ลักษณะคลื่นกระแสน้ำและตะกอนบริเวณชายฝั่งในอ่าวไทยตอนล่าง

นายเอกวิทย์ แต้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2529

ISBN-974-566-643-2

013454
i18345578

Characteristics of Nearshore Waves and Longshore Transport at Lower Gulf of Thailand

Mr.Ekavit Tae

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1986

ISBN-974-566-643-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ลักษณะคลื่นกระแสน้ำและตะกอนบริเวณชายฝั่งในอ่าวไทยตอนล่าง
โดย	นายเอกวิทย์ แต้
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจาร์ย ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สรชัย พิศาลบุตร)

รักษาการในตำแหน่งรองคณบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนรักษาการในตำแหน่งคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ จักรี จตุทะศรี)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เสถียร ชลาชีวะ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย)

ลิขสิทธิของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ลักษณะคลื่นกระแสน้ำและตะกอนบริเวณชายฝั่งในอ่าวไทยตอนล่าง
ชื่อนิสิต เอกวิทย์ แต้
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2528

บทคัดย่อ

ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่าง มักจะประสบปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพชายฝั่งที่รุนแรง ทั้งนี้เนื่องจากอ่าวไทยตอนล่างมีลักษณะเป็นทะเลเปิด (open sea) ติดต่อกับทะเลจีนใต้ จึงได้รับอิทธิพลรุนแรงของคลื่นที่เคลื่อนที่มาจากทะเลจีนใต้โดยตรง การเปลี่ยนแปลงสภาพชายฝั่งดังกล่าวได้เกิดขึ้นอย่างรุนแรงและต่อเนื่องมามากกว่า 80 ปีตามหลักฐานที่ได้ค้นพบ

การศึกษาวิทยานิพนธ์มุ่งที่จะศึกษา ลักษณะคลื่นกระแสน้ำและตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่าง ในเขตจังหวัดนราธิวาสระหว่างปากแม่น้ำโกลกถึงบริเวณเขาตันหยง ยาวประมาณ 40 กม. จากสถิติข้อมูลคลื่นวัดในทะเลจีนใต้ โดยเรือสังเกตการณ์ของสำนักงานอุตุนิยมวิทยาของอังกฤษ ระหว่างปี 2492-2525 และแผนที่อุทกศาสตร์ซึ่งสำรวจโดยกรมอุทกศาสตร์แห่งราชนาวีไทย ระหว่างปี 2503-2506 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณการหักเหของคลื่นเข้าสู่ฝั่ง จะได้รูปแบบการเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าสู่ฝั่งจากเครื่อง Plotter ซึ่งทำให้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การหักเหของคลื่น ลักษณะต่าง ๆ ของคลื่นบริเวณคลื่นแตกตัว พลังงานคลื่น การเคลื่อนที่ของกระแสน้ำและตะกอนชายฝั่งได้

จากการศึกษาพบว่าคลื่นบริเวณใกล้ฝั่งมีความสูงคลื่นแตกตัวเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 2.0 ม. ความลึกตำแหน่งคลื่นแตกตัวเฉลี่ย 2.6 ม. และระยะคลื่นแตกตัวห่างจากฝั่งประมาณ 1 กม. ความเร็วกระแสน้ำท้องน้ำสูงสุดเฉลี่ยในรอบปีประมาณ 2.0 ม/วินาที กระแสน้ำตามแนวชายฝั่งที่เคลื่อนจากปากแม่น้ำโกลกไปยังเขาตันหยงเฉลี่ย 1.0-2.0 ม/วินาที และกระแสน้ำที่เคลื่อนจากเขาตันหยงไปยังปากแม่น้ำโกลกประมาณ 0.8-1.5 ม/วินาที พลังงานคลื่นที่กระทำตั้งฉากกับชายฝั่งต่อหน่วยความยาวชายฝั่งประมาณ 120-170 MW-hr/yr/m และพบว่ามีการสูญเสียตะกอนตลอดแนวชายฝั่ง 40 กม.ประมาณ 4.763 ล้าน-$ม^3$/ปี หรือประมาณ 125 $ม^3$/ปี/ม.ของชายฝั่ง ซึ่งแสดงแนวโน้มการเกิดการกัดเซาะถดถอยตลอดแนวชายฝั่งในระยะยาว

Thesis Characteristics of Nearshore Waves and Longshore Transport at Lower Gulf of Thailand

Name Mr.Ekavit Tae

Thesis Advisor Associate Professor Chaipant Rukvichai (Ph.D.)

Department Civil Engineering

Academic Year 1985

ABSTRACT

The coastline of the Lower Gulf of Thailand is generally experienced with the problem of shoreline changes. As an open sea connected to the South China Sea; the Lower Gulf of Thailand is rather rough by waves travelling directly from the South China Sea. According to the available information,the change of shoreline in this area is found to be very excessive and has occurred continuingly during the last 80 years.

This study aims at the evaluation of the characteristics of wave, currents and longshore transport in the nearshore area of the lower Gulf of Thailand. The shoreline covered in this study is located in Changwat Narathiwat from the mouth of Golok River to Tan Yong Mountain which is about 40 km.long. The study employs the wave statistics observed during 1949-1982 in the South China Sea by Ship Observation of the Royal Meteorological Office,England and the hydrographic map surveyed during 1960-1963 by the Hydrographic Department of the Royal Thai Navy. By a computer program, wave refraction analysis is performed and the refraction diagrams are obtained from the plotter. Then, the refraction coefficient, wave

characteristics at breaking,wave energy as well as current and longshore transports are calculated.

It is found that the wave in the nearshore area, by annual average, is about 2.0 m. high which breaks at an average depth of 2.6 m. and at about 1 km. from the shore. At breaking, the average of maximum bottom current velocity is about 2.0 m/sec. The average longshore current from the mouth of Golok River to Tan Yong Mountain varies between 1.0-2.0 m/sec while it varies between 0.8-1.5m/sec from Tan Yong Mountain to the mouth of Golok River. The wave energy in the perpendicular direction exerts on the shore about 120-170 MW-hr/yr/m of shoreline. This 40 km-shoreline is found to lose sand sediment about 4.763 million-m^3/yr or about 125 $m^3/yr/m$ of shoreline which indicates a trend of shoreline recession in the long-run.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ จักรี จตุทะศรี รองศาสตราจารย์ เสถียร ชลาชีวะ อาจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์ และ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้านแนวความคิดต่าง ๆ อย่างใกล้ชิดด้วยดีมาโดยตลอด ซึ่งข้าพเจ้ามิอาจลืมเลือนได้ อีกทั้งบรรดาคณาจารย์วิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ ทำให้ข้าพเจ้าเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของงานด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ ซึ่งมีผลกระทบต่อสังคมและประเทศชาติมากยิ่งขึ้น และเป็นแรงบันดาลใจให้มุ่งมั่นในการทำวิทยานิพนธ์

อนึ่ง ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบคุณ ชมรมวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาสำรวจ และ ศูนย์คอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้โอกาสให้ข้าพเจ้าได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการทำวิทยานิพนธ์นี้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จและลุล่วงไปด้วยดี ก็ด้วยความช่วยเหลือของ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วราภรณ์ รักวิจัย ตลอดจนพี่ ๆ เพื่อน ๆ และ น้อง ๆ ชมรมวิศวกรรมแหล่งน้ำให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจด้วยดีมาตลอด และขอขอบคุณ คุณวราภรณ์ สุทธิวงศ์ทวี และ คุณอุไรพร กำลังเพชร์ ที่ได้ช่วยพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดนี้สิ่งที่ฝังลึกอยู่ในความรู้สึกของข้าพเจ้าอยู่ตลอดเวลาก็คือ พระคุณบิดามารดา ผู้ที่เหนื่อยยากลำบาก เพื่อเปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาเล่าเรียนจนกระทั่งบัดนี้

เอกวิทย์ แต้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญรูป ..... ฑ

สัญญลักษณ์ ..... ต

บทที่ 1 บทนำ

1.1 บทนำและความเป็นมา 1

1.2 ขอบข่ายและวัตถุประสงค์การศึกษา 2

1.3 หลักการในการศึกษา 2

1.4 การดำเนินงานศึกษา 4

1.5 ผลการศึกษาที่คาดหวัง 5

บทที่ 2 การทบทวนหลักวิชาการวิศวกรรมชายฝั่งทะเล

2.1 ปรากฏการณ์บริเวณชายฝั่งทะเล 6

2.2 ทฤษฎีคลื่น 7

2.3 การหักเหของคลื่น 12

2.4 การแตกตัวของคลื่น 17

2.5 กระแสน้ำและตะกอนชายฝั่ง 21

2.6 ขบวนการชายฝั่งทะเล 23

บทที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ที่ทำการศึกษา

3.1 สภาพภูมิประเทศ 29

3.2 สภาพภูมิอากาศ 29

3.2.1 ลม 30

3.2.2 พายุหมุน 31
3.2.3 อุณหภูมิ 31
3.2.4 ความชื้นสัมพัทธ์ 32
3.2.5 ฝน 32
3.3 สภาพอุทกศาสตร์ 38
3.3.1 ลักษณะท้องทะเล 38
3.3.2 ลักษณะดินบริเวณชายฝั่ง 39
3.3.3 ลักษณะน้ำขึ้นน้ำลง 40
3.4 การศึกษาทางวิชาการที่เกี่ยวข้องชายฝั่ง 40
3.4.1 การศึกษาในบริเวณพื้นที่ศึกษา 40
3.4.2 การศึกษาในบริเวณข้างเคียง 41
3.5 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเล 54
3.6 ข้อมูลคลื่นในทะเลจีนใต้และอ่าวไทยตอนล่าง 54
3.7 การศึกษาการเคลื่อนที่กระแสน้ำและตะกอนชายฝั่งที่ผ่านมา 65
บทที่ 4 การหักเหของคลื่น
4.1 ข้อมูลที่มีในการศึกษา 72
4.1.1 แผนที่ท้องทะเล 72
4.1.2 ข้อมูลคลื่น 73
4.2 ทฤษฎีการหักเหของคลื่น 73
4.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ 79
4.4 รูปแบบการเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง 85
4.5 สัมประสิทธิ์การหักเหของคลื่น 86
4.6 สรุปผลและการวิเคราะห์การหักเหของคลื่น 87
บทที่ 5 ลักษณะคลื่นบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง
5.1 การแตกตัวของคลื่น 91
5.2 ลักษณะของคลื่นใกล้ชายฝั่ง 95
5.3 การกระจายพลังงานตามแนวชายฝั่ง 106

5.3.1 พลังงานคลื่นในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง..... 107
5.3.2 พลังงานคลื่นในแนวขนานชายฝั่ง..... 109
บทที่ 6 การเคลื่อนที่ของกระแสน้ำและตะกอนชายฝั่ง
6.1 หลักการในการวิเคราะห์..... 116
6.2 การกระจายการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำชายฝั่ง..... 118
6.2.1 กระแสน้ำสูงสุดของท้องน้ำ..... 119
6.2.2 กระแสน้ำตามแนวขนานชายฝั่ง..... 119
6.3 การกระจายของการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง..... 124
6.4 ศักยภาพและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง..... 131
บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ
7.1 บทสรุป..... 133
7.1.1 การดำเนินการศึกษา..... 133
7.1.2 เงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษา..... 134
7.1.3 คลื่นในทะเลจีนใต้..... 135
7.1.4 การหักเหของคลื่น..... 135
7.1.5 ลักษณะคลื่นใกล้ชายฝั่ง..... 136
7.1.6 การเคลื่อนที่ของกระแสน้ำและตะกอนตามแนวชายฝั่ง..... 137
7.1.7 แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง..... 137
7.2 ข้อเสนอแนะ..... 137
เอกสารอ้างอิง..... 140
ภาคผนวก ก. สถิติความสูงคลื่นในทะเลจีนใต้..... 146
ภาคผนวก ข. โปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 152
ภาคผนวก ค. รูปแบบการเคลื่อนที่ของคลื่น..... 167
ภาคผนวก ง. ความสูงคลื่นแตกตัวเฉลี่ยและความลึกเฉลี่ย ณ ตำแหน่งแตกตัว..... 175
ภาคผนวก จ. พลังงานคลื่นในแนวตั้งฉากและขนานชายฝั่ง..... 181
ภาคผนวก ฉ. ค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุดของท้องน้ำและค่าเฉลี่ยความเร็วกระแสน้ำ
ตามแนวชายฝั่ง..... 197

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2-1	สมการสำหรับการหาการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งโดยวิธีต่าง ๆ.....	26
3-1	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดนราธิวาส พศ. 2494-2523.....	33
3-2	ข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลง (Tide) ของชายฝั่งทะเลปากแม่น้ำปัตตานี ปากแม่น้ำโกลก และ ปากแม่น้ำกลันตัน.....	43
3-3	สรุปการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งปากแม่น้ำโกลก ระหว่าง 1949-1984.....	44
3-4	สถิติความสูงคลื่น (Hv) และความสูงคลื่นนัยสำคัญ (Hs) ตามเปอร์เซนต์การเกิดในแต่ละฤดูกาล.....	56
3-5	เปรียบเทียบเปอร์เซนต์การเกิดในรอบปีของความสูงคลื่น (Hv) แต่ละฤดูกาล.	56
3-6	เปรียบเทียบเปอร์เซนต์การเกิดในรอบปีของคาบเวลาคลื่น (T) แต่ละฤดูกาล.	68
4-1	ตัวอย่างผลการคำนวณการหักเหของคลื่น.....	82
4-2	สัมประสิทธิ์การหักเหของคลื่นในทิศทางและคาบเวลาต่าง ๆ.....	88
5-1	ตัวอย่างผลการคำนวณความสูงคลื่นแตกตัว.....	93
5-2	โอกาสเกิดในรอบปีของความสูงคลื่นแตกตัวตามแนวชายฝั่ง.....	98
5-3	โอกาสเกิดในรอบปีของความลึกที่ตำแหน่งคลื่นแตกตัวตามแนวชายฝั่ง.....	99
5-4	โอกาสเกิดในรอบปีของระยะห่างจากฝั่งของตำแหน่งคลื่นแตกตัว.....	100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูป		หน้า
1-1	พื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่างในเขตจังหวัดนราธิวาส.....	3
2-1	ตัวอย่างของข้อมูลคลื่น (Continuous Recording) จากการวัดที่ Chespeaks Bridge Tunnel Portal Island,USA.....	10
2-2	รูปร่างของคลื่นและตัวแปรพื้นฐาน.....	10
2-3	ทฤษฎีของคลื่นและช่วงความเหมาะสมต่อการนำไปใช้.....	11
2-4	การหักเหของคลื่นตามกฎของสเนลล์.....	14
2-5	วิธีการสร้างแผนการหักเหของคลื่นโดยใช้กฎของสเนลล์ เสนอโดย US.Army Coastal Engineering Research Center.....	15
2-6	การหาการหักเหของคลื่นโดยวิธี CM.McClean.....	16
2-7	ลักษณะการแตกตัวของคลื่นแบบต่าง ๆ.....	19
2-8	ความสัมพันธ์ความสูงคลื่นกับความชันคลื่นและชนิดการแตกตัว.....	20
2-9	การเกิดกระแสน้ำและตะกอนชายฝั่งเนื่องจากคลื่น.....	25
2-10	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ตะกอนและพลังงานคลื่น โดยวิธีต่าง ๆ.....	26
2-11	การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและความลึกท้องน้ำในเดนมาร์ก..	27
2-12	การเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง.....	27
2-13	กลไกรการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะยาว.....	28
3-1	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดนราธิวาส ช่วง พ.ศ.2494-2523.....	34
3-2	ผังลม (Wind Rose) ในบริเวณจังหวัดนราธิวาส ช่วง พ.ศ.2494 - 2523.....	35
3-3	พายุดีเปรสชั่นเขตร้อนที่เกิดขึ้นในอ่าวไทยตอนล่างปี 2507.....	36
3-4	พายุดีเปรสชั่นเขตร้อนที่เกิดขึ้นในอ่าวไทยตอนล่างในปี 2521.....	37
3-5	รูปตัดท้องทะเลชายฝั่งบริเวณพื้นที่ศึกษา พศ.2526-2527.....	45

3-6 การงอกของแหลมทรายปากแม่น้ำโกลก ระหว่างปี 2518-2521..... 46

3-7 การเคลื่อนตัวของสันดอนทรายระหว่าง 2453-2523..... 47

3-8 สภาพการเปลี่ยนแปลงบริเวณปากแม่น้ำโกลก 2500-2522..... 48

3-9 การเปลี่ยนสภาพชายฝั่งปากแม่น้ำโกลก ปี 1948-1984..... 49

3-10 การเปลี่ยนปลงสภาพชายฝั่งระหว่างปี 1948-1984..... 50

3-11 การเคลื่อนที่และการงอกของแหลมทรายตามชายฝั่งรัฐกลันตัน (1949-1974)..... 51

3-12 การพยากรณ์แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งรัฐกลันตัน (1974-1994)..... 52

3-13 การเปลี่ยนแปลงแหลมทรายปากแม่น้ำกลันตันหน้าเมืองตุมปัด (1943-1966)..... 53

3-14 การเปรียบเทียบชายฝั่งทะเลตั้งแต่ 2452-2526..... 57

3-15 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง..... 58

3-16 การเปรียบเทียบชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำโกลก ระหว่าง พย 2526 - สค 2528..... 59

3-17 การเปรียบเทียบชายฝั่งบริเวณ กม.7-8 จากปากแม่น้ำโกลก ระหว่าง พย 2526 - สค 2528..... 60

3-18 การเปรียบเทียบชายฝั่งบริเวณ กม.7-8 จากปากแม่น้ำโกลก ระหว่าง ตค 2527 - มีค 2528..... 61

3-19 สถิติความสูงคลื่นในฤดูกาลต่าง ๆ..... 62

3-20 การกระจายความสูงคลื่นนัยสำคัญตามเปอร์เซนต์การเกิดในแต่ละฤดูกาล.. 63

3-21 การกระจายความสูงคลื่นนัยสำคัญตามเปอร์เซนต์การเกิดในรอบปี..... 63

3-22 เปรียบเทียบความสูงคลื่นแต่ละฤดูกาล..... 64

3-23 เปรียบเทียบคาบเวลาคลื่นแต่ละฤดูกาล..... 64

3-24 การเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำโกลกและกลันตัน.. 69

3-25 ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งประจำปีระหว่าง P.Datu และ Kemasin..... 70

3-26	การพยากรณ์ผลกระทบของเขื่อนกันคลื่น (Jetty) ต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งแม่น้ำ P.Datu และ Kemasin รัฐกลันตัน	71
4-1	แผนที่แสดงข้อมูลท้องทะเลบริเวณพื้นที่ศึกษา	76
4-2	แผนที่ท้องทะเลที่ถูกแบ่งตามกริดช่องละ 2 กม.	77
4-3	ทิศทางคลื่นในทะเลจีนใต้ที่นำมาพิจารณาการหักเหของคลื่น	78
4-4	แสดงตำแหน่งพิกัดของโค้งการหักเหของคลื่น	83
4-5	แสดงแนวการหักเหของคลื่นสัมพันธ์กับกริด	83
4-6	แสดงขั้นตอนการคำนวณการเคลื่อนที่ของคลื่น	84
4-7	ค่าสัมประสิทธิ์การหักเหของคลื่นในทิศทางและคาบเวลาต่าง ๆ	89
4-8	ลักษณะการกระจายและลู่เข้าหากันของคลื่นตามแนวชายฝั่ง เนื่องจากคลื่นในทิศทางและคาบเวลาต่าง ๆ	90
5-1	แสดงขั้นตอนการคำนวณความสูงคลื่นแตกตัว	94
5-2	เปอร์เซนต์การเกิดในรอบปีของความสูงคลื่นแตกตัวตามแนวชายฝั่ง	101
5-3	ความสูงคลื่นแตกตัวในเกณฑ์เฉลี่ยของทุกทิศทางและทุกคาบเวลา	102
5-4	เปอร์เซนต์การเกิดในรอบปีของความลึก ณ ตำแหน่งคลื่นแตกตัวตามแนวชายฝั่ง	103
5-5	ความลึก ณ ตำแหน่งคลื่นแตกตัวเฉลี่ยของทุกทิศทางและทุกคาบเวลา	104
5-6	เปอร์เซนต์การเกิดในรอบปีระยะห่างจากชายฝั่งที่คลื่นเริ่มแตกตัว	105
5-7	พลังงานคลื่นในแนวตั้งฉากกับชายฝั่งตามแนวชายฝั่ง	113
5-8	พลังงานคลื่นในแนวขนานชายฝั่งในทิศทางบวกและลบตามแนวชายฝั่ง	114
5-9	พลังงานคลื่นในแนวขนานชายฝั่งสุทธิตามแนวชายฝั่ง	115
6-1	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\bar{V}_\ell$ กับ $u_m \sin\alpha_b \cos\alpha_b$	121
6-2	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\bar{I}_\ell$ กับ P_ℓ	121
6-3	ค่าเฉลี่ยความเร็วกระแสน้ำสูงสุดของท้องน้ำตามแนวชายฝั่ง	122
6-4	ค่าเฉลี่ยกระแสน้ำในแนวขนานชายฝั่ง	123
6-5	ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ	127
6-6	ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้	128

6-7 ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งในช่วงฤดูมรสุมเปลี่ยนแปลง..... 129
6-8 ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งในรอบปี..... 130
6-9 แสดงบริเวณพื้นที่ที่เกิดการทับถมและกัดเซาะตามแนวชายฝั่ง..... 132

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์

b	=	ระยะห่างระหว่างแนวการเคลื่อนที่ของคลื่น (ม.)
C	=	ความเร็วคลื่น (ม./วินาที)
C_1	=	ค่าคงที่
C_f	=	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของท้องน้ำ
C_g	=	ความเร็วของกลุ่มคลื่น (ม./วินาที)
C_o	=	ความเร็วคลื่นในน้ำลึก (ม./วินาที)
d	=	ความลึกท้องน้ำ (ม.)
d_b	=	ความลึกท้องน้ำ ณ ตำแหน่งคลื่นแตกตัว (ม.)
E	=	พลังงานคลื่นต่อหน่วยความยาวสันคลื่น (นิวตัน-ม./ม.)
$\bar{E}$	=	พลังงานคลื่นต่อหน่วยพื้นที่ผิวที่คลื่นเคลื่อนผ่าน (นิวตัน-ม./ม.^{2})
g	=	ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (ม./วินาที^{2})
H	=	ความสูงคลื่น (ม.)
H_b	=	ความสูงคลื่น ณ จุดแตกตัว (ม.)
H_o	=	ความสูงคลื่นในทะเลลึก (ม.)
H_o'	=	ความสูงคลื่นในน้ำลึกที่ไม่มีการหักเห (ม.)
H_s	=	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (ม.)
H_v	=	ความสูงคลื่นจากเรือสังเกตุการณ์ (ม.)
I_ℓ	=	อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวขนานชายฝั่ง (นิวตัน/วินาที)
K_s	=	สัมประสิทธิ์การเข้าสู่น้ำตื้น
K_r	=	สัมประสิทธิ์การหักเหของคลื่น
L	=	ความยาวคลื่น (ม.)
L_o	=	ความยาวคลื่นในน้ำลึก (ม.)
m	=	ความลาดชันของชายฝั่ง
P	=	พลังงานคลื่นต่อหน่วยเวลา (นิวตัน-ม./วินาที)
$\bar{P}$	=	พลังงานคลื่นต่อหน่วยเวลาต่อความยาวสันคลื่น (นิวตัน-ม./วินาที/ม.สันคลื่น)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$P_{\ell s}$ = พลังงานคลื่นในแนวขนานชายฝั่งต่อหน่วยเวลาต่อความยาวชายฝั่ง (นิวตัน-ม/วินาที/ม.ชายฝั่ง)

P_{ps} = พลังงานคลื่นในแนวตั้งฉากต่อหน่วยเวลาต่อความยาวชายฝั่ง (นิวตัน-ม/วินาที/ม.ชายฝั่ง)

Q_s = อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายในแนวขนานชายฝั่ง ($ม^3$/ปี)

S_ℓ = อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายในแนวขนานชายฝั่ง ($ม^3$/วินาที)

T = คาบเวลาคลื่น (วินาที)

u_m = ความเร็วท้องน้ำสูงสุด ณ ตำแหน่งคลื่นแตกตัว (ม./วินาที)

$\bar{V}_\ell$ = ความเร็วกระแสน้ำขนานชายฝั่ง (ม./วินาที)

ρ_s = ความหนาแน่นของตะกอนทราย (กก./$ม^3$)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (กก./$ม^3$)

α = มุมที่สันคลื่นทำกับเส้นชั้นความลึก

α_b = มุมที่สันคลื่นทำกับแนวชายฝั่ง ณ ตำแหน่งคลื่นแตกตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย