หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 7
# บทสรุป และข้อเสนอแนะ

## 7.1 บทสรุป

### 7.1.1 การดำเนินงานศึกษา

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกศึกษาลักษณะของคลื่น ซึ่งคำนวณจากข้อมูลลม จะได้ ทิศทาง ขนาด และคาบเวลาของคลื่น และส่วนสุดท้ายคือการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เนื่องจากเขื่อนกันทรายที่สงขลา จะอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบบ N-Line ในบริเวณพื้นที่ศึกษา คือ บริเวณเขื่อนกันทราย (Jetty) ของท่าเรือสงขลา โดยครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่ง ตั้งแต่เขื่อนกันทราย ถึง หาดสมิหลา มีระยะทาง 5 กิโลเมตร โดยทำการแบ่งเป็นกริดละ 200 เมตร ตลอดแนวชายฝั่ง และระดับความลึกของท้องน้ำตั้งแต่ 1 เมตร ถึง 7 เมตร ห่างจากชายฝั่งประมาณ 3 กิโลเมตร คิดเป็นพื้นที่ชายฝั่งประมาณ 15 ตารางกิโลเมตร

การศึกษาลักษณะของคลื่น ที่เกิดขึ้นในบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง ได้อาศัยข้อมูลลมมาทำนายหรือพยากรณ์ลักษณะของคลื่น (Wave Hindcasting) ที่เกิดขึ้นในเขตน้ำลึก ซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีทำนายคลื่นจากข้อมูลลม 3 ทฤษฎี คือ ทฤษฎีของ Sverdrup, Munk และ Bretschneider (1947) หรือ SMB Method ทฤษฎีของ Peirson และ Morkowitz (1964) หรือ PM Method และทฤษฎีของ JONSWAP Method (1973) ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานในการทำนายคลื่นของ Coastal Engineering Research Center สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ได้เลือกทฤษฎีที่เหมาะสมในบริเวณพื้นที่ศึกษาหรือบริเวณใกล้เคียง โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลคลื่นที่วัดได้ในภาคสนามโดยกรมเจ้าท่า ระหว่างวันที่ 1-25 พฤศจิกายน 2530 กับข้อมูลลมของสถานีตรวจอากาศ จังหวัดสงขลา ดำเนินการโดย กรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อทำการหาทฤษฎีที่เหมาะสมในบริเวณดังกล่าว ต่อจากนั้น ทำการวิเคราะห์สถิติ ลักษณะของคลื่น ความเร็วลม และทิศทางการเคลื่อนที่ ที่เกิดขึ้นในฤดูกาลต่าง ๆ และประจำปี โดยอาศัยข้อมูลลม จากกรมอุตุนิยมวิทยา ระหว่างปี พ.ศ.2524-2530 รวมทั้งหมด 7 ปี และได้พัฒนาคอมพิวเตอร์โปรแกรม ด้วยภาษา FORTRAN 77 สำหรับ Micro computer เพื่อทำนายหรือพยากรณ์คลื่นในบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง และบริเวณอื่น ๆ โดยอาศัยข้อมูลลมของกรมอุตุนิยมวิทยา เป็นหลัก

เมื่อทราบลักษณะของคลื่น ซึ่งประกอบด้วย ความสูงและคาบเวลาของคลื่นนัยสำคัญ และทิศทางการเคลื่อนที่แล้ว นำข้อมูลเหล่านี้มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ N-Line ในลักษณะสองมิติและทำการทดสอบเปรียบเทียบ (Calibration) จากผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่วัดได้จริง สำหรับการทดสอบเปรียบเทียบ โดยอาศัยข้อมูลคลื่นที่ได้จากทฤษฎีการทำนายคลื่น จากข้อมูลลม ระหว่างเดือนเมษายน 2532 ถึง กรกฎาคม 2533

รวมทั้งหมด 16 เดือน สำหรับข้อมูลสภาพของท้องทะเล (Bathymetry) ได้อาศัยแผนที่อุทกศาสตร์มาตราส่วน 1:10,000 ระหว่างปี พ.ศ.2532 ถึง 2533 ดำเนินการโดย กรมเจ้าท่า และทำการวิเคราะห์ หาค่าตัวแปร ที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง การประยุกต์แบบจำลองใช้กับพื้นที่ และศึกษาการคาดคะเนหรือแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณพื้นที่ศึกษาในอนาคต ดังนั้น ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ พอสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

7.1.2 ลักษณะคลื่น

ก. ทฤษฎีการทำนายคลื่น

ผลจากการทดสอบทฤษฎี ทำนายคลื่นด้วยข้อมูลลม กับค่าที่วัดได้จริง พบว่า การทำนายความสูงคลื่นนัยสำคัญ จากทฤษฎีของ JONSWAP Method มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานต่ำที่สุดคือ 0.46 เมตร, ค่าเปอร์เซนต์เฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 27.2% และ Mean Absolute Percentage Error มีค่า 34.4 % ส่วนคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ พบว่า ทฤษฎีทั้งสามจะมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานใกล้เคียงอยู่ระหว่าง 1.25-1.33 วินาที ค่าเปอร์เซนต์เฉลี่ยความคลาดเคลื่อน วิธี JONSWAP Method มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ -5.8% กล่าวคือ การทำนายคาบเวลานัยสำคัญของวิธีนี้ จะมีค่าสูงกว่าที่วัดจริง ส่วน Mean Absolute Percentage Error ของทั้ง 3 วิธี มีค่าใกล้เคียงกัน จึงกล่าวได้ว่า ทฤษฎีการทำนายคลื่นที่ใช้ สำหรับพื้นที่ศึกษา และบริเวณใกล้เคียง ได้แก่ วิธี JONSWAP Method ถึงแม้ว่า คาบเวลาคลื่นนัยสำคัญที่คำนวณได้ไม่ดีนักก็ตาม ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการบันทึกข้อมูลภาคสนาม มีระยะเวลาสั้น อย่างไรก็ตาม ผลจากทั้ง 3 ทฤษฎี จะให้ค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญต่ำกว่าค่าวัดจริง รวมทั้ง คาบเวลาคลื่นนัยสำคัญด้วย ยกเว้นวิธี JONSWAP Method

ข. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข.1 ความสูงคลื่นนัยสำคัญ

จากการศึกษา พบว่า ความสูงคลื่นโดยทั่วไป (ตลอดปี) มีความสูงคลื่น ประมาณ 1-1.50 เมตร เกิดขึ้นประมาณ 22% และขนาด 0.5-1.5 เมตร เกิดขึ้น 10% ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นส่วนมากจะเคลื่อนที่มาทาง E 18% และ ENE 12% โดยทิศทาง E มีความสูงคลื่น 1-1.50 เมตร เกิดขึ้น 12% และทิศทาง ENE มีความสูงคลื่น 1-1.50 เมตร เกิดขึ้น 7.6%

คลื่นที่เคลื่อนที่ที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ชายฝั่ง เกิดขึ้นประมาณ 48% และมีคลื่นลมสงบ (Calm) มีประมาณ 52% ที่เกิดขึ้นในรอบปีหนึ่ง ๆ

ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ธ.ค.-มี.ค.) ความสูงคลื่นโดยทั่วไป มีความสูง 1-1.50 เมตร เกิดขึ้น 45% และบางครั้งจะมีคลื่นสูงจัด (ความสูง 2.5-4.0 เมตร) เกิดขึ้น 0.1% ในรอบปี ทิศทางการเคลื่อนของคลื่นส่วนมากที่มาทาง E 34% และ ENE 22% โดยทิศทาง E และ ENE มีความสูงคลื่น 1.50 เมตร เกิดขึ้น 22% และ 14% ในรอบปี ตามลำดับ

ลักษณะของคลื่นที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ชายฝั่งเกิดขึ้น 85% ในฤดูนี้

ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (มิ.ย.-ก.ย.) สภาพท้องทะเลโดยทั่วไป ค่อนข้างสงบ โดยมีความสูงคลื่นเล็กน้อย (0.5-1.25 เมตร) เกิดขึ้น 98% ในรอบปี ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นส่วนมาก จะเคลื่อนที่ทาง E 3% และ ENE 2%

ในฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง ความสูงคลื่นโดยทั่วไปมีความสูงคลื่น 1-1.50 เมตร เกิดขึ้น 18% ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นส่วนมากจะเคลื่อนที่มาทาง E 11% และ ENE 11% โดยมีขนาดความสูงคลื่น 1-1.50 เมตร เกิดขึ้นประมาณ 6% ตามลำดับ และลักษณะของคลื่นที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ชายฝั่ง เกิดขึ้นประมาณ 44% ในฤดูนี้

ข.2 คาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ

จากการศึกษา พบว่า คาบเวลาของคลื่นโดยทั่วไป (ตลอดปี) อยู่ระหว่าง 5-6 วินาที เกิดขึ้น 22% ในรอบปี โดยมีทิศทาง E และ ENE มีคาบเวลาของคลื่น 5-6 วินาที เกิดขึ้น 11% และ 7% ตามลำดับ ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง มีคาบเวลาของคลื่น อยู่ระหว่าง 5-6 วินาที ส่วนในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะมีคาบเวลา 2-4 วินาที

ข.3 ความเร็วลม

จากการศึกษา พบว่า ความเร็วลมโดยทั่วไป ที่พัดผ่านจังหวัด สงขลา หรือบริเวณใกล้เคียง มีความเร็วลม 1-5 น็อต (2-9 กม/ชม) เกิดขึ้น 59% ในรอบปี ทิศทางของลมที่มีแรงและมีอิทธิพลต่อพื้นที่ชายฝั่ง ได้แก่ ลมที่พัดมาทาง ENE 12% และ E 18% โดยทิศทาง ENE มีความเร็ว 5-10 น็อต (9-18 กม/ชม) และ 10-15 น็อต (18-27 กม/ชม) เกิดขึ้น 6.2% และ 4.4% ในรอบปี ตามลำดับ ในทิศทาง E มีความเร็วลม 5-10 น็อต และ 10-15 น็อต เกิดขึ้น 8.4% และ 7.8% ในรอบปี ตามลำดับ

ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ความเร็วลมโดยทั่วไป ประมาณ 5-10 น็อต เกิดขึ้น 39% และ 10-15 น็อต เกิดขึ้น 33% ในรอบปี ทิศทางลมส่วนมากจะเคลื่อนที่มาทาง E 34% และ ENE 22% โดยมีความเร็วลม 5-10 น็อต เกิดขึ้น 16% และ 10% ในรอบปี ตามลำดับ

ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยทั่วไป จะมีความเร็วลม 1-5 น็อต เกิดขึ้นประมาณ 92% ในรอบปี ในฤดูนี้ ทิศทางลมมีอิทธิพลต่อพื้นที่ชายฝั่งเล็กน้อย โดยเกิดขึ้นเพียง 12% ในรอบปีเท่านั้น

ในฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง ความเร็วลมโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1-5 น็อต เกิดขึ้น 71% ทิศทางลมส่วนมากจะเคลื่อนที่มาทาง E 11% และ ENE 11% มีขนาดความเร็วลม 5-10 น็อต เกิดขึ้น 6.6% และ 6.0% ตามลำดับในรอบปี ในฤดูนี้ทิศทางของลมที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ชายฝั่ง เกิดขึ้น 44% ในรอบปี

7.1.3 การเปลี่ยนสภาพชายฝั่ง

ก. ตัวแปรที่มีอิทธิพลที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ได้แก่ K และ $C_{OFF}$ ขนาดความสูงคลื่น และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นที่กระทำกับชายฝั่ง

ข. จากการทดสอบเปรียบเทียบ (Calibration) ในบริเวณพื้นที่ศึกษา พบว่า ค่า K มีค่า 0.25 และ $C_{OFF}$ มีค่า 3 ม/ปี โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน 66.6 เมตร ค่าเปอร์เซนต์เฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 38%

ค. การกระจายของการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง

บริเวณพื้นที่ศึกษา พบว่า ในรอบปีหนึ่ง ๆ ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งสุทธิ (Net Longshore Transport) จะมีทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางเหนือ ตลอดแนวชายฝั่งประมาณ 128,280 $ม^3$/ปี และปริมาณการเคลื่อนที่ผ่าน (Gross Longshore Transport) ประมาณ 175,460 $ม^3$/ปี การเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวตั้งฉากกับชายฝั่งสุทธิ (Net Cross-shore Transport) จะมีทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง (ทับถม) ประมาณ 42,223 $ม^3$/ปี และปริมาณการเคลื่อนที่ทั้งหมด คือ 346,626 $ม^3$/ปี

ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวขนานกับชายฝั่งสุทธิ จะมีทิศทางเคลื่อนที่ไปทางเหนือ ตลอดแนวชายฝั่ง ประมาณ 87,923 $ม^3$/ปี และการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวตั้งฉากกับชายฝั่งสุทธิ จะมีทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง (ทับถม) 23,455 $ม^3$/ปี

ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวขนานกับชายฝั่งสุทธิ จะมีทิศทางเคลื่อนที่ไปทางเหนือตลอดแนวชายฝั่ง ประมาณ 6,762 $ม^3$/ปี และในแนวตั้งฉากกับชายฝั่งสุทธิ จะมีทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง (ทับถม) 2,416 $ม^3$/ปี

ในฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวขนานกับชายฝั่งสุทธิ จะมีทิศทางเคลื่อนที่ไปทางเหนือตลอดแนวชายฝั่ง ประมาณ 33,595 $ม^3$/ปี และในแนวตั้งฉากกับชายฝั่งสุทธิ จะมีทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง (ทับถม) 16,352 $ม^3$/ปี

ง. จากการศึกษา พบว่า การเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวขนานชายฝั่งสุทธิ ตลอดแนวชายฝั่งทั้งปี โดยทั่วไป จะมีทิศทางเคลื่อนที่ไปทางเหนือ คิดเป็นร้อยละ 73 ของปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ผ่านทั้งหมด โดยฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะมีปริมาณมากที่สุดคือ ร้อยละ 80 รองลงมาคือ ฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลงมีร้อยละ 64.5 และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้น้อยที่สุด มีร้อยละ 46.8 ส่วนการเคลื่อนที่ตะกอนในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง พบว่า ปริมาณการเคลื่อนที่สุทธิ คิดเป็นร้อยละ 12 ของปริมาณตะกอนทั้งหมด และพื้นที่บริเวณที่เกิดการทับถมของตะกอนชายฝั่งอยู่ระหว่าง 0 ถึง 2000 เมตร จากเขื่อนกันทราย มีประมาณ 93,437 $ม^3$/ปี ส่วนพื้นที่บริเวณที่ถูกกัดเซาะชายฝั่งอยู่บริเวณหาดสมิหลา หรือห่างจากเขื่อนกันทราย มากกว่า 2000 เมตร จะมีประมาณ 92,787 $ม^3$/ปี

จ. กระแสน้ำ และตะกอนชายฝั่งที่เคลื่อนในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง จะขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญ ได้แก่ ความสูงคลื่น และความชันคลื่น (Wave steepness) ในค่าความสูงคลื่นมาก

และความชันมาก จะมีพลังงานคลื่นมาก ซึ่งคลื่นที่ซัดเข้าปะทะชายฝั่งมีความรุนแรง ทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่ง และในจังหวะย้อนกลับจะนำเอาตะกอนทรายเคลื่อนออกสู่ทะเล ส่วนในช่วงที่ความสูงคลื่นต่ำ และมีความชันต่ำ คลื่นที่เคลื่อนหาฝั่ง จะอ่อนกำลังลง ตะกอนที่เคลื่อนเข้ามาตามคลื่นหลังคลื่นแตกตัว จะเกิดการตกตะกอนบริเวณชายฝั่ง จะเห็นได้ว่า การเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวตั้งฉาก จะมีลักษณะกลับไปกลับมา และจะมีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะสั้น ๆ และตะกอนเหล่านี้จะไม่สูญหายไปไหน

ฉ. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

จากการศึกษา พบว่า ในบริเวณพื้นที่ใกล้เขื่อนกันทราย จะเกิดการงอกหรือการทับถมของตะกอนทรายเพิ่มขึ้นในอัตรา 6.6 เมตรต่อปี ที่เส้นความลึก 1 เมตร

ช. แนวทางป้องกันและแก้ไข

สามารถกระทำได้โดยการต่อความยาวของเขื่อนกันทรายออกไปอีก เพื่อป้องกันปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ผ่านมาทับถมในบริเวณปากร่องน้ำ หรือการสร้างเขื่อนกันทราย หรือ หัวหาด (Head Land) ขึ้นมาใหม่ในบริเวณใกล้เคียง เพื่อบังคับให้การเคลื่อนที่ของตะกอนไปทางอื่น

7.2 ข้อเสนอแนะ

7.2.1 การศึกษา ทฤษฎีการทำนายคลื่น ด้วยทฤษฎีที่ได้กล่าวมานี้ ได้ทำการทดสอบกับผลจากการวัดคลื่นจริงในภาคสนาม ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้น มีระยะเวลาอันสั้น ทำให้ทฤษฎีดังกล่าว ยังไม่ได้ผลที่เห็นเด่นชัด ควรที่จะมีการเก็บข้อมูลคลื่นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะ ความสัมพันธ์ของลมบนฝั่งกับลมทะเลในเขตน้ำลึก จะเป็นตัวแปรที่สำคัญ ของทฤษฎีการทำนายคลื่น

7.2.2 การศึกษาหาค่า สัมประสิทธิ์ K และ $C_{OFF}$ ของการเคลื่อนของตะกอนมีความสำคัญ ควรจะมีการศึกษาเก็บข้อมูลแผนที่ความลึกท้องน้ำในพื้นที่ศึกษาเพิ่ม หรือบริเวณอื่น ๆ เพื่อหาค่าที่เหมาะสม และหาความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น เช่น ขนาดอนุภาคของเม็ดทราย เป็นต้น

7.2.3 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง แบบ N-Line Model นั้น ยังพบว่า ยังมีข้อจำกัดขอบเขตการกำหนด เงื่อนไขขอบเขต การคำนวณ การเคลื่อนที่ของคลื่น และปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง ทั้งนี้เนื่องจากได้มีการสมมุติฐานของการศึกษานี้ ได้กำหนดให้เกาะหนูเป็นเขื่อน Spur Jetty หรือ เกือกม้าที่ยื่นออกไป ซึ่งมีผลดีต่อการคำนวณลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่น แต่เป็นข้อเสียสำหรับการคำนวณการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งที่เกิดขึ้น เนื่องจากตะกอนไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ ดังนั้นจึงเห็นว่า ควรจะให้มีการศึกษาเพิ่มเติมของการเคลื่อนที่ของตะกอนและคลื่นให้มีความสัมพันธ์กัน

7.2.4 การศึกษาทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งในปัจจุบัน มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ขึ้นมาใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมชายฝั่ง อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในต่างประเทศ ฉะนั้น จึงเห็นควรที่จะมีการศึกษา และการนำประยุกต์ใช้กับสภาพชายฝั่งของประเทศที่กำลังประสบปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพชายฝั่งอยู่ในปัจจุบัน