

ลักษณะของคลื่นและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณสงขลา (CHARACTERISTICS OF WAVE AND SHORELINE CHANGE AT SONGKHLA)

สุพจน์ จารุลักษณ์*, Supot Charulukhana

นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุทัศน์ วิสกุล** Sutat Weesakul (D.Eng)

ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Department of Water Resources Engineering

Faculty of Engineering,

Chulalongkorn University

*ปัจจุบัน วิศวกรบริษัท เข้าทีเอสดีเอเซียเทคโนโลยี จำกัด

**ปัจจุบัน *Division of Water Resources Engineering, AIT*

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน พื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่าง ประสบปัญหาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยมีสาเหตุเนื่องจากธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ ในการศึกษาครั้งนี้ ลักษณะของคลื่นที่เกิดขึ้นในน้ำลึกบริเวณเขื่อนกันทราย และคลื่น จังหวัดสงขลา จะได้รับการวิเคราะห์และคำนวณโดยใช้ข้อมูล ลม 7 ปี ระหว่างปี 2524-2530 ของกรมอุตุณิยมวิทยา โดยใช้ทฤษฎี 3 ทฤษฎี คือ ทฤษฎีของ Sverndrup, Munk และ Bretschneider หรือ SMB Method ทฤษฎีของ Peirson และ Moskowitz หรือ PM Method และทฤษฎีของ Joint of North Sea Wave Project หรือ JONSWAP และใช้ข้อมูลคลื่นที่ได้นี้ประกอบการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ N-Line ในลักษณะสองมิติ

ผลการศึกษา เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลวัดคลื่นภาคสนามแล้ว พบว่า ทฤษฎีของ JONSWAP เป็นทฤษฎีคำนวณความสูงคลื่นที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานน้อยที่สุดจากทั้ง 3 ทฤษฎีที่ใช้ คือ 0.46 เมตร นอกจากนี้ ยังพบว่า ลักษณะของคลื่นที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่

ศึกษาเกิดขึ้นประมาณ 48% ของเวลาในรอบปี คลื่นมีความสูงเฉลี่ย 1-1.50 เมตร และคาบเวลาเฉลี่ย 5-6 วินาที โดยส่วนใหญ่มีทิศทางเคลื่อนที่มาจากทิศตะวันออก 18% และมาจากทิศทางที่ทำมุม 22.5° ทวนเข็มนาฬิกากับทิศตะวันออก 12% ตามลำดับ การเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งสุทธิ ซึ่งคำนวณโดยใช้ค่า Coefficient of Longshore Transport, K เท่ากับ 0.25 และ Activity factor, C_{OFF} เท่ากับ 3 เมตร/ปี ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง N-Line นั้น มีทิศทางเคลื่อนที่ไปทางเหนือตลอดแนวชายฝั่งเป็นปริมาณ 128,280 m^3 /ปี นอกจากนี้ยังพบว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณใกล้เคียงเขื่อนกันทราย จะเกิดการงอกหรือทับถมของตะกอนเพิ่มขึ้นในอัตรา 6.6 เมตรต่อปี ที่เส้นระดับน้ำ 1 เมตร

ABSTRACT

The coastal areas in the Lower Gulf of Thailand have presently suffered from the problem of shoreline change. The causes are from natural phenomena, that is wave, tidal current, etc, and by the interference of sediment transport by man-made coastal structures such as breakwater, jetty, land reclamation, etc. The problem is now accelerated because of the rapid need of land development for economic growth and more investment associated with the economic development of the country.

In this study, the wave characteristics and shoreline change at Songkhla breakwater are examined for both theoretical and field investigation. Deep water waves are hindcasted using the historical wind record from Meteorological department with period of 7 years from 1981 to 1987. There are 3 theories used herein, i.e. theories of Sverdrup, Munk and Bretschneider (SMB), Peirson and Moscowitz (PM) and Joint of North Sea Wave Project (JONSWAP). The result of wave hindcasting model is the significant input data for the mathematical N-line model in order to study the shoreline change in two dimension.

It was found that the JONSWAP method showed the lowest root mean square error among the three theories with the magnitude of 0.46 m. The time of wave which influence the shoreline change in a year was forty-eight percent with the average wave height of 1 to 1.5 meters and wave period of 5 to 6 seconds. The predominant wave direction was north-east and east-north-east with sixteen and twelve percent of time in a year respectively. The calibration from mathematical N-line model showed the Coefficient of Longshore Transport, K equals 0.25 and Activity factor, C_{OFF} equals 3 m/year. The net longshore sediment transport direction is northward with average rate of 128,280 cubic meters per year. The deposition rate at Songkhla breakwater was 6.6 m per year 1 meter contour line.

1. บทนำ

ในประเทศไทยปัจจุบัน การศึกษาวิจัยด้านวิศวกรรมชายฝั่ง (Coastal Engineering) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการกัดเซาะ, การงอกเงยของชายฝั่ง, การสร้างเขื่อนกันคลื่นและทราย สำหรับท่าเรือ หรือ เพื่อให้ร่องน้ำมีเสถียรภาพ และอื่น ๆ ยังมีไม่กว้างขวาง ทั้งที่ภาคใต้ตอนล่างของประเทศก็ประสบกับปัญหาด้านวิศวกรรมชายฝั่ง คือ การกัดเซาะชายฝั่งอย่างรุนแรง (เอกวิทย์ (2528,) ชัยวัฒน์ (2529)) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาวิจัยด้านนี้ ให้ลึกซึ้งและกว้างขวางมากขึ้น และเพื่อทดสอบทฤษฎีต่าง ๆ ที่มีอยู่ว่า สามารถใช้ได้หรือไม่ และดีแค่ไหนในสภาพพื้นที่ศึกษาของประเทศไทยบริเวณจังหวัดสงขลา รูปที่ 1 และ 2 แสดงตำแหน่งและขอบเขตของพื้นที่ศึกษา บริเวณเขื่อนกันทรายและคลื่น

การศึกษานี้ แบ่งเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรก คือ การคำนวณความสูง และคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ โดยใช้ข้อมูลลม รวมทั้งวิเคราะห์สถิติความสูงของคลื่นที่เกิดขึ้นในระยะเวลา 7 ปี ส่วนที่สองได้แก่ การนำข้อมูลคลื่นจากส่วนแรกมาศึกษาปริมาณเคลื่อนที่ของตะกอน รวมทั้งทำนายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งต่อไปในอนาคตด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ N-line Model

2. ขั้นตอน, วิธี และผลการศึกษา

2.1 การทำนายคลื่นด้วยข้อมูลลม

ในประเทศไทยปัจจุบันยังไม่มีวิธีมาตรฐานของการทำนายคลื่นเพื่อใช้ออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่น (Breakwater) หรือ โครงสร้างอื่น ๆ ทั้ง ๆ ที่การออกแบบท่าเรือมาตาพุด, แหลมฉบัง และท่าเรือสงขลา ก็ต้องใช้ข้อมูลลมมาคำนวณความสูงคลื่นในการออกแบบได้ผลเป็นข้อมูลสังเคราะห์ (Synthetic Data) เนื่องจากในปัจจุบันไม่มีการวัดข้อมูลคลื่นในภาคสนาม เป็นระยะเวลานานพอที่จะใช้ประโยชน์ได้ ในการศึกษา ใช้ทฤษฎีทำนายหรือคำนวณคลื่น 3 วิธีมาเปรียบเทียบกับกันคือ Sverdrup-Munk-Bretschneider หรือ SMB Method,

Pierson-Moskowitz หรือ PM Method และ Joint of North Sea Wave Project หรือ JONSWAP Method การทำนายหรือการคำนวณคลื่นทั้ง 3 วิธี ใช้ข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ ความเร็วลม, ระยะเวลาที่ลมพัด และระยะทาง ในทะเลจากจุดที่ลมพัดถึงตำแหน่งที่ต้องการคำนวณ ความสูงคลื่น ความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้ง 3 ส่วนกับค่าที่ต้องการคำนวณคือ ความสูง และคาบเวลาของคลื่นนั้นในทฤษฎีต่าง ๆ จะแตกต่างกันไป ทฤษฎีแรก (SMB) เป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ใน Shore Protection Manual (1977) ของศูนย์วิจัยวิศวกรรมชายฝั่งของกองทัพบกสหรัฐอเมริกาและเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลาย พื้นฐานของทฤษฎีนี้เป็นแบบ empirical โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างลมและคลื่นที่วัดจริงเลยโดยอาศัย การวิเคราะห์แบบไร้หน่วย (Dimensional Analysis) ส่วนวิธี PM Method เป็นวิธีที่พัฒนาและปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยใช้สเปกตรัมของคลื่นเป็นหลัก โดย Silvester et al (1971), Muangman (1973) และยังใช้ในหนังสือการสอนด้านวิศวกรรมชายฝั่งของ Silvester (1979) อีกด้วย พื้นฐานของทฤษฎี คือ การพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลลมกับรูปแบบของสเปกตรัมของความถี่คลื่นต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น และพลังงานของสเปกตรัมนั้นเขียนได้เป็นความสูงคลื่นได้ ดังนั้น ถ้ารูปแบบของสเปกตรัมที่เกิดใกล้เคียงกับ ลักษณะของสเปกตรัมคลื่นที่เกิด ก็จะสามารถคำนวณความสูงคลื่นได้ดี และวิธีสุดท้าย JONSWAP เป็นวิธีที่เสนอให้ใช้เป็นมาตรฐานใหม่ของ Shore Protection Manual (1984) โดยใช้รูปแบบสเปกตรัมที่ได้จากทะเลเหนือเป็นหลัก ซึ่งแตกต่างจาก สเปกตรัมของ PM ทฤษฎีของ PM และ JONSWAP มีหลักการมากกว่า ของ SMB จึงคาดว่าจะให้ผลการคำนวณที่ดีกว่า แต่ SMB Method ก็ยังใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เพราะวิธีการคำนวณนั้นง่าย และสั้นกว่าทฤษฎีอื่น วิธีการคำนวณความสูงคลื่นของทั้ง 3 ทฤษฎีนี้สามารถหาได้จากหนังสืออ้างอิงดังกล่าว หรือจาก สุพจน์ จารุ-ลักษณ์ (2534) ซึ่งสรุปการคำนวณของทุกทฤษฎี

และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งสะดวกและง่ายต่อการใช้

2.1.2. การเปรียบเทียบผลการคำนวณกับการวัดภาคสนาม

ผลการคำนวณคลื่นเปรียบเทียบกับข้อมูลวัดจริงภาคสนาม ซึ่งทำการบันทึกข้อมูลคลื่นและลมทุกชั่วโมง บริเวณชายฝั่งสงขลา ในช่วงระยะเวลา ระหว่างวันที่ 5-22 พฤศจิกายน 2531 รวม 17 วัน แสดงในรูปที่ 3 และ 4 ความสูงคลื่นจากการวัดมีค่าระหว่าง 0.5-1.50 เมตร และคาบเวลามีค่าระหว่าง 3-5 วินาที ส่วนตารางที่ 1 แสดงค่าความผิดพลาด (Error) ต่าง ๆ ซึ่งพบว่า ทั้ง 3 ทฤษฎีจะให้ค่าที่คำนวณได้ต่ำกว่าข้อมูลวัดจริง ทั้งความสูงคลื่นนัยสำคัญ (H_s) และคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ (T_s) ยกเว้น JONSWAP Method ซึ่งให้ค่า Mean percentage error ของคาบเวลาเป็นค่าลบ เท่ากับ -5.28% หรือค่าคำนวณได้มากกว่าค่าที่วัดจริง นอกจากนี้ JONSWAP Method ได้ค่า Root Mean Square Error ต่ำที่สุด คือ 0.46 ม. แต่ต่ำกว่าวิธีอื่นไม่มากนัก ส่วนความผิดพลาดของคาบเวลาจะได้ใกล้เคียงกันทั้ง 3 วิธี อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากค่าความผิดพลาดแล้ว วิธี JONSWAP ค่อนข้างจะดีกว่าวิธีอื่นเล็กน้อย และจะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2.1.3. การวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลคลื่น

จากข้อมูลลมบนฝั่งของสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดสงขลา ซึ่งอยู่ไม่ห่างจากชายฝั่งมากนัก มีการบันทึกข้อมูลลม ทุก 3 ชั่วโมง สามารถนำมาเป็นข้อมูลในการคำนวณคลื่นได้ การวิเคราะห์ทางสถิติคลื่นนี้ใช้ข้อมูล 7 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2524-2530 และใช้ JONSWAP Method ในการคำนวณความสูงและคาบเวลาของคลื่น โดยมีสมมุติฐานของทิศทางการเคลื่อนที่ว่าคลื่นเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับทิศทางลม รูปที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ การกระจายและทิศทางของคลื่น (Wave Rose) ที่ฤดูต่าง ๆ กัน ซึ่งพบว่า ในรอบปีจะเกิดคลื่นขึ้น 48% ของ

ระยะเวลาทั้งปี ส่วนอีก 52% นั้น เป็นเวลาลมสงบและ ช่วงเวลาที่ลมพัดจากบกลุ่มทะเล คลื่นเคลื่อนที่มาจากทิศตะวันออกมากที่สุด เป็นเวลา 18% และรองลงมาเป็น ทิศ East-North-East หรือมุม 22.5° กับทิศตะวันออก เป็นเวลา 12% นอกจากนี้คลื่นส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์, 4 เดือน) เป็นเวลา 29% ของเวลาทั้งปี รองลงมาคือ ฤดูมรสุมเปลี่ยนทิศทาง (มีนาคม, เมษายน, กันยายน, ตุลาคม) และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม ถึง สิงหาคม, 4 เดือน) เป็นเวลา 15% และ 4% ตามลำดับ คลื่นนัยสำคัญที่เกิดสูงสุดในรอบ 7 ปี อยู่ระหว่าง 3-3.5 เมตร ในปี 2525 และคาบเวลานัยสำคัญสูงสุด มีค่า 9-10 วินาที โดยเฉลี่ยคลื่นมีความสูง 1-1.50 เมตร และคาบเวลา 5-6 วินาที รูปที่ 6 แสดงช่วงโอกาสการเกิดหรือย้อนกลับในรอบปี ของความสูง และคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ และตารางที่ 2 แสดงค่าความสูงและคาบเวลาคลื่น ซึ่งมีประโยชน์ในการออกแบบโครงสร้างชายฝั่ง (Coastal Structure) ในบริเวณพื้นที่ศึกษา และใกล้เคียง เช่น ค่าความสูงคลื่นออกแบบ ในรอบ 50 ปี คือ 3.5 เมตร และคาบเวลาคือ 10.4 วินาที เป็นต้น

2.2 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยแบบจำลอง N-line Model

การคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยแบบจำลอง N-line model นี้มีการคำนวณค่อนข้างซับซ้อน และเป็นการคำนวณแบบ numerical model ใช้ program computer ที่พัฒนาขึ้นโดย Perlin et al (1982) เป็นหลัก และนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิต โดย สุพจน์ จารุลักษณ์ (2534) แบบจำลองนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกทำการคำนวณการเคลื่อนที่ของคลื่นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกเข้าสู่แผ่นดิน (Wave Transformation) ความสูงและความยาวคลื่นจะเปลี่ยนแปลงไปเพราะ wave shoaling, การหักเห (Refraction) เนื่องจากอิทธิพลของลักษณะท้อง

ทะเล และการเลี้ยวเบน (Wave Diffraction) เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางคลื่น เช่น เขื่อนกันทรายและคลื่น แต่ไม่รวมถึง การเปลี่ยนแปลงของคลื่นเนื่องจาก กระแสน้ำ เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่ฝั่ง และสลายพลังงาน โดยการแตกตัว จะทำให้ตะกอนชายฝั่งมีการเคลื่อนที่ มาก และลักษณะชายฝั่งก็จะเปลี่ยนไปด้วย ส่วนที่ สองคือ การคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของตะกอนเนื่องจากคลื่นใน 2 ทิศทาง คือ แนวขนานและตั้งฉากกับชายฝั่ง

การคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งใช้สมการ continuity ของตะกอน คือ

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \quad (1) = 0$$

โดย y คือ ระยะทางจากชายฝั่งถึงระดับท้อง น้ำที่ความสูง h ดังแสดงในรูปที่ 7 ก. ส่วน q_x และ q_y คือ ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนต่อ เวลา ที่ตำแหน่ง y ในแนวขนาน และตั้งฉากกับ ชายฝั่งตามลำดับ ถ้าการเปลี่ยนแปลงของตะกอน กับระยะทางในแกน x และ y มีค่าลบจะเป็นผล ให้ค่า y เพิ่มขึ้นตามเวลา รือมีการตกตะกอนทับถม ที่ตำแหน่งนั้น ในทางตรงกันข้ามก็อาจเกิดการกัด เเซาะของชายฝั่งได้เมื่อ การเปลี่ยนแปลงของตะกอน กับระยะทางมีค่าเป็นบวก รูปที่ 7 ข. แสดงทิศทาง ของตะกอนที่ใช้ในสมการที่ (1)

ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวขนาน ชายฝั่ง (Longshore Sediment Transport) แสดง ได้ดังนี้

$$q_x = Q_x \left\{ \exp[-(h^{3/2}_{i,j-1} + H_{bi}A^{3/2})^3] - \exp[-(h^{3/2}_{i,j} + H_{bi}A^{3/2})^3] \right\} \quad (2)$$

$$\text{โดย } Q_x = \acute{c} H_b^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (3)$$

$$\acute{c} = \acute{k} pg^{1/2} / [16(p_s - p)(1 - P)\acute{k}^{1/2}] \quad (4)$$

โดยที่ Q_x คือ ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอน ทั้งหมดในระยะที่คลื่นแตกตัวถึงชายฝั่ง, H_b คือ ความสูงเมื่อคลื่น (root mean square wave

height) แตกตัว (เมตร), α_b คือ มุมที่คลื่นแตกตัว (มุมระหว่างสันคลื่นทำกับชายฝั่ง), g คือ ความ โโน้มถ่วงโลก (9.8 เมตร/วินาที), p_s, p คือ ความหนาแน่นของทรายและน้ำทะเล (2.65 และ 1.025 ตัน/ลบ.เมตร), P คือ ความพรุนของทราย (=0.40), \acute{k} คือ the Karman constant (=0.04), K = ค่าสัมประสิทธิ์, A คือ Scale parameter ของ Equilibrium Beach Profile, และ subscript i และ j แสดงถึงตำแหน่งในแนวขนานและตั้งฉากกับ ชายฝั่ง

ปริมาณตะกอนเคลื่อนที่ตั้งฉากกับชายฝั่ง (Cross-Shore Transport) คำนวณ ด้วยสมการ

$$q_y = \Delta x C_{OFF}(y_{i,j-1} - y_{i,j} + w_{eqi,j}) \quad (5)$$

โดย $w_{eqi,j} = y_{j,j} - y_{i,j-1}$ ที่ Equilibrium Beach Profile (EBP) หลักการของการเคลื่อนที่ของ ตะกอนตั้งฉากกับชายฝั่งนั้น ให้พิจารณาลักษณะของ ชายหาดว่าจะพยายามปรับความลาดชันเข้าสู่ EBP (คือ ชายหาดในลักษณะสมดุลย์แทบไม่มีตะกอน เคลื่อนที่เลย) จากสมการ $h = Ay^{2/3}$ ดังนั้น ถ้าความ สัมประสิทธิ์ K และ $COFF$ จะได้จากการปรับเทียบ ผลการคำนวณจากแบบจำลองกับข้อมูลจริงในภาค ศึกษาดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

ในแบบจำลอง N-line Model นั้น จะแบ่ง พื้นที่เป็นกริดตามแนวขนานชายฝั่ง ทั้งหมด 18 กริด มีความยาวกริดละ 200 เมตร แต่ละกริดจะมีความ ยาว หรือมีค่า y 7 ค่า ที่ระดับความลึก 1 ถึง 7 เมตร ตามลำดับ รูปที่ 8 แสดงขั้นตอนในการทำงาน ของแบบจำลอง จากลักษณะพื้นที่ศึกษามีเกาะหนู คั่นขวางคลื่นจากทิศเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้น ในแบบจำลองจึงต้องรวมเกาะหนูเข้าในแบบ จำลองด้วย โดย จำลองจากสภาพจริง เป็นเขื่อน กันทรายและคลื่น ยื่นออกไปถึงเกาะหนู ดังแสดง ในรูปที่ 9 ส่วนรูปที่ 10 แสดงถึงอิทธิพลของเกาะหนู ที่มีต่อการคำนวณการเคลื่อนที่และความสูงของคลื่น ซึ่งพบว่าคลื่นในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ จะถูกบัง

ด้วยเกาะหนู ทำให้ความสูงคลื่นลดต่ำลง ในบริเวณใกล้กับเขื่อนกับคลื่น ซึ่งอาจทำให้เกิดการทับถมของตะกอนได้ แต่ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนก็มีจำนวนน้อย เพราะคลื่นจะต่ำ (H_p น้อย, ทำให้ Q_x น้อย, ดูสมการที่ 3) ข้อจำกัดของแบบจำลอง N-line คือ จะพิจารณาการเคลื่อนที่ของตะกอนจากคลื่นเป็นหลักเท่านั้น ถ้าเกิดกระแสน้ำชายฝั่งในลักษณะซับซ้อนหรือลักษณะท้องทะเลเป็นหลุมบ่อมาก อาจทำให้การคำนวณคลื่นในส่วนแรกคลาดเคลื่อนและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งไม่ถูกต้องได้ ในการทดสอบแบบจำลองต่อไปได้ แบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ดังต่อไปนี้

2.2.1 การเปรียบเทียบแบบจำลอง (Calibration)

ในแบบจำลอง N-line Medel ต้องมีการเปรียบเทียบผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งกับค่าวัดจริงภาคสนาม เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ (K) ของการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง (q_x) และค่าสัมประสิทธิ์ หรือ Activity Factor, C_{OFF} ของการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง (q_y) ข้อมูลที่ใช้คือ ลักษณะชายฝั่งที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระยะเวลาหนึ่งประกอบด้วย แผนที่ร่องน้ำซึ่งสำรวจโดยกรมเจ้าท่า เมื่อเดือนเมษายน 2532 และกรกฎาคม 2533 มีระยะเวลาห่างกัน 16 เดือน รูปที่ 11 แสดงค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของค่า y จากการทดสอบ เมื่อเปลี่ยนค่า K และ C_{OFF} หลายค่าพบว่า ค่า K เท่ากับ 0.25 และ C_{OFF} เท่ากับ 3 เมตร/ปี จะให้ค่า RMSE น้อยที่สุดคือ 66 เมตร และค่า Beach profile ที่คำนวณได้ก็ใกล้เคียงกับค่าวัดจริง ดังแสดงในรูปที่ 12 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในบริเวณนี้ต่อไปจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าว แต่ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองกับสภาพพื้นที่อื่น ต้องมีการเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่นั้น

2.2.2 การทดสอบแบบจำลอง (Verification)

จากค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของตะกอนค่า K และ C_{OFF} ที่ได้จากการ Calibration นั้น นำมาคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเพื่อทดสอบแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลแผนที่ร่องน้ำของกรมเจ้าท่าเมื่อเดือนกันยายน 2514 และเดือนพฤศจิกายน 2515 มีระยะเวลาห่างกัน 15 เดือน พบว่าค่า RMSE เฉลี่ยของชายฝั่ง 18 sections มีค่า 75.2 เมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นจากค่า เมื่อ Calibration คือ 66 เมตร ซึ่งสาเหตุหนึ่งอาจเป็นเพราะไม่มีข้อมูลลมที่วัดได้ในช่วงระยะเวลาดังกล่าว ทำให้ไม่สามารถคำนวณความสูงและคาบเวลาของคลื่นได้เหมาะสม ดังนั้นในการทดสอบจึงต้องสร้างชุดข้อมูลคลื่นขึ้นโดยอาศัยข้อมูลทางสถิติของคลื่นในรอบ 7 ปี แต่ละฤดูในหัวข้อ 2.1 ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นลักษณะของคลื่นที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยเท่านั้น

2.2.3 การกระจายของตะกอนชายฝั่ง และการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในอนาคต

จากผลการคำนวณปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนจากแบบจำลอง N-line Model แสดงในรูปที่ 13 พบว่า ตะกอนเคลื่อนที่ขนานชายฝั่ง มีปริมาณทั้งหมด 175,460 m^3 /ปี และ 73% ของปริมาณนี้เท่ากับ 128,080 m^3 /ปี เป็นปริมาณสุทธิที่เคลื่อนที่จากทิศใต้สู่ทิศเหนือ โดยมีปริมาณมากที่สุด ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ คือ 87,923 m^3 /ปี ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณการเกิดคลื่นในหัวข้อ 2.1.3 ส่วนปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ตั้งฉากกับชายฝั่งทั้งหมดมี 346,626 m^3 /ปี ซึ่งจำนวน 42,223 m^3 /ปี หรือประมาณ 12% ของปริมาณนี้เป็นปริมาณสุทธิเคลื่อนที่เข้าสู่ฝั่ง (onshore sediment transport) จากผลการคำนวณดังกล่าวแสดงว่าการตกตะกอนทับถมบริเวณด้านเหนือของเขื่อนกันทรายและคลื่นนั้นเกิดเนื่องจากการเคลื่อนที่ของตะกอนในทิศทางขนานชายฝั่ง มากกว่าทิศทางตั้งฉากกับชายฝั่ง

ส่วนการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในอนาคต 5 ปี ต่อไป โดยใช้ข้อมูล สถิติคลื่นที่เกิดขึ้นในรอบ 7 ปี พบว่านับจากปี พ.ศ. 2533 เส้นระดับความลึก 1 เมตร ในบริเวณเขื่อนกันทรายและคลื่น จะถูกทับถมด้วยอัตรา 6.6 เมตร/ปี ในบริเวณถัดมาชายฝั่งก็จะมีลักษณะถูกตกระลอกทับถมมากขึ้นเช่นกันที่เส้นระดับความลึก 2 และ 3 เมตร ซึ่งทำให้ความชันของชายฝั่งน้อยลง

3. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษานี้สรุปได้ว่า

- 3.1 การคำนวณความสูงและคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ ด้วยวิธี JONSWAP Method ให้ค่า Root Mean Square Error ของความสูงคลื่นต่ำที่สุดในบริเวณพื้นที่ศึกษาเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลวัดคลื่นจริงในภาคสนาม แต่อย่างไรก็ตาม ทฤษฎีการทำนายคลื่นทั้ง 3 วิธี ให้ค่าการคำนวณที่ค่อนข้างจะต่ำกว่าค่าวัดจริง จึงควรมีการศึกษาเพื่อทดสอบทฤษฎีเหล่านี้ต่อไป รวมทั้งเก็บข้อมูลภาคสนามเพื่อตรวจสอบทฤษฎีให้มีระยะเวลาเพิ่มขึ้นด้วย
- 3.2 จากข้อมูลลมในรอบ 7 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2524-2530 นำมาวิเคราะห์การกระจายของคลื่นในแต่ละฤดูและรอบปี สามารถคำนวณโอกาสการเกิดคลื่นที่ความสูงต่าง ๆ ได้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์หาค่าความสูงและคาบเวลาคลื่นในการออกแบบโครงสร้างในบริเวณพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียงได้
- 3.3 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง N-line Model สามารถใช้คำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งได้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลวัดจริง และในการเปรียบเทียบแบบจำลองได้ค่าสัมประสิทธิ์ การเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวขนาน

และตั้งฉากกับชายฝั่ง ค่า K และ C_{OFF} เท่ากับ 0.25 และ 3 เมตร/ปี ตามลำดับ

- 3.4 ปริมาณตะกอนเคลื่อนที่ขนานชายฝั่งสุทธิ มีค่า 128,080 m^3 /ปี มีทิศทางจากทิศใต้สู่ทิศเหนือคิดเป็น 73% ของปริมาณตะกอนขนานฝั่งทั้งหมด ส่วนปริมาณตะกอนเคลื่อนที่ตั้งฉากกับชายฝั่งสุทธิ เท่ากับ 42,228 m^3 /ปี มีทิศทางเข้าสู่ฝั่ง โดยคิดเป็น 12% ของปริมาณตะกอนตั้งฉากกับชายฝั่งทั้งหมด เมื่อพิจารณาปริมาณตะกอนแล้ว พบว่าปริมาณตะกอนขนานชายฝั่งมีมากกว่าตะกอนตั้งฉากกับชายฝั่งทั้งหมด ดังนั้น จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมากกว่า
- 3.5 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่บริเวณเขื่อนกันทรายและคลื่นที่ระดับความลึก 1 เมตร พบว่า มีอัตรา 6.6 เมตร/ปี และด้านเหนือของเขื่อนกันทรายและคลื่นก็มีการตกระลอกทับถมเช่นกัน ทำให้ชายฝั่งมีความลาดชันน้อยลง
- 3.6 การศึกษาด้านวิศวกรรมชายฝั่ง โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์นี้ สมควรมีการทดสอบ และประยุกต์ใช้ให้แพร่หลายและกว้างขวางขึ้น ในบริเวณพื้นที่ส่วนอื่นของประเทศ เพื่อนำมาปรับปรุงแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น และเพื่อใช้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางด้านกายภาพ (เช่นการกัดเซาะ และงอกเงยของชายฝั่ง) เมื่อมีการก่อสร้างบริเวณชายฝั่งเกิดขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- ชัยวัฒน์ ผลพิรุฬห์ (2529) “องค์ประกอบในการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สุพจน์ จารุลักษณ์ (2534) “ลักษณะของคลื่นและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณสงขลา” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เอกวิทย์ เต้ (2528) “ลักษณะคลื่นกระแสน้ำและตะกอนชายฝั่งในอ่าวไทยตอนล่าง” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Muangman (1973), “Wave Climate Forecasting in Gulf of Thailand” Master Thesis no.569, AIT, Bangkok, Thailand
- Perlin, M and Dean R.G (1983) “A Numerical Model to Simulate Sediment Transport in the Vicinity of Coastal Structures” US.Army Corps of Engineers, CERC, MR 83-10, 119 p.
- Silvester, R and Vongvisessomjai, S (1971), “Computation of Storm Waves and Swell”, Proc. Instn. Civ. Engrs. Vol.48 p.259-283
- Silvester, R (1979), “Coastal Engineering” Vol.I Elsevier 457 p.
- US Army Corps of Engineers, CERC (1977) “Shore Protection Manual” and ed. 3 Vols.
- US Army Corps of Engineers, CERC (1984) “Shore Protection Manual” 4th ed. 2 Vols.
- Weesakul, S and Charulukhana, S (1990), “Comparison of Wave Hindcast Methods for Lower Gulf of Thailand” 22nd ICCE, Delft, The Netherland, p. 986-992

ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนของทฤษฎีทำนายคลื่น

ค่าความคลาดเคลื่อน	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (Hs)			คาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ (Ts)		
	SMB	PM	JONSWAP	SMB	PM	JONSWAP
Root Mean Square Error	0.61	0.56	0.46	1.25	1.33	1.29
Mean Percentage Error, (%)	48.86	40.50	27.19	24.89	25.52	-5.28
Mean Absolute Percentage Error, (%)	48.90	43.13	34.46	28.19	27.04	27.46

$$\text{Root Mean Square Error} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^m - Y_i^c)^2}$$

$$\text{Mean Percentage Error (\%)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i^m - Y_i^c}{Y_i^m} \right) \times 100$$

$$\text{Mean Absolute Percentage Error (\%)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i^m - Y_i^c}{Y_i^m} \right| \times 100$$

โดยที่

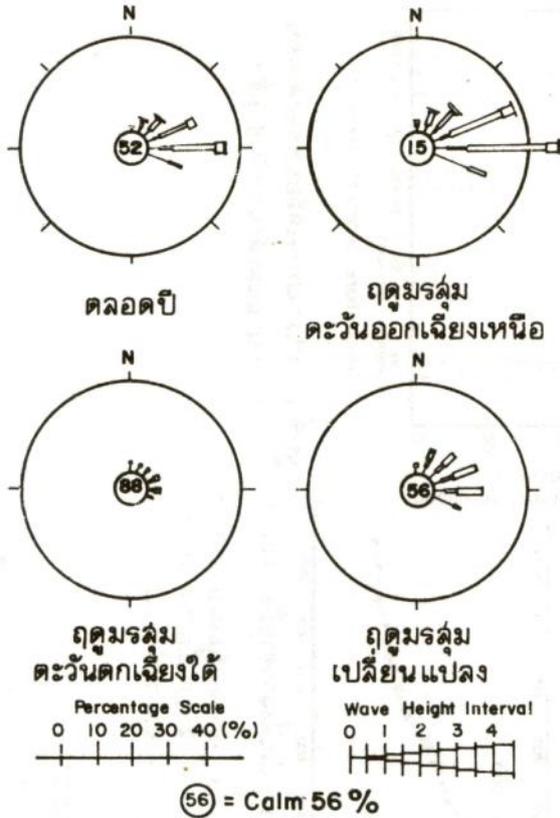
Y^m = ค่าที่ได้จากการวัดจริง

Y^c = ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง

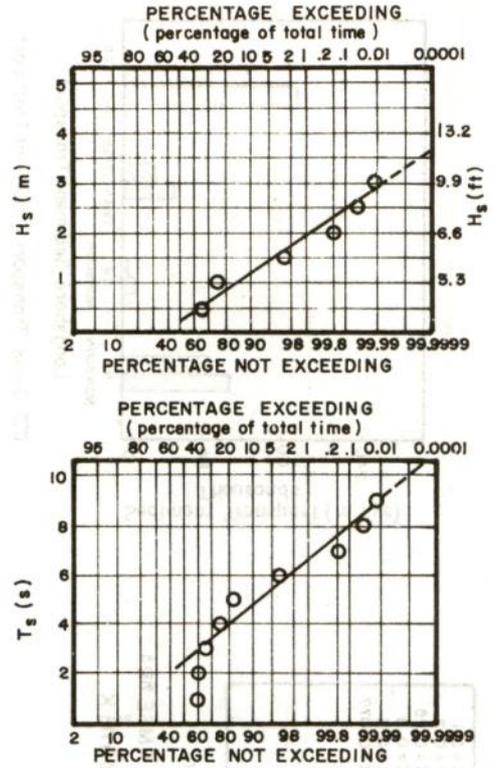
n = จำนวนข้อมูล

ตารางที่ 2 ช่วงโอกาสการเกิดความสูงและคาบเวลาของคลื่นนัยสำคัญในรอบปี

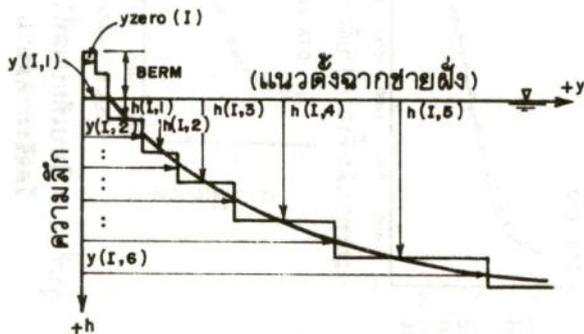
โอกาสการเกิด (ปี)	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (Hs)		คาบเวลาของคลื่นนัยสำคัญ (Ts) (วินาที)
	เมตร	ฟุต	
1	2.8	9.2	9
10	3.3	10.8	9.8
25	3.4	11.2	10.2
50	3.5	11.4	10.4
100	3.7	12.1	11.2



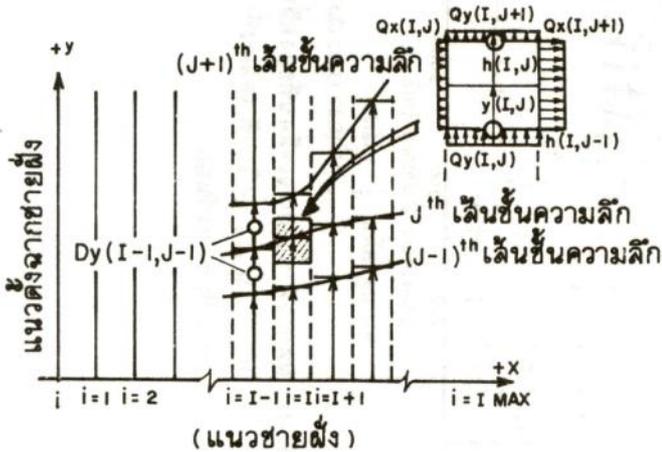
รูปที่ 5 ลักษณะการกระจายขนาดและทิศทางของคลื่น (Wave Rose) บริเวณชายฝั่งสงขลา



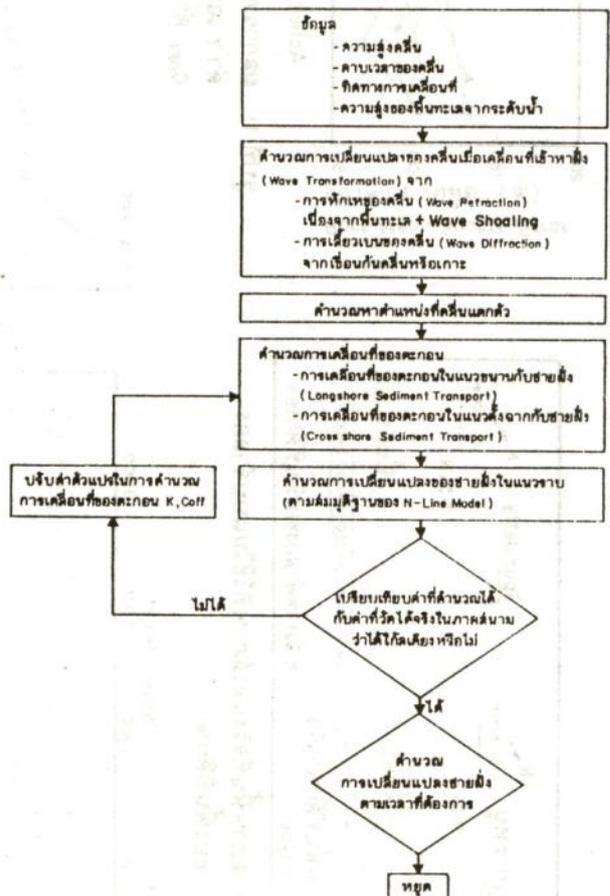
รูปที่ 6 ช่วงโอกาสการเกิดหรือย้อนกลับ ในรอบปีของความสูง และ คาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ



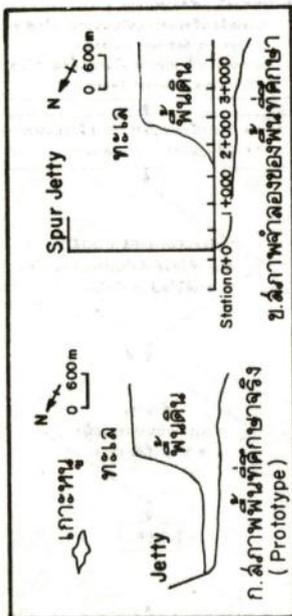
ก. รูปตัดตามแนวชายฝั่ง (Beach Profile)



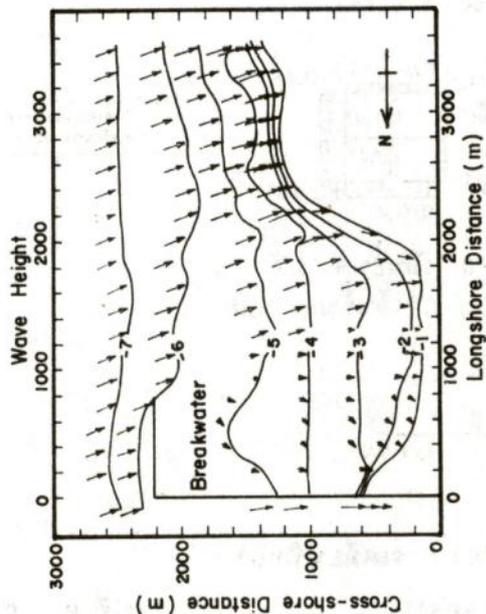
รูปที่ 7 โครงสร้างของแบบจำลอง การเคลื่อนที่ของ ตะกอน (จาก Perlin (1983))



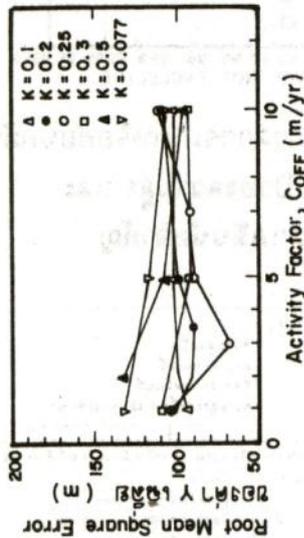
รูปที่ 8 การทำงานของแบบจำลอง N-Line



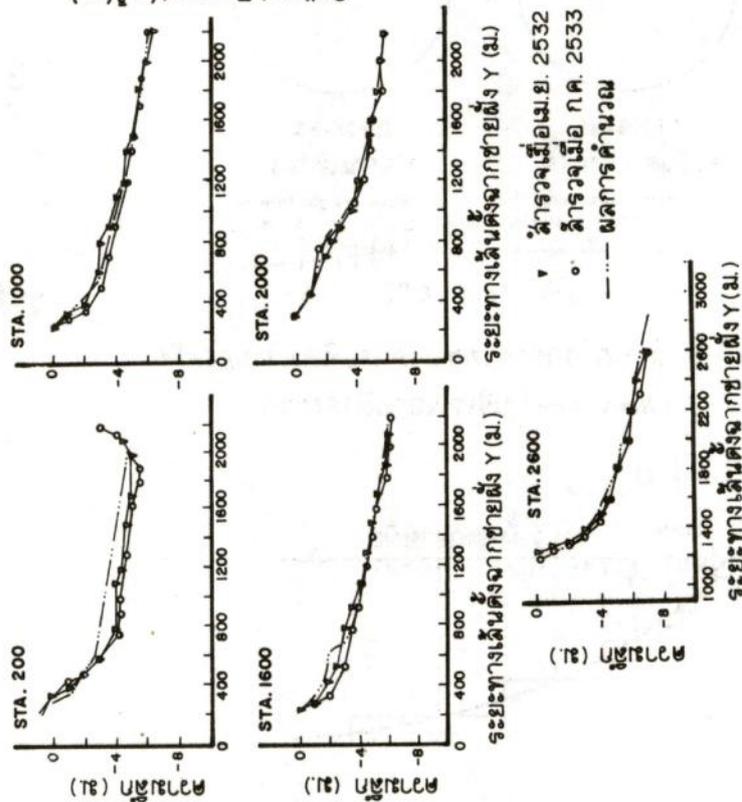
รูปที่ 9 สภาพพื้นที่จริงและสภาพที่ใช้ในแบบจำลองของพื้นที่ศึกษา



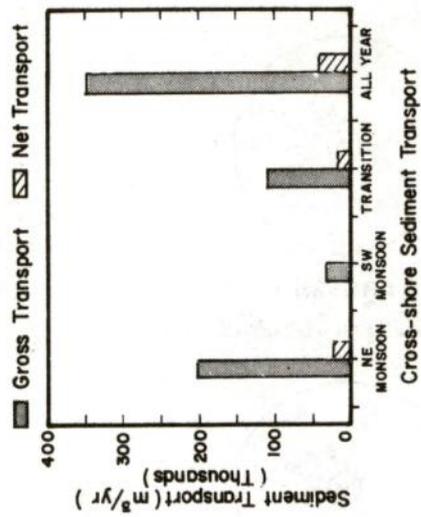
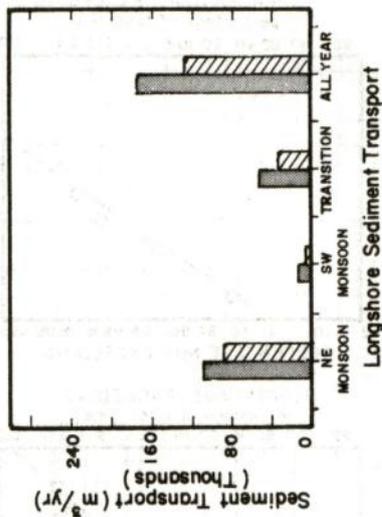
รูปที่ 10 ผลการคำนวณการเคลื่อนที่ของคลื่น
 $H_s = 1.5m$, $T_s = 8$ วินาที เควียนที่ทำมุม
 22.5° กับทิศตะวันออก



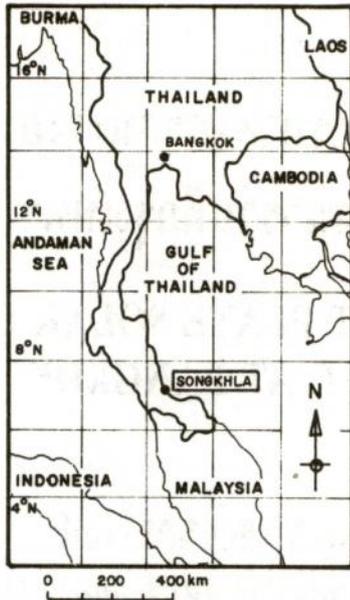
รูปที่ 11 ผลการทดสอบเปรียบเทียบ RMSE ของค่า Y เหนือค่าหาค่าสัมประสิทธิ์ K COFF ต่างๆ



รูปที่ 12 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณ (Calibration) และข้อมูลวัดจริงภาคสนาม



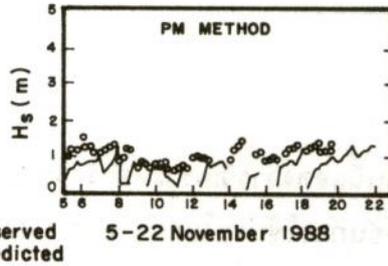
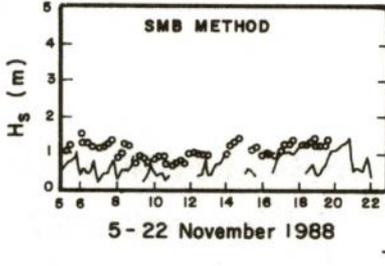
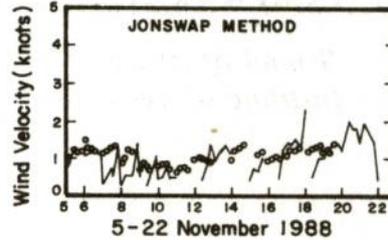
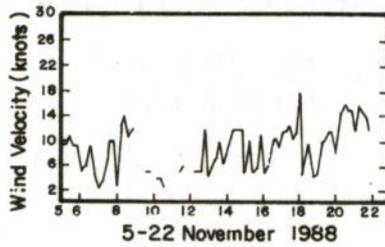
รูปที่ 13 ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งและฝั่งจากกับชายฝั่ง



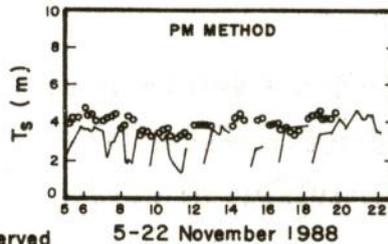
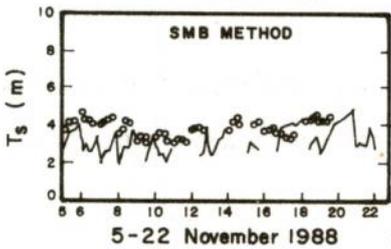
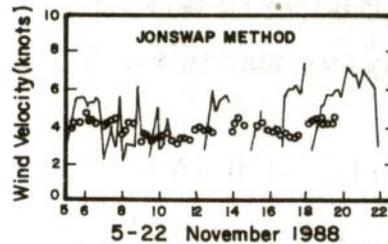
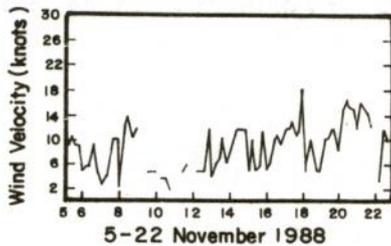
รูปที่ 1 แผนที่แสดงที่ตั้งของจังหวัดสงขลา



รูปที่ 2 แผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญ (H_s) จากการคำนวณ และการวัดภาคสนามระหว่าง 5-22 พย. 2531



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ (T_s) จากการคำนวณ และการวัดภาคสนามระหว่าง 5-22 พย. 2531