

การออกแบบหัวทาดและการป้องกันชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่าง

นายสกุล ทอวโนทยาน



ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531


ISBN 974-568-635-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014168

๑๑๗๕๑๑๐๑๓

Headland Design and Coastal Shore Protection at Lower Gulf of Thailand



Mr. Sakul Hovanotayan

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

1988

ISBN 974-568-635-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบหัวหาคและการป้องกันชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่าง

โดย

นายสกุล ทอโนทยาน

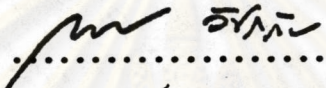
ภาควิชา

วิศวกรรมโยธา

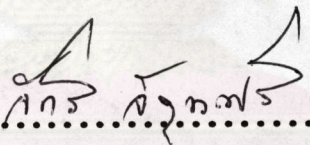
อาจารย์ที่ปรึกษา

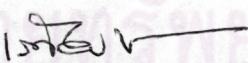
รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย

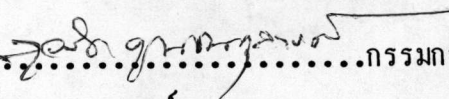
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



.....คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ จักรี จิตฺตะศรี)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสถียร ชลาชีวะ)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คุณธนกุลวงศ์)


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



สกุล ทอวโนทยาน : การออกแบบหัวหาดและการป้องกันชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่าง
(Headland Design and Coastal Shore Protection at Lower Gulf of
Thailand) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย, 240 หน้า.

ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่าง ประสบปัญหาการถดถอยของชายฝั่งอย่างรุนแรงและต่อเนื่องมา
มากกว่า 80 ปี ทั้งนี้เนื่องจากอ่าวไทยตอนล่างมีลักษณะเป็นทะเลเปิด (open sea) ติดต่อกับทะเล
จีนใต้ จึงได้รับอิทธิพลความรุนแรงของคลื่นที่เคลื่อนที่มาจากทะเลจีนใต้โดยตรง

การศึกษาวិทยานิพนธ์นี้ มุ่งที่จะศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหการกัดเซาะชายฝั่งทะเลอ่าวไทย
ตอนล่าง ในเขตจ.นราธิวาส ระหว่างปากแม่น้ำโกลกถึงบริเวณเขาคันทรง ยาวประมาณ 35 กม. โดย
วิธีการสร้างเขื่อนกั้นคลื่นเป็นช่วง ๆ (detached breakwater) เพื่อทำหน้าที่เป็นหัวหาด (headland)
ที่มั่นคงให้กับชายฝั่ง ทั้งยังสามารถเก็บและกักตะกอนทรายไว้ได้ส่วนหนึ่ง การศึกษานี้ได้รวบรวมผลการ
ศึกษาลักษณะอ่าวสมคูลย์ โครงสร้างหัวหาด และการป้องกันชายฝั่งที่ผ่านมา เพื่อนำมาสรุปเป็นบรรทัดฐาน
ใช้ออกแบบหัวหาดโดยเขื่อนกั้นคลื่น และนำมาใช้ป้องกันการถดถอยของชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่าง

จากการศึกษาได้กำหนดตำแหน่งเขื่อนกั้นคลื่นทำหน้าที่เป็นหัวหาด ในบริเวณชายฝั่งที่พบว่าเกิด
การกัดเซาะโดยมีความยาวเขื่อน 50 ม. ระยะทางจากชายฝั่งถึงเขื่อนประมาณ 50 ม. ระยะช่องว่าง
ระหว่างเขื่อน 200 ม. ระยะเว้าของชายฝั่งจากแนวหัวหาดเกิดขึ้นประมาณ 45 ม. สำหรับชายฝั่ง
บริเวณปากแม่น้ำ กำหนดให้ระยะช่องว่างระหว่างเขื่อนลดลงเหลือ 50 ม. เพื่อป้องกันแรงปะทะของ
กระแสน้ำจากแม่น้ำโกลก ระยะเว้าของชายฝั่งบริเวณนี้ประมาณ 25 ม. และพบว่าจะมีการก่อรูปของ
ตะกอนคานหลังเขื่อนเป็นสันทรายพ่นน้ำ (tombolo) ยื่นออกจากชายฝั่งชิดคานหลังเขื่อนตลอดแนวชายฝั่ง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิสิต สกุล ทอวโนทยาน.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย.

SAKUL HOVANOTAYAN : HEADLAND DESIGN AND COASTAL SHORE PROTECTION AT
LOWER GULF OF THAILAND. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. CHAIPANT
RUKVICHAI, Ph.D. 240 PP.

The coastline of Lower Gulf of Thailand has experienced with the severe problems of shoreline recession for more than 80 years. 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.

The study aims at evaluating coastal erosion along coastline of the Lower Gulf of Thailand in Narathiwat from the mouth of Golok River to Tanyong Mountain whose distance of about 35 km. The detached breakwater is assumed to be a headland which makes the shoreline stable and can trap a fraction of sediment. The thesis also summarized the past researches on equilibrium bay, headland structures, and coastline protection works. The design procedure for detached breakwater which was employed in this study, bases largely on those researches.

With a breakwater of 50 m. long located at 50 m. from the shoreline and 200 m. apart each other, the coastal erosion was expected as much as 45 m. from the headland. For the coastline at river mouth each breakwaters was located at 50 m. apart to protect the shore from the force of current in Golok River. The erosion was found as much as 25 m. The tombolo was found along the shore, immediately adjacent to the toe of breakwaters.

ภาควิชา Civil Engineering
สาขาวิชา Civil Engineering
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิติกร Sakul Hovanotayan

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Chaipant Rukvichai

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ จักรี จัตุษศรี รองศาสตราจารย์ เสถียร
ชลาชีวะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คร.สุจิต ภูธนกุลวงศ์ ซึ่งได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำแนะนำ
และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณคณาจารย์วิศกรรมแห่งน้ำ
พุทธาน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ ให้แก่ข้าพเจ้า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์ คร.ชัยพันธุ์
รักวิชัย ที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือด้านแนวคิดต่าง ๆ อย่างใกล้ชิดด้วยดีตลอดมา ซึ่ง
ข้าพเจ้ามีโอกาสลิ้มแล่นได้ ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ผู้บังคับบัญชาในกรมชลประทานทุกระดับชั้น ที่ได้สนับสนุนให้ข้าพเจ้าได้
เล่าเรียนในระดับมหาบัณฑิตนี้ ขอขอบคุณรัฐบาลสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน และบัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนทุนการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์สำเร็จ
ลงได้

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ วราภรณ์ รักวิชัย และพี่, เพื่อน,
น้องชมรมวิศกรรมแห่งน้ำ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา และขอขอบคุณ
คุณอุไรพร กำลังเพชร ที่ได้ช่วยพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายนี้ สิ่งที่มีระลึกอยู่ในจิตใจของข้าพเจ้าและข้าพเจ้ามีโอกาสใช้ได้หมด คือ พระคุณ
มารดาบิดา ที่เปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาเล่าเรียนจนกระทั่งบัดนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สกุล ทอวโนทยาน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
สัญลักษณ์.....	ถ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ขอบข่ายและวัตถุประสงค์การศึกษา.....	2
1.3 แนวเหตุผลทางทฤษฎี.....	2
1.4 การดำเนินงานศึกษา.....	4
1.5 ผลการศึกษาที่คาดหวัง.....	5
บทที่ 2 องค์ประกอบที่ก่อให้เกิดชายฝั่งสมคูลย์	
2.1 การหักเหของคลื่น.....	6
2.2 การกระจายของคลื่น.....	7
2.3 การแตกตัวของคลื่น.....	9
2.4 กระแสน้ำและตะกอนชายฝั่ง.....	9
2.5 หัวหาด.....	13
บทที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา	
3.1 สภาพภูมิประเทศ.....	14
3.2 สภาพภูมิอากาศ.....	14
3.3 สภาพอุทกศาสตร์.....	22
3.4 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเล.....	34

บทที่ 4	การศึกษาโครงสร้างห้หาคและเสถียรภาพชายฝั่ง	
4.1	ลักษณะอ่าวสมคูลย์.....	51
4.2	รูปแบบชายฝั่งจากแบบจำลองกายภาพ.....	68
4.3	รูปแบบชายฝั่งจากแบบจำลองคณิตศาสตร์.....	85
บทที่ 5	การป้องกันชายฝั่งควยโครงสร้างห้หาค	
5.1	โครงการปรับปรุงชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศสิงคโปร์.....	99
5.2	การป้องกันชายฝั่งทะเลในประเทศญี่ปุ่น.....	112
5.3	โครงสร้างป้องกันชายฝั่งทะเล Tel-Aviv ประเทศอิสราเอล.....	118
5.4	โครงการป้องกันชายฝั่งทะเล Kaike ประเทศญี่ปุ่น.....	122
5.5	การป้องกันชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียน.....	128
5.6	โครงการป้องกันชายหาด Lakeview Park ประเทศสหรัฐอเมริกา....	132
บทที่ 6	การออกแบบโครงสร้างห้หาคโดยเชื่อมกันคลื่น	
6.1	ความยาวเชื่อมกับระยะทางจากชายฝั่ง.....	148
6.2	ระยะช่องว่างระหว่างเขื่อน.....	158
6.3	ความสูงเชื่อมกันคลื่น.....	166
6.4	ลักษณะโครงสร้าง.....	167
บทที่ 7	การป้องกันชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนกลาง	
7.1	เหตุผลการป้องกันชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนกลางโดยเชื่อมกันคลื่น.....	172
7.2	การวางตำแหน่งเชื่อมกันคลื่น.....	173
7.3	โครงสร้างและความมั่นคงของเขื่อน.....	176
7.4	การถดถอยของแนวชายฝั่งระหว่างเขื่อน.....	178
7.5	การทับถมของตะกอนหลังเขื่อน.....	182
บทที่ 8	บทสรุปและขอเสนอแนะ	
8.1	บทสรุป.....	184
8.2	ขอเสนอแนะ.....	190

เอกสารอ้างอิง.....	194
ภาคผนวก ก รายงานเบื้องต้น การสำรวจชายฝั่งปากพอง-ปากกระวะ จังหวัด นครศรีธรรมราช.....	199
ภาคผนวก ข ลักษณะอ่าวสมคูลย์ จากการทดลองโดย Vichetpan.....	211
ภาคผนวก ค ชายฝั่งหลังแนวเขื่อนกันคลื่นแยก จากแบบจำลองกายภาพ.....	216
ภาคผนวก ง ระยะกระโจนของคลื่น.....	231
ภาคผนวก จ รายการคำนวณออกแบบรูปตัดโครงสร้าง.....	239
ประวัติผู้ศึกษา.....	240



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตาราง 3-1	สถิติข้อมูลอุทกนิยามวิทยาในคาบ 30 ปี (พศ.2494-2523) อ.เมือง จ. นครราชสีมา.....	16
ตาราง 3-2	ปริมาณฝนรายเดือน (มม.) อำเภอตากใบ.....	23
ตาราง 3-3	สถิติความเป็นไปได้ของความสูงคลื่น (observed wave height, H_v) ในฤดูกาลต่าง ๆ.....	28
ตาราง 3-4	คาบเวลาคลื่น (wave period) ที่มีอิทธิพลต่อชายฝั่งทะเลในทิศทาง ต่าง ๆ.....	28
ตาราง 3-5	สรุปลักษณะคลื่นและกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนกลาง.....	32
ตาราง 3-6	การเคลื่อนที่และปริมาณตะกอนตามแนวชายฝั่งปากแม่น้ำโขงในแต่ละ ฤดูกาล.....	35
ตาราง 3-7	สรุปการศึกษาผลกระทบจากโครงการระบายน้ำ/เก็บกักน้ำในลุ่มน้ำ บางนรา.....	38
ตาราง 4-1	คลื่นที่ใช้ทดลองเพื่อศึกษาลักษณะอ่าวสมดุส โดย Vichetpan.....	56
ตาราง 4-2	ความสัมพันธ์ของตัวแปรของรูปร่างอ่าวสมดุส โดย Vichetpan.....	56
ตาราง 4-3	คลื่นที่ใช้ทดลองเพื่อศึกษาลักษณะอ่าวสมดุส โดย Ho.....	56
ตาราง 4-4	ความสัมพันธ์ของตัวแปรของรูปร่างอ่าวสมดุส โดย Ho.....	57
ตาราง 4-5	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองโดย Rosen.....	74
ตาราง 4-6	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ จากแบบจำลองที่ผ่านมา.....	74
ตาราง 4-7	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ จากการป้องกันชายฝั่ง.....	75
ตาราง 4-8	คลื่นที่ใช้ทดลองเพื่อศึกษารูปแบบชายฝั่งหลังแนวเขื่อนกันคลื่นแยก โดย Abeyasinghe.....	76
ตาราง 4-9	คลื่นที่ใช้ทดลองเพื่อศึกษารูปแบบชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่นแยก โดย Devasiri.....	76

ตาราง 4-10	คลื่นและเชื่อมกันคลื่นที่ไซทคลองเพื่อศึกษารูปแบบชายฝั่งหลังแนวเชื่อมกันคลื่นแยก โดย Nakatani.....	77
ตาราง 5-1	พื้นที่งบประมาณ และระยะเวลาก่อสร้างโครงการปรับปรุงชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศสิงคโปร์.....	105
ตาราง 5-2	การแจกแจงชนิดของเชื่อมกันคลื่น.....	116
ตาราง 5-3	ผลการทำหน้าที่ของเชื่อมกันคลื่น.....	116
ตาราง 5-4	การแบ่งเชื่อมกันคลื่นออกตามลักษณะโครงสร้างและวัสดุ.....	117
ตาราง 5-5	แสดงขนาดเฉลี่ยของเม็ดทรายที่ความลึกต่าง ๆ, โอกาสการเกิดของความสูงและคาบเวลาคลื่น.....	122
ตาราง 5-6	การเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนบริเวณชายฝั่ง ตั้งแต่เดือนกันยายน 1971 ถึงมีนาคม 1982.....	128
ตาราง 5-7	ระยะเวลาที่ไซทกรูป tombolo.....	134
ตาราง 5-8	ปริมาณการทับถมของตะกอนทราย.....	134
ตาราง 5-9	ระยะทางจากฝั่งถึงเขื่อน และความยาวเขื่อน.....	135
ตาราง 6-1	ข้อมูลและผลวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อนกับระยะทางจากชายฝั่ง.....	153
ตาราง 6-2	ข้อมูลและผลวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อนกับระยะเวาของชายฝั่ง.....	161
ตาราง 6-3	ค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคง (K_D) ของหินและก้อนคอนกรีตตลอด.....	169
ตาราง 6-4	ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นหิน (K_A) ของหินและก้อนคอนกรีตตลอด.....	169

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 1-1	พื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนกลางในเขตจังหวัดนราธิวาส..... 3
รูป 2-1	การหักเหของคลื่นตามกฎของ Snell 8
รูป 2-2	ตัวแปรของการกระจายของคลื่น..... 8
รูป 2-3	ลักษณะการกระจายของคลื่นที่เคลื่อนผ่านช่องว่างระหว่างหัวหาด 8
รูป 2-4	ลักษณะการแตกตัวของคลื่นแบบต่าง ๆ..... 10
รูป 2-5	กลไกของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะยาว..... 12
รูป 3-1	สภาพภูมิอากาศในคาบ 30 ปี (พศ.2494-2523) อ.เมือง จ.นราธิวาส. 17
รูป 3-2	ผังลม (wind rose) ในคาบ 30 ปี (พศ.2494-2523) ของจังหวัด นราธิวาส..... 18
รูป 3-3	พายุหมุนเขตร้อนที่พัดผ่านจังหวัดนราธิวาส เมื่อวันที่ 13-14 ธค. 2507.. 20
รูป 3-4	พายุหมุนเขตร้อนที่พัดผ่านจังหวัดนราธิวาส เมื่อวันที่ 11 พย. 2521..... 21
รูป 3-5	เปรียบเทียบรูปตัดทอของทะเลชายฝั่งบริเวณพื้นที่ศึกษาในปี 2526 และ 2527 25
รูป 3-6	สถิติความสูงคลื่นในทะเลจีนใต้ 29
รูป 3-7	การกระจายความสูงคลื่นนัยสำคัญบริเวณทะเลปากแม่น้ำโลก..... 30
รูป 3-8	ลักษณะการกระจายและลูเข้าหากันของคลื่นในบริเวณพื้นที่ศึกษา..... 33
รูป 3-9	บริเวณพื้นที่ที่มีแนวโน้มนเกิดการทับถมและกัดเซาะตามแนวชายฝั่ง..... 33
รูป 3-10	การเปลี่ยนแปลงของแหลมทรายปากแม่น้ำโลกระหว่างปี 2518-2522... 36
รูป 3-11	การเปลี่ยนแปลงของแหลมทรายปากแม่น้ำโลกในระหว่างปี 2453-2523. 39
รูป 3-12	การเปลี่ยนแปลงสภาพปากแม่น้ำโลกระหว่างปี 2500-2522..... 40
รูป 3-13	การเปลี่ยนแปลงสภาพชายฝั่งของปากแม่น้ำโลกระหว่างปี 2491-2527.. 42
รูป 3-14	การเปลี่ยนแปลงสภาพชายฝั่งจาก S. Pengkalan Datu ถึงบริเวณ ปากแม่น้ำโลก ระหว่างปี 2491-2527..... 43
รูป 3-15	การเปรียบเทียบชายฝั่งทะเลตั้งแต่ 2452-2526..... 44
รูป 3-16	การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง..... 45

รูป 3-17	การเปรียบเทียบชายฝั่งคานในระหว่าง พย.2526-สค.2528.....	46
รูป 3-18	การเปรียบเทียบชายฝั่งบริเวณ กม.7-8 ระหว่าง พย.2526-สค.2528..	47
รูป 3-19	การเปรียบเทียบชายฝั่ง กม.7-8 ระหว่าง ตค.2527-มีค.2528.....	48
รูป 3-20	การพยากรณ์ผลกระทบของเขื่อนกันคลื่น (Jetty) ต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ปากแม่น้ำ P.Datu และ Kemasin รัฐกลันตัน.....	49
รูป 4-1	ลักษณะอ่าวระหว่างหัวหาดจากการทดลอง.....	58
รูป 4-2	ลักษณะอ่าวสมคูลย์ ของ Sandy Hook ที่ New Jersey.....	58
รูป 4-3	ลักษณะอ่าวสมคูลย์ของ Halfmoon Bay ที่ California.....	59
รูป 4-4	ลักษณะอ่าวสมคูลย์ของ Drakes Beach และ Limantour Spit ที่ California.....	59
รูป 4-5	เส้นโค้ง logarithmic spiral.....	60
รูป 4-6	แบบจำลองใช้ศึกษาลักษณะอ่าวสมคูลย์.....	60
รูป 4-7	เส้นโค้ง logarithmic spiral และความสัมพันธ์ระหว่าง R_2/R_1 กับ α	61
รูป 4-8	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{R_2}{R_1}$ กับ α	62
รูป 4-9	ความสัมพันธ์ระหว่าง α กับ β ของอ่าวสมคูลย์.....	62
รูป 4-10	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจากชายฝั่ง กับความลึกของน้ำของชายฝั่งในประเทศออสเตรเลีย.....	63
รูป 4-11	ความสัมพันธ์ระหว่าง α กับ γ ของอ่าวสมคูลย์ จากแบบจำลอง.....	63
รูป 4-12	การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระหว่างหัวหาด.....	64
รูป 4-13	ความสัมพันธ์ระหว่างการเว้าของอ่าวสมคูลย์ (a/b) กับ β	64
รูป 4-14	ลักษณะการถดถอยชั่วคราวของชายฝั่งระหว่างหัวหาด.....	64
รูป 4-15	อ่าวในประเทศออสเตรเลีย ซึ่งยังไม่เข้าสู่สภาพสมคูลย์.....	65
รูป 4-16	ความสัมพันธ์ของช่องว่างระหว่างหัวหาดและระยะถดถอยของชายฝั่ง.....	66
รูป 4-17	การเว้าของชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่นที่มีความยาวต่างกัน.....	66
รูป 4-18	ลักษณะอ่าวสมคูลย์ที่เกิดการเว้าทั้งสองด้านของชายฝั่ง.....	67
รูป 4-19	ชายฝั่งสมคูลย์บริเวณรมเงาเขื่อนกันคลื่น สำหรับ $\delta_0 = 0.0192$	78
รูป 4-20	ชายฝั่งสมคูลย์บริเวณรมเงาเขื่อนกันคลื่น สำหรับ $\delta_0 = 0.0461$	78

รูป 4-21 ชายฝั่งสมคูลย์ที่เกิดจาก $\frac{y}{x}$ มีค่าต่างกัน..... 79

รูป 4-22 เส้นชั้นความลึกของชายฝั่งสมคูลย์ สำหรับ $\delta_0 = 0.0192$ 79

รูป 4-23 เส้นชั้นความลึกของชายฝั่งสมคูลย์ สำหรับ $\delta_0 = 0.0461$ 80

รูป 4-24 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{Q}{x \cdot y}$ กับ $\frac{y}{x}$ 80

รูป 4-25 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{Q}{x}$ กับ $\frac{y}{x}$ 80

รูป 4-26 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{x}{y}$ กับ $\frac{z}{y}$ 81

รูป 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับ x/y 81

รูป 4-28 การไหลของกระแสน้ำหลังเขื่อนกันคลื่น จากการทดลองโดย Abeysinghe 82

รูป 4-29 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังแนวเขื่อนกันคลื่นขนาดยาว จากการทดลองโดย Abeysinghe..... 82

รูป 4-30 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังแนวเขื่อนกันคลื่นขนาดสั้น จากการทดลองโดย Abeysinghe..... 83

รูป 4-31 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ทับถมกับพลังงานคลื่น..... 83

รูป 4-32 การไหลของกระแสน้ำหลังแนวเขื่อนกันคลื่น จากการทดลองครั้งที่ 1 โดย Devasiri..... 84

รูป 4-33 ลักษณะ tombolo ที่เกิดการวางตำแหน่งไว้ที่ต่าง ๆ กัน จากการทดลอง โดย Nakatani..... 84

รูป 4-34 เปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองกายภาพของ Shimohara..... 89

รูป 4-35 เปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองกายภาพของ Sawaragi..... 89

รูป 4-36 เปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองกายภาพของ Sawaragi..... 90

รูป 4-37 เปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองกายภาพของ Horikawa..... 90

รูป 4-38 ลักษณะชายฝั่ง เมื่อ $R = 2L : 1L$ 91

รูป 4-39 ลักษณะชายฝั่ง เมื่อ $R = 3L : 1L$ 91

รูป 4-40 ลักษณะชายฝั่ง เมื่อ $R = 4L : 1L$ 92

รูป 4-41 ลักษณะชายฝั่ง เมื่อ $R = 6L : 1L$ 92

รูป 4-42 ลักษณะชายฝั่ง เมื่อ $R = 8L : 4L$ 93

รูป 4-43 ลักษณะชายฝั่ง เมื่อ $R = 4L : 2L$ 93

รูป 4-44	ลักษณะชายฝั่ง เมื่อ $R = 1L : 0.5L$	94
รูป 4-45	ลักษณะชายฝั่ง เมื่อ $R = 2L : 1L$	94
รูป 4-46	ลักษณะชายฝั่ง เมื่อ $R = 2L : 1L$	95
รูป 4-47	การถดถอยชายฝั่งคานซางของ tombolo	95
รูป 4-48	เปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองกายภาพของ Shinohara สำหรับ $H = 0.026$ m.....	96
รูป 4-49	เปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองกายภาพของ Shinohara สำหรับ $H = 0.016$ m.....	97
รูป 4-50	ลักษณะชายฝั่งจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยแปรความยาวเขื่อน.....	98
รูป 4-51	ลักษณะชายฝั่งจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยแปรคาบเวลากคลื่น.....	98
รูป 5-1	แผนที่ฝั่งเขปโครงการปรับปรุงชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศสิงคโปร์.	106
รูป 5-2	ลักษณะเขื่อนกันคลื่น.....	106
รูป 5-3	ลักษณะแนวและรูปตัดชายหาดระหว่างช่องว่างเขื่อน (cell) ในโครงการระยะที่ 1 และ 2.....	107
รูป 5-4	ลักษณะชายฝั่งโครงการระยะที่ 1 และ 2 ในเดือนมกราคม 1974.....	107
รูป 5-5	สภาพชายฝั่งตั้งแต่ชายหาดระหว่างเขื่อน (cell) 38.....	108
รูป 5-6	ชายหาดระหว่างเขื่อน (cell) 36 ถึง 33 เกิดหัวคัน (berm) เป็นบริเวณว่าง.....	108
รูป 5-7	การก่อรูปชายหาดระหว่างเขื่อนกันคลื่น.....	109
รูป 5-8	ลักษณะชายฝั่งสมมูลย์จากการทำนายโดย silvester.....	110
รูป 5-9	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{a}{b}$ กับ β	110
รูป 5-10	ความสัมพันธ์ระหว่างแนวชายหาดระหว่างเขื่อน (cell) กับแนวหัวคัน (berm).....	111
รูป 5-11	เปรียบเทียบอัตราการเพิ่มของโครงสร้างคันค้ำตะกอนและเขื่อนกันคลื่นแยก	118
รูป 5-12	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจากฝั่งกับความยาวเขื่อนกันคลื่น.....	118
รูป 5-13	ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของน้ำที่เขื่อนกับความยาวเขื่อนกันคลื่น.....	118
รูป 5-14	ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างระหว่างเขื่อนกับระยะทางจากฝั่ง.....	119

รูป 5-15	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสันเขื่อนเหนือระดับน้ำ กับความลึกของน้ำที่เขื่อนกันคลื่น.....	119
รูป 5-16	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเขื่อนต่อความลึกของน้ำ กับความยาวของเขื่อนต่อระยะทางจากฝั่ง.....	119
รูป 5-17	แผนที่แสดงโครงการป้องกันชายฝั่งทะเล Tel-Aviv ประเทศอิสราเอล..	123
รูป 5-18	เขื่อนกันคลื่นเชื่อมต่อกับชายฝั่งควยคันคักตะกอน.....	123
รูป 5-19	ลักษณะการวางตำแหน่งของเขื่อนที่เหมาะสม จากการทดลอง.....	124
รูป 5-20	ลักษณะโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น.....	124
รูป 5-21	ภาพถ่ายโครงการป้องกันชายฝั่งทะเล Tel-Aviv เมื่อเดือนมิถุนายน 1976	124
รูป 5-22	ชายฝั่งทะเล Kaike ประเทศญี่ปุ่น.....	129
รูป 5-23	ตำแหน่งคันคักตะกอนป้องกันชายฝั่ง Kaike.....	129
รูป 5-24	ลักษณะโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น.....	129
รูป 5-25	ชายฝั่งหลังเขื่อน ระหว่างเดือนมีนาคม 1972 ถึงสิงหาคม 1973.....	129
รูป 5-26	ชายฝั่งหลังเขื่อนระหว่างเดือนสิงหาคม 1973 ถึงมีนาคม 1975.....	129
รูป 5-27	ชายฝั่งเปลี่ยนแปลงหลังเขื่อนกันคลื่นตำแหน่ง 1 และ 2.....	130
รูป 5-28	ภาพถ่ายสภาพชายฝั่งบริเวณเขื่อนตำแหน่ง 1 ถึง 4 ถ่ายเมื่อเดือนตุลาคม 1974.....	130
รูป 5-29	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง หมายเลข 8.....	131
รูป 5-30	ชายฝั่งหมายเลข 8 เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ปี 1958 ถึง 1982.....	131
รูป 5-31	การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหมายเลข 2,4,6,8,10 และ 12.....	131
รูป 5-32	สภาพชายฝั่งทะเล Kaike ถ่ายเมื่อเดือนมีนาคม 1982.....	131
รูป 5-33	ชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียน.....	136
รูป 5-34	ขั้นตอนการก่อรูป tombolo ของชายฝั่ง Netanya.....	136
รูป 5-35	ขั้นตอนการก่อรูป tombolo ของชายฝั่ง Carmel Beach.....	137
รูป 5-36	เปรียบเทียบการก่อรูป tombolo ระหว่าง Natanya กับ Carmel Beach	137
รูป 5-37	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาเฉลี่ยของ tombolo กับระยะทางจากฝั่งต่อความยาวเขื่อน.....	137

รูป 5-38	แผนที่แสดงจุดที่ตั้งโครงการป้องกันชายหาด Lakeview Park, Ohio ประเทศสหรัฐอเมริกา.....	144
รูป 5-39	ลักษณะโครงการป้องกันชายหาด Lakeview Park.....	144
รูป 5-40	ลักษณะโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น.....	144
รูป 5-41	ลักษณะโครงสร้างคันค้ำตะกอนฝั่งขวา.....	144
รูป 5-42	การถดถอยของชายหาด.....	145
รูป 5-43	ขั้นตอนการถดถอยของชายหาด.....	145
รูป 5-44	พลังงานคลื่นที่เคลื่อนผ่านชายฝั่งโดยเฉลี่ยต่อปี.....	145
รูป 5-45	ทิศทางของพลังงานคลื่นโดยเฉลี่ยต่อปี.....	145
รูป 5-46	ลักษณะการกระจายของคลื่น นำมาใช้ทำนายรูปร่างชายหาด.....	146
รูป 5-47	การเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนทรายบริเวณริมเงาเขื่อน.....	147
รูป 5-48	การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำบริเวณช่องว่างระหว่างเขื่อนตำแหน่งขวาและกลาง.....	147
รูป 5-49	การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำบริเวณริมเงาเขื่อนตำแหน่งซ้าย.....	147
รูป 6-1	ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการก่อรูป tombolo และการเว้าของชายฝั่ง.....	154
รูป 6-2	ความสัมพันธ์ระหว่างการก่อรูป tombolo กับความชันคลื่น.....	155
รูป 6-3	ความสัมพันธ์ระหว่างการก่อรูป tombolo กับพลังงานคลื่น.....	156
รูป 6-4	ความสัมพันธ์ระหว่างการก่อรูป tombolo กับพลังงานคลื่นไรทนวนัย.....	157
รูป 6-5	ความสัมพันธ์ระหว่างการเว้าของชายฝั่งกับทิศทางคลื่น.....	163
รูป 6-6	ความสัมพันธ์ระหว่างการเว้าของชายฝั่งกับพลังงานคลื่น.....	164
รูป 6-7	ความสัมพันธ์ระหว่างการเว้าของชายฝั่งกับพลังงานคลื่นไรทนวนัย.....	165
รูป 6-8	การกระโจนของคลื่น (wave runup).....	170
รูป 6-9	ตัวอย่างกอนคอนกรีตหล่อ.....	170
รูป 6-10	รูปตัดโครงสร้างมาตรฐานของเขื่อนกันคลื่น.....	171
รูป 7-1	ลักษณะสมมุติฐานของแนวชายฝั่งพื้นที่ศึกษา.....	194
รูป 7-2	ระบบเขื่อนกันคลื่นแยกเพื่อป้องกันชายฝั่งพื้นที่ศึกษา.....	175
รูป 7-3	รูปตัดโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น.....	177
รูป 7-4	แนวชายฝั่งระหว่างเขื่อนกันคลื่น หลังจากเข้าสู่สภาพสมมุติฐาน.....	180

รูป 7-5	การถดถอยชั่วคราวของแนวชายฝั่งระหว่างเขื่อนกันคลื่น.....	180
รูป 7-6	การป้องกันและลักษณะการเว้าของชายฝั่งบริเวณ กม.ที่ 1.....	181
รูป 8-1	สภาพชลศาสตร์เนื่องจากการปรับปรุงปากแม่น้ำโลก.....	192
รูป 8-2	การถดถอยของชายฝั่งทะเลบริเวณทะเลสาบสงขลา.....	193



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

a	=	ระยะเว้าของชายฝั่งระหว่างหัวหาด (ม.)
b	=	ระยะช่องว่างระหว่างหัวหาด (ม.)
c	=	ความเร็วคลื่น (ม./วินาที)
d	=	ความลึกของน้ำ (ม.)
d_s	=	ความลึกของน้ำที่ฐานเขื่อนคานหนา (ม.)
E	=	พลังงานคลื่นต่อหน่วยความยาวคลื่น (นิวตัน-ม./ม.)
g	=	ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (ม./วินาที ²)
H	=	ความสูงคลื่น (ม.)
H_o	=	ความสูงคลื่นในทะเลลึก (ม.)
H'_o	=	ความสูงคลื่นในน้ำลึกปราศจากการหักเห (ม.)
H_s	=	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (ม.)
I_L	=	อัตราของแรงของตะกอนตามแนวชายฝั่ง (นิวตัน/วินาที)
K_D	=	สัมประสิทธิ์ความมั่นคงของหินหรือก้อนคอนกรีตตลอด
K_d	=	สัมประสิทธิ์การกระจายของคลื่น
K_Δ	=	สัมประสิทธิ์ของชั้นหิน
L	=	ความยาวคลื่น (ม.)
L_o	=	ความยาวคลื่นในน้ำลึก (ม.)
P	=	พลังงานคลื่นต่อหน่วยเวลา (นิวตัน-ม./วินาที)
P_{ls}	=	พลังงานคลื่นในแนวขนานชายฝั่งต่อหน่วยเวลาต่อความยาวชายฝั่ง (นิวตัน-ม./วินาที/ม.ชายฝั่ง)
Q_s	=	อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายในแนวขนานชายฝั่ง (ม ³ /ปี)
R	=	ระยะกระโจกของคลื่น (ม.)
S_r	=	ความดวงจำเพาะของหิน
T	=	คาบเวลาคลื่น (วินาที)
V_L	=	ความเร็วกระแสน้ำขนานชายฝั่ง (ม./วินาที)

w	=	น้ำหนักของหิน (กก.)
w_r	=	น้ำหนักจำเพาะของหิน (กก./ม ³)
w_w	=	น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (กก./ม ³)
x	=	ความยาวเชือก (ม.)
y	=	ระยะทางจากชายฝั่งถึงเชือก (ม.)
z	=	ระยะยื่นของ tombolo จากชายฝั่ง (ม.)
ρ	=	ความหนาแน่นของน้ำ (กก./ม ³)
β	=	มุมที่เส้นคลื่นทำกับแนวหัวหาด
α_b	=	มุมที่เส้นคลื่นทำกับแนวชายฝั่ง ณ ตำแหน่งคลื่นแตกตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย