รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประเมินผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อพื้นที่ชายฝั่งทะเลในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล

(Assessing potential impacts of sea level rise on coastal areas In Songkla Lake Basin using GIS and remotely sensed data)

รศ.ดร.ชาญชัย ธนาวุฒิ และ ผศ.ดร.เชาวน์ ยงเฉลิมชัย

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

กุมภาพันธ์ 2556

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ..... i

สารบัญภาพ..... ii

สารบัญตาราง..... iii

บทคัดย่อ..... 1

บทที่ 1 บทนำ..... 3

บทที่ 2 วิธีการศึกษา..... 7

2.1 ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา..... 7

2.2 ขั้นตอนการศึกษา..... 9

บทที่ 3 ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา..... 12

3.1 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล..... 12

3.2 ผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อลักษณะธรณีสัณฐานชายฝั่ง..... 12

3.3 ผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน.. 17

3.4 ผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อระบบนิเวศชายฝั่ง..... 18

3.5 แนวทางและมาตรการในการป้องกันและบรรเทาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล..... 19

บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ..... 26

เอกสารอ้างอิง..... 29

ภาคผนวก บทความที่ดีพิมพ์แล้ว..... 32

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการบุกรุกทำลายป่า.....	4
2	การละลายของน้ำแข็งบริเวณขั้วโลกและบนยอดเขาสูง.....	5
3	พื้นที่ที่มีความสูงใกล้เคียงกันกับระดับน้ำทะเล.....	6
4	แสดงที่ตั้งของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.....	8
5	แสดงบริเวณพื้นที่ที่จะถูกน้ำท่วมหากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 0.5 เมตร ในศตวรรษหน้า...	14
6	แสดงบริเวณพื้นที่ที่จะถูกน้ำท่วมหากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 1.0 เมตร ในศตวรรษหน้า.....	15
7	แสดงบริเวณพื้นที่ที่จะถูกน้ำท่วมหากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 3.0 เมตร ในศตวรรษหน้า.....	16
8	กลยุธการปรับตัวเพื่อรับมือกับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล.....	20
9	แสดงแนวระยะถอยร่นและการถอยร่นของแนวถนนเข้ามาในแผ่นดิน.....	21
10	แสดงภาพกำแพงป้องกันตลิ่ง.....	22
11	แสดงภาพคันดิน (บน) และ เนินทรายชายฝั่ง (ล่าง).....	23
12	แสดงภาพการเติมทรายชายหาด.....	24
13	แสดงภาพป่าโกงกาง (บน) และ ป่าชายหาด (ล่าง).....	25
14	แสดงภาพพิบัติภัยชายฝั่ง.....	28

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงกลุ่มทรัพยากรและแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	11
2	แสดงเนื้อที่ของพื้นที่ชายฝั่งทะเลลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่จะถูกน้ำท่วมหากระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 0.5, 1.0 และ 3.0 เมตร.....	12
3	ผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลระดับต่างๆที่มีต่อลักษณะธรณีสัณฐานชายฝั่งที่สำคัญบริเวณชายฝั่งทะเลของพื้นที่ศึกษา.....	13
4	ผลกระทบของการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล 0.5, 1.0 และ 3.0 เมตร ต่อสภาพการใช้ที่ดินบริเวณชายฝั่งทะเล.....	17

บทคัดย่อ

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยค่อนข้างยาวและตั้งอยู่บนพื้นที่ต่ำ จึงมีความอ่อนไหวต่อการถูกน้ำท่วมอันเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคต สภาวะน้ำท่วมที่เกิดขึ้นเป็นภัยคุกคามต่อการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ การพัฒนา และระบบนิเวศที่เปราะบางในบริเวณพื้นที่ราบชายฝั่งทะเลของลุ่มน้ำ การศึกษานี้ประเมินผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล 0.5, 1.0 และ 3.0 เมตร เนื่องจากสภาวะโลกร้อนที่มีต่อพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยใช้แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขที่สร้างจากข้อมูลความสูงในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จากการซ้อนทับแผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ที่อาจถูกน้ำทะเลท่วมกับแผนที่ธรณีสัณฐานชายฝั่งทะเล พบว่าหากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 0.5 เมตรในอีก 100 ปีข้างหน้า พื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยจำนวน 87,131 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 40.9 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดอาจจะถูกน้ำทะเลท่วม ลักษณะธรณีสัณฐานสำคัญที่อาจได้รับผลกระทบได้แก่สันดอนจะงอยทรายจำนวน 2,331 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 49.1 ของพื้นที่สันดอนจะงอยทรายทั้งหมด แอ่งขนานหาดและที่ลุ่มชื้นแฉะหลังคันดินจำนวน 43,094 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 47.9 และคันดินธรรมชาติจำนวน 16,831 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 47.5 ในกรณีที่ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 1.0 เมตร พื้นที่จำนวน 108,144 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 50.7 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดอาจจะจมอยู่ใต้น้ำในศตวรรษหน้า โดยลักษณะธรณีสัณฐานที่อาจถูกน้ำท่วมได้แก่ที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมจำนวน 250 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 70.2 ของที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมทั้งหมด คันดินธรรมชาติจำนวน 22,200 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 62.7 และสันดอนจะงอยทรายจำนวน 2,900 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 61.1 ในกรณีที่น้ำทะเลสูงขึ้น 3.0 เมตร พื้นที่จำนวน 133,363 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 62.5 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดอาจจะถูกปกคลุมด้วยน้ำในศตวรรษหน้า โดยลักษณะธรณีสัณฐานที่อาจจมน้ำได้แก่ที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมจำนวน 356 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 100.0 ของที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมทั้งหมด สันดอนจะงอยทรายจำนวน 4,319 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 91.0 และคันดินธรรมชาติจำนวน 27,319 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 77.1

เมื่อซ้อนทับแผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่อาจถูกน้ำทะเลท่วมกับแผนที่การใช้ที่ดิน พ.ศ.2549 พบว่าหากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 0.5 เมตรในอีก 100 ปีข้างหน้า พื้นที่ชายฝั่งทะเลที่อาจจะถูกน้ำทะเลท่วมได้แก่พื้นที่ป่าชายเลนจำนวน 281 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 72.6 ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด นาข้าวจำนวน 45,369 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 47.6 และพื้นที่นากุ้งจำนวน 19,581 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 47.4 ในกรณีที่ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 1.0 เมตร พื้นที่ที่อาจถูกน้ำท่วมได้แก่พื้นที่ป่าชายเลนจำนวน 319 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 82.3 ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด พื้นที่นากุ้งจำนวน 25,413 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 61.5 และพื้นที่นาข้าวจำนวน 53,838 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 56.5 ในกรณีที่น้ำทะเลสูงขึ้น 3.0 เมตร พื้นที่ที่อาจจมอยู่ใต้น้ำได้แก่พื้นที่ป่าชายเลนจำนวน 363 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 93.5 ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด พื้นที่นากุ้งจำนวน 32,494 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 78.7 และพื้นที่นาข้าว

จำนวน 62,581 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 65.7 หากระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 3.0 เมตรภายในศตวรรษหน้า พื้นที่ป่าชายเลนเกือบทั้งหมดของลุ่มน้ำ (ร้อยละ 93.5) จะได้รับผลกระทบ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลเนื่องจากสภาวะโลกร้อน อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อองค์ประกอบที่สำคัญของระบบนิเวศชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยซึ่งเป็นฐานเศรษฐกิจที่สำคัญของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา การเตรียมพร้อมเพื่อป้องกันและบรรเทาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอนาคต ที่มีมาตรการด้านการถอยร่น การปรับตัว และการป้องกัน เป็นหลักการพื้นฐาน ได้นำเสนอไว้ในรายงานฉบับนี้

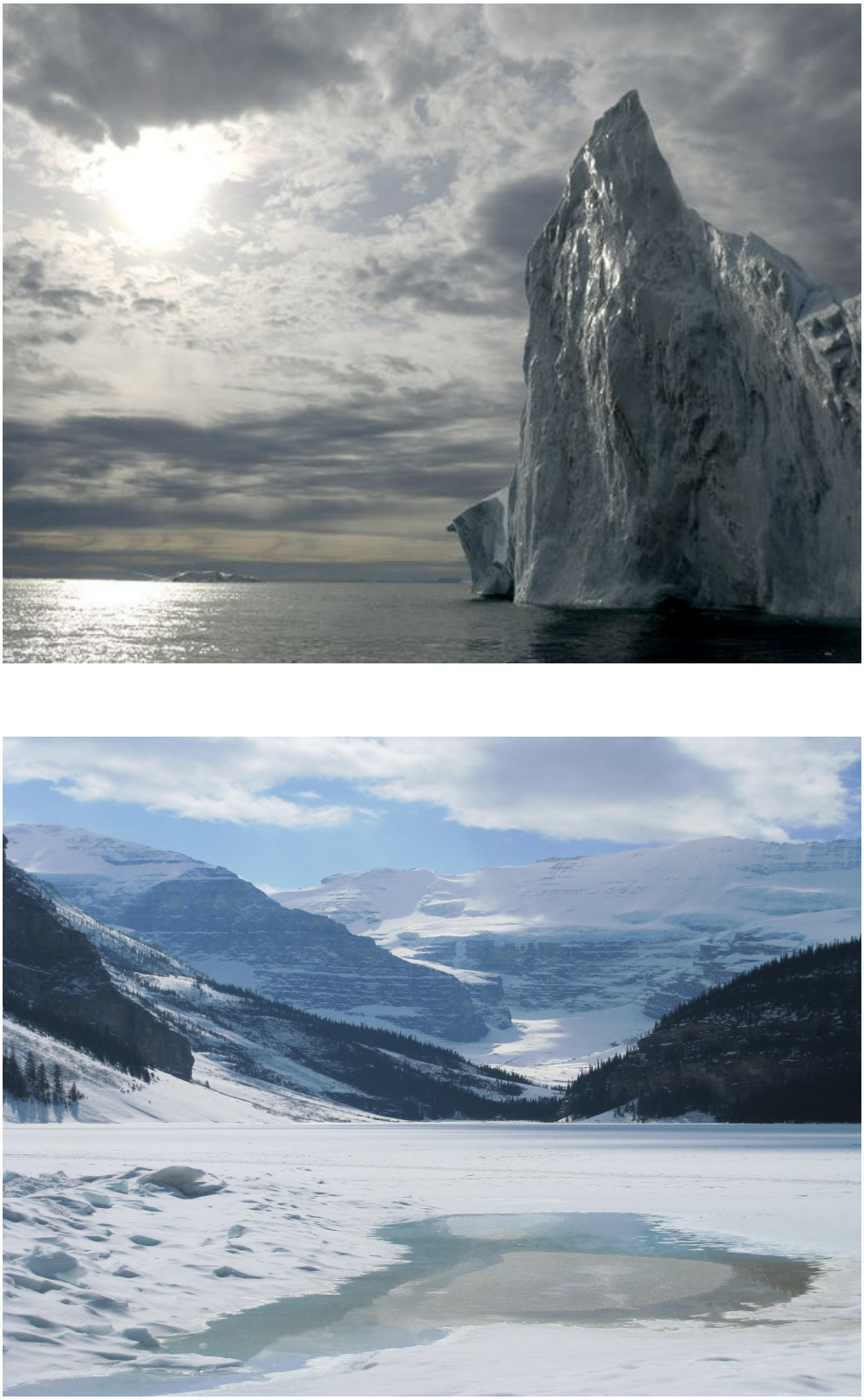
บทที่ 1
บทนำ

จากพฤติกรรมการบริโภคพลังงานฟอสซิลอย่างไร้ขีดจำกัดของมนุษย์ โดยเฉพาะการใช้ถ่านหินเป็นแหล่งพลังงาน (กรีนพีซ, 2556) (ภาพที่ 1) การบุกรุกทำลายป่า และการทำการเกษตรเช่นการปลูกข้าวและเลี้ยงสัตว์ ได้ส่งผลให้ก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) ซึ่งมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนเป็นองค์ประกอบหลักมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น (อานนท์, 2550) ก๊าซเรือนกระจกที่อยู่ในชั้นบรรยากาศจะขวางกั้นพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่เดินทางมาสู่โลกเอาไว้ไม่ให้สะท้อนกลับไปยังห้วงอวกาศในรูปของแสงอินฟาเรด เป็นผลให้รังสีความร้อนเหล่านั้นคงอยู่บนพื้นผิวโลกก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน (global warming) ขึ้นในปัจจุบัน ปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นก่อให้เกิดผลต่อเนื่องมากมาย อาทิเช่น การละลายของธารน้ำแข็งบนยอดภูเขาสูงอย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 2) และการขยายตัวของน้ำทะเลเมื่อได้รับความร้อนมากขึ้นได้ทำให้น้ำทะเลมีระดับเพิ่มสูงขึ้น (sea level rise) ในช่วงหนึ่งร้อยปีที่ผ่านมาระดับน้ำทะเลเฉลี่ยของโลกได้เพิ่มสูงขึ้นระหว่าง 10-25 เซนติเมตร (IPCC, 1990; นวรัตน์, 2544). นอกจากนั้นยังมีการประเมินกันอีกว่าถ้าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจะทำให้น้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นอีกประมาณ 50 เซ็นติเมตรภายในปี พ.ศ. 2643 (ธนวัฒน์, 2550). Hirai (1999) ประเมินว่าในศตวรรษหน้าระดับน้ำทะเลจะเพิ่มสูงขึ้นระหว่าง 1.5 – 90.0 เมตร บริเวณที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุดได้แก่พื้นที่ชายฝั่งทะเลที่มีระบบนิเวศเปราะบาง (จำลอง, 2548). การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะทำให้พื้นที่ที่มีระดับความสูงใกล้เคียงกันกับระดับน้ำทะเล เช่น หมู่เกาะมัลดีฟและเกาะแมนฮัตตันนครนิวยอร์กอาจต้องจมอยู่ใต้น้ำ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556) (ภาพที่ 3). น้ำเค็มรุกตัวเข้าสู่ทางน้ำสายต่างๆ และเกิดการกัดเซาะชายฝั่งทะเลมากขึ้น (Titus, 1990) นอกจากนั้นระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจและสังคมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง การเกษตรกรรม การท่องเที่ยว และการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ (WWF, 2007) สำหรับประเทศไทยซึ่งมีแนวชายฝั่งทะเลยาวประมาณ 2,815 กิโลเมตร การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลย่อมส่งผลกระทบมายังระบบนิเวศชายฝั่งอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาซึ่งเกิดจากการงอกของสันดอนมาปิดล้อมบริเวณที่เป็นอ่าวอยู่แต่เดิม ทำให้เกิดเป็นพื้นที่ทะเลสาบภายในแผ่นดินขึ้น (นวรัตน์และสุไรยา, 2545) ถ้าระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นน้ำทะเลอาจรุกตัวเข้ามาในทางน้ำสายต่างๆที่มีปากน้ำเปิดสู่ทะเล ทั้งยังจะก่อให้เกิดน้ำท่วมในบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำริมชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยจนอาจมีลักษณะพื้นน้ำเปิดติดต่อกับทะเลได้

ตลอดระยะที่ผ่านมา ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดบริเวณพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดภัยธรรมชาติ (natural disasters) ประเภทต่างๆ กันอย่างกว้างขวาง (Tanavud *et al.*, 2000; Tanavud *et al.,* 2002 and Tanavud *et al.,* 2004) การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อที่จะนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (remotely sensed

data) มาประยุกต์ใช้ในการประเมินผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลเนื่องจากสภาวะโลกร้อนที่มีต่อพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยมีวัตถุประสงค์รองเพื่อที่จะเสนอแนะแนวทางและมาตรการในการป้องกันและบรรเทาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ซึ่งจะเป็นข้อเสนอแนะในภาพรวมกว้างๆไม่ลงรายละเอียดในแต่ละพื้นที่เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านงบประมาณและระยะเวลาของโครงการ และข้อมูลเกี่ยวกับลมและคลื่นในทะเลของแต่ละพื้นที่ที่ยังขาดอยู่ในปัจจุบัน เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรชายฝั่งทะเลของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาให้เกิดประโยชน์สูงสุดและมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด อันจะส่งผลให้บริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของลุ่มน้ำมีการพัฒนาที่ยั่งยืนตลอดไป

ภาพที่ 1 โรงไฟฟ้าถ่านหิน (บน) และ การบุกรุกทำลายป่าโดยการเผา (ล่าง)



ภาพที่ 2 การละลายของน้ำแข็งบริเวณขั้วโลก (บน) และบนยอดเขาสูง (ล่าง) เนื่องจากภาวะโลกร้อน

ภาพที่ 3 พื้นที่ที่มีความสูงใกล้เคียงกันกับระดับน้ำทะเล เช่น หมู่เกาะมัลดีฟ (บน) และ เกาะแมนฮัตตัน รัฐนิวยอร์ก (ล่าง) มีโอกาสที่จะจมอยู่ใต้น้ำเมื่อระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น

บทที่ 2

วิธีการศึกษา

2.1 ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุและอุปกรณ์สำหรับใช้ในการศึกษา ได้แก่

(1) อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Hardware) ใช้ในการประมวลผล และแสดงข้อมูลแผนที่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ ระบบ Personal Computer (PC) ทำงานกับโปรแกรม ERDAS IMAGINE 8.7, ArcView 3.3 และ ArcGIS 9.0

(2) อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล ได้แก่ Keyboard, Mouse และ Scanner

(3) อุปกรณ์การแสดงผล ได้แก่ Printer , Color Monitor และ Plotter

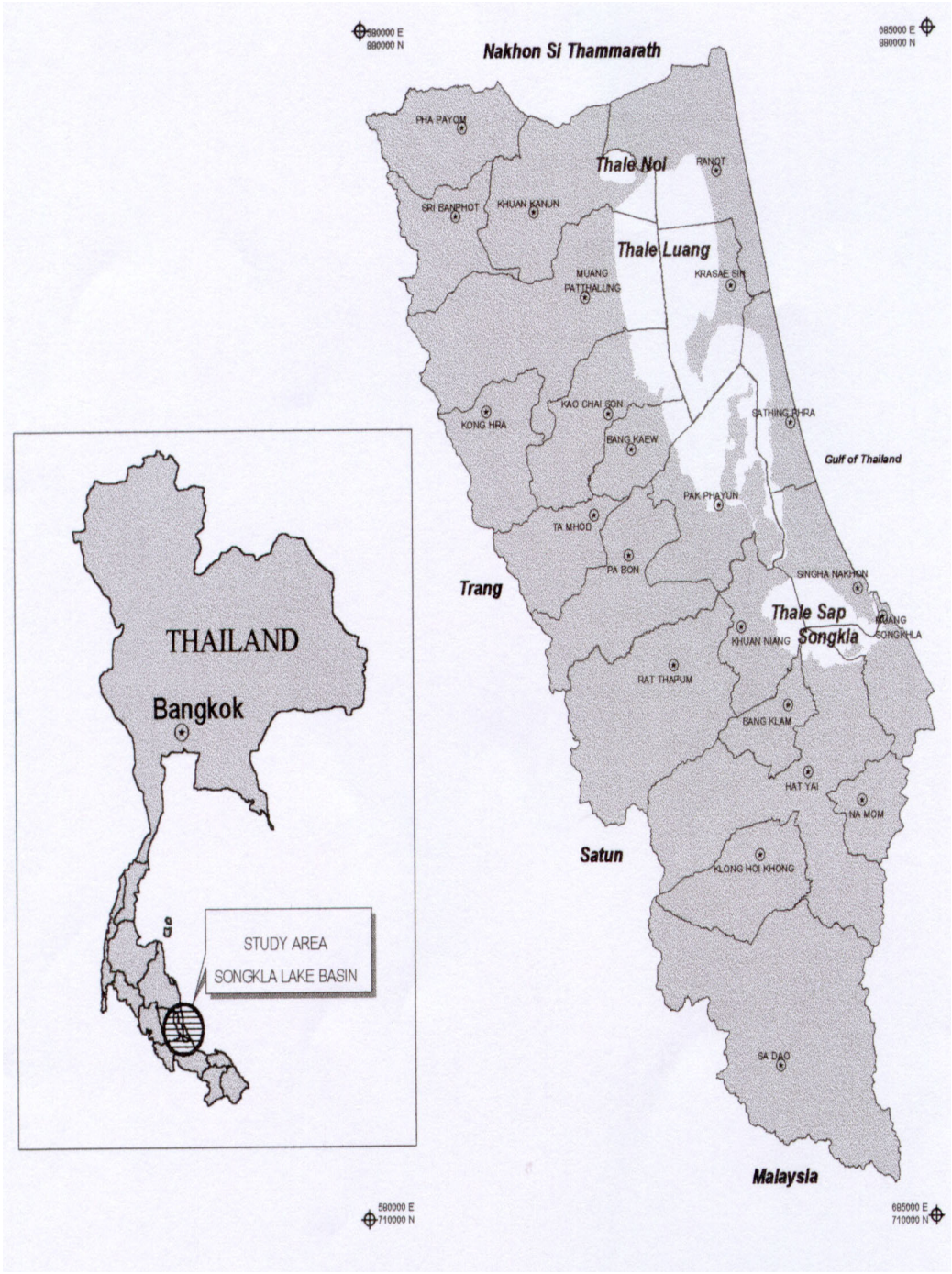
(4) โปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น ArcView 3.3, ArcGIS 9 และ ERDAS IMAGINE 8.7

(5) แผนที่ภูมิประเทศ ผลิตโดยกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1 : 50,000 ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาซึ่งได้แก่พื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ครอบคลุม 21 ตำบล ใน 4 อำเภอ ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ตำบลคลองแดน ตำบลท่าบอน ตำบลปากแตระ ตำบลระวะ ตำบลวัดสน และตำบลบ่อตรุ ในเขตอำเภอระโนด จังหวัดสงขลา ตำบลชุมพล ตำบลดีหลวง ตำบลสนามชัย ตำบลกระดังงา ตำบลจะทิ้งพระ ตำบลบ่อดาน ตำบลบ่อแดง ในเขตอำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา ตำบลวัดจันทร์ ตำบลม่วงงาม ตำบลวัดขนุน ตำบลชิงโค และตำบลหัวเขา ในเขตอำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ตำบลบ่อยาง ตำบลเขารูปช้าง และตำบลเกาะแต้ว ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดสงขลา (ภาพที่ 4)

(6) ภาพถ่ายดาวเทียม (Landsat – 5 TM) มาตราส่วน 1 : 50,000 ถ่ายเมื่อปี พ.ศ. 2549 ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ผลิตโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

(7) ข้อมูลเส้นชั้นความสูง สร้างจากภาพถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน 1 : 4,000 ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ผลิตโดยกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย

(8) แผนที่ธรณีสัณฐานวิทยาชายฝั่ง (coastal geomorphological maps) ของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มาตราส่วน 1 : 50,000 (Hirai et al., 1999)



ภาพที่ 4 แสดงที่ตั้งของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

2.2 ขั้นตอนการศึกษา

2.2.1 กำหนดชนิดหรือประเภททรัพยากรที่เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของระบบนิเวศชายฝั่ง ที่อาจได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ดังนี้ (เกษม, 2545)

1) ทรัพยากรกายภาพ (physical resources) ในการศึกษานี้จะใช้ดินและน้ำเป็นตัวแทนของทรัพยากรกายภาพ ระบบนิเวศจะอยู่ในสถานภาพเช่นไรขึ้นอยู่กับสภาพของทรัพยากรทั้งสองซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบนิเวศนี้ การศึกษานี้จะใช้ทรัพยากรดินในบริเวณชายฝั่งทะเลเป็นตัวดัชนีชี้วัดผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อทรัพยากรดิน และจะใช้น้ำในแหล่งน้ำผิวดินชายฝั่งทะเลเป็นตัวดัชนีชี้วัดผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อทรัพยากรน้ำ

2) ทรัพยากรชีวภาพ (biological resources) เป็นกลุ่มทรัพยากรที่มีชีวิต ซึ่งได้แก่ ทรัพยากรป่าไม้ พืช และสัตว์ต่างๆ ทรัพยากรกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในการควบคุมระบบนิเวศด้วย การศึกษานี้จะใช้ป่าชายเลนและป่าชายหาดซึ่งเป็นทรัพยากรชายฝั่งที่สำคัญเป็นตัวดัชนีชี้วัดผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อทรัพยากรชีวภาพ

3) คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ (human use values) มนุษย์ได้นำเอาทรัพยากรกลุ่มต่างๆมาใช้หรือสร้างหรือแปรรูปให้เกิดประโยชน์ เช่นการนำเอาทรัพยากรดินและที่ดินมาใช้ในการเกษตรกรรม การตั้งถิ่นฐาน การอุตสาหกรรม และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การศึกษานี้จะใช้พื้นที่ปลูกข้าว พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง และพื้นที่อยู่อาศัยเป็นตัวดัชนีชี้วัดผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อทรัพยากรคุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์

4) คุณค่าคุณภาพชีวิต (life quality values) เป็นกลุ่มทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะเศรษฐกิจและสังคมของพื้นที่ ทรัพยากรกลุ่มนี้แสดงให้เห็นผลของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลโดยสะท้อนให้เห็นว่าทรัพยากรที่ได้รับผลกระทบจะให้คุณภาพชีวิตในรูปแบบใด อันได้แก่ ประชากร (เกิด แก่ ตาย) สุขภาพอนามัย เศรษฐกิจ (อาชีพ รายได้ รายจ่าย) และทัศนียภาพ การศึกษานี้จะใช้สภาพเศรษฐกิจคืออาชีพและรายได้ และทัศนียภาพของพื้นที่ชายฝั่งทะเลเป็นตัวดัชนีชี้วัดผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อทรัพยากรคุณค่าคุณภาพชีวิต

2.2.2 การสร้างฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS database)

1. การสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial database) เป็นขั้นตอนของการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ของทรัพยากรชายฝั่ง ดังนี้ (ตารางที่ 1)

1) จัดทำแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงของพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยใช้ข้อมูลระดับความสูงจากแผนที่เส้นชั้นความสูงของกรมชลประทาน แผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร และ แบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลขจากกรมพัฒนาที่ดิน รวมทั้งข้อมูลค่าระดับค่าความสูงของพื้นที่ศึกษาที่ได้จาการออกสำรวจภาคสนาม

2) จัดทำแผนที่แสดงสภาพการใช้ประโยชน์พื้นที่ของตำบลที่อยู่ติดกับชายฝั่งทะเล โดยการแปลข้อมูลการใช้ที่ดินจากแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat TM-5 ขนาดมาตราส่วน 1:50,000 ด้วยสายตา

3) จัดทำแผนที่แสดงสภาพการใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล ด้วยการซ้อนทับแผนที่แสดงช่วงระดับความสูงของพื้นที่ชายฝั่ง กับ แผนที่แสดงสภาพการใช้ที่ดิน โดยจะประเมินผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของน้ำทะเล 0.5 และ 1 เมตร ในศตวรรษหน้าตามที่ได้มีผู้คาดการณ์เอาไว้ (Hirai, 1999) และ 3 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ในกรณีที่เป็น worst case scenario

2. การสร้างฐานข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ (attribute database) ข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ เช่น ข้อมูลลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและสภาพพื้นที่ชายฝั่งทะเล จะรวบรวมจากเอกสารรายงาน และ ผลการศึกษาวิจัยของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนการสัมภาษณ์ในสนาม

3. การวิเคราะห์ข้อมูล เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างหรือการทำงานของทรัพยากรที่เป็นองค์ประกอบระบบนิเวศชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล (ตารางที่ 2)

2.2.3 การประเมินผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อระบบนิเวศชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา จะประเมินโดยวิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่อโครงสร้างหรือการทำงานของกลุ่มทรัพยากรที่เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของระบบนิเวศชายฝั่ง (เกษม, 2545) ซึ่งได้แก่ ทรัพยากรชีวภาพ (biological resources) ทรัพยากรกายภาพ (physical resources) ทรัพยากรคุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ (human use values) และทรัพยากรคุณค่าคุณภาพชีวิต (life quality values) การวิเคราะห์ผลกระทบจะใช้วิธีบรรยาย (descriptive method) ที่อ้างโดย เกษม (2545) คณะวนศาสตร์ (2535) และ ชาญชัยและคณะ (2550) โดยประเมินจากสถานภาพทรัพยากรกลุ่มต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของระบบนิเวศชายฝั่ง ดังสมการ (เกษม, 2545)

$$E = f(B\ P\ H\ L)$$

โดยที่ E คือ สถานภาพของระบบนิเวศ

B คือ สภาพของทรัพยากรกลุ่มชีวภาพ

P คือ สภาพของทรัพยากรกลุ่มกายภาพ

H คือ สภาพของทรัพยากรกลุ่มคุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์

L คือ สภาพของทรัพยากรกลุ่มคุณค่าคุณภาพชีวิต

ตารางที่ 1 แสดงกลุ่มทรัพยากร และแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

กลุ่มทรัพยากร	ทรัพยากรที่วิเคราะห์	ดัชนีคุณภาพทรัพยากร	แหล่งข้อมูล
ทรัพยากรชีวภาพ	ป่าชายเลน และ ป่าชายหาด	ป่าชายเลนและ ป่าชายหาดที่ได้รับผลกระทบ	แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม และ การออกสำรวจภาคสนาม
ทรัพยากรกายภาพ	ทรัพยากรดิน และ น้ำ	พื้นที่ดินและแหล่งน้ำผิวดิน ที่ได้รับผลกระทบ	แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม และ การออกสำรวจภาคสนาม
คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์	พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่เพาะเลี้ยง และการตั้งถิ่นฐาน	พื้นที่นากุ้ง แหล่งท่องเที่ยว และที่อยู่อาศัยที่ได้รับผลกระทบ	แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม และ การออกสำรวจภาคสนาม
คุณค่าคุณภาพชีวิต	ประชากร และ ทัศนียภาพ	การประกอบอาชีพและสุขภาพของประชากร และทัศนียภาพชายฝั่ง	เอกสารรายงานของหน่วยงานต่างๆ และ การสัมภาษณ์ในสนาม

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา

3.1 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล

การเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลเนื่องจากภาวะโลกร้อนจะทำให้พื้นที่ชายฝั่งทะเลถูกน้ำท่วมและถูกกัดเซาะมากขึ้น (Sinsakul et al., 1999; CGER, 2000; Titus, 1990) การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่า หากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม 0.5 เมตรในศตวรรษหน้านี้ น้ำเค็มจะรุกล้ำท่วมพื้นที่ชายฝั่งด้านอ่าวไทยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นเนื้อที่ 87,131 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 40.9 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด (ตารางที่ 2) หากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นจากเดิม 1.0 เมตร น้ำเค็มจะรุกล้ำท่วมพื้นที่ชายฝั่งเป็นเนื้อที่ 108,114 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 50.7 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด และหากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นจากเดิม 3.0 เมตร น้ำเค็มจะรุกล้ำท่วมพื้นที่ชายฝั่งเป็นเนื้อที่ 133.363 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 62.5 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

ตารางที่ 2 แสดงเนื้อที่ของพื้นที่ชายฝั่งทะเลลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่จะถูกน้ำท่วม หากระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 0.5, 1.0 และ 3 เมตร.

หากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม (เมตร)	พื้นที่ที่จะถูกน้ำท่วม (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด
0.5	87,131	40.9
1.0	108,144	50.7
3.0	133,363	62.5

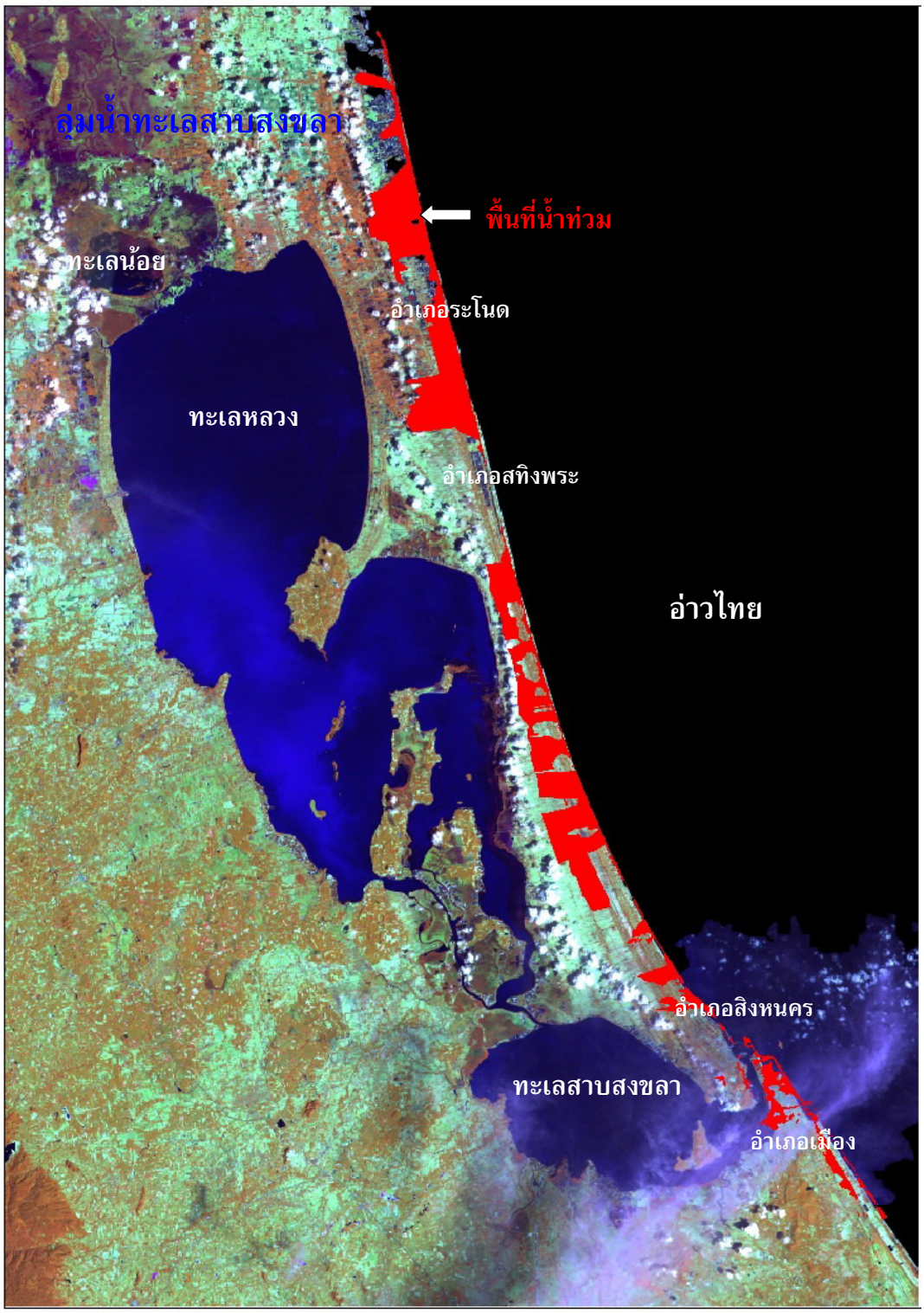
3.2 ผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อลักษณะธรณีสัณฐานชายฝั่ง

จากการซ้อนทับแผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลากับแผนที่ธรณีสัณฐานชายฝั่งทะเลของพื้นที่ศึกษา พบว่า ในอีก 100 ปีข้างหน้า ถ้าลักษณะธรณีสัณฐานชายฝั่งทะเลของพื้นที่ศึกษาไม่เปลี่ยนแปลง ไปจากปัจจุบันและระดับการป้องกันและบรรเทาผลกระทบจากปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อนยังเป็นอยู่เช่นในปัจจุบัน ลักษณะธรณีสัณฐานสำคัญในพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยที่จะได้รับผลกระทบหากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม 0.5 เมตร ได้แก่ สันดอนจะงอยทราย (sand split) จำนวน 2,331 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 49.1 ของพื้นที่สันดอนจะงอยทรายทั้งหมด แอ่งขนานหาดและที่ลุ่มชื้นแฉะหลังคันดิน (swale and back marsh) จำนวน 43,094 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 47.9 และ คันดินธรรมชาติ (natural levee) จำนวน 16,831 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 47.5 (ตารางที่ 3 และภาพที่ 5) ในกรณีที่ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 1.0 เมตร พื้นที่จำนวน 108,144 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 50.7 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดอาจจะจมอยู่ใต้น้ำภายในศตวรรษหน้า โดยลักษณะธรณีสัณฐานที่อาจถูกน้ำท่วม ได้แก่ ที่ราบลุ่มดินดอน

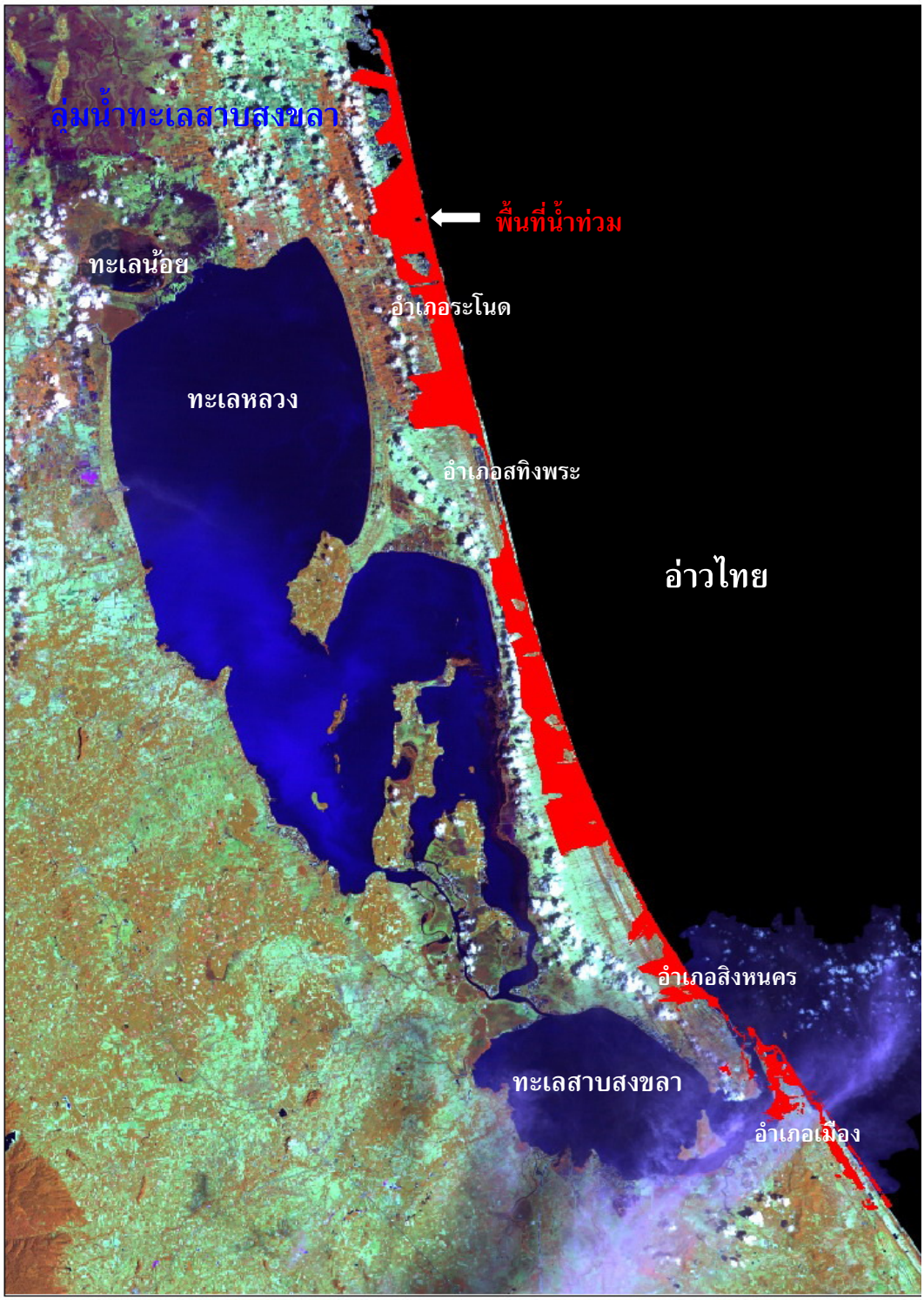
สามเหลี่ยม (Deltaic lowland) จำนวน 250 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 70.2 ของที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมทั้งหมด คันดินธรรมชาติจำนวน 22,200 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 62.7 และสันดอนจะงอยทรายจำนวน 2,900 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 61.1 (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 6) และหากระดับน้ำทะเลในอีกหนึ่งร้อยปีข้างหน้าสูงขึ้นถึง 3.0 เมตร พื้นที่จำนวน 133,363 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 62.5 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดอาจจะถูกปกคลุมด้วยน้ำในอีก 100 ปีข้างหน้า โดยลักษณะธรณีสัณฐานที่อาจจมอยู่ใต้น้ำ ได้แก่ ที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมจำนวน 356 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 100.0 ของที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมทั้งหมด สันดอนจะงอยทรายจำนวน 4,319 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 91.0 และคันดินธรรมชาติจำนวน 27,319 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 77.1 (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 7)

ตารางที่ 3 ผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลระดับต่างๆที่มีต่อลักษณะธรณีสัณฐานที่สำคัญบริเวณชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของพื้นที่ศึกษา

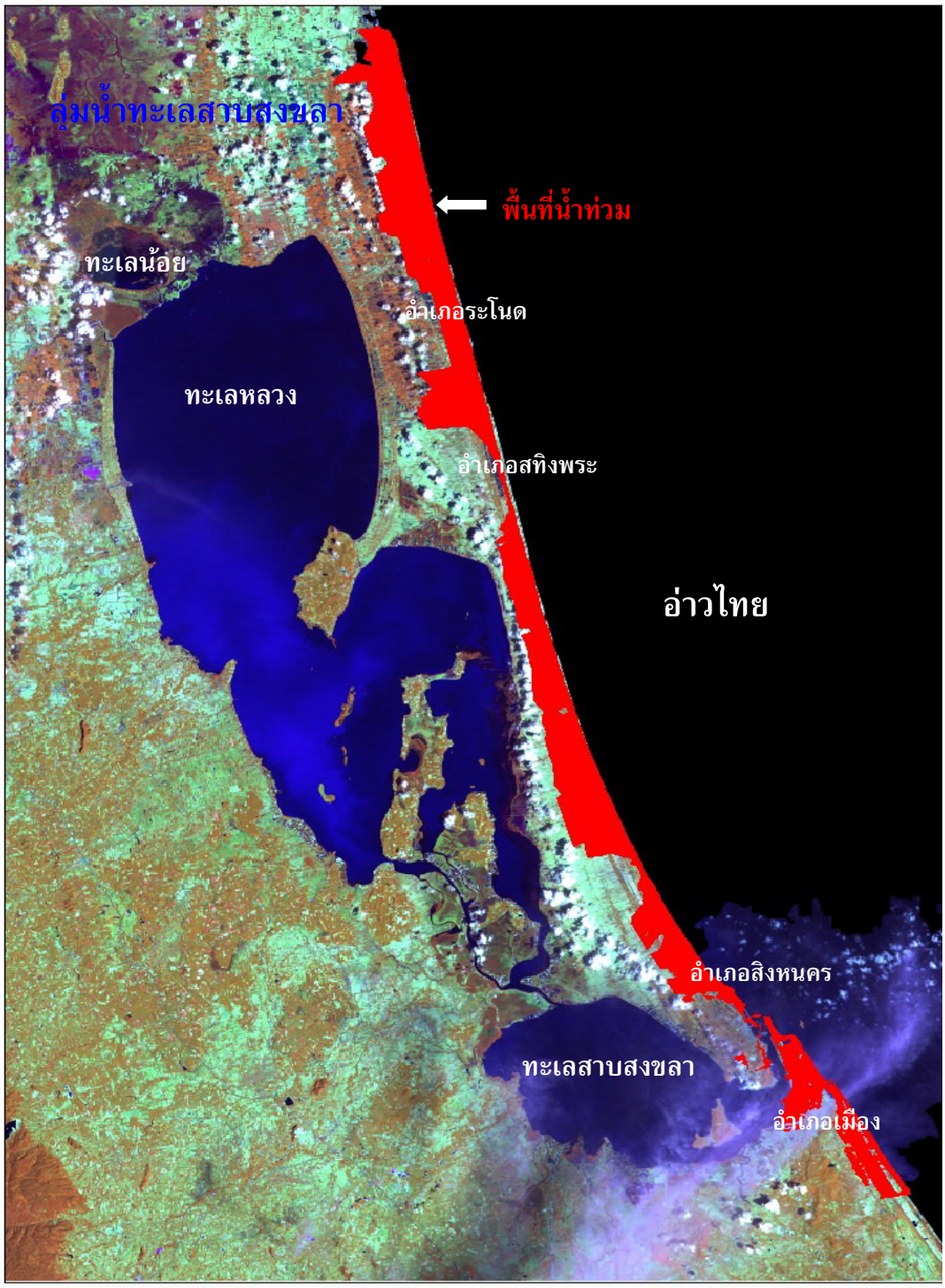
ลักษณะธรณีสัณฐานที่สำคัญ	พื้นที่เดิม		ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 0.5 เมตร		ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 1.0 เมตร		ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 3.0 เมตร	
	ไร่	ร้อยละของพื้นที่ทั้งหมด	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่
รอยทางน้ำเก่า	291	0.9	44	15.1	46	15.8	50	17.2
แนวสันหาด	4,457	13.1	1,172	26.3	1,418	31.8	1,949	43.7
ที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยม	57	0.2	26	45.6	40	70.2	57	100.0
ภูเขาและเขา	1,712	5.0	16	0.9	23	1.3	38	2.2
คันดินธรรมชาติ	5,668	16.6	2,693	47.5	3,552	62.7	4,371	77.1
ตะพักลำน้ำ	1,322	3.9	1	0.1	2	0.2	12	0.9
สันดอนจะงอยทราย	759	2.2	373	49.1	464	61.1	691	91.0
แอ่งขนานหาดและที่ลุ่มชื้นแฉะ	14,402	42.2	6,895	47.9	8,127	56.4	9,619	66.8
ที่ลุ่มน้ำขัง	53	0.2	15	28.3	15	28.3	27	50.9
ที่ลุ่มราบน้ำทะเลขึ้นถึง	751	2.2	207	27.6	251	33.4	344	45.8
พื้นที่อื่นๆ	4,652	13.6	2,499	53.7	3,365	72.3	4,180	89.9
รวม	34,124	100.0	13,941	40.9	17,303	50.7	21,338	62.5



ภาพที่ 5 แสดงบริเวณพื้นที่ที่อาจถูกน้ำท่วมหากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 0.5 เมตร ในศตวรรษหน้า



ภาพที่ 6 แสดงบริเวณพื้นที่ที่อาจถูกน้ำท่วมหากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 1.0 เมตร ในศตวรรษหน้า



ภาพที่ 7 แสดงบริเวณพื้นที่ที่อาจถูกน้ำท่วมหากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 3.0 เมตร ในศตวรรษหน้า

3.3 ผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณชายฝั่งทะเล

เมื่อซ้อนทับแผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ที่อาจจะถูกน้ำทะเลท่วมเนื่องจากปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อนในอีก 100 ปีข้างหน้า กับ แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ. ศ. 2549 พบว่า ในทศวรรษหน้าหากลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของพื้นที่ศึกษาและระดับการป้องกันและบรรเทาผลกระทบจากปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อนยังเป็นอยู่เช่นในปัจจุบัน พื้นที่ชายฝั่งทะเลลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในบริเวณที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจและระบบนิเวศชายฝั่งหลายแห่งจะได้รับผลกระทบในทางลบหากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม 0.5 เมตร พื้นที่ชายฝั่งที่อาจถูกน้ำทะเลท่วมได้แก่ป่าชายเลนซึ่งเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำชายฝั่งที่มีคุณค่าทางนิเวศวิทยาจำนวน 281 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 72.6 ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด นาข้าวจำนวน 45,369 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 47.6 และนากุ้งจำนวน 19,581 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 47.4 (ตารางที่ 4)ในกรณีที่ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 1.0 เมตร พื้นที่ที่อาจถูกน้ำท่วมได้แก่ป่าชายเลนจำนวน 319 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 82.3 ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด นากุ้งจำนวน 25,413 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 61.5 และนาข้าวจำนวน 53,838 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 56.5 (ตารางที่ 4)ในกรณีที่น้ำทะเลสูงขึ้น 3.0 เมตร พื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบได้แก่ป่าชายเลนจำนวน 363 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 93.5 ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด นากุ้งจำนวน 32,494 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 78.7 และนาข้าวจำนวน 62,581 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 65.7 (ตารางที่ 4) และหากระดับน้ำทะเลในอีกหนึ่งร้อยปีข้างหน้าสูงขึ้นถึง 3.0 เมตร พื้นที่ป่าชายเลนเกือบทั้งหมดของลุ่มน้ำ (ร้อยละ 93.5) จะได้รับผลกระทบ ข้อมูลเกี่ยวกับบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่อาจได้รับผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลในสถานการณ์ที่การศึกษานี้ได้จำลองขึ้นมีความสำคัญต่อการจัดลำดับความสำคัญก่อนหลังของพื้นที่ที่จำเป็นต้องใช้มาตรการในการปรับตัวเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในอนาคต

ตารางที่ 4 ผลกระทบของการสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล 0.5, 1.0 และ 3.0 เมตร ต่อสภาพการใช้ที่ดินบริเวณชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ปัจจุบัน		ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 0.5 เมตร		ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 1.0 เมตร		ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 3. เมตร	
	ไร่	ร้อยละของพื้นที่ทั้งหมด	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่
ป่าไม้	368	1.0	18	4.9	20	5.4	23	6.3
นาข้าว	15,242	44.7	7,259	47.6	8,614	56.5	10,013	65.7
ไม้ผล	4,976	14.6	1,599	32.1	1,989	40.0	2,590	52.0
ยางพารา	1,523	4.5	1	0.1	2	0.1	5	0.3
นากุ้ง	6,610	19.4	3,133	47.4	4,066	61.5	5,199	78.7
ป่าชายเลน	62	0.1	45	72.6	51	82.3	58	93.5
ที่ลุ่มน้ำขัง	249	0.7	1	0.4	30	12.0	42	16.9
พื้นที่ชุมชน	3,110	9.1	1,056	34.0	1,433	46.1	2,043	65.7
แหล่งน้ำ	90	0.3	19	21.1	36	40.0	55	61.1
พื้นที่อื่นๆ	1,894	5.6	810	42.8	1,062	56.1	1,310	69.2
รวมทั้งสิ้น	34,124	100.0	13,941	40.9	17,303	50.7	21,338	62.5

3.4 ผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีระบบนิเวศชายฝั่ง

การเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศชายฝั่งที่มิอาจประเมินค่าได้ (CGER, 2000) เพื่อให้ทราบถึงสถานภาพของระบบนิเวศชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่ได้รับผลกระทบ การศึกษานี้ได้ประเมินสถานภาพของระบบนิเวศทั้งในด้านโครงสร้างและการทำงาน ดังนี้

3.4.1 ทรัพยากรกายภาพ

การเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลจะทำให้พื้นที่ชายฝั่งทะเลสูญหายไป หากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 0.5 เมตร ในอีก 100 ปี ข้างหน้า สันดอนจะงอยทรายซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นที่ตั้งของชุมชนชาวประมงร้อยละ 49.1 มีแนวโน้มที่จะจมอยู่ใต้ระดับน้ำทะเล และถ้าเพิ่มสูงขึ้น 3.0 เมตร เกือบทั้งหมดของสันดอนจะงอยทรายคือร้อยละ 91.0 จะได้รับผลกระทบจากน้ำท่วม นอกจากนั้นในกรณีที่ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 0.5 เมตรจากเดิม ที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมจะถูกน้ำท่วมร้อยละ 45.6 ของพื้นที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมทั้งหมด หากน้ำทะเลมีระดับสูงขึ้นกว่าเดิม 3.0 เมตร ที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมทั้งหมดซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมจะจมอยู่ใต้น้ำ (ตารางที่ 3) ส่งผลให้แนวชายฝั่งทะเลอันดามันเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปมาก นอกจากนั้นน้ำในแหล่งน้ำชายฝั่งจะถูกปนเปื้อนด้วยน้ำทะเลที่ทะลักเข้าไป เนื่องจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น ไม่สามารถนำมาใช้เพื่ออุปโภคและบริโภคได้ ซึ่งจะสร้างปัญหาแก่อุสาหกรรมการท่องเที่ยวด้วย การเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลอาจทำให้สูญเสียแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญเช่นหาดทรายซึ่งมีแนวโน้มที่จะจมอยู่ใต้น้ำทะเล

3.4.2 ทรัพยากรชีวภาพ

การเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลสร้างผลกระทบและภัยคุกคามต่อพื้นที่ป่าชายหาดซึ่งพรรณไม้เด่นได้แก่ สนทะเล (*Casuarina equisetifolia*) ซึ่งจะได้รับผลกระทบจากการถูกน้ำท่วม ร้อยละ 4.9 และ 6.3 หากน้ำทะเลมีระดับสูงขึ้น 0.5 และ 3.0 เมตร ตามลำดับ นอกจากนั้นพื้นที่ป่าชายเลนซึ่งมีพันธุ์ไม้สกุลโกงกาง (Rhizophora) เป็นไม้สำคัญ อาจได้รับผลกระทบ ร้อยละ 72.6 และ 93.5 ถ้าระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 1.0 และ 3.0 เมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3) โดยทั่วไปพื้นที่ป่าชายหาดและป่าชายเลนทำหน้าที่ปกป้องรักษาความสมดุลและความมั่นคงของระบบนิเวศ และทำหน้าที่เป็นเสมือนกำแพงธรรมชาติรองรับแรงปะทะของคลื่นลม การที่ป่าทั้งสองประเภทถูกทำลายจะก่อให้เกิดปัญหาต่างๆตามมา อาทิเช่น การกัดเซาะชายฝั่ง (coastal erosion) และ การเพิ่มขึ้นของความเปราะบาง (vulnerability) ต่อการที่จะได้รับความสูญเสียจากพิบัติภัยชายฝั่ง (coasta hazards) ประเภทต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลื่นพายุซัดฝั่ง (storm surges) และคลื่นสึนามิ (tsunami wave) นอกจากนั้นการที่ป่าชายเลนซึ่งเป็นแหล่งเพาะพันธ์สัตว์น้ำ อนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน และแหล่งดำรงชีวิตของสัตว์น้ำที่มีคุณค่าสูงทางเศรษฐกิจถูกทำลายจะส่งผลกระทบต่อการประกอบอาชีพของชาวประมงที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ชายฝั่งของลุ่มน้ำ

3.4.3 ทรัพยากรคุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์

ผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลจะทำให้น้ำทะเลรุกเข้าไปในพื้นที่ชายฝั่งลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งได้แก่ พื้นที่ไม้ผล นาข้าว และ ยางพารา (ตารางที่ 3) รวมทั้งพื้นที่ประมงชายฝั่งและเพาะเลี้ยงชายฝั่ง เช่น การทำนากุ้ง (ตารางที่ 3) นอกจากนั้นพื้นที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมในบริเวณชายฝั่งซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจเพราะเป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรม ท่าเรือ สะพานปลา สิ่งอำนวยความสะดวกให้แก่นักท่องเที่ยว และพื้นที่อยู่อาศัยของคนจำนวนมากก็มีโอกาสได้รับความเสียหายจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 3) ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจตามมา

3.4.4 ทรัพยากรคุณค่าคุณภาพชีวิต

การรุกตัวขึ้นมาของน้ำทะเลอาจทำให้พื้นที่เกษตรกรรมและแหล่งที่ตั้งชุมชนต้องจมอยู่ภายใต้น้ำทะเล (ตารางที่ 3) และถูกกัดเซาะมากขึ้น ส่งผลให้ผู้คนต้องสูญเสียพื้นที่ดินทำกินต้องอพยพโยกย้ายถิ่นฐานและประกอบอาชีพอื่นซึ่งอาจนำมาซึ่งปัญหาทางสังคมและสุขภาพจิตเช่นความวิตกกังวลและความเครียด นอกจากนั้นภาวะน้ำท่วมจะทำให้น้ำในแหล่งน้ำจืดชายฝั่งปนเปื้อนด้วยเชื้อโรค (ตารางที่ 2) ทำให้ปริมาณน้ำสะอาดสำหรับการอุปโภคบริโภคลดน้อยลง ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของคนและชุมชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ชายฝั่ง ผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลยังได้ก่อให้เกิดน้ำท่วมชายฝั่งและการกัดเซาะชายฝั่ง ซึ่งจะไปทำลายทัศนียภาพที่งดงามของพื้นที่ชายฝั่งทะเลของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา หาดทรายขาวสะอาดที่ทอดขนานไปกับแนวทิวสนที่ขึ้นอยู่เรียงรายตลอดแนวชายหาดต้องจมอยู่ใต้น้ำ ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นได้ส่งผลให้คุณภาพชีวิตของคนและชุมชนในพื้นที่ชายฝั่งทะเลในพื้นที่ศึกษาเสื่อมโทรมลง

ผลการศึกษาบ่งชี้ว่าสถานภาพของทรัพยากรทั้ง 4 กลุ่มที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบนิเวศชายฝั่ง ฝั่งจะได้รับผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล โดยเฉพาะการตั้งถิ่นฐานและการประกอบอาชีพของชุมชนและกิจกรรมทางเศรษฐกิจ นอกจากนั้นทรัพยากรชายฝั่งประเภทอื่นๆ อาทิเช่น แนวปะการัง หญ้าทะเล เต่าทะเล และแหล่งน้ำใต้ดินมีโอกาสได้รับผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลอีกด้วย (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง , 2555; CGER, 2000) ด้วยเหตุนี้จึงควรได้มีการจัดทำแผนการบริหารจัดการทรัพยากรชายฝั่งซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบนิเวศ ที่มีมาตรการทางป้องกันและบรรเทาเป็นหลักการพื้นฐาน เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคต และเพื่อให้สถานภาพของระบบนิเวศชายฝั่งที่เสื่อมโทรมกลับคืนสู่สภาวะปกติธรรมชาติ ต่อไป

3.5 แนวทางและมาตรการในการป้องกันและบรรเทาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล

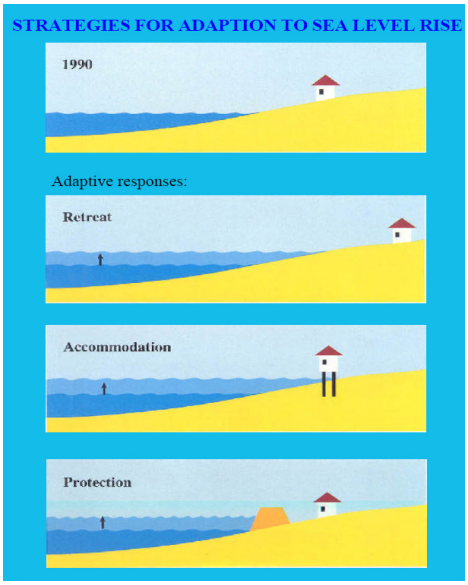
ด้วยความตระหนักในคุณค่าและความสำคัญของพื้นที่ชายฝั่งทะเลซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเปราะบางและอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย จึงควรได้มีการเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเพิ่ม

สูงขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคต ดังแนวทางและมาตรการ ดังนี้ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2555; Klein et al, 2001; CGER, 2000; IPCC, 1990)

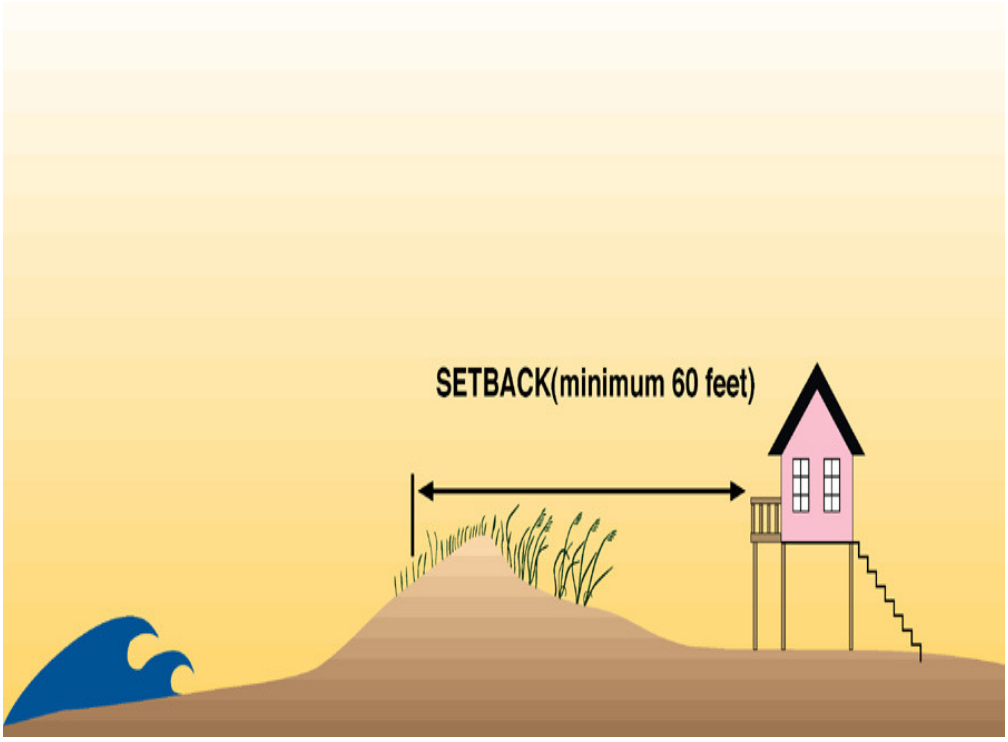
1) การถอยร่น (Retreat) ได้แก่ การกำหนดให้พื้นที่ชายฝั่งเป็นพื้นที่คุ้มครองโดยกำหนดให้สิ่งปลูกสร้างต้องสร้างอยู่หลังแนวชายฝั่ง โดยกำหนดแนวระยะถอยร่น (setback lines) ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดจากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต โครงการการพัฒนาต่างๆในพื้นที่ชายฝั่งจะไม่ได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐและจะอนุญาตให้ดำเนินการได้ก็ต่อเมื่อได้รับความยินยอมว่าจะรื้อถอนเมื่อจำเป็น (ภาพที่ 8 และ ภาพที่ 9)

2) การปรับตัว (Accommodation) เป็นมาตรการที่ยินยอมให้บุคคลหรือชุมชนใช้ชีวิตอยู่กับระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นในพื้นที่ชายฝั่งทะเลได้ (ภาพที่ 8) พร้อมๆกับการอนุรักษ์ระบบนิเวศชายฝั่ง โดยมาตรการนี้อาจเป็นการปรับปรุงสิ่งปลูกสร้างให้มีความทนทานต่อระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น จัดให้มีระบบการเตือนภัย และการประกันภัยในพื้นที่เปราะบางเพื่อชดเชยความเสียหายและเป็นค่าสินไหมจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคต

3) การป้องกัน (Protection) เป็นมาตรการเพื่อป้องกันพื้นที่จากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น หรือผลกระทบอื่นๆที่เป็นผลสืบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล เช่น การกัดเซาะชายฝั่งและการรุกตัวของน้ำเค็ม การป้องกันอาจจะใช้โครงสร้างทางวิศวกรรมหรือโครงสร้างแบบแข็ง เช่น กำแพงป้องกันตลิ่ง (seawalls) (ภาพที่ 10) กำแพงป้องกันน้ำท่วม (floodwalls) กำแพงหินทิ้ง (revetment) หรือ คันดิน (levees) (ภาพที่ 11) หรือ อาจใช้โครงสร้างแบบอ่อน ร่วมด้วย เช่น การสร้างเนินทรายชายฝั่ง (dune nourishment) (ภาพที่ 11) การเติมทรายชายหาด (beach nourishment) (ภาพที่ 12) และ การปลูกป่าโกงกางและป่าชายหาด (beach and mangrove afforestation) (ภาพที่ 13) เป็นต้น (CGER, 2000) โดยโครงสร้างเหล่านี้ควรประยุกต์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ โดยการกำหนดมาตรการการป้องกันชายฝั่งควรมีทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการรับมือในอนาคต



ภาพที่ 8 กลยุทธการปรับตัวเพื่อรับมือกับผลกระทบจากการการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล



ภาพที่ 9 แสดงแนวระยะถอยร่น (บน) และ การถอยร่นของแนวถนนเข้ามาในแผ่นดิน (ล่าง)

ภาพที่ 10 แสดงภาพกำแพงป้องกันตลิ่ง

ภาพที่ 11 แสดงภาพคันดิน (Motorway levees) (บน) และ เนินทรายชายฝั่ง (ล่าง)

ภาพที่ 12 แสดงภาพการเติมทรายชายหาด

ภาพที่ 13 แสดงภาพป่าโกงกาง (บน) และ ป่าชายหาด (ล่าง)

บทที่ 4

สรุปและข้อเสนอแนะ

ชายฝั่งทะเลเป็นบริเวณพื้นที่ที่มีความสำคัญมากต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์ ในอดีตมนุษย์จะตั้งถิ่นฐานในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล เนื่องจากเป็นบริเวณที่เหมาะต่อการเพาะปลูก การประมง และการค้า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกและการทรุดตัวลงของแผ่นดินจะทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำเค็มรุกตัวขึ้นมาบนพื้นที่ชายฝั่งทะเล ทำให้ชายหาดซึ่งมีลักษณะชายฝั่งที่แคบหายไป รวมทั้งชายหาดจะถูกร่นเข้ามาถึงพื้นที่ราบริมทะเล ก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบสาธารณูปโภค พื้นที่เกษตรกรรม และที่อยู่อาศัยของคนจำนวนมาก รวมถึงผลกระทบทางเศรษฐกิจที่จะเกิดขึ้นตามมา

ในอีก 100 ปีข้างหน้า หากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 0.5, 1.0 และ 3.0 เมตร จะทำให้พื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาได้รับผลกระทบจำนวน 87,131 หรือร้อยละ 40.9 , 108,144 ไร่ หรือร้อยละ 50.7 และ 133,363 ไร่ หรือร้อยละ 62.5 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดตามลำดับ ในกรณีที่น้ำทะเลสูงขึ้น 3.0 เมตร ที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมทั้งหมดอาจจะถูกปกคลุมด้วยน้ำในศตวรรษหน้า และสันดอนจะงอยทรายจำนวน 4,319 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 91.0 จะถูกน้ำทะเลท่วมขัง ในส่วนของลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในกรณีที่ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 1.0 เมตร พื้นที่ที่อาจถูกน้ำท่วมได้แก่ป่าชายเลนจำนวน 319 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 82.3 ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด นากุ้งจำนวน 25,413 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 61.5 และนาข้าวจำนวน 53,838 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 56.5 และถ้าหากระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 3.0 เมตร พื้นที่ที่อาจจมอยู่ใต้น้ำได้แก่ป่าชายเลนจำนวน 363 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 93.5 ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด นากุ้งจำนวน 32,494 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 78.7 และนาข้าวจำนวน 62,581 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 65.7 ที่น่าสนใจก็คือหากระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 3.0 เมตรภายในศตวรรษหน้า พื้นที่ป่าชายเลนเกือบทั้งหมดของลุ่มน้ำ (ร้อยละ 93.5) จะจมหายไปในทะเล ในส่วนของทะเลสาบสงขลาซึ่งเป็นแหล่งน้ำชายฝั่งจะมีพื้นที่มากขึ้น และจะมีน้ำเค็มรุกตัวเข้ามาในทะเลสาบมากขึ้น การเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลซึ่งเป็นพิบัติภัยชายฝั่ง (coastal hazards) ประเภทหนึ่ง จะส่งผลให้ระบบนิเวศชายฝั่งของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเสื่อมโทรมลง

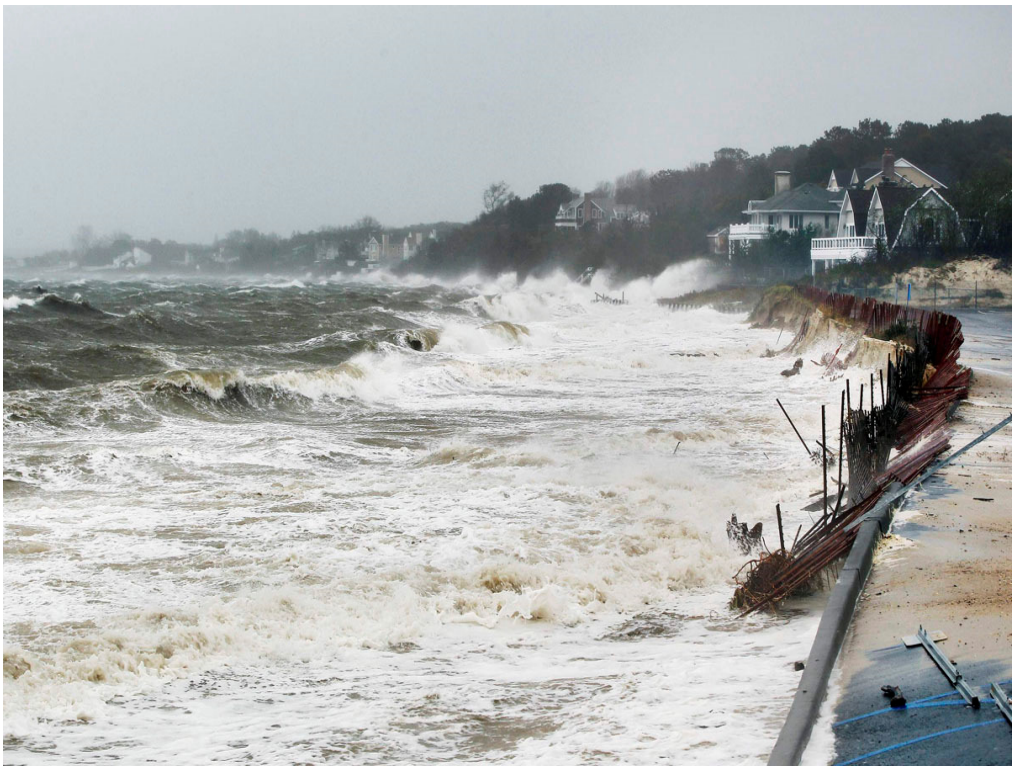
แนวทางและมาตรการในการป้องกันและบรรเทาผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล ได้แก่ การถอยร่น การปรับตัว และการป้องกัน ในส่วนของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในกรณีที่พื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลเป็นพื้นที่เศรษฐกิจที่มีประชาชนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น อาทิเช่นในเขตอำเภอเมือง มาตรการที่เหมาะสมน่าจะเป็นการป้องกัน (protection) โดยอาจใช้โครงสร้างทางวิศวกรรมหรือโครงสร้างแบบแข็ง เช่น กำแพงป้องกันตลิ่ง (seawalls) กำแพงป้องกันน้ำท่วม (floodwalls) กำแพงหินทิ้ง (revetment) หรือ คันดิน (levees) ส่วนที่เป็นพื้นที่ท่องเที่ยวและพักผ่อนอาจเลือกใช้โครงสร้างแบบอ่อน เช่น การเสริมทรายชายหาด (beach nourishment) หรือ การสร้างเนินทราย (dune nourishment) เพื่อรักษาไว้ซึ่ง

ทัศนียภาพที่งดงามของชายฝั่ง ส่วนในพื้นที่ชายฝั่งที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมหรือเป็นพื้นที่รกร้างว่างเปล่าซึ่งมีมูลค่าทางเศรษกิจไม่มาก เช่นในเขตพื้นที่อำเภอระโนด สทิงพระ และ/หรือสิงหนคร การใช้มาตรการป้องกันอาจไม่คุ้มค่าเนื่องจากการสร้างโครงสร้างทางวิศวกรรมต้องลงทุนสูง การถอยร่น (retreat) น่าจะเป็นมาตรการที่เหมาะสมกว่า การถอยร่นนี้เป็นการอพยพเคลื่อนย้ายประชาชน ทรัพย์สิน และรื้อถอนสิ่งก่อสร้าง ไปยังพื้นที่อื่นที่มีโอกาสได้รับผลกระทบน้อยกว่าหรือเป็นพื้นที่ปลอดภัย โดยการกำหนดแนวระยะถอยร่น (setback lines) เพื่อไม่ให้มีการสร้างสิ่งปลูกสร้างใดๆบนพื้นที่ชายฝั่งบริเวณที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล

ที่ผ่านมา หน่วยงานราชการต่างๆที่เกี่ยวข้อง องค์การบริหารส่วนตำบล (อบต.) และองค์การบริหารส่วนจังหวัด (อบจ.) ได้ใช้โครงสร้างชายฝั่ง (coastal structure) เช่น กำแพงป้องกันตลิ่ง (seawalls) ซึ่งเป็นมาตรการแบบแข็งเพื่อป้องกันและบรรเทาผลกระทบจากพิบัติภัยชายฝั่ง (coastal hazards) (ภาพที่ 14) ตามที่แต่ละชุมชนต้องการ แต่พบว่าส่วนใหญ่ใช้ไม่ได้ผล ทั้งยังก่อให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงมากขึ้นและก่อให้เกิดผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียงด้วย (Jarupongsakul, 2005; Cambers, 1998; Masselink and Hughes, 2003) การกำหนดมาตรการเพื่อป้องกันและบรรเทาผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับในแต่ละพื้นที่ชายฝั่งจำเป็นต้องมีข้อมูลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมชายฝั่งอย่างละเอียด ครบถ้วน และถูกต้องตามหลักวิชาการ อาทิเช่น ลักษณะธรณีสัณฐานชายฝั่ง ความสูงและคาบของคลื่น ความเร็วและทิศทางของลมในแต่ละเดือน สภาพความแรงของคลื่นลม ลักษณะสิ่งก่อสร้างชายฝั่งที่กีดขวางกระแสน้ำและการเคลื่อนที่ของตะกอน การเกิดและความรุนแรงของลมมรสุมและพายุ สภาพเศรษฐกิจและสังคม ตลอดจนผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมชายฝั่งของโครงสร้างต่างๆที่จะสร้างในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นจึงยังมีความต้องการการทำวิจัยเพื่อสร้างสมองค์ความรู้ในด้านต่างๆเหล่านี้อีกมาก ก่อนที่จะสามารถกำหนดมาตรการสำหรับป้องกันและบรรเทาผลกระทบจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลในรายพื้นที่ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมตามหลักวิชาการ และไม่ก่อให้เกิดปัญหาเช่นเดียวกันในพื้นที่อื่น จึงเป็นหน้าที่ของหน่วยงานที่มีหน้าที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับการทำวิจัย เช่น สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กองทุนสนับสนุนการวิจัย และหน่วยงานราชการอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กรมโยธาธิการและผังเมือง และองค์การบริหารราชการส่วนตำบล (อบต.) ที่ต้องให้ความสนับสนุนให้มีการทำวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ในด้านนี้ให้มากขึ้น อันจะนำไปสู่การกำหนดมาตรการในการป้องกันและบรรเทาผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่เหมาะสมกับในแต่ละพื้นที่ชายฝั่ง (site specific) และอยู่ในการควบคุมที่สามารถยอมรับได้จากทุกฝ่าย ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการศึกษาวิจัย และขอขอบคุณ คุณธัชชัย แสนเสนา สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์



ภาพที่ 14 แสดงภาพพิบัติภัยชายฝั่ง

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

เกษม จันทร์แก้ว. 2545. การจัดการสิ่งแวดล้อมแบบผสมผสาน. วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 333 หน้า

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2555. โครงการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลต่อพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน. รายงานฉบับสมบูรณ์. จัดทำโดยบริษัทเทสโก้จำกัด

กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่มีต่อการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล. จาก http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=90 downloaded เมื่อ 19/6/2556

กรีนพีซประเทศไทย. 2556. การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล. หยุดถ่านหิน. จาก http://www.greenpeace.org/seasia/th/campaigns/climate downloaded เมื่อ 19/6/2556

คณะวนศาสตร์. 2535. การสำรวจวิเคราะห์ลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

จำลอง อรุณเลิศอารีย์. 2548. ทรัพยากรชายฝั่งทะเล มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 312 หน้า

ชาญชัย ธนาวุฒิ เชาวน์ ยงเฉลิมชัย และอ้อมทิพย์ เด่นศรีเสรีกุล. 2550. ผลกระทบของคลื่นสึนามิที่มีต่อระบบนิเวศชายฝั่งในเขตพื้นที่อำเภอตะกั่วป่าจังหวัดพังงา คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 55 หน้า

นวรัตน์ ไกรพานนท์. 2544. ความเสี่ยงของระบบนิเวศชายฝั่งทะเลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ 16 (2) : 33 – 44.

นวรัตน์ ไกรพานนท์ และ สุไรยา ดุลยาภรณ์. 2545. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ 17 (3) : 29 - 57.

ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล. 2550. โลกร้อนสุดขั้ว วิกฤตอนาคตประเทศไทย สำนักพิมพ์ฐานการพิมพ์จำกัด กรุงเทพฯ 257 หน้า

อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุทธยา. 2550. “ภาวะโลกร้อน” มหันตภัยใกล้ตัว. วารสารสิ่งแวดล้อม 11 (1) : 14-21

ภาษาอังกฤษ

Cambers, G. 1998. Coping with Beach Erosion. Coastal Management Sourcebooks. UNESCO Series.

CGER (Center for Global Environmental Studies). 2000. Data Book of Sea-Level Rise. N. Mimura and H. Harasawa (eds.) National Institute for Environmental Studies. Environment Agency of Japan. Tsukuba, Japan. 128 pp.

Hirai, Y. 1999. Assessment of impacts of sea-level rise on coastal lagoons, a case study of the Songkhla lake in southern Thailand. p. 152-159. *In* S. Sinsakul, N. Chaimanee and S. Tiyapairach (eds.). Proceedings of the Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise. Phetchaburi Province, Thailand

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1990. Climate change. The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge. 365 pp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. The science of climate change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge. 233 pp

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1990. Strategies for Adaptation to Sea Level Rise. Report of the Coastal Management Subgroup. Response Strategies Working Group. November, 1990. 26 p

Jarupongsakul, T. 2005. Coastal Erosion: Problem and Knowledge Integration Studies. Journal of Metals, Materials and Mineral. 15 (2) : 1-10

Klein, R.J.T., Nicholls, R.J., Ragoonaden, S., Capobianco, M., Aston, J. and Buckley, E.N. 2001. Technological options for adaptation to climate change in coastal zones. Journal of Coastal Research 17 (3) : 531-543

Masselink, G. and Hughes, M.G. 2003. Coastal Processes and Geomorphology. Hodder and Arnold. London. 354 pp.

Sinsakul, S., Chaimanee, N. and Tiyapairach, S. 1999. Coastal erosion, an indicator of sea-level rise in Thailand. p. 169-173. *In* S. Sinsakul, N. Chaimanee and S. Tiyapairach (eds.). Proceedings of the Thai-Japanese Geological Meeting. The Comprehensive Assessment on Impacts of Sea-Level Rise. Department of Mineral Resources. Bangkok. Thailand.

Tanavud, C., Yongchalermchai, C., Bennui, A. and Navanugraha, C. 2000. Application of GIS and remote sensing for landslide disaster management in southern Thailand. Journal of Natural Disaster Science. 22 (2) : 67-74.

Tanavud, C., Yongchalermchai, C., Navanugraha, C. and Bennui, A. 2002. Erosion hazard assessment in southern Thailand. Journal of Remote Sensing and GIS association of Thailand 3 (3) : 1-14

Tanavud, C., Yongchalermchai, C., Bennui, A. and Densreeserekul, O. 2004. Assessment of flood risk in Hat Yai Municipality, Southern Thailand. Journal of Natural Disaster Science 26 (1) : 1-14

Titus, J.G. 1990. Greenhouse effect, sea level rise, and land use. Land Use Policy 7 : 53 - 138.

WWF (World Wildlife Fund). 2007. Climate change. World Wildlife Fund. Bangkok. 18 pp.

ภาคผนวก

บทความวิจัยที่ตีพิมพ์แล้ว

Charlchai Tanavud and Chao Yongchalermchai. 2009. Assessing potential impacts of sea level rise on coastal areas in Songkla Lake Basin using GIS and remotely sensed data. Journal of Remote Sensing and GIS Association of Thailand. 10 (1) : 1-14