็นการคำนวณระยะทางระหว่างเส้นแนวชายฝั่งเส้นในสุดกับเส้นนอกสุด



ภาพที่ 5 การคำนวณ Shoreline Chang Envelope (SCE)

ที่มา : Thieler, Himmeltoss, Zichichi & Miller (2017)

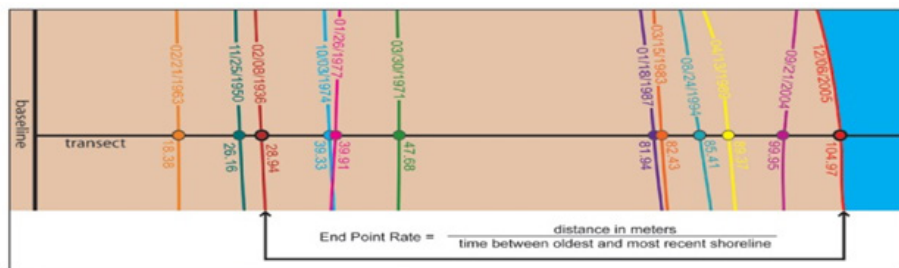
Net Shoreline Movement (NSM) เป็นการคำนวณระยะทางระหว่างเส้นแนวชายฝั่งของเวลาที่เก่าที่สุดกับเส้นใหม่ล่าสุด



ภาพที่ 6 การคำนวณ Net Shoreline Movement (NSM)

ที่มา : Thieler, Himmeltoss, Zichichi & Miller (2017)

End Point Rate (EPR) เป็นการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลง แนวชายฝั่ง ช่วงปี พ.ศ. 2510-2558



ภาพที่ 7 การคำนวณ End Point Rate (EPR)

ที่มา : Thieler, Himmeltoss, Zichichi & Miller (2017)

การพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งทะเลตามแนวเส้นตั้งฉากสมมุติแต่ละแนว ในระยะเวลา 10 และ 20 ปีข้างหน้า สามารถได้ตามสมการดังนี้

$$Y = mx + b \quad (1)$$

โดยกำหนดให้ m = อัตราการเปลี่ยนแปลง (เมตรต่อปี) x = จำนวนปีที่พยากรณ์ค่า (ปี) และ b = ระยะตัดแกน x (เมตร)

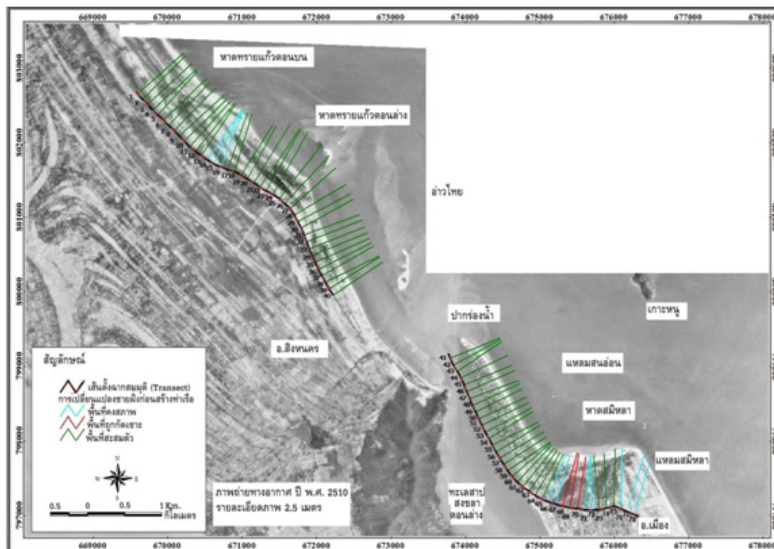


ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยโปรแกรม DSAS สร้างแนวเส้นตั้งฉาก (Transect) กับเส้นฐานสมมุติ (Baseline) จำนวน 77 แนว โดยในส่วนของหาดทรายแก้วตอนบนได้แก่ แนวที่ 1-25 บริเวณพื้นที่ชายทะเลบ้านดอนใหญ่ และหาดทรายแก้วตอนล่าง บ้านหัวสนอ่อน อำเภอสิงนคร และ แนวที่ 26-40 บริเวณพื้นที่ชายทะเลบ้านหาดทรายแก้ว อำเภอสิงนคร ส่วนหาดสมิหลา ได้แก่ แนวที่ 41-77 บริเวณพื้นที่ชายทะเลแหลมสนอ่อน เทศบาลนครสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเล โดยแยกวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ช่วงเวลา

ก่อนสร้างท่าเทียบเรือน้ำลึกสงขลา (ปี พ.ศ. 2510-2532)

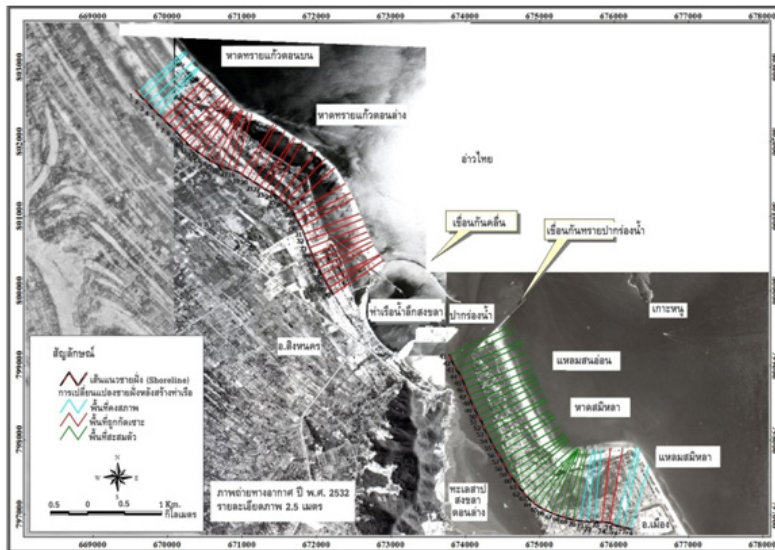
พบว่า ชายฝั่งบริเวณพื้นที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงทั้งในรูปแบบการกัดเซาะ (Erosion coast) และการสะสมตัว (Accretion coast) โดยบริเวณพื้นที่ หาดทรายแก้วตอนบน หาดทรายแก้วตอนล่าง และหาดสมิหลา ชายฝั่งมีการสะสมตัว ในขณะที่เดียวกันพบว่า เกิดการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณหาดสมิหลา ตั้งแต่แนวเส้นตั้งฉากที่ 67 - 69 ซึ่งมีอัตราการกัดเซาะระดับปานกลาง (อัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 1 - 5 เมตรต่อปี) เป็นระยะทาง 53 เมตร (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปากอ่าวน้ำทะเลสาบสงขลาช่วงปี พ.ศ. 2510-2532

หลังสร้างท่าเทียบเรือน้ำลึกสงขลา (ปี พ.ศ. 2532-2558)

พบว่า ทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณพื้นที่หาดทรายแก้วตอนบน ตั้งแต่แนวเส้นตั้งฉากที่ 6 - 13 ตรงบริเวณบ้านดอนใหญ่ ซึ่งมีอัตราการกัดเซาะ 2.13 - 3.75 เมตรต่อปี จัดอยู่ในระดับปานกลาง เป็นระยะทาง 910 เมตร และบริเวณพื้นที่หาดทรายแก้วตอนล่าง ตั้งแต่แนวเส้นตั้งฉากที่ 14 - 40 บริเวณบ้านหัวสนอ่อนจนถึงบ้านหาดทรายแก้วชายฝั่งมีการกัดเซาะมากกว่า 5 เมตรต่อปี จัดอยู่ในระดับรุนแรงเป็นระยะทาง 2,190 เมตร แต่ในทางกลับกันบริเวณพื้นที่หาดสมิหลา ตั้งแต่แนวเส้นตั้งฉากที่ 41 - 70 ชายฝั่งมีการสะสมตัว เป็นระยะทาง 3,075 เมตร (ภาพที่ 11-12)



ภาพที่ 11 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาช่วงปี 2532-2558

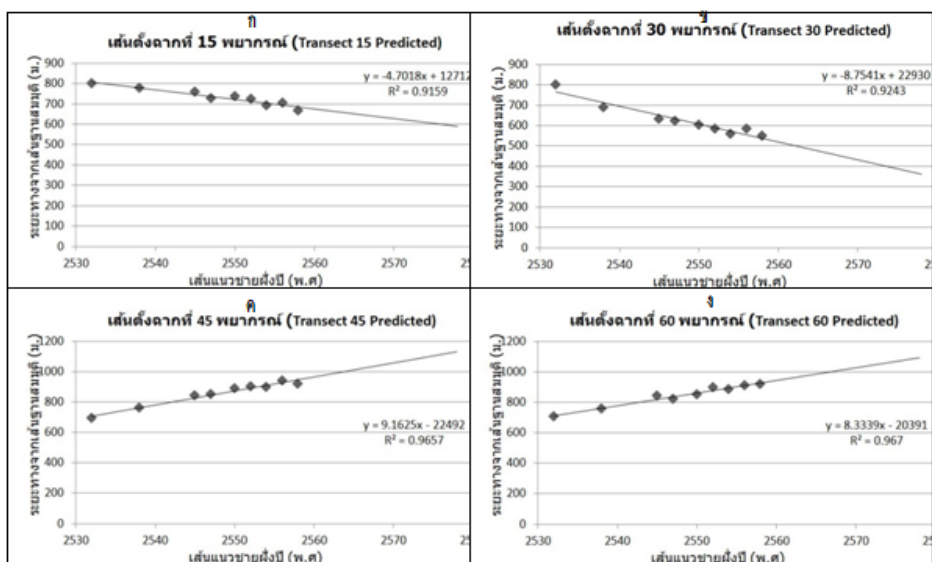


ภาพที่ 12 สภาพการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณอำเภอลังหนคร และอำเภอมือง จังหวัดสงขลา

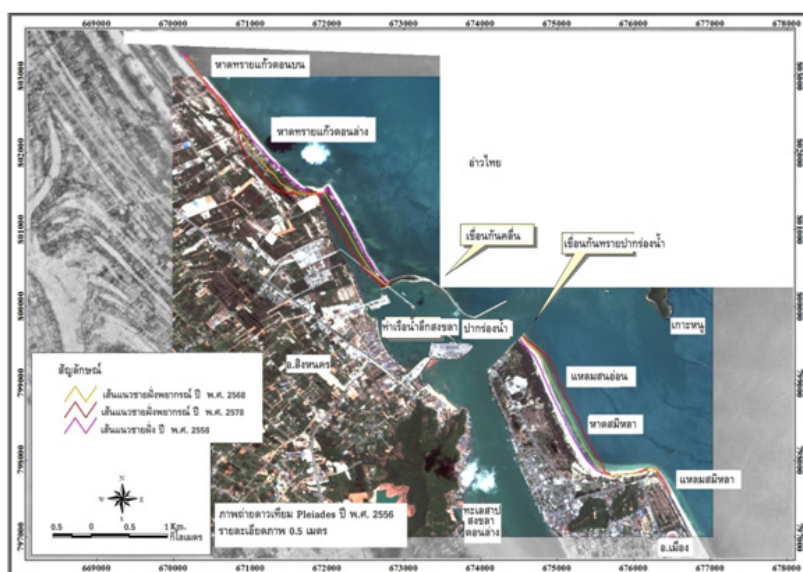
การพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในอนาคตปี 2568 และ 2578 ด้วยโปรแกรม DSAS

ผลการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งทะเลลึก 10 ปีข้างหน้า (ปี พ.ศ. 2568) แสดงดังภาพที่ 14 พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งมีค่าเป็น $Y = -4.7018x + 12712$ และ $Y = -8.7541x + 22930$ (ภาพที่ 13ก และ 13ข ตามลำดับ) จะทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณพื้นที่หาดทรายแก้วตอนล่างโดยกิโลเมตรที่ 2+000 และ 3+000 ลึกเข้ามาในแผ่นดินเป็น

ระยะทางประมาณ 109 และ 71 เมตร ตามลำดับ และในทางตรงกันข้ามพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งมีค่าเป็น $Y = 9.1625x - 22492$ และ $Y = 8.3339x - 20391$ (ภาพที่ 13ก และ 13ข ตามลำดับ) ทำให้เกิดการทับถม บริเวณพื้นที่หาด สมิทลา กิโลเมตรที่ 6+400 และ 7+400 ออกไปจากแนวชายฝั่งปัจจุบันเป็นระยะทางประมาณ 88 และ 85 เมตร ตามลำดับ ส่วนการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งทะเลอีก 20 ปีข้างหน้า (ปี พ.ศ. 2578) แสดงดังภาพที่ 14 พบว่าจะทำให้เกิดการ กัดเซาะบริเวณหาดทรายแก้วตอนล่างกิโลเมตรที่ 2+000 และ 3+000 ลึกเข้ามาในแผ่นดินประมาณ 263 และ 151 เมตร ตาม ลำดับ และในทางตรงกันข้ามทำให้เกิดการทับถม บริเวณพื้นที่หาดสมิทลา กิโลเมตรที่ 6+400 และ 7+400 ออกไปจากแนว ชายฝั่งปัจจุบันประมาณ 157 และ 170 เมตร ตามลำดับ



ภาพที่ 13 กราฟผลการประมาณค่าตำแหน่งชายฝั่ง แนวเส้นตั้งฉาก



ภาพที่ 14 ผลการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งปี 2568 และ 2578 ด้วยโปรแกรม DSAS



อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ด้วยโปรแกรม DSAS สร้างแนวเส้นตั้งฉาก (Transect) กับเส้นฐานสมมุติ (Baseline) จำนวน 77 แนว เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเล โดยแยกวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ช่วงเวลา

ก่อนสร้างท่าเทียบเรือน้ำลึกสงขลา (ปี 2510-2532)

พบว่าชายฝั่งบริเวณพื้นที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงทั้งในรูปแบบการกัดเซาะหรือกัดกร่อนและการสะสมตัว เช่น บริเวณพื้นที่หาดทรายแก้วตอนบนหาดทรายแก้วตอนล่าง และหาดสมิหลา โดยภาพรวมชายฝั่งมีรูปแบบการสะสมตัว ทั้งนี้พื้นที่บางส่วนของหาดสมิหลามีรูปแบบการกัดกร่อน (ภาพที่ 10) ยังเกิดการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณ ตั้งแต่แนวเส้นตั้งฉากที่ 67 - 69 บริเวณแหลมสมิหลามีอัตราการกัดเซาะระดับปานกลาง เป็นระยะทาง 53 เมตรซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Pompinatepong (2015) ที่กล่าวว่าตะกอนทรายชายฝั่งจะมีสถานะสมดุลพลวัตเป็นสมดุลบนการเปลี่ยนแปลงหรือการเคลื่อนที่มีตะกอนทรายมาเติมอยู่ตลอดเวลาทั้งนี้เนื่องมาจากช่วงเวลาดังกล่าวระบบชายฝั่งเป็นหาดธรรมชาติ ไม่มีโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งแบบแข็งกีดขวางการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายชายฝั่ง มีทรายจากต้นน้ำลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา และจากชายฝั่งทะเลทางทิศใต้ที่เคลื่อนที่ด้วยกระแสน้ำเลียบฝั่ง (Longshore Current) มาเติมในระบบอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดความสมดุลของตะกอนบนการเคลื่อนที่ อย่างไรก็ตามมีกัดกร่อนบ้างเพียงเล็กน้อยบริเวณพื้นที่ต่อเนื่องทางทิศเหนือของโคกหินธรรมชาติแหลมสมิหลา เพราะได้รับผลกระทบจากการกระทำของคลื่นที่วิ่งเข้าหาฝั่งมาปะทะโคกหินแล้วเกิดการเลี้ยวเบนกวาดทรายออกไป

หลังสร้างท่าเทียบเรือน้ำลึกสงขลา (ปี 2532-2558)

พบว่าบริเวณพื้นที่หาดทรายแก้วตอนบนและหาดทรายแก้วตอนล่าง ชายฝั่งมีการกัดเซาะในระดับรุนแรงอัตราการกัดเซาะมากกว่า 5 เมตรต่อปี แต่ในทางกลับกันหาดสมิหลา ชายฝั่งมีการสะสมตัว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Faiboon (2015) ที่พบว่าหาดทรายแก้วพื้นที่ชายฝั่งเกิดการกัดเซาะเข้ามาในแผ่นดิน ส่วนหาดสมิหลาพื้นที่ชายฝั่งเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากช่วงเวลาดังกล่าวระบบชายฝั่งไม่มีโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งแบบแข็งซึ่งเป็นองค์ประกอบของท่าเรือน้ำลึกสงขลา ได้แก่ เขื่อนกันทรายปากร่องน้ำ (Jetty) ที่ก่อสร้างลักษณะตั้งฉากกับแนวชายฝั่งกีดขวางการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายชายฝั่งจากต้นน้ำ (Up Stream) ทรายจะถูกกักไว้ที่บริเวณอ่อนแหลมสนหาดสมิหลา ทำให้เกิดการทับถม ส่วนบริเวณท้ายน้ำ (Down Stream) ส่วนของโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นดูดซับพลังงานคลื่นที่วิ่งเข้ามาได้น้อยเกิดการเลี้ยวเบนและสะท้อนกลับของคลื่นกวาดทรายออกไปสู่ทะเล และส่วนต่างๆ ของท่าเรือน้ำลึกขลอการไหลของน้ำสู่ทะเลทำให้เกิดการตกตะกอนปริมาณมากบริเวณปากร่องน้ำขาดตะกอนไปเติมเต็มในระบบเพราะถูกกักไว้โดยเขื่อนกันทรายปากร่องน้ำทางด้านทิศใต้ มีการสูญเสียความสมดุลตะกอนส่งผลทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณข้างเคียงคือ หาดทรายแก้วตอนล่าง และหาดทรายแก้วตอนบน

การพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในอนาคตปี 2568 และ 2578 ด้วยโปรแกรม DSAS

ผลการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งทะเลอีก 10 ปีข้างหน้า (ปี พ.ศ. 2568) พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง จุดเริ่มต้นจากหาดทรายแก้วตอนเหนือสุดจะทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณพื้นที่หาดทรายแก้วตอนล่างบริเวณบ้านหัวสนอ่อนตั้งแต่โรงแรมหาดแก้วริสอร์ทจนถึงบริเวณแก้มอุปกรณ์ภาคสนามของบริษัทชุดเจ้าน้ำมนต์ลึกเข้ามาในแผ่นดินเป็นระยะทางประมาณ 109 เมตร และ บริเวณสันทรายใหม่บ้านหาดทรายแก้วตั้งแต่สำนักปฏิบัติธรรมหาดทรายแก้วจนถึงตัวเขื่อนกันคลื่นแนวสันทรายจะถูกกัดเซาะเข้ามาเป็นระยะทางประมาณ 71 เมตร ในทางตรงกันข้ามพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ทำให้เกิดการทับถมบริเวณพื้นที่หาดสมิหลาทางตอนเหนือหรือแหลมสนอ่อน ออกไปจากแนวชายฝั่งปัจจุบันเป็นระยะทางประมาณ 88 เมตรและหาดสมิหลาตอนกลางเป็นระยะทางประมาณ 85 เมตร ส่วนการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งทะเลอีก 20 ปีข้างหน้า (ปี 2578) พบว่าจะทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณหาดทรายแก้วตอนล่างบริเวณบ้านหัวสนอ่อนลึกเข้ามาในแผ่นดินประมาณ 263 เมตร และ บริเวณสันทรายใหม่บ้านหาดทรายแก้ว จะถูกกัดเซาะเข้ามาเป็นระยะทาง

ประมาณ 151 เมตร ในทางกลับกันทำให้เกิดการทับถมบริเวณพื้นที่หาดสมิหลาทางตอนเหนือ ออกไปจากแนวชายฝั่งปัจจุบัน ประมาณ 157 เมตร และหาดสมิหลาตอนกลางเป็นระยะทางประมาณ 170 เมตรซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sangmanee & Tanawut (2017) ที่กล่าวว่าตัวแบบจำลอง DSAS สามารถพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในอนาคตได้ เพราะมีการสอบเทียบกับผลการเปลี่ยนแปลงในอดีตเพื่อยืนยันผลการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง อย่างไรก็ตามก็เป็นเพียงค่าตำแหน่งที่ประมาณค่าตามวิธีการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการประยุกต์ใช้แบบจำลอง DSAS ช่วยในการคำนวณ ทั้งนี้การพยากรณ์แนวชายฝั่งในอนาคตอาจจะมีการคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางกายภาพ เช่น สภาพคลื่น ความเร็วและทิศทางลม กระแสน้ำ การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ตะกอนทรายชายฝั่ง

สรุปผล

การตรวจสอบและการพยากรณ์ผลกระทบจากโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งทะเลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณปากอ่าวน้ำทะเลสาบสงขลา ในช่วงเวลาก่อนสร้างท่าเทียบเรือน้ำลึกสงขลา พบว่าบริเวณพื้นที่ หาดทรายแก้วตอนบน หาดทรายแก้วตอนล่าง และหาดสมิหลา ชายฝั่งมีการสะสมตัว เนื่องจากไม่มีตัวโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งแบบแข็งกีดขวางการเคลื่อนที่ของตะกอนไปทางทิศเหนือ แต่ในช่วงเวลาหลังสร้างท่าเทียบเรือน้ำลึกสงขลา ชายฝั่งเกิดการกัดเซาะในระดับรุนแรงบริเวณพื้นที่หาดทรายแก้วตอนบน และหาดทรายแก้วตอนล่าง เนื่องมาจากตัวโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งกีดขวางการเคลื่อนที่ของตะกอน โดยถูกกักไว้ในพื้นที่หาดสมิหลา ส่วนการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งทะเลอีก 10 และ 20 ปีข้างหน้า เกิดการกัดเซาะบริเวณหาดทรายแก้ว ลึกเข้ามาในแผ่นดินเป็นระยะทางประมาณ 109 และ 263 เมตร ตามลำดับ คลื่นที่เกิดขึ้นมีบทบาทสำคัญในการนำตะกอนเลียบชายฝั่งขึ้นมาทางทิศเหนือ โครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งเป็นตัวกีดขวางระบบของธรรมชาติ อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญคือต้องเลือกวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม เช่น การถ่ายเททราย (Sand bypassing) หรือการเติมทรายเสริมหาด (Beach nourishment) การพัฒนาท่าเรือน้ำลึกควรอยู่ในพื้นที่ที่เหมาะสม ควรหลีกเลี่ยงการสร้างบนชายฝั่งทะเลซึ่งเป็นพื้นที่เปราะบาง

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยในครั้งต่อไป

ควรศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระดับสูง และเป็นโครงการวิจัยขนาดใหญ่ มีงบประมาณเพียงพอในการเก็บข้อมูล สามารถนำข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมาวิเคราะห์ได้อย่างครบถ้วน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประเภทเงินงบประมาณแผ่นดิน ที่มวิจัยขอขอบคุณสถาบันทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง และภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อนุญาตให้ดำเนินการวิจัย และสนับสนุนด้านเครื่องสำรวจากสนาม ขอขอบคุณทีมงานนักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ช่วยงานเก็บข้อมูลภาคสนาม รวมทั้งขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการสิทธิมนุษยชนแห่งชาติ กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมพัฒนาที่ดิน และกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ที่สนับสนุนข้อมูลบางส่วนเพื่อให้นักวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบคุณ USGS ผู้ผลิตโปรแกรม DSAS ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมปราชญ์ ณ ฤทธิพิริ้ง ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัยทางวิศวกรรมชายฝั่ง



รายการอ้างอิง (References)

- Department of Marine and Coastal Resources. (2010). *The Coastal Erosion Protection and Prevention Strategy*. Bangkok. (in Thai).
- Department of Marine and Coastal Resources. (2011). Coastal Erosion Management in Thailand. *International Symposium on Coastal Erosion*. 27-28 April 2011. Bangkok. (in Thai).
- Charoensit, P.(2007).Coastal Erosion Survey in Monsoon Season on the Western Gulf of Thailand from Chumphon to Pattani Province December 2006 – January 2007. *Marine and Coastal Resources Conservation no.28* Department of Marine and Coastal Resources. (in Thai).
- Faiboon, A. (2015). Monitoring Impact of Coastal Engineering Structure on Coastal Area Using Geo-informatics: A Case Study at the Songkhla Lake Mount, Thailand. *Southern Technology Research Proceeding 2015*. 29 January 2015 (6th ed.) Nakhonsrithammarat. (in Thai).
- Kannan, R., Kanungo, A., & Murthy, M.V.R. (2016). Detection of Shoreline Changes Visakhapatnam Coast, Andhra Pradesh from Multi-Temporal Satellite Images. *Journal of Remote Sensing & GIS*, 5(1), 1-7. <http://dx.doi.org/10.4172/2469-4134.1000157>.
- Pornpinatepong, S. (2015). *Coastal Engineering*. Songkhla: Faculty of Engineering, Prince of Songkla University. (in Thai).
- Prukpitikul, S., Buakaew, V., & Kaewpoo, N. (2011). Developmant of Shoreline Change Model Using Satellite Imagery. *RMUTSV Research Journal*, 3(1), 1-16.
- Sarajit. O., & Nakhapakorn, K. (2014). Geo-information Application for Coastal Erosion Situation, Phetchaburi Province. *Journal of Science and Technology*, 22(6), 789-800.
- Sangmanee, W., & Tanawut, C. (2017). Integration Remote Sensing Sata for Monitoring Shoreline Changes in Pattani Province. *Journal of Humanities and Social Sciences*, 13(6), 69-101.
- Satumanasphan, S. (2011). *Coastal Management: Integration to Sustainability*. Nakhonphathom: Mahidol University. (in Thai).
- Sinsakul, S., Tiyapairat, S., Chaimanee, & Aramprayun, B. (2002). *Coastal Changes on the East Coast of Thailand*. Geology Division, Department of Mineral Resources. (in Thai).
- Thai Meteorological Department. (2017). *Thai Meteorological Department Automatic Wether System*. Retrieved from http://www.aws-observation.tmd.go.th/web/aws/aws_windroses.asp. (in Thai).
- Thieler, E.R., Himmeltoss, E.A., Zichichi, J.L., & Miller, T.L. (2017). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change*. U.S. Geological Survey. Open-File Report.