เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกในงานป้องกันชายฝั่ง

นางสาวอาทิตยา เกศมาริษ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-639-055-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17853424

DESIGN CRITERIA OF DETACHED BREAKWATERS FOR SHORELINE PROTECTION

Miss Arithittaya Kessamaris

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Water Resources Engineering

Department of Water Resources Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

Academic Year 1997
ISBN 974-639-055-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกในงานป้องกันชายฝั่ง
โดย	นางสาวอาทิตยา เกศมาริษ
ภาควิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี)

.... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์)

.... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. เสรี จันทรโยธา)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาทิตยา เกศมาริษ : เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกในงานป้องกันชายฝั่ง (DESIGN CRITERIA OF DETACHED BREAKWATER FOR SHORELINE PROTECTION) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย , 219 หน้า , ISBN 974-639-055-4

การศึกษาวิทยานิพนธ์นี้มุ่งศึกษาถึงเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยก ในงานป้องกันชายฝั่ง จากปัญหาการกัดเซาะ โดยศึกษาด้วยแบบจำลองทางกายภาพในห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลองและการเกิดชายฝั่งสมดุลอันเนื่องมาจากเขื่อนกันคลื่นแยก และการกำหนดตัวแปรออกแบบที่เหมาะสมอันได้แก่ ความยาวเขื่อนกันคลื่น ระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น และระยะเว้าของชายฝั่งสมดุล ในสภาวะการณ์ชายฝั่งทะเลต่าง ๆ ที่สามารถจำลองได้ในแบบจำลองชลศาสตร์

แบบจำลองกายภาพที่ใช้ในศึกษาประกอบด้วย แบบจำลองแอ่งคลื่น แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแยก เครื่องกำเนิดคลื่น เครื่องมือวัดความสูงคลื่น และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งแผงวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลในการวัดข้อมูลคลื่น โดยในแบบจำลองแอ่งคลื่นนี้ใช้ชายฝั่งเป็นทรายขนาดเฉลี่ย 0.25 มม. และกำหนดทิศทางของคลื่นทำมุมกับแนวชายฝั่ง 3 มุม คือ 15° 25° และ 35° โดยผันแปรค่าความสูงของคลื่น และคาบเวลาของคลื่น ให้มีค่าความชันคลื่นในแอ่งคลื่นอยู่ในช่วง 0.008 ถึง 0.055 และกำหนดติดตั้งเขื่อนกันคลื่นแยกให้มีอัตราส่วนความยาวเขื่อนต่อระยะห่างระหว่างเขื่อน 1:1 ถึง 1:4

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่สภาวะสมดุลของแต่ละกรณีของการทดลอง สรุปได้ว่าระยะเว้าของชายฝั่งหรือระยะการกัดเซาะชายฝั่งจากแนวเขื่อนกันคลื่นเป็นผลมาจากความชันคลื่นเป็นสำคัญ และพลังงานคลื่นรวมที่ผ่านเข้ามาในอ่าวสมดุลมีผลต่อการกัดเซาะด้วยเช่นกัน และชายฝั่งสมดุลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับชายฝั่งสมดุลแบบอ่าวรูปครึ่งหัวใจ ที่เคยมีผู้ศึกษามาก่อนหน้าแล้วเช่นรูปแบบของ Log-Spiral และ Parabolic Form ปรากฏว่าชายฝั่งจากการทดลองนี้จะเกิดการเว้าน้อยกว่าอ่าวรูปครึ่งหัวใจเล็กน้อย แต่มีลักษณะใกล้เคียงกันมาก เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกและความชันคลื่นในน้ำลึก สามารถสรุปเป็นกราฟเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกได้ เมื่อทราบคุณสมบัติของคลื่นในน้ำลึกและทิศทางของคลื่นที่ทำมุมกับแนวชายฝั่ง โดยกำหนดค่าความยาวเขื่อนกันคลื่น ระยะห่างระหว่างเขื่อน และระยะเว้าของชายฝั่งได้

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ	ลายมือชื่อนิสิต ....
สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....
ปีการศึกษา 2540	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม –

C715031 : : MAJOR WATER RESOURCE ENGINEERING
KEY WORD: DETACHED BREAKWATER / DESIGN CRITERIA / EQUILIBRIUM SHORELINE / PHYSICAL MODEL

ARTHITTYA KESSAMARIS : DESIGN CRITERIA OF DETACHED BREAKWATER FOR SHORELINE PROTECTION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAIPANT RUKVICHAI, Ph.D. 219 pp. ISBN 974-369-055-4

This thesis aimed at studying the design criteria of a detached breakwater to protect shoreline from erosion using experiment in a physical model. The experiment was made in the Hydraulic and Coastal Model Laboratory of the Department of Water Resources Engineering, Chulalongkorn University. The main objective of this research was to study the shoreline change and the development of an equilibrium shoreline due to the detached breakwater, and to formulate the suitable design parameters. They were the length of a detached breakwater, the gap width and the recession of the equilibrium shoreline in the hydraulic model.

The physical models consist of a wave basin model, detached breakwater models, wave generator, wave height meters and the computer with A/D card for measuring wave data. The shoreline was made of fine sand with an average size 0.25 mm. The shoreline was adjusted with the angle of 15°, 25° and 35° to the direction of the wave. The experiment varied the wave height and the wave period to give the wave steepness 0.008-0.055 in the wave basin and set the ratio of the detached breakwater length to the gap width between 1:1-1:4.

From the analysis of the shoreline change at equilibrium of each experiment, it was summarized that the recession of a shoreline depended on the wave steepness as well as the total energy passing the gap into the equilibrium bay. When compared with the crenulated equilibrium shoreline from the past experiment such as Log-Spiral and Parabolic Form, it was found that the shoreline under this study had concave it slightly less than both crenulated bays but very similar bay shape. The relationship between the recession distance of the shoreline, the deepwater wave length and the deep water wave steepness were delineated the design criteria of detached breakwater were set using design graphs. If the characteristic of deepwater wave and direction of wave were known, the breakwater length, the gap width and the recession distance could be determined.

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ	ลายมือชื่อนิสิต (signature)
สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา (signature)
ปีการศึกษา 2540	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม –

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า เรื่อง เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกในงานป้องกันชายฝั่ง ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลต่างๆ หลายท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ปรึกษา และแก้ไข รายละเอียดหรือข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ รวมถึงกำลังใจจากครอบครัวของข้าพเจ้าด้วยที่เป็นกำลังใจด้วยดีมาตลอดการทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าถ้าขาดบุคคลเหล่านี้แล้วก็จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เลย

ข้าพเจ้าขอขอบคุณบุคคลต่างๆ ที่ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือข้าพเจ้าดังต่อไปนี้

- รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ สนับสนุน การตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ และสละเวลามาติดตามการทำวิทยานิพนธ์อย่างใกล้ชิด รวมถึงเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ด้วย

- อาจารย์ชัยยุทธ สุขศรีประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาสละเวลาของท่านในการให้คำแนะนำ ปรึกษา และการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาสละเวลาของท่านในการให้คำแนะนำ ปรึกษา และการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์

- อาจารย์ ดร.เสรี จันทรโยธา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาสละเวลาของท่านในการให้คำแนะนำ ปรึกษา และการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์

- บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์วิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วง

- ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้การสนับสนุนช่วยเหลือค่าใช้จ่ายในด้านวัสดุอุปกรณ์ ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำประปา และการจัดซื้อสิ่งจำเป็นต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

- ดร.สุทัศน์ วีสกุล ที่ให้การสนับสนุนด้านเอกสารประกอบการศึกษาและคำแนะนำในการทำแบบจำลองและวิทยานิพนธ์

- คณาจารย์วิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ให้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้ามาตลอด

- พี่ ๆ และน้องๆ ชมรมวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ช่วยเหลือข้าพเจ้าในด้านกำลังใจ การเตรียมรูปเล่มวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

- สุดท้ายนี้สิ่งที่ข้าพเจ้าไม่อาจลืมได้ก็คือ กำลังใจจากบิดามารดา และครอบครัวอันอบอุ่นของข้าพเจ้าที่ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้

บุคคลต่างๆ ที่กล่าวมาเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จ และข้าพเจ้าขอขอบคุณบุคคลอื่นๆที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือข้าพเจ้ามาตลอดที่ไม่ได้กล่าวถึงด้วยความจริงใจของข้าพเจ้า.

อาทิตยา เกศมาริษ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย........ ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ........ จ
กิตติกรรมประกาศ........ ฉ
สารบัญ........ ช
สารบัญตาราง........ ฌ
สารบัญรูป........ ญ

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมา........ 1
1.2 วัตถุประสงค์........ 1
1.3 ขอบข่ายการศึกษา........ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและการศึกษาที่ผ่านมา
2.1 ทฤษฎีคลื่น........ 4
2.2 การเปลี่ยนแปลงของคลื่น........ 6
2.3 การเคลื่อนที่ของกระแสน้ำและตะกอนชายฝั่ง........ 19
2.4 พลังงานคลื่น........ 22
2.5 หัวหาดและอ่าวสมดุล........ 23
2.6 การศึกษาที่ผ่านมา........ 24

บทที่ 3 แบบจำลองชลศาสตร์และการทดลอง
3.1 แบบจำลอง........ 48
3.2 การวัดข้อมูลการทดลอง........ 56
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นในการทดลอง........ 60
3.4 ลักษณะและวิธีการทดลอง........ 60
3.5 ผลการทดลอง........ 65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบและเกณฑ์การออกแบบ

4.1 หลักการของชายฝั่งสมดุล........ 72

4.2 การเปรียบเทียบแนวชายฝั่งสมดุล........ 75

4.3 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลอง........ 78

4.4 การวิเคราะห์พลังงานคลื่นในอ่าวสมดุล........ 85

4.5 ความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบกับคุณสมบัติคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุล........ 93

4.6 ความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบกับคุณสมบัติคลื่นในน้ำลึก........ 96

4.7 การกำหนดตัวแปรประกอบ........ 98

4.8 เกณฑ์การออกแบบ........ 103

4.9 ตัวอย่างการออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยก........ 107

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 การสร้างแบบจำลองแอ่งคลื่นและแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแยก........ 113

5.2 การทดลองด้วยแบบจำลองชลศาสตร์........ 113

5.3 เกณฑ์การออกแบบเขื่อนป้องกันคลื่นแยกในงานป้องกันชายฝั่ง........ 114

5.4 ข้อเสนอแนะ........ 114

รายการอ้างอิง........ 116

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แบบจำลองชลศาสตร์........ 120

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น........ 137

ภาคผนวก ค ผลการศึกษากรณีทิศทางของคลื่น 15°........ 156

ภาคผนวก ง ผลการศึกษากรณีทิศทางของคลื่น 25°........ 177

ภาคผนวก จ ผลการศึกษากรณีทิศทางของคลื่น 35°........ 198

ประวัติผู้ศึกษา........ 219

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2-1 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการป้องกันชายฝั่งด้วยเขื่อนกันคลื่น.......................... 26

ตาราง 2-2 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับชายฝั่งและอ่าวสมดุล.. 33

ตาราง 2-3 การศึกษาที่ผ่านมาเรื่องลักษณะคลื่นต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง.......................... 44

ตาราง 2-4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองของ Rosen.......................... 30

ตาราง 2-5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ จากแบบจำลองที่ผ่านมารวบรวมโดย Rosen...... 30

ตาราง 2-6 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ จากการป้องกันชายฝั่งรวบรวมโดย Rosen......... 31

ตาราง 3-1 การปรับขนาดของคลื่นโดยประมาณด้วยเครื่องกำเนิดคลื่น................................ 62

ตาราง 3-2 ลักษณะการทดลอง.. 64

ตาราง 3-3 รายละเอียดสำหรับตารางสรุปผลการทดลอง... 66

ตาราง 3-4 ตัวอย่างตารางสรุปผลการทดลอง.. 67

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูป 1-1 แบบจำลองแอ่งคลื่นและเครื่องกำเนิดคลื่น ในห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.................. 3
รูป 2-1 นิยามและค่าตัวแปรต่างๆ ของคลื่น.................. 7
รูป 2-2 การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำสำหรับคลื่นในน้ำตื้น และคลื่นในน้ำลึก.................. 7
รูป 2-3 การหักเหของคลื่น.................. 10
รูป 2-4 การหักเหของคลื่นตามกฎของ Snell.................. 10
รูป 2-5 การกระจายของคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่นหรือสิ่งกีดขวาง.................. 12
รูป 2-6 คลื่นที่ทำมุมกับชายฝั่งเมื่อเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น.................. 12
รูป 2-7 ดัชนีความสูงคลื่นแตกตัวกับความชันคลื่นในน้ำลึก.................. 16
รูป 2-8 ความลึกน้ำบริเวณคลื่นแตกตัวกับความชันคลื่นแตกตัว.................. 16
รูป 2-9 การแตกตัวของคลื่นแบบ Spilling.................. 17
รูป 2-10 การแตกตัวของคลื่นแบบ Plunging.................. 17
รูป 2-11 การแตกตัวของคลื่นแบบ Surging.................. 18
รูป 2-12 การแตกตัวของคลื่นแบบ Collapsing.................. 18
รูป 2-13 การเกิดกระแสน้ำตามแนวชายฝั่งเนื่องจากคลื่น.................. 21
รูป 2-14 การเกิดการหมุนวนของตะกอนและกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งเนื่องจากคลื่น.................. 21
รูป 2-15 ผลกระทบของเขื่อนกันคลื่นต่อตะกอนชายฝั่ง.................. 21
รูป 2-16 ความสัมพันธ์ระหว่าง x/y กับ z/y 32
รูป 2-17 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับ x/y 32
รูป 2-18 (A) การเกิดอ่าวรูปครึ่งหัวใจจากการทดลองด้วยแบบจำลอง
(B) เส้นชั้นความลึกในระหว่างการทดลอง
(C) การเกิดอ่าวสมดุลที่ชายฝั่ง South Africa.................. 35
รูป 2-19 การเกิดอ่าวสมดุลโดยเขื่อนกันคลื่น 36
รูป 2-20 ลักษณะอ่าวสมดุลของ Sandy Hook ที่ New Jersey 37
รูป 2-21 ลักษณะอ่าวสมดุล Halfmoon Bay ที่ California 37
รูป 2-22 ลักษณะอ่าวสมดุลของ Drakes Beach และ Limantour ที่ California 38
รูป 2-23 เส้นโค้ง Logarithmic Sprial 38
รูป 2-24 แบบจำลองที่ใช้ศึกษาลักษณะอ่าวสมดุล 39

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูป 2-25 เส้นโค้ง Logarithmic Spiral และความสัมพันธ์ระหว่าง R_1 / R_2 กับค่าคงที่ a 39

รูป 2-26 ความสัมพันธ์ระหว่าง R_1 / R_2 กับค่าคงที่ α° 40

รูป 2-27 ความสัมพันธ์ระหว่าง α° กับ β° เมื่อได้กำหนดจุดของ Halfmoon Bay 40

รูป 2-28 รูปแบบชายฝั่งของ Halfmoon Bay และการวาดเส้นโค้ง Logarithmic Sprial.......... 41

รูป 2-29 ความสัมพันธ์ระหว่าง α° กับ β° ของอ่าวสมดุล.......... 41

รูป 2-30 ความสัมพันธ์ระหว่างการเว้าของอ่าวสมดุล 43

รูป 2-31 ความสัมพันธ์ของช่องว่างระหว่างหัวหาดและระยะถดถอยของชายฝั่ง 43

รูป 2-32 ผลของการเปลี่ยนแปลงความชันคลื่นที่ต่อชายฝั่ง 45

รูป 2-33 สรุปผลการศึกษาของ Krumbein, W.C. and Graybill, F.A. 47

รูป 3-1 แบบจำลองแอ่งคลื่นและแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแยก.......... 49

รูป 3-2 รูปตัดแบบจำลองแอ่งคลื่นและแบบจำลองเขื่อนกันคลื่น A-A.......... 50

รูป 3-3 แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแยก.......... 52

รูป 3-4 แบบจำลองแอ่งคลื่น.......... 53

รูป 3-5 เครื่องกำเนิดคลื่น.......... 54

รูป 3-6 เครื่องมือวัดความสูงคลื่น.......... 55

รูป 3-7 การติดตั้งเครื่องมือวัดความสูงคลื่น.......... 57

รูป 3-8 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดความสูงคลื่น.......... 57

รูป 3-9 ลักษณะการติดตั้งเครื่องมือวัดความสูงคลื่นในแบบจำลองแอ่งคลื่น.......... 58

รูป 3-10 เครื่องมือวัดระดับ.......... 58

รูป 3-11 นิยามและตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.......... 59

รูป 3-12 การติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแยกขนานกับแนวชายฝั่งที่ทำมุมกับทิศทางของคลื่น 63

รูป 3-13 (ก) ตัวอย่างผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง.......... 69

(ข) ตัวอย่างผลการทดลองคลื่นจากการบันทึก.......... 70

(ค) ตัวอย่างผลการทดลองพลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่.......... 71

รูป 4-1 ขั้นตอนการวิเคราะห์และกำหนดเกณฑ์การออกแบบ 73

รูป 4-2 การเปรียบเทียบชายฝั่งสมดุลจากการทดลองกับการศึกษาที่ผ่านมา.......... 77

รูป 4-3 แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแยกที่ใช้ในการทดลอง.......... 79

รูป 4-4 การสะท้อนของคลื่นเนื่องจากเขื่อนกันคลื่น.......... 80

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูป 4-5 การทับถมของตะกอนทรายบริเวณท้ายแบบจำลอง.............................. 81

รูป 4-6 การกัดเซาะชายฝั่งเนื่องจากคลื่น.............................. 83

รูป 4-7 การเว้าของชายฝั่งเมื่อมีความชันคลื่นต่างกัน.............................. 84

รูป 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเว้าชายฝั่งต่อความยาวคลื่นกับ
พลังงานคลื่นรวมที่ผ่านเข้ามายังอ่าวสมดุล.............................. 88

รูป 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวชายฝั่งต่อความยาวคลื่นกับ
พลังงานคลื่นรวมที่ผ่านเข้ามายังอ่าวสมดุล.............................. 89

รูป 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นกับระยะห่าง
ระหว่างเขื่อนกันคลื่นและอัตราส่วนการกระจายพลังงานคลื่นต่อความยาวชายฝั่ง........ 90

รูป 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเว้าชายฝั่งต่อความยาวคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุล
กับพลังงานคลื่นไร้หน่วย.............................. 91

รูป 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่าง
ระหว่างเขื่อนกันคลื่นกับพลังงานคลื่นไร้หน่วย.............................. 92

รูป 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเว้าชายฝั่งต่อความยาวคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุล
กับความชันคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุล.............................. 95

รูป 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก
กับความชันคลื่นในน้ำลึก.............................. 97

รูป 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก
กับความชันคลื่นในน้ำลึก.............................. 99

รูป 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันชายฝั่งกับความชันคลื่นในน้ำลึก.............................. 100

รูป 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำบริเวณทางเข้าอ่าวสมดุลเฉลี่ย
กับความชันคลื่นในน้ำลึก.............................. 101

รูป 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำบริเวณทางเข้าอ่าวสมดุลสูงสุด
กับความชันคลื่นในน้ำลึก.............................. 102

รูป 4-19 เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยก เมื่อกำหนดอัตราส่วนระหว่างเขื่อนกันคลื่น
ต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น.............................. 104

รูป 4-20 เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยก เมื่อกำหนดมุมของคลื่นที่กระทำกับชายฝั่ง........ 105

รูป 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกกับ
ระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก.............................. 106

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูป 4-22 ตัวอย่างการใช้กราฟเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยก เมื่อกำหนดอัตราส่วนระหว่างเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น............. 110
รูป 4-23 ตัวอย่างการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกกับระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก.................................... 111
รูป 4-24 ตัวอย่างการออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยก.. 112

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย