ลักษณะของคลื่นและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณสงขลา

นายสุพจน์ จารุลักษมา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2534

ISBN 974-578-560-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017152 1179225538

Characteristics of Wave and Shoreline Change at Songkhla

Mr. Supot Charulukhana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1991

ISBN 974-578-560-1

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ลักษณะของคลื่นและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณสงขลา
โดย	นายสุพจน์ จารุลักขณา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สุทัศน์ วีสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรวุฒิ ประติษฐานนท์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสถียร ชลาชีวะ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.สุทัศน์ วีสกุล)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุพจน์ จารุลักขณา : ลักษณะของคลื่นและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณสงขลา (CHARACTERISTICS OF WAVE AND SHORELINE CHANGE AT SONGKHLA) อ.ที่ปรึกษา : ดร.สุทัศน์ วีสกุล,ผศ.ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์, 310 หน้า.
ISBN 974-578-560-1.

ปัจจุบัน พื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่างของประเทศ ประสบปัญหา การเปลี่ยนแปลงสภาพชายฝั่งเป็นอย่างมาก มีสาเหตุทั้งจากธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ ปัญหาดังกล่าวมีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งเพื่อประโยชน์ด้านเศรษฐกิจ และการลงทุนตามความเจริญของประเทศ

การศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ จะศึกษาลักษณะของคลื่น และการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ในบริเวณเขื่อนกันทราย จังหวัดสงขลา การวิเคราะห์ลักษณะคลื่นนั้น ใช้ข้อมูลลม 7 ปี ระหว่างปี 2524-2530 ของกรมอุตุนิยมวิทยา มาพยากรณ์ลักษณะของคลื่น (Wave Hindcasting) ที่เกิดขึ้นในน้ำลึก โดยใช้ทฤษฎี 3 ทฤษฎี คือทฤษฎีของ Sverndrup, Munk และ Bretschneider หรือ SMB Method ทฤษฎีของ Peirson และ Morkowitz หรือ PM Method และทฤษฎีของ JONSWAP หรือ SPM (1984) และใช้ข้อมูลคลื่นนี้ประกอบการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ N-Line ในลักษณะสองมิติ

ผลการศึกษา เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลวัดคลื่นภาคสนามแล้ว พบว่า ทฤษฎีของ JONSWAP เป็นทฤษฎีทำนายคลื่นที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานน้อยที่สุด จากทั้ง 3 ทฤษฎีที่ใช้ศึกษา คือ 0.46 เมตร นอกจากนี้ ยังพบว่า ลักษณะของคลื่นที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ศึกษาเกิดขึ้นประมาณ 48% ของเวลาในรอบปี คลื่นมีความสูงเฉลี่ย 1-1.50 เมตร และคาบเวลาเฉลี่ย 5-6 วินาที โดยมีทิศทางเคลื่อนที่ คือ E 16% และ ENE 12% ตามลำดับ การเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งสุทธิ ซึ่งคำนวณโดยใช้ค่า Coefficient of Longshore Transport, K เท่ากับ 0.25 และ Activity factor, C_{OFF} เท่ากับ 3 เมตร/ปี ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง N-Line นั้นมีทิศทางเคลื่อนที่ไปทางเหนือตลอดแนวชายฝั่งเป็นปริมาณ 128,280 $ม^3$/ปี นอกจากนี้ พบว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณใกล้เคียงเขื่อนกันทราย จะเกิดการงอกหรือทับถมของตะกอนทรายเพิ่มขึ้นในอัตรา 6.6 เมตรต่อปี ที่เส้นระดับน้ำ 1 เมตร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2533

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

SUPOT CHARULUKHANA : CHARACTERISTIC OF WAVE AND SHORELINE CHANGE AT SONGKHLA. THESIS ADVISOR:SUTAT WEESAKUL, Ph.D., ASST.PROF.SUCHARIT KOONTANAKULVONG, 310 PP. ISBN 974-578-560-1.

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, or land reclamation. The problem is now accelerated because of the 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 data 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 Sverndrup, Munk and Bretschenider (SMB), Peirson and Moscowitz (PM) and JONSWAP (SPM 1984). 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 standard 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 height of 1 to 1.5 meters and wave period of 5 to 6 seconds. The predominant wave directions were north-east and east-north-east with sixteen and twelve percent in a year respectively. The calibration from mathematical N-line model showed that coeff 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 jetty was 6.6 m per year at the water level of 1 meter.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2533

ลายมือชื่อนิสิต Supot Charulukhana

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Sutat Weesakul

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม Sucharit Koontanakulvong

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เสถียร ชลาชีวะ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรวุฒิ ประดิษฐานนท์ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ถ่ายทอดความรู้ และแนวความคิดต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งข้าพเจ้ามิอาจลืมเลือนได้ อีกทั้งบรรดาคณาจารย์วิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ และอบรมสั่งสอนข้าพเจ้ามาตลอด

ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุทัศน์ วีสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า ที่ท่านเป็นผู้แนะนำ ให้ความรู้ คำปรึกษา ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ และตลอดจนคอยดูแลการทำวิจัยของข้าพเจ้าอย่างใกล้ชิดจนสำเร็จลุล่วงลงได้

อนึ่ง ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า เจ้าหน้าที่กรมอุตุนิยมวิทยา และสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ที่ได้มีส่วนในการสนับสนุน อำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อมูลด้านต่าง ๆ และชมรมวิศวกรรมแหล่งน้ำ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้ ตลอดจนคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประกอบการศึกษาครั้งนี้ นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณวารุณี โพธิ์เรือง และคุณสุรชัย กรีอักษร ที่ได้ช่วยจัดพิมพ์และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ท้ายที่สุด ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ พระคุณบิดามารดา ผู้ที่เหนื่อยยากลำบากเพื่อเปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาเล่าเรียนจนกระทั่งบัดนี้

สุพจน์ จารุลักขณา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 บทนำและความเป็นมา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบข่ายของการศึกษา 2

1.4 แนวทางการศึกษา 5

1.5 การศึกษาที่ผ่านมา 6

1.5.1 การศึกษาในต่างประเทศ 6

1.5.2 การศึกษาในประเทศ 9

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 10

บทที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา

2.1 สภาพภูมิประเทศ 12

2.2 สภาพภูมิอากาศ 12

2.2.1 ลม 13

2.2.2 พายุหมุน 13

2.2.3 อุณหภูมิ 18

2.2.4 ความชื้นสัมพันธ์ 18

2.2.5 ฝน 18

2.3 สภาพอุทกศาสตร์ 21

2.3.1 ลักษณะท้องทะเล 21

2.3.2 ลักษณะดินบริเวณชายฝั่ง 21

2.3.3 ลักษณะน้ำขึ้นน้ำลง 26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

3.1 ทฤษฎีการทำนายคลื่นด้วยข้อมูลลม 28

3.1.1 วิธี SMB Method 29

3.1.2 วิธี PM Method 32

3.1.3 วิธี JONSWAP Method 39

3.1.4 ความยาวเฟทช์ประสิทธิ์ผล 41

3.2 การเปลี่ยนแปลงของคลื่น เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง 43

3.2.1 อิทธิพลความลึกของน้ำที่มีต่อคลื่น 43

3.2.2 การหักเหของคลื่น 44

3.2.3 การเลี้ยวเบนของคลื่น 46

3.2.4 การแตกตัวของคลื่น 48

3.3 การเคลื่อนที่ของตะกอนของชายฝั่ง 51

บทที่ 4 การวิเคราะห์ทำนายคลื่นด้วยข้อมูลลม

4.1 การจัดการข้อมูลลม 58

4.2 วิธีทำนายคลื่นโดยทฤษฎีต่าง ๆ 61

4.2.1 วิธี SMB Method 61

4.2.2 วิธี PM Method 65

4.2.3 วิธี JONSWAP Method 68

4.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำนายคลื่นด้วยข้อมูลลม 72

4.4 การทดสอบความแม่นยำของโปรแกรม 76

4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ 82

บทที่ 5 แบบจำลองคณิตศาสตร์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง แบบ N-Line

5.1 หลักการและโครงสร้างทั่วไป ของแบบจำลอง 110

5.2 การเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าหาฝั่ง 112

5.2.1 การหักเหของคลื่น 112

5.2.2 การเลี้ยวเบนของคลื่น 114

5.3 การเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง 116

5.3.1 สมการการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวขนานชายฝั่ง 116

5.3.2 สมการการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง 120

5.3.3 การแก้สมการต่อเนื่อง เพื่อหาค่า y 121

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4 ความเร็วของทรายที่เกิดการเคลื่อนที่ 122
5.4.1 ความเร็วของทรายเริ่มเคลื่อนที่ 122
5.4.2 ความเร็วสูงสุดของทรายที่เกิดการเคลื่อนที่ 123
5.5 การใช้แบบจำลองในพื้นที่ศึกษา 125
5.5.1 เงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต 125
5.5.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ 129
5.5.3 ขั้นตอนการคำนวณ 129
5.6 การทดสอบเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม 131

บทที่ 6 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้
6.1 การประยุกต์แบบจำลองกับพื้นที่ศึกษา 149
6.1.1 แผนที่สภาพท้องน้ำ 149
6.1.2 ลักษณะของคลื่น 149
6.2 ผลที่ได้จากแบบจำลอง 155
6.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าหาฝั่ง 155
6.4 การกระจายของการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง 170
6.5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง 177

บทที่ 7 บทสรุป และข้อเสนอแนะ
7.1 บทสรุป 185
7.1.1 การดำเนินงานศึกษา 185
7.1.2 ลักษณะของคลื่น 186
7.1.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพชายฝั่ง 188
7.2 ข้อเสนอแนะ 189

เอกสารอ้างอิง 190
ภาคผนวก ก การสำรวจภาคสนาม 198
ภาคผนวก ข แผนผังการทำงานของการทำนายคลื่น 224
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของลักษณะของคลื่น 240
ภาคผนวก ง การสลายพลังงานของคลื่นเคลื่อนที่สู่เขตน้ำตื้น 306
ภาคผนวก จ สมการที่ใช้เปรียบเทียบผลการคำนวณกับค่าที่วัดจริง 308
ประวัติผู้ศึกษา 310

ตาราง หน้า

1-1 แหล่งข้อมูลแผนที่ของสถานีสงขลา 6
2-1 สถิติข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในคาบ 30 ปี (พ.ศ.2499-2528) อ.เมือง จ.สงขลา... 14
2-2 ข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลง (Tide) ของสถานีสงขลา 27
4-1 ผลการวิเคราะห์ความยาวเฟทช์ประสิทธิผลของสถานีสงขลา 63
4-2 ค่าความคลาดเคลื่อนของทฤษฎีทำนายคลื่นด้วยวิธีต่าง ๆ 77
4-3 สรุปชั่วโมง การเกิดความสูงและคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ และความเร็วลม ในรอบ 7 ปี (พ.ศ.2524-2530) 86
4-4 สรุปชั่วโมง การเกิดความสูงและคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ และความเร็วลม ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พ.ศ.2524-2530) 87
4-5 สรุปชั่วโมง การเกิดความสูงและคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ และความเร็วลม ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พ.ศ.2524-2530) 88
4-6 สรุปชั่วโมง การเกิดความสูงและคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ และความเร็วลม ในฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง (พ.ศ.2524-2530) 89
4-7 สรุปชั่วโมงการเกิดความสูงคลื่นนัยสำคัญที่เกิดขึ้นในฤดูกาลต่าง ๆ 90
4-8 สรุปชั่วโมงการเกิดคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญที่เกิดขึ้นในฤดูกาลต่าง ๆ 91
4-9 สรุปชั่วโมงการเกิดความเร็วลมที่เกิดขึ้นในฤดูกาลต่าง ๆ 92
4-10 สรุปชั่วโมงการเกิดทิศทางการเคลื่อนที่ของลมที่เกิดขึ้นในฤดูกาลต่าง ๆ 93
4-11 ผลการวิเคราะห์สถิติความเป็นไปได้ของความสูงคลื่นนัยสำคัญ 104
4-12 ผลการวิเคราะห์สถิติความเป็นไปได้ของคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ 104
4-13 ช่วงโอกาสการเกิดความสูงและคาบเวลาของคลื่นนัยสำคัญในรอบปี 109
5-1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบของค่าสัมประสิทธิ์ K และ C_{OFF} 132
6-1 การเลือกลักษณะของคลื่นที่เกิดในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ธ.ค.-มี.ค.) .. 152
6-2 การเลือกลักษณะของคลื่นที่เกิดในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (มิ.ย.-ก.ย.) 153
6-3 การเลือกลักษณะของคลื่นที่เกิดในฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง (เม.ย.-พ.ค. และ ต.ค.-พ.ย.) 154
6-4 การกระจายของการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวขนาน และตั้งฉากกับชายฝั่ง ที่เกิดในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ 172
6-5 การกระจายของการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวขนาน และตั้งฉากกับชายฝั่ง ที่เกิดในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ 174

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

6-6 การกระจายของการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวขนาน และตั้งฉากกับชายฝั่งที่เกิดในฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง 176
6-7 การกระจายของการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวขนาน และตั้งฉากกับชายฝั่งที่เกิดตลอดปี 179
6-8 สรุปปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนขนานและตั้งฉากกับชายฝั่ง 180
6-9 ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณเชื่อนกันทรายในอนาคต 180

สารบัญรูป

รูป		หน้า
1-1	แผนที่แสดงที่ตั้งของจังหวัดสงขลา	3
1-2	แผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในเขตจังหวัดสงขลา ..	4
2-1	สภาพภูมิอากาศในคาบ 30 ปี (พ.ศ.2499-2528) อ. เมือง จ. สงขลา	15
2-2	ผังลม (Wind Rose) ในคาบ 30 ปี (พ.ศ.2499-2528) ของจังหวัดสงขลา ..	17
2-3	เส้นทางเดินเฉลี่ยของพายุหมุนเขตร้อนในคาบ 35 ปี (พ.ศ.2494-2528)	19
2-4	บริเวณการก่อตัวของพายุหมุนโซนร้อน	20
2-5	ลักษณะของพื้นท้องทะเลบริเวณอ่าวไทย	22
2-6	ผลการขุดเจาะดิน บริเวณพื้นที่ศึกษา จาก OTCA Report (1973)	23
2-7	บริเวณเก็บตัวอย่างทราย ตามชายฝั่ง จังหวัดสงขลา	24
2-8	การกระจายของเม็ดทราย	25
3-1	แสดงความสัมพันธ์ $C/U = \psi_1(\frac{gF}{U^2}, \frac{gt}{U})$ และ $\frac{gH}{U^2} = (\frac{gF}{U^2}, \frac{gt}{U})$	30
3-2	การก่อตัวของความสูงของคลื่น ตลอดความยาวเฟทช์ที่ความเร็วลมหนึ่ง	30
3-3	สเปกตรัมของคลื่น PM ที่ความเร็วลม $U_{19.5}$ = 20-40 น๊อต	33
3-4	โค้งการกระจายพลังงาน (EDC) โดยสเปกตรัม-คาบเวลาของ PM	33
3-5	ความสัมพันธ์ไม่มีมิติระหว่าง $U_{19.5}f/g$ หรือ $C/U_{19.5}$ กับ $S_H 2(f)g^3 10^2/U_{19.5}$	35
3-6	กราฟ EDC ของ PM ไม่มีมิติ และการกระจายเป็นรูปสามเหลี่ยมในสภาวะ FAS .	35
3-7	ค่า α และ β ในสภาวะคลื่นกำลังก่อตัว	38
3-8	กลุ่มความเร็วคลื่นต่าง ๆ ตลอดความยาวเฟทช์	38
3-9	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน t/t_{FAS} กับ F/F_{FAS}	40
3-10	ค่าพารามิเตอร์ของสเปกตรัม JONSWAP	40
3-11	การหาค่าความยาวเฟทช์ประสิทธิ์ผล (Effective Fetch)	42
3-12	การหักเหของคลื่นตามกฎของสเนลล์	45
3-13	การเลี้ยวเบนของคลื่น	47
3-14	ลักษณะการแตกตัวของคลื่นแบบต่าง ๆ	49
3-15	การจำแนกชนิดการแตกตัวของคลื่น	50
3-16	ความชันของคลื่นในเขตน้ำลึก	52
3-17	การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะยาว	52
3-18	แบบจำลองพารามิเตอร์ ของอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวตั้งฉากชายฝั่ง ..	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
3-19	ความสัมพันธ์ A กับขนาดของเม็ดทราย	55
3-20	ความสัมพันธ์ลักษณะของ Equilibrium Beach Profile กับค่า Scale Parameter (A) ที่ค่าต่าง ๆ	57
4-1	ความสัมพันธ์ความเร็วลมบนฝั่งกับอัตราส่วนความเร็วลมในทะเลต่อความเร็วลมบนฝั่ง	60
4-2	การหาความยาวเฟทช์ประสิทธิ์ผล ในทิศทางลมที่พัดจากทิศเหนือ	62
4-3	แผนผังการคำนวณความสูงและคาบเวลาของคลื่นนัยสำคัญ ด้วยวิธีของ SMB Method	66
4-4	ความสัมพันธ์ระหว่าง F/F_{FAS} และ $[T/T_{FAS}]_{max}$	69
4-5	แผนผังการคำนวณความสูงและคาบเวลาของคลื่นนัยสำคัญด้วยวิธีของ PM Method	70
4-6	แผนผังการคำนวณความสูงและคาบเวลาของคลื่นนัยสำคัญด้วยวิธีของ JONSWAP Method	73
4-7	แผนผังการควบคุมการทำงานของโปรแกรมหลัก	75
4-8	การเปรียบเทียบคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญระหว่างผลการวัดและการคำนวณ	78
4-9	การเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญ ระหว่างผลการวัดและการคำนวณ	79
4-10	เปรียบเทียบความสูงและคาบเวลาของคลื่นระหว่างค่าที่วัดจริงกับการคำนวณ	80
4-11	เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนของความสูง และคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ	81
4-12	เปอร์เซนต์การเกิดความสูงคลื่นนัยสำคัญในฤดูกาลต่าง ๆ	83
4-13	เปอร์เซนต์การเกิดคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญในฤดูกาลต่าง ๆ	84
4-14	เปอร์เซนต์การเกิดความเร็วลมในฤดูกาลต่าง ๆ	85
4-15	สรุปเปอร์เซนต์การเกิด ลักษณะของคลื่น ความเร็วลม และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเฉลี่ยตลอดปี	94
4-16	สรุปเปอร์เซนต์การเกิด ลักษณะของคลื่น ความเร็วลม และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ธ.ค.-มี.ค.)	95
4-17	สรุปเปอร์เซนต์การเกิด ลักษณะของคลื่น ความเร็วลม และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (มิ.ย.-ก.ย.)	96
4-18	สรุปเปอร์เซนต์การเกิด ลักษณะของคลื่น ความเร็วลม และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นในฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง (เม.ย.-พ.ค. และ ต.ค.-พ.ย.)	97

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป หน้า

4-19 สรุปการกระจายขนาดและทิศทางของคลื่น (Wave Rose) ที่เกิดขึ้นตลอดทั้งปี ... 98

4-20 สรุปการกระจายขนาดและทิศทางของคลื่น (Wave Rose) ที่เกิดขึ้น ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ 99

4-21 สรุปการกระจายขนาดและทิศทางของคลื่น (Wave Rose) ที่เกิดขึ้น ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ 100

4-22 สรุปการกระจายขนาดและทิศทางของคลื่น (Wave Rose) ที่เกิดขึ้น ในฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง 101

4-23 ช่วงโอกาสการเกิดหรือย้อนกลับในรอบปีของความสูงคลื่นนัยสำคัญ 102

4-24 ช่วงโอกาสการเกิดหรือย้อนกลับในรอบปีของคาบเวลาคลื่นนัยสำคัญ 103

4-25 เปรียบเทียบช่วงโอกาสการเกิดระหว่างผลการศึกษาในปัจจุบัน กับ ผลการศึกษา Songkhla Interim Report 108

5-1 โครงสร้างของแบบจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอน 111

5-2 ลักษณะการเลี้ยวเบนของคลื่นผ่านสิ่งกีดขวาง 115

5-3 การกระจายการเคลื่อนที่ของตะกอนที่เกิดขึ้นในบริเวณใกล้ชายฝั่ง 115

5-4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคของน้ำ ในบริเวณเขตน้ำตื้นและน้ำลึก 124

5-5 แผนผังการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งแบบ N-Line 126

5-6 การสมมุติฐานของพื้นที่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ N Line 127

5-7 การเคลื่อนที่ของคลื่นกระทำกับชายฝั่ง 128

5-8 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบบ N Line 130

5-9 ผลการทดสอบเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพารามิเตอร์ K และ C_{OFF} 134

5-10 ผลการทดสอบ Mean Absolute Percentage Error 134

5-11 ผลการศึกษาของ Krous 135

5-12 อิทธิพลของพารามิเตอร์ (K, C_{OFF}) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ที่ระดับความลึก 1 เมตร 137

5-13 เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับแผนที่สำรวจ ที่ระดับความลึก 2 เมตร 140

5-14 เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับแผนที่สำรวจ ที่ระดับความลึก 3 เมตร 141

5-15 เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับแผนที่สำรวจ ที่ระดับความลึก 4 เมตร 142

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
5-16	เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับแผนที่สำรวจ ที่ระดับความลึก 5 เมตร	143
5-17	เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับแผนที่สำรวจในลักษณะ Beach Profile ..	144
6-1	แผนที่สภาพพื้นท้องน้ำบริเวณพื้นที่ศึกษาสำรวจเมื่อ กันยายน 2514 โดยกรมเจ้าท่า.....	150
6-2	แผนที่สภาพพื้นท้องน้ำบริเวณพื้นที่ศึกษาสำรวจเมื่อ กันยายน 2515 โดยกรมเจ้าท่า.....	151
6-3	เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับแผนที่สำรวจ ที่ระดับความลึก 1 เมตร	156
6-4	เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับแผนที่สำรวจ ที่ระดับความลึก 2 เมตร	157
6-5	เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับแผนที่สำรวจ ที่ระดับความลึก 3 เมตร	158
6-6	เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับแผนที่สำรวจ ที่ระดับความลึก 4 เมตร	159
6-7	เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับแผนที่สำรวจ ที่ระดับความลึก 5 เมตร	160
6-8	การหักเหและการเลี้ยวเบนของคลื่น เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ในทิศทางต่าง ๆ	161
6-9	การหักเหและการเลี้ยวเบนของคลื่นที่มีผลต่อความสูงคลื่น เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ในทิศทางต่าง ๆ	165
6-10	สภาพท้องทะเลสามมิติในบริเวณพื้นที่ศึกษา	169
6-11	การกระจายการเคลื่อนที่ของตะกอนในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ	171
6-12	การกระจายการเคลื่อนที่ของตะกอนในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้	173
6-13	การกระจายการเคลื่อนที่ของตะกอนในฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง	175
6-14	การกระจายการเคลื่อนที่ของตะกอนตลอดทั้งปี	178
6-15	อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณเขื่อนกันทราย	181
6-16	คาดคะเนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในอนาคต ที่เส้นความลึกต่าง ๆ	182