

เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันทัดกะทากอนกรณีชายฝั่งสมดุล

นางสาวบุศวรรณ ไพธิทอง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-332-806-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN CRITERIA OF GROINS
FOR EQUILIBRIUM SHORELINE

Miss Butsawan Pothong

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

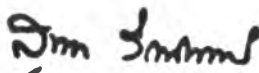
Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-332-806-8

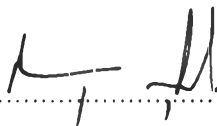
หัวข้อวิทยานิพนธ์ เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคานดัดตะกอนกรณีชายฝั่งสมดุล
โดย นางสาวบุศวรรณ โปธิทอง
ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี)



..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสรี จันทรโยธา)



..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)

บุควรรณ โพรททอง : เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนกรณีชายฝั่งสมดุลง (DESIGN CRITERIA OF GROINS FOR EQUILIBRIUM SHORELINE) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย, 235 หน้า. ISBN 974-332-806-8

ในงานป้องกันชายฝั่งทะเลมักใช้โครงสร้างคันดักตะกอน (groin) ในการปรับปรุงชายฝั่งให้มั่นคง และชายฝั่งจะเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สมดุลงตามลักษณะของคลื่นที่เข้ามามากกว่า สำหรับการศึกษานี้ มุ่งหาเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนในกรณีชายฝั่งสมดุลง โดยศึกษาจากแนวชายฝั่งที่มีคลื่นกระทำเป็นมุมในแบบจำลองแอ่งคลื่น ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อกำหนดให้ความยาวและระยะห่างระหว่างโครงสร้างเป็นตัวแปรออกแบบ ส่วนความสูงคลื่น คาบเวลาคลื่น ความยาวคลื่น และมุมที่คลื่นกระทำต่อแนวชายฝั่งเป็นตัวแปรสภาพการณ์คลื่น

สิ่งที่ใช้ในการศึกษาวิจัยประกอบด้วย แบบจำลองแอ่งคลื่น แบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอน เครื่องกำเนิดคลื่น เครื่องวัดความสูงคลื่น และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งแผงวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลในการวัดข้อมูลคลื่น โดยในแบบจำลองแอ่งคลื่นนี้ใช้ชายฝั่งเป็นทรายขนาดเฉลี่ย 0.25 มม. และกำหนดแนวคลื่น (wave front) ทำมุมกับแนวชายฝั่ง 3 มุม คือ 15° , 30° และ 45° โดยผันแปรค่าความสูงของคลื่น และคาบเวลาของคลื่น ให้มีค่าความชันคลื่นในแอ่งคลื่นอยู่ในช่วง 0.004 ถึง 0.05 และกำหนดติดตั้งโครงสร้างคันดักตะกอนให้มีระยะห่าง 1, 2, 3 และ 4 เมตร

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่สภาวะสมดุลงจากการทดลองทั้งหมด 60 กรณีสรุปได้ว่าระยะเว้าของชายฝั่งหรือระยะการกัดเซาะชายฝั่งระหว่างโครงสร้างคันดักตะกอน ได้รับอิทธิพลจากมุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่งเป็นสำคัญ และระยะห่างระหว่างโครงสร้างมีอิทธิพลต่อแนวชายฝั่งเป็นอันดับสอง ส่วนความชันคลื่นมีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่อรูปร่างแนวชายฝั่งสมดุลง แต่จะมีความสัมพันธ์กับระยะคลื่นแตกตัว ซึ่งเป็นอีกหนึ่งตัวแปรสำคัญในการกำหนดความยาวของโครงสร้างในการออกแบบ จากการศึกษาพบว่า ระยะเว้าของชายฝั่งและระยะคลื่นแตกตัวมีความสัมพันธ์กับลักษณะคลื่นในน้ำลึก คลื่นบริเวณน้ำลึกปานกลาง และคลื่นในน้ำตื้น และสามารถสรุปเป็นเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนที่สัมพันธ์กับคลื่นในน้ำลึกได้ ดังนั้นเมื่อทราบคุณสมบัติคลื่นในน้ำลึกและทิศทางที่คลื่นกระทำต่อแนวชายฝั่ง สามารถใช้เกณฑ์การออกแบบนี้กำหนดระยะห่างระหว่างโครงสร้าง และระยะเว้าของชายฝั่งที่เหมาะสมได้

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ
สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

3970911921 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD: GROINS / DESIGN CRITERIA / EQUILIBRIUM SHORELINE / PHYSICAL MODEL

BUTSAWAN POTHONG : DESIGN CRITERIA OF GROINS FOR EQUILIBRIUM SHORELINE.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAIPANT RUKVICHAI, Ph.D. 235 pp. ISBN 974-332-806-8

In coastal protection, groins are usually used to stabilize shoreline, which will finally reach an equilibrium state corresponding to the incoming wave characteristics. This investigation aims at the design criteria of groins for an equilibrium shoreline. A set of shorelines under oblique wave attacks has been studied in the wave basin of Hydraulic and Coastal Model Laboratory, the Department of Water Resources Engineering, Chulalongkorn University. The length and spacing of groins are the design variables while wave height, wave period, wave length and wave direction represent the design condition.


The tools used in this study consists of a wave basin, groin models, wave generator, wave height meter, and an IBM-PC computer with an analog to digital conversion card for measuring wave data. The shoreline was made of fine sand with an average size of 0.25 mm and was adjusted with the angle of 15°, 30° and 45° to the wave front. For each experiment, wave height and wave period were varied to give a wave steepness of 0.004-0.050 in the wave basin and the spacing of groins set of 1, 2, 3 and 4 m.

About 60 case studies were experimented, and the obtained equilibrium shoreline was analyzed. It was found that the recession of a shoreline depended on the wave direction and the spacing of groins. The wave steepness had little effect on the shoreline shape but it affected the wave breaking distance, which was one of the important factors to design length of groin. The recession distance of a shoreline and the wave breaking distance were related to the wave climate condition at deep water, intermediate depth and shallow water. Finally a set of design criteria was then formulated using the wave climate at deepwater condition. If the characteristics of deepwater wave were known, the groin length, the groin spacing and the recession distance could be determined.

ภาควิชา..... วิศวกรรมแหล่งน้ำ

สาขาวิชา..... วิศวกรรมแหล่งน้ำ

ปีการศึกษา..... 2542

ลายมือชื่อผู้นิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่อง เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันทักตะกอนในกรณีชายฝั่งสมดุสนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ หลายท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ ปรีกษา และอนุเคราะห์ข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการศึกษา ดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ สนับสนุน การตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ และได้กรุณาส่งสอนปรีชญา และศิลปะในการดำเนินชีวิตและการทำงาน อันเป็นประโยชน์สูงสุดที่ข้าพเจ้าได้รับระหว่างศึกษาในสถาบันอันทรงเกียรติแห่งนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี อาจารย์ ดร.เสรี จันทรโยธา และอาจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาสละเวลาของท่านในการให้คำแนะนำ ปรีกษา และการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิทยาการต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณกรมเจ้าท่า และการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ได้กรุณาให้การอนุเคราะห์ข้อมูลเป็นอย่างดี ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วน และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้การสนับสนุนช่วยเหลือค่าใช้จ่ายในด้านวัสดุอุปกรณ์ ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำประปา และการจัดซื้อสิ่งจำเป็นต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ พี่ๆ และน้องๆ ชมรมวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ช่วยเหลือข้าพเจ้าในด้านกำลังใจ การเตรียมรูปเล่มวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ของข้าพเจ้า ผู้ซึ่งให้ความรัก ความอบอุ่น และยอมเหนื่อยยากเพื่อให้การศึกษาแก่ข้าพเจ้า รวมทั้งขอขอบคุณน้องสาว ครอบครัว และคุณคมกริช บิดร ที่ให้โอกาส ให้กำลังใจ และสนับสนุนการศึกษาของข้าพเจ้ามาโดยตลอด

บุคคลต่างๆ ที่กล่าวมาเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จ และข้าพเจ้าขอขอบคุณบุคคลอื่นๆ ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือข้าพเจ้ามาตลอดที่ไม่ได้กล่าวถึงด้วยความจริงใจของข้าพเจ้า

บุศวรรณ โพธิทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บทนำและความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบข่ายการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและการศึกษาที่ผ่านมา	
2.1 กลศาสตร์ของคลื่น.....	5
2.2 กระบวนการชายฝั่ง.....	6
2.3 หัวหาดและอ่าวสมดุลง.....	14
2.4 การศึกษาการป้องกันชายฝั่งด้วยโครงสร้างคันดักตะกอน.....	16
2.5 การศึกษาการป้องกันชายฝั่งในประเทศไทย.....	21
บทที่ 3 แบบจำลองชลศาสตร์และการทดลอง	
3.1 แบบจำลองชลศาสตร์.....	26
3.2 การวัดข้อมูลการทดลอง.....	30
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น.....	34
3.4 ลักษณะและวิธีการทดลอง.....	35
3.5 ข้อมูลจากการทดลอง.....	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบและเกณฑ์การออกแบบ	
4.1 ตัวแปรในการศึกษา.....	50
4.2 ความสัมพันธ์ตัวแปรการทดลองกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลอง.....	53
4.3 พฤติกรรมและกระบวนการชายฝั่งที่สังเกตได้จากการทดลอง.....	56
4.4 การเปรียบเทียบลักษณะชายฝั่งบริเวณคลื่นแตกตัวที่ได้จากการทดลองและทฤษฎี.....	63
4.5 ความสัมพันธ์ตัวแปรออกแบบกับลักษณะคลื่นในน้ำตื้นบริเวณทางเข้าอ่าวกับตัวแปรในแบบจำลอง.....	65
4.6 ความสัมพันธ์ลักษณะคลื่นในน้ำลึกกับตัวแปรออกแบบในแบบจำลอง.....	70
4.7 ความสัมพันธ์ตัวแปรออกแบบกับชายฝั่งสมดุลโดยวิธีตัวแปรไร้หน่วย.....	75
4.8 ความสัมพันธ์ตัวแปรออกแบบกับชายฝั่งสมดุลโดยวิธีทางสถิติ.....	88
4.9 การเปรียบเทียบผลการศึกษากับการศึกษาที่ผ่านมา.....	91
4.10 ความสัมพันธ์ลักษณะคลื่นกับระยะคลื่นแตกตัว.....	91
4.11 เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน.....	96
4.12 ตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน.....	98
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 แบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอนและสภาพชายฝั่งทะเล.....	103
5.2 การทดลองด้วยแบบจำลองทางกายภาพ.....	100
5.3 แนวชายฝั่งสมดุล.....	104
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบกับแนวชายฝั่งสมดุลในการทดลอง.....	104
5.5 การกำหนดเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน.....	105
5.6 วิศวกรรมชายฝั่งกับงานป้องกันชายฝั่งทะเล.....	106
5.7 ข้อเสนอแนะ.....	109
รายการอ้างอิง.....	111

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันทัดตะกอน.....	114
ภาคผนวก ข. การเตรียมการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น.....	131
ภาคผนวก ค. ผลการศึกษากรณีทิศทางการคลื่น 15°	144
ภาคผนวก ง. ผลการศึกษากรณีทิศทางการคลื่น 30°	169
ภาคผนวก จ. ผลการศึกษากรณีทิศทางการคลื่น 45°	194
ภาคผนวก ฉ. ความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบและชายฝั่งสมดุลโดยวิธีไร้น้ำหนัก.....	213
ประวัติผู้ศึกษา.....	235

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2-1 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างค้ำค้ำตะกอน.....	22
ตาราง 3-1 พารามิเตอร์คลื่นที่ใช้ในงานวิศวกรรมชายฝั่ง.....	36
ตาราง 3-2 กรณีการทดลองต่างๆ ที่ทำการศึกษจำนวน 60 กรณี.....	41
ตาราง 3-3 รายละเอียดสำหรับตารางสรุปผลการทดลอง.....	43
ตาราง 3-4 ตัวอย่างตารางสรุปข้อมูลการทดลอง กรณีมุม $\alpha_0=30^\circ$ และ $G=2.00$ เมตร (30A2 ถึง 30E2).....	44
ตาราง 4-1 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบและลักษณะคลื่นกับแนวชายฝั่งสมดุลง.....	80
ตาราง 4-2 ผลการศึกษาระยะเวลาเว้าของชายฝั่งสมดุลงเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Silvester (1974) กรณีระยะห่างระหว่างโครงสร้าง 3.00 เมตร.....	94
ตาราง 5-1 งบประมาณที่ใช้ในการศึกษา.....	110

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 1-1 ตัวอย่างการใช้โครงสร้างคันดักตะกอนในงานป้องกันชายฝั่ง ที่ Dade County, Florida.....	2
รูป 1-2 แบบจำลองแอ่งคลื่นและเครื่องกำเนิดคลื่น ในห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์ และ ชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	4
รูป 2-1 ลักษณะวงโคจรของอนุภาคน้ำในน้ำลึก.....	7
รูป 2-2 การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำภายใต้คลื่น.....	7
รูป 2-3 การหักเหของคลื่น (Wave Refraction).....	8
รูป 2-4 การกระจายของคลื่น (Wave Diffraction).....	9
รูป 2-5 การสะท้อนของคลื่น (Wave Reflection).....	9
รูป 2-6 รูปตัดตามยาวของชายฝั่ง.....	11
รูป 2-7 รูปกระแสน้ำบริเวณชายฝั่ง.....	11
รูป 2-8 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากคลื่นพายุ.....	11
รูป 2-9 การเกิดสันดอนทรายใต้น้ำบริเวณชายฝั่งในฤดูมรสุม.....	13
รูป 2-10 การฟื้นฟูสภาพชายฝั่งหลังการเปลี่ยนแปลงทิศทางลมเมื่อเปลี่ยนฤดูกาล.....	13
รูป 2-11 (A)การเกิดอ่าวรูปครึ่งหัวใจจากการทดลองด้วยแบบจำลอง (B)เส้นชั้นความลึกในระหว่างการทดลอง (C)การเกิดอ่าวสมดุลงที่ชายฝั่ง South Africa.....	15
รูป 2-12 เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกเมื่อกำหนดอัตราส่วนระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่น ต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น.....	17
รูป 2-13 ความสัมพันธ์ความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกกับ ระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก.....	18
รูป 2-14 รูปแบบของโครงสร้างคันดักตะกอน.....	18
รูป 2-15 โครงการสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นแหลมตาชี จ.ปัตตานี.....	25
รูป 3-1 แบบจำลองแอ่งคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอน.....	28
รูป 3-2 รูปตัดแบบจำลองแอ่งคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอน.....	29
รูป 3-3 แบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอน.....	29
รูป 3-4 การติดตั้งแบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอน.....	29

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูป 3-5 เครื่องกำเนิดคลื่น.....	29
รูป 3-6 เครื่องมือวัดความสูงคลื่น.....	29
รูป 3-7 ตำแหน่งเครื่องมือวัดความสูงคลื่น และระบบการวัดข้อมูลชายฝั่งสมดุลง.....	31
รูป 3-8 ตัวอย่างข้อมูลคลื่น (A,B,C,D,E) จากการบันทึก ชุดการทดลอง 30A2 ถึง 30E2.....	32
รูป 3-9 กริดขนาด 0.10 ม. x 0.10 ม.....	33
รูป 3-10 การติดตั้งระบบกริดเหนือแบบจำลอง.....	33
รูป 3-11 นิยามและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	33
รูป 3-12 แนวระดับน้ำนิ่ง.....	38
รูป 3-13 แนวการวัดความชันท้องน้ำ.....	38
รูป 3-14 Density spectral histogram.....	38
รูป 3-15 การปรับแนวชายฝั่งก่อนการทดลอง.....	38
รูป 3-16 การติดตั้งแบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอนในการทดลอง.....	39
รูป 3-17 แบบจำลองขณะที่มีคลื่นกระทำต่อชายฝั่ง.....	39
รูป 3-18 ตัวอย่างแนวชายฝั่งสมดุลง.....	40
รูป 3-19 ตัวอย่างพลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ กรณี $\alpha_0=30^\circ$ และ $G=2.00$ ม. (30A2 ถึง 30E2).....	46
รูป 3-20 ตัวอย่างแนวชายฝั่งสมดุลง กรณี $\alpha_0=30^\circ$ และ $G=2.00$ ม. (30A2 ถึง 30E2).....	48
รูป 3-21 ตัวอย่างแนวชายฝั่งสมดุลงเฉลี่ย กรณี $\alpha_0=30^\circ$ และ $G=2.00$ ม. (30A2 ถึง 30E2).....	48
รูป 3-22 ตัวอย่างรูปตัดด้านข้างของชายฝั่งสมดุลง กรณี $\alpha_0=15^\circ$ และ $G=1.00$ ม. (15A1 ถึง 15E1).....	49
รูป 4-1 ขั้นตอนการวิเคราะห์เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน.....	51
รูป 4-2 สัญลักษณ์ตัวแปรลักษณะคลื่น ตัวแปรออกแบบ และชายฝั่งสมดุลงที่ใช้ในการศึกษา.....	52
รูป 4-3 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับระยะเว้าของชายฝั่งในแบบจำลอง.....	54
รูป 4-4 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับความยาวชายฝั่งในแบบจำลอง.....	54
รูป 4-5 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับความยาวชายฝั่งในแบบจำลอง กรณี $G=1,2,3$ และ 4เมตร.....	55
รูป 4-6 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับระยะคลื่นแตกตัวในแบบจำลอง.....	57

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูป 4-7 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นกับความลาดชันชายฝั่ง 1:n.....	58
รูป 4-8 การสะท้อนของคลื่น เมื่อใช้แบบจำลองโครงสร้างแบบที่บ้น้ำ.....	60
รูป 4-9 อิทธิพลของตะกอนส่วนเกินท้ายน้ำ.....	60
รูป 4-10 อิทธิพลของความชื้นคลื่นต่อความลาดชันชายฝั่ง.....	60
รูป 4-11 ตัวอย่างอิทธิพลของขนาดคลื่นที่มีผลต่อความลาดชันท้องน้ำในการทดลอง.....	61
รูป 4-12 แนวชายฝั่งสมดุลงกรณีไม่มีโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง.....	62
รูป 4-13 การเปรียบเทียบความลึกน้ำบริเวณคลื่นแตกตัว จากการคำนวณกับผลการทดลอง.....	64
รูป 4-14 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นกับความลึกน้ำบริเวณคลื่นแตกตัว จากการคำนวณกับผลการทดลอง.....	64
รูป 4-15 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นแตกตัวกับระยะเว้าของชายฝั่งในแบบจำลอง.....	66
รูป 4-16 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นแตกตัวกับความยาวชายฝั่งในแบบจำลอง.....	66
รูป 4-17 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นแตกตัวกับความยาวชายฝั่งในแบบจำลอง กรณี G=1,2,3 และ 4 เมตร.....	67
รูป 4-18 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นแตกตัวกับระยะคลื่นแตกตัว.....	68
รูป 4-19 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นแตกตัวกับความลาดชันชายฝั่ง 1:n.....	69
รูป 4-20 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวกับระยะเว้าของชายฝั่ง.....	71
รูป 4-21 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวกับความยาวชายฝั่ง.....	71
รูป 4-22 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวกับความยาวชายฝั่ง กรณี G=1,2,3 และ 4 เมตร.....	72
รูป 4-23 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวกับระยะคลื่นแตกตัว กรณี G=1,2,3 และ 4 เมตร.....	73
รูป 4-24 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวกับความลาดชันชายฝั่ง 1:n กรณี G=1,2,3 และ 4 เมตร.....	74
รูป 4-25 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นในน้ำลึกกับระยะเว้าของชายฝั่ง.....	76
รูป 4-26 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นในน้ำลึกกับความยาวชายฝั่ง.....	76
รูป 4-27 กราฟความสัมพันธ์ความชื้นคลื่นในน้ำลึกกับความยาวชายฝั่ง กรณี G=1,2,3 และ 4 เมตร.....	77

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูป 4-28	กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับระยะคลื่นแตกตัว กรณี $G=1,2,3$ และ 4 เมตร.....	78
รูป 4-29	กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับความลาดชันชายฝั่ง 1:n กรณี $G=1,2,3$ และ 4 เมตร.....	79
รูป 4-30	กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับระยะเว้าต่อความสูงคลื่นในน้ำลึก กรณี $\alpha_0=15^\circ, 30^\circ$ และ 45°	81
รูป 4-31	กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับระยะเว้าต่อความสูงคลื่นในน้ำลึก กรณี $\alpha_0=15^\circ, 30^\circ$ และ 45°	82
รูป 4-32	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\text{Log} \frac{H_0}{L_0}$ กับ $\text{Log} \frac{S}{H_0}$ กรณี $\alpha_0=15^\circ, 30^\circ$ และ 45°	84
รูป 4-33	กราฟความสัมพันธ์ระยะห่างระหว่างโครงสร้างต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกกับค่า B_s กรณี $\alpha_0=15^\circ, 30^\circ$ และ 45°	85
รูป 4-34	กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับระยะเว้าต่อความสูงคลื่นในน้ำลึก กรณี $\alpha_0=15^\circ, 30^\circ$ และ 45°	86
รูป 4-35	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{S}{H_0}$ กับ $\frac{H_0}{L_0}$ ที่ $\frac{G}{L_0}$ ต่างๆ โดยวิธีตัวแปรไร้หน่วย.....	87
รูป 4-36	ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{S}{H_0}, \frac{H_0}{L_0}, \frac{G}{L_0}$ และ α_0 โดยโปรแกรม SYSTAT version 7.0 วิธี Stepwise Regression.....	89
รูป 4-37	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\text{Log} \frac{S}{H_0}$ จากการทดลอง กับ $\text{Log} \frac{S}{H_0}$ จากการทำ MR.....	90
รูป 4-38	กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับระยะเว้าต่อความสูงคลื่นในน้ำลึก กรณี $\alpha_0=15^\circ, 30^\circ$ และ 45°	92
รูป 4-39	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{S}{H_0}$ กับ $\frac{H_0}{L_0}$ ที่ $\frac{G}{L_0}$ ต่างๆ โดยวิธีสถิติ.....	93
รูป 4-40	ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางคลื่นและระยะห่างระหว่างหัวหาดกับระยะเว้าของชายฝั่งสมดุ จากการศึกษาของ Silvester (1974).....	94
รูป 4-41	การเปรียบเทียบแนวชายฝั่งสมดุจากการทดลองกับการศึกษาของ Silvester (1974).....	95
รูป 4-42	กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับอัตราส่วน a_0/H_0	97

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูป 4-43	กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับอัตราส่วน a_0/L_0	97
รูป 4-44	ตัวอย่างการใช้กราฟเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน.....	102
รูป 5-1	ขั้นตอนการใช้เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนที่ได้จากการศึกษา.....	107
รูป 5-2	ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อแนวชายฝั่ง.....	108