



สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
กระทรวงศึกษาธิการ
<http://www.nua.go.th>



สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
The Thailand Research Fund

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

อัตราการกัดเซาะชายฝั่งจากชายฝั่งทะเลอันดามันและชายฝั่งอ่าวไทย

(Rate of coastal erosion from the Andaman and the Gulf of Thailand coasts)

โดย มนตรี ชูวงศ์ และคณะ

กรกฎาคม 2548



สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
กระทรวงศึกษาธิการ
<http://www.mua.go.th>



สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
The Thailand Research Fund

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

อัตราการกัดเซาะชายฝั่งจากชายฝั่งทะเลอันดามันและชายฝั่งอ่าวไทย
(Rate of coastal erosion from the Andaman and the Gulf of Thailand coasts)

โดย มนตรี ชูวงศ์ และคณะ

กรกฎาคม 2548

สัญญาเลขที่ MRG4680091

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ อัตราการกัดเซาะชายฝั่งจากชายฝั่งทะเลอันดามันและชายฝั่งอ่าวไทย
(Rate of coastal erosion from the Andaman and the Gulf of Thailand coasts)

มนตรี ชวงษ์

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญญา จารุศิริ

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ อัตราการศึกษาชายฝั่งจากชายฝั่งทะเลอันดามันและชายฝั่งอ่าวไทย
(Rate of coastal erosion from the Andaman and the Gulf of Thailand coasts)

สรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive summary)

การดำเนินงานโครงการวิจัยนี้ได้เปลี่ยนแผนการดำเนินงานไปบ้างในช่วงต้นของระยะดำเนินงานปีที่ 2 อันเนื่องมาจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2547 ที่ส่งผลให้เกิดสึนามิพัดเข้าสู่ชายฝั่งทะเลอันดามัน ซึ่งเดิมงานวิจัยนี้ไม่ได้จัดให้พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่อยู่ในลำดับต้นๆ ที่พบการกัดเซาะชายฝั่ง และไม่ได้กำหนดไว้ในแผนงานการศึกษา (ดังได้อ้างถึงแล้วในรายงานความก้าวหน้ารอบ 18 เดือน) สึนามิได้ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิต ทรัพย์สิน และความสมดุลทางกายภาพ โดยเฉพาะความสมดุลของตะกอนชายฝั่งที่พบการกัดเซาะอย่างรวดเร็วในบางพื้นที่ ผู้ดำเนินโครงการวิจัยและนักวิจัยที่ปรึกษาจึงมีความเห็นร่วมกันว่า มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรายงาน วิเคราะห์ และบันทึกข้อมูลประวัติศาสตร์ของธรณิพิบัติภัย โดยเฉพาะการกัดเซาะชายฝั่งในแถบทะเลอันดามันอันเนื่องมาจากเหตุการณ์สึนามิในครั้งนี้

แผนงานของโครงการเดิมในปีแรกได้กำหนดไว้ชัดเจนว่าต้องทำการคัดเลือกพื้นที่ที่สามารถศึกษาอัตราการศึกษาชายฝั่งได้อย่างสมบูรณ์ คือ เป็นพื้นที่ที่พบการกัดเซาะและการสะสมตัวที่ชัดเจนเพื่อที่จะสามารถระบุแหล่งที่มาของตะกอน ทิศทางการพัดพา และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหาด ที่จะบ่งบอกไปถึงอัตราการศึกษาชายฝั่งได้ จำนวน 5 พื้นที่ ซึ่งได้แก่ 1. ชายฝั่งทะเลบริเวณบ้านฉาง จังหวัดระยอง 2. ชายฝั่งทะเลบริเวณปากน้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 3. ชายฝั่งทะเลบริเวณหาดนอกร จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 4. ชายฝั่งทะเลบริเวณแหลมตะลุมพุก จังหวัดนครศรีธรรมราช และ 5. ชายฝั่งทะเลบริเวณบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร แต่ภายหลังจากวิเคราะห์ข้อมูลทางธรณีสัณฐานวิทยาชายฝั่งโดยละเอียดแล้วก็พบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น คณะผู้วิจัยได้ปรับเปลี่ยนพื้นที่ไปจากเดิมและจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่ศึกษาขึ้นมาใหม่โดยกำหนดให้มีพื้นที่เร่งด่วนในการศึกษาอัตราการศึกษาชายฝั่งทะเลใน 2 พื้นที่ด้วยกัน คือ 1. พื้นที่ชายฝั่งทะเลตั้งแต่บ้านเขาหลักถึงแหลมปะการัง จังหวัดพังงา 2. พื้นที่ชายฝั่งทะเลบ้านน้ำเค็ม จังหวัดพังงา และจะยังคงรายละเอียดการศึกษาในพื้นที่เดิม คือ 3. พื้นที่ชายฝั่งปากน้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 4. พื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวประจวบคีรีขันธ์ และ 5. พื้นที่ชายฝั่งทะเลหาดวนกร จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ในส่วนการศึกษารณวิทย์วิทยาทั่วไปที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลทั้งแถบอ่าวไทย และทะเลอันดามันนั้น ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจภาคสนามตลอดพื้นที่ทั้งสองฝั่งทะเลไทย ได้ทำการวิเคราะห์ ถึงปัจจัยที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลตั้งแต่อดีตหลังจากยุคน้ำแข็งครั้งสุดท้ายมาจนถึง ปัจจุบันโดยใช้การวิเคราะห์หลักฐานทางธรณีวิทยาที่บ่งบอกการเปลี่ยนของระดับน้ำทะเลในอดีต นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองวัดระดับการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่บางแห่งเพื่อศึกษาระบบการหมุนเวียน ของตะกอนชายฝั่งในรอบปี คือ พื้นที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี อ่าวประจวบคีรีขันธ์ และหาดวนกร ซึ่ง ผลจากการวัดระดับในภาคสนามและการปักหมุดหลักฐานเพื่อวัดระดับอย่างละเอียดรวมถึงผลการ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลโดยการใช้ข้อมูลโทรสัมผัสของพื้นที่ดังกล่าว พบว่าการกัดเซาะ และการสะสมตัวของตะกอนในรอบปีแสดงให้เห็นถึงธรรมชาติของหาดตะกอนทรายมักจะรักษาสสมดุล ไว้ในตัวของมันเอง คือ มีการทดแทนการกัดเซาะโดยการสะสมตัวซึ่งเห็นได้ชัดเจนเพียงในรอบ ระยะเวลา 1 ปี ก็มีความสมดุลเกิดขึ้นได้ ดังนั้น บทสรุปของโครงการวิจัยนี้อาจจะมีความแตกต่างไปจาก รายงานการศึกษาเก่า และผู้วิจัยได้เสนอแนะถึงข้อควรพิจารณาเพิ่มเติมในเชิงวิชาการว่าในพื้นที่ที่เคยมี การรายงานว่าการกัดเซาะเกิดขึ้นในอัตราที่มากนั้นซึ่งบางแห่งมากถึง 7 เมตรต่อปี จริงๆ แล้วตัวเลขของ อัตราการกัดเซาะอาจจะไม่มากถึงอย่างที่รายงานเก่าๆ ได้ระบุไว้ หรือไม่ก็อาจจะไม่มีการกัดเซาะเกิดขึ้น เลยก็ได้

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เป็นการเก็บข้อมูลระยะสั้น โดยเฉพาะการทดลองวัดระดับการ เปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในช่วงเวลา 1 ปี ซึ่งในการติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งที่น่าจะต้อง ทำการศึกษาในอนาคตต้องทำการวัดระดับพื้นที่อย่างต่อเนื่องจนมั่นใจในตัวเลขอัตราการกัดเซาะเฉลี่ยที่ ชัดเจน จึงจะสามารถสรุปและกำหนดมาตรการป้องกันได้อย่างถูกต้อง ประเด็นสำคัญที่สุดที่ได้จาก งานวิจัยนี้ คือ ความสำคัญของตะกอนชายฝั่ง (Coastal sediments) ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาใน รายละเอียด เพราะบางครั้งชนิดตะกอน โครงสร้างตะกอน ขนาดโครงสร้างที่เล็กมากๆ อาจจะมีขนาดเป็น เซนติเมตร รวมถึงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ที่พบลักษณะตะกอนเหล่านี้จะเป็นหลักฐานแสดงให้เห็นการ เปลี่ยนแปลงชายฝั่งอย่างชัดเจนที่สุด ซึ่งโครงการวิจัยนี้จัดได้ว่ามีความแตกต่างจากงานวิจัยเก่าในประเด็น ที่ว่าผู้วิจัยได้เน้นในเรื่องตะกอนวิทยาชายฝั่งที่น่าจะเป็นตัวอย่างเพื่อให้นักวิจัยในอนาคตได้หันมา พิจารณามากกว่าใช้การวิเคราะห์จากข้อมูลระยะไกลเพียงอย่างเดียว

สำหรับผลงานที่ได้รับโดยการใช้ข้อมูลจากงานวิจัยนี้ตั้งแต่ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย สรุปได้ โดยแบ่งเป็นผลงานทางวิชาการในการผลิตโครงการทางวิทยาศาสตร์สำหรับนิสิตปริญญาตรี ของ ภาควิชาธรณีวิทยา 3 โครงการที่เสร็จสิ้นไปแล้ว และวิทยานิพนธ์นิสิตระดับปริญญาโทอีก 2 เรื่องที่กำลัง ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีผลงานการเผยแพร่งานวิจัยในรูปการประชุมวิชาการในประเทศ

จำนวน 1 ครั้ง ต่างประเทศ 1 ครั้ง การนำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์และบทคัดย่อ (Abstract) เพื่อแสดงในการประชุมวิชาการนานาชาติจำนวน 2 ครั้ง การนำเสนอข้อมูลผ่านสื่อมวลชนรายการ Thailand Edition โดยช่อง 9 อสมท 1 ครั้ง ได้ส่งบทความเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยนานาชาติ ซึ่งได้พิมพ์เผยแพร่แล้ว 1 เรื่อง (พร้อมรูปประกอบงานวิจัยได้รับเกียรติให้ลงเผยแพร่ในปกวารสาร) และได้ส่งเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ไปแล้วอีก 2 เรื่อง ซึ่งอยู่ระหว่างการพิจารณาจากวารสาร ผลงานวิจัยส่วนหนึ่งยังได้รับเกียรติให้ลงเผยแพร่ในปกหน้าและปกหลังของวารสารข่าวของสมาคมธรณีวิทยาญี่ปุ่น (Geological Society of Japan Newsletter: GSJ Newsletter) และได้รับเกียรติให้ลงเผยแพร่ในวารสารสมาคมธรณีวิทยาญี่ปุ่น (Journal of Geological Society of Japan) พร้อมเนื้อหาสรุปในวารสาร นอกจากนี้ภายหลังจากเหตุการณ์สึนามิ ผู้วิจัยและนักวิจัยที่ปรึกษาได้เผยแพร่และให้ความรู้ ข้อมูลการสำรวจและศึกษาผลกระทบทางกายภาพต่างๆ ทั้งในรูปแบบการสัมมนาผ่านสื่อสิ่งพิมพ์ รายการวิทยุ และโทรทัศน์อย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้อ้างถึงการสนับสนุนส่วนหนึ่งจาก สกว ทั้งนี้อย่างน้อยขณะนี้ผู้วิจัยมีความเห็นว่า การให้ความรู้ดังกล่าวน่าจะเป็นสิ่งที่พวกเรานักวิจัยควรจะนำเสนอสู่ประชาชนโดยตรงด้วย ไม่เฉพาะแต่การนำเสนอในรูปแบบเอกสารวิชาการ

บทคัดย่อ

การกัดเซาะชายฝั่ง (coastal erosion) เป็นปัญหาด้านธรณีวิทยาประเภทหนึ่งที่สร้างความสูญเสียต่อพื้นที่บริเวณชายฝั่งของประเทศ โดยสาเหตุของการกัดเซาะมีหลายประการ และมีปัจจัยทางกายภาพ ชีวภาพ และสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้นเป็นตัวควบคุมความรุนแรงของการกัดเซาะในเชิงพื้นที่ ชายฝั่งทะเลของประเทศไทย ประกอบด้วยแนวพื้นที่หาดทราย ที่ราบลุ่มต่ำ และแนวโขดหินที่เป็นแหลม ประกอบกันรวมเป็นความยาวกว่า 2600 กิโลเมตร โดยพื้นที่ที่เป็นหาดทรายส่วนใหญ่ครอบคลุมแนวชายฝั่งทะเลอ่าวไทยโดยคิดเป็นพื้นที่ประมาณเกือบ 70 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่แนวชายฝั่งทะเลอันดามันคิดเป็นแนวความยาวประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลือเป็นหมู่เกาะต่างๆ จะเห็นว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการกัดเซาะจริงๆ แล้วเคยมีรายงานเก่าได้จัดลำดับพื้นที่เสี่ยงและได้รับผลกระทบในหลายลำดับ เช่น พื้นที่ที่มีอัตราการกัดเซาะชายฝั่งรุนแรงมากถึง 7 เมตรต่อปี ซึ่งหากพิจารณาอัตราการกัดเซาะดังกล่าวจะพบว่า แนวพื้นที่ชายฝั่งทะเลของประเทศไทยกำลังสูญหายไป ในอัตราที่รวดเร็วมาก ด้วยอัตราการกัดเซาะดังกล่าวได้สร้างแนวคิดและคำถามมากมายแก่ผู้ทำวิจัยในโครงการนี้ว่า สาเหตุการกัดเซาะที่แท้จริงเป็นอย่างไร การวิเคราะห์อัตราการกัดเซาะน่าจะนำข้อมูลทางธรณีวิทยาใดบ้างมาช่วยในการประเมินเชิงพื้นที่ และพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการกัดเซาะในแต่ละบริเวณน่าจะมีตัวแปรทางกายภาพแตกต่างกันที่เป็นตัวควบคุมความรุนแรง หรือแม้กระทั่งสาเหตุของการกัดเซาะ จากคำถามเหล่านี้ได้ทำให้ผู้วิจัยตั้งเป็นประเด็นของการวิจัยในโครงการนี้ว่า การวิเคราะห์การกัดเซาะเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกนั้นน่าจะต้องมีการพิจารณาถึงระบบการหมุนเวียนของตะกอนชายฝั่งในคาบเวลาต่างๆ ให้แน่ชัด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาตามฤดูกาลในรอบปีน่าจะสามารถทำให้เข้าใจถึงระบบการหมุนเวียนของตะกอน หรือแม้กระทั่งระบบการหมุนเวียนของกระแสน้ำในบริเวณชายฝั่งได้

ในโครงการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองวัดระดับพื้นที่หน้าหาดที่ได้รับการกัดเซาะว่า น่าจะเป็นพื้นที่ที่สามารถศึกษาเพื่อเป็นต้นแบบถึงเรื่องอัตราการหมุนเวียนตะกอนและกระแสน้ำได้เป็นอย่างดี ฉะนั้นพื้นที่ที่ได้รับการคัดเลือกเพื่อศึกษาระดับรายละเอียดในโครงการนี้จึงเป็นพื้นที่ที่ไม่ได้หมายความว่าได้รับผลกระทบจากการกัดเซาะที่รุนแรงมากที่สุดดังที่รายงานเก่าระบุไว้ การติดตามวัดระดับพื้นที่ทั้งในแนวระดับและแนวตั้งอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับการค้นหาหลักฐานทางธรณีวิทยาชายฝั่งที่เป็นตัวกำหนดการกัดเซาะจึงน่าจะเป็นวิธีการเริ่มต้นที่ถูกต้องมากกว่าการวิเคราะห์เชิงพื้นที่จากข้อมูลระยะไกล อย่างไรก็ตาม ข้อมูลระยะไกลมีส่วนอย่างมากในการช่วยให้ทราบถึงพื้นที่เสี่ยงต่อการกัดเซาะในเชิงธรณีสัณฐานวิทยา ซึ่งในโครงการวิจัยนี้ก็ได้นำน้ำหนักความสำคัญของข้อมูลดังกล่าวในการช่วยนำมาประกอบการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ แต่จากติดตามการเปลี่ยนแปลงในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลไทย พบว่า สาเหตุของการกัดเซาะลำดับต้นๆ เกิดจากการกระทำของพายุในฤดูมรสุม ซึ่งลักษณะและความรุนแรงของพายุก็เป็นประเด็นที่ต้องทำความเข้าใจให้ลึกซึ้ง ดัง

เห็นได้ชัดเจนจากเหตุการณ์สึนามิเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2547 ซึ่งเป็นกรณีพิเศษที่หากเปรียบเทียบก็เหมือนพายุที่รุนแรงมากที่ทำให้เกิดความเสียหายในเชิงพื้นที่ต่อฝั่งทะเลไทยโดยเฉพาะฝั่งทะเลอันดามัน

ผลสรุปจากโครงการวิจัยนี้ พบว่า การกักเซาะชายฝั่งมีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกับระบบการหมุนเวียนตะกอน ระบบการไหลเวียนของกระแสน้ำชายฝั่งและปัจจัยทางกายภาพที่ควบคุมอัตราความรุนแรงของการกักเซาะก็มีหลายประการแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ฉะนั้น การติดตามระบบการหมุนเวียนของตะกอนและกระแสน้ำดังกล่าวในระยะยาว จึงน่าจะเป็นวิธีที่สามารถนำไปสู่บทสรุปในเรื่องอัตราการกักเซาะได้อย่างถูกต้อง มากกว่าการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ ซึ่งผู้วิจัยและนักวิจัยที่ปรึกษาได้มีข้อเสนอแนะร่วมกันว่า การติดตาม วิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่จริงในระยะยาว เป็นสิ่งที่ต้องกระทำต่อไปอย่างต่อเนื่องและมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาในแต่ละพื้นที่ในมาตราส่วนที่ละเอียดมากขึ้นก่อนที่จะสรุปให้เห็นเป็นตัวเลขชัดเจนว่าอัตราการกักเซาะในแต่ละพื้นที่เป็นอย่างไร

Abstract

Coastal erosion is one of severe geological hazards that always damages to some coastal areas of the country. Causes of coastal erosion are varied from place to place. A number of physical, biological and human-induced factors have played a significant role in controlling the spatial changes of erosion. In general, types of Thailand coasts include beach or nearshore zones, low-lying coastal zone and rocky headlands that approximately 2600 km length. The Gulf of Thailand coastal area can be estimated to cover about 70 %, whereas, 20% of coastal zone is of the Andaman sea side and the rest 10% is of islands. Coastal erosion areas have been defined by literatures and orderly ranked based on the evaluation from remote data, e.g. the most risky areas of erosion has been reported to have the land lost upto 7 m/year. It means that some of Thailand coasts are now facing with very high erosional rate. This rate becomes equivocal in terms of how to analyse the causes of erosion and how much of geological data were taken into account. Thus, the assumption of this research was set up on that causes of coastal erosion differ from one individual area and might be controlled by specific geological factors. To prove this assumption, the understanding of annual sediment depositional cycle and current movement is the first step to take into consideration.

One important method of this work is the measurement of coastline, beach and shoreface areas vertically and horizontally. Once we understand the change in annual coastal spatial topography, we can move on to analyse the precise rate of annual erosion. We used remote data (air-photos and satellite images) to integrate and select the appropriate areas for evaluating sediment cycle and currents. Annual checks and measurement of coastal profiles have been tested in order to understand the changes in sediment budget in different season. We concluded that the major cause of coastal erosion in the study area is from seasonal monsoon storms. Annual sedimentary cycles are of very important key to explain erosion and deposition along the shoreline areas. However, there is a special case that clearly eroded the beach zone, e.g. tsunami as the 26 December 2004 event. Analysis in tsunami eroded areas along the Andaman coast is also included in this project. We have found that rate of coastal erosion is closely related to sedimentation cycle and direction of currents. We recommend long-term watching and measuring the coastal profile in order to gain the best coastal depositional and erosional rates rather than using only remote data.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทบวงมหาวิทยาลัยและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) โดยผู้วิจัยได้พยายามวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพจากหลายๆ แหล่งข้อมูล ซึ่งต้องขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ ได้แก่ กรมทรัพยากรธรณี กรมอุตุนิยมวิทยา กองทัพเรือ กรมแผนที่ทหาร และอีกหลายหน่วยงานที่ไม่ได้กล่าวถึงในรายงานนี้ สำหรับการดำเนินโครงการในระดับขั้นตอนการสำรวจในภาคสนาม ผู้วิจัยได้รับความร่วมมือจากผู้เชี่ยวชาญหลายท่านที่มีประสบการณ์ทางธรณีวิทยาชายฝั่งและโทรสัมผัส ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทิวา ศุภจรรยา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิโรจน์ ดาวฤกษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตติมา เจริญศิริรัตน์ อาจารย์ ดร. วิชัย จูฑะโกสิทธิ์กานนท์ อาจารย์ ดร. เครือวัลย์ จันทร์แก้ว อาจารย์ พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์ และนิสิตทั้งในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท ของภาควิชาธรณีวิทยา ที่ได้ร่วมดำเนินการในโครงการไม่ว่าจะเป็นโครงการวิทยาศาสตร์ และวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้นำข้อมูลจากงานวิจัยนี้ไปประกอบการทำงานในโครงการวิจัยย่อยจนสำเร็จการศึกษา ผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานท้องถิ่น เช่น สำนักงานสิ่งแวดล้อม จังหวัดภูเก็ต ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการสำรวจภาคสนามหลังจากเหตุการณ์สึนามิ ประชาชนผู้ประสบภัยในพื้นที่ทั้งหกจังหวัดที่ผู้วิจัยและคณะสำรวจจากภาควิชาธรณีวิทยาได้พบและขอข้อมูลจากภาคสนาม

ผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศที่ได้ให้คำแนะนำสำหรับงานวิจัยนี้ ได้แก่ Associate Professor Dr Ken-ichiro Hisada จากมหาวิทยาลัยทตัสซึบะ Assistant Professor Dr Naomi Murakoshi จากมหาวิทยาลัยชินชู Associate Professor Dr Brady Rhodes จากมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนียสเตต Professor Dr Italo จากมหาวิทยาลัยคาโดเนีย ประเทศอิตาลี และอีกหลายๆ ท่านในหน่วยงานต่างประเทศ ได้แก่ Dr Futoshi Nanayama จากกรมทรัพยากรธรณี ประเทศญี่ปุ่น Dr Brian Atwater จากกรมทรัพยากรธรณี สหรัฐอเมริกา และอีกหลายๆ ท่านที่ได้ให้ความรู้เรื่องแผ่นดินไหวและสึนามิต่อผู้วิจัย

ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนให้เกิดงานวิจัยนี้ พร้อมเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการสำรวจภาคสนาม ห้องปฏิบัติการต่างๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชา ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

สารบัญ

	หน้า
สรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive summary)	i
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	iv
บทคัดย่อ (Abstract)	vi
กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)	vii
สารบัญรูป (List of figures)	x
สารบัญตาราง (List of tables)	x
 บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	 1
1.1 ที่มาของโครงการวิจัย (Research rationale)	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย (Research objectives)	2
1.3 แผนการดำเนินงานวิจัย (Research plan)	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย (Research methodology)	4
1.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review) และเอกสารอ้างอิง	11
1.6 การเชื่อมโยงกับนักวิจัยที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาที่ทำวิจัย	12
 บทที่ 2 บทวิเคราะห์หลักฐานการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอดีต (Analysis of sea-level changes related to coastal changes)	 13
2.1 ประวัติการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล (History of sea-level change study)	13
2.2 ภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลทั่วโลก (Eustasy)	14
2.3 พื้นผิวโลกที่ไม่ราบเรียบ (Geoidal eustasy)	15
2.4 ค่าความผิดพลาด (Errors) ของการศึกษาระดับน้ำทะเล	16
2.5 ระดับน้ำทะเลสูงสุดในช่วงสมัยปลายโฮโลซีน (Late Holocene high stands)	19
2.6 ตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล (Sea level indicators)	20
2.7 ระดับน้ำทะเลปัจจุบัน (Present sea level)	20
2.8 การกำหนดระดับน้ำทะเลในอดีต (Determination of paleo-sea level)	20
2.9 หลักฐานทางกายภาพและชีวภาพที่บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของน้ำทะเลในอดีตทั่วโลก (Physical and biological indicators of global sea-level changes)	22

บทที่ 3 บทการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง (Analysis result in rate of coastal change in the coastal areas)	35
3.1 บทนำ (Introduction)	35
3.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งรายพื้นที่ (Analysis result in coastal changed area)	36
3.2.1 พื้นที่อ่าวประจวบคีรีขันธ์ (Prachuap Khiri Khan Bay)	37
3.2.3 พื้นที่ปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (Pranburi area, Prachuap Khiri Khan)	42
3.2.3 พื้นที่หาดวนกร จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (Wanakom area, Prachuap Khiri Khan)	47
บทที่ 4 การวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกกัดเซาะชายฝั่งจากสึนามิ (Analysis in eroded areas by tsunami)	50
4.1 การวิเคราะห์เชิงพื้นที่จากข้อมูลระยะไกล	50
4.2 การสำรวจติดตามผลการกัดเซาะชายฝั่งในภาคสนาม	52
บทที่ 5 สรุปผลงานของโครงการวิจัย (Research products)	64
5.1 ผลงานวิจัยเชิงวิชาการ การผลิตโครงการวิทยาศาสตร์ย่อย	64
5.2 รายงานการวิจัย	64
5.3 ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ	65
5.4 กิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง	66
5.5 การเชื่อมโยงทางวิชาการกับนักวิชาการอื่นๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ	67
เอกสารอ้างอิง (References)	68
ภาคผนวก (Appendices)	

สารบัญรูป (List of figures)

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องเจาะตะกอนแบบแทก	10
1.2 การวัดระดับพื้นที่หน้าหาดในภาคสนาม	10
3.1 ภาพถ่ายมุมสูงเปรียบเทียบขอบเขตของตะกอนบริเวณปากคลองบางนางรม	37
3.2 รูปแบบการพอกตัวของตะกอนปากคลองบางนางรม	38
3.3 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการสะสมตัวของตะกอนโดยสิ่งกีดขวางที่เป็นท่าเรือ	39
3.4 การคำนวณอัตราการสะสมตัวและการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณอ่าวประจวบคีรีขันธ์	40
3.5 การเคลื่อนตัวของตะกอนสันทรายได้น้ำ	41
3.6 ระบบการเคลื่อนตัวของตะกอนในบริเวณตอนใต้ของปากน้ำปราณบุรี	42
3.7 รูปแบบการพอกตัวของตะกอนหน้าหาดตอนใต้ของปากน้ำปราณบุรี	43
3.8 การขยายขนาดของหาดทรายในบริเวณตอนใต้ของปากน้ำปราณบุรี	44
3.9 แนวการวัดระดับพื้นที่ในบริเวณตอนใต้ของปากน้ำปราณบุรี	45
3.10 แสดงการตั้งกล้องวัดระดับเพื่อปักหมุดหลัก	46
3.11 การเปลี่ยนแปลงของระดับตะกอนหน้าหาดบริเวณหาดวนกร	47
3.12 ระดับตะกอนหน้าหาดที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละปี หาดวนกร	48
3.13 ชนิดของตะกอนหน้าหาดบริเวณหาดวนกร	49
4.1 ตำแหน่งการกัดเซาะชายฝั่งจากภาพถ่ายดาวเทียม บริเวณบ้านน้ำเค็ม จังหวัดพังงา	54
4.2 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS บริเวณแหลมปะการัง แสดงการกัดเซาะบริเวณปลายแหลม	55
4.3 ภาพการสำรวจภาคสนามบริเวณแหลมปะการัง	56
4.4 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS พื้นที่แหลมปะการัง ถึงบ้านเขาหลัก	57
4.5 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS คอนล่างของแหลมปะการัง	59
4.6 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS ขยายให้เห็นพื้นที่กัดเซาะชายฝั่งบริเวณตอนใต้แหลมปะการัง	60
4.7 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS ก่อนและหลังสึนามิบริเวณ โซฟีเทล เมจิก ลาгуน บ้านคึกคัก	61
4.8 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS แสดงตำแหน่งการกัดเซาะบริเวณบ้านคึกคัก	62
4.9 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS แสดงการกัดเซาะบริเวณหาดนางทอง จังหวัดพังงา	63

สารบัญตาราง (List of tables)

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงหมายเลขรูปถ่ายทางอากาศ ที่ใช้ในโครงการวิจัย	5
1.2 แสดงรายการแผนที่ภูมิประเทศจากกรมแผนที่ทหารที่ใช้ในโครงการวิจัย	7
1.3 แสดงรายการแผนที่ภูมิประเทศและแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1: 250,000	9

บทที่ 1

บทนำ

(Introduction)

1.1 ที่มาของโครงการวิจัย (Research rationale)

การศึกษาธรณีวิทยาและธรณีสัณฐานวิทยานับได้ว่าเป็นมีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศชาติเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีสัณฐานวิทยาจะเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมในภาพรวม โดยเห็นได้จากตัวอย่างบทบาทของธรณีวิทยาต่อการวางผังเมืองและสิ่งแวดล้อม การหาแหล่งแร่อุตสาหกรรม การหาแหล่งน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ การหาแหล่งน้ำ การจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรม และทำเรื่อน้ำลึก เป็นต้น จะเห็นได้ว่าหากมีความแม่นยำในตัวข้อมูลทางธรณีวิทยา ก็จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศ

การวิจัยครั้งนี้นอกจากจะทำการคำนวณหาอัตราการกัดเซาะชายฝั่งแล้ว ยังมีเป้าหมายส่วนหนึ่งในการนำเสนอภาพรวมของธรณีสัณฐานวิทยาชายฝั่งของประเทศไทย รวมทั้งการศึกษารายละเอียดในบางพื้นที่ที่กำหนดขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้ จะเป็นข้อมูลพื้นฐานทางธรณีวิทยา ธรณีสัณฐานวิทยาชายฝั่ง ที่จะสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาชายฝั่งทะเลของแต่ละพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โครงการวิจัยนี้ได้มีแนวความคิดริเริ่มจากรายงานการวิจัยจากโครงการสำรวจการกัดเซาะชายฝั่งของประเทศไทยโดยกรมทรัพยากรธรณี จากการศึกษาและวิเคราะห์รายงานดังกล่าวอย่างละเอียดแล้วนั้นพบว่า อัตราการกัดเซาะของชายฝั่งทะเลไทยในรายงานของกรมทรัพยากรธรณีเป็นอัตราการกัดเซาะโดยประมาณเบื้องต้นโดยยังไม่ได้มีการคำนวณอย่างละเอียดในพื้นที่ที่จัดได้ว่าเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการสูญเสียทั้งในเรื่องของทรัพย์สินของประชากร และต่อการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งของประเทศ และจัดได้ว่าเป็นพื้นที่ที่จะต้องมีการจัดการอย่างเร่งด่วน ซึ่งจากการสอบถามกับทีมสำรวจของกรมทรัพยากรธรณีและจากข้อเสนอแนะในรายงานของกรมทรัพยากรธรณีเองก็ได้ให้คำแนะนำว่า ควรจะมีการศึกษาในรายละเอียดจริงจังในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้ได้ข้อมูลอัตราการกัดเซาะชายฝั่งที่ถูกต้องแม่นยำกว่าเดิม อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันกรมทรัพยากรธรณีได้จัดทำแผนที่ธรณีสัณฐานวิทยาและได้กำหนดพื้นที่ที่มีการกัดเซาะชายฝั่งในแถบทะเลอันดามันเสร็จสิ้นลงแล้ว แต่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยกำลังอยู่ในระหว่างดำเนินการ

การคำนวณอัตราการกัดเซาะโดยใช้พื้นฐานของข้อมูลทางธรณีสัณฐานวิทยาชายฝั่ง (Coastal geomorphology) ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการคำนวณดังกล่าว ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของฐานข้อมูลและการได้มาซึ่งข้อมูลจริงในภาคสนาม หัวหน้าโครงการวิจัยนี้ได้มีแนวความคิดที่จะสำรวจธรณีสัณฐาน

วิทยาชายฝั่งพร้อมกับคำนวณหาอัตราการกัดเซาะชายฝั่งเพื่อที่จะทำการจัดลำดับพื้นที่ที่ได้รับความเสี่ยง โดยละเอียด โดยในเบื้องต้นนี้จะทำการศึกษาในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงใน 5 ลำดับแรก

นอกจากนี้ในงานวิจัยครั้งนี้จะได้ทำการสร้างระบบฐานข้อมูลเพื่อให้ง่ายต่อการเผยแพร่และการนำไปใช้ประโยชน์จริง โดยข้อมูลทั้งหมด อาทิเช่น ข้อมูลทางธรณีวิทยา (Geology) ธรณีสัณฐานวิทยาชายฝั่ง (Coastal geomorphology) และข้อมูลในหลากหลายสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง เช่น ทางอุทกศาสตร์ สมุทรศาสตร์ จะถูกรวบรวมอย่างเป็นระบบและนำมาประยุกต์เข้าด้วยกัน เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองแสดงการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งโดยเฉพาะการกัดเซาะชายฝั่ง อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ในแผนงานโครงการวิจัยนี้ได้ตั้งเป้าหมายที่จะต้องทำการสำรวจเพิ่มเติม เพื่อจะได้นำมาคำนวณอัตราการกัดเซาะชายฝั่งได้อย่างถูกต้อง ได้แก่ ข้อมูลอัตราการสะสมตัวของตะกอนบก (Terrestrial depositional rate) อัตราการสะสมตัวของตะกอนจากทะเล (Offshore depositional rate) แหล่งตะกอนบก (Sediment supply) ขนาดของแอ่งรับตะกอน (Dimension of sedimentary basin)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย (Research objectives)

โครงการวิจัยนี้ได้ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ คือ

- 1) เพื่ออธิบายสาเหตุทางกายภาพของการเกิดการกัดเซาะชายฝั่งทะเลไทย
- 2) เพื่อทดลองคำนวณอัตราการกัดเซาะชายฝั่งทะเลทั้งฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทยในพื้นที่ที่กำหนด
- 3) เพื่อวิเคราะห์หลักฐานทางธรณีวิทยาที่แสดงการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง
- 4) เพื่อศึกษาระบบการสะสมตัวและการกัดเซาะชายฝั่งในชายฝั่งทะเลไทย

1.3 แผนการดำเนินงานวิจัย (Research plan)

การดำเนินงานวิจัยได้ปฏิบัติตามระเบียบวิธีวิจัยและแผนงานที่วางไว้ ประกอบด้วย

- 1) สืบค้นข้อมูลพื้นฐาน รายงานการศึกษาและวิจัยเก่าที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจาก การศึกษาทางด้านธรณีสัณฐานวิทยาชายฝั่งของประเทศไทยยังมีไม่มากนักซึ่งเกิดจากการขาดแคลนนักวิจัยหรือนักวิชาการด้านนี้ ฉะนั้นการสืบค้นข้อมูลจากรายงานเดิมมีความจำเป็นต้องค้นคว้างานวิจัยของนักวิจัยต่างประเทศด้วยเพื่อนำมาประกอบการดำเนินงาน เพื่อให้เป็นไปตามระบบการวิจัยสากล และติดตามข้อมูลให้ทันสมัยอยู่ตลอดเวลา (ดังแสดงในบทที่ 2 ของรายงาน)

- 2) ศึกษาและแปลความหมายข้อมูลโทรสัมผัส (Remote sensing) เป็นข้อมูลที่ประกอบไปด้วยข้อมูลจากรูปถ่ายทางอากาศ (Aerial photographs) และภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite images) ในช่วงคาบเวลาต่างๆ โดยได้ทำการแปลความหมายข้อมูลดังกล่าวย้อนหลังอย่างน้อย 10 ปี ในบางพื้นที่ที่สามารถสืบค้นข้อมูลระยะไกลได้ และได้ทดลองคำนวณอัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพื้นที่ใน 2 มิติในพื้นที่ที่คัดเลือกมาแล้ว คือ ชายฝั่งทะเลอ่าวประจวบคีรีขันธ์
- 3) สร้างฐานข้อมูลแผนที่ธรณีสัณฐานวิทยาชายฝั่ง (Coastal geomorphological maps) ได้ทำการสร้างแผนที่ที่ได้จากการแปลความหมายข้อมูลโทรสัมผัส ซึ่งเป็นแผนที่พื้นฐาน (Base maps) ในการจัดลำดับความรุนแรงของการกัดเซาะชายฝั่ง และในการกำหนดพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบของการกัดเซาะชายฝั่งตามลำดับความเหมาะสมทางกายภาพในเรื่องของความสมบูรณ์ของข้อมูลใน 5 ลำดับแรก โดยผลการสืบค้นพบว่าได้มีการรายงานพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งของประเทศในอัตราการกัดเซาะที่แตกต่างกัน โดยผู้วิจัยได้ข้อสรุปของพื้นที่เหมาะสมที่จะทำการศึกษากัดเซาะชายฝั่ง 5 ลำดับแรก คือ 1. ชายฝั่งทะเลบริเวณบ้านฉาง จังหวัดระยอง 2. ชายฝั่งทะเลบริเวณปากน้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 3. ชายฝั่งทะเลบริเวณหาดนวกร จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 4. ชายฝั่งทะเลบริเวณแหลมตะตุมพุก จ. นครศรีธรรมราช และ 5. ชายฝั่งทะเลบริเวณบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร อย่างไรก็ตาม ด้วยเหตุการณ์แผ่นดินไหวและสึนามิ เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2547 ผู้วิจัยและนักวิจัยที่ปรึกษาได้ลงความเห็นว่าจะทำการปรับเปลี่ยนพื้นที่ศึกษาโดยกำหนดพื้นที่ศึกษาเร่งด่วน คือ ชายฝั่งทะเลจังหวัดพังงา ได้แก่ ชายฝั่งเขาหลักถึงแหลมปะการัง และชายฝั่งบ้านน้ำเค็ม ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งจากสึนามิมากที่สุดที่มีข้อมูลในการศึกษารายละเอียดได้
- 4) การสำรวจภาคสนาม ในปีแรกของการดำเนินโครงการ ได้ทำการตรวจสอบสภาพชายฝั่งทะเลที่เคยมีรายงานว่าถูกกัดเซาะในบริเวณชายฝั่งอ่าวไทย คือ บริเวณบ้านฉาง จังหวัดระยอง บางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร หาดชะอำ จังหวัดเพชรบุรี อ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี แหลมตะตุมพุก จังหวัดนครศรีธรรมราช และชายฝั่งทะเลอันดามัน ได้แก่ หาดเจ้าไหม หาดบางเบน เกาะลันตา จังหวัดกระบี่ จังหวัดตรัง เกาะพระทอง จังหวัดพังงา หาดอ่าวเคย จังหวัดระนอง และชายหาดของจังหวัดภูเก็ต โดยได้ทำการสำรวจธรณีสัณฐานวิทยาชายฝั่ง และหลักฐานการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอดีต โดยได้ทำการทดลองปักหมุดและวัดการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี อ่าวประจวบคีรีขันธ์ และหาดนวกร จังหวัด

ประจวบคีรีขันธ์ โดยคาดว่าจะทำการสำรวจและวัดพื้นที่ที่ถูกการกัดเซาะตลอดจนพื้นที่ที่มีการสะสมตัวของตะกอนเพื่อจะหาสมมูลและอัตราการสะสมตัว อัตราการกัดเซาะต่อไป

- 5) การวิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ตะกอน การวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจวัดระดับพื้นที่ การวิเคราะห์ข้อมูลระยะไกล และการเทียบเคียงข้อมูลทางกายภาพ เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของธรณีสัณฐานเชิงพื้นที่ การหมุนเวียนของตะกอนในเชิงตะกอนวิทยาชายฝั่ง ลำดับการเกิดตะกอนและอายุตะกอนในช่วงการสะสมตัวต่างๆ รวมถึงการทดลองคำนวณอัตราการกัดเซาะและสะสมตัวในพื้นที่ที่ได้ทำการปักหมุดหลักฐานไว้

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย (Research methodology)

1.4.1 การรวบรวมข้อมูลและสร้างฐานข้อมูล (Data collection and data base)

เป็นขั้นตอนเริ่มต้นของโครงการวิจัยนี้โดยจะทำการรวบรวมข้อมูลเก่า และรายงานเดิมที่มีผู้ศึกษามาแล้ว (Literature review) โดยเป็นรายงาน และวารสารตีพิมพ์ของนักวิจัยไทยเป็นหลัก รวมถึงวารสารตีพิมพ์ในเรื่องที่เกี่ยวข้องจากต่างประเทศซึ่งคณะผู้ทำวิจัยได้ทำการสืบค้นและรวบรวมไว้แล้วบางส่วน โดยในการรวบรวมข้อมูลครั้งนี้ทางคณะผู้วิจัยจะได้จัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ และจะนำมาสร้างเป็นฐานข้อมูลและนำเข้าสู่ระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อบุคคลทั่วไป และนักวิจัยทางสาขาอื่นที่สนใจจะสามารถใช้ฐานข้อมูลนี้ได้

นอกจากนี้ในการวิจัยครั้งนี้ต้องใช้ข้อมูลโทรสัมผัส (Remote sensing data) ได้แก่ รูปถ่ายทางอากาศ (Aerial photograph) รูปถ่ายจากดาวเทียม (Satellite image) แผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ธรณีวิทยา และแผนที่แสดงการจำแนกดิน ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาธรณีสัณฐานวิทยา ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงหมายเลขรูปถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน 1: 40,000 (โดยประมาณ) ที่ใช้ในโครงการวิจัย ช่วงแรก (ภาพจาก กรมแผนที่ทหาร ถ่ายโดย Worldwide Survey, INC, Thailand Photographic Project: Project No. 119).

Area 1 Sheet 13 (จันทบุรี-ตราด)		
Strip Number	Air-photos Number	พื้นที่
55	4770-4776	อ่าวเมืองตราด
54	4802-4815	แหลมงอบ-อ่าวเมืองตราด
53	4816-4829	
52	4833-4846	
51	4847-4860	แม่น้ำเวฬุ
50	4870-4872	
49	3470-3482	แม่น้ำจันทบุรี-แหลมสิงห์
48	3437-3447	
47	3386-3397	
46	3362-3351	
45	3271-3262	
44	4885-3208	อำเภอท่าใหม่-ท่าแฉลบ
43	3169-3175	
Area 1 Sheet 12 (ระยอง-จันทบุรี)		
47	3397-3400	แม่น้ำแฉก
46	3334-3338, 3349-3352	แหลมหญ้า-ทุ่งกระเบน
45	3263-3317	บ้านฉาง-แม่น้ำประแสร์
44	3207-3304	
43	3142-3170	
42	2998-3005, 3010-3019	
41	2965-2969, 2954-2959	
Area 1 Sheet 11 (ชลบุรี-ระยอง)		
47	3419-3420	แสมสาร
46	3328-3330	
45	3313-3318	
44	3303-3310	กัตหีบ

43	3137-3143	ตัดหีบ-บางสะพาน
42	2991-2994	หาดจอมเทียน
41	2976-2979	
40	2892-2895	
39	2386-2389	พัทยา
38	2287-2289	
Area 1 Sheet 7 (ตัดหีบ-ชลบุรี)		
37	2279-2282	แหลมฉบัง
36	2183-2185	
35	1610-1612	
34	1523-1525	
33	1519-1521	แหลมแท่น-หาดบางแสน
32	2178-2180	อ่างศิลา
31	1427-1428	ชลบุรี
30	1347-1349	บางปะกง
Area 1 Sheet 7 (กรุงเทพมหานคร-สมุทรสงคราม)		
31	18037-18040	ปากแม่น้ำแม่กลอง
30	9-17	สมุทรสงคราม-สมุทรสาคร
29	36-56	แม่น้ำท่าจีน-แม่น้ำบางปะกง
28	1080-1088, 72-91	แม่น้ำแม่กลอง-บางปะกง
27	111-140	
26	145-173	
Area 1 Sheet 7 (เพชรบุรี)		
32	9664-9668	อำเภอบ้านแหลม
33	9672-9675	
34	5548-5553	จังหวัดเพชรบุรี
35	9726-9735	
36	5616-5625	
37	5675-5685	
38	5687-5695	
39	5750-5756	

ตารางที่ 1.2 แสดงรายการแผนที่ภูมิประเทศจากกรมแผนที่ทหารที่ใช้ในโครงการวิจัยทั้งหมด

หมายเลขระวางแผนที่	ชื่อระวางแผนที่	หมายเลขระวางแผนที่	ชื่อระวางแผนที่
ชายฝั่งด้านตะวันออกของอ่าวไทย		5026 III	บ้านปากพญา
5532 I	อ คลองใหญ่	4925 I	จ นครศรีธรรมราช
5533 II	บ้านคลองขวาง	5025 IV	อ ปากพญา
5533 III	จ ตรวด	5025 II	อ หัวไทร
5433 I	อ เขาสมิ้ง	5024 I	อ ระโนด
5433 II	อ แหลมงอบ	5024 II	กิ่ง อ กระแสสินธุ์
5433 IV	อ แหลมสิงห์	5023 I	อ สทิงพระ
5434 III	จ จันทบุรี	5023 II	อ หาดใหญ่
5334 II	บ้านโหนดน้อย	5123 III	จ สงขลา
5334 III	บ้านแหลมทองกลาง	5222 IV	อ หนองจิก
5234 II	จ ระยอง	5222 I	ปัตตานี
5234 III	อ บ้านฉาง	5322 IV	บ้านคอกกระบือ
5134 II	อ สัตหีบ	5321 I	จ นราธิวาส
5134 I	อ บางละมุง	5322 III	อ สายบุรี
5135 II	อ ศรีราชา	5421 IV	อ ตากใบ
5135 I	จ ชลบุรี	ชายฝั่งทะเลอันดามัน	
ชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน		4628 IV	จ ระนอง
5236 III	จ ฉะเชิงเทรา	4628 II	บ้านบางเบน
5136 II	อ บางปะกง	4627 I	กิ่ง อ สุขาสารณ
5136 III	กรุงเทพมหานคร	4627 II	อ กระบุรี
5036 II	จ สมุทรสาคร	4626 I	อ ตะกั่วป่า
5036 III	อ บ้านแพ้ว	4626 II	อ กะเปอร์
4935 I	อ อัมพวา	4626 III	บ้านเขาหลัก
4935 II	จ เพชรบุรี	4625 I	บ้านท้ายเหมือง
5035 IV	จ สมุทรสงคราม	4625 II	อ ถลาง
5035 III	บ้านยางขุนไทร	4624 I	จ ภูเก็ต
5034 IV	บ้านโคกน้อย	4725 IV	จ พังงา

รายชื่อด้านตะวันตกของอ่าวไทย		4725 III	อ เกาะยาว
4934 II	อ หัวหิน	4724 IV	เกาะยาวใหญ่
4933 I	อ ปราณบุรี	4724 I	บ้านกลาง
4933 II	อ กุยบุรี	4724 II	เกาะใน
4932 I	จ ประจวบคีรีขันธ์	4824 IV	อ คลองท่อม
4932 III	สถานีหัวข่าง	4824 III	อ เกาะกั้นดา
4931 IV	อ หับสะแก	4824 II	อ สีเกา
4831 II	อ บางสะพาน	4823 IV	เกาะไหง
4830 I	สถานีมาบอมฤต	4923 I	เกาะกิบง
4830 II	อ ปะทิว	4923 IV	อ กันตง
4829 IV	จ ชุมพร	4923 III	อ ปะเหลียน
4829 III	อ สวี	4922 IV	บ้านปากบารา
4828 IV	อ หลังสวน	4922 III	เกาะตะรุเตา
4828 III	อ ท่าชนะ	4922 II	บ้านจ๊ะลิบง
4827 IV	อ ไชยา	5022 IV	บ้านเกาะยาว
4827 II	จ สุราษฎร์ธานี		
4927 IV	อ คอนสัก		
4927 I	เกาะสมุย		
4927 II	อ ขนอม		
4926 I	บ้านคันเหลียว		
4926 II	อ ท่าศาลา		

ตารางที่ 1.3 แสดงรายการแผนที่ภูมิประเทศและแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1: 250,000 ที่ใช้ในโครงการวิจัย

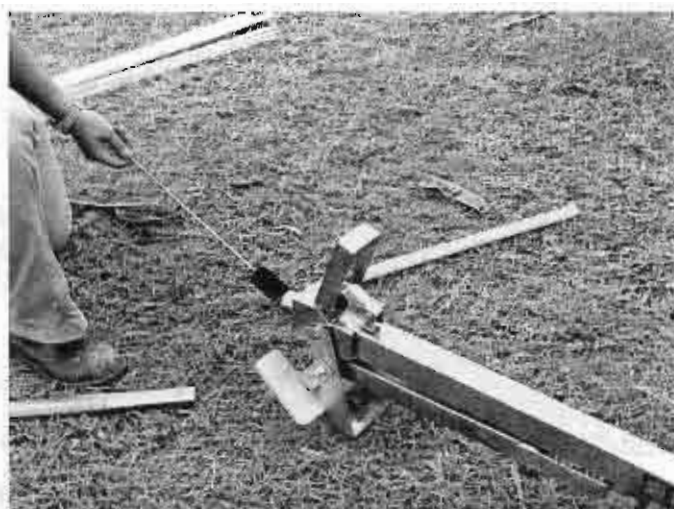
หมายเลขระวาง	ชื่อระวางแผนที่	หมายเลขระวาง	ชื่อระวางแผนที่
ND 48-13	จังหวัดจันทบุรี	NB 47-3	จังหวัดสงขลา
ND 47-16	จังหวัดระยอง	NB 47-8	จังหวัดนราธิวาสและ อ.ตากใบ
ND 47-12	กรุงเทพมหานคร	NB 47-7	จังหวัดสตูล
ND 47-11	จังหวัดนครปฐม	NB 47-2	จังหวัดภูเก็ต
ND 47-15	อำเภอหัวหิน	NC 47-14	จังหวัดพังงา
NC 47-3	จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	NC 47-10	จังหวัดระนอง
NC 47-7	จังหวัดชุมพร	NC 47-6	จังหวัดระนองและกระบี่
NC 47-11	จังหวัดสุราษฎร์ธานี	NC 47-15	จังหวัดนครศรีธรรมราช

1.4.2 การสำรวจวัดระดับในภาคสนาม

เครื่องมือสำรวจภาคสนาม วัดระดับพื้นที่และเจาะสำรวจตะกอนชายฝั่ง คือ เครื่องวัดพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS) กล้องวัดระดับพื้นที่ (Sokkia survey camera) และเครื่องเจาะตะกอนแบบหมุนและแบบกระแทก (Hand auger และ Precision Clement Sediment Corer)

1.4.3 การเจาะสำรวจตะกอน

การเจาะสำรวจชั้นตะกอนชายฝั่ง เป็นขั้นตอนสำคัญอย่างยิ่งที่จะนำมาซึ่งการได้ข้อมูลในระดับลึกของตะกอนชายฝั่ง โดยการศึกษาการจัดลำดับชั้นตะกอนชายฝั่ง จะต้องดำเนินการควบคู่ไปกับการสำรวจธรณีสัณฐานวิทยาชายฝั่งโดยละเอียด การเจาะสำรวจจะใช้เครื่องมือเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างตะกอนชนิดหมุนด้วยมือ (Hand auger) และเครื่องเจาะสำรวจตะกอนแบบกระแทก (Precision Clement Sediment Corer)



รูปที่ 1.1 เครื่องเจาะตะกอนแบบกระแทก (Clement Precision Sediment Corer)

1.4.4 การสำรวจการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ชายฝั่งโดยใช้กล้องวัดระดับ (Surveying)

โดยจะทำการวัดระดับพื้นที่รวมถึงการวัดค่าความเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพื้นที่ เพื่อจะนำมาใช้ในการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยขั้นตอนนี้จะดำเนินการควบคู่ไปกับการเจาะสำรวจตะกอน โดยจะทำการวัดระดับการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ทุกๆ คาบเวลา 3 เดือน ตลอดระยะเวลาที่เหลือของการดำเนิน โครงการ 1 ปี



รูปที่ 1.2 การวัดระดับพื้นที่ที่น้ำหาดในภาคสนามโดยใช้กล้องวัดระดับบนแผ่นระนาบ (รูปซ้าย) และการปักหมุดหลักเพื่อวัดระดับตะกอนในรอบปี (รูปขวา)

1.4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการ

1. เครื่องมือทดลองในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ กล้องแปลภาพสามมิติ (Mirror stereoscope) เครื่องแยกขนาดตะกอน (Sieve analysis) และอุปกรณ์ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ทาง GIS
2. การประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล เป็นขั้นตอนที่จัดได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง ในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดนี้ ผู้ดำเนินโครงการจะได้ปรึกษากับนักวิจัยพี่เลี้ยงของโครงการ พร้อมกันนี้จะได้เชิญผู้เชี่ยวชาญทั้งในและต่างประเทศมาร่วมวิเคราะห์และวิจารณ์การดำเนินงาน ทั้งนี้เพื่อที่จะให้เกิดความสมบูรณ์ของข้อมูลมากที่สุด และสามารถนำข้อมูลงานวิจัยนี้ไปใช้ปฏิบัติงานจริงได้อย่างถูกต้อง

1.4.6 การสรุปผลและจัดทำรายงาน

รายงานสรุปของโครงการจะประกอบไปด้วยรายงานและแผนที่แสดงพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่ง จัดตามลำดับความรุนแรงของการกัดเซาะ โดยการจัดทำรายงานจะได้ดำเนินการพร้อมกับขั้นตอนการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล

1.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (literature review) และเอกสารอ้างอิง

การศึกษารณีสถิติฐานวิทยา (Geomorphology) ของประเทศไทย โดยเฉพาะธรณีสถิติฐานวิทยาชายฝั่ง (Coastal geomorphology) ยังไม่มีนักวิจัยในประเทศได้ทำการวิจัยที่เป็นระบบอย่างจริงจัง ทำให้ไม่มีข้อมูลพื้นฐานที่จะใช้ในการพัฒนาชายฝั่งทะเลไทย โดยในอดีตงานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอดีต (เช่น Chonglakmani et al., 1983; Somboon and Thiramongkol, 1992; Sinsakul et al., 1985; Sinsakul, 1997) (ดังรายละเอียดในเอกสารแนบหมายเลข 1) อย่างไรก็ตาม นอกจากรายงานการสำรวจการกัดเซาะชายฝั่งโดยกรมทรัพยากรธรณีในปี 2544 แล้ว ทางฝ่ายสำรวจแร่ นอกชายฝั่งของกรมทรัพยากรธรณีเองก็ได้ทำการสำรวจ และทำแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1: 50,000 ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลบางพื้นที่บ้างแล้ว แต่ยังไม่ได้ทำการเผยแพร่อย่างเป็นทางการ

ในส่วนของงานวิจัยที่หัวหน้าโครงการได้ดำเนินการเสร็จสิ้นไปแล้ว (ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ได้มีเป้าหมายเพื่อที่จะจัดทำฐานข้อมูลสภาพธรณีสถิติฐานวิทยาชายฝั่งอย่างเป็นระบบ โดยจะเน้นการศึกษาในเชิงวิวัฒนาการของธรณีสถิติฐาน (Evolution of landform) ตลอดจนวิวัฒนาการของชั้นตะกอน (Evolution of sedimentary depositional sequence) ที่สะสมตัวในบริเวณชายฝั่ง (Coastal areas) โดยข้อมูลทั้งหมดจะนำเสนอในรูปของแบบจำลอง

ที่แสดงความสัมพันธ์ ของวิวัฒนาการระหว่างธรณีสัณฐานกับชั้นตะกอนยุคใหม่ (ตั้งแต่อายุ 10,000 ปีมาจนถึงปัจจุบัน หรือ สมัยโฮโลซีน) จึงจัดได้ว่าเป็นโครงการวิจัยที่จะได้ข้อมูลธรณีวิทยาโดยละเอียดเพื่อใช้เป็นแม่แบบของงานวิจัยทางด้านธรณีสัณฐานวิทยาชายฝั่ง รวมถึงจะสามารถนำข้อมูลจากงานวิจัยมาประยุกต์ใช้ในโครงการการคำนวณอัตราการกัดเซาะชายฝั่งได้เป็นอย่างดี

1.6 การเชื่อมโยงกับนักวิจัยที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาที่ทำการวิจัย

เนื่องจากการวิจัยทางธรณีสัณฐานวิทยาของประเทศยังมีข้อจำกัดอยู่มาก ทั้งในเรื่องของบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญ และเครื่องมือที่จะใช้ในการสำรวจ อย่างไรก็ตาม โครงการวิจัยนี้จะได้ขอความร่วมมือจากกรมทรัพยากรธรณีในการจัดทำโครงการวิจัยร่วมกัน และนอกจากนักวิจัยพี่เลี้ยงของโครงการวิจัย (รศ. ดร. ปัญญา จารุศิริ) ที่มีความรู้ความชำนาญทางวิชาการด้านธรณีวิทยาแล้ว โครงการวิจัยนี้ยังได้รับเกียรติอย่างสูงจาก ผศ. ทิพา สุขจรรยา อดีตนักวิจัยดีเด่นของสภာวิจัยแห่งชาติ ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านการแปลความหมายรูปถ่ายทางอากาศและรูปถ่ายดาวเทียมที่มีชื่อเสียงทั้งในประเทศและระดับสากลจะมาให้คำแนะนำและปรึกษาในขั้นตอนการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการแปลความหมายข้อมูลโทรสัมผัสในโครงการนี้อีกด้วย

บทที่ 2

บทวิเคราะห์หลักฐานการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอดีต

(Analysis of indicators of palaeo sea-level changes)

2.1 ประวัติการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล (History of sea-level change study)

ในช่วงต้น ค.ศ.1920 ได้มีกลุ่มนักวิจัยซึ่งส่วนใหญ่เป็นอาจารย์ในมหาวิทยาลัยในสหรัฐ ได้แก่ Daly Fairbridge และ Teichert ได้เริ่มศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลโดยเริ่มศึกษาในพื้นที่ฝั่งตะวันตกของประเทศออสเตรเลีย ประมาณตั้งแต่ ค.ศ.1950 เป็นต้นมา นักวิจัยอีกหลายคนได้เริ่มประยุกต์เอาการกำหนดอายุโดยวิธีคาร์บอน 14 เข้ามาใช้ในการกำหนดอายุวัตถุที่เป็นหลักฐานของ ระดับน้ำทะเล ได้แก่ Emery และคณะ (ปี ค.ศ. 1954) Shepard และ Suess (ปี ค.ศ. 1956) Godwin และคณะ (ปี ค.ศ. 1958) Curray (ปี ค.ศ. 1960 และ 1961) Jelgersma และ Pannekoek (ปี ค.ศ. 1960) Shepard (ปี ค.ศ. 1960) Schofield (ปี ค.ศ. 1960) นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกได้หันมาศึกษาการเปลี่ยนของระดับน้ำทะเล และได้ผลในเบื้องต้นโดยสรุปว่า การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล น่าจะเป็นผลมาจากการปรับตัวของแผ่นเปลือกโลกหรือที่เรียกว่า ธรณีแปรสัณฐาน (tectonic) และการปรับระดับของพื้นที่ในแต่ละพื้นที่ (isostatic adjustments) ซึ่ง เส้นกราฟที่แสดงการเปลี่ยนระดับของน้ำทะเลในแต่ละช่วงเวลา (sea level curves) ที่ได้จะแตกต่างไปจากพื้นที่ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านธรณีแปรสัณฐาน แต่ภาพโดยรวมของเส้นกราฟ น่าจะเป็นไปในทำนองเดียวกันทั่วโลก (eustatic curve)

ข้อโต้เถียงของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลโดยเฉพาะหลังยุคน้ำแข็ง (Past-glacial) เริ่มขึ้นตั้งแต่ต้น ค.ศ.1960 โดย Fairbridge (ปี ค.ศ. 1961) ได้โต้เถียงว่า ระดับน้ำทะเลหลังช่วงยุคน้ำแข็งน่าจะเปลี่ยนแปลงเป็นพัก ๆ นอกจากนี้เขายังได้เสริมอีกว่า ระดับน้ำทะเลเคยท่วมขึ้นสูงสุดถึง 3.7 เมตรจากระดับน้ำทะเลปัจจุบันตั้งแต่ประมาณ 5700 ปี 4900 ปี 3700 ปี 2400 ปี 2200 ปี และต่อมาในปี 1963 Shepard ได้ออกมากล่าวว่า เขาเห็นด้วยบางจุดกับแนวความคิดของ Fairbridge โดยเฉพาะในเรื่องธรรมชาติโดยทั่ว ๆ ไปของการเปลี่ยนแปลงน้ำทะเลในช่วงปลายยุคน้ำแข็ง (Late-glacial) แต่การเปลี่ยนแปลงภายหลังยุคน้ำแข็ง (Post-glacial) เขาไม่เห็นด้วย Shepard เสนอว่า หลังจากยุคน้ำแข็ง ระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่องจนถึงระดับปัจจุบัน แต่เขาก็ไม่ได้ปฏิเสธทั้งหมดว่า ระดับน้ำทะเลไม่ได้ขึ้นสูงกว่าระดับปัจจุบัน อาจจะขึ้นมาสูงกว่านิดหน่อย และได้ทิ้งท้ายให้ Fairbridge คิดว่า แนวความคิดของ Fairbridge นั้นได้มาจากหลักฐานจากออสเตรเลียเท่านั้น ซึ่งก็ยังคงเป็นปริศนาที่ไม่มีข้อสรุปแน่นอน

หลังจากข้อโต้เถียงของ Fairbridge และ Shepard เริ่มต้นขึ้น บรรดาศิษย์ของทั้งสองก็ได้ออกมาโต้เถียงกันต่อ เริ่มจาก Gill (ปี ค.ศ. 1961) Morner (ปี ค.ศ. 1969) Hopley (ปี ค.ศ. 1971) Tero (ปี ค.ศ. 1973) และ Tooley (ปี ค.ศ. 1974) ซึ่งออกมาสนับสนุนแนวความคิดของ Fairbridge ในขณะที่ Bloom และ Stuiver (ปี ค.ศ. 1963) Bloom (ปี ค.ศ. 1967) Thom และคณะ (ปี ค.ศ. 1969) Hail (ปี ค.ศ. 1971) และ Kidson และ Heyworth (ปี ค.ศ. 1973) ได้ออกโรงสนับสนุนแนวความคิดของ Shepard ดังเช่น Telgersma (ปี ค.ศ. 1961) ได้เสนอทฤษฎีที่ชื่อ “standing sea level after 3,600 BP theory” มีใจความว่า ระดับน้ำทะเลได้เพิ่มขึ้นที่ระดับปัจจุบันในช่วงอายุสมัยโฮโลซีน (Holocene epoch) ตั้งแต่ 5,000 ปี ถึง 3,600 ปี

ภาพรวมของกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลหลังจาก ค.ศ. 1970 ได้จากหลากหลายบทสรุปของนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน กราฟแต่ละเส้นมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่ถ้ามองภาพโดยรวม ๆ จะสะท้อนให้เห็นว่าระดับน้ำทะเลได้เพิ่มขึ้นหลังยุคน้ำแข็ง แต่จะท่วมขึ้นสูงจากระดับข้างต้นเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ และปัจจัยที่กำหนดอีกมากมาย ความแตกต่างของกราฟในออสเตรเลียนี้ดูเหมือนจะก่อให้เกิดข้อโต้เถียงที่ดุเดือดจากที่อื่น ๆ ในปี ค.ศ. 1969 Thom และคณะ (จาก University of Sydney) ออกมากล่าวแย้งว่า เป็นไปไม่ได้ที่ระดับน้ำทะเลได้สูงกว่าระดับปัจจุบัน โดยเฉพาะในพื้นที่ทางตะวันออกของทวีป ต่อมา Gill และ Hopley ออกมาได้กลับในปี ค.ศ. 1972 ว่า มีหลักฐานที่ชัดเจนและสมบูรณ์ของระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นในเขตรัฐควีนส์แลนด์ (Queensland) และรัฐวิกตอเรีย (Victoria) แต่ Thom และคณะ ได้โต้กลับโดยทันทีในปีเดียวกันว่า หลักฐานเหล่านั้นไม่ชัดเจน และอาจจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นจากการแปลความหมายซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะยอมรับ ข้อโต้แย้งได้ดำเนินมาอย่างต่อเนื่อง เช่น Belperic (ปี ค.ศ. 1979) ได้ให้หลักฐานเพิ่มเติมปฏิเสธว่า น้ำทะเลไม่ควรขึ้นสูงจากระดับปัจจุบัน และในปีต่อมา Hopley ก็ได้ออกมาตอบโต้อีกครั้ง

2.2 ภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลทั่วโลก (Eustasy)

องค์การความร่วมมือทางธรณีวิทยาระหว่างชาติที่เรียกว่า ICGP (International Geological Correlation Program) ได้ตั้งโครงการเพื่อการศึกษาและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลทั่วโลก ตัวอย่างเช่น โครงการหมายเลข 61 ที่มีชื่อโครงการว่า “การเคลื่อนที่ของระดับน้ำทะเลในช่วงระหว่างยุคน้ำแข็งยุคสุดท้าย ประมาณ 15,000 ปี” หรือ “sea-level Movements during the Last Glacial Hemicycle” (About 15,000 years) ซึ่งเริ่มค้นคว้าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1974 ถึง 1982 ผลของการค้นคว้าวิจัยหนึ่งได้แสดงออกมาในรูปกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลโดยผู้วิจัยหลักคือ Bloom โดยพื้นที่ศึกษาจะมุ่งเน้นไปในพื้นที่ที่มีความขัดแย้งในอดีต ดังที่กล่าวในหัวข้อแรกและได้ทำการจำแนกพื้นที่ที่มีความ

เหมือนและความแตกต่างทั้งในเรื่องธรณีวิทยาโครงสร้าง สภาพธรณีแปรสัณฐาน และสภาพภูมิประเทศ โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่ม ๆ และนำมาประเมินและเปรียบเทียบให้เห็นภาพการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลทั่วโลก

ระดับน้ำทะเลช่วงปลายสมัยโฮโลซีน (Late Holocene) มีความแตกต่างอย่างชัดเจนจากพื้นที่ในแถบฝั่งซีกโลกเหนือ โดย Thom และ Chappell (ปี ค.ศ. 1975) เสนอว่า ระดับน้ำทะเลได้ขึ้นมาใกล้ระดับปัจจุบันทั่วทั้งทวีปออสเตรเลีย เมื่อ 6,000 ปีที่ผ่านมา ซึ่งแตกต่างจากทวีปอเมริกาเหนือและยุโรป ที่ระดับน้ำทะเลได้ขึ้นมาถึงระดับปัจจุบัน หลังจาก 3,700 ปี (เสนอโดย Coleman และ Smith ปี ค.ศ. 1964 Momer ปี ค.ศ. 1969 และ Tooley ปี ค.ศ. 1974) Thom และ Chappell ศึกษาในออสเตรเลียภายใต้สมมติฐานที่ว่า ไม่มีการเคลื่อนตัวอันเนื่องมาจากธรณีแปรสัณฐาน (Plate Tectonic) ในช่วงยุคควอเตอร์นารี และได้กล่าวเสริมว่า ปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในช่วงสมัยโฮโลซีน คือ การปรับตัวอันเนื่องมาจากน้ำแข็งละลายในแต่ละพื้นที่ (glacio-isostasy)

Bloom ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวโลกกับระดับน้ำทะเลโดยให้แนวคิดที่ว่า พื้นสมุทรจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของน้ำทะเลหลังจากน้ำแข็งละลาย ทำให้ระดับน้ำทะเลท่วมขึ้น อีกท่านหนึ่งที่ได้เสนอแนวคิดใหม่ ๆ ที่น่าสนใจอย่างยิ่งคือ Walcot (ปี ค.ศ. 1972) ได้กล่าวว่า หลักฐานต่าง ๆ ที่บ่งบอกการท่วมขึ้นมาของระดับน้ำทะเลสมัยพัทธ์ หลังจากน้ำแข็งละลาย (6,000 ปี เป็นต้นมา) ได้มาจากพื้นที่ที่มีการยุบตัวของแผ่นดิน ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่งของยุคน้ำแข็ง (glacial rebound) ในพื้นที่ที่มักเรียกว่า “forebulg” ในขณะที่หลักฐานของการลดลงของระดับน้ำทะเลมาจากชายฝั่งทะเลที่ย้ายตัวจากพื้นที่ที่เกิดยุคน้ำแข็ง

Chappell (ปี ค.ศ. 1974) ได้กล่าวถึง “hydro-isostasy” หรือการเปลี่ยนระดับน้ำในแต่ละพื้นที่ไว้อย่างน่าสนใจว่า การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโลกทำให้ขนาดของการท่วมขึ้นมาของระดับน้ำทะเลอันเนื่องมาจากน้ำแข็งละลายทั่วโลก (glacio-eustatic transgression) เกิดขึ้นรอบโลก และเขาได้แย้งว่า การเปลี่ยนแปลงของแอ่งทวีป และขอบเขตของแอ่งที่เกิดในช่วงยุคควอเตอร์นารี (Quaternary) สามารถอธิบายความแตกต่างเป็นบริเวณกว้างของระดับน้ำทะเลที่เกิดขึ้นหลังยุคน้ำแข็งได้

2.3 พื้นผิวโลกที่ไม่ราบเรียบ (Geoidal Eustasy)

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า ระดับน้ำทะเลปานกลางที่ใช้ในการสร้างกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลนั้น อยู่ที่ระดับ 0 เป็นแนวเส้นขนาน ซึ่งในทางในความเป็นจริงแล้ว ระดับน้ำทะเลเฉลี่ย โดยเฉพาะในมหาสมุทรแอตแลนติก มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นถึง 1.5 เมตร (Defant ปี ค.ศ. 1941) ฉะนั้นจึง

เป็นที่น่าติดตามว่า ระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean Sea Level) จะอยู่ที่ระดับเท่าใด และอะไรที่ใช้เป็นตัวควบคุมค่าระดับน้ำทะเลปานกลางนี้

Morner ได้อธิบายให้เห็นภาพที่แท้จริงของพื้นผิวมหาสมุทร (the real ocean surface หรือ the geodetic sea level หรือ the equipotential surface of the geoid) ว่าไม่ได้ราบเรียบอย่างที่คิด แต่ค่อนข้างจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ แปรผันตามค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับความไม่อยู่ตัวของธรณีแปรสัณฐาน (plate tectonic) หรือการเปลี่ยนแปลงเฉพาะพื้นที่ (isostasy) ซึ่งจากแนวคิดนี้เองที่เป็นที่มาของคำว่า “geoidal eustasy”

2.4 ค่าความผิดพลาด (Errors) ของการศึกษาระดับน้ำทะเล

1. ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลในการนำข้อมูลมาลงในกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล มาจากมาตรฐานของการกำหนดค่าหลัก (datum)

ค่าหลักระดับน้ำทะเล (sea level datum) ได้จากการปรับค่าระดับน้ำทะเลจากสถานีวัดที่เป็นสากล ส่วนค่าระดับน้ำทะเลปานกลางในแต่ละพื้นที่ (local mean sea level) จะได้จากการปรับค่าระดับน้ำทะเลจากสถานีวัดระดับน้ำขึ้นน้ำลงในแต่ละพื้นที่โดยเปรียบเทียบกับสถานีวัดระดับสากลที่เมืองลิเวอร์พูล ที่สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1844 สำหรับค่าหลักต่อมา ชื่อว่า Second Geodetic Levelling Newlyn datum ได้จากค่าน้ำขึ้นน้ำลงจากเมือง Newlyn ในรัฐ Cornwall ระหว่างปี ค.ศ. 1915 และ 1921 สำหรับหลักเปรียบเทียบหลักที่สาม (Third Geodetic Levelling) ได้จากค่าความแตกต่างของการใช้ค่าหลักมาตรฐาน (Datum) ทำให้เกิดความแตกต่างของค่าความสูงอย่างชัดเจน เห็นได้ชัดจากความแตกต่างของกราฟในออสเตรเลีย โดย Fairbridge ใช้ค่า Mean Low Water of Spring Tides (MLWST) เป็นหลัก ในขณะที่คนอื่น ๆ ใช้ระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean Sea Level; MSL), ค่าเฉลี่ยระดับขึ้นลง (Mean Tide Level; MTL) หรือใช้ค่าอื่นๆ เช่น high water of neap tides, high water of spring tides และอื่น ๆ เป็นการกำหนด datum ซึ่งหากใช้ค่าใดค่าหนึ่งก็ควรจะใช้ค่าระดับเดิมในการคำนวณหรือวัดระดับน้ำทะเล

2. ค่าความผิดพลาดจากการเลือกใช้ตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล (sea level indicators)

การเลือกใช้ตัวบ่งชี้ (indicator) เป็นสิ่งสำคัญที่อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลได้ Pirazzoli (ปี ค.ศ. 1992) กล่าวว่า ลักษณะที่เกิดจากการกัดเซาะชายฝั่ง เช่น ที่ราบตะกัก (shore platforms) หรือรอยเว้าในหิน (notches) บางครั้งไม่สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ได้ แม้กระทั่งตะกอนจากทะเลที่สะสมตั้งแต่ชายฝั่งเข้ามายังชายหาด หรือพวกที่เป็นตะกอนทรายทะเล (sand beach) ก็ต้องใช้

ความระมัดระวังเป็นพิเศษในการแปลความหมาย นอกจากนี้ยังต้องใช้ความรอบคอบเป็นพิเศษในการที่จะใช้ซากสิ่งมีชีวิต เช่น หอยทะเล (marine shells) หรือพวกที่โดนพัดพามา (transport debris) ในการนำมาหาอายุโดยคาร์บอน 14

หลักฐานหนึ่งที่สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ได้อย่างแน่นอน คือ พวกอินทรีย์วัตถุ (organic matters) ที่เหลืออยู่ในตำแหน่งขณะที่มีชีวิต (growth position) ซึ่งจะบอกความสัมพันธ์กับระดับน้ำทะเลหรือกับระดับน้ำใต้ดิน ตัวอย่างเช่น Laborel และ Delibrias (ปี ค.ศ. 1976) และ Laborel (ปี ค.ศ. 1979) ได้สรุปว่า สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในทะเล โดยเฉพาะพวกเพรียง (Vermittids) สามารถเป็น ตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่ดีได้

3. ค่าความผิดพลาดจากการกำหนดอายุ (Dating errors)

ค่าความผิดพลาดอาจเกิดจากความหลากหลายรูปการของสารปนเปื้อน (contamination) ในตัวอย่างที่จะนำมาหาอายุโดยวิธีทางวิทยาศาสตร์ ทั้งที่มาจากธรรมชาติ และจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งยืนยันได้เป็นอย่างดีชัดเจน จากผลการเปรียบเทียบหาอายุโดยคาร์บอน 14 อายุที่ได้จากการนับวงปี (ศึกษาโดย Suess ปี ค.ศ. 1970, ค.ศ. 1980) อย่างไรก็ตาม ค่าความผิดพลาดจากการกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์จะมีค่าที่ยอมรับได้ โดยปกติจะมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

4. ค่าความผิดพลาดจากการใส่ข้อมูล (error of plotting sea-level data)

ในการนำเข้าสู่ข้อมูลในการพล็อตกราฟควรจะต้องเลือกข้อมูลที่คัดสรรแล้วดีที่สุดที่เรียกว่า “high quality” เพื่อลดค่าความผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุด และในการพล็อตควรจะใช้ค่าความผิดพลาดเป็นรูปเหลี่ยม (error box) ด้วย ซึ่งโดยปกติ แขนงนี้จะแทนค่าความผิดพลาดจากการอ่านค่าระดับความสูง ส่วนแกนนอนจะเป็นการแสดงค่าความผิดพลาดจากการอ่านค่าอายุ ดังตัวอย่างที่พล็อตโดย Devoy (ปี ค.ศ. 1982) และพล็อตค่าความผิดพลาดเป็นวง (equal area) โดย Warner (ปี ค.ศ. 1975) หรือที่เรียกว่า “error ellipses” โดย Heyworth และ Kidson (ปี ค.ศ. 1982) การแสดงค่าความผิดพลาดของข้อมูลจะเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือและผู้อื่นสามารถปรับใช้ข้อมูลได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

5. ค่าความผิดพลาดจากการแปลความหมาย (error of interpretation)

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมา ได้เกิดความแตกต่างของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลโดยสามารถสรุปความแตกต่างของการแปลความหมายจากเส้นกราฟแสดงระดับน้ำทะเล (sea level curves) ได้ดังต่อไปนี้ คือ เส้นกราฟส่วนใหญ่จะแสดงระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นเป็นเส้นเรียบหรือขึ้นๆลงๆเล็กน้อย (Smooth หรือ Spasmodic rise)

เส้นกราฟที่ได้จากการแปลความหมายจากหลักฐานการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในสมัยโฮโลซีน (Holocene sea level change) ที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปัจจุบัน ทั้งที่จมอยู่ใต้ระดับน้ำทะเลปัจจุบัน และหลักฐานที่อยู่ในชั้นตะกอนในบริเวณปากแม่น้ำ แต่ความสูงสัมพัทธ์ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปัจจุบัน ซึ่งหลักฐานที่ทำให้ได้กราฟซึ่งมาจากพื้นที่ที่มีจะมีปัจจัยท้องถิ่นเป็นตัวควบคุมความแตกต่างของระดับน้ำทะเล หรือที่เรียกว่าการเกิด isostatic rebound เช่นใน กลุ่มประเทศแถบสแกนดิเนเวีย (Scandinavia) (อ้างถึงการศึกษาก่อนของ Mörner ปี ค.ศ. 1969, ค.ศ. 1979) ใน Canada Shield (Hillaire-Marcel และ Fairbridge ปี ค.ศ. 1978) หรือในพื้นที่ที่มีธรณีแปรสัณฐาน ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง ดังเช่น ใน Pacific island arc (Pirazzoli ปี ค.ศ. 1978, Ota และคณะ ปี ค.ศ. 1981) หรือในเขต Sunda Shelf (Bloom และคณะปี ค.ศ. 1974) แม้ว่าพวกแนวสันทราย (beach ridge) และพวกลานตะพักขั้นบันได (terrace staircases) จะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลและสามารถใช้ค่าความสูงหรือความลึกของชั้นตะกอนทะเลมาพล็อตกราฟได้ แต่อย่างไรก็ตาม การพล็อตกราฟส่วนใหญ่อยู่บนพื้นฐานของการประมาณค่าการเคลื่อนตัวของแผ่นทวีป (crustal movement) (ในปัจจุบัน Lambeck และคณะ ได้พยายามคำนวณอัตราการทรุดตัวและอัตราการเคลื่อนตัวของแผ่นทวีปได้ผลเป็นอย่างดี) หลักฐานจากชั้นตะกอนที่ใช้ในการกำหนดการเคลื่อนตัวของแผ่นทวีปก็มักจะตีความผิดได้ง่าย ซึ่งปัจจุบันได้มีการโต้เถียงว่าควรจะใช้หลักฐานพวกนี้ได้หรือไม่ บ่อยครั้งที่พบตะกอนจากบนบกสลับอยู่กับตะกอนทะเล โดยเฉพาะชั้นตะกอนที่อยู่ชั้นบน ๆ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีน้ำขึ้น ๆ ลง ๆ ของระดับน้ำทะเลระหว่างรอยต่อของชายฝั่งกับแผ่นดิน และน้ำทะเลได้ท่วมขึ้นหรือถอยร่นบนที่ราบชายฝั่งนั้น นักวิจัยหลาย ๆ ท่าน อาทิเช่น Tooley (ปี ค.ศ. 1974, ค.ศ. 1978b, ค.ศ. 1979) สรุปว่าการท่วมขึ้นและถอยร่นของชายฝั่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นและลดลงของระดับน้ำทะเล ในขณะที่อีกหลาย ๆ ท่าน อาทิเช่น Kidson และ Heyworth (ปี ค.ศ. 1973, ค.ศ. 1976) แย้งว่า Kidson และ Heyworth แปลความหมายง่ายเกินไป พวกเขายังเสนอว่า น้ำทะเลสูงขึ้นแล้วมักจะมีการสะสมตัวของตะกอน (sedimentation) ควบคู่กันไป และยังได้แนะนำว่า ในขณะที่ระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ นั้น ในช่วงปลายสมัยโฮโลซีน ระดับน้ำทะเลน่าจะลดต่ำลงหรือเกินกว่าอัตราการสะสมตัวของตะกอน การสลับกันของชั้นตะกอนเดิมที่เป็นพวกตะกอนเม็ดทราย กับชั้นตะกอนใหม่พวกซากพืชหรือซากสัตว์ สามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่จำเป็นว่าน้ำทะเลจะต้องลดลง

Streib (ปี ค.ศ. 1978) แนะนำว่า "Pen pert" มักจะใช้เป็นตัวบอกว่าเกิดขึ้นในขณะที่น้ำทะเลถอยร่นและมักพบบนชั้นตะกอนทะเลหรือตะกอนน้ำกร่อย จริง ๆ แล้วไม่สามารถใช้บอก การถอยร่นของระดับน้ำทะเลได้อย่างแท้จริง เขากล่าวว่า อัตราการสูงขึ้นอย่างช้า ๆ ของน้ำทะเลดูเหมือนว่า น่าจะเป็นสภาพที่เหมาะสมสำหรับการสะสมตัวของชั้นตะกอนที่มีซากพืชอยู่

จะเห็นว่า ลักษณะของกราฟที่ได้ทั้งราบเรียบและขึ้น ๆ ลง ๆ (spasmodic) ยังคงปรากฏให้เห็นในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม ไม่มีผู้รู้จริงหรือหลักฐานที่ชัดเจนจริง ๆ ที่จะบอกว่าเส้นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลจะมีลักษณะเป็นอย่างไรอย่างใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะหรือตายตัว แต่จะเห็นว่าทุก ๆ พื้นที่ศึกษาจะไม่อยู่ในสถานะที่มีความเสถียรทางธรณีวิทยาหรือธรณีแปรสัณฐานทั้งหมด และการตีความจากชั้นตะกอนก็สามารถทำได้ในหลาย ๆ แนวทาง

2.5 ระดับน้ำทะเลสูงสุดในช่วงปลายสมัยโฮโลซีน (Late Holocene high stands)

ในช่วงปลายสมัยโฮโลซีน ได้มีหลักฐานที่บ่งบอกถึงการท่วมขึ้นมาจากระดับน้ำทะเลในหลายพื้นที่ทั่วโลก และเส้นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลได้ถูกสร้างออกมาเพื่อบ่งบอกถึงการขึ้น ๆ ลง ๆ ของระดับน้ำทะเล โดยส่วนใหญ่จะอยู่บนพื้นฐานของการตีความจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลทั่วโลก (Global eustatic sea-level change) โดยสามารถแยกเป็นสมมติฐานได้ง่าย ๆ 2 ข้อในแต่ละพื้นที่ คือ พื้นที่ที่

1. สมมติว่าไม่มีการเคลื่อนตัวของแผ่นทวีปหรือธรณีแปรสัณฐาน ซึ่งอาจมาจากแผ่นทวีป แผ่นสมุทร หรือแผ่นจุลทวีป อย่างใดอย่างหนึ่ง ไม่สามารถอธิบายได้ชัดเจน ตัวอย่างเช่นในออสเตรเลีย และมาเลเซีย
2. สมมติว่าเป็นพื้นที่ที่การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของน้ำแข็งขั้วโลกส่งผลต่อพื้นที่นั้น

การตีความว่าระดับน้ำทะเลได้ขึ้นมาสูงสุดที่ระดับความสูงเท่าใดนั้น ได้ใช้สมมติฐานของพื้นที่ทั้ง 2 ข้อที่กล่าวไปแล้วเป็นหลัก ตัวอย่างเช่น ในมาเลเซีย Tjia และคณะ (ปี ค.ศ. 1976) และ Tjia (ปี ค.ศ. 1977) ได้สรุปว่าน้ำทะเลได้ขึ้นสูงถึง 4 ครั้ง โดยการแปลความหมายได้สมมติว่า ธรณีแปรสัณฐานในพื้นที่ไม่มีเกิดขึ้นตั้งแต่ในช่วงปลายยุคควาเทอร์นารี และได้ใช้ระดับพื้นฐาน (datum) คือ ระดับน้ำขึ้นสูงสุดปัจจุบัน (present high tide level) ส่วนในพื้นที่ที่คาดว่าจะมีธรณีแปรสัณฐานยุคใหม่ที่จะมีผลต่อระดับสูงสุดของน้ำทะเล เช่น ในประเทศแถบสแกนดิเนเวีย เส้นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่ได้จะดูเหมือนได้ระดับที่สูงเกินความจริง

2.6 ตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล (Sea level indicators)

ตัวบ่งชี้หรือหลักฐานที่ใช้บอกถึงการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงของระดับน้ำทะเลมีมากมาย บางชนิดสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ที่ชัดเจนในขณะที่บางชนิดต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ หากจะนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ของการเปลี่ยนแปลงนี้ คำถามที่ควรจะต้องตั้งไว้ก่อนทำการสำรวจภาคสนาม มีดังต่อไปนี้

1. อะไรเป็นตัวบอกความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมตัวของตะกอนและธรณีสัณฐาน
2. ที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (mean sea level) เท่าใด ที่พบหลักฐานเหล่านั้น และใช้มาตรฐานอะไรในการวัดระดับน้ำทะเลปัจจุบัน
3. ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของตะกอนกับธรณีสัณฐานเป็นอย่างไร
4. สามารถคำนวณค่าความต่างระดับของตะกอนหรือตัวบ่งชี้จากระดับน้ำทะเลปัจจุบันได้อย่างไร
5. จะใช้อะไรในการกำหนดระดับน้ำทะเลในอดีต เช่น โครงสร้างทางตะกอนวิทยา หรือชีววิทยา

2.7 ระดับน้ำทะเลปัจจุบัน (Present sea level)

ความแตกต่างของระดับน้ำทะเลในปัจจุบันทั่วโลก เกิดขึ้นจากปัจจัยหลายประการ ดังเช่น ความแตกต่างของแรงโน้มถ่วงโลก (earth's gravity) ความแตกต่างของฤดูกาล (seasonal differences) เป็นต้น ในการอ้างอิงถึงจุดอ้างอิงของระดับน้ำทะเล (sea level datum) ในแต่ละพื้นที่จึงมีความแตกต่างกัน แต่สิ่งที่จำเป็นในการกำหนดจุดอ้างอิง (datum) คือ ควรจะกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนและเป็นสากลในการอ่านค่า น้ำขึ้นน้ำลง (tidal range) บางพื้นที่อาจใช้ค่าเฉลี่ยระดับน้ำขึ้นน้ำลง (mean tide level) อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยของเราใช้จุดอ้างอิงของระดับน้ำทะเลที่บริเวณเกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

2.8 การกำหนดระดับน้ำทะเลในอดีต (Determination of palaeo-sea level)

ในช่วงต้นของการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล ผู้วิจัยส่วนใหญ่ได้ใช้ลักษณะทางกายภาพ (physical characteristics) ของชั้นตะกอนหรือธรณีสัณฐานในการบอกความลึกของระดับน้ำในขณะที่มีการสะสมตัวของตะกอน ต่อมาได้มีการใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (biological indicators) ในภายหลังพบว่าควรจะต้องใช้ทั้งลักษณะปรากฏทางกายภาพ (Lithofacies) และลักษณะปรากฏทางชีวภาพ (biofacies)

การกำหนดระดับน้ำทะเลในอดีตในเบื้องต้นนี้พบว่า จะต้องกำหนดค่าขอบเขตสูงสุดที่ระดับน้ำทะเลเคยท่วมถึง (marine limit หรือ highest shoreline) ขึ้นมาก่อนโดยใช้แทนแนวชายฝั่งที่น้ำ

ทะเลท่วมขึ้นสูงที่สุด ซึ่งปกติจะมีแค่ระดับเดียว ในปัจจุบันมักใช้คำว่า “highstand” ในพื้นที่หลาย ๆ แห่ง โดยที่ระดับขอบเขตสูงสุดที่น้ำทะเลเคยท่วมถึงจะถูกกำหนดโดยตัวบ่งชี้ต่าง ๆ ต่อไปนี้

1. ระดับสุดท้ายที่มีการสะสมตัวอย่างต่อเนื่องของตะกอนบก
(The lower limit of continuous terrestrial deposition)
2. ระดับสูงสุดที่หินรองรับเกิดการชะล้างจากคลื่นทะเล
(The upper limit of wave-washed bedrock)
3. ระดับสูงสุดที่พบการสะสมตัวของตะกอนชายฝั่ง เช่น แนวสันทราย
(The upper limit of shore deposits-beach ridges)
4. ระดับสูงสุดที่พบซากบรรพชีวินที่เกิดในทะเลขณะที่มีชีวิตอยู่
(The upper limit of in-situ marine fossils)

จะเห็นว่าระดับขอบเขตสูงสุดที่น้ำทะเลเคยท่วมถึงนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับพื้นที่อื่น ๆ โดยเฉพาะตัวบ่งชี้ในข้อ 2 ถึง 4 อย่างไรก็ตาม สามารถกำหนดขอบเขตสูงสุดที่น้ำทะเลเคยท่วมถึงในสมัยโฮโลซีนได้จากการหายไปของทางน้ำจากพื้นผิวของดินดอนสามเหลี่ยม และบ่อยครั้งที่ใช้แนวสันทราย (beach ridges) เป็นแนวแบ่งแนวชายฝั่งเดิม

ในการวัดค่าระดับของพื้นที่หลังจากที่ได้กำหนดจุดที่เป็นแนวชายฝั่งโบราณแล้ว (Palaeo sea level points) ควรจะใช้อุปกรณ์ที่มาตรฐาน เช่น กล้องวัดระดับที่มีรายละเอียดสูง ซึ่งจะให้ค่าความผิดพลาดน้อยมาก การประมาณค่าระดับจากแผนที่ก็เป็นอีกวิธีที่นักวิจัยทั่วไปใช้ในการประมาณค่าระดับ แต่เป็นวิธีที่มีโอกาสที่จะได้ค่าความผิดพลาดสูงมากเกินไป ซึ่งจะทำให้การแปลความหมายโดยเฉพาะการสร้างเส้นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล (sea level curves) มีความยากลำบากมากขึ้น

ในการใช้ตะกอนและธรณีสัณฐานที่จะกำหนดแนวขอบเขตสูงสุดที่น้ำทะเลเคยท่วมถึง มีข้อควรระวังว่า ตะกอนอาจจะมีการสะสมตัวใหม่ (reworked) ในขณะที่ระดับน้ำทะเลลดลงหรือมีการถอยร่นของชายฝั่งทะเลโบราณ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีอัตราการสะสมตัวของตะกอนสูง เช่น ในที่ราบภาคกลางของประเทศไทย นักวิจัยหลายๆท่านได้ใช้พื้นผิวปลายสุดของดินดอนสามเหลี่ยม (lower delta surfaces) หรือ แนวสันทราย (beach ridges) หรือ ลานตะพักที่เกิดจากการกระทำของคลื่นทะเล (marine terrace) เป็นตัวกำหนดขอบเขต โดยบางครั้งอาจพบเส้นแนวที่แสดงช่วงเวลาที่มีการสะสมตัวของตะกอนชนิดเดียวกัน ในขณะที่กระบวนการเกิดชายฝั่งได้ทำให้เกิดตะกอนหรือธรณีสัณฐาน ที่เรียกว่า “Strandline” ซึ่งบางครั้งหลงเหลืออยู่ในปัจจุบัน เช่น บริเวณอำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี (Choowong ปี ค.ศ. 2002)

การประยุกต์ใช้ธรณีฟิสิกส์โดยเฉพาะการใช้คลื่นไหวสะเทือน (seismic wave) เข้ามาศึกษาชั้นตะกอนชายฝั่ง (offshore sediments) ก็เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่จะทำให้สามารถมองเห็นภาพตัดขวางได้เป็นอย่างดี ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้คลื่นไหวสะเทือนในการทำการลำดับชั้นตะกอน (seismic stratigraphy) บวกกับการกำหนดอายุตะกอนหรือซากบรรพชีวินโดยการวัดรังสีคาร์บอน (radiocarbon dating) จะช่วยให้ความถูกต้องของภาพตัดขวางมีมากขึ้น

นอกจากนี้ในบางพื้นที่สามารถใช้ลักษณะปรากฏทางชีวภาพ (biofacies) เป็นตัวกำหนด ขอบเขตของแนวชายฝั่งโบราณได้ เช่น ใช้ซากบรรพชีวินที่เกิดในที่ลุ่มชื้นแฉะ โดยเฉพาะพวกไดอะตอม และฟอแรมมินิเฟอร่า เป็นต้น ซึ่งพบว่า ระดับของการสะสมตัวที่ถูกต้องจะต้องได้จากตัวอย่างที่สะสมตัว ณ ที่เดิม (in situ) หรือซากบรรพชีวินที่ตายในขณะที่มีชีวิต (living position) ณ ตำแหน่งนั้น

2.9 หลักฐานทางกายภาพและชีวภาพที่บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของน้ำทะเลในอดีตทั่วโลก (Physical and biological indicators of global sea-level changes)

1. แนวสันดอนทราย (Coastal barrier sands)

ในขณะที่สันดอนทรายเกิด โดยเฉพาะในขณะมีการถอยร่นของระดับน้ำทะเล (regression) จะทำให้ตะกอนเกิดการสะสมตัวจากชายฝั่งเดิมในทิศทางสู่ชายฝั่งปัจจุบัน (progradation) ลักษณะเด่นของตะกอนที่จะพบเสมอในลำดับชั้นตะกอนสันดอนทราย คือ การสลับกันของชั้นตะกอนเอียงเท (seaward-inclined cross-bedding) และมักจะพบร่วมกับพวยกรอยริ้วคลื่นเล็กๆ (small-scale ripples) และพวกตะกอนดินเหนียวที่พบเป็นลักษณะรูปลิ้ม (clay drapes) ซึ่งสะสมตัวแอ่งระหว่างแนวสันดอนทราย พวกตะกอนดินเหนียวรูปลิ้มนี้ มักจะบ่งบอกว่าการสะสมตัวเหนือระดับน้ำทะเลขึ้นสูงสุด อย่างไรก็ตาม แนวชั้นตะกอนเอียงเทขนาดใหญ่ (mega cross-bedding) ก็อาจเกิดขึ้นได้ถึงระดับ spring tide level ขณะที่บางครั้งอาจพบเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางได้

ข้อควรพิจารณาและระวังในการใช้แนวสันดอนทรายเป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล

1. บางครั้งพวกเศษเปลือกหอย (shell fragments) หรือร่องรอยการขุดรูจากสิ่งมีชีวิต (burrows) อาจจะต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษเพราะอาจจะเป็นเศษเปลือกหอยที่สะสมตัวในยุคปัจจุบัน
2. ไม่ควรละเลยที่จะศึกษาการอัดตัวของตะกอน (compaction) โดยเฉพาะแนวสันดอนทราย มักจะวางตัวอยู่บนตะกอนน้ำกร่อยหรือตะกอนปากแม่น้ำ ซึ่งเมื่อเกิดการอัดตัวขึ้นเนื่องมาจากน้ำหนักของแนวสันดอนทรายจะทำให้ระดับตะกอนปากแม่น้ำต่ำลงได้

3. ขณะที่ขุดเจาะตัวอย่าง ควรจะระมัดระวังเรื่องการเรียงลำดับตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างที่ได้อาจจะวางเรียงไม่ถูกต้องตามลำดับของการเกิดจริงในธรรมชาติ จะทำให้แปลความหมายผิดได้
4. ควรให้ความสำคัญในเรื่องของระดับความลึกของโครงสร้างตะกอนด้วย โดยเฉพาะโครงสร้างที่มักจะพบชั้นการสะสมตัวของแนวสันดอนทรายอาจจะเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีการสะสมตัวเหนือระดับน้ำ เช่น พวกแนวริ้วคลื่นเชื่อมประสาน (adhesional ripples) หรือแม้แต่พวกที่เป็นตัวบ่งชี้การท่วมขึ้นมาจากระดับทะเล เช่น ร่องรอยการขุดรูของสิ่งมีชีวิต (marine burrows) หรือ พวกเปลือกหอย (shell fragments)
5. ในการเลือกตัวอย่างซากบรรพชีวินมาศึกษาโดยเฉพาะพวกเปลือกหอยจะต้องไม่ใช่เปลือกหอยที่เหลืผาเดียว เพราะพวกนี้อาจจะถูกพัฒนาสะสมตัวใหม่ (reworked) มาจากพวกสันทรายเดิมที่เก่ากว่า ฉะนั้น ควรใช้หอยที่มีฝาครบทั้ง 2 ฝาและมีจำนวนมากพอที่จะทำให้แน่ใจได้ว่า เป็นการสะสมตัวในขณะที่มีชีวิตอยู่ และไม่ควรรใช้ตัวอย่างเดียว ในแต่ละชั้นตะกอนในการกำหนดอายุ ถ้าสามารถเก็บตัวอย่างเป็นลำดับชั้นได้จะทำให้มีความถูกต้องมากขึ้น

2. หอยทะเล (Marine molluscs)

การศึกษาถึงชนิดและสายพันธุ์ของหอยทะเล จะสามารถใช้กำหนดอายุก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลได้ แต่เฉพาะในบางกลุ่ม (group หรือ assemblages) หอยทะเลสามารถใช้จำแนกสภาวะแวดล้อมในขณะที่มีชีวิตได้ว่าอยู่ในระดับดินหรือลึกจากระดับน้ำทะเลได้ แต่ก็มีข้อควรระวังในเรื่องของถูกนำมาสะสมตัวใหม่ และการพัฒนาด้วย

อย่างไรก็ตาม การศึกษาชนิดของหอยทะเลอย่างละเอียดถึงสายพันธุ์ และการเทียบเคียงกับการศึกษาเก่าในพื้นที่ชายฝั่งอื่นๆ ทั่วโลก จะสามารถบ่งบอกถึงความแตกต่างในเรื่องของเขตอากาศซึ่งจะทำให้ชนิดของหอยทะเลเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ในเขตอากาศอบอุ่น สามารถพบ epifauna species มากมาย ตัวอย่างของชนิดหอยทะเลที่ใช้ในการเทียบเคียงทั่วโลก เช่น ตัวอย่างที่ได้จากการศึกษาของ Parker (ปี ค.ศ. 1956) ในพวกกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ (macro-invertebrate assemblages) จากบริเวณปากแม่น้ำมิสซิสซิปปี (Mississippi Delta) สหรัฐอเมริกา โดยได้สรุปความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะแวดล้อมในขณะที่ถูกหอยทะเลอาศัยไว้ดังนี้

1. บริเวณปากแม่น้ำและดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ มักพบ *Neritina veclivata*, *Littorina irrorate*

2. บริเวณตอนปลายของดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ มักพบ *Rangia cuneata*, *R. flernosa*, *Macerna mitchelli*, *M. tageliformis* และ *Littoridina sphinotostoma*
 3. บริเวณที่ลุ่มน้ำจืดหลังสันดอนทราย มักพบ *Donax*, *Terebra cinerea*, *Olivella*
 4. บริเวณที่ความชันและความลึกของพื้นทะเลเพิ่มขึ้น มักพบ *Dinocardium*, *Atrina*, *Aequipecten*, *Callocardia*
3. ชายหาดกรวดหิน (Beach rock)

เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าชายหาดที่เป็นหิน (beach rock) จะเกิดในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำขึ้น-น้ำลง (intertidal zone) อย่างไรก็ตามการศึกษาในอดีตยังระบุได้ไม่แน่นอนว่าขอบเขตสูงสุดของชายหาดที่สัมพันธ์กับระดับน้ำขึ้น-น้ำลงนั้นอยู่ที่ใด ปัญหาที่ควรระวังก็คือ การที่จะหาอายุของชายหาดกรวดหินโดยใช้หลักฐานพวกซากชีวิตที่ปะปนอยู่อาจจะทำให้ได้อายุมากที่สุดของการสะสมตัว แต่การหาอายุโดยใช้ตัวเชื่อมประสานจะได้อายุน้อยที่สุดของการสะสมตัว

ตัวเชื่อมประสาน (cementation) ของตะกอนสันทรายที่เกิดขึ้นในบริเวณระหว่างน้ำขึ้น-น้ำลง อาจจะสามารถบอกได้ว่าการสะสมตัวภายในสันทราย หรือด้านหลังของแนวสันทราย ปัจจุบัน โดยสังเกตจากความหนาของชั้นเชื่อมประสานซึ่งจะขึ้นอยู่กับช่วงระดับของน้ำขึ้น-น้ำลง (tidal range) โดยส่วนใหญ่ตะกอนสันทรายจะเกิดในระดับ Mean High Water Spring (MHWS) ในขณะที่ ระดับต่ำสุดของการเชื่อมประสานจะแสดงเป็นแนวราบเรียบและสามารถใช้ประมาณค่า Mean High Water Spring (MHWS) ในอดีตได้

ชนิดของตัวเชื่อมประสานของชายหาดกรวดหินยังมีการถกเถียงกันอยู่ในกลุ่มนักวิจัย โดยทั่วไป โดยเฉพาะตัวเชื่อมประสานที่เป็นพวกแร่แคลไซต์ อาราโกไนต์ (aragonite) หรือพวกที่เป็นแมกนีเซียมแคลไซต์ โดยนักวิจัยบางท่าน ได้สรุปว่า อาราโกไนต์ สามารถเปลี่ยนเป็นแคลไซต์ และเป็น amorphous แคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ในขณะที่นักวิจัยบางท่าน ได้นำเสนอว่า พวกแมกนีเซียมแคลไซต์ อาจจะบอกว่าเป็นผลที่ได้จากการเปลี่ยนสภาพจากอาราโกไนต์

แร่แคลไซต์ ปกติจะเกิดจากการตกตะกอนในน้ำจืดได้ และแร่อาราโกไนต์เกิดจากการละลายของพวกที่มีเหล็กสูง เช่น จากน้ำทะเล อย่างไรก็ตาม กลุ่มนักวิจัยทั่วโลกได้พยายามสรุปคำอธิบายในเรื่องของการเชื่อมประสานในชายหาดกรวดหินได้ 3 แนวทาง คือ

1. เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของพวก microbial หรือ เกิดจากการย่อยสลายจากอินทรีย์วัตถุหรือจากพวกสาหร่าย
2. เกิดจากการตกตะกอนจากพวกอนินทรีย์วัตถุในน้ำจืด เช่น จากอิทธิพลของน้ำบาดาล หรือ อาจจะมาจากการเปลี่ยนระดับน้ำได้ดิน
3. เกิดจากอนินทรีย์วัตถุในน้ำทะเล โดยผลจากการศึกษา SEM (Scanning Electron Microscope) พบว่าตัวเชื่อมประสานที่เป็นพวกแร่อาราโกไนต์ ที่ได้จากการตกตะกอนจากน้ำทะเล พบว่าจะมีรูปร่างเป็นเส้น (acicular หรือ fibrous)

ปัญหาการใช้ชายหาดกรวดหินเป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล

1. ปัญหาจากความสูง โดยมักมีคำถามสำคัญเสมอว่า เราจะใช้อะไรเป็นระดับสูงสุดที่เกิดการเชื่อมประสาน ซึ่งคำตอบอาจจะใช้ MHWS แต่บางครั้งในพื้นที่บางที่ high tidal range MHWS อาจจะต่ำกว่า HAT (highest tidal range) 1 เมตร หรือมากกว่าก็เป็นได้ ฉะนั้นเฉพาะระดับสูงสุดของชายหาดกรวดหินเท่านั้นที่จะใช้เป็นตัวบ่งชี้ระดับเดิมของน้ำขึ้นสูงสุด
2. ปัญหาจากการกำหนดอายุ แม้ว่าพวกอินทรีย์สาร จะสามารถหาอายุโดยวิธีคาร์บอน 14 ได้ง่ายมาก แต่ต้องแน่ใจว่าพวกอินทรีย์สารเหล่านั้นที่ได้ต้องไม่มีการตกผลึกใหม่ (recrystallisation) และไม่ใช้พวกที่ถูกพัดพามา ซึ่งผลอายุที่ได้อาจได้ค่าความแตกต่างของอายุจริงที่อินทรีย์สารตาย และการเชื่อมประสานของหาดกรวดหินแตกต่างกัน 100 ปี หรือเป็น 1,000 ปี ก็ได้ ฉะนั้น อายุที่ได้จึงเป็นแค่อายุมากที่สุดของการเชื่อมประสานในชายหาดกรวดหิน ถ้าเราจะกำหนดอายุเฉพาะตัวเชื่อมประสานก็ยากที่จะแยกเอาตัวเชื่อมประสานโดยที่อินทรีย์สารไม่ได้มาด้วย
3. ปัญหาจากความสับสนจากวัตถุเชื่อมประสานอื่น ๆ ในช่วงระหว่างน้ำขึ้น น้ำลง โดยเฉพาะตัวเชื่อมประสานที่เป็นพวกแร่ซิลิกาที่เป็นชั้นๆ (silcrete) อาจเกิดจากการพัดพามาสะสมตัวจากแม่น้ำก็ได้ ซึ่งอาจจะเกิดต่อในช่วงสมัยไพลสโตซีน (Pleistocene) เป็นต้นมา

บทสรุปการใช้ชายหาดกรวดหินเป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล

ชายหาดกรวดหิน ไม่ควรใช้เป็นตัวบ่งชี้ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำขึ้นน้ำลงมากๆ อย่างไรก็ตามหากจะใช้ชายหาดกรวดหินเป็นตัวบ่งชี้จะต้องคำนึงถึงข้อควรระวัง ดังนี้

1. ความสับสนในการเลือกตัวเชื่อมประสาน โดยเฉพาะแร่แคลไซต์ และแร่อาราโกไนต์
2. ระดับสูงสุดของการเชื่อมประสานควรจะอยู่ในระนาบเดียวกัน
3. พิจารณาว่า โครงสร้างของตะกอนชายฝั่งที่ได้มาจากชายหาดกรวดหินเดิม หรือไม่

4. กวหาหลักฐานอื่น ๆ เช่น ซากต้นไม้ป่าชายเลน (mangrove peat) หรือพวก in-situ ของซากหอย molluscs และ vermitid มาประกอบการพิจารณาด้วย

4. การพอกตัวของคาร์บอนเนตเป็นเม็ดกลมแบบไข่ปลา (Ooids)

Ooids คือ การพอกตัวของตะกอนทรายผสมกับคาร์บอนเนตที่รูปร่างค่อนข้างกลม ประกอบด้วยนิวเคลียส ที่หุ้มล้อมรอบโดยชั้นคาร์บอนเนต อย่างไรก็ตาม มักมีคำถามอยู่เสมอว่า จะใช้ลักษณะการพอกตัวของทรายและคาร์บอนเนตนี้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลได้หรือไม่ อย่างไร เพราะมันสามารถถูกพัดพาไปได้ไกลหลายร้อยกิโลเมตรจากแหล่งกำเนิด หรือบางครั้งถูกพัดพาไปสะสมตัวใหม่ อย่างไรก็ตาม ooids สามารถให้ข้อมูลในเรื่องสภาวะแวดล้อมของการเกิดได้ดี ซึ่งความถูกต้องมากหรือน้อยในการตีความจาก ooids ขึ้นอยู่กับความเข้าใจในเรื่องของการเกิด ooids และอิทธิพลของการพัดพาเป็นหลัก

โดยปกติ marine ooids จะมีรูปร่างค่อนข้างกลมถึงรี เป็นเม็ดคาร์บอนเนต โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตร มีนิวเคลียสหุ้มโดยชั้นคาร์บอนเนตบางๆ โดยนิวเคลียสมักเป็นพวกเม็ดแร่ควอตซ์ หรือพวกเศษเปลือกหอย หรือแม้กระทั่งพวกเศษ Ooids เองที่หุ้มโดยพวกแร่แคลไซต์ หรือแร่กลุ่มแมกนีเซียมแคลไซต์ หรือพวกผลึกแร่อาราโกไนต์ หากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2 มิลลิเมตร จะเรียก Pisolites

Ooids เคยใช้เป็นข้อมูลในการสร้างกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเหมือนกัน เช่น ใน Amazon shelf (นำเสนอโดย Milliman และ Barretto ปี ค.ศ. 1975) ซึ่งเป็น oolites ที่ได้จากระดับความลึก 80 ถึง 150 เมตร (กำหนดอายุโดยวิธี radiocarbon ได้อายุ 14,430 ถึง 38,000 ปี) ซึ่งเมื่อนำมาใส่ในกราฟแล้วพบว่า ooids นี้เองที่เป็นตัวบ่งชี้ตำแหน่งต่ำสุดของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล และพบว่า มีการทรุดตัวของพื้นที่ชายฝั่งทะเลเกิดขึ้นในพื้นที่นี้ (ด้วยอัตรา 140 เมตร ภายใน 5,000 ปี ระหว่าง 21,000 และ 16,000 ปี) หากจะใช้ Ooids เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล ต้องระวังไว้ว่า ooids อาจเกิดจากการผุพังของ ooids เดิมเองก็ได้ นอกจากเม็ดกลม ๆ ของพวก ooids แล้ว อาจจะมีพบ oncolites, rhodoliths และ pseudoliths ซึ่งมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน คือ oncoliths และ rhodoliths จะเป็นพวกที่ถูกหุ้มโดยพวก stromatolites จากพวกสาหร่ายสีน้ำเงิน หรือสาหร่ายสีแดง

สรุปข้อควรคำนึงในการเลือกใช้ ooids เป็นตัวบ่งชี้ระดับน้ำทะเลก็คือ ควรระวังในเรื่องการเกิดของ ooid และการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเกิด เช่น การก่อตัวใหม่ (diagenesis) การพัดพา

(transportation) การพัฒนามาสะสมตัวใหม่ (reworking) และ ooid สามารถเกิดได้ทั้งในสภาวะแวดล้อมที่เป็นน้ำนิ่ง หรือกระแสน้ำวนก็ได้

5. ปะการังและแนวปะการัง (Coral and coral reefs)

ปะการัง (coral) และแนวปะการัง (coral reefs) ในปัจจุบันนักวิจัยสรุปว่าสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลได้อย่างดี โดยปะการังที่เป็นพวกที่มีโครงสร้างภายในที่ซับซ้อนเกิดจากพวกแอนโทซัว (anthozoans) เช่น *stoloniferan Tubipora*, *Coenothecalian Heliopora* หรือพวกไฮโดรซัว (hydrozoan *Millepora*) พยายามสร้างโครงสร้างภายนอกที่เป็นพวกคาร์บอนेटซึ่งมักจะเป็นกลุ่มก้อน โดยถูกสร้างจากพวก อาราโกไนต์ ยกเว้นพวก octocorals ที่สร้างจากพวกแมกนีเซียมแคลไซต์ ซึ่งอัตราการสร้าง linear radial growth จะประมาณ 4 ถึง 20 มิลลิเมตร/ปี สำหรับพวก massive species โดยเฉลี่ยแล้ว 10-12 มิลลิเมตร/ปี และประมาณ 100 มิลลิเมตร/ปี สำหรับพวก branching species เช่น *Acropora*

จากการวิจัยทั่วโลกพบว่า ปะการังมากกว่า 70 species ตัวอย่างเช่นใน Great Barrier reef ประเทศออสเตรเลีย เป็นปะการังที่มักจะเป็น crustore ในบริเวณคลื่นแรงๆ ส่วนพวกที่เป็น branching จะเกิดในบริเวณคลื่นปานกลาง และพวกกลุ่มก้อน (massive forms) จะเกิดในบริเวณคลื่นเบา รูปร่างของปะการังพวกที่เป็นกลุ่มก้อนอาจจะใช้บอกรูปร่างของแนวปะการังเก่าได้และอาจจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์กับระดับน้ำทะเลเก่าได้

ตัวบ่งชี้ที่พบในแนวปะการัง

- 1) พวกโครงสร้างอินทรีย์วัตถุของปะการัง เช่นพวกรอยพิมพ์ (casts) และรูขนไช (burrow) หรือพวกสะสมตัว ณ ที่เดิม (in-situ deposit) อาจจะเป็นตัวบ่งชี้ระดับสูงสุดของการเติบโต (MLSW, MSL, MHWS เป็นต้น) ที่พบในช่วงระหว่างน้ำขึ้นสูงสุดกับน้ำลงต่ำสุด (inter-tidal)
- 2) พวกตัวบ่งชี้ทางเคมีที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะ การเปลี่ยนจากปะการังที่เป็นแร่อาราโกไนต์ และพวกที่มีปริมาณแคลไซต์สูงของพวก coralline algae ไปเป็นพวกที่มีปริมาณแคลไซต์ต่ำ มักจะเกิดในขณะที่ปะการังโผล่เหนือระดับน้ำทะเล ขณะน้ำทะเลลดลง การเปลี่ยนแปลงที่มักเกิดขึ้นตามมาเสมอคือ เกิดการรื้อค้ำในพวกที่มีรูพรุนซึ่งจะทำให้เกิดรูพรุนเพิ่มมากขึ้นและมีการแลกเปลี่ยนไอออนมากขึ้นตามไปด้วย และการรื้อค้ำนี้เองสามารถบอกความไม่ต่อเนื่องของการสะสมตัวได้แต่ไม่สามารถบอกช่วงเวลาของการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน หรือแม้กระทั่งการเซ (Caliche = แร่ทุติยภูมิของพวกแคลเซียมคาร์บอเนต ที่สะสมคือเป็นชั้นบาง ๆ ขนานกันอยู่ด้านบนของหน้าค้ำที่ผุพัง) ตัวเชื่อมประสาน

อาจจะใช้เป็นตัวบ่งชี้ได้โดยเฉพาะในสภาวะแวดล้อมของปะการังที่มีตัวเชื่อมประสานอยู่ 2 ชนิด ที่เป็นตัวกำหนดขอบเขตว่าอยู่ในช่วง intertidal zone คือ beach-rock

- 3) พวกเศษปะการังที่ถูกพัดพาสะสมตัวในแนวปะการังก็เหมือนกับสภาวะแวดล้อมชายฝั่งอื่น ๆ คือ จะมีกลไกต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการพัดพา โดยเฉพาะพายุไต้ฝุ่น (typhoons หรือ hurricanes) ซึ่งมักจะทำลายปะการัง และทำให้เกิดเป็นเศษปะการังแตกหลุด ฉะนั้นจึงควรพิจารณาให้ถี่ บางครั้งอาจจะถูกพัดพาไปได้ไกลกว่าที่ที่เกิดการสะสมตัว เช่น ในออสเตรเลีย พวกเศษปะการัง เคยถูกพัดขึ้นไปถึง 8 เมตร เหนือระดับ MLWS ส่วนในเขตทะเลใกล้ๆ เส้นศูนย์สูตรหรือ มหาสมุทรแปซิฟิก ที่พายุอาจมีน้อย แต่ผลจากคลื่นสึนามิ (Tsunami) ก็อาจจะทำลายปะการังและ พัดพาเอาพวกเศษปะการังไปสะสมตัวในที่อื่น ๆ ได้
- 4) พวกโครงสร้างภายในที่แสดงการเติบโตของปะการังอาจจะสามารถบอกค่าความลึกของ ระดับน้ำทะเลได้ แต่ควรระวังหากใช้การหาอายุโดยใช้ไอโซโทปที่เสถียรในการบอกค่าความลึก โดยในบางครั้งจะเห็นว่าอัตราส่วนของ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนของ $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ อาจจะสัมพันธ์กับความลึกอีกด้วย คือ ^{18}O เพิ่มขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น

กล่าวโดยสรุปปะการังและแนวปะการังไม่ใช่ตัวบ่งชี้ของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่ ชัดเจนนักทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเขตการเจริญเติบโต สภาพความร้อนของกระแสน้ำทะเล แต่บางครั้งอาจจะ ใช้ได้ในกรณีของแนวปะการังที่เป็นที่อยู่อาศัยของพืชหลายชนิดและรวมทั้งสัตว์ทะเล ซึ่งอาจมี ความสัมพันธ์กับแนวชายฝั่งในอดีตได้เช่นกัน

6. สาหร่ายทะเล (Coralline algae)

พวกสาหร่ายทะเลที่กระจายตัวอยู่ในบริเวณเขตหนาวถึงเขตอบอุ่นโดยเฉพาะในเขตบริเวณที่ สามารถสังเคราะห์แสงได้ (photic zone) พวกนี้จะเติบโตอย่างรวดเร็วในเขตนํ้าตื้น โดยเฉพาะเขตที่มีความเค็มพอเหมาะสำหรับการเจริญเติบโต การกระจายตัวของแต่ละชนิดสาหร่ายในแต่ละสกุลในเขต อบอุ่นจะแตกต่างจากในเขตอื่น ๆ โดยทั่วไปพบว่า พวกสาหร่ายทะเลจะเติบโตดีที่ระดับช่วงความลึก ประมาณ 5 ถึง 10 เมตร

เปลือกนอกของพวกสาหร่ายทะเลจะมีแมกนีเซียมแคลไซต์สูง (8-20 % Mg) พวกเปลือกนอก ก่อนข้างจะสลายตัวได้ง่าย และอาจจะทำให้ผลอายุโดย C-14 คลาดเคลื่อนได้ โครงสร้างของเปลือก นอกนี้ไว้บอกสภาวะแวดล้อมของการสะสมตัวได้ดีโดยอาศัยลักษณะทางอนุกรมวิธาน (Taxonomy)

พวกสาหร่ายทะเลที่มีแคลไซต์สูงมักจะมีรูปร่างคล้ายฟีช และสามารถกระจายตัวอยู่ในระดับต่ำกว่า 100 เมตร ในเขตอบอุ่นจะพบอยู่ในระดับประมาณ 80 เมตร ในขณะที่เขตนํ้าเย็น จะอยู่ที่ระดับ

20-40 เมตร ในการใช้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล โดยเฉพาะระดับความลึกของน้ำทะเลในอดีตมักจะใช้พวกที่อยู่กันเป็นกลุ่ม ซึ่งจะมีความถูกต้องกว่าพวกที่เป็นเศษ

อย่างไรก็ตามนักวิจัยได้พิจารณาลักษณะสาหร่ายทะเลตามสภาพภูมิศาสตร์ (Biogeographic region) ว่าสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ของระดับน้ำลึกได้อย่างไร ตัวอย่างเช่น เขตสภาวะแวดล้อมอบอุ่น พบว่าพวกสาหร่ายพวกที่มีรูปร่างสมดุอย่างเป็นระบบ (systematic pair patterns) จะสามารถ

- ใช้เป็นตัวบ่งชี้ได้หากอยู่ใกล้ระดับน้ำลงต่ำสุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน ± 2 เมตร
- ใช้เป็นตัวบ่งชี้ จากความลึก 5 ถึง 20 เมตร ค่าผิดพลาด ± 4 เมตร
- ใช้เป็นตัวบ่งชี้ที่ระดับลึกกว่า 30 เมตร ค่าผิดพลาด ± 15 เมตร

7. พวกหอยฝาเดียว (Vermetid gastropods)

Vermetidae เป็นตระกูลหนึ่งของหอยทะเลฝาเดียว (marine gastropod) ที่มักพบในเขต อบอุ่น และกึ่งอบอุ่น โดยมักพบว่ามีชีวิตอยู่ในเขตน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งจะแสดงขอบเขตของน้ำขึ้นสูงสุดของ supra-littoral zone หรือระดับต่ำสุดของ mid-littoral zone โดยขนาดและรูปร่างของ Vermetids ขึ้นอยู่กับ substratum และระดับน้ำขึ้นน้ำลง โดยจะเจริญเติบโตได้ดีหากอยู่เหนือระดับน้ำ บางครั้งในบริเวณที่ระดับน้ำขึ้นน้ำลงไม่ค่อยสูง แนว Vermetids จะขึ้นอยู่กับพื้นผิวที่เกิดการกัดกร่อนที่มันเกาะติดอยู่ เช่น ใน รอยเว้าของหิน (notches) หรือ marine platform ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.1 เมตร ส่วนในเขตที่ไม่ค่อยมีการกัดเซาะ ค่อนข้างจะตีความยากขึ้น และความผิดพลาดถึง ± 0.5 เมตร หรือบางครั้งถึง ± 1 เมตร

เปลือก vermetid เป็นพวกแร่อาราโกไนต์ทั้งหมด และไม่ค่อยมีการปนเปื้อนจึงเหมาะที่จะเป็นตัวบ่งชี้ระดับน้ำทะเลที่ดี ตระกูล Vermetidae สัมพันธ์กับ Turritellidae บางครั้งดูเหมือนหอยทะเล โดยสามารถแยกเป็น 2 genera ที่สำคัญ คือ *Dendropoma* (Novastoa) และ *Petalonchus* (Macrophragma)

พวก Colonial Vermetids เป็นสัตว์น้ำอ่อน พบได้ทั่วไปในเขตอบอุ่น และกึ่งอบอุ่น หรือโดยประมาณที่ 35 องศาเหนือ ถึง 75 องศาใต้ หรือบางครั้ง 40 องศา ขึ้นกับสภาพระบบการหมุนเวียนของกระแสน้ำอ่อนในทะเล ไม่พบในสภาวะแวดล้อมที่เป็นขากทะเล (estuary) และในที่ลุ่มราบน้ำขึ้น (tidal flat)

ข้อควรระวังในการศึกษา Vermetid ในภาคสนาม

Vermetids สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลได้ โดย Vermetids พบในชายฝั่งที่เป็นลานหิน ไม่พบในขากทะเล หรือเขตน้ำกร่อย เพราะมันไม่ทนต่อความเค็ม ปัญหาที่มักพบบ่อย ๆ คือ จะรู้ได้อย่างไรว่า Vermetids ที่พบเป็น in situ ไม่ใช่ถูกพัดพาสะสมตัวอีกครั้ง (reworked) ซึ่งคำตอบก็คือ พวก Vermetid ที่มีการเชื่อมประสานที่แข็งแรงมาก ยึดเกาะติดกับหิน จะเป็นตัวบ่งชี้ที่ดี

และมักจะพบอยู่กับพวก calcareous shores เช่น เกาะอยู่ฐานของ marine notches แต่ก็เคยมีเศษ vermetids หลุดออกแล้วไปเกาะติดอยู่กับหินอื่น ๆ ซึ่งก็ควรให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ กรณีที่ใช้เป็นตัวบอกว่า vermetid เป็น in situ คือ ให้อูที่ thin incrustations ซึ่งสร้างโดย Dendropoma บน crystalline rocks จะมีรูปร่างค่อนข้างเป็นหลอดเล็ก ๆ ซึ่งเกาะติดอยู่กับ bedrocks พวกนี้เองจะเป็นพวก in situ

ข้อควรพิจารณาในการวัดความสูงของ Vermetids

1. ระดับของ vermetid เหนือ (หรือต่ำกว่า) ระดับน้ำทะเลปัจจุบันต้องได้จากค่าระดับระหว่างค่า upper limit ของ fossil biostrome และ ค่า upper limit of the living biostrome ในแนว vertical section เดียวกัน
2. หากไม่พบ vermetid ที่มีชีวิตกำลังเติบโตอยู่ ไม่แนะนำให้วัดระดับ แต่สามารถวัดความแตกต่างระหว่างระดับสูงสุดของซาก vermetid และสัตว์ทะเลอื่น ๆ ที่เติบโตในบริเวณนั้น เช่นพวกเพรียง (barnacles) หรือพวกสาหร่ายสีน้ำตาล
3. หลีกเลี่ยงที่จะวัดระดับในบริเวณคลื่นแรง ๆ เพราะมีความเป็นไปได้ที่จะมีการกัดเซาะมาก
4. ในเขตที่มีกำบังคลื่นลม (zone of relative shelter) พวก vermetid จะเกาะกันเป็นชั้นบาง ๆ โดยเฉพาะบริเวณที่เป็น notches จะให้ค่าความถูกต้องสูงกว่าบริเวณอื่นๆ

ปัญหาในการนำตัวอย่างมาหาอายุโดย C-14 มีไม่มากนัก เนื่องจากเปลือกของ vermetid จะมีแร่แคลไซต์น้อยมาก (2-3 %) สามารถใช้ Sodium hypochlorite ละลายซากอินทรีย์วัตถุ (organic matter) หลังจากนั้นก็จะทำให้แตกเป็นเม็ดเล็ก ๆ ล้างน้ำแล้วปล่อยไว้ 24 ถึง 48 ชม. ในสารละลาย H_2O_2 ที่ 70 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดพวก algal limestone หลังจากนั้นก็แยกเอา fragment ออกก่อนที่จะละลายใน phosphonic acid (วิธีของ Thommeret และคณะ ปี ค.ศ. 1981)

ค่าความผิดพลาดในการใช้ vermetids เป็นตัวบ่งชี้ว่าจะมาจาก

1. ใช้ระดับอื่น ๆ นอกเหนือไปจากระดับสูงสุดที่ vermetids มีชีวิตอยู่
2. การเปรียบเทียบค่าระดับความสูงของซาก vermetid และ vermetid ปัจจุบัน ในสภาพน้ำนิ่งและน้ำไม่นิ่ง อาจผิดพลาดได้
3. วัดจากบริเวณที่เป็นบริเวณที่มีพลังงานคลื่นสูง ซึ่ง vermetids สามารถเติบโตได้ใน splash pools ซึ่งจะสูงกว่าระดับปกติของระดับที่มีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน
4. ใช้พวกที่หลุดออกจากผนังหิน หรือพวกที่เกิดการพอกตัวใหม่ หรือถูกพัดพา
5. ในการเก็บตัวอย่างมาหาอายุ ควรได้ตัวอย่างที่เป็น homogeneity คือ เอาวัตถุอื่น ๆ ออกหมด (โดยเฉพาะพวกเพรียง มักเติบโตกับ vermetids)

6. ในบริเวณขอบของอ่างน้ำขังที่พวก vermetid และสาหร่ายทะเล อาจเกิดได้สูงกว่าระดับปกติเล็กน้อย อาจจะมีการกัดเซาะทำให้อ่างน้ำขัง ไม่มีน้ำขัง vermetid และสาหร่ายจะตาย และเกิดเป็นแนวกราบซึ่งจะทำให้มองเห็นเป็นระดับของซาก vermetid ได้
7. ในบริเวณที่มีสิ่งก่อสร้างที่กระทบต่อระดับน้ำขึ้นน้ำลง เช่น เขื่อนในบริเวณปากแม่น้ำหรืออ่าว ซึ่งจะกระทบต่อการกระจายตัวของกลุ่มสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ได้

กล่าวโดยสรุป vermetid สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลได้โดยเฉพาะหากวิเคราะห์จากบริเวณรอยเว้าในหิน (notches) โดยในการศึกษาภาคสนาม และในห้องปฏิบัติการ ควรจะมีทีมผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วยนักธรณีวิทยา หรือธรณีฐานวิทยา นักสมุทรศาสตร์ นักชีววิทยาหรือแม้กระทั่งผู้เชี่ยวชาญในการหาอายุได้มาช่วยวิเคราะห์ด้วย

8. รอยเว้าในหิน (Marine Notches)

รอยเว้าในหิน (Marine notch) เป็นร่องรอยที่เกิดจากการกัดเซาะจากน้ำทะเลในบริเวณพื้นที่ที่เป็นภูเขาหินชายทะเล ที่มีขนาดความลึกตั้งแต่ 2-3 เซนติเมตร ถึงหลายเมตร การที่จะใช้รอยเว้าเป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล สิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาก็คือ ระดับความลึกของรอยเว้า และเวลาที่รอยเว้าเกิด อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งรอยเว้าที่เกิดจากการกระทำของทะเลตามบริเวณที่เกิดโดยอาศัยช่วงน้ำขึ้นน้ำลงเป็น 3 ชนิด คือ

1. Infra-littoral zone (หรือ sub-littoral หรือ sub-tidal) มักเกิดขณะระดับน้ำทะเลท่วมอย่างต่อเนื่อง
2. Mid-littoral zone เกิดในสภาพที่น้ำขึ้นน้ำลง หรือคลื่นมาเป็นพัก ๆ ไม่ต่อเนื่อง ในพื้นที่ที่มีกำบัง (sheltered sites) นี้ประมาณว่าเป็น intertidal zone
3. Supra-littoral zone กรอบคลุมระดับสูงสุดที่อิทธิพลของทะเลจะขึ้นถึงเหนือระดับน้ำขึ้นสูงสุด ซึ่งมักพบสิ่งมีชีวิตพวกสาหร่าย (epilithic algae) และพวกหอยทาก (rasping snails) อยู่ด้วย

การเกิดรอยเว้า (notch formation)

พัฒนาการของรอยเว้า อาจเกิดจากหลาย ๆ กระบวนการ ประกอบด้วยกระบวนการทางเคมี ทางกายภาพ และทางชีวภาพประกอบกัน หรือเกิดจากการกัดเซาะโดยแรงคลื่น ส่วนในกรณีของกระบวนการทางกลศาสตร์ที่ทำให้เกิดรอยเว้านั้น จากงานวิจัยเก่าๆ ทั่วโลกยังไม่มีคำอธิบายที่ชัดเจนนัก อย่างไรก็ตามได้มีการให้คำนิยามใช้แทนกรณีของรอยเว้าที่เกิดจากการกัดเซาะของคลื่นว่า เป็น “sea corrosion” แทน

กระบวนการเกิดรอยเว้า อาจเกิดจากหลาย ๆ กระบวนการด้วยกัน ซึ่งโดยทั่วไปแยกเป็นรอยเว้าที่เกิดจากการละลาย (solution notch) และเกิดจากการกัดกร่อนจากสิ่งมีชีวิต (bio-erosion)

1. พวกที่เกิดจากการละลาย เป็นการละลายแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) โดยน้ำทะเล มักพบว่าเกิดในพวกหินปูนในช่วงน้ำขึ้น น้ำลง (tidal notch) หรือเรียกว่า “Dissolution processes” หรือเป็นการละลายที่เกิดจากน้ำฝน และน้ำใต้ดิน ก็อาจเป็นได้ โดยพบว่า tidal notches ไม่ได้พบเฉพาะในเขตอบอุ่น แต่พบใน เขตแห้งแล้งได้เหมือนกัน ดังเช่นในทะเลแดง หรือพบแม้ในกระทั้งใน mushroom rocks บนที่ลุ่มราบน้ำขึ้นถึง (tidal flats) รอบ ๆ แนวปะการัง (atolls) เป็นต้น
2. พวกที่เกิดจากการกัดกร่อนโดยสิ่งมีชีวิต (Bio-erosion) จะแสดงให้เห็นเป็นพื้นผิวที่เกิดจากการกัดเซาะจากพวกสาหร่าย ที่มักพบเกิดขึ้นในหินปูนในเขตน้ำขึ้นน้ำลง แต่อาจจะมิขนาดของการกัดเซาะไม่เท่าพวกที่เกิดจากการละลาย

การจำแนกชนิดรอยเว้า

1. รอยเว้าที่เกิดอยู่ระหว่างน้ำขึ้นน้ำลง แยกตามชนิดและตำแหน่งของการเกิดได้ 2 ชนิด คือ

1.1 รอยเว้าที่เกิดจากการละลายในช่วงน้ำขึ้นน้ำลง (tidal notches)

พบในเขตพื้นที่ที่ถูกกำบังคลื่นลม และที่ได้อิทธิพลโดยตรงในช่วงระดับน้ำขึ้นน้ำลง รอยเว้าชนิดนี้เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีและมักพบในหน้าผาชัน ส่วนล่างสุดของ notches (ที่เรียกว่า floor หรือ base) พบว่ามักจะเป็นตัวบอกขอบเขตของการกัดเซาะ เช่น โกลี ๆ กับจุดต่ำสุดของระดับน้ำลงต่ำสุด รูปร่างของ notches มักพบเป็นรูปตัววี (V) หรือตัวยู (U) โดยมีความลึกเข้าไปในหินมักแสดงว่าเกิดใกล้ช่วงระดับน้ำขึ้นน้ำลง ส่วนบนสุดของรอยเว้าจะเป็นหลังคายื่นออกมา (rock ledge) เรียกว่า “visor” และจุดสูงสุดของส่วนโค้งของรอยเว้าจะบอกจุดสูงสุดของระดับน้ำขึ้นสูงสุด

ในกรณีที่ระดับทะเล ขึ้น ๆ ลง ๆ 2 ครั้ง รูปร่างของ tidal notches อาจจะเป็นรูปคับเบิลยู (W-shaped) ได้ Tidal notches สามารถพบได้ทั้งในเกาะหินโค้ง (sea stacks) หรือแม้กระทั่งก้อนหินใหญ่ ๆ ที่พังทลายอยู่บริเวณชายฝั่ง

1.2 รอยเว้าที่เกิดจากการเซาะของคลื่นหัวแตก (Surf notches)

พบในเขตที่มีคลื่นแรง หรือได้รับผลกระทบจากการเซาะของคลื่นมาก ๆ สามารถพบได้ในระดับสูง 2 เมตร เหนือระดับน้ำขึ้นสูงสุดได้โดยรูปร่างของ surf notches มักไม่ค่อยสมคูล ความแตกต่างในเรื่องของความสูงของ tidal notches และ surf notches อาจจะมีมากกว่า 2 เมตร แต่ surf notches มักจะพบลานหินราบที่เกิดจากการกัดเซาะ (surf benches) มากกว่า และยังมีพวกอินทรีย์วัตถุเกิดขึ้นได้ บางครั้งต้องระวังความแตกต่างของซากบรรพชีวิน โดยเฉพาะใน reef flat

และใน surf benches ซึ่งทั้งคู่เกิดใน mid-littoral zone แต่ reef flat เกิดใน inter-tidal หรือในเขต sub-tidal ขณะที่ surf benches ที่ในประเทศแถบยุโรปเรียกว่า “Trottoirs” ซึ่งมักพบว่าล้อมรอบโดยพวก vermetids และพวกสาหร่าย พวก Trottoirs พบในระดับไม่เกิน 0.2 ถึง 0.4 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

2. รอยเว้าที่เกิดอยู่ใต้ระดับน้ำลง (Infra-littoral notches)

ดังที่กล่าวไปแล้วว่ากระบวนการทางชีวภาพ อาจจะทำให้เกิดการกัดกร่อนในบริเวณฐานของ tidal notches โดยมักขยายเขตการกัดกร่อนเข้าไปใน infra-littoral zone ได้ Infra-littoral notches เกิดอยู่ใต้น้ำ ซึ่งจะทำให้รูปร่างของ notches แตกต่างจาก tidal notches โดย notches ที่พบใต้น้ำทะเล เคยพบใน aeolianite rocks ในประเทศออสเตรเลีย ซึ่งสามารถบ่งบอกขอบเขตของ intertidal platforms ได้เรียก notches ว่า “submerged fossil tidal notches”

3. รอยเว้าที่อยู่เหนือระดับน้ำขึ้นสูงสุด (Supra-littoral notches)

มักพบในพวกหินอัคนีภูเขาไฟ (granular magmatic rocks) และหินทราย มักพบใกล้ ๆ กับ spray zone และบางครั้งพบเข้าไปในแผ่นดิน ที่นักวิจัยแถบยุโรปเรียกว่า “Tafoni” ความชันของหน้าผา (cliff slope) ก็เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการกัดเซาะของ sea-notches

4. รอยเว้าอื่น ๆ

1. รอยเว้าจากการขัดถูของตะกอน (Abrasion notches) เกิดจากการกัดเซาะจากพวกทราย หรือก้อนกรวดเล็กๆ ที่พัดเข้ามาขัดถู notches จะทำให้พื้นผิวของหินราบเรียบและเป็นมันวาวซึ่งแตกต่างจาก corrosion surface ที่เป็นหลุมไม่ราบเรียบ มักพบในเขต surf zones หรือ zone

รอยเว้าที่เกิดในโครงสร้างที่แตกต่างของหิน (Structural notches) มักพบในพวกหินที่มีการวางตัวในแนวขนาน (horizontal beds) ที่มีการสลับกันของชั้นหินแข็งและอ่อนสลับกัน โดยเฉพาะพวกหินตะกอนเม็ด การกัดเซาะอาจเกิดในรอยแตกที่เป็นระบบ (joints) โดยการกัดเซาะอาจจะทำให้ดูเหมือนว่าเป็นรอยเว้าได้

บทสรุป ของการวิเคราะห์รอยเว้าในหิน

1. รอยเว้าที่เกิดในช่วงน้ำขึ้นน้ำลง (tidal notch) ที่ความสูงของส่วนโค้งรอยเว้าสัมพันธ์กับช่วงระดับน้ำขึ้นน้ำลง มักจะเกิดขณะน้ำระดับน้ำทะเลลงที่
2. รอยเว้าที่เกิดในช่วงน้ำขึ้นน้ำลง (tidal notch) ที่ฐานไม่ถูกการกัดเซาะ บอกถึงว่าเกิดขึ้นเร็วกว่า tidal range ในทำนองเดียวกัน submerged notch ที่ลึกลง (visor) ไม่ถูกเปลี่ยนแปลง แสดงว่าการ submergence เร็วกว่า และมากกว่า tidal range

3. รอยเว้าที่เกิดขึ้นในช่วงน้ำขึ้นน้ำลง (tidal notch) ที่ขนาดความสูงน้อยกว่า tidal range บอกถึงว่ามีการเปลี่ยนแปลง tidal amplitude
4. พื้นที่ที่มีการเคลื่อนตัวของแผ่นดินในแนวดิ่ง ทั้งในช่วงระดับน้ำขึ้น น้ำลงรวดเร็วหรือช้าๆ รอยเว้าอาจจะเกิดได้ในสภาพทั้งคู่ และต้องใช้ตัวบ่งชี้ชีวภาพอื่นๆ มาช่วยวิเคราะห์ว่ามีการเคลื่อนตัวช้าหรือเร็ว

การกำหนดอายุรอยเว้า

หากสามารถคำนวณอัตราการกัดเซาะในบริเวณใดๆ ได้ การจะใช้ notches เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลก็สามารถทำได้ โดยอาจจะเป็นตัวกำหนดระยะเวลาที่น้ำทะเลคงที่อยู่ หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของระดับน้ำทะเล จากงานวิจัยเก่าๆ สรุปว่า สามารถทำได้ไม่มีปัญหาอะไร แต่หากคำนวณไม่ได้ ต้องใช้ลักษณะหรือหลักฐานอื่นมาช่วยในการกำหนดอายุ ได้แก่

1. หลักฐานทางชีวภาพพวกซากสัตว์ทะเล (Marine organism) เช่น พวก Vermetids (Dendropoma, Petaloconchus) calcareous algae (Lithophyllum, Porolithon, Neogoniolithon) หรือเพรียง (barnacles) แต่ก็ควรพิจารณาให้ดีว่า ตัวอย่าง organisms ที่ได้ เกิดขณะ หรือหลังจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล
2. การสะสมตัวของพืชในฐานของรอยเว้าอาจมีพวกซากชีวิต ที่สามารถกำหนดอายุได้โดย การบอน 14 หรือวิธีทางบรรพชีวินวิทยาได้ ในกรณีนี้ระดับทะเลเดิม อาจจะสามารถหาอายุได้จาก organic material ที่อยู่ใน beach rock แต่ก็ต้องระวังการสะสมตัวใหม่ด้วย ตัวอย่างเช่น Thiramongkol (ปี ค.ศ. 1983) ได้หาอายุของซากเปลือกหอยนางรมที่เกาะอยู่ตามผนังรอยเว้า บริเวณจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ได้อายุประมาณ 5,500 ปี

บทที่ 3

บทการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

(Analysis result in rate of coastal change in the coastal areas)

3.1 บทนำ (Introduction)

การกัดเซาะชายฝั่งโดยปกติจะหมายถึง การสูญเสียพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลสาเหตุจากปัจจัยหลายประการในธรรมชาติ โดยเฉพาะการกัดเซาะที่เกิดจากพายุคลื่นลมแรงซึ่งมักจะทำให้ตะกอนหรือพื้นที่หน้าหาดหายไป อย่างไรก็ตาม โดยธรรมชาติของการหมุนเวียนตะกอนในบริเวณชายฝั่งจะเห็นว่าตะกอนได้ถูกพัดพามาจากแหล่งตะกอนบนบกและตะกอนทะเลโดยกระแสน้ำขนานชายฝั่ง (Longshore current) และอาจจะมีการเคลื่อนตัวของตะกอนไปยังตำแหน่งอื่น ฉะนั้นความเข้าใจและการติดตามการหมุนเวียนตะกอนหน้าหาด (Shoreface sediment) ในแต่ละช่วงเวลา มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งก่อนที่จะสรุปว่าในพื้นที่ต่างๆ มีการสูญเสียหรือถูกกัดเซาะในปริมาณเชิงพื้นที่เท่าใด

โครงการนี้ได้ทำการทดลองปักหมุดหลัก (Reference point) เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ทั้งในแนวดิ่งและแนวระนาบ โดยอยู่บนสมมติฐานที่ว่า การหมุนเวียนของตะกอนในรอบปีมีทั้งการนำพาตะกอนไปสะสมตัวในบริเวณอื่นจากแหล่งเดิมและมีการทดแทนตะกอนจากแหล่งตะกอนในแต่ละช่วงเวลาในรอบปี โดยผลจากการวัดระดับชายฝั่งทั้งในแนวดิ่งและแนวระดับในพื้นที่ที่เลือกมาศึกษา ระดับรายละเอียดซึ่งเป็นพื้นที่ที่ผู้วิจัยและนักวิจัยที่ปรึกษาได้ร่วมกันพิจารณาแล้วว่าน่าจะเหมาะสมสำหรับการศึกษาสมมูลของตะกอนหน้าหาด พบว่า สมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ดังกล่าว เป็นความจริง โดยมีการหมุนเวียนของตะกอนในรอบปีอย่างชัดเจน ฉะนั้น ในการคำนวณอัตราการกัดเซาะและการสะสมตัวจึงทำได้ไม่ยากนัก และในบางพื้นที่ที่ได้มีงานวิจัยเก่านั้น เป็นพื้นที่ที่ถูกการกัดเซาะอย่างรุนแรง จำจะต้องทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในคาบเวลาต่างๆ กันในระยะยาวซึ่งจะทำให้การคำนวณการเปลี่ยนแปลงเชิงการกัดเซาะชายฝั่งมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น

พื้นที่ที่ได้ทำการเลือกศึกษาอย่างละเอียดในโครงการวิจัยนี้ คือ พื้นที่บริเวณตอนใต้ของปากน้ำประจวบบุรี พื้นที่อ่าวประจวบคีรีขันธ์ และพื้นที่บริเวณหาดวนกร ด้วยเหตุผลที่ว่า เป็นพื้นที่ต่อเนื่องกันทั้งสามบริเวณและมีลักษณะทางธรณีสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะในเรื่องของรูปร่างของหาด ตำแหน่งของแหล่งตะกอนที่จะนำพามาสะสมตัวหน้าหาด ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลระยะไกล ได้แก่ ภาพถ่ายทางอากาศเป็นหลักก่อนที่จะทำการศึกษาในภาคสนาม รวมถึงผู้วิจัยเองได้ศึกษาหลักฐานการ

เปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลทางกายภาพไว้แล้ว. ทำให้ข้อมูลการวิเคราะห์ในภาพรวมสามารถนำมาเสริมและช่วยวิเคราะห์ถึงอัตราการสะสมตัวและการหมุนเวียนตะกอนได้เป็นอย่างดี



..... ขอบเขตตะกอนปากคลองบางนางรม เมื่อ 20 พ.ย. 2546

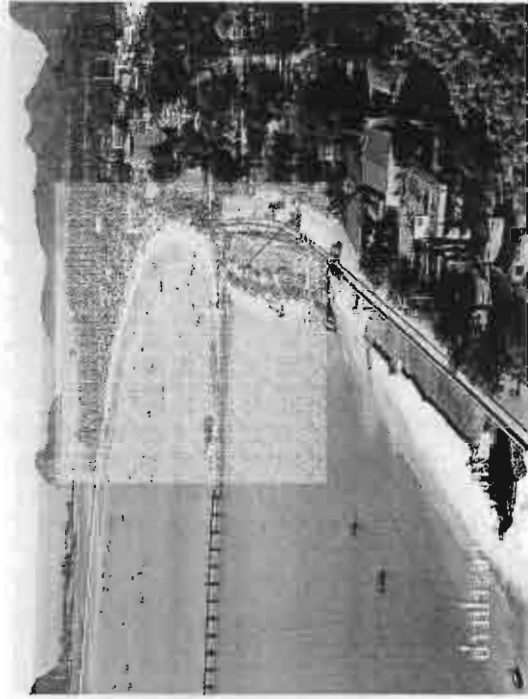
..... ขอบเขตตะกอนปากคลองบางนางรม เมื่อ 5 มี.ค. 2547

..... ขอบเขตตะกอนปากคลองบางนางรม เมื่อ 10 พ.ค. 2548

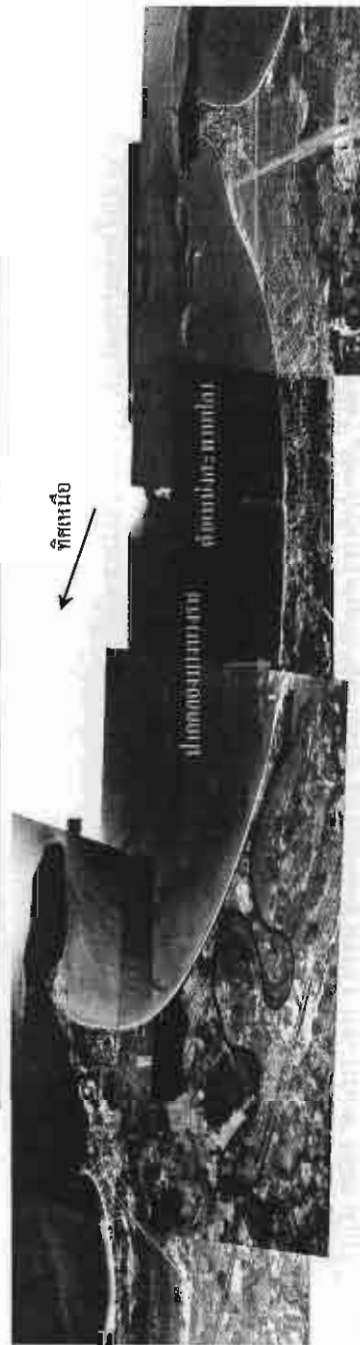
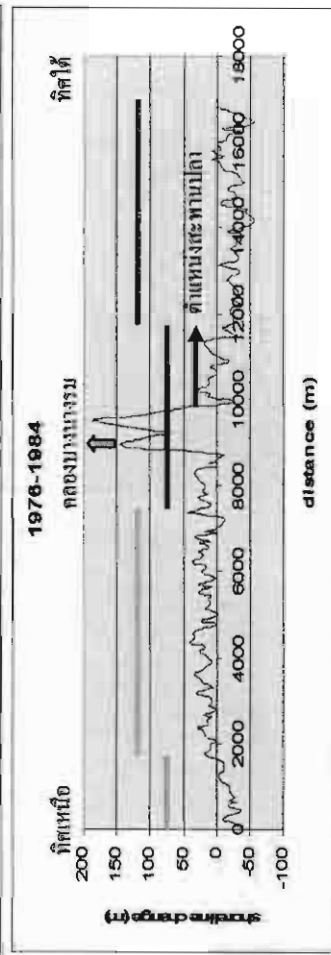
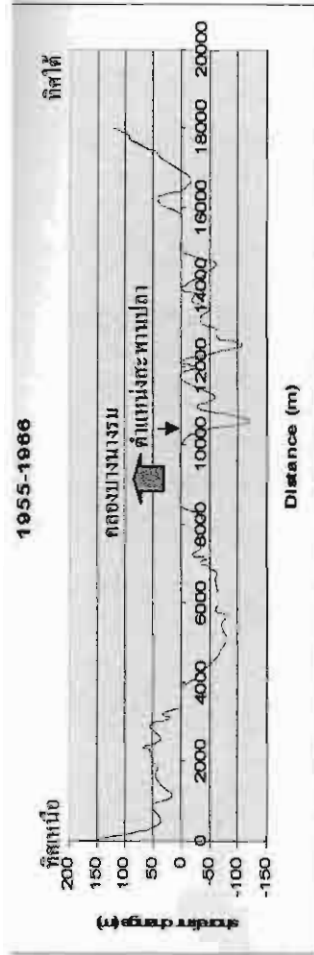
รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายมุมสูงเปรียบเทียบขอบเขตของตะกอนบริเวณปากคลองบางนางรม (Tidal inlet/outlet channel) ตอนกลางของอ่าวประจวบคีรีขันธ์ ที่บันทึกภาพในขณะน้ำลงต่ำสุด เส้นประสีสีแดงแสดงขอบเขตของตะกอน (Tidal delta sediment) เมื่อปี 2546 ที่เหลือแสดงขอบเขตของตะกอนเมื่อปี 2547 และสีน้ำเงินเป็นขอบเขตของตะกอนเมื่อปี 2548 จะเห็นว่า คลองบางนางรม เป็นเส้นทางที่ตะกอนบก (Terrestrial sediments) จะถูกพัดพาออกมาสะสมตัวในบริเวณชายหาดประจวบคีรีขันธ์ โดยจากการพอกตัวของตะกอนแสดงถึงปริมาณตะกอน (Sediment gain) ถูกพัดพานำมาสะสมตัวในบริเวณชายหาดอย่างต่อเนื่อง (ถูกครีเสื่อแสดงแนวการพอกตัวของตะกอนปากคลองจากปี 2546 ถึงปี 2547 และสีฟ้าแสดงการพอกตัวจากปี 2547 ถึง 2548) อย่างไรก็ตาม การกัดเซาะได้เกิดขึ้นบ้างในบริเวณตอนใต้ของอ่าวประจวบคีรีขันธ์ซึ่งจากการวัดระดับแนวชายฝั่งพบว่าเมื่ออัตราการกัดเซาะในรอบปีไม่มาก โดยการกัดเซาะหน้าหาดมักเกิดจากช่วงมรสุมหรือมีพายุ และมีการหมุนเวียนของตะกอนจากทะเลเข้ามาสะสมตัวบ้าง โดยกระแสน้ำวนกับชายฝั่ง (Longshore drift)



รูปที่ 3.2 รูปแบบการพอกตัวของตะกอนปากคลองบางนางรม (Pattern of tidal delta sediment) มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในรอบสองปี โดยรูปทั้งสองบันทึกเมื่อระดับน้ำลดต่ำสุด รูปด้านซ้ายบันทึกเมื่อ 20 พ.ย. 2546 ซึ่งจะเห็นแนวการพัดพาของตะกอนออกมาจากคลองชัดเจน และการพัดพายังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและด้วยกระแสน้ำขนายฝั่ง (Longshore current) เริ่มมีอิทธิพลต่อการนำตะกอนไปสะสมตัวขนานชายฝั่ง (Littoral drift) จึงทำให้รูปร่างของตะกอนปากคลองเปลี่ยนไปโดยเริ่มปรับรูปแบบแผ่ออกขนานกับชายฝั่งมากขึ้น (รูปด้านขวามือบันทึกภาพเมื่อ 10 พ.ค. 2548) จากลักษณะรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของตะกอนปากคลองนี้ สามารถยืนยันระบบการหมุนเวียนตะกอนที่มีทั้งการสะสมตัว (Deposition) และการนำตะกอนไปสะสมตัวจากแหล่งตะกอน (Longshore drift) ในบริเวณชายหาดว่าประจวบคีรีขันธ์ได้เป็นอย่างดีคือ วัฏจักรการคิดตามระบบการหมุนเวียนตะกอนในอนาคตเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งที่จะทำให้เข้าใจสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่แท้จริงและคงไม่ใช้เฉพาะพื้นที่นี้เท่านั้น



รูปที่ 3.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการสะสมตัวของตะกอนโดยการสร้างสิ่งกีดขวางที่เป็นท่าเรือและสะพานปลาออกไปในทะเลบริเวณตอนกลางอ่าวประจวบคีรีขันธ์ รูปทั้งสองถ่ายไปทางด้านใต้ โดยรูปซ้ายเป็นภาพมุมสูงบริเวณกว้างบันทึกเมื่อ 20 พ.ย. 2546 และรูปขวาเป็นภาพขยายจากรูปซ้าย (กรอบสี่ฟ้าอ่อน) บันทึกเมื่อ 10 พ.ค. 2548 แสดงการพอกตัวของตะกอนด้านใต้ของสะพานปลาเพิ่มมากขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นถึงทิศทางการพัดพาของกระแสน้ำขนานชายฝั่งที่เกิดขึ้นมาทางด้านเหนือของอ่าวประจวบคีรีขันธ์และสะพานปลาเป็นเหมือนแนวกำแพงกักตะกอนไว้ให้มาสะสมตัวเฉพาะบริเวณตอนใต้ของสะพาน (ตำแหน่งที่ลูกศรสีฟ้าชี้) จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศในบริเวณอ่าวประจวบคีรีขันธ์ (ดูรูปถัดไปประกอบ) ก่อนการสร้างสะพานปลาพบว่าทางตอนใต้ของอ่าว มีการเคลื่อนย้ายตัวของตะกอนไปทางทิศเหนือทำให้เกิดการกัดเซาะบ้าง (แนวเส้นประสีแดง) แต่ภายหลังที่มีสะพานปลาแล้ว การกัดเซาะด้านใต้ของอ่าวลดลง แต่ความสมดุลของระบบการสะสมตัวของตะกอนตลอดทั้งอ่าวมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยจะเห็นว่ามิโอการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของการสูญเสียดตะกอนหน้าหาด (ลูกศรสีแดง) ฉะนั้นการติดตามระบบการหมุนเวียนของตะกอนก็ยังเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อวิเคราะห์อัตราการสะสมตัวและเคลื่อนย้ายตะกอนในระยะยาวต่อไป



รูปที่ 3.4 แสดงการคำนวณอัตราการสะสมตัวและการกัดเซาะชายฝั่งในบริเวณอ่าวประจวบคีรีขันธ์ โดยแบ่งการคำนวณเป็น 4 พื้นที่ย่อย (ตามที่เห็นที่ปรากฏในกราฟรูปร่าง) เปรียบเทียบกันระหว่างปี ค.ศ. 1955-1966 (กราฟรูปบน) ระหว่างปี ค.ศ. 1976-1984 (กราฟรูปร่าง) และรูปถ่ายทางอากาศปี ค.ศ. 1996 บริเวณดังกล่าว (รูปร่าง) จากเส้นกราฟแสดงตำแหน่งของแนวชายฝั่ง (ระดับ 0 เป็นชายฝั่งที่ปรับแก้ให้เป็นแนวชายฝั่งทะเลด้วยวิธีระดับปานกลางปกติ) จะเห็นว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งไม่แน่นอนแม้ว่าจะเป็นการคำนวณด้วยวิธีการสะสมตัวและกัดเซาะในแต่ละช่วงเวลาจะไม่เท่ากัน สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของอัตราการสะสมตัวและการกัดเซาะ โดยเฉพาะการกัดเซาะของบางพื้นที่เป็นจุดแบ่งพื้นที่ได้ ของอ่าว พบว่า ลอยเหนือของอ่าว จะมีการกัดเซาะเกิดขึ้น (แนวเส้นสีน้ำเงิน) อย่างไรก็ตามจากการคำนวณที่ได้จะพบว่า ในพื้นที่ตอนกลางที่มีสะพานปลา อัตราการสะสมตัวของตะกอนภายหลังจากการสร้างสะพานปลาเปลี่ยนไปมาก อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในเรื่องของการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลรูปถ่ายทางอากาศมีหลายประเด็นที่ควรระวัง (ผู้วิจัยได้เสนอแนะรายละเอียดในบทที่ 5)



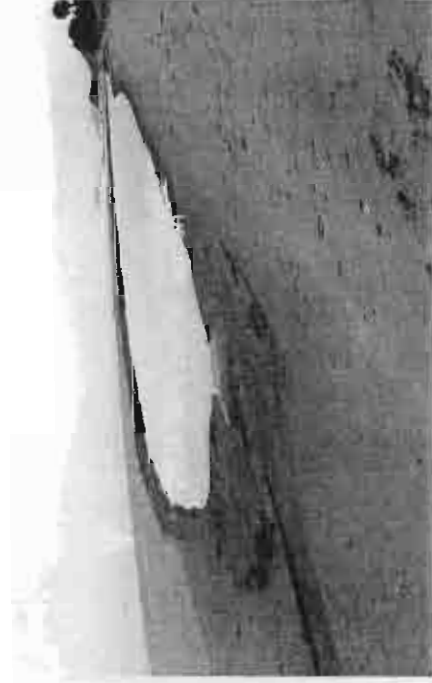
รูปที่ 3.5 แสดงการเคลื่อนตัวของตะกอนสันทรายได้น้ำที่ไหลให้เห็นขณะน้ำลงต่ำสุด ทั้งสองภาพถ่ายไปทางทิศใต้ของอ่าวประจวบคีรีขันธ์ จากภาพถ่ายจะเห็นว่าสันทรายได้น้ำปรากฏให้เห็นเมื่อ 20 พ.ย. 2546 ได้เคลื่อนตัวไปตามกระแสน้ำขนานชายฝั่งไปในทิศเหนือ (Longshore drift แสดงโดยลูกศรสีฟ้าในรูปขวา) ซึ่งการเคลื่อนตัวของตะกอนสันทรายได้น้ำทำให้เกิดแนวสันทรายใหม่อย่างชัดเจน แนวสันประจวบคีรีขันธ์แสดงขอบเขตสันทรายได้น้ำเมื่อปี 2546 (ภาพขวามือเมื่อ 10 พ.ค. 2548) ประกอบกับการสะสมตัวของตะกอนจากปากคลองบางนางรมซึ่งเป็นแหล่งตะกอนบกในบริเวณอ่าวประจวบคีรีขันธ์จึงทำให้ปริมาณตะกอนมากขึ้น จากขนาดของสันทรายได้น้ำและลักษณะทางตะกอนวิทยาแสดงถึงแหล่งที่มาของตะกอนบก (Terrestrial source) มีปริมาณมากกว่าตะกอนจากทะเล (Offshore source)



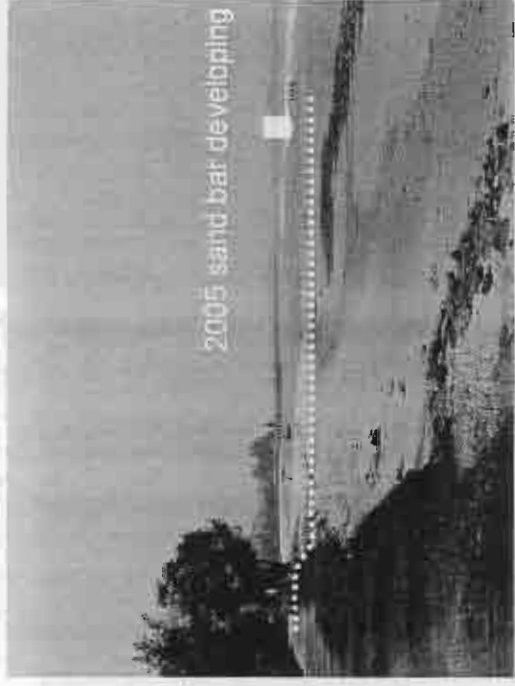
รูปที่ 3.6 แสดงระบบการเคลื่อนตัวของตะกอนในบริเวณตอนใต้ของปากน้ำปราณบุรี ด้านหน้าของ Avason resort จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่ได้ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลในช่วงสองปี โดยรูปซ้ายบันทึกภาพขณะน้ำขึ้นสูงสุดของวันที่ 20 พ.ย. 2546 ซึ่งแนวเส้นประสีขาวยแสดงแนวสันเขื่อนปัจจุบัน ในขณะที่น้ำทะเลขึ้นสูงสุดจะเห็นการกัดเซาะจากคลื่นปกค้อย่างชัดเจน รูปขวามันหักเมื่อวันที่ 10 พ.ค. 2548 ในขณะที่น้ำลงต่ำสุด จะเห็นว่า แนวหาดตะกอนได้เพิ่มขึ้นจากแนวสันสีขาวของปี 2547 ไปเป็นแนวเส้นสีเหลืองของปี 2548 แต่ในการวิเคราะห์ดังกล่าวต้องใช้ความระมัดระวังในเรื่องเวลาของข้อมูลเพราะจะเห็นว่ามีการสะสมตัวเพิ่มขึ้นมากซึ่งตะกอนหน้าหาดอาจจะเป็นตะกอนเดิมอยู่แล้วแต่ไหลขึ้นมาให้เห็นขณะน้ำลงต่ำสุด ฉะนั้นในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตะกอนว่าสะสมตัวหรือถูกกัดเซาะมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปรับแนวชายฝั่งให้อยู่ในระดับน้ำทะเลปานกลางหรือหากจะเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงก็ควรจะใช้ระดับใดระดับหนึ่งให้เหมือนกัน อย่างไรก็ตาม ในโครงการวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองวัดระดับสูงต่ำ และระยะทางในแนวราบของพื้นที่หน้าหาดในรอบปีเพื่อศึกษาระบบการหมุนเวียนของตะกอนในแต่ละฤดูกาลพบว่า ในระหว่างเดือนกันยายน ถึงพฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีมรสุมมักจะพบการเคลื่อนย้ายของตะกอนในปริมาณมากซึ่งบางแห่งเกิดการกัดเซาะหน้าหาดเสียหาย แต่ก็พบปัจจัยทางกายภาพอื่นที่เป็นตัวควบคุมอัตราการกัดเซาะร่วมด้วย เช่น ปริมาณตะกอนบ่อที่พัดพาสู่ทะเล ความชันหน้าหาด (Shoreface slope) และทิศทางของกระแสขนานชายฝั่ง (Longshore current direction)



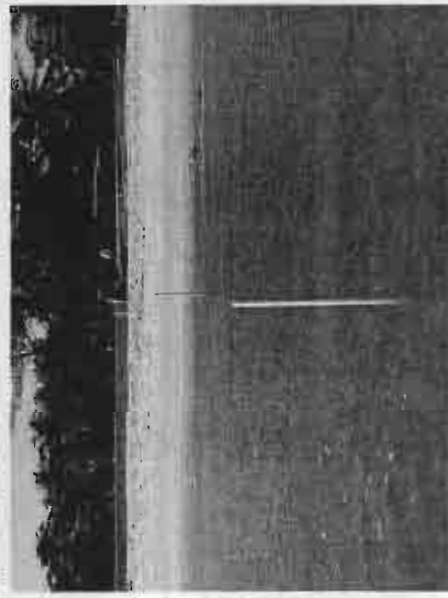
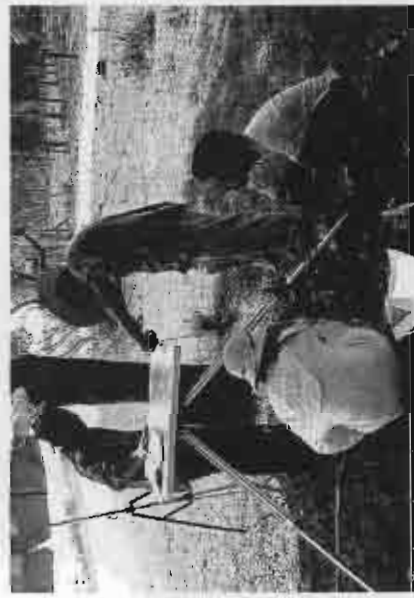
รูปที่ 3.7 แสดงรูปแบบการพอกตัวของตะกอนหน้าหาดตอนใต้ของปากน้ำปราณบุรี รูปซ้ายเป็นรูปแบบการพอกตัวแบบแหลม
งอกรูปสามเหลี่ยม (Cusped beach sand) บันทึกภาพเมื่อ 20 พ.ย. 2546 ในขณะที่น้ำทะเลลดต่ำสุด จะเห็นการพอกตัวของแนวสัน
ทรายที่เกิดจากการสะสมตะกอนชายฝั่งไหลไปทางเหนือ (North longshore current) และในรูปขวาเป็นการพัฒนาการของแนวสัน
ทรายได้น้ำที่ไหลเข้ามาให้เห็น (Emerged sand bar) ในขณะน้ำลดต่ำสุดของวันที่ 10 พ.ค. 2548 ภายหลังเกิดบิวดินที่ราบลุ่มให้
กลายเป็นทะเลสาบเล็กๆ (Back barrier lagoon) จากรูปแบบการพัฒนาการของตะกอนและธรณีสัณฐานชายฝั่งลักษณะนี้รวมถึง
การพัดล่องวัตรระดับพื้นที่ในคาบปีจะเห็นว่า การสะสมตัวมีมากกว่าการกัดเซาะ และการกัดเซาะจะเกิดในช่วงฤดูมรสุมที่คลื่นลม
ทะเลแรงมาก ๆ เท่านั้น ซึ่งจากรายงานเก่าที่มีผู้เชี่ยวชาญไว้พบว่า ในบริเวณนี้ถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่กัดเซาะรุนแรงถึง 3-5 เมตร
ต่อปี จากลักษณะการหมุนเวียนของตะกอนที่ได้จากข้อมูลใน โครงการนี้พบว่า การกัดเซาะไม่ได้รุนแรงและพื้นที่ที่ไม่ได้สูญ
หายไปมากอย่างที่เคยมีรายงานไว้ อย่างไรก็ตามการติดตามการเปลี่ยนแปลงในเรื่องการหมุนเวียนตะกอนยังเป็นเรื่องที่จำเป็นและ
ควรจะศึกษาในระยะยาวต่อไป



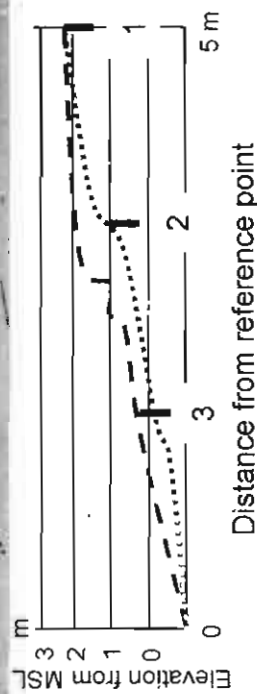
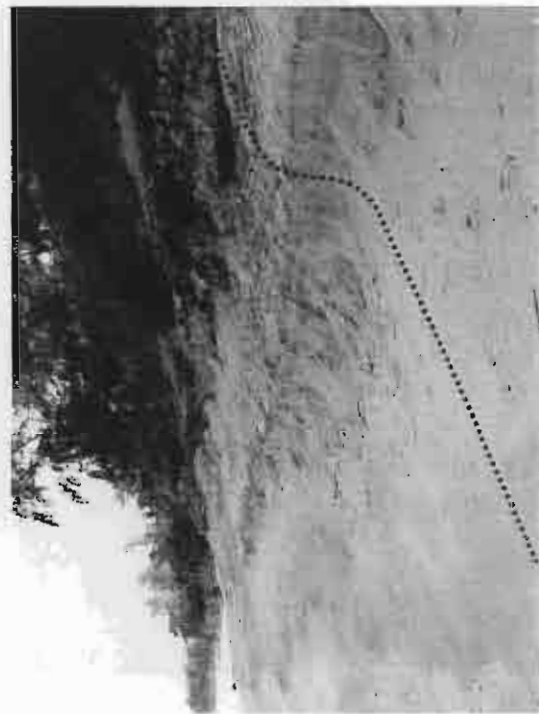
รูปที่ 3.8 แสดงการขยายขนาดของหาดทรายในบริเวณตอนใต้ของปากน้ำปราณบุรี ทั้งสองรูปบันทึกขณะน้ำทะเลลดลงต่ำสุดรูปซ้ายบันทึกเมื่อวันที่ 5 มีนาคม 2547 จะเห็นพัฒนาการของแนวสันดอนทราย (Sand barrier) อย่างชัดเจนบริเวณที่กลุ่มคำหลังแนวสันทราย (Back barrier lagoon) ในขณะที่รูปด้านขวาทากเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2548 ในตำแหน่งเดียวกันกับรูปซ้ายจะเห็นการออกตัวมากของแนวสันดอนทรายและขนาดของ back barrier lagoon ได้ลดลงบ้างแต่ก็ยังเห็นร่องรอยได้ชัดเจน ทิศทางการพัฒนาของหาดในบริเวณนี้ในรอบปีจะเห็นว่ามีการสะสมตัวจากกระแสน้ำขนานชายฝั่งที่ไหลไปทางทิศเหนือเป็นหลัก ซึ่งแหล่งที่มาของตะกอนในบริเวณนี้คาดว่ามาจากแหล่งตะกอนที่เป็นปากคลองเขากะโหลกด้านใต้ของพื้นที่ และส่วนหนึ่งมาจากตะกอนทะเล อย่างไรก็ตามในฤดูพายุคลื่นลมแรงก็ยังมีผลทำให้เกิดการสูญเสียตะกอนในบริเวณนี้ จากรูปถ่ายทางอากาศจะพบชุดแนวสันทรายที่พอกตัวไปในทิศทางเดียวกัน (Series of beach ridges and barriers) ถูกตัดขาด (Truncated barriers) และมีการพอกตัวใหม่อย่างต่อเนื่อง (ดูรูปถ่ายทางอากาศประกอบ) ซึ่งจากลักษณะ Truncated barriers นี้แสดงการกัดเซาะอย่างรุนแรงในอดีตอย่างน้อยสามครั้งซึ่งหลักฐานการตัดขาดของชุดแนวสันทรายนี้เองที่อาจจะบันทึกข้อมูลพายุครั้งรุนแรงได้ในอดีตที่น่าจะต้องทำการศึกษาค้นต่อไปในอนาคต



รูปที่ 3.9 แสดงแนวการวัดระดับพื้นที่บริเวณตอนใต้ของปากน้ำปราณบุรี (แนวเส้นสีขาว) เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในรอบปี จากรูปซ้ายบันทึกเมื่อ 30 สิงหาคม 2546 และรูปขวาแสดงปริมาณตะกอนที่ทราย (Sand bar) เพิ่มขึ้นบันทึกภาพเมื่อวันที่ 30 เมษายน 2548 ขณะน้ำลงต่ำสุด จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงบริเวณหน้าหาด (Shoreface) ในรอบปีมีทั้งการสูญเสียตะกอนและการสะสมตัวแต่อัตราการสะสมตัวจะมากกว่าอัตราการกัดเซาะ (ดูรายละเอียดในส่วนผลการวัดระดับพื้นที่ประกอบ)



รูปที่ 3.10 แสดงการตั้งกล้องวัดระดับเพื่อปักหมุดหลัก เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ชายฝั่งจากภาคสนาม โดยจะทำการวัดระดับจากจุดกำหนดที่เป็นจุดอ้างอิง (reference point) ที่ตายตัวเพื่อคำนวณหาอัตราการสะสมตัว และการกัดเซาะในรอบปี



- ภาพตัดขวาง เมื่อ พ.ย. 2546
- ภาพตัดขวาง เมื่อ พ.ค. 2547
- ภาพตัดขวาง เมื่อ ก.ค. 2547

รูปที่ 3.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับตะกอนหน้าหาดจากบริเวณหาดวนกร จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ รูปภาพบนซ้าย บ้านทักเมื่อ พ.ย. 2546 และได้ทำการวัดระดับพื้นที่หน้าหาด (ดังแสดงในกราฟเส้นสีน้ำเงิน) รูปภาพบนขวา บ้านทักเมื่อ พ.ค. 2547 แสดงระดับตะกอนลดลงจากการวัดครั้งแรก (วงกลมสีขาวแสดงหลุมหลักที่หลงเหลืออยู่ที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการวัดระดับ ดังแสดงด้วยเส้นทึบสีดำและตัวเลขในกรอบสี่เหลี่ยมในภาพตัดขวาง) จากภาพตัดขวางแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของระดับตะกอนโดยมีการลดลงของระดับตะกอนหน้าหาดตามฤดูกาล โดยเฉพาะการลดลงจะเกิดอย่างมากในช่วงมรสุม หรือฤดูฝน อย่างไรก็ตาม การหมุนเวียนของตะกอนได้กลับเข้ามาสะสมตัวอีก ซึ่งแสดงให้เห็นการทดแทน โดยระบบหมุนเวียนตะกอนในธรรมชาติอยู่แล้ว ในบริเวณนี้จัดได้ว่าเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมในการวัดระดับการเปลี่ยนแปลงของตะกอนหน้าหาด เพราะเป็นลักษณะหาดตรงที่มีแนวตะกอนแข็งตัวของพวกตะกอนน้ำพา (Alluvial deposits) ทำให้เห็นการเพิ่มขึ้นและลดลงของตะกอนทรายอย่างชัดเจน



รูปที่ 3.12 แสดงระดับตะกอนหน้าหาดที่เปลี่ยนไป รูปซ้ายบันทึกเมื่อ พ.ศ. 2547 ส่วนรูปขวาบันทึกเมื่อ พ.ศ. 2548 แสดงการถดถอยระดับของตะกอนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในช่วงน้ำขึ้นน้ำลงปกติ (Normal tidal range) และจากทิศทางการสะสมตัวของตะกอน (สังเกตจากโครงสร้างของตะกอน) พบว่า การสะสมตัวอยู่ในทิศทางจากใต้ไปทิศเหนือ ซึ่งแสดงให้เห็นการสะสมตัวและการนำพาตะกอนไปจากหน้าหาดจากกระแสน้ำขนชายฝั่ง (Longshore current) อย่างไรก็ตาม อัตราการหมุนเวียนของตะกอนนอกจากจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักคือ การพัดพาของกระแสน้ำขนชายฝั่งแล้ว ยังขึ้นอยู่กับระดับช่วงของน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal range) ความชันหน้าหาด (Shoreface slope) และแหล่งที่มาของตะกอน (Sediment source) ในระบบการหมุนเวียนของตะกอนดังกล่าวจำเป็นต้องศึกษาความสามารถในเชิงพื้นที่ที่จะกักเก็บตะกอน (Accommodation space) ในแต่ละพื้นที่ด้วย



รูปที่ 3.13 ชนิดของตะกอนหน้าหาดก็เป็นอีกหลักฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบการหมุนเวียนของตะกอน ได้เป็นอย่างดีจะเห็นได้จากรูปซ้ายที่มีแร่หนัก (Heavy minerals) สะสมตัวอยู่บริเวณหน้าหาด แสดงถึงแหล่งที่มาของตะกอน ในบริเวณนี้ก็คือ เป็นตะกอนที่หลุดมาจากชั้นตะกอนน้ำพาที่แข็งตัวแล้วซึ่งจากชนิดแร่ระบุได้ว่า เป็นตะกอนที่พัดพามาจากแหล่งหินแกรนิตหรือตะกอนแข็งที่จะล้างมาจากหินแกรนิต (Granite washed) ที่พบเป็นชั้นรองรับตะกอนทรายและแร่หนักบริเวณหน้าหาดนี้ จากการปรากฏของแร่หนักบนหน้าหาดแสดงถึงการพัดพาเอาตะกอนชนิดอื่น เช่น ทรายของแร่ควอตซ์ที่มีความกว้างเฉพาะน้อยกว่าออกไปจนเหลือแต่แร่หนักอย่างชัดเจน (ดังรูปขวาที่พบการสะสมตัวของแร่หนักอยู่ด้านล่างและแร่ควอตซ์อยู่ด้านบน) จะเห็นว่าลักษณะปรากฏของตะกอนทุกอย่างสามารถนำมาช่วยอธิบายกระบวนการหมุนเวียนตะกอนได้ในบริเวณนี้ผู้วิจัยได้ใช้คำว่า การหมุนเวียนตะกอน มากกว่าที่จะใช้การกัดเซาะชายฝั่ง ซึ่งเป็นข้อสังเกตหนึ่งที่ได้จากการวิจัยว่า การกัดเซาะไม่ได้เกิดในหลายๆ พื้นที่ที่เคยมีรายงานเก่าระบุไว้ และจำเป็นอยู่ที่จะต้องทำการเก็บข้อมูลภาคสนามอย่างละเอียดและต่อเนื่องก่อนที่จะสรุปในเชิงพื้นที่ว่ามีการกัดเซาะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด

บทที่ 4

การวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกกัดเซาะชายฝั่งจากสึนามิ

(Analysis in eroded areas by tsunami)

สึนามิเมื่อ 26 ธันวาคม 2547 นอกจากจะสร้างความเสียหายแก่ชีวิต และทรัพย์สิน เป็นจำนวนมากแล้ว ยังสร้างความเสียหายต่อทรัพยากรชายฝั่ง และทางธรณีวิทยากายภาพ โดยเฉพาะการกัดเซาะบริเวณชายฝั่งในพื้นที่จังหวัดต่างๆ จากการประเมินสภาพความเสียหายแล้ว จังหวัดพังงาได้รับความเสียหายในเรื่องการกัดเซาะชายฝั่งมากที่สุด อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในเรื่องการกัดเซาะชายฝั่งนี้ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องระมัดระวังเรื่องตัวแปรทางกายภาพและเรื่องของระยะเวลา ในที่นี้หมายถึง เวลาของการเปรียบเทียบเพื่อประเมินหาพื้นที่สูญหายจากสึนามิ ไม่ว่าจะใช้ข้อมูลจากระยะไกล เช่น ช่วงเวลาในการบันทึกภาพถ่ายจากดาวเทียม หรือรูปถ่ายทางอากาศ ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินเชิงพื้นที่ แต่อย่างน้อยที่สุด การเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ก่อนและหลังเกิดสึนามิ ก็ทำให้เราสามารถระบุตำแหน่งพื้นที่เสียหายได้ ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ร่วมกับคณะทำงานโครงการสึนามิจากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม สรุปและรวบรวมข้อมูล โดยเฉพาะภาพถ่ายดาวเทียมที่เผยแพร่จากแหล่งต่างๆ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางการศึกษาอย่างละเอียดในอนาคตพร้อมทั้งข้อควรระวัง ดังรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไป

4.1 การวิเคราะห์เชิงพื้นที่จากข้อมูลระยะไกล

ข้อมูลระยะไกลที่จัดได้ว่าเป็นข้อมูลที่สามารถได้มาด้วยความรวดเร็วมากที่สุด คือ ข้อมูลการบันทึกจากดาวเทียมที่โคจรรอบวงโคจรของโลก ซึ่งแม้ว่าจะไม่ได้ภาพที่บันทึกได้หลังเหตุการณ์โดยทันทีทันใดก็ตาม แต่ก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินตำแหน่งของพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะชายฝั่งได้จากข้อมูลดาวเทียมที่เปิดเผยออกมาหลังเหตุการณ์สึนามิ ดาวเทียมที่บันทึกภาพสึนามิได้ในจังหวะที่โคจรผ่านประเทศไทย คือ ดาวเทียม SPOT ซึ่งสามารถบันทึกภาพการเคลื่อนตัวของสึนามิได้ในอ่าวพังงา (ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในรายละเอียดเรื่อง การเคลื่อนตัวและทิศทางสึนามิ) ส่วนดาวเทียมดวงอื่นที่โคจรมาในช่วงสึนามิ คือ IKONOS และสามารถบันทึกภาพได้ในประเทศศรีลังกา ซึ่งจากรอบวงโคจรของดาวเทียมต่างๆ ที่จะย้อนกลับมาโคจรและบันทึกภาพพื้นที่ในเมืองไทยได้เร็วที่สุดก็คือ ดาวเทียม IKONOS ที่สามารถโคจรกลับมาบันทึกภาพในพื้นที่ประเทศไทยได้ในวันที่ 29 ธันวาคม 2547 และจากข้อมูลในหลายหน่วยงานภาพจากดาวเทียม IKONOS ที่บันทึกก่อนสึนามิ ในบริเวณตำแหน่งเดียวกัน ก็คือ

เมื่อ 13 มกราคม 2546 ที่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ก่อนและหลังสึนามิ ด้วยความแตกต่างกันในเรื่องของเวลาการบันทึกภาพ ทำให้การวิเคราะห์เชิงพื้นที่และการคำนวณพื้นที่สูญหายเป็นไปได้ไม่มากนัก ฉะนั้นในการคำนวณเชิงพื้นที่ สิ่งที่ต้องระวังและต้องนำมาพิจารณาก็คือ

1. ระยะเวลาารายเดือนของการบันทึกภาพ ต้องนำมาพิจารณาว่า เป็นการบันทึกภาพในฤดูกาลใด การกัดเซาะชายฝั่งเกิดขึ้นจากกระแสน้ำปกติหรือไม่ เช่น กระแสน้ำนานชายฝั่ง (Longshore current) โดยปกติจะทำให้เกิดการหมุนเวียนของตะกอนทั้งการสะสมตัวและการกัดเซาะอยู่แล้ว หรือหากภาพบันทึกในฤดูมรสุมซึ่งอาจจะมีการกัดเซาะเกิดขึ้นในบางบริเวณอยู่แล้ว ต้องนำมาหักลบค่าการกัดเซาะจากสึนามิด้วย
2. ระยะเวลาในการบันทึกภาพในแต่ละวัน ต้องนำมาพิจารณาดังเพราะว่า การขึ้นลงของระดับน้ำทะเลในรอบวันจะทำให้มองเห็นการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ต่างกัน ในกรณีที่ภาพบันทึกในช่วงน้ำลงต่ำสุด เราจะเห็นชายหาดกินบริเวณกว้างกว่าปกติ หรือหากภาพบันทึกได้ในช่วงน้ำขึ้นสูงสุด ก็จะทำให้เห็นพื้นที่ชายหาดน้อยกว่าปกติ ฉะนั้น การพิจารณาควรต้องปรับเปลี่ยนเส้นระดับน้ำทะเลให้เหมือนกัน โดยปกติจะปรับแก้ไขเส้นน้ำทะเลอยู่ในระดับเดียวกับระดับน้ำทะเลปานกลาง หรือมิฉะนั้นจะใช้ระดับลงต่ำสุด หรือขึ้นสูงสุดก็ให้ใช้เหมือนกันในการเปรียบเทียบภาพก่อนหลังเกิดสึนามิ
3. การตรงภาพหรือการปรับมาตราส่วนของภาพให้เท่ากัน มีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องทำการตรงภาพที่ได้จากการบันทึกของดาวเทียม หรือรูปถ่ายทางอากาศให้มีมาตราส่วนเท่ากัน แม้ในภาพเดียวกันก็อาจจะเกิดความไม่เท่ากันของระยะทางได้ (Distortion) ฉะนั้น ทางปรับแก้ที่ดีที่สุดคือ การตรวจสอบตำแหน่งจริงในภาคสนาม เทียบกับตำแหน่งในภาพ (Ground control point) อย่างน้อยต้องให้ครอบคลุมทุกมุมของภาพแต่ละภาพ หลังจากนั้นนำไปตรงปรับภาพให้อยู่ในมาตราส่วนเดียวกันกับภาพอื่นๆ ผู้วิจัยร่วมกับคณะทำงานโครงการสึนามิจากภาควิชาธรณีวิทยาได้ทำการปรับ ground control point อย่างละเอียดในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่ง และครอบคลุมพื้นที่บริเวณเขาหลัก-แหลมปะการัง และพื้นที่บริเวณบ้านน้ำเค็ม
4. การใช้ระบบอ่านพิกัด มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตรวจสอบระบบการอ่านพิกัดจากแผนที่ และจาก GPS ในระบบเดียวกัน ในรายงานนี้ใช้ระบบพิกัด WGS 84

4.2 การสำรวจติดตามผลการกัดเซาะชายฝั่งในภาคสนาม

ผู้วิจัยร่วมกับทีมสำรวจจากภาควิชาธรณีวิทยาได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ตลอดแนวชายฝั่งเป็นรายเดือน พบว่า ในบางบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งจากสึนามิ ได้มีการฟื้นฟูสภาพทางกายภาพโดยเฉพาะการกลับมาของตะกอนโดยปริมาณตะกอนหน้าหาดได้ถูกนำมาสะสมตัวในปริมาณมากโดยระบบการหมุนเวียนตะกอนปกติในบริเวณชายหาด เช่น ตะกอนบริเวณที่เป็นทางน้ำออกสู่ทะเล (Inlet/outlet channel) ที่เปิดเป็นบริเวณกว้างจากสึนามิ ได้มีตะกอนใหม่พัดมาปิดทับแล้วในบางบริเวณ จะเห็นว่าเพียงแค่นับเวลาสองถึงสามเดือนหลังจากการกัดเซาะอย่างรุนแรงโดยสึนามิแล้วธรรมชาติก็ฟื้นฟูระบบในตัวของมันเองได้บางส่วนถึงแม้ว่าจะไม่ใช่ทั้งหมด ฉะนั้น การติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพภายในระยะเวลารอบปีก็เป็นสิ่งสำคัญที่จะให้เราได้เห็นระบบการหมุนเวียนของตะกอนชายหาดแม้กระทั่งการกัดเซาะที่เกิดขึ้นโดยปกติในบางฤดูกาล มักจะมีการสะสมตัวเกิดขึ้นในภายหลังตลอดเวลา

ตัวอย่างที่จะได้นำมากล่าวต่อไปนี้เป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ในพื้นที่เกิดการกัดเซาะชายฝั่งจากสึนามิ ที่ได้จากข้อมูลระยะไกล คือ ภาพดาวเทียมจากหลายหน่วยงานและหลายองค์กรทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยภาพดังกล่าวสามารถค้นหาได้จากการเปิดเผยในเวปไซด์ต่างๆ เท่าที่ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้ามา ซึ่งในการประเมินและวิเคราะห์ที่ละเอียดจริงๆ คงต้องใช้รูปถ่ายทางอากาศในมาตราส่วนที่ละเอียดมาช่วยในการปรับปรุงข้อมูลและต้องเป็นภาพที่ได้ทำการปรับครึ่งภาพแล้ว โดยหลายๆ หน่วยงานของประเทศไทยก็กำลังดำเนินการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศทั้งภาพขาวดำและภาพสี (Ortho-photos) อยู่ในปัจจุบัน ในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์โดยภาพดาวเทียมเป็นหลักเพื่อให้เห็นภาพรวมของการกัดเซาะชายฝั่งที่เกิดจากสึนามิ

รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างภาพดาวเทียมและภาพความเสียหายจากการสำรวจภาคสนามบริเวณตอนล่างของเกาะคอเขา และบ้านน้ำเค็ม จนถึงแหลมหัวกรังนุ้ย ของจังหวัดพังงา จากภาพซึ่งเป็นภาพบันทึกได้ในมุมกว้าง จะเห็นการกัดเซาะเกิดขึ้นในหลายบริเวณ คือ

ตำแหน่งที่ 1 บริเวณตอนใต้ที่เป็นบริเวณหาดทรายหรือสันดอนจะงอยเล็กๆ (Sand spit) ได้เกิดการกัดเซาะหายไป แต่การขาดหายไปไม่ได้หมายความว่าตะกอนทั้งหมดหายไป แต่การกัดเซาะได้ทำให้ตะกอนสันดอนจะงอยหายไปประมาณ 50-100 เซนติเมตรจากระดับความหนาเดิม โดยการเข้าไปสำรวจในช่วงเวลาที่ระดับน้ำทะเลลดต่ำสุด ก็ยังสามารถเห็นสันดอนจะงอยนี้โผล่เหนือระดับน้ำทะเลในบริเวณนี้ จากระบบการหมุนเวียนของตะกอนคาดว่าตะกอนจะมีการฟื้นตัวโดยธรรมชาติก็มีการสะสมตัวหนาขึ้นโดยใช้ระยะเวลาไม่นานนัก

ตำแหน่งที่ 2 เป็นบริเวณปากคลองบางปอ จะพบการเปิดกว้างของปากคลองจากเดิม ซึ่งลักษณะตะกอนเดิมบริเวณปากคลองจะเป็นตะกอนทรายผสมดินโคลน การหายไปของตะกอนคาดว่าป็นผลมาจากการเพิ่มความเร็วของสึนามิเมื่อเข้าสู่ร่องน้ำ อย่างไรก็ตาม บริเวณนี้มีป่าชายเลนอยู่เป็นบริเวณกว้าง จึงสามารถลดแรงปะทะของสึนามิได้

ตำแหน่งที่ 3 บริเวณท่าเรือบ้านน้ำเค็มที่ตั้งอยู่ปากคลองน้ำเค็ม พบการสูญเสียตะกอนเพราะเป็นบริเวณที่คาดว่าสึนามิมีความรุนแรงและความเร็วมากกว่าบริเวณอื่น แต่ด้วยมีสิ่งก่อสร้างอยู่อย่างหนาแน่น ปริมาณตะกอนจึงสูญเสียไม่มาก แต่ความสูญเสียส่วนใหญ่เป็นเรื่องทรัพย์สิน อาคารบ้านเรือน และเรือประมงที่จอดอยู่ในคลองน้ำเค็มขณะเกิดสึนามิ

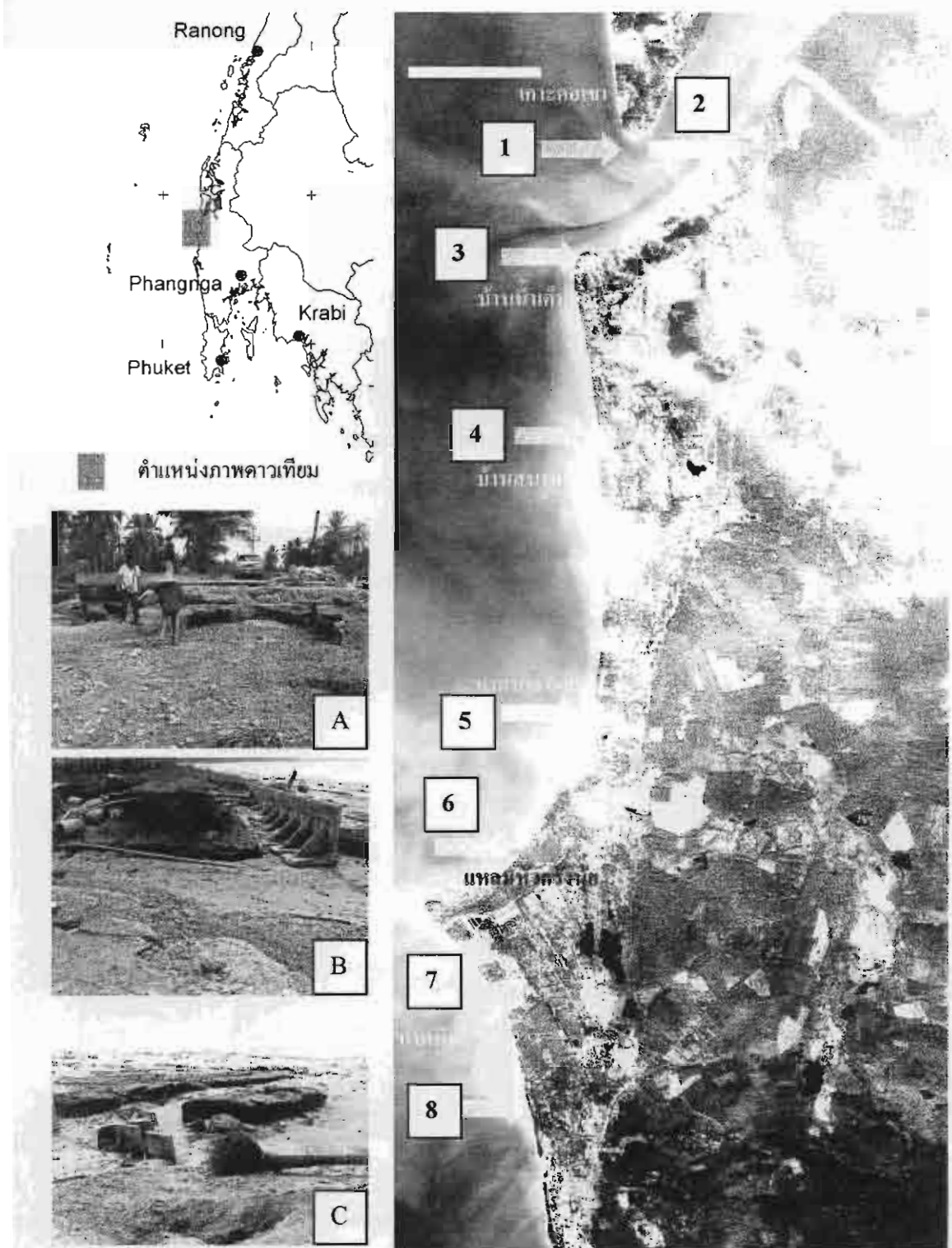
ตำแหน่งที่ 4 บริเวณตั้งแต่ท่าเรือบ้านน้ำเค็มผ่านบ้านสนามบิน ลงไปทางทิศใต้จนถึงหาดบางหลุดได้มีการสูญเสียตะกอนหน้าหาดเป็นแนวยาว ซึ่งตะกอนบางส่วนได้ถูกพัดพาขึ้นมาสะสมตัวในแผ่นดิน จากภาพจะเห็นว่า ในบริเวณนี้มีร่องรอยการขุดทำเหมืองแร่ดีบุก ทั้งที่เป็นแอ่งบ่อเหมืองและเนินตะกอนที่ขุดจากเหมือง ซึ่งทำให้ลักษณะภูมิประเทศ ความสูงต่ำของพื้นที่ไม่เท่ากัน ตะกอนที่ถูกสึนามิกัดเซาะจากหน้าหาดได้ถูกนำมาสะสมตัวในบ่อเหมืองเป็นปริมาณมาก ในหลายทิศทาง

ตำแหน่งที่ 5 และ 6 บริเวณหาดบางหลุด จะเห็นว่า การกัดเซาะได้ทำให้เกิดช่องเชื่อมระหว่างทะเลกับบ่อเหมืองแร่เก่าทั้งสองบริเวณซึ่งเคยมีการทำเหมืองแร่ดีบุกใกล้ชายฝั่งปัจจุบันมาก อย่างไรก็ตามจากการติดตามการเปลี่ยนแปลงตะกอนภายหลังพบว่า ปริมาณตะกอนหน้าหาดได้เพิ่มขึ้นและปิดช่องเชื่อมทะเลกับบ่อเหมืองแล้ว แต่น้ำทะเลยังสามารถเข้าบ่อเหมืองเก่าได้หากมีคลื่นลมในช่วงมรสุม หรือในช่วงน้ำขึ้นสูงสุด

ตำแหน่งที่ 7 แหลมหัวกรังนุ้ย เป็นพื้นที่แหลมรูปสามเหลี่ยม (Cuspate cape) ที่ยื่นออกไปในทะเลโดยพื้นที่ทะเลบริเวณนี้เป็นหาดปะการัง ที่มีแนวพืดปะการังยาวต่อเนื่องลงไปในทะเลประมาณ 500-1,000 เมตร ซึ่งพบการกัดเซาะบริเวณหน้าหาด ถนนหน้าหาดขาดหายไปบางส่วนและมีการพัดพาเอาเศษปะการังขึ้นมาสะสมตัวในแผ่นดินบ้าง

ตำแหน่งที่ 8 หาดทับตะวันตอนใต้ของแหลมหัวกรังนุ้ย พบการกัดเซาะไม่มากนักเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นทางด้านเหนือขึ้นไป พบเศษปะการังถูกพัดพาขึ้นมาบ้างไม่มากปะปนกับตะกอนหน้าหาด

ส่วนภาพด้านซ้าย (A, B และ C) เป็นภาพความเสียหายที่บันทึกจากแหลมหัวกรังนุ้ย



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งการกักเพาะชายฝั่งจากภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS และภาพความเสียหายในเรื่องการกักเพาะพื้นที่ชายฝั่งด้านซ้าย (A,B,C) บริเวณแหลมหัวกรงนุ้ย (ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากโฮมเพจของ GISTDA)

บริเวณแหลมปะการังก็เป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่พบการสูญเสียตะกอนอย่างชัดเจน โดยเฉพาะปลายแหลมปะการังด้านเหนือสุดที่เป็นตะกอนทรายปิดทับแนวฟืดปะการัง ได้ถูกกัดเซาะจากสึนามิโดยปริมาณตะกอนที่ปิดทับด้านบนปะการังสูญหายไป จากการสำรวจภาคสนามพบว่า ตะกอนที่ปิดทับเดิมมีความหนาโดยประมาณ 1-2 เมตร และตะกอนบริเวณนี้ถูกกัดเซาะหายไปทั้งหมดจนถึงพื้นปะการังที่รองรับตะกอนอยู่เดิม (รูปที่ 4.2) นอกจากตอนปลายสุดของแหลมปะการังแล้วยังพบว่า ตะกอนส่วนล่างที่รองรับแนวคันสน ก็ได้ถูกกัดเซาะหายไป จนทำรากของคันสนไม่มีสิ่งยึดเกาะ การกัดเซาะได้เข้ามาถึงถนนซีเมนต์ และตะกอนสูญเสียคิดเป็นระยะทางประมาณ 10-20 เมตร จากหน้าหาดเดิม ในภายหลังพบว่า คันสนส่วนใหญ่ที่ยังคงสภาพอยู่ก็ไม่สามารถขึ้นคันได้ต่อไป (จากการสำรวจเมื่อเดือนพฤษภาคม 2548) แม้ว่าจะมีความพยายามฟื้นฟูสภาพโดยการค้าคันคันสนโดยโครงการของกรมทรัพยากรชายฝั่งก็ตาม ซึ่งในช่วงเวลาก่อนการสำรวจเมื่อเดือนพฤษภาคม 2548 พบว่า ได้มีมรสุมเข้ามาในบริเวณฝั่งอันดามัน ทำให้สภาพคันสนเดิมที่ไม่มีความมั่นคง ได้ล้มลงอีกเป็นจำนวนมาก (ดูรูปที่ 4.3 รูปถ่ายจากภาคสนามประกอบ) การกัดเซาะโดยเฉพาะจากพายุและมรสุม ยังสามารถเกิดขึ้นในบริเวณนี้

การสูญเสียตะกอนจากการกัดเซาะโดยสึนามิในบริเวณแหลมปะการังนี้ เกิดขึ้นทั้งด้านเหนือของแหลมและด้านใต้ เรือไปจนถึงปากคลองที่เป็นที่ตั้งของมูลนิธิ รีสอร์ท แอนด์ สปา

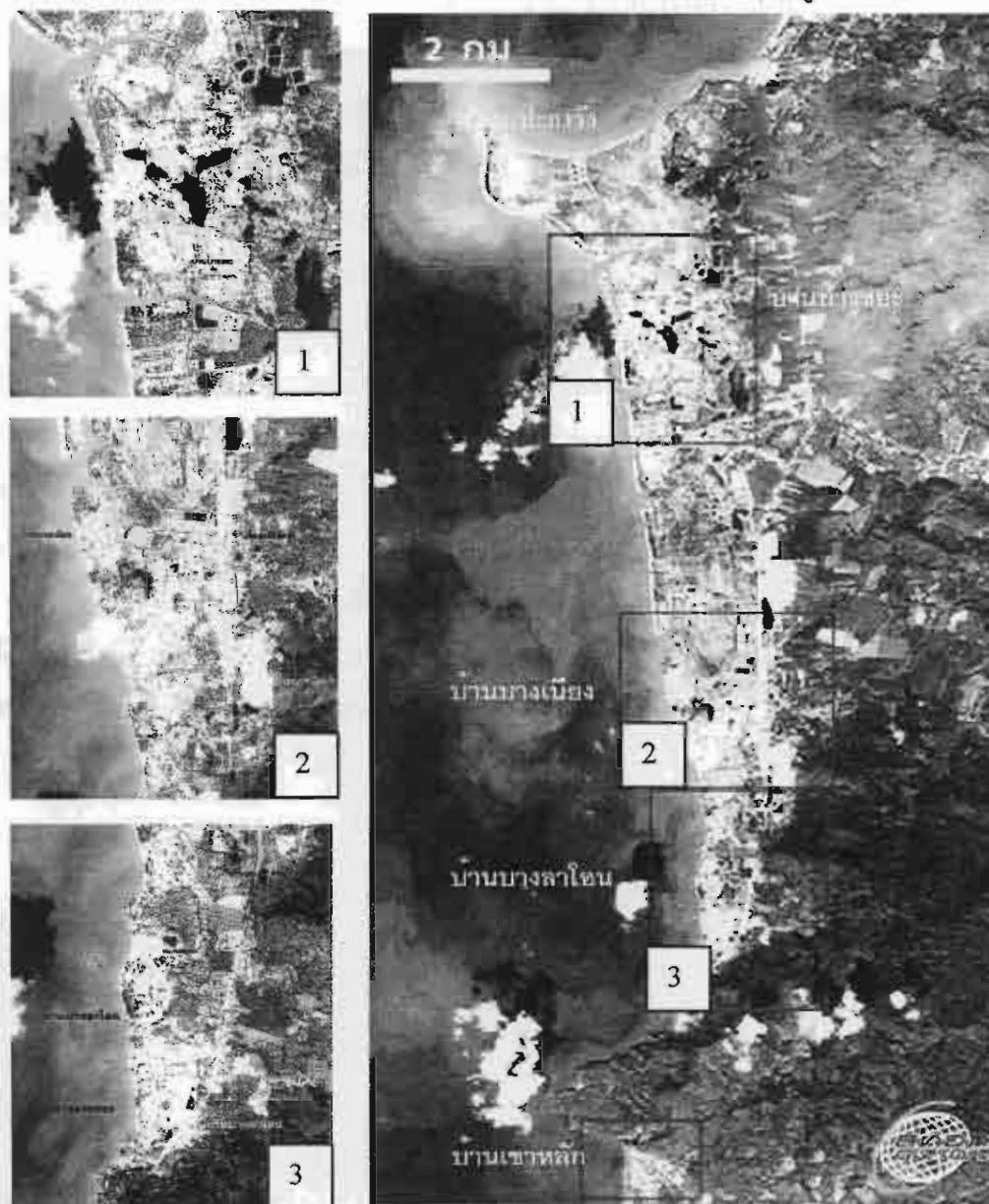


รูปที่ 4.2 ภาพดาวเทียม IKONOS บริเวณแหลมปะการัง กรอบสีแดงเป็นบริเวณที่เกิดการกัดเซาะตะกอนทรายที่หายไปปิดทับปะการัง (ข้อมูลภาพดาวเทียม จาก CRISP)



รูปที่ 4.3 ภาพบันทึกจากการสำรวจภาคสนามแสดงสภาพความเสียหายจากการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณแหลมปะการัง (ภาพบนสุดถ่ายไปทางทิศตะวันตก เมื่อวันที่ 7 มกราคม 2548) ภาพกลางและล่างบันทึกเมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 2548 แสดงการกัดเซาะอย่างต่อเนื่องจากมรสุม

ภาพจากดาวเทียม IKONOS วันที่ 29 ธันวาคม 2547
แสดงพื้นที่ที่เสียหายจากคลื่นสึนามิ
บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน จ.พังงา
จัดทำโดย สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ

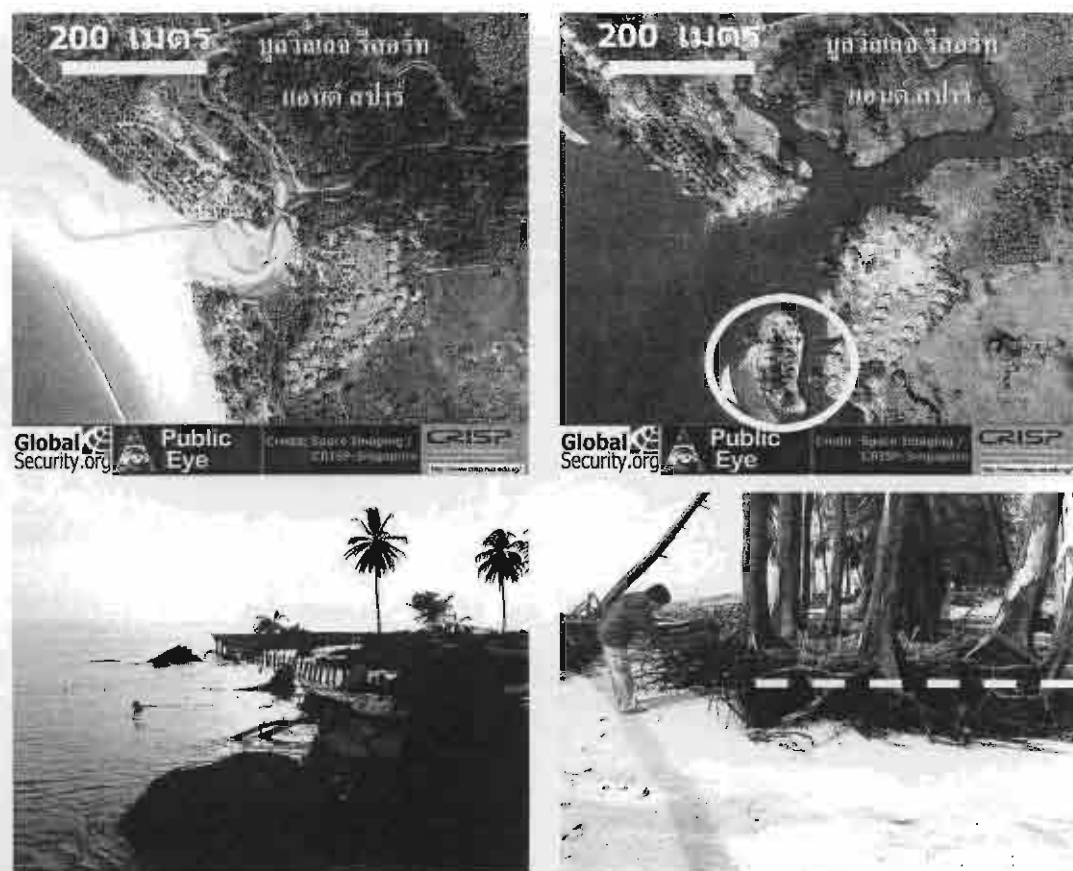


รูปที่ 4.4 ภาพดาวเทียม IKONOS ในบริเวณกว้าง (ภาพขวา) และภาพระดับรายละเอียด (ภาพด้านซ้าย) ของพื้นที่ตั้งแต่แหลมปะการัง ลงมาทางตอนใต้จนถึงบ้านบางลาโชน จังหวัดพังงา ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดแต่ละพื้นที่ในรูปถัดไป (ข้อมูลภาพดาวเทียมจากโฮมเพจ GISTDA)

ในบริเวณตอนใต้ของแหลมปะการังตั้งแต่ปากคลองที่เป็นที่ตั้งของบลูวิเลจ รีสอร์ท แอนด์ สปา เรือไปทางใต้จนถึงบริเวณบ้านบางลาโอน พบการกัดเซาะทั้งในบริเวณปากคลองเดิม หน้าหาด และบางพื้นที่ได้เกิดการเปิดของปากคลองเล็กๆ ขึ้นมาใหม่ ในหลายตำแหน่ง (ดังลูกศรชี้ตั้งแต่รูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.7) การกัดเซาะไม่ได้เกิดเฉพาะบริเวณหน้าหาด แต่ยังเกิดในบริเวณหลังของฝั่งคลอง ในบริเวณหน้าหาดเองที่มีธรณีสัณฐานเดิมที่เป็นแนวสันทราย (Beach ridges) สลับกับพื้นที่ลุ่มต่ำด้านหลัง (Back-barrier lagoon) การกัดเซาะทำให้น้ำทะเลท่วมเข้าไปในพื้นที่ลุ่มต่ำ ในบางบริเวณจนสามารถกลับมาเชื่อมต่อกับน้ำทะเลได้อีกครั้ง จากลักษณะการกัดเซาะหน้าหาดบริเวณนี้ ทำให้เกิดธรณีสัณฐานหรือรูปร่างของหน้าหาดที่เป็นรอยเว้า ซึ่งบ่งบอกถึงทิศทางอันหลากหลายของสึนามิทั้งในขณะเข้าปะทะและในขณะที่น้ำทะเลถอยลงสู่ระดับปกติ ฉะนั้นจึงพอสรุปในเบื้องต้นได้ว่า การกัดเซาะอย่างรุนแรงเกิดขณะสึนามิเข้าปะทะในทิศทางเข้าหาฝั่ง และการหมุนเวียนตะกอนออกสู่ทะเลเกิดอย่างต่อเนื่องในขณะที่น้ำทะเลถอยร่น ซึ่งพฤติกรรมการกัดเซาะลักษณะนี้จะทำให้สภาพภูมิประเทศหน้าหาดเปลี่ยนแปลงอย่างมาก และสิ่งที่ควรระมัดระวังและควรเฝ้าติดตามก็คือ การเปลี่ยนทิศทางของกระแสน้ำขนานชายฝั่ง (Longshore current) ซึ่งแต่เดิมอาจจะมีทิศทางขนานไปกับฝั่ง แต่หลังจากสภาพภูมิประเทศหน้าหาดจนไปถึงใต้ทะเล (Shoreface topography) เปลี่ยนไป ในบางพื้นที่อาจจะพบปรากฏการณ์กระแสน้ำไหลออกสู่ทะเล (Rip current) ได้ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรจะทำการศึกษาในรายละเอียดในอนาคต เพราะการที่กระแสน้ำไหลย้อนกลับออกสู่ทะเลอาจจะเป็นอันตรายต่อนักท่องเที่ยวในอนาคตได้



รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS ที่บันทึกได้เมื่อวันที่ 29 ธันวาคม 2547 ในบริเวณตอนล่างของแหลมปะการัง จนถึงบ้านคึกคัก จังหวัดพังงา ลูกศรแสดงตำแหน่งที่พบการกัดเซาะตะกอนหน้าหาดจากการสำรวจภาคสนาม (ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากโฮมเพจ GISTDA)



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS ขยายให้เห็นพื้นที่การกัดเซาะชายฝั่งบริเวณตอนล่างของแหลมปะการัง ปากคลองที่ตั้ง บูลวิลเลจ รีสอร์ท แอนด์ สปา การกัดเซาะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงทำให้ปากคลองเปิดกว้างขึ้น และแนวสันทรายเดิม (ใน ตำแหน่งวงกลม) ได้ถูกกัดเซาะจนเกิดเป็นลักษณะเกาะสันดอน ซึ่งแสดงให้เห็นปริมาณตะกอนได้สูญหายไปอย่าง ชัดเจน (ระดับเส้นประสีขาว ดังแสดงในรูปถ่ายด้านล่าง บันทึกภาพเมื่อ 7 มกราคม 2548) (ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจาก โคมพิเจของ CRISP)



รูปที่ 4.7 ภาพดาวเทียม IKONOS ก่อนและหลังสึนามิในบริเวณโซฟิเทล เมจิก ลากูน บ้านคึกคัก จังหวัดพังงา (ข้อมูลภาพจากโฮมเพจของ CRISP) จะเห็นการกัดเซาะบริเวณหน้าหาดชัดเจน (ตำแหน่งที่ลูกศรชี้) และสองรูปภาพกลาง แสดงพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะจากการสำรวจภาคสนาม เมื่อวันที่ 8 มกราคม 2548 ส่วนสองรูปล่างแสดงการฟื้นตัวของตะกอนที่มาปิดกั้นปากคลองในบริเวณใกล้เคียง บันทึกภาพเมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 2548



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายเทียม IKONOS แสดงตำแหน่งการกักเซาะชายฝั่งตั้งแต่บริเวณบ้านคึกคัก ลงมาทางใต้ถึงหาดนางทอง จังหวัดพังงา (ลูกศรชี้) ซึ่งการกักเซาะจะมีลักษณะคล้ายกับพื้นที่ทางด้านเหนือขึ้นไป คือเกิดอย่างชัดเจนในพื้นที่ที่เป็นร่องน้ำและพื้นที่สันทรายหน้าหาด (ข้อมูลภาพถ่ายเทียมจาก GISTDA)



รูปที่ 4.9 ภาพดาวเทียม IKONOS แสดงการกัดเซาะชายฝั่งตั้งแต่หาดนางทอง ลงมาทางตอนใต้ถึงอ่าวอ่างทอง บ้านบางลาโณ จังหวัดพังงา (ตำแหน่งในลูกศรชี้) (ข้อมูลภาพดาวเทียมจาก GISTDA)

บทที่ 5

สรุปผลงานของโครงการวิจัย

(Research products)

5.1 ผลงานวิจัยเชิงวิชาการ การผลิตโครงการวิทยาศาสตร์ย่อย

ผลิตโครงการวิทยาศาสตร์ของนิสิตชั้นปีที่ 4 จำนวน 3 โครงการ คือ

- 1) โครงการศึกษาเรื่อง อัตราการกัดเซาะชายฝั่งเบื้องต้นจากแนวชายฝั่งทะเลจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (Preliminary rate of coastal erosion from Prachuap Khiri Khan coast) โดย นางสาว ลักษณาภรณ์ หนูมี สำเร็จการศึกษาปี 2546
- 2) โครงการศึกษาเรื่อง ลักษณะธรณีสัณฐานชายฝั่งและการลำดับชั้นตะกอน จากเกาะพระทอง จังหวัดพังงา (Coastal landform and its stratigraphy from Ko Phrathong, Changwat Phangnga) โดย นาย ชาญวิทย์ ถิ่นซ้าย สำเร็จการศึกษาปี 2547
- 3) โครงการศึกษาเรื่อง ความเกี่ยวเนื่องของธรณีสัณฐานวิทยาชายฝั่งและการตั้งถิ่นฐานชุมชนในอดีต บริเวณหาดวนกร จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (Linkage between coastal geomorphology and archeological site selection from Wanakorn Beach, Prachuap Khiri Khan) โดย นาย วสันต์ ปัญญาดี สำเร็จการศึกษาปี 2547

วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทที่กำลังดำเนินการ อีก 2 เรื่อง คือ

- 1) วิทยานิพนธ์หัวข้อ การประเมินการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและพิบัติภัยจากการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (Evaluation of coastal changes and coastal erosion hazard from Changwat Prachuap Khiri Khan) โดย นาย รัฐกร สองเมือง
- 2) วิทยานิพนธ์หัวข้อ ธรณีโบราณคดี จากแหล่งโบราณคดีทุ่งเศรษฐี อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี (Geoarchaeology from Thungsetti, Amphoe Cha-um, Petchaburi) โดย นางสาว ประอร ศิลาพันธ์

5.2 รายงานงานวิจัย

ได้นำเสนอรายงานแสดงความก้าวหน้าของโครงการวิจัยครบทุกครั้งดังที่ได้ระบุไว้ในแผนการดำเนินการ

5.3 ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

สำหรับการเผยแพร่ผลงานวิจัยในรูปแบบวารสารวิชาการ ประกอบด้วย การส่งบทความเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยระดับนานาชาติ คือ

- 1) Journal of Natural History เรื่อง Holocene biostratigraphical records in coastal deposits from Sam Roi Yod National Park, Prachuap Khiri Khan, Western Thailand. โดย Choowong, M., Ugai, H., Charoentitirat, T., Charusiri, P., Daorerk, V., Songmuang, R., and Ladachart, R. Volume 4 (2), 1-18 ซึ่งตีพิมพ์เรียบร้อยแล้ว พร้อมรูปประกอบบทความได้รับเกียรติให้ลงปกวารสาร (วารสารยังไม่มี Impact factor แต่มีอยู่ใน Biosis list: www.biosis.org ดูเอกสารแนบในภาคผนวก)
- 2) บทความเรื่อง Effects on the Andaman Coastal Areas of Thailand after 26 December 2004 Tsunami โดย Choowong et al ได้ส่งต้นฉบับให้วารสาร Journal of Coastal Research พิจารณาแล้ว กำลังรอผลการพิจารณา (ดูรายละเอียดในเอกสารแนบ)
- 3) บทความเรื่อง Significance of 26 December 2004 Landward and Seaward Tsunami Deposits from the Andaman coasts of Thailand โดย Choowong et al ได้ส่งให้วารสาร Journal of Asian Earth Sciences พิจารณาแล้ว กำลังรอผลการพิจารณา (ดูรายละเอียดในเอกสารแนบ)

นอกจากนี้ยังได้รับเกียรติให้นำข้อมูลส่วนหนึ่งของงานวิจัย ลงเผยแพร่ในปกหน้าและปกหลัง พร้อมสรุปบทความในวารสารข่าวของ Geological Society of Japan Newsletter ฉบับที่ 8 ลงวันที่ 20 พฤษภาคม 2548 และรูปและผลการศึกษาบางส่วนได้รับเกียรติให้ลงปกและบทความในวารสาร Journal of Geological Society of Japan เรื่อง Initial report of tsunami deposits in Phuket and adjacent areas in Thailand induced by the earthquake off Sumatra December 26, 2004 โดย Choowong et al (ดังแสดงในเอกสารแนบ)

บทความ บทคัดย่อ และการประชุมวิชาการ ประกอบด้วย การประชุมในประเทศ 2 ครั้ง คือ

- 1) การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลสมัยโฮโลซีนตอนปลายในประเทศไทย (Late Holocene sea-level changes in Thailand) โดย มนตรี ชูวงศ์ วิโรจน์ คาวฤกษ์ ปัญญา จารุศิริ จูติมา เจริญจิตรัตน์ และรัฐกร สองเมือง ชื่อการประชุม ความก้าวหน้าในการศึกษาด้านโบราณคดีและเมือง

โบราณในวัฒนธรรมทวารวดี วันที่ 24-25 กรกฎาคม 2546 โรงแรมสองพันบุรี จังหวัด สุพรรณบุรี และ

- 2) หัวข้อบทความ Geological evidence of sea-level changes from the eastern Thailand โดย Montri Choowong, Veerote Daorerk, Punya Charusiri, Non Prapasanobon, Withit Chanthasomboon and Rattakorn Songmeung ชื่อการประชุมวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29 20-22 ตุลาคม 2546 ณ ศูนย์ประชุมเอนกประสงค์ กาญจนภิเษก มหาวิทยาลัยขอนแก่น

โปสเตอร์พร้อมบทคัดย่อในการประชุมนานาชาติ 2 เรื่อง คือ

- 1) หัวข้อ Stratigraphic records in Holocene coastal deposits from the western part of the Gulf of Thailand โดย Choowong, M., Ugai, H, Charusiri, P, Daorerk, V, Charoentitirat, T, Songmeung, R and Ladachart, R. และ
- 2) หัวข้อ Palaeogeography and ancient settlements: A preliminary investigation at Thungsethi, Changwat, Petchaburi, western Thailand โดย Silapanth, P., Charoentitirat, T, and Choowong, M. ในการประชุม International Symposium on the Geologic Evolution of East and Southeast Asia, ระหว่างวันที่ 8-14 กุมภาพันธ์ 2547

บทคัดย่อ (Abstract) และการนำเสนอในการประชุมวิชาการนานาชาติ (Oral presentation) 1 ครั้ง คือ

JEPS Joint Meeting 2005 (Japan Earth and Planetary Science Joint Meeting) ชื่อหัวขื่อนำเสนอ "10 minutes shoreline on 26 December 2004 flooded by tsunami wave along the coastal areas of the Andaman Sea, Thailand" โดย Choowong et al วันที่ 24 พฤษภาคม 2548 กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย (ดูรายละเอียดในเอกสารแนบ)

5.4 กิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

การไปนำเสนอผลงาน การได้รับเชิญไปเป็นวิทยากร

1. หัวหน้าโครงการวิจัยได้มีส่วนในการนำเสนอผลงานวิชาการ ทั้งในรูปแบบวิทยากรรับเชิญในการอบรมวิชาการที่ได้สอดคล้องเนื้อหาที่เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งผลงานวิจัยโครงการนี้ คือ อบรม

เชิงปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จัดโดย ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การอบรมเชิงปฏิบัติการธรณีวิทยาเบื้องต้น จัดโดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
3. การประชุมวิชาการประจำปี 2547 ของคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2548 หัวข้อบรรยาย “ผลกระทบทางกายภาพจากสึนามิ”
4. การประชุมประจำปี 2548 จัดโดย สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อเดือนมกราคม 2548 หัวข้อ การประเมินผลกระทบทางกายภาพจากแผ่นดินไหวและสึนามิ

5.5 การเชื่อมโยงทางวิชาการกับนักวิชาการอื่นๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการเชื่อมโยงศาสตร์ทางธรณีวิทยากับศาสตร์อื่นๆ เช่น ภูมิศาสตร์ โบราณคดี และชีววิทยา โดยเฉพาะข้อมูลที่ได้จากโครงการวิจัยบางส่วนสามารถนำไปใช้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับศาสตร์อื่นๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น แผนที่ธรณีสัณฐานวิทยาที่ได้จะให้นักโบราณคดีได้ข้อมูลในเรื่องการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลเพื่อจะนำไปบูรณาการอธิบายการตั้งถิ่นฐานของชุมชนโบราณในอดีต

นอกจากการเชื่อมโยงทางวิชาการในประเทศแล้ว คณะผู้วิจัยได้ทำการเชื่อมโยงกับนักวิชาการต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ คือ

1. เชื่อมโยงงานวิจัยร่วมกับมหาวิทยาลัยทสึคุบะ ประเทศญี่ปุ่น โดย Associate Professor Dr Ken-ichiro Hisada และ รองศาสตราจารย์ ดร ปัญญา จารุศิริ เป็นผู้ประสานงานโครงการศึกษา IGCP 516 (International Geological Corporation Program 516) ซึ่งได้บรรจุงานศึกษาด้านตะกอนวิทยาและการกัดเซาะชายฝั่งไว้ในส่วนหนึ่งของโครงการ
2. เชื่อมโยงงานวิจัยด้านตะกอนวิทยากับมหาวิทยาลัยชินชู ประเทศญี่ปุ่น โดยมี Assistant Professor Dr Naomi Murakoshi จาก Department of Environmental Science ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านตะกอนวิทยา โดยเน้นการมุ่งพัฒนาองค์ความรู้ด้านโครงสร้างตะกอน และกลไกการเคลื่อนตัวของตะกอน โดยการทำทดลอง Flume experiment ซึ่งเป็นการทดลองที่ไม่มีในเมืองไทย
3. เชื่อมโยงงานวิจัยร่วมกับมหาวิทยาลัยคันตาเนีย (University of Cantania) ประเทศอิตาลี โดยมี Professor Itano เป็นหัวหน้าโครงการวิจัยร่วม