

การจำลองการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่น



นายปิยะฉัตร เลิศอมรพงษ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2357-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODELING OF SAND ACCRETION BEHIND AN OFFSHORE BREAKWATER

Mr.Piyachart Lertamornpong



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

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2357-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์                      การจำลองการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่น  
โดย    นายปิยะฉัตร เลิศอมรพงษ์  
สาขาวิชา                                      วิศวกรรมแหล่งน้ำ  
อาจารย์ที่ปรึกษา                              รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รัทวิชัย

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รัทวิชัย)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คุณธนนกุลวงศ์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)

ปิยะฉัตร เลิศอมรพงษ์ : การจำลองการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่น (MODELING OF SAND ACCRETION BEHIND AN OFFSHORE BREAKWATER) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ชัยพันธุ์ รัทวิชัย, 191 หน้า. ISBN 974-17-2357-1.

การศึกษาวិทยานิพนธ์นี้ มุ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่นตามเวลา โดยศึกษาจากแบบจำลองชลศาสตร์ ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยศึกษากรณีเขื่อนกันคลื่นเดี่ยวที่มีคลื่นทิศทางตั้งฉากเข้าปะทะแนวชายฝั่ง และศึกษาอิทธิพลของขนาดคลื่น ความยาว และระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นที่มีต่อการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่น

แบบจำลองชลศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย แบบจำลองอ่างคลื่น แบบจำลองเขื่อนกันคลื่น เครื่องกำเนิดคลื่น เครื่องวัดความสูงคลื่น และเครื่องวัดความลึกท้องน้ำ โดยจำลองชายฝั่งด้วยทรายขนาดเฉลี่ย 0.25 มม. ความลาดชันชายฝั่งเท่ากับ 1:34 และสร้างคลื่นเข้าปะทะชายฝั่งโดยสร้างคลื่นที่ผันแปรความสูง และคาบเวลาของคลื่นให้มีความชันคลื่นอยู่ในช่วง 0.007 ถึง 0.036 และกำหนดการติดตั้งเขื่อนกันคลื่นยาว 1.0 1.5 และ 2.0 ม. ที่ระยะห่างฝั่ง 0.5 1.0 และ 1.5 ม.

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากกรณีทดลอง 27 กรณี ในช่วงเวลาทดลอง 13 เดือน สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงพื้นที่/ปริมาตรตะกอนทับถมหลังเขื่อนกันคลื่น ขึ้นกับพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ พารามิเตอร์พื้นที่/ปริมาตร ณ สมดุล ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นและลักษณะคลื่นน้ำลึก และพารามิเตอร์อัตราเร่งเข้าสู่สมดุล ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความชันคลื่นน้ำลึก นอกจากนี้ในส่วนของการศึกษาชายฝั่งสมดุล ได้เสนอเกณฑ์จำแนกชนิดรูปร่างชายฝั่งสมดุลหลังเขื่อนกันคลื่น โดยใช้อัตราส่วนระยะห่างฝั่งต่อความยาวเขื่อนกันคลื่น นอกจากนี้ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรรูปร่างชายฝั่งกับตัวแปรคลื่น และตัวแปรกำหนดแบบจำลอง ซึ่งตัวแปรรูปร่างชายฝั่งที่ศึกษา ได้แก่ ระยะยื่นของแหลมทราย ระยะเว้าชายฝั่ง ระยะห่างปลายแหลมทรายถึงเขื่อนกันคลื่น และความกว้างฐานของแหลมทราย แล้วนำผลการศึกษาทั้งหมด สรุปเป็นแนวทางการออกแบบเขื่อนกันคลื่นสำหรับงานป้องกันชายฝั่ง

ภาควิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา.....2545.....

## 4270424221 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD : OFFSHORE BREAKWATER / SHORELINE DEVELOPMENT / PHYSICAL MODEL

PIYACHART LERTAMORNONG: MODELING OF SAND ACCRETION  
BEHIND AN OFFSHORE BREAKWATER. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF.  
CHAIPANT RUKVICHAI, Ph.D. 191 pp. ISBN 974-17-2357-1.

This thesis aimed at studying the development of sand accretion behind an offshore breakwater using a physical model experiment. The set of shorelines under normal wave attack has been studied in the wave basin of the Hydraulic and Coastal Model Laboratory of the Department of Water Resources Engineering, Chulalongkorn University. The wave variables and model variables, e.g. length and offshore distance of breakwater were investigated to the effect to the sand accretion development.

The hydraulic model used in this study consisted of a wave basin, breakwater models, a wave generator, wave height meters and sandy surface meters. The beach, average sand size 0.25 mm., was attacked by waves with wave steepness ranging between 0.007 to 0.036. For each experiment, the length of breakwater was varied as 1.0, 1.5 and 2.0 m. Offshore distance of breakwater was varied as 0.5, 1.0 and 1.5 m.

About 27 study cases were intensively experimented during 13 months, and the obtained shoreline development was analyzed. It was summarized that there were two parameters involved in the sand accretion development. The first parameter was the area/volume of sand accretion at the equilibrium state which depended on deepwater wave climate and offshore distance of breakwater. Another parameter was the acceleration to equilibrium state depended on deepwater wave steepness. In the equilibrium shoreline study, the shape criteria for predicting types of equilibrium shoreline was found by using the ratio of offshore distance to length of breakwater. In addition, there were some relationships proposed using wave climate variables and model variables to predict some equilibrium shoreline characteristics such as salient amplitude, maximum recession, distance between a tip of salient and a breakwater, and salient width. Finally, a guide for breakwater design was proposed based on the result of this study.

Department Water Resources Engineering Student's signature.....

Field of study Water Resources Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2002.....

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากบุคคลหลายท่านที่ได้ให้คำปรึกษา เสนอแนะ ให้การช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักริฉัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ สั่งสอน ทั้งในด้านวิชาการ การทำงาน และปรัชญาการใช้ชีวิต อันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้า ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสวี จันทโรยธำ รองศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คุณธนกุลวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล ประธานกรรมการ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาของท่านในการให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา และอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษา

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ และสาธารณูปโภคต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนบางส่วนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณพี่บุศวรรณ โภธิทอง ที่ถ่ายทอดความรู้ และประสบการณ์ในงานทดลองทางวิศวกรรมชายฝั่ง อีกทั้งให้แนวคิดที่ตีงามในการดำเนินชีวิตแก่ข้าพเจ้า และขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ ชมรมวิศวกรรมแหล่งน้ำรวมถึงเจ้าหน้าที่ของห้องปฏิบัติการฯ ที่คอยให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการเตรียมรูปเล่มวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาของข้าพเจ้า ผู้ให้ความรัก ความอบอุ่น และยอมเหนื่อยยากเพื่อให้การสนับสนุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้าตลอดมา รวมทั้งครอบครัวของข้าพเจ้า และคุณป้าหมี่คีติกา กิฎามร ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเป็นแรงใจแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ความดีงามของวิทยานิพนธ์ที่พึงมี ข้าพเจ้าขออุทิศแด่บิดา มารดา ผู้เป็นที่ยึดเหนี่ยว และเป็นแรงบันดาลใจของข้าพเจ้า

ปิยะฉัตร เลิศอมรพงษ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำและความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบข่ายการศึกษา.....	2
1.4 การดำเนินงานศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและการศึกษาที่ผ่านมา.....	5
2.1 กลศาสตร์ของคลื่น.....	5
2.2 การเปลี่ยนแปลงของคลื่น.....	6
2.3 กระบวนการชายฝั่ง.....	14
2.4 การศึกษาที่ผ่านมา.....	15
บทที่ 3 แบบจำลองชลศาสตร์และการทดลอง.....	24
3.1 แบบจำลองชลศาสตร์.....	24
3.2 การวัดข้อมูลการทดลอง.....	26
3.3 วิธีการทดลอง.....	31
3.4 ข้อมูลจากการทดลอง.....	34
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น.....	39
บทที่ 4 การทับถมตะกอนในแบบจำลองชลศาสตร์.....	42
4.1 กระบวนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลอง.....	42
4.2 รูปร่างชายฝั่งสมดุล.....	44

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3. การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งและพื้นที่ทับถม.....	47
4.4. อัตราการทับถมของปริมาตรตะกอน.....	56
4.5. การทดลองใช้แบบจำลอง GENESIS.....	67
4.6. เกณฑ์พิจารณาที่ได้จากการศึกษาและทดลอง.....	67
<b>บทที่ 6 สรุปและเสนอแนะ.....</b>	<b>71</b>
6.1 แบบจำลองชลศาสตร์.....	71
6.2 การทดลองในแบบจำลองชลศาสตร์.....	72
6.3 ชายฝั่งสมดุล.....	72
6.4 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่และปริมาตรตะกอนทับถม.....	74
6.5 ข้อเสนอแนะ.....	76
รายการอ้างอิง.....	78
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก การศึกษาการใช้เขื่อนกันคลื่นในงานป้องกันชายฝั่ง.....	81
ภาคผนวก ข การเตรียมการทดลอง.....	86
ภาคผนวก ค ผลการทดลองกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 เมตร.....	92
ภาคผนวก ง ผลการทดลองกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.5 เมตร.....	114
ภาคผนวก จ ผลการทดลองกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 เมตร.....	136
ภาคผนวก ฉ ความสัมพันธ์ตัวแปรการทับถมตะกอนตามเวลา.....	158
ภาคผนวก ช ผลการจำลองชายฝั่งโดย GENESIS.....	163
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	193



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1-1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา.....	4
ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติคลื่น ณ ความลึกน้ำต่าง ๆ.....	6
ตารางที่ 2-2 สรุปการศึกษาเกณฑ์กำหนดรูปร่างชายฝั่งสมดุล.....	23
ตารางที่ 3-1 รายละเอียดของกรณีทดลอง.....	33
ตารางที่ 3-2 รายละเอียดของตารางสรุปข้อมูลการทดลอง.....	35
ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างตารางสรุปข้อมูลการทดลอง กรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 เมตร.....	36
ตารางที่ 3-4 พารามิเตอร์คลื่นที่ใช้ในงานวิศวกรรมชายฝั่ง.....	41
ตารางที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ $m$ และ $n$ โดยวิธี Iteration algorithm และวิธีกำหนดพื้นที่ ทับถม ณ สมดุล.....	52
ตารางที่ 4-2 ค่าพารามิเตอร์ $m$ และ $n$ โดยวิธี Iteration algorithm และวิธีกำหนดปริมาตร ทับถม ณ สมดุล.....	60
ตารางที่ 5-1 การประเมินค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการศึกษา.....	73

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1	นิยามพารามิเตอร์คลื่น.....7
รูปที่ 2-2	การเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าสู่หน้าตั้ง.....7
รูปที่ 2-3	การหักเหของคลื่น.....11
รูปที่ 2-4	การหักเหของคลื่นตามกฎของสเนลล์ (Snell's law).....11
รูปที่ 2-5	การกระจายของคลื่น.....11
รูปที่ 2-6	แผนภาพสัมพันธ์การกระจายของคลื่น.....13
รูปที่ 2-7	แผนภาพดัชนีความสูงคลื่นแตกตัว.....13
รูปที่ 2-8	ลักษณะกระแสน้ำชายฝั่ง.....17
รูปที่ 2-9	ภาพตัดขวางชายฝั่งในช่วงฤดูมรสุม และช่วงฤดูลมสงบ.....17
รูปที่ 2-10	รูปแบบกระแสน้ำชายฝั่งหลังเชื่อมกันคลื่น.....17
รูปที่ 2-11	การกระทำของคลื่นทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของตะกอนแบบซิกแซก.....19
รูปที่ 2-12	ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่งสมดุล.....19
รูปที่ 2-13	การประมาณแนวชายฝั่งสมดุลจากความสัมพันธ์ของ $\frac{R_\theta}{R_0}$ และ $\theta$ .....21
รูปที่ 3-1	แบบจำลองแอ่งคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองเชื่อมกันคลื่น.....25
รูปที่ 3-2	แบบจำลองเชื่อมกันคลื่น.....27
รูปที่ 3-3	เครื่องวัดความสูงคลื่น (Wave height meter).....27
รูปที่ 3-4	เครื่องวัดระดับท้องน้ำ (Sandy surface meter).....27
รูปที่ 3-5	ตำแหน่งวัดข้อมูลคลื่นและการแบ่งกริดเพื่อวัดระดับความลึกท้องน้ำ.....29
รูปที่ 3-6	การวัดระดับความลึกท้องน้ำ ณ แต่ละจุดกริด และการสร้างเส้นชั้นระดับความลึกท้องน้ำ.....30
รูปที่ 3-7	แผนภาพขั้นตอนการทดลอง.....32
รูปที่ 3-8	ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการบันทึก ชุดการทดลอง B10D05a b และ c.....37
รูปที่ 3-9	ตัวอย่างพลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ ชุดการทดลอง B10D05a b และ c.....37
รูปที่ 3-10	ตัวอย่างแนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัว กรณี B10D05a.....38
รูปที่ 3-11	นิยามพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง.....38
รูปที่ 3-12	ตัวอย่างข้อมูลเส้นชั้นความสูงท้องน้ำ กรณี B15D10a.....40
รูปที่ 4-1	กระบวนการพัฒนารูปร่างชายฝั่ง.....43

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-2 ชนิดของรูปร่างชายฝั่งสมดุหลังเชื่อมกันคลื่น.....	45
รูปที่ 4-3 เกณฑ์ระบุชนิดของรูปร่างแหลมทรายหลังเชื่อมกันคลื่น.....	48
รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระยะยื่นของแหลมทรายต่อระยะห่างฝั่งของเชื่อมกันคลื่น กับระยะห่างฝั่งต่อความยาวคลื่นน้ำลึกสำหรับแต่ละกลุ่มขนาดคลื่นน้ำลึก.....	48
รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระยะจากจุดเว้าต่ำสุดถึงเชื่อมกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึก กับขนาดคลื่นน้ำลึก.....	49
รูปที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระยะจากปลายแหลมถึงเชื่อมกันคลื่นต่อระยะห่างฝั่งของ เชื่อมกันคลื่น กับระยะห่างฝั่งต่อความยาวเชื่อมกันคลื่น.....	49
รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ความกว้างฐานแหลมทรายต่อความยาวเชื่อมกันคลื่น กับความยาวเชื่อมกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึกสำหรับแต่ละกลุ่มคลื่นน้ำลึก.....	49
รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์เวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งต่อคาบคลื่นกับพื้นที่ทับถมต่อพื้นที่ อัปเดต (เส้นแนวโน้มโดยวิธี Iteration algorithm).....	53
รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์เวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งต่อคาบคลื่นกับพื้นที่ทับถมต่อพื้นที่ อัปเดต (เส้นแนวโน้มจากวิธีกำหนดพื้นที่ทับถม ณ สมดุล).....	54
รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระยะห่างฝั่งของเชื่อมกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึก กับพารามิเตอร์ $m$ สำหรับคลื่นน้ำลึกกลุ่มต่าง ๆ.....	56
รูปที่ 4-11 ความสัมพันธ์ขนาดคลื่นน้ำลึกกับพารามิเตอร์ $m$ .....	56
รูปที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระยะห่างฝั่งของเชื่อมกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึก จากการวิเคราะห์ MR เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการทดลอง.....	56
รูปที่ 4-13 ความสัมพันธ์ขนาดคลื่นน้ำลึกกับพารามิเตอร์ $n$ .....	58
รูปที่ 4-14 ความสัมพันธ์ $A/BX$ จากการทดลองกับ $A/BX$ ที่ได้จากสมการ 4-1.....	58
รูปที่ 4-15 ความสัมพันธ์เวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งต่อคาบคลื่นกับปริมาตรตะกอน ทับถมต่อปริมาตรในพื้นที่อัปเดต (เส้นแนวโน้มโดยวิธี Iteration algorithm).....	61
รูปที่ 4-16 ความสัมพันธ์เวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งต่อคาบคลื่นกับปริมาตรตะกอน ทับถมต่อปริมาตรในพื้นที่อัปเดต (เส้นแนวโน้มจากวิธีกำหนดพื้นที่ทับถม ณ สมดุล).....	62
รูปที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระยะห่างฝั่งของเชื่อมกันคลื่นต่อความสูงคลื่นน้ำลึก กับพารามิเตอร์ $M$ .....	64

## สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-18 ความสัมพันธ์ขนาดคลื่นน้ำลึกกับพารามิเตอร์ M.....	64
รูปที่ 4-19 ความสัมพันธ์เชิงเส้นของขนาดคลื่นน้ำลึกกับ $\ln(M)$ .....	64
รูปที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นต่อความสูงคลื่นน้ำลึกกับ พารามิเตอร์ M จากการวิเคราะห์ MR เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการทดลอง.....	65
รูปที่ 4-21 ความสัมพันธ์ขนาดคลื่นน้ำลึกกับพารามิเตอร์ N.....	65
รูปที่ 4-22 ความสัมพันธ์ $V/BXd_{BW}$ จากการทดลองกับ $V/BX_{BW}$ ที่ได้จากสมการ 4-7.....	66



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำและความเป็นมา

ในสภาพเศรษฐกิจและสังคมปัจจุบัน มีความต้องการพื้นที่ชายฝั่งทะเลมากขึ้นเพื่อเป็นที่อยู่อาศัย แหล่งท่องเที่ยว โรงงานอุตสาหกรรม ท่าเรือเพื่อการขนส่งสินค้าและประมง ฯลฯ ทำให้บริเวณดังกล่าวมีคุณค่าทางเศรษฐกิจมหาศาล แต่พื้นที่ชายฝั่งทะเลนี้หลายแห่งประสบปัญหาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยเฉพาะการกัดเซาะชายฝั่งซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจมาก

สำหรับงานพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ อาจต้องใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่งเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เชือกกันคลื่นเป็นโครงสร้างประเภทหนึ่งที่ใช้ป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง โดยทำหน้าที่กันคลื่นบางส่วนที่เข้าปะทะชายฝั่ง และช่วยลดความรุนแรงของกระแสน้ำตามแนวชายฝั่งให้อ่อนกำลังลง เป็นผลให้การกัดเซาะลดลงหรืออาจเกิดการทับถมได้ แต่ข้อด้อยของเชือกกันคลื่น คือค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่สูงมาก และความยากในการทำนายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังเชือกกันคลื่น เนื่องจากมีปัจจัยมากมายที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งดังกล่าว ซึ่งได้แก่ ระยะห่าง ความยาวและคุณสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านของเชือกกันคลื่น ขนาดคลื่น ทิศทางคลื่น ความลาดชายฝั่ง และลักษณะการวางเชือกกันคลื่น (Hanson และ Kraus 1991) จากข้อด้อยของการป้องกันชายฝั่งโดยเชือกกันคลื่นดังกล่าว ทำให้วิศวกรชายฝั่งต้องออกแบบเชือกกันคลื่นอย่างรอบคอบ โดยอยู่บนพื้นฐานการศึกษาหรือเกณฑ์การออกแบบที่มีอยู่

แม้ว่าในปัจจุบันมีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการประมาณรูปร่างชายฝั่งสมดุลง่ายๆ (Rosen และ Vajda 1982 , US.CERC. 1984 , Harris และ Herbich 1986 , Suh และ Dalrymple 1987 , Hsu และ Silvester 1990 , Herbich 1999 , Ming และ Chiew 2000) แต่รูปร่างชายฝั่งสมดุลง่ายๆตามธรรมชาติเป็นรูปร่างที่ต้องใช้เวลาอันนานมากจึงเกิดขึ้น ดังนั้นควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างชายฝั่ง หรือตัวแปรอื่นที่ใช้ประมาณรูปร่างชายฝั่งที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาหลังการสร้างเชือกกันคลื่น จนกระทั่งชายฝั่งเข้าสู่สมดุล เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้ออกแบบและวางแผนพัฒนาพื้นที่ชายฝั่ง รวมถึงการป้องกันชายฝั่งได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

การศึกษาวិทยานิพนธ์นี้ มุ่งเน้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนทับถมหลังเชือกกันคลื่นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาหลังจากสร้างเชือกกันคลื่น รวมทั้งศึกษาอิทธิพลของตัวแปรคลื่น

ความยาวและระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนดังกล่าวโดยใช้แบบจำลองชลศาสตร์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) ศึกษาอัตราการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่นที่เวลาต่าง ๆ ในช่วงตั้งแต่มีเขื่อนกันคลื่นจนกระทั่งชายฝั่งเข้าสู่สมดุล
- 2) ศึกษาอิทธิพลของขนาดความชันคลื่น ระยะห่างฝั่งและความยาวเขื่อนกันคลื่น ที่มีต่ออัตราการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่น
- 3) ศึกษากลไกการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่น และหาความสัมพันธ์ต่าง ๆ เพื่อนำไปทดลองประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้จำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตลอดจนแนวชายฝั่งสมดุลอันเป็นผลมาจากเขื่อนกันคลื่น

## 1.3 ขอบข่ายการศึกษา

การศึกษานี้ใช้แบบจำลองชลศาสตร์เพื่อศึกษาการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่น โดยทำการจำลองในแอ่งคลื่นขนาด 10ม. X 20ม. X 0.7ม. ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยรายละเอียดของแบบจำลอง มีดังนี้

- 1) ชายฝั่งในแบบจำลองเป็นทรายละเอียดขนาดประมาณ 0.25 มม. ความลาดชายฝั่งประมาณ 1:34 และน้ำในแอ่งคลื่นลึก 0.35 เมตร
- 2) โครงสร้างป้องกันชายฝั่งที่ศึกษา คือ เขื่อนกันคลื่นเดี่ยว ชนิดที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ และวางตัวขนานกับแนวชายฝั่ง
- 3) คลื่นที่ใช้ในการทดลองสร้างโดยเครื่องกำเนิดคลื่น มีขนาดความชันอยู่ในช่วง 0.007-0.036 โดยมีทิศทางตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง
- 4) ตัวแปรที่สนใจคือ ขนาดคลื่น ความยาว และระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น

## 1.4 การดำเนินงานศึกษา

การศึกษานี้มีขั้นตอนการดำเนินงานศึกษา ดังนี้

- 1) ศึกษารวบรวมเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการทบทวนทฤษฎีทางวิศวกรรมชายฝั่ง เพื่อใช้วางแผนการทดลอง
- 2) ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ และปรับปรุงวิธีการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ให้มีความสะดวกและแม่นยำ
- 3) ทดสอบและเปรียบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่น และเครื่องวัดระดับความลึกท้องน้ำ
- 4) ออกแบบการทดลองและสร้างแบบจำลอง
- 5) ทำการทดลองในแบบจำลองกรณีต่าง ๆ
- 6) ปรับปรุงการทดลอง การเก็บข้อมูล และเครื่องมือที่ใช้ให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น
- 7) ศึกษาหลักการ สมมติฐาน ข้อจำกัด และวิธีการใช้แบบจำลอง GENESIS
- 8) ทดลองใช้แบบจำลอง GENESIS เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลองชลศาสตร์
- 9) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง จากแบบจำลองชลศาสตร์
- 10) จัดทำวิทยานิพนธ์

ระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงานศึกษาแสดงดังตารางที่ 1-1

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) มีความเข้าใจในกระบวนการ และแนวโน้มของการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่นตามเวลา
- 2) ทราบอิทธิพลของลักษณะคลื่น ระยะห่างฝั่งและความยาวเขื่อนกันคลื่น ที่มีต่อการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่น
- 3) ได้แนวทางในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์
- 4) เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองกายภาพ และแบบจำลองคณิตศาสตร์

ตารางที่ 1-1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

การดำเนินการศึกษา	พ.ศ. 2544												พ.ศ. 2545												พ.ศ. 2546			
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4				
1) ศึกษารวบรวมเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง	█	█	█	█																█	█	█	█					
2) ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ และปรับปรุงวิธีการเก็บข้อมูลต่าง ๆ				█	█																							
3) ทดสอบและปรับเทียบเครื่องมือ				█																								
4) ออกแบบการทดลองและสร้างแบบจำลอง				█																								
5) ทำการทดลองในแบบจำลองกรณีต่าง ๆ					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█								
6) ปรับปรุงการทดลอง การเก็บข้อมูล และเครื่องมือที่ใช้								█																				
7) ศึกษาการใช้แบบจำลอง GENESIS																		█	█	█								
8) ทดลองใช้แบบจำลอง GENESIS																					█							
9) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง																						█	█					
10) จัดทำวิทยานิพนธ์																							█					



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและการศึกษาที่ผ่านมา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทบทวนทฤษฎีและการศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวกับกลศาสตร์ของคลื่น ซึ่งอธิบายปรากฏการณ์อันเนื่องมาจากคลื่น และกระบวนการชายฝั่งทะเล ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและการป้องกันชายฝั่ง รวมทั้งรวบรวมผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้เชื่อมกันคลื่นในงานป้องกันชายฝั่ง อันเป็นแนวทางในการศึกษาครั้งนี้

#### 2.1 กลศาสตร์ของคลื่น

ปัจจัยประการหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง คือลักษณะคลื่นที่เข้ากระทำกับชายฝั่ง ซึ่งคลื่นที่เข้ากระทำกับชายฝั่งเกิดจากหลายแหล่งกำเนิด ได้แก่ คลื่นที่เกิดจากลม คลื่นจากน้ำขึ้นน้ำลง คลื่นจากแผ่นดินไหวและการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ฯลฯ โดยคลื่นที่กล่าวมานี้มีนิยามของพารามิเตอร์คลื่น ดังรูปที่ 2-1

คลื่นในทะเลและมหาสมุทรส่วนใหญ่เกิดจากลมที่พัดผ่านผิวน้ำ เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวออกจากพื้นที่กำเนิด แต่ยังคงอยู่ในบริเวณน้ำลึก (deep water) ซึ่งจำแนกโดยใช้ความลึกสัมพัทธ์ (relative depth,  $d/L$ ) มีค่ามากกว่า 0.5 ลักษณะต่าง ๆ ของคลื่นเช่น ความเร็วคลื่น (wave celerity,  $C$ ) ความยาวคลื่น (wave length,  $L$ ) และความสูงคลื่น (wave height,  $H$ ) ลักษณะเหล่านี้ถือว่ามีความคงที่ โดยเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวทำให้อนุภาคน้ำที่ได้รับอิทธิพลของคลื่น มีลักษณะวงโคจรเป็นรูปวงกลมซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางของวงที่ผิวน้ำอิสระเท่ากับความสูงคลื่น และเส้นผ่าศูนย์กลางของวงโคจรจะลดลงตามกำลังฐาน  $e$  (exponentially) จนกระทั่งถึงความลึกประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น หลังจากความลึกดังกล่าวถือว่าไม่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอนสุทธิเป็นศูนย์ อนุภาคของน้ำในคลื่นจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมารอบจุดตำแหน่งเฉลี่ยเท่านั้น

เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณน้ำลึกปานกลาง (transition depth,  $0.04 < d/L < 0.50$ ) ลักษณะต่างๆ ของคลื่นจะเปลี่ยนไป ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของน้ำตื้น (shoaling effect) คลื่นที่อยู่ในบริเวณนี้มีความยาวคลื่นสั้นลง ความสูงคลื่นสูงขึ้น ความเร็วคลื่นลดลง แต่อย่างไรก็ตาม คาบเวลา (wave period,  $T$ ) ไม่เปลี่ยนแปลง ทางเดินของอนุภาคน้ำจะถูกอิทธิพลของน้ำตื้น ทำให้วงโคจรมีลักษณะเป็นวงรีรอบๆ ตำแหน่งเฉลี่ย โดยที่มีแกนหลักอยู่ในแนวราบขนานกับท้องน้ำ และแกนรองอยู่ในแนวตั้ง ขนาดของวงโคจรของอนุภาคน้ำลดลงตามความลึกจนกระทั่งเป็นเส้นตรงที่

บริเวณท้องน้ำ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนบริเวณท้องน้ำ ลักษณะวงโคจรรูปวงรีนี้ จะเริ่มราบขึ้นเรื่อยๆ และความเร็วที่ท้องน้ำจะสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณน้ำตื้นมาก (shallow water,  $d/L < 0.04$ ) รูปที่ 2-2 แสดงทางเดินของการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำภายใต้คลื่น ณ บริเวณน้ำลึก น้ำลึกปานกลาง และน้ำตื้นตามลำดับ

จากการเคลื่อนตัวของคลื่นผ่านความลึกน้ำที่ต่างกันนี้ ได้มีทฤษฎีคลื่นมากมายที่ใช้อธิบายลักษณะคลื่นที่ความลึกต่างๆ โดยทฤษฎีเหล่านี้มีความถูกต้องในการอธิบายลักษณะคลื่นที่ความลึกต่างกัน ซึ่งทฤษฎีที่ง่ายและเป็นที่ยอมรับใช้กันมากคือ ทฤษฎีคลื่นความสูงน้อย (small amplitude wave theory) ที่คิดค้นโดย Airy ในปี 1845 (US. CERC, 1984) เป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายลักษณะคลื่นที่เคลื่อนที่ในน้ำลึกได้ดี และมีข้อจำกัดมากขึ้นเมื่อคลื่นเข้ามาสู่บริเวณน้ำตื้น โดยคุณสมบัติต่างๆ ของคลื่นที่เคลื่อนที่ในน้ำ ณ ความลึกต่างๆ ที่อธิบายโดยทฤษฎีคลื่นความสูงน้อยแสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติคลื่น ณ ความลึกน้ำต่างๆ

คุณสมบัติคลื่น	คลื่นในน้ำตื้น	คลื่นในน้ำลึกปานกลาง	คลื่นในน้ำลึก
ความเร็วคลื่น	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
ความยาวคลื่น	$L = T\sqrt{gd} = CT$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$L = \frac{gT^2}{2\pi}$
ความเร็วกลุ่มคลื่น	$C_g = C = \sqrt{gd}$	$C_g = nC = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right] C$	$C_g = \frac{1}{2} C = \frac{gT}{4\pi}$

## 2.2 การเปลี่ยนแปลงของคลื่น

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเข้าสู่ชายฝั่ง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าปะทะสิ่งกีดขวาง หรือคลื่นที่จากบริเวณน้ำลึกสู่บริเวณน้ำตื้น จากการเสียดทานกับท้องทะเล ทำให้ความยาวคลื่นลดลงในขณะที่ความสูงคลื่นจะเพิ่มขึ้น จึงเกิดการแตกตัวขึ้นแล้วเกิดคลื่นลูกใหม่เคลื่อนที่ตามกันไปสิ้นสุดที่ชายฝั่ง

### 2.2.1 การเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าสู่ น้ำตื้น

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิด คลื่นจะเริ่มมีลักษณะเป็นระเปียบและสม่ำเสมอมากขึ้นตามระยะทาง ล้นคลื่นและท้องคลื่นจะเริ่มปรากฏอย่างชัดเจน แต่เมื่อคลื่นที่เข้ามาอยู่ใน

บริเวณน้ำตื้นขึ้น การจัดเรียงตัวของอนุภาคน้ำจะเปลี่ยนไปเนื่องจากผลของความลึกน้ำ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะเริ่มเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน (wave shoaling)

โดยความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำกับความสูงคลื่น อยู่ในรูปของพลังงานคลื่น (E) ที่ผ่านหน้าตัดแนวตั้งขนานกับสันคลื่น (wave crest) และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น ตลอดความลึก ปริมาณการไหลของพลังงาน (energy flux) ต่อความกว้างของสันคลื่นหนึ่งหน่วย เรียกว่ากำลังงานคลื่น (wave power) ดังสมการ 2-1

$$P = E \cdot C_g = EnC \quad (2-1)$$

เมื่อ  $C_g$  คือ ความเร็วกลุ่มคลื่น

$C$  คือ ความเร็วคลื่น

$n$  คือ อัตราส่วนความเร็วกลุ่มคลื่นต่อความเร็วคลื่น  $= \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right)$

$k$  คือ จำนวนคลื่นต่อหนึ่งหน่วยระยะทาง  $= \frac{2\pi}{L}$

$E$  คือ พลังงานคลื่น  $= \frac{1}{8} \rho g H^2$

เมื่อพิจารณาหน้าคลื่น (wave front) ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง โดยมีสมมติฐานว่ากำลังงานคลื่นที่เคลื่อนเข้ามาสู่ชายฝั่งนั้นจะไม่มี การสูญเสียอันเนื่องมาจากความเสียดทานหรือความปั่นป่วนของท้องทะเล

$$P_0 = P_1 \quad (2-2)$$

และเมื่อแทนค่าใน (2 - 2) จะได้

$$\frac{P_0}{P_1} = \frac{\frac{1}{8} \rho g H_0^2 C_{g0}}{\frac{1}{8} \rho g H_1^2 C_{g1}} = 1$$

หรือ  $\frac{H_0}{H_1} = \sqrt{\frac{C_{g1}}{C_{g0}}} = K_s \quad (2-3)$

เมื่อ  $K_s$  คือ สัมประสิทธิ์ความตื้นลึกท้องน้ำ (shoaling coefficient) ซึ่งหาได้จากสมการ

ความเร็วกลุ่มคลื่น (wave group celerity)

ดังนั้น จากสมการ (2-3) จะได้

$$K_s = \sqrt{\frac{C_{g0}}{C_g}} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)}\right]}} \quad (2-4)$$

เมื่อ H คือ ความสูงคลื่นในน้ำตื้น

$H_0$  คือ ความสูงคลื่นในน้ำลึก

d คือ ความลึกของน้ำ

L คือ ความยาวคลื่น

### 2.2.2 การหักเหของคลื่น

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งโดยมีทิศทางทำมุมกับเส้นระดับท้องน้ำ ความเร็วคลื่นที่เคลื่อนตัวจะขึ้นอยู่กับความลึกท้องน้ำ ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยคลื่นที่เคลื่อนผ่านตำแหน่งที่ลึกกว่าจะเคลื่อนด้วยความเร็วที่มากกว่าคลื่นที่เคลื่อนผ่านตำแหน่งที่ตื้นกว่า ทำให้สันคลื่นเกิดการบิดแนว ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การหักเหของคลื่น (wave refraction) ดังรูปที่ 2-3

ปรากฏการณ์การหักเหของคลื่นนี้สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของสเนลล์ (Snell's law) ดังแสดงในรูปที่ 2-4 และสมการ

$$\frac{\sin \alpha_1}{L_1} = \frac{\sin \alpha_2}{L_2}$$

หรือ

$$\frac{B_0}{\cos \alpha_0} = \frac{B_1}{\cos \alpha_1} \quad (2-5)$$

จากกำลังงานคลื่นระหว่างแนวคลื่น (wave orthogonal) มีค่าคงที่ ดังนั้น

$$P_0 = P_1$$

$$\frac{P_0}{P_1} = 1 = \frac{E_0 B_0}{E_1 B_1} \cdot \frac{C_{g0}}{C_{g1}} \quad (2-6)$$

แทนค่า E และ B ในสมการ (2-6) จะได้

$$\left[ \frac{H_0}{H_1} \right]^2 \cdot \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1} \cdot \frac{C_{g0}}{C_{g1}} = 1$$

หรือ

$$\frac{H_0}{H_1} = \left[ \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_0} \right]^{1/2} \left[ \frac{C_{g0}}{C_{g1}} \right]^{1/2} = K_s \cdot K_r \quad (2-7)$$

ดังนั้น

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_0}} \quad (2-9)$$

โดยที่  $K_r$  คือ สัมประสิทธิ์การหักเหของคลื่น

### 2.2.3 การกระจายของคลื่น

การกระจายของคลื่น (wave diffraction) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนเข้าปะทะสิ่งกีดขวาง เช่น เขื่อนกันคลื่น หรือ เกาะเล็กๆ เป็นต้น โดยคลื่นจะเกิดการกระจายเป็นรัศมีเข้าไปในบริเวณอับคลื่น (sheltered area) โดยมีจุดศูนย์กลางการกระจายอยู่ที่ปลายของสิ่งกีดขวางที่คลื่นนั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ ทำให้เกิดการส่งผ่านพลังงานคลื่นไปตามความยาวของแนวสันคลื่น เข้าสู่บริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น ดังรูปที่ 2-5

การคำนวณหาความสูงคลื่นในบริเวณอับคลื่นนั้น อาศัยค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของคลื่น (diffraction coefficient,  $K_d$ ) ซึ่งสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความสูงของคลื่นที่กระจายต่อความสูงคลื่นกระทบ (incident wave)

Wiegel รวบรวมผลการคำนวณสัมประสิทธิ์การกระจายของคลื่นของ Penny และ Price (1952) กรณีมีเขื่อนกันคลื่นยาวตลอดฝั่งข้างหนึ่ง (semi-infinite breakwater) แล้วนำไปสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย ( $K_d$ ) กับระยะห่างสัมพัทธ์จากจุดกระจาย ( $r/L$ ) สำหรับกรณีคลื่นที่เข้ากระทำทำมุมต่างๆ กับเขื่อนกันคลื่น เสนอใน US.CERC. (1984) ตัวอย่างแผนภาพแสดงดังรูปที่ 2-6

### 2.2.4 การแตกตัวของคลื่น

การแตกตัวของคลื่น (wave breaking) เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากน้ำลึกเข้าสู่ที่ตื้นกว่า ความยาวคลื่นจะลดลงและความสูงคลื่นจะเพิ่มขึ้น จนถึงความลึกน้ำค่าหนึ่งซึ่งไม่เพียงพอที่คลื่นจะถ่ายพลังงานต่อไปได้ จึงเกิดการแตกตัวของคลื่นทำให้สูญเสียพลังงานบางส่วนไป และ

คลื่นจะเริ่มจัดรูปขึ้นใหม่เป็นชุดคลื่นที่มีพลังงานน้อยกว่า แล้วเคลื่อนตัวต่อไปเข้าหาฝั่ง จนกระทั่งถึงบริเวณที่ความลึกไม่เพียงพอ คลื่นก็จะเริ่มแตกตัวอีก เป็นเช่นนี้เรื่อยไป

การแตกตัวของคลื่นเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ การแตกตัวของคลื่นในน้ำลึก และการแตกตัวของคลื่นในน้ำตื้น

การแตกตัวของคลื่นในน้ำลึก เกิดขึ้นเมื่อความชันของคลื่นที่เคลื่อนที่ในน้ำลึกมีค่าถึงค่าความชันคลื่นสูงสุด (limiting steepness) ค่าหนึ่ง ที่คลื่นยังสามารถรักษารูปร่างได้คลื่นจึงเริ่มแตกตัว Michell (1893) เสนอค่าความชันคลื่นสูงสุดใน US.CERC (1984) ดังนี้

$$\left( \frac{H_0}{L_0} \right)_{\max} = 0.142 \approx \frac{1}{7} \quad (2-10)$$

การแตกตัวของคลื่นในน้ำตื้น ค่าความชันคลื่นสูงสุดจะลดลง โดยขึ้นอยู่กับค่าความลึกน้ำสัมพัทธ์ (relative depth , d/L) และความลาดชันของชายฝั่ง (beach slope, m) ในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นจะเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งจนกระทั่งเมื่อถึงระดับความลึกหนึ่งที่ตั้งเพียงพอคลื่นก็จะเริ่มแตกตัว ความลึก ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกตัวนี้เรียกว่า ความลึกคลื่นแตกตัว (breaking depth , d<sub>b</sub>)

Munk (1949) เสนอการประมาณค่าความสูงคลื่นแตกตัว และความลึกการแตกตัวของคลื่นในน้ำตื้น ดังสมการ

$$\frac{H_b}{H'_0} = \frac{1}{3.3(H'_0/L_0)^{1/3}} \quad (2-11)$$

และ

$$\frac{d_b}{H_b} = 1.28 \quad (2-12)$$

Weggel (1972) เสนอการประมาณค่าความลึกการแตกตัวของคลื่น และความสูงคลื่นแตกตัวในน้ำตื้นโดยคำนึงถึงความลาดชันชายฝั่ง (m) ดังรูป 2-7 และสมการ

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b/gT^2)} \quad (2-13)$$

เมื่อ  $a = 43.75(1 - e^{-19m})$

$$b = \frac{1.56}{(1 + e^{-19.5m})}$$

## 2.3 กระบวนการชายฝั่ง

โดยธรรมชาติชายฝั่งทะเลและบริเวณใกล้ชายฝั่ง (littoral zone) มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากอิทธิพลของคลื่นและกระแสน้ำก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนทราย ส่งผลให้มีการกัดเซาะและทับถมของตะกอนทรายซึ่งมักไม่เท่ากันในแต่ละฤดูกาลและแต่ละปี บริเวณใดที่มีอัตราการทับถมมากกว่าการกัดเซาะ ก็จะมีการยื่นนออกของแผ่นดิน ในทางตรงข้าม ถ้าอัตราการกัดเซาะสูงกว่าการทับถม บริเวณนั้นจะเกิดการหดหายหรือถดถอยของแผ่นดิน และถ้าอัตราการกัดเซาะเท่ากับการทับถม บริเวณนั้นจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

คลื่นที่กระทำต่อชายฝั่งจะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนทราย กล่าวคือ คลื่นที่เคลื่อนตัวทำมุมกับแนวชายฝั่งจะก่อให้เกิดกระแสน้ำขึ้น 2 ชนิดคือ กระแสน้ำในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง (rip current) และกระแสน้ำชายฝั่ง (longshore current) ดังแสดงในรูปที่ 2-8 ซึ่งกระแสน้ำทั้งสองนี้เป็นตัวพัดพาให้ตะกอนเคลื่อนที่ในแนวต่าง ๆ

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้น และการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว การเปลี่ยนแปลงในระยะสั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในรอบปีซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของคลื่นในแต่ละช่วงเวลา สำหรับการเปลี่ยนแปลงระยะยาวนั้นขึ้นอยู่กับความไม่สมดุลของอัตราการพัดพาตะกอนเข้า-ออกจากพื้นที่ในแต่ละปี ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์การหดหายและการยื่นนออกของแผ่นดินในระยะยาว

สำหรับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระยะสั้น มักเกิดการกัดเซาะชายฝั่งในช่วงมรสุมเนื่องจากคลื่นมีขนาดใหญ่ ความชันคลื่น (wave steepness) สูงเคลื่อนเข้าปะทะชายฝั่ง ทำให้เกิดการปั่นป่วนของมวลน้ำในบริเวณชายฝั่งมาก ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนไหวของตะกอนท้องน้ำ ตะกอนขนาดเล็กจะถูกยกตัวขึ้นในสภาพแขวนลอย และเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวกลับ (downward) ตะกอนที่อยู่ในสภาพแขวนลอยนี้จะถูกคลื่นพัดพาไปตกตะกอนเกิดเป็นสันดอนทรายใต้น้ำในบริเวณนอกชายฝั่ง (offshore bar) ทำให้พื้นที่ชายฝั่งเกิดการกัดเซาะ หลังช่วงมรสุมซึ่งคลื่นมีความรุนแรงน้อยกว่า ตะกอนสันดอนทรายใต้น้ำในบริเวณนอกชายฝั่งเหล่านี้ จะถูกคลื่นพัดพามาตกตะกอนใกล้บริเวณชายฝั่งเรื่อย ๆ จนในที่สุดตะกอนทรายส่วนหนึ่งถูกพัดพามาตกตะกอนบนชายฝั่งทะเล ภาวัตัดขวางชายฝั่งในช่วงมรสุมและในช่วงคลื่นลมสงบแสดงในรูปที่ 2-9

นอกจากคลื่นแล้ว กระแสน้ำและการพัดพาตะกอนชายฝั่งก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเล ซึ่งการพัดพาตะกอนชายฝั่งประกอบด้วยพัดพาตะกอนในทิศทางตั้งฉากกับชายฝั่ง (onshore-offshore transport) และการพัดพาตะกอนในทิศทางตามแนวชายฝั่ง (longshore transport) การพัดพาตะกอนในทั้งสองทิศทางนี้เกิดจากกระแสน้ำซึ่งเป็นผลจากคลื่นที่เคลื่อนตัวเข้าทำมุมกับแนวชายฝั่ง การเคลื่อนที่ของตะกอนทั้งสองทิศทางนี้มีความสัมพันธ์อย่างมากกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง กล่าวคือ การเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากมีอิทธิพลมาก

เปลี่ยนแปลงในระยะสั้น และการเคลื่อนที่ในแนวขนานกับชายฝั่งมีอิทธิพลมากสำหรับการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว คือกระแสน้ำชายฝั่งจะพัดพาตะกอนทรายให้เคลื่อนตัวตามไปด้วย ทำให้ตะกอนทรายไปตกทับถมบริเวณอื่น ตะกอนทรายจะถูกพัดพาไปได้ไกลขนาดไหนขึ้นอยู่กับความแรงของกระแสน้ำและขนาดของตะกอนทราย ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า การเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง เป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะยาว

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดขึ้นนี้เป็นกระบวนการชายฝั่งทะเล (coastal process) เพื่อปรับแนวชายฝั่งให้สมดุลกับสภาพภูมิอากาศ สภาพคลื่นทะเล และกระแสน้ำ ซึ่งแนวชายฝั่งสมดุลอาจเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ ชายฝั่งที่ไม่มีตะกอนเคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง หรือชายฝั่งที่มีปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่งเข้ามาในพื้นที่เท่ากับปริมาณตะกอนตามแนวชายฝั่งที่เคลื่อนออกจากพื้นที่ ดังนั้นจะไม่เกิดการกัดเซาะหรือออกของชายฝั่งในระยะยาว

สำหรับในงานวางแผนพัฒนาบริเวณชายฝั่งทะเลโดยมากต้องการชายหาดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างหรือชุมชนที่อยู่ในแผนพัฒนา แต่ในความเป็นจริงแล้วเวลาที่ชายฝั่งใช้ปรับสมดุลตามธรรมชาติไม่มีระยะเวลาที่แน่นอน ซึ่งในสภาพเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันมีความต้องการพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลมากขึ้นเพื่อเป็นที่อยู่อาศัย สถานที่ท่องเที่ยว โรงงาน อุตสาหกรรม ท่าเรือเพื่อการขนส่งสินค้าและท่องเที่ยว ฯลฯ ทำให้พื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลมีคุณค่าทางเศรษฐกิจอย่างมาก จึงไม่สามารถรอให้ชายฝั่งสมดุลตามธรรมชาติได้ การป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อชุมชนหรือโครงสร้างตามแนวชายฝั่งอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง จึงมีการใช้ โครงสร้างในการป้องกันชายฝั่ง เช่น โครงสร้างคันดักตะกอน (groin) เขื่อนกันคลื่น (breakwater) เป็นต้น ซึ่งโครงสร้างแต่ละชนิดมีความสามารถในการป้องกันชายฝั่ง และมีผลกระทบต่อแนวชายฝั่ง แตกต่างกันจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาอย่างละเอียดเพื่อช่วยให้การออกแบบและวางแผนป้องกันเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยในการศึกษานี้ ได้ศึกษาความสามารถในการป้องกันชายฝั่งของเขื่อนกันคลื่น ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่ป้องกันพื้นที่ชายฝั่งด้านหลังโครงสร้างจากแรงกระทำของคลื่น และในบางกรณี อาจทำให้หน้าที่ดักตะกอนที่เคลื่อนตัวตามกระแสน้ำชายฝั่งด้วย

## 2.4 การศึกษาที่ผ่านมา

จากการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการใช้เขื่อนกันคลื่นในงานป้องกันชายฝั่ง รวมทั้งการศึกษากการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากเขื่อนกันคลื่นโดยใช้แบบจำลองชลศาสตร์ สามารถสรุปประเด็นหลักของการศึกษาได้เป็น 4 หัวข้อดังนี้



#### 2.4.1 กลไกการเคลื่อนตัวของตะกอนหลังเชื่อมกันคลื่น

Shinohara และ Tsubaki (1966) ทำการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังเชื่อมกันคลื่นเดี่ยว โดยใช้แบบจำลองชลศาสตร์ เพื่อศึกษากระบวนการชายฝั่งที่ส่งผลต่อรูปร่างชายฝั่งสมดุลงหลังเชื่อมกันคลื่น จากการศึกษาพบว่า สาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังเชื่อมกันคลื่นคือ การกระจายของคลื่น

Rosen และ Vajda (1982) เสนอแนวคิดเกี่ยวกับรูปร่างชายฝั่งสมดุลงว่า สมดุลของแนวชายฝั่งหลังเชื่อมกันคลื่น เกิดเมื่อเส้นชั้นความสูงวางตัวขนานแนวชายฝั่ง ทำให้โมเมนต์ของคลื่นที่กระจายตัวในพื้นที่อัปคลื่นเข้าปะทะความลาดชายฝั่งอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ไม่เกิดกระแสตามแนวชายฝั่ง จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

Suh และ Dalrymple (1987) สังเกตการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำบริเวณหลังเชื่อมกันคลื่นในแบบจำลองชลศาสตร์ ทำให้ทราบว่ากระแสน้ำในบริเวณนี้ ประกอบด้วยกระแสน้ำตามแนวชายฝั่งซึ่งเกิดบริเวณปลายทั้ง 2 ด้านหลังเชื่อมกันคลื่น โดยมีทิศพุ่งเข้าสู่แนวกึ่งกลางเชื่อมกันคลื่นแล้วปะทะกันก่อให้เกิดกระแสน้ำพุ่งออกจากฝั่งเข้าหาเชื่อมกันคลื่น ซึ่งเมื่อกระแสน้ำนี้ปะทะเชื่อมกันคลื่นจะแยกตัว และก่อให้เกิด Rip current พุ่งออกจากฝั่งที่บริเวณรอบ ๆ ปลายเชื่อมกันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2-10 ซึ่งในช่วงแรกของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เนื่องจากกระแสน้ำตามแนวชายฝั่งดังกล่าวไม่รุนแรงนัก จึงเกิดรูปร่างแหลมทรายแบบ 2 ยอด และต่อมาแหลมทรายจะค่อย ๆ ถูกคลื่นซัดให้มารวมกันที่กึ่งกลาง เกิดเป็นแหลมทรายยอดเดียว

Ming และ Chiew (2000) ศึกษาปรากฏการณ์การพัดพาตะกอนหลังเชื่อมกันคลื่น จากผลการศึกษาทำให้ทราบว่าเมื่อคลื่นกระจายเข้าสู่พื้นที่อัปคลื่น โดยทำมุมเอียงกับแนวชายฝั่ง ทำให้คลื่นเคลื่อนเข้ากระทบฝั่งและออกจากฝั่งในเส้นทางที่ต่างกัน โดยคลื่นเคลื่อนเข้าฝั่งตามทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น แต่เมื่อคลื่นเคลื่อนออกจากฝั่ง จะเคลื่อนตามความลาดชายฝั่งชายฝั่งซึ่งควบคุมด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก และขณะที่คลื่นเคลื่อนที่เข้า - ออกจากฝั่ง ก็พัดพาตะกอนไปด้วย ทำให้การเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอนมีลักษณะซิกแซก โดยมีทิศทางสุทธิพุ่งเข้าสู่แนวกึ่งกลางเชื่อมกันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2-11

## 2.4.2 ความสัมพันธ์ของตัวแปรรูปร่างชายฝั่งสมดุลหลังเชื่อมกันคลื่น

Rosen และ Vajda (1982) ศึกษาผลของเชื่อมกันคลื่นต่อตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรูปร่างชายฝั่ง พื้นที่และปริมาณตะกอนทับถมหลังเชื่อมกันคลื่น เมื่อมีคลื่นทิศทางตั้งฉากเข้าปะทะกับแนวชายฝั่ง โดยใช้แบบจำลองชลศาสตร์ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง โดยมีตัวแปรที่สนใจคือ ขนาดคลื่น ความยาวเชื่อมกันคลื่นและระยะห่างฝั่งของเชื่อมกันคลื่น จากการศึกษาได้ความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างชายฝั่งทั้งแบบแหลมทรายและ Tombolo กับระยะห่างฝั่งต่อความยาวเชื่อมกันคลื่น เมื่อกำหนดระยะคลื่นแตกตัว ดังแสดงในรูปที่ 2-12

Harris และ Herbich (1986) ศึกษาผลของระยะห่างฝั่งของเชื่อมกันคลื่นต่อความสามารถในการดักตะกอน โดยทำการทดลองในแบบจำลองชลศาสตร์จำนวน 8 กรณี จากการศึกษาพบว่า ความสามารถในการดักตะกอนของเชื่อมกันคลื่น มีความสัมพันธ์กับระยะห่างฝั่งเมื่อกำหนดระยะห่างระหว่างเชื่อมกันคลื่น โดยสรุปความสัมพันธ์อยู่ในรูปสมการ ดังแสดง

$$Q_b / X B d_{BW} = \exp[0.315 - 1.92(X/B)] \quad (2-14)$$

เมื่อ  $Q_b$  คือ ปริมาตรตะกอนที่ทับถมในพื้นที่อับคลื่น

$X$  คือ ระยะห่างฝั่งของเชื่อมกันคลื่น

$B$  คือ ความยาวเชื่อมกันคลื่น

$d_{BW}$  คือ ความลึกน้ำที่เชื่อมกันคลื่น

Suh และ Dalrymple (1987) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากเชื่อมกันคลื่น โดยทดลองในอ่างคลื่นโค้งจำนวน 15 กรณี เพื่อหาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อรูปร่างชายฝั่ง จากการศึกษาพบว่าระยะคลื่นแตกตัว ความยาวเชื่อมกันคลื่น และระยะห่างฝั่งของเชื่อมกันคลื่นมีผลต่อรูปร่างชายฝั่งสมดุล โดยความสัมพันธ์อยู่ในรูปสมการดังนี้

$$\frac{X_s}{X} = 0.156 \frac{B}{X} \quad \text{เมื่อ} \quad \frac{X_b}{X} < 0.5 \quad (2-15 ก)$$

$$\frac{X_s}{X} = 0.317 \frac{B}{X} \quad \text{เมื่อ} \quad 0.5 \leq \frac{X_b}{X} < 1.0 \quad (2-15 ข)$$

$$\frac{X_s}{X} = 0.377 \frac{B}{X} \quad \text{เมื่อ} \quad \frac{X_b}{X} > 1.0 \quad (2-15 ค)$$

- ห้  $X_s$  คือ ระยะยื่นของปลายแหลมทราย  
 $X_b$  คือ ระยะคลื่นแตกตัวเฉลี่ย

และเมื่อรวมผลการทดลองกับข้อมูลภาคสนาม ได้เป็นความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{X_s}{X} = 14.8 \left( \frac{G/X}{(B/X)^2} \right) \exp \left( -2.83 \left( \frac{G/X}{(B/X)^2} \right)^{1/2} \right) \quad (2-16)$$

Hsu และ Silvester (1990) รวบรวมผลการศึกษาเกี่ยวกับเขื่อนกันคลื่นทั้งข้อมูลจากแบบจำลองชลศาสตร์ และข้อมูลภาคสนาม เพื่อนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลต่อรูปร่างชายฝั่งสมดุ ล จากการศึกษพบว่าระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นมีผลต่อระยะยื่นของแหลมทรายในรูปของสมการ

$$\frac{X_s}{B} = 0.678(B/X)^{-1.215} \quad (2-17)$$

และเสนอวิธีทำนายแนวชายฝั่งสมดุ ล ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ  $R_0/R_0$  และ  $\theta$  เมื่อ  $R_0$  คือ ระยะที่วัดจากปลายเขื่อนกันคลื่นไปยังแนวชายฝั่งโดยทำมุม  $40^\circ$  กับแนวเขื่อนกันคลื่น  $R_0$  คือ ระยะที่วัดจากปลายเขื่อนกันคลื่นไปยังแนวชายฝั่งสมดุ ล โดยทำมุม  $\theta$  กับแนวเขื่อนกันคลื่น ซึ่งความสัมพันธ์ของ  $R_0/R_0$  และ  $\theta$  แสดงในรูปที่ 2-13

Ming และ Chiew (2000) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่นเดี่ยว เมื่อมีคลื่นในทิศทางตั้งฉากเข้าปะทะชายฝั่ง โดยศึกษาในแบบจำลองชลศาสตร์ จากผลการศึกษาจำนวน 18 กรณี สามารถสรุปเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{A}{X^2} = -0.384 + 0.043 \frac{X}{B} + 0.711 \frac{B}{X} \quad (2-18)$$

เมื่อ  $A$  คือ พื้นที่ทับถมของตะกอน

#### 2.4.3 เกณฑ์กำหนดรูปร่างชายฝั่งสมดุ ล

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและรูปร่างของชายฝั่งสมดุ ลหลังเขื่อนกันคลื่น ซึ่งรวบรวมไว้ในตารางที่ 2-2 สามารถสรุปได้ว่า พารามิเตอร์หลักที่ใช้กำหนดรูปร่างชายฝั่งสมดุ ลหลัง

เชื่อมกันคลื่น สำหรับกรณีเชื่อมกันคลื่นเดี่ยวคือ อัตราส่วนระหว่างความยาวเชื่อมกันคลื่นต่อระยะห่างฝั่ง (B/X) ส่วนกรณีเชื่อมกันคลื่นแบบแยก อาจมีพารามิเตอร์ความกว้างช่องระหว่างเชื่อมกันคลื่น (G) รวมด้วย โดยรูปร่างสมดุของชายฝั่งแบบแหลมทรายโดยทั่วไปเกิดเมื่อ B/X น้อยกว่า 0.4 – 1.5 ส่วนการเกิดรูปร่างสมดุของชายฝั่งแบบ tombolo เกิดเมื่อ B/X มากกว่า 1 – 2 สำหรับเชื่อมกันคลื่นเดี่ยว ยกเว้นผลการศึกษากของ Silvester และ Hsu (1990) ซึ่งกำหนดรูปร่างสมดุแบบ tombolo จากการต่อขยายข้อมูล ทำให้ได้เกณฑ์กำหนดรูปร่างชายฝั่งแบบ tombolo ในช่วง B/X ที่สูงกว่าผู้ศึกษาอื่น

#### 2.4.4 การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งเนื่องจากเชื่อมกันคลื่นตามเวลา

Fried (1976) ศึกษาและออกแบบระบบเชื่อมกันคลื่น ในงานป้องกันชายฝั่ง โดยนำข้อมูลแผนที่ท้องน้ำ ข้อมูลคลื่น และตัวอย่างตะกอน สร้างเป็นแบบจำลองชลศาสตร์ เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังจากสร้างเชื่อมกันคลื่น

จากการศึกษาและเปรียบเทียบผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากแบบจำลองชลศาสตร์กับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริงพบว่า การจำลองโดยใช้แบบจำลองชลศาสตร์ให้ผลสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริงทั้งในแง่ของรูปร่างชายฝั่ง และเวลาในการพัฒนารูปร่างชายฝั่ง จึงสรุปได้ว่ากระบวนการพัดพาตะกอน (sedimentological process) หลังเชื่อมกันคลื่น ในแบบจำลองชลศาสตร์สามารถอธิบายกระบวนการในธรรมชาติของต้นแบบได้

Nir (1982) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เนื่องจากเชื่อมกันคลื่นในประเทศอิสราเอล โดยอาศัยข้อมูลจากแผนที่ความสูงท้องน้ำ ภาพถ่ายทางอากาศและแผนที่ภูมิประเทศ จากการศึกษาพบว่า ในช่วงแรกปริมาณการทับถมตะกอนหลังเชื่อมกันคลื่นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ต่อมาอัตราการทับถมตะกอนค่อย ๆ ลดลง จนหยุดในปีที่ 5-6 หลังการสร้างเชื่อมกันคลื่น

Sonu และ Warwar (1987) ทำการประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนหลังเชื่อมกันคลื่น โดยใช้ข้อมูลของเชื่อมกันคลื่นที่ Santa Monica ประเทศสหรัฐอเมริกา และศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนหลังเชื่อมกันคลื่น จากการศึกษาพบว่าปริมาณตะกอนหลังการสร้างเชื่อมเพิ่มขึ้นตามกำลังฐาน e (exponentially) โดยมีรูปแบบสมการเป็น

$$Q = Q_e(1 - \exp(-at)) \quad (2-19)$$

เมื่อ  $Q_e$  คือ ปริมาณตะกอนที่สมดุ

a คือ สัมประสิทธิ์ของการทดลอง (Empirical coefficient)

t คือ เวลาตั้งแต่เริ่มมีเขื่อนกันคลื่น

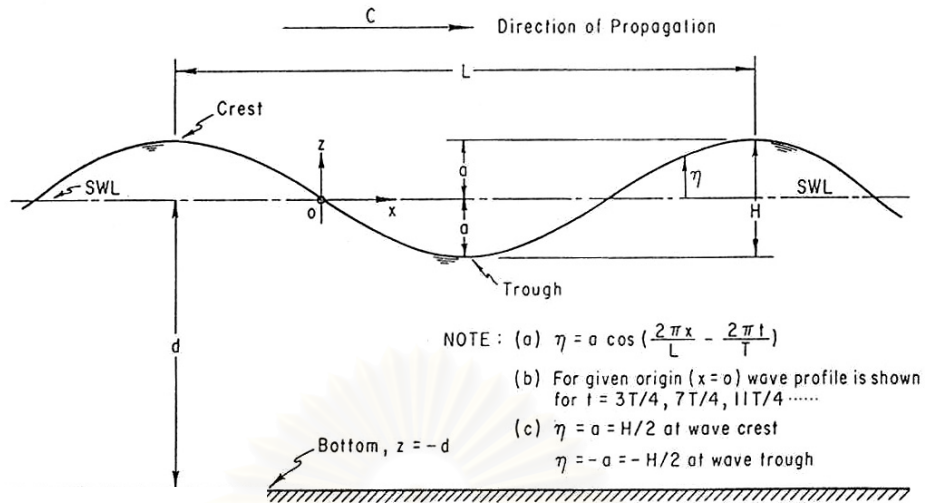
นอกจากการศึกษาที่กล่าวมานี้ยังมีการศึกษาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

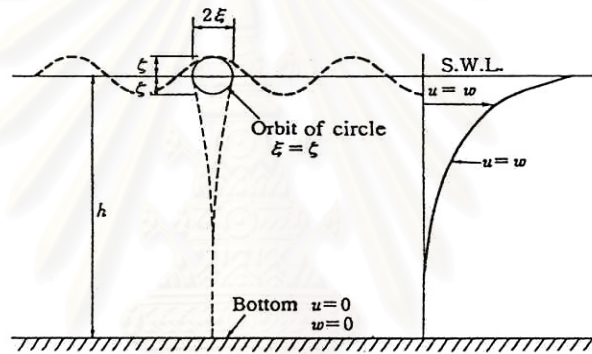
ตารางที่ 2-2 สรุปการศึกษาเกณฑ์กำหนดรูปร่างชายฝั่งสมดุล

ผู้ศึกษา,ปี	เกณฑ์กำหนดรูปร่าง	หมายเหตุ
<u>รูปร่างชายฝั่งสมดุลแบบแหลมทราย (Salient)</u>		
Goulay,1981 อ้างถึงใน Herbich,1999	$B/X < 0.4 - 0.5$	กรณีทั่วไป
US. CERC.,1984	$B/X < 1.0$	กรณีทั่วไป
Dally และ Pope,1986 อ้างถึงใน Herbich,1999	$B/X < 0.5 - 0.67$	กรณีทั่วไป
Suh และ Dalrymple,1987	$B/X < 1.0$	เชื่อมกันคลื่นเดี่ยว
Suh และ Dalrymple,1987	$B/X < 2G/B$	เชื่อมกันคลื่นแบบแยก
Ahrens และ Cox,1990 อ้างถึงใน Herbich,1999	$B/X < 1.5$	กรณีทั่วไป
Ming และ Chiew,2000	$B/X < 1.25$	เชื่อมกันคลื่นเดี่ยว
<u>รูปร่างชายฝั่งสมดุลแบบ tombolo</u>		
Goulay,1981 อ้างถึงใน Herbich,1999	$B/X > 0.67 - 1.0$	กรณีทั่วไป
US. CERC.,1984	$B/X > 2$	กรณีทั่วไป
Dally และ Pope,1986 อ้างถึงใน Herbich,1999	$B/X > 1.5 - 2.0$	กรณีทั่วไป
Dally และ Pope,1986 อ้างถึงใน Herbich,1999	$B/X > 1.5$	เชื่อมกันคลื่นแบบแยก
Suh และ Dalrymple,1987	$B/X > 1.0$	เชื่อมกันคลื่นเดี่ยว
Suh และ Dalrymple,1987	$B/X > 2G/B$	เชื่อมกันคลื่นแบบแยก
Hsu และ Silvester,1990	$B/X > 5.26$	กรณีทั่วไป
Ming และ Chiew,2000	$B/X > 1.25$	เชื่อมกันคลื่นเดี่ยว

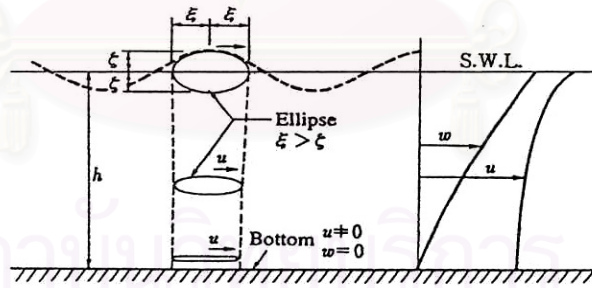


จาก US.CERC. 1984

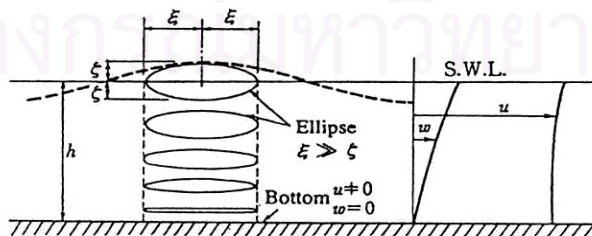
รูปที่ 2-1 นิยามพารามิเตอร์คลื่น



(a) Deepwater waves  $\frac{h}{L} > \frac{1}{2}$



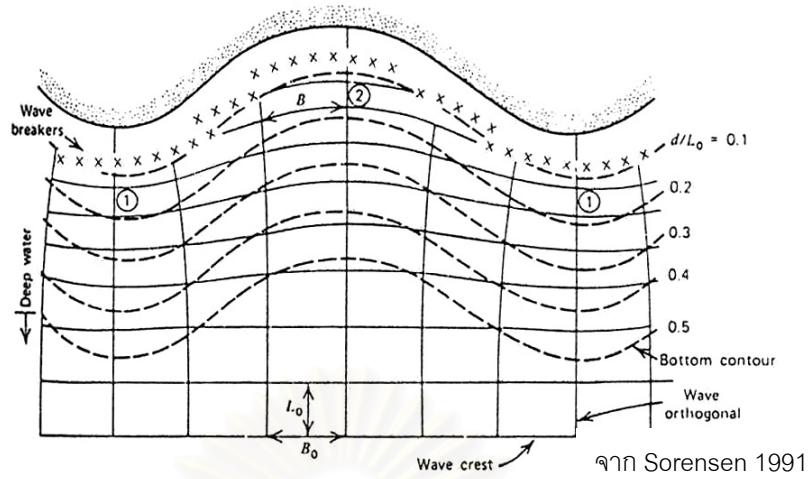
(b) Shallow water waves  $\frac{1}{25} < \frac{h}{L} < \frac{1}{2}$



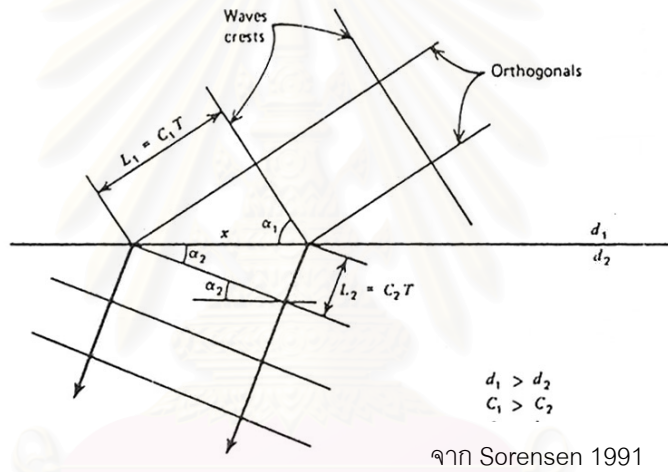
(c) Very shallow water waves  $\frac{h}{L} < \frac{1}{25}$

จาก Sawaragi 1995

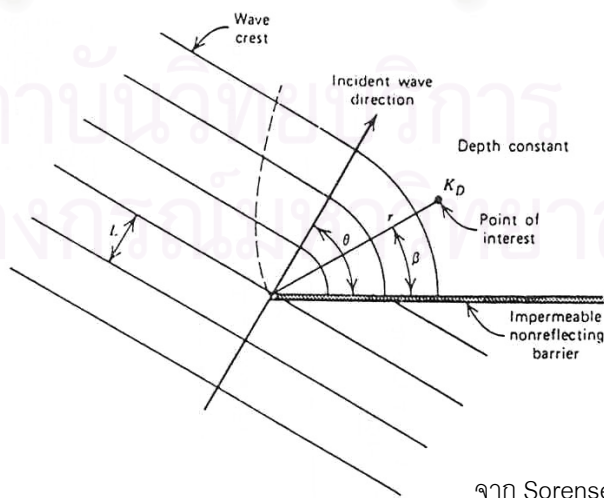
รูปที่ 2-2 การเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าสู่หน้าดิน



รูปที่ 2-3 การหักเหของคลื่น

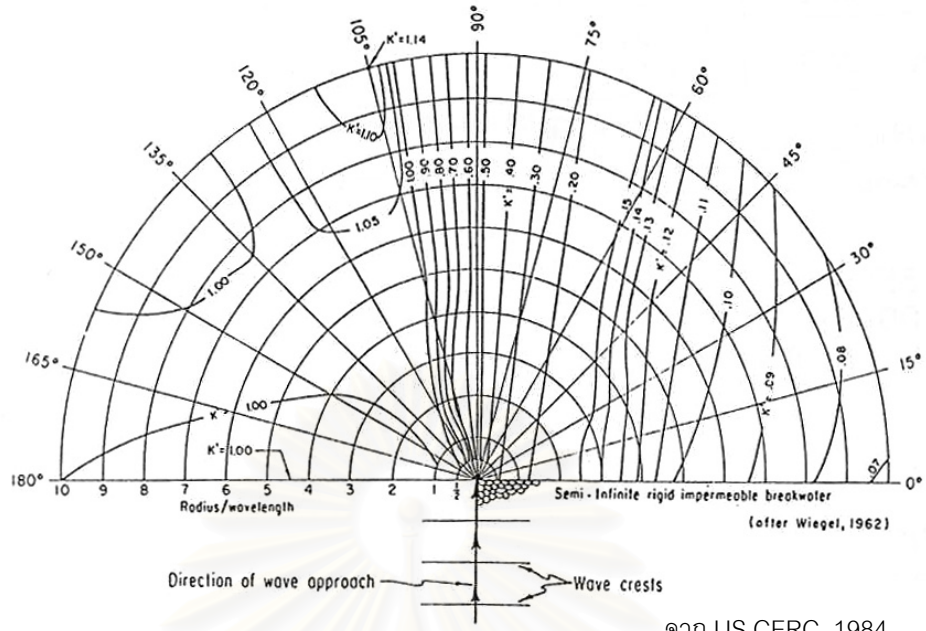


รูปที่ 2-4 การหักเหของคลื่นตามกฎของสเนลล์ (Snell's law)



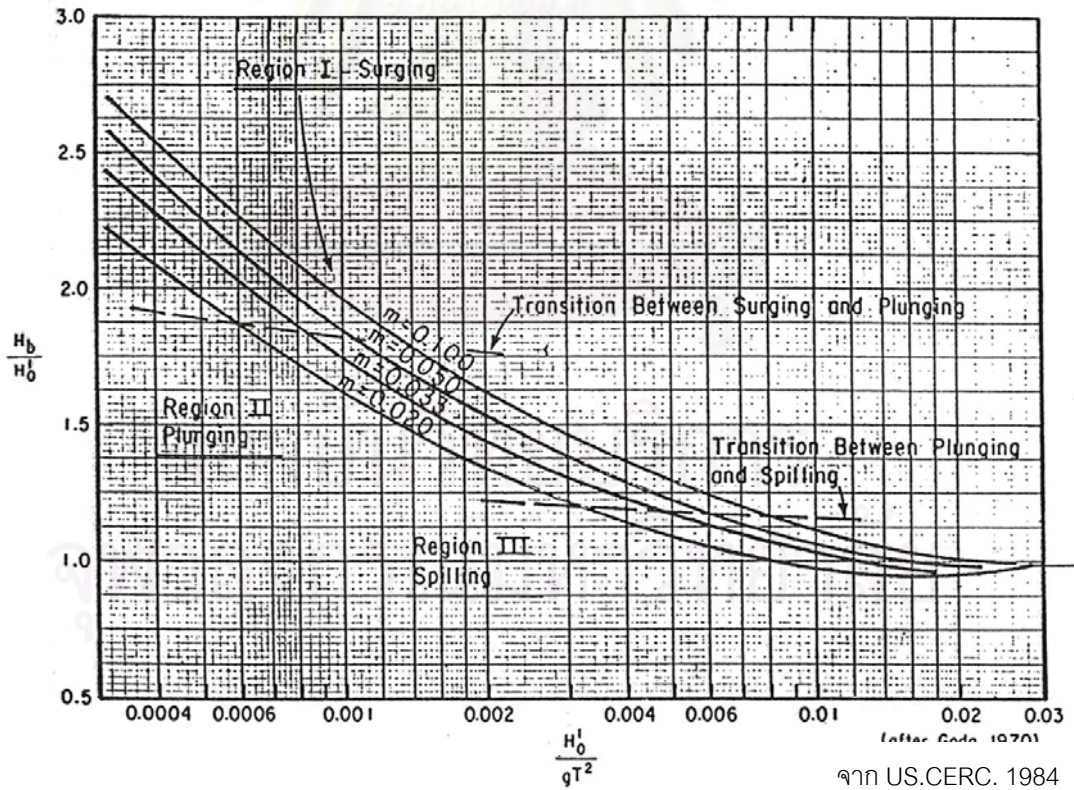
รูปที่ 2-5 การกระจายของคลื่น





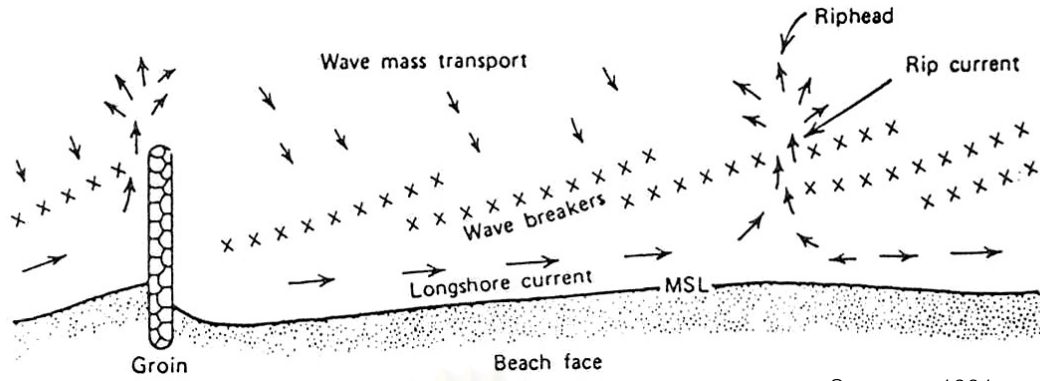
จาก US.CERC. 1984

รูปที่ 2-6 แผนภาพสัมประสิทธิ์การกระจายของคลื่น



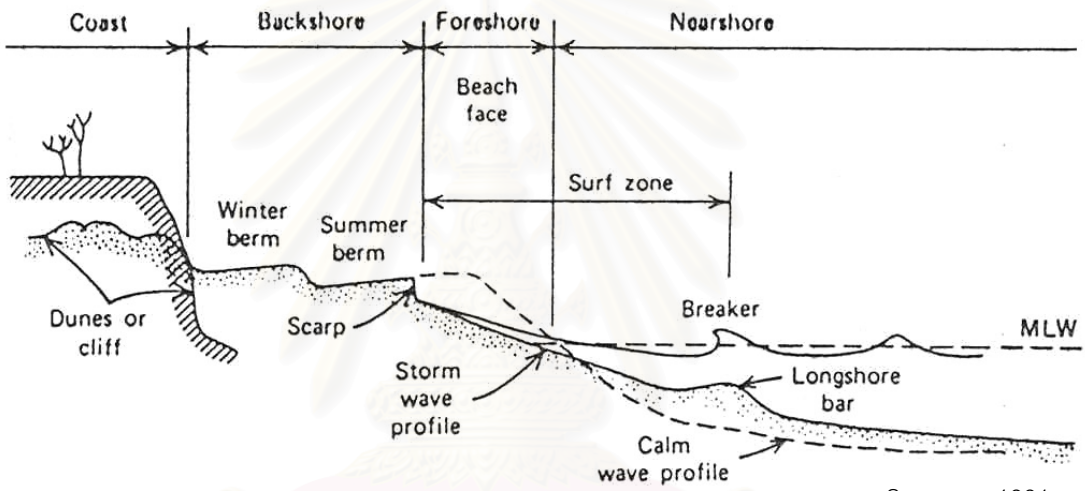
จาก US.CERC. 1984

รูปที่ 2-7 แผนภาพดัชนีความสูงคลื่นแตกตัว



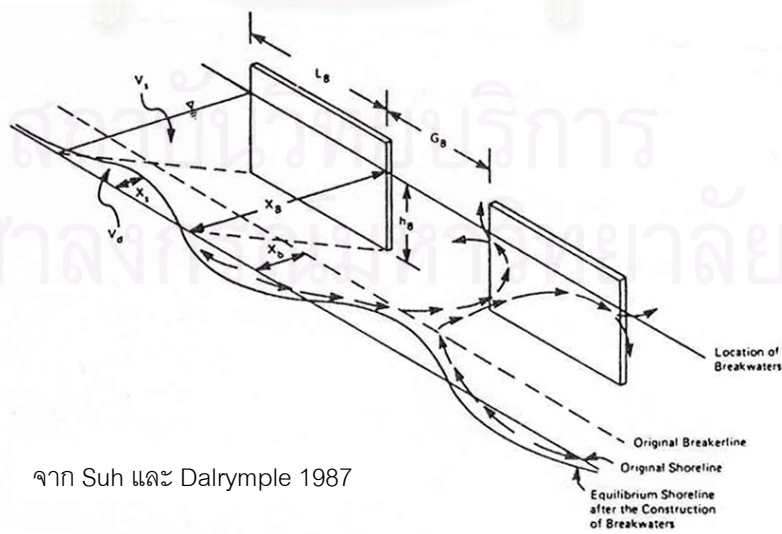
จาก Sorensen 1991

รูปที่ 2-8 ลักษณะกระแสน้ำชายฝั่ง



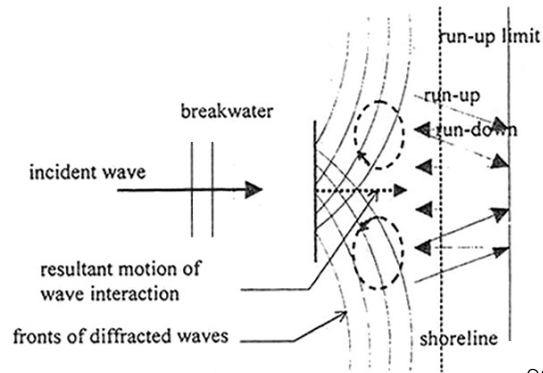
จาก Sorensen 1991

รูปที่ 2-9 ภาพตัดขวางชายฝั่งในช่วงฤดูมรสุม และช่วงฤดูลมสงบ



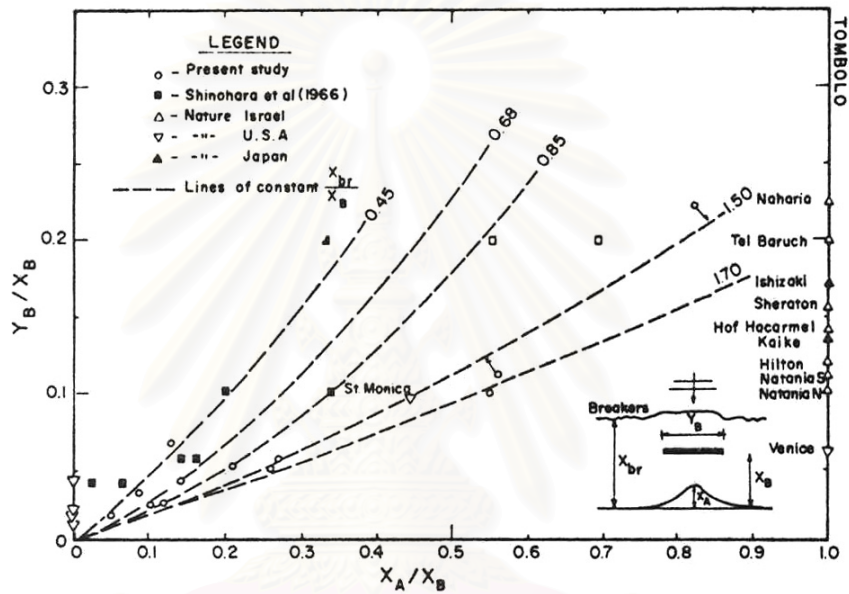
จาก Suh และ Dalrymple 1987

รูปที่ 2-10 รูปแบบกระแสน้ำชายฝั่งหลังเชื่อมกันคลื่น

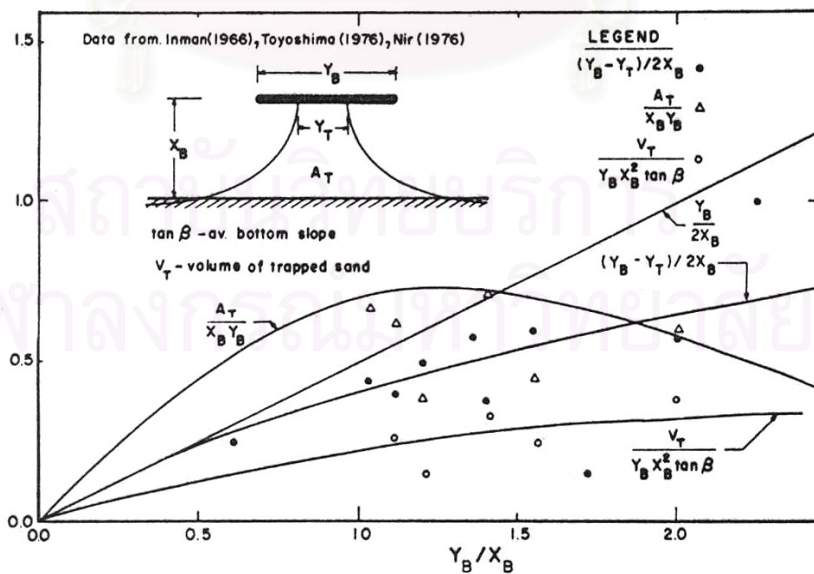


จาก Ming และ Chiew 2000

รูปที่ 2-11 การกระทำของคลื่นทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของตะกอนแบบซิกแซก



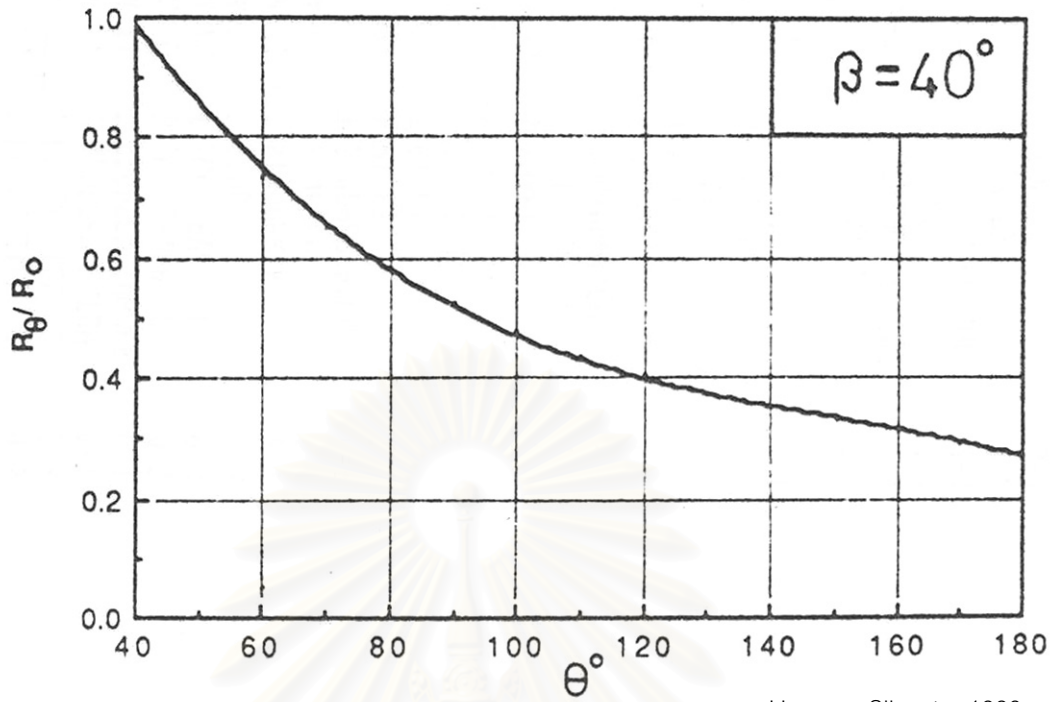
ก) รูปร่างชายฝั่งสมดุลงนิตแหลมทราย



ข) รูปร่างชายฝั่งสมดุลงนิต tombolo

จาก Rosen และ Vajda 1982

รูปที่ 2-12 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่งสมดุลง



จาก Hsu และ Silvester 1990

รูปที่ 2-13 การประมาณแนวชายฝั่งสมดุลจากความสัมพันธ์ของ  $\frac{R_\theta}{R_0}$  และ  $\theta$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### แบบจำลองชลศาสตร์และการทดลอง

ในการศึกษาทางด้านวิศวกรรมชายฝั่ง จำเป็นต้องมีเทคนิคหรือวิธีการที่ใช้ในการศึกษา เพื่อให้ทราบและเข้าใจถึงพฤติกรรมและกระบวนการทางชายฝั่งทะเลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น โดยแนวทางที่ใช้ศึกษามี 3 แนวทางด้วยกันคือ การสังเกตและการวัดในภาคสนาม การสังเกตและการวัดในแบบจำลองกายภาพ (physical model) และการคำนวณและวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ (mathematical model) แม้ว่าในปัจจุบันมีความนิยมใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์กันมาก เนื่องจากความรวดเร็วในการแก้ปัญหา ประหยัดค่าใช้จ่าย และสามารถประยุกต์แบบจำลองคณิตศาสตร์กับพื้นที่ศึกษาต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาทางวิศวกรรมชายฝั่งอีกมากที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการคณิตศาสตร์เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหา ดังนั้นวิธีการสังเกตและการวัดในภาคสนามน่าจะเป็นวิธีการศึกษาที่ให้ความถูกต้องของข้อมูลมากที่สุด แต่ก็มีค่าใช้จ่ายสูงและมีตัวแปรธรรมชาติอยู่มากจึงยากต่อการแปลความหมายข้อมูลส่วนการศึกษาโดยใช้แบบจำลองกายภาพที่มีขนาดเหมาะสม มักมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าและสามารถควบคุมและผันแปรตัวแปรได้อย่างเป็นระบบ ทำให้การแปลความหมายข้อมูลง่ายกว่าการศึกษาในภาคสนาม ดังนั้นในหลายกรณีการศึกษาโดยใช้แบบจำลองกายภาพจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด

การศึกษานี้ใช้แบบจำลองกายภาพในการศึกษาพฤติกรรมและกระบวนการชายฝั่งทะเลที่เกิดขึ้นเมื่อมีเขื่อนกันคลื่นเป็นโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดจากการใช้เขื่อนกันคลื่น

#### 3.1 แบบจำลองชลศาสตร์

การศึกษานี้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเลของภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งองค์ประกอบในการทดลองประกอบด้วย

- 1) แบบจำลองแอ่งคลื่น (wave basin) ขนาด 10 ม. X 20 ม. X 0.7 ม. จำลองชายฝั่งด้วยทรายละเอียดขนาด  $d_{50} = 0.25$  มม. มีความลาดชันชายฝั่งประมาณ 1 : 34 ดังแสดงในรูปที่ 3-1 ส่วนการวิเคราะห์การกระจายขนาด แสดงใน ภาคผนวก ข.
- 2) แบบจำลองเขื่อนกันคลื่น (breakwater) สร้างเป็นโครงสร้างชนิดไม่ทึบน้ำ (permeable) โดยใช้หินบรรจุในกรงลวดตาข่ายโครงเหล็ก ขนาด 0.12 ม. X 0.35 ม.

ยาว 1.0 ม. 1.5 ม. และ 2.0 ม. มีความลาดด้านหน้าประมาณ 1 : 3 เพื่อลดการสะท้อนของคลื่นหน้าเขื่อนกันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 3-2

3) เครื่องกำเนิดคลื่น (wave generator) ที่ใช้ในแบบจำลอง เป็นชนิดปลายยึดหมุน (hinge connection) ที่ด้านล่างของกระดานสร้างคลื่น ส่วนด้านบนต่อกับส่วนขับเคลื่อนซึ่งเคลื่อนกลับไป - มาได้ตามระยะช่วงชัก (stroke) โดยความเร็วการเคลื่อนที่ขึ้นกับความเร็วของมอเตอร์ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ จึงสามารถสร้างคลื่นที่มีความสูงและคาบคลื่นได้แตกต่างกัน

4) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

- เครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter) ติดตั้งในแอ่งคลื่นเพื่อวัดคลื่นที่ผ่านจุดตรวจวัดได้ ดังแสดงในรูปที่ 3-3 การสอบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่นแสดงในภาคผนวก ข.
- เครื่องวัดระดับท้องน้ำ (sandy surface meter) ใช้วัดระดับท้องน้ำเทียบกับระดับน้ำ ณ ตำแหน่งที่วัด มีความละเอียด 0.5 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3-4 การสอบเทียบเครื่องมือวัดระดับท้องน้ำแสดงใน ภาคผนวก ข.
- แผงวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D converter) ของ PC-LAB รุ่น PCL-816 ซึ่งใช้ร่วมกับแผงวงจรรวมสัญญาณแบบสกรู (terminal board) รุ่น PCLD-880
- คอมพิวเตอร์ IBM-PC 486DX2-66 และโปรแกรม "Labtech NOTEBOOKpro" ใช้เก็บข้อมูลจากเครื่องวัดความสูงคลื่น
- กล้องถ่ายรูปและกล้องวิดีโอ ใช้บันทึกภาพพฤติกรรมการไหล กระบวนการชายฝั่ง แนวการแตกตัวของคลื่น และรูปร่างชายฝั่ง

สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับการใช้เครื่องกำเนิดคลื่น เครื่องวัดความสูงคลื่น วงจรแปลงสัญญาณ และโปรแกรม "Labtech NOTEBOOKpro" รวบรวมไว้โดย อาทิตยา (2540)

### 3.2 การวัดข้อมูลการทดลอง

การวัดข้อมูลการทดลองแบ่งได้เป็น 4 ส่วน คือ

#### 3.2.1 การวัดข้อมูลคลื่น

คลื่นที่เกิดจากเครื่องกำเนิดคลื่น สามารถบันทึกข้อมูลได้โดยใช้โปรแกรม "Labtech NOTEBOOKpro" ซึ่งควบคุมการวัดและบันทึกข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดความสูงคลื่นจำนวน 4

เครื่อง ซึ่งติดตั้งในแบบจำลอง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ดังรูปที่ 3-5 ข้อมูลที่ได้ประกอบด้วยเวลา และระดับน้ำ ณ จุดตรวจวัด โดยกำหนดให้บันทึกข้อมูลด้วยความถี่ 100 ข้อมูลต่อวินาที เป็นเวลา 3 นาที ทุก ๆ ช่วงการทดลองประมาณ 2 ชั่วโมง

### 3.2.2 การวัดตำแหน่งแนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัว

การเก็บข้อมูลในส่วนนี้เป็นการวัดในแบบจำลอง โดยติดตั้งระบบกริดขนาด 0.10 ม. X 0.10 ม. ไว้เหนือแอ่งคลื่น เพื่อวัดตำแหน่งแนวชายฝั่งและคลื่นแตกตัว ซึ่งวัดขณะไม่มีการสร้างคลื่น

### 3.2.3 การวัดข้อมูลระดับความลึกท้องน้ำ

การวัดระดับความลึกท้องน้ำเป็นการวัดโดยอ้างอิงจากระดับน้ำในแอ่งคลื่น ดังนั้นระยะที่ได้จึงเป็นระยะจากระดับน้ำนิ่งถึงท้องน้ำ และจะมีการถ่ายระดับจากระดับน้ำในแอ่งคลื่นไปยังระดับน้ำเหนือระดับอ้างอิง (datum) อีกครั้งหนึ่ง เพื่อนำระยะจากระดับน้ำนิ่งถึงท้องน้ำมาแปลงเป็นความลึกท้องน้ำจากระดับอ้างอิง

การวัดข้อมูลระดับความลึกท้องน้ำจะแบ่งพื้นที่ที่ทำการวัดเป็น 2 ส่วน คือ พื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่นตั้งแต่แนวสันทรายเหนือน้ำ (berm) ถึงแนวเขื่อนกันคลื่น โดยทำการวัดข้อมูลทุก ๆ ระยะ 0.10 X 0.10 ม. เพื่อให้ได้ข้อมูลระดับท้องน้ำอย่างละเอียด ซึ่งใช้คำนวณการกัดเซาะและทับถมของท้องน้ำต่อไป และอีกส่วนหนึ่งคือ พื้นที่หน้าเขื่อนกันคลื่นตั้งแต่แนวเขื่อนกันคลื่นออกไปเป็นระยะ 1 เมตร โดยทำการวัดข้อมูลทุก ๆ ระยะ 0.10 X 0.25 ม. ซึ่งระดับท้องน้ำส่วนนี้มีผลต่อลักษณะคลื่นที่เข้าปะทะชายฝั่ง การแบ่งกริดเพื่อวัดข้อมูลระดับท้องน้ำแสดงดังรูปที่ 3-5 และจากข้อมูลท้องน้ำแต่ละตำแหน่งกริด นำไปสร้างเส้นชั้นความสูงท้องน้ำดังตัวอย่างในรูปที่ 3-6 ซึ่งแสดงตำแหน่งกริด และค่าความสูงท้องน้ำบางจุด รวมทั้งเส้นชั้นความสูงท้องน้ำที่สร้างจากค่าความสูงท้องน้ำทุก ๆ ตำแหน่งกริด

### 3.2.4 ช่วงเวลาการวัดข้อมูลระหว่างการทดลอง

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาอัตราการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่น ณ เวลาต่าง ๆ ดังนั้นจึงต้องมีการแบ่งช่วงเวลาการวัดข้อมูลระหว่างการทดลองแต่ละครั้ง โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดขึ้น ซึ่งแบ่งเป็น 4 ช่วงเวลา ดังนี้

- 1) ช่วงที่ 1 ชายฝั่งมีการเปลี่ยนแปลงมาก ช่วงเวลาเดินเครื่องกำเนิดคลื่นประมาณ 4 – 10 ชั่วโมง
- 2) ช่วงที่ 2 ชายฝั่งมีการเปลี่ยนแปลงปานกลาง ช่วงเวลาเดินเครื่องกำเนิดคลื่นประมาณ 8-12 ชั่วโมง
- 3) ช่วงที่ 3 ชายฝั่งมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ช่วงเวลาเดินเครื่องกำเนิดคลื่นประมาณ 8-12 ชั่วโมง
- 4) ช่วงที่ 4 ชายฝั่งเกือบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ช่วงเวลาเดินเครื่องกำเนิดคลื่นประมาณ 16 – 20 ชั่วโมง

ซึ่งช่วงเวลาในแต่ละกรณีไม่เท่ากัน ขึ้นกับลักษณะคลื่นที่กำหนดให้เข้ากระทำกับชายฝั่ง โดยช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองแต่ละกรณี จะผันแปรระหว่าง 30 – 40 ชั่วโมง

### 3.3 วิธีการทดลอง

การศึกษานี้มีสมมติฐานดังนี้ ปัจจัยที่น่าจะมีอิทธิพลต่ออัตราการทับถมตะกอนและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเมื่อมีเขื่อนกันคลื่นคือ ลักษณะคลื่น ความยาวเขื่อนกันคลื่น และระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น ดังนั้นการทดลองจึงออกแบบเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้ที่มีต่ออัตราการทับถมตะกอนและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยกำหนดให้เป็นตัวแปรของการทดลอง คือ ตัวแปรคลื่น 3 ขนาด มีความชัน (H/L) อยู่ในช่วง 0.007 – 0.036 ตัวแปรความยาวเขื่อนกันคลื่น 3 ขนาด คือ 1.0 เมตร 1.5 เมตร และ 2.0 เมตร และตัวแปรระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น 3 ระยะ คือ ประมาณ 0.5 เมตร 1.0 เมตร และ 1.5 เมตร โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้ (ขั้นตอนการทดลองในแต่ละกรณีแสดงดังรูปที่ 3-7)

- 1) ปรับพื้นที่ชายฝั่งให้เรียบ โดยมีความลาด 1 : 34 และวางตัวตั้งฉากกับทิศทางคลื่นที่เข้ากระทำ
- 2) สร้างคลื่นขนาดที่กำหนดเข้ากระทำต่อชายฝั่ง สังเกตการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดขึ้น จนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจึงหยุดการสร้างคลื่น ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 - 40 ชั่วโมง ผันแปรตามขนาดของคลื่น
- 3) วัดตำแหน่งแนวชายฝั่ง แนวคลื่นแตกตัว และระดับความลึกท้องน้ำ โดยถือว่าแนวชายฝั่ง แนวคลื่นแตกตัว และระดับความลึกท้องน้ำนี้เป็นค่าเริ่มต้นขณะที่ยังไม่มีเขื่อนกันคลื่น
- 4) ติดตั้งเขื่อนกันคลื่นขนาด 1.0 เมตรที่ระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นประมาณ 0.5 เมตร



- 5) สร้างคลื่นเข้าปะทะชายฝั่งจนถึงเวลาที่กำหนดแล้ววัดแนวชายฝั่ง แนวคลื่นแตกตัว และระดับความลึกท้องน้ำเป็นระยะ จนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง จึงหยุดการทดลอง
- 6) วัดแนวชายฝั่ง แนวคลื่นแตกตัว และระดับความลึกท้องน้ำ ณ เวลาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลของชายฝั่งสมดุลหลังจากมีเขื่อนกันคลื่น
- 7) ทำขั้นตอนที่ 1 - 6 ซ้ำ โดยปรับช่วงชักและความเร็วมอเตอร์ของเครื่องกำเนิดคลื่นตามที่กำหนดไว้ ให้ได้ขนาดคลื่นอีก 2 ขนาด เพื่อศึกษาผลของลักษณะคลื่นที่มีต่ออัตราการทับถมตะกอน และการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง
- 8) ทำขั้นตอนที่ 1 - 7 ซ้ำ โดยเปลี่ยนระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นเป็นประมาณ 1.0 เมตร และ 1.5 เมตร ตามลำดับ เพื่อศึกษาผลของระยะห่างฝั่งที่มีต่ออัตราการทับถมตะกอน และการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง
- 9) ทำขั้นตอนที่ 1 - 8 ซ้ำ โดยเปลี่ยนความยาวเขื่อนกันคลื่นเป็น 1.5 เมตร และ 2.0 เมตร ตามลำดับ เพื่อศึกษาผลของความยาวเขื่อนกันคลื่นที่มีต่ออัตราการทับถมตะกอน และการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการทดลองแบบจำลองชลศาสตร์ รวม 27 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 3-1 โดยใช้เวลาเดินเครื่องต่อเนื่องประมาณ 30 – 40 ชั่วโมงในแต่ละกรณี และเวลาในการปรับแบบจำลองและเตรียมงานตามกรณีศึกษา 2 – 3 วัน การทดลองทั้งหมดได้กระทำระหว่าง เดือน พฤศจิกายน 2544 – ธันวาคม 2545 และได้ร่วมแสดงในงานนิทรรศการ “จุฬาริชาการ 45” ระหว่าง 6-9 ธันวาคม 2545

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดของกรณีทดลอง

ความยาว เขื่อนกันคลื่น (B), ม.	ระยะห่างฝั่ง (X), ม.	คลื่น "a"	คลื่น "b"	คลื่น "c"
		$H_0/L_0 = 0.021-0.031$ T = 0.91 วินาที	$H_0/L_0 = 0.010-0.018$ T = 1.11 วินาที	$H_0/L_0 = 0.004-0.007$ T = 1.25 วินาที
1.0	0.5	B10D05a	B10D05b	B10D05c
1.0	1.0	B10D10a	B10D10b	B10D10c
1.0	1.5	B10D15a	B10D15b	B10D15c
1.5	0.5	B15D05a	B15D05b	B15D05c
1.5	1.0	B15D10a	B15D10b	B15D10c
1.5	1.5	B15D15a	B15D15b	B15D15c
2.0	0.5	B20D05a	B20D05b	B20D05c
2.0	1.0	B20D10a	B20D10b	B20D10c
2.0	1.5	B20D15a	B20D15b	B20D15c

### 3.4 ข้อมูลจากการทดลอง

จากการศึกษาทดลองในลักษณะต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมา ข้อมูลจากการทดลองที่ได้นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ส่วน คือ

- 1) ตารางสรุปการทดลองประกอบด้วยข้อมูลลักษณะการทดลองและข้อมูลคลื่นวัดได้จากการทดลอง พารามิเตอร์ของคลื่นที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติและการวิเคราะห์ความถี่ ซึ่งข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณลักษณะคลื่นในน้ำลึก ลักษณะคลื่นบริเวณเขื่อนกันคลื่น และลักษณะคลื่นบริเวณคลื่นแตกตัว โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 3-2 และตัวอย่างตารางสรุปผลแสดงในตารางที่ 3-3
- 2) ลักษณะคลื่นจากการบันทึก เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการบันทึกด้วยคอมพิวเตอร์เป็นข้อมูลเวลาและการเปลี่ยนแปลงระดับผิวน้ำ เมื่อนำมาสร้างกราฟจะได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ณ จุดที่เก็บข้อมูลตามเวลา ซึ่งมีรูปร่างคล้ายรูปร่างของคลื่นที่เกิดขึ้นในแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 3-8 ซึ่งสามารถนำมาคำนวณคาบเวลาและความสูงคลื่นเพื่อตรวจสอบกับค่าที่คำนวณจากโปรแกรมได้
- 3) พลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ข้อมูล การวิเคราะห์ความถี่ข้อมูลคลื่นจะได้รับความสัมพันธ์ของค่าความถี่คลื่นกับความหนาแน่นของพลังงานคลื่นแสดงดังรูปที่ 3-9
- 4) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลอง แสดงแนวชายฝั่งที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จนกระทั่งปรับตัวเข้าสู่สมดุล ความยาวเขื่อนกันคลื่น และตำแหน่งของเขื่อนกันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 3-10
- 5) ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ชายฝั่งตามเวลา ประกอบด้วยข้อมูลรูปร่างชายฝั่งตามช่วงเวลาของการทดลองทั้งหมด 6 ค่า คือ
  - ระยะจากแนวเขื่อนกันคลื่นถึงจุดเว้าต่ำสุด ( $X_a$ )
  - ระยะจากปลายแหลมทรายถึงจุดเว้าต่ำสุด ( $D_a$ )
  - ระยะจากแนวเขื่อนกันคลื่นถึงปลายแหลมทราย ( $X_b$ )
  - ความกว้างฐานแหลมทราย ( $B_a$ )
  - พื้นที่ทับถมหลังเขื่อนกันคลื่น (A)
  - ปริมาตรตะกอนทับถมหลังเขื่อนกันคลื่น (V)

ซึ่งนิยามพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง แสดงดังรูปที่ 3-11

6) การเปลี่ยนแปลงระดับท้องน้ำ แสดงในรูปเส้นชั้นความลึกท้องน้ำ (contour) ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จนกระทั่งปรับตัวเข้าสู่สมดุล ความยาวเขื่อนกันคลื่น และตำแหน่งของเขื่อนกันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 3-12

สรุปผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น นำเสนอในภาคผนวก ค. ง. และ จ. สำหรับกรณีเขื่อนกันคลื่นขนาด 1.0 1.5 และ 2.0 เมตร ตามลำดับ

### 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น

ข้อมูลคลื่นที่ได้จากเครื่องมือวัดความสูงคลื่นประกอบด้วย เวลา และค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งต้องนำข้อมูลนี้มาวิเคราะห์หาค่าความสูงคลื่น และคาบเวลาของคลื่น จากนั้นนำค่าความสูงคลื่นและคาบเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical analysis) และวิเคราะห์ความถี่ (frequency analysis)

การวิเคราะห์ทางสถิติ เป็นการประมาณค่าของข้อมูลตัวอย่างคลื่น ซึ่งในการศึกษามีพารามิเตอร์ทางสถิติในการประมาณค่า ความสูงคลื่น และคาบเวลาของคลื่นที่นิยมใช้ในทางวิศวกรรมชายฝั่ง ดังแสดงในตารางที่ 3-4 เมื่อนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามเวลามาคำนวณหาความสูงคลื่น คาบเวลาของคลื่น และจำนวนคลื่นทั้งหมดของตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ได้ในแบบจำลอง จากนั้นใช้ค่าความสูงคลื่นที่ได้มาคำนวณค่าความสูงคลื่นเฉลี่ย (average wave height,  $\bar{H}$ ) ความสูงคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสอง (root mean squared wave height,  $H_{rms}$ ) และค่าความสูงคลื่นที่มีนัยสำคัญ (significant wave height,  $H_s$ ) พบว่าค่าความสูงคลื่นเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกับค่าความสูงคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสอง ซึ่งน้อยกว่าค่าความสูงคลื่นที่มีนัยสำคัญเล็กน้อย แสดงว่าคลื่นที่สร้างในอ่างคลื่นค่อนข้างสม่ำเสมอ

การวิเคราะห์ความถี่จากข้อมูลความสูงคลื่นและคาบเวลาของคลื่น ทำโดยการนำข้อมูลไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นสเปกตรัมของพลังงานคลื่นที่ความถี่ต่างๆ และสร้างกราฟ density spectral histogram จากกราฟสามารถหาค่าความถี่ของคลื่นได้จากจุดที่มีความหนาแน่นของพลังงาน (spectral energy density) สูงสุด ซึ่งความถี่ที่ได้นี้คือ ส่วนกลับของคาบเวลาคลื่นนั่นเอง เนื่องจากข้อมูลคลื่นจากการทดลองเป็นคลื่นแบบสม่ำเสมอ (regular wave) ดังนั้นจึงมีจุดยอดของกราฟเพียงจุดเดียว สมการที่ใช้คำนวณความหนาแน่นพลังงานคลื่นแสดงในตารางที่ 3-4

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และการวิเคราะห์ความถี่คลื่นพบว่า ค่าของคาบเวลาคลื่นที่ได้จากทั้ง 2 วิธีเท่ากัน สำหรับการวิเคราะห์ค่าความสูงคลื่น และคาบของคลื่น รวมทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นทั้งสองวิธีที่กล่าวมาแล้วใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ซึ่งเขียนโดยอาทิตยา (2540)

ตารางที่ 3-2 รายละเอียดของตารางสรุปข้อมูลการทดลอง

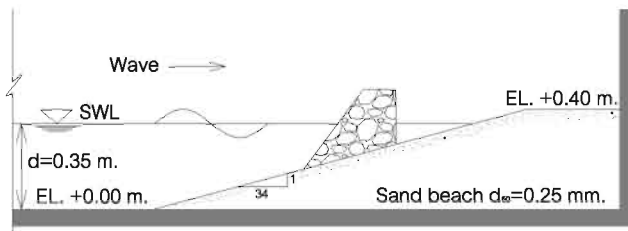
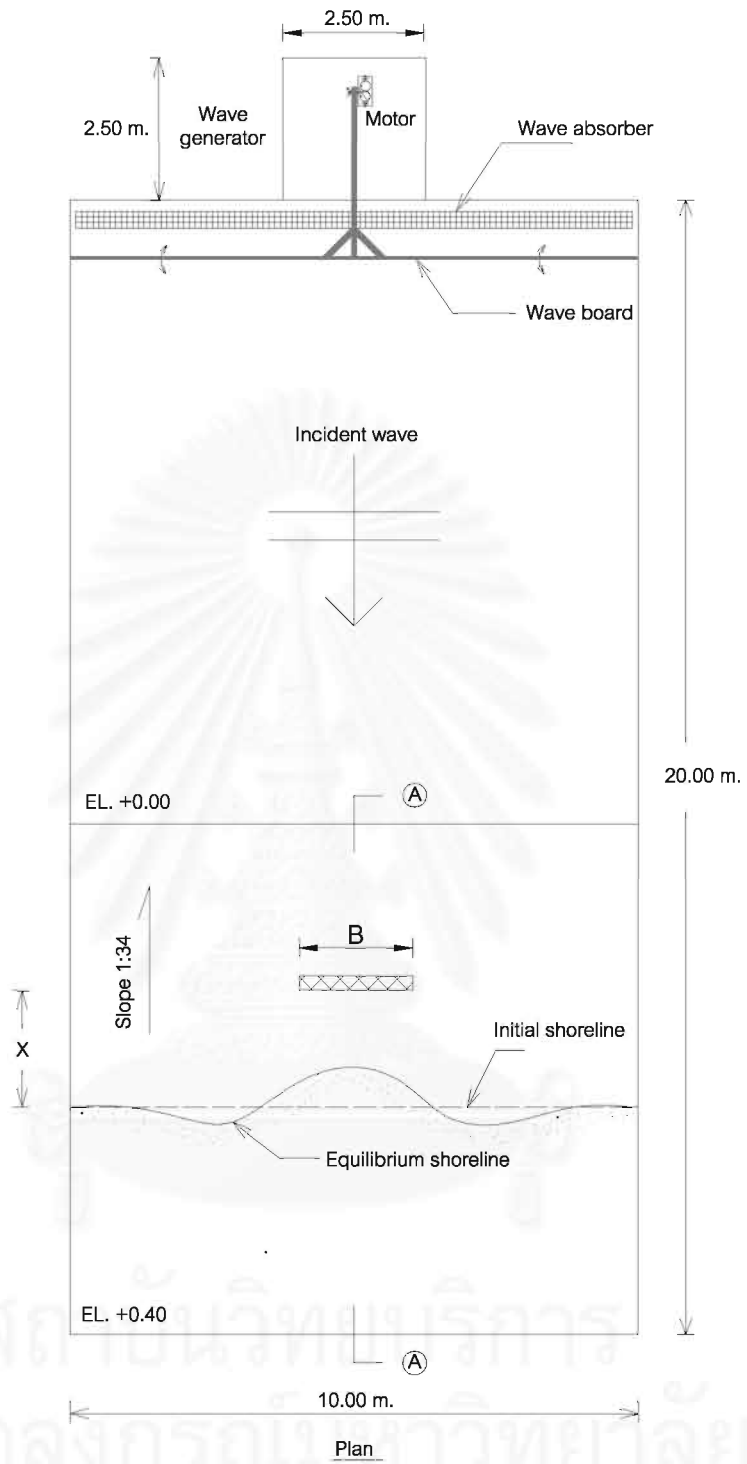
กลุ่มข้อมูล	ชนิดข้อมูล	การคำนวณ
การติดตั้งแบบจำลอง	- ความลึกน้ำในแอ่งคลื่น (m.)	d
	- ความยาวเขื่อนกันคลื่น (m.)	B
	- ระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น (m.)	X
ข้อมูลคลื่น	- เวลาในการบันทึก (s.)	-
	- จำนวนข้อมูลคลื่น	-
ลักษณะคลื่นในแอ่งคลื่น (จากการวัดและคำนวณ)	- ความสูงคลื่นเฉลี่ย (m.)	$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i$
	- ความสูงคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสอง (m.)	$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2}$
	- ความยาวคลื่น (m.)	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$
	- คาบเวลาคลื่น (s.)	$T = T_p$ (spectral analysis)
	- ความถี่คลื่น (Hz)	$f = 1/T$
	- ความเร็วคลื่น (m/s)	$C = L/T$
	- ความชันคลื่น	$H_{rms}/L$
	- พลังงานคลื่น (N-m/m <sup>2</sup> )	$E = \frac{\rho g H_{rms}^2}{8}$
	- กำลังคลื่น (N-m/s/m)	$P = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right] \cdot E \cdot C$
ลักษณะคลื่นน้ำลึก (จากการคำนวณ)	- ความสูงคลื่นน้ำลึก (m.)	$H_0 = \frac{H_{rms}}{K_s}$
	- ความยาวคลื่นน้ำลึก (m.)	$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$
	- ความชันคลื่นน้ำลึก	$H_0/L_0$
ลักษณะคลื่นบริเวณเขื่อนกันคลื่น (จากการวัดและคำนวณ)	- ความลึกน้ำที่เขื่อนกันคลื่น (m.)	$d_{BW}$
	- ความสูงคลื่น (m.)	$H_{BW} = K_s \cdot H_0$
	- ความยาวคลื่น (m.)	$L_{BW} = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d_{BW}}{L_{BW}}\right)$
	- ความชันคลื่น	$H_{BW}/L_{BW}$
	- กำลังคลื่น (N-m/s/m)	$P = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{4\pi d_{BW}/L_{BW}}{\sinh(4\pi d_{BW}/L_{BW})} \right] \cdot E_{BW} \cdot C_{BW}$
การแตกตัวของคลื่น (คำนวณจาก Weggel 1972)	- ความลึกน้ำที่คลื่นแตกตัว (m.)	$d_b$ (สมการที่ 2-13)
	- ความสูงคลื่นแตกตัว (m.)	$H_b$ (รูปที่ 2-7)

ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างตารางสรุปข้อมูลการทดลอง กรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 เมตร

Run No.	B10D05a	B10D05b	B10D05c	B10D10a	B10D10b	B10D10c	B10D15a	B10D15b	B10D15c
<i>Model Setup</i>									
Water depth in wave basin, d(m)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Breakwater length (m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Offshore distance of breakwater (m)	0.60	0.53	0.59	1.05	1.22	1.15	1.50	1.56	1.50
<i>wave at recorder No.1 (d=0.17 m.)</i>									
Time of recorder (sec)	1800	1800	1800	1800	1800	1800	2160	1800	1980
Number of wave data	1978	1621	1440	1978	1621	1440	2373	1621	1584
<i>Statistic Analysis (Time Domain)</i>									
Mean wave height, $\bar{H}$ (m)	0.036	0.032	0.011	0.037	0.031	0.011	0.035	0.019	0.012
Root mean square wave height, $H_{rms}$ (m)	0.036	0.032	0.011	0.037	0.030	0.010	0.035	0.020	0.012
Average wave period, $T_s$ (sec)	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25
Wave length, $L_d$ (m)	1.01	1.30	1.50	1.01	1.30	1.50	1.01	1.30	1.50
Wave celerity, $C_d$ (m/s)	1.11	1.17	1.20	1.11	1.17	1.20	1.11	1.17	1.20
Wave steepness, $H_d/L_d$	0.035	0.025	0.007	0.036	0.023	0.007	0.034	0.015	0.008
Wave energy, $E_d$ (N-m/m <sup>2</sup> )	1.589	1.256	0.148	1.679	1.104	0.123	1.502	0.491	0.177
Energy flux, $P_d$ (N-m/s per m. of wave crest)	0.885	0.737	0.089	0.936	0.648	0.074	0.837	0.288	0.106
<i>Spectral Analysis (Frequency Domain)</i>									
Spectral energy density at fp, g(f)	0.97	0.90	0.71	0.96	0.88	0.75	0.94	0.92	0.92
Peak frequency, $f_p$ (Hz)	1.10	0.90	0.80	1.10	0.90	0.80	1.10	0.90	0.80
Peak spectra period, $T_p$ (sec)	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25
<i>Deep Water (calculated)</i>									
Wave period, T (sec)	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25
Wave height, $H_0$ (m)	0.039	0.034	0.011	0.040	0.032	0.011	0.038	0.020	0.012
Wave length, $L_0$ (m)	1.29	1.93	2.44	1.29	1.93	2.44	1.29	1.93	2.44
Wave steepness, $H_0/L_0$	0.030	0.018	0.004	0.031	0.017	0.004	0.029	0.010	0.005
<i>At Breakwater (calculated)</i>									
Average water depth, $d_{BW}$ (m)	0.068	0.058	0.038	0.085	0.066	0.056	0.075	0.089	0.078
Wave height, $H_{BW}$ (m)	0.040	0.038	0.014	0.039	0.035	0.013	0.038	0.021	0.013
Wave length, $L_{BW}$ (m)	0.70	0.82	0.75	0.77	0.86	0.90	0.73	0.98	1.05
Wave steepness, $H_{BW}/L_{BW}$	0.057	0.047	0.019	0.051	0.041	0.014	0.052	0.021	0.013
Energy flux, $P_{BW}$ (N-m/s per m. of wave crest)	1.335	1.236	0.150	1.420	1.076	0.127	1.275	0.478	0.181
<i>At Breaking (calculated)</i>									
Breaking depth, $d_b$ (m)	0.053	0.051	0.023	0.054	0.048	0.023	0.052	0.033	0.024
Breaking wave height, $H_b$ (m)	0.047	0.047	0.022	0.048	0.044	0.022	0.046	0.031	0.023

ตารางที่ 3-4 พารามิเตอร์คลื่นที่ใช้ในงานวิศวกรรมชายฝั่ง

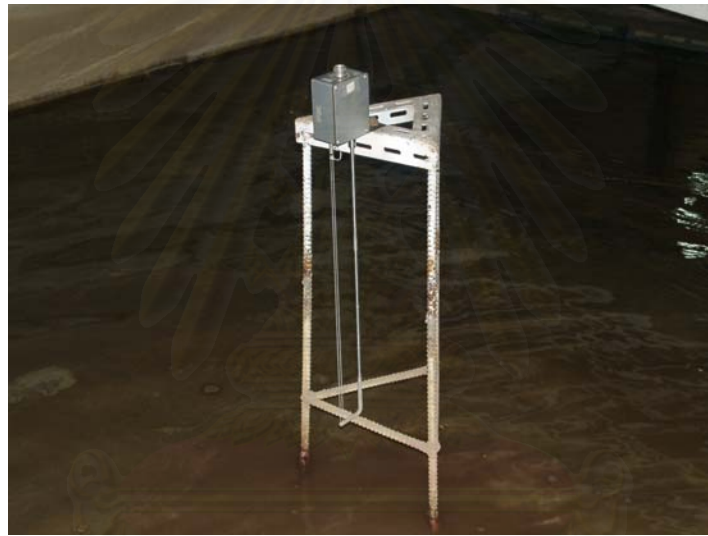
Parameter	Notation	Equation
<u>Statistic wave parameter</u>		
Mean wave height	$\bar{H}$	$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i$ <p><math>H_i</math> = Discrete wave height in a distribution  <math>N</math> = Number of wave height</p>
Root-mean squared wave height	$H_{rms}$	$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2}$
Significant wave height	$H_s, H_{1/3}$	Average of the highest 1/3 of the wave in the record
Mean period	$\bar{T}$	$\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i$ <p><math>T_i</math> = Discrete wave period</p>
<u>Frequency wave parameter</u>		
Spectral energy density	$g(f_n)$	$g(f_n) = \frac{(a_n^2)/2}{\sigma^2}$ <p><math>a_n</math> = Wave amplitude</p>
Spectral variance	$\sigma^2$	$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N a_i^2$



รูปที่ 3-1 แบบจำลองแอ่งคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่น



รูปที่ 3-2 แบบจำลองเขื่อนกันคลื่น

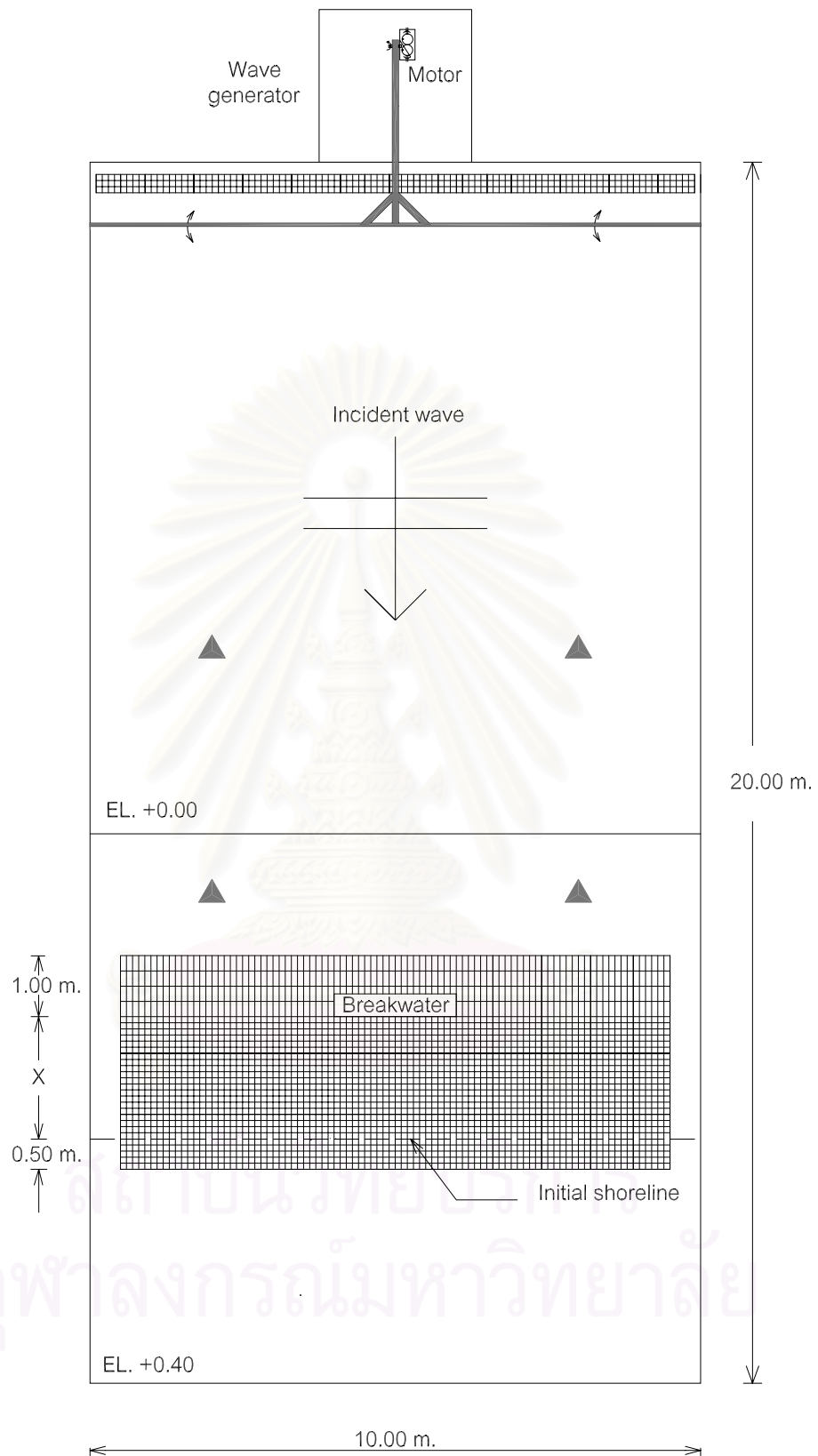


รูปที่ 3-3 เครื่องวัดความสูงคลื่น (Wave height meter)



รูปที่ 3-4 เครื่องวัดระดับท้องน้ำ (Sandy surface meter)

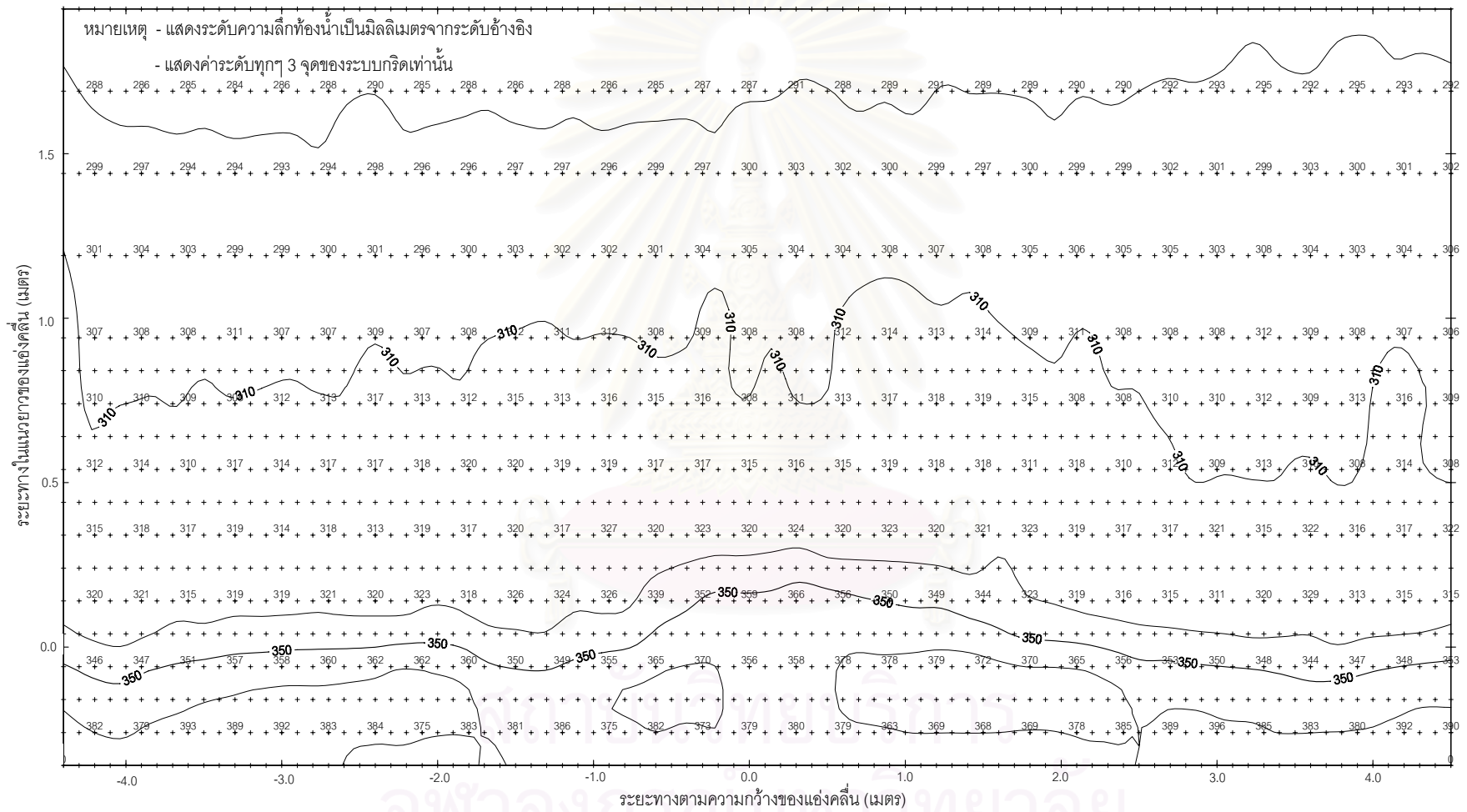




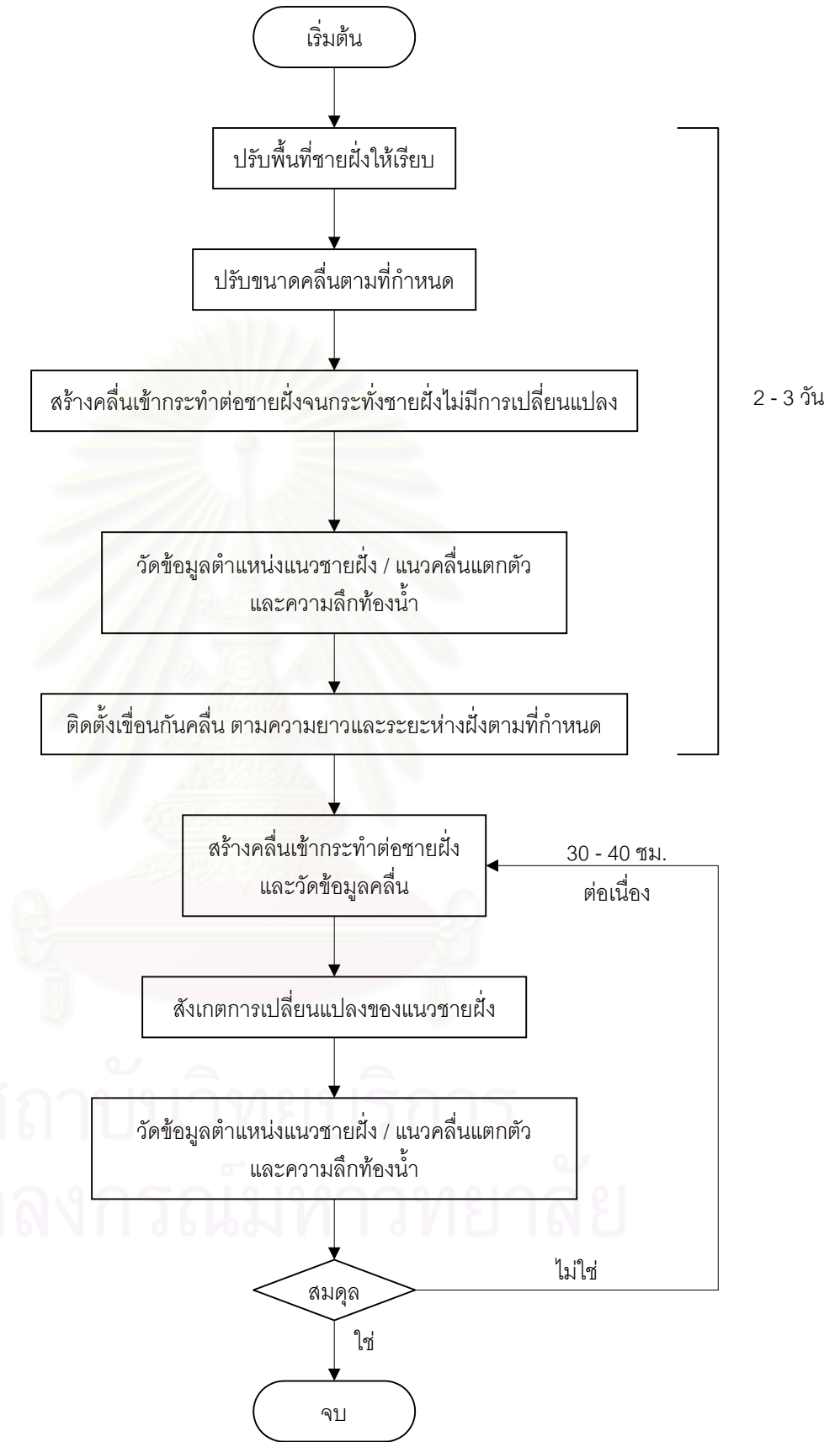
สัญลักษณ์

▲ เครื่องวัดความสูงคลื่น

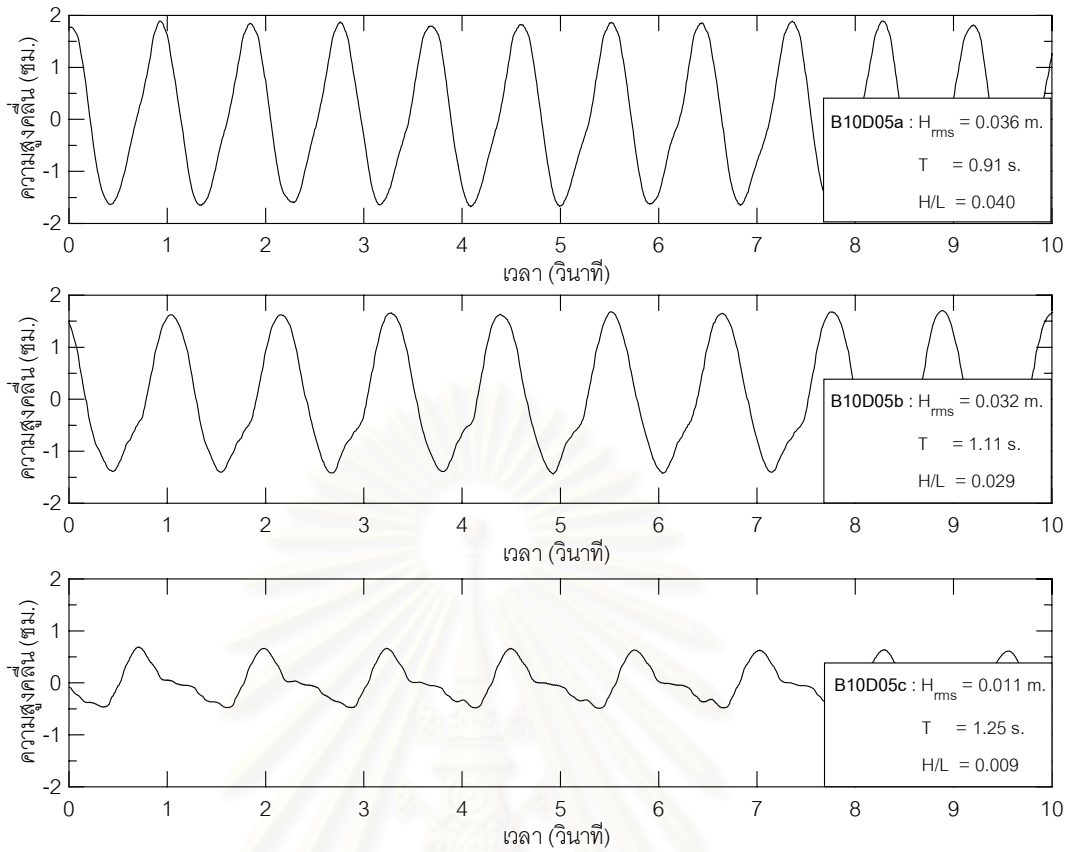
รูปที่ 3-5 ตำแหน่งวัดข้อมูลคลื่นและการแบ่งกริดเพื่อวัดระดับความลึกที่ตื้นน้ำ



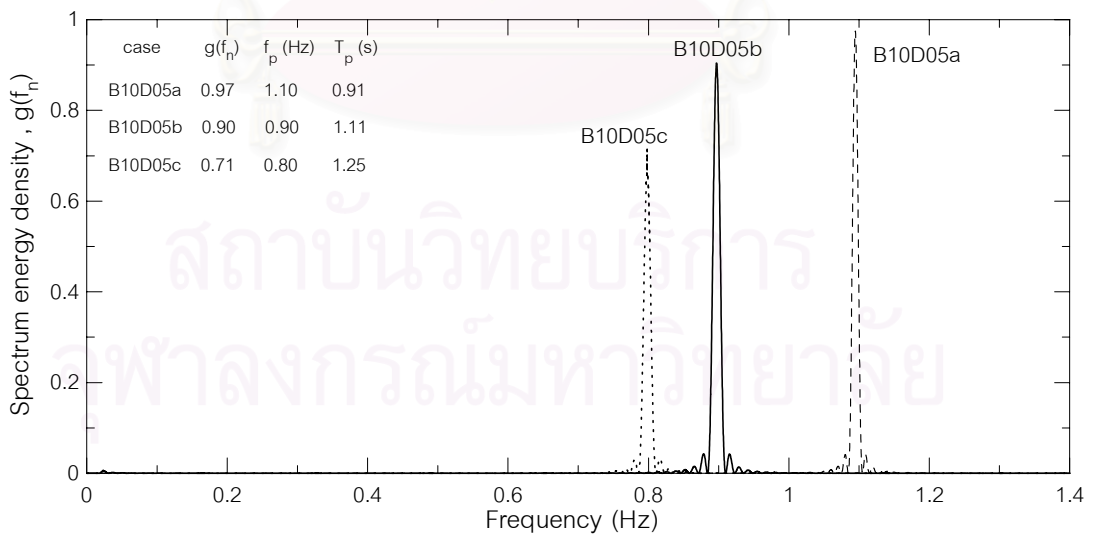
รูปที่ 3-6 การวัดระดับความลึกที่องน้ำ ณ แต่ละจุดกริด และการสร้างเส้นชั้นความลึกที่องน้ำ



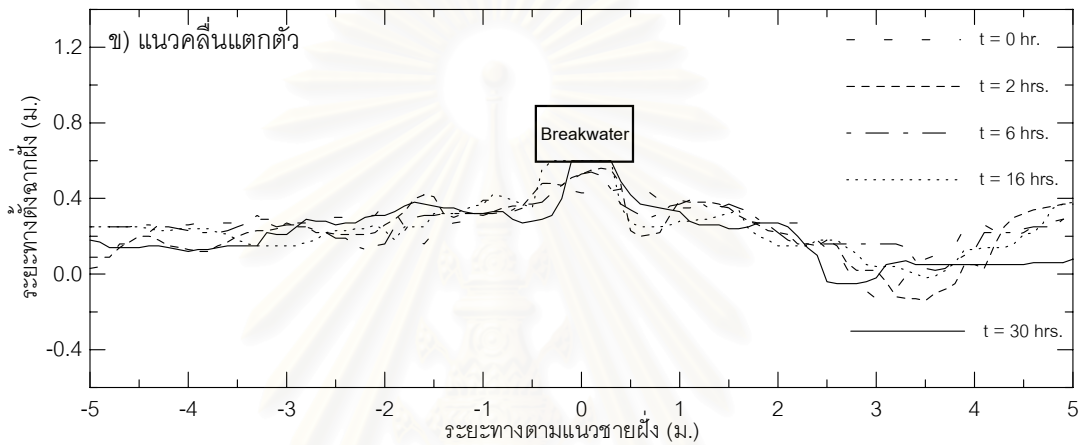
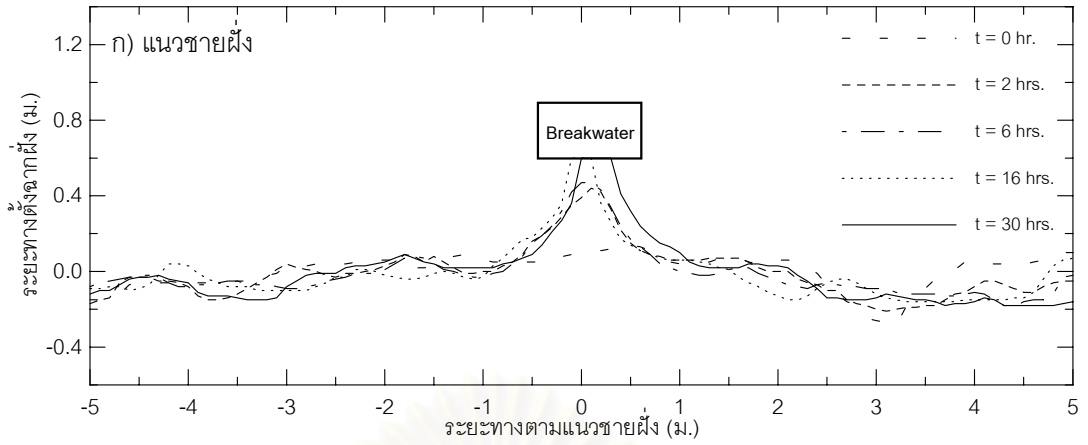
รูปที่ 3-7 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง



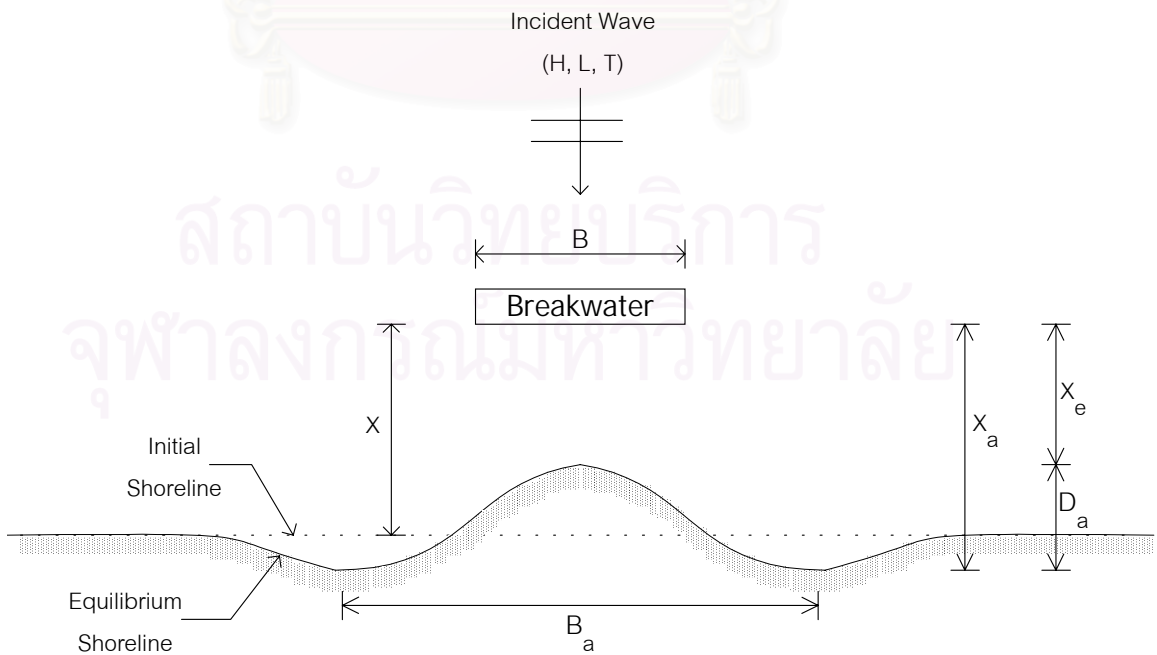
รูปที่ 3-8 ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการบันทึก ชุดการทดลอง B10D05a b และ c



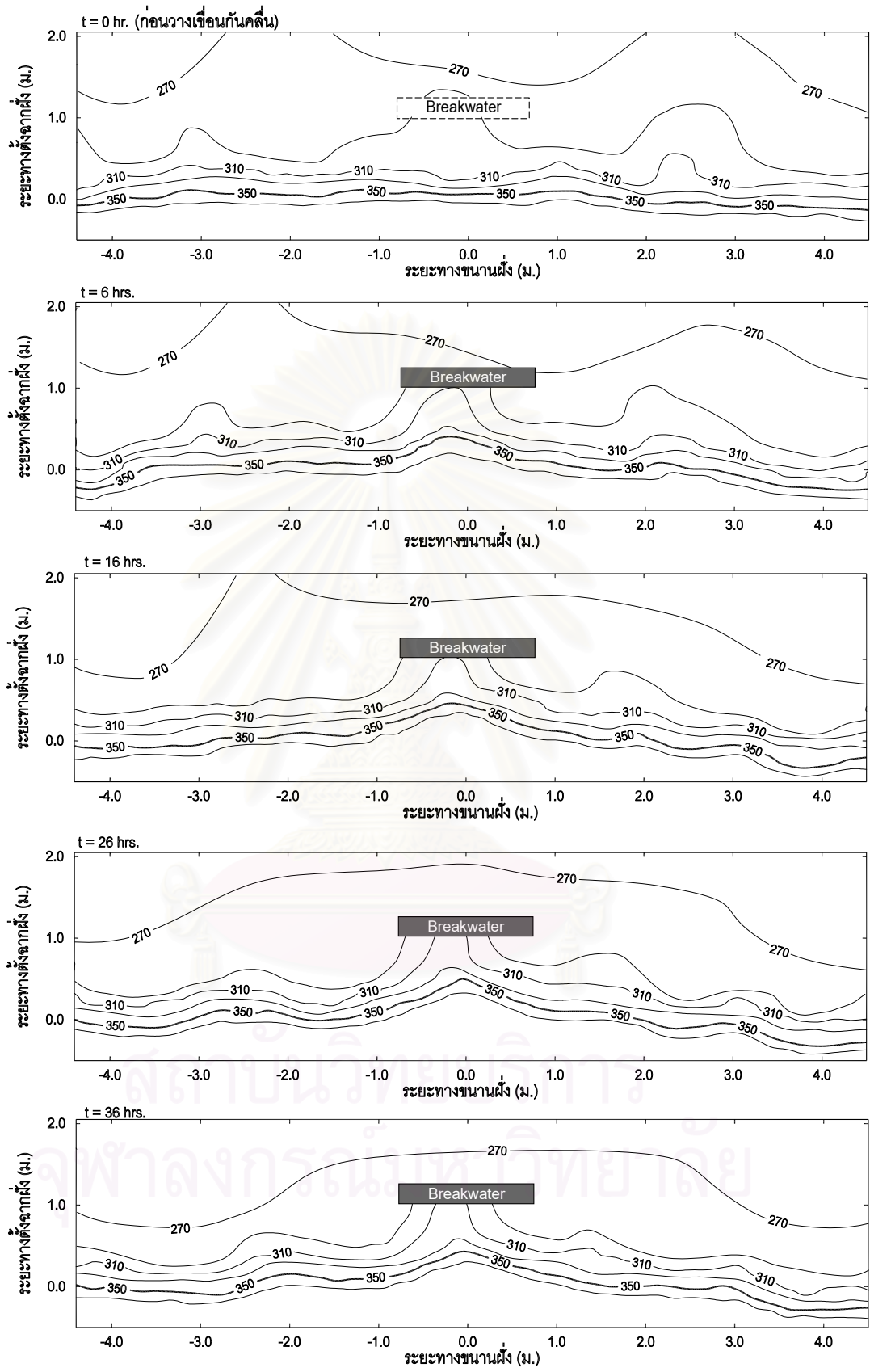
รูปที่ 3-9 ตัวอย่างพลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ ชุดการทดลอง B10D05a b และ c



รูปที่ 3-10 ตัวอย่างแนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัว กรณี B10D05a



รูปที่ 3-11 นิยามพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง



รูปที่ 3-12 ตัวอย่างข้อมูลเส้นชั้นความสูงท่อน้ำ กรณี B15D10a

## บทที่ 4

### การทับถมตะกอนในแบบจำลองชลศาสตร์

เนื้อหาในบทนี้ เกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่น ที่สังเกตได้ในแบบจำลอง ตั้งแต่เริ่มการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งชายฝั่งเข้าสู่สมดุล จากนั้นเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรรูปร่างชายฝั่งสมดุล กับตัวแปรกำหนดแบบจำลองและตัวแปรคลื่น รวมถึงความพยายามในการอธิบายความสัมพันธ์ของการทับถมตะกอนที่เกิดขึ้น ณ เวลาต่าง ๆ แล้วนำผลที่ได้ทั้งหมด สรุปเป็นเกณฑ์หรือแนวทางในการพิจารณาออกแบบเขื่อนกันคลื่น สำหรับงานป้องกันชายฝั่ง

#### 4.1 กระบวนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลอง

จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่นในแบบจำลอง พบว่าการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านเขื่อนกันคลื่น และกระจายตัวเข้าปะทะแนวชายฝั่งในทิศทางทำมุมเอียง ดังแสดงในรูปที่ 4-1ก ทำให้ตะกอนเริ่มเคลื่อนที่ขนานแนวชายฝั่ง เกิดเป็นแหลมทรายยื่นออกจากแนวชายฝั่งที่บริเวณปลายทั้งสองของเขื่อนกันคลื่น ต่อมาตะกอนชายฝั่งที่ถูกแรงกระทำของคลื่นและกระแสน้ำ พัดพาให้เคลื่อนที่ล้อมแหลมทรายเข้าสู่แนวกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่น ขนาดของแหลมทรายจะค่อย ๆ ใหญ่ขึ้น จนแหลมทรายทั้งสองรวมตัวกันกลายเป็นแหลมทรายยอดเดี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 4-1ข และรูปที่ 4-1ค

หลังจากนั้นการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งจะช้าลง ซึ่งส่งผลให้ยอดของแหลมทรายยื่นออกไปอย่างช้า ๆ จนกระทั่งเข้าสู่สมดุล เมื่อแนวสันคลื่น (wave crest) ขนานกับแนวชายฝั่งที่เกิดขึ้น ณ สภาพชายฝั่งสมดุลในแบบจำลองนี้ สังเกตได้ว่าแนวคลื่นแตกตัวที่เกิดขึ้นขนานกับแนวชายฝั่งและทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่เข้า-ออกจากชายฝั่ง (wave runup – rundown) มีทิศทางตั้งฉากกับชายฝั่ง กระบวนการพัฒนารูปร่างชายฝั่งเข้าสู่สมดุล แสดงดังรูปที่ 4-1ง

จากการสังเกตและเปรียบเทียบในแบบจำลอง เมื่อสร้างคลื่นขนาดแตกต่างกันเข้าปะทะชายฝั่ง พบว่าคลื่นขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะให้อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเร็วกว่าคลื่นขนาดเล็ก และใช้เวลาในการพัฒนารูปร่างชายฝั่งจนเข้าสู่สมดุลน้อยกว่าคลื่นขนาดเล็กด้วย

## 4.2 รูปร่างชายฝั่งสมดุลง

เมื่อศึกษาเปรียบเทียบรูปร่างชายฝั่งสมดุลงหลังเชื่อมกันคลื่น จากข้อมูลการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลองชลศาสตร์ พบว่ามีประเด็นหลักที่น่าสนใจเพื่อใช้ในการออกแบบเชื่อมกันคลื่นสำหรับงานป้องกันชายฝั่ง 2 ประเด็นคือ การจำแนกชนิดรูปร่างชายฝั่งสมดุลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับตัวแปรรูปร่างชายฝั่งสมดุลง ดังจะกล่าวต่อไปนี้

### 4.2.1 การจำแนกชนิดรูปร่างชายฝั่งสมดุลง

เมื่อเปรียบเทียบรูปร่างชายฝั่งสมดุลงของแต่ละกรณีทดลอง พบว่ารูปร่างชายฝั่งสมดุลงในแต่ละกรณีมีความแตกต่างกัน โดยสามารถจำแนกลักษณะรูปร่างชายฝั่งสมดุลงได้เป็น 4 ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4-2 คือ

- 1) แหลมทรายเดี่ยว (single salient, 1S) เป็นหลมทรายยื่นออกจากชายฝั่ง บริเวณแนวกึ่งกลางเชื่อมกันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 4-2 ก
- 2) แหลมทรายยื่นติดกับเชื่อมกันคลื่น (tombolo, T) เป็นหลมทรายยื่นออกจากชายฝั่งไปติดกับเชื่อมกันคลื่นที่บริเวณแนวกึ่งกลางเชื่อมกันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 4-2 ข
- 3) แหลมทรายคู่ (double salient, 2S) เป็นหลมทรายที่มี 2 ยอด ยื่นออกจากชายฝั่ง ดังแสดงในรูปที่ 4-2 ค
- 4) แหลมทรายคู่ยื่นติดกับเชื่อมกันคลื่น (double salient with tombolo, S/T) เป็นหลมทรายคู่ที่มีปลายอย่างน้อย 1 ข้าง ยื่นติดกับเชื่อมกันคลื่น และบริเวณกึ่งกลางเชื่อมกันคลื่น มีลักษณะเป็นแอ่งน้ำนิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4-2 ง

จากพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่สังเกตได้ในแบบจำลอง คาดว่าการเกิดลักษณะรูปร่างชายฝั่งสมดุลงที่แตกต่างกัน น่าจะเป็นผลจากความยาวและตำแหน่งของเชื่อมกันคลื่น รวมทั้งขนาดคลื่นที่เข้าปะทะชายฝั่งด้วย ดังนั้นจึงสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างฝั่งสัมพันธ์ของเชื่อมกันคลื่น (ระยะห่างฝั่งต่อความยาวเชื่อมกันคลื่น  $X/B$ ) และขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) กับรูปร่างชายฝั่งสมดุลงในแต่ละกรณีทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4-3 จากรูปแสดงให้เห็นว่าลักษณะรูปร่างชายฝั่งชนิดต่าง ๆ วางตัวขนานกับแกนขนาดคลื่นน้ำลึก ในช่วงค่าระยะห่างฝั่งสัมพันธ์ของเชื่อมกันคลื่นที่ต่างกัน มีเพียง 2 กรณีที่ชายฝั่งสมดุลงไม่อยู่ในช่วงของรูปร่างแบบเดียวกัน ดังนั้นจึงสรุปว่ารูปร่างชายฝั่งสมดุลงหลังเชื่อมกันคลื่นไม่ขึ้นกับขนาดคลื่น แต่ขึ้นอยู่กับ



ระยะห่างฝั่งสัมพัทธ์ของเขื่อนกันคลื่นเท่านั้น และจากความสัมพันธ์นี้ สามารถสร้างเป็นเกณฑ์ กำหนดลักษณะรูปร่างชายฝั่งสมดุลงี้ได้ดังนี้

รูปร่างชายฝั่งชนิด 1S	เกิดเมื่อ $X/B > 0.62$
รูปร่างชายฝั่งชนิด T	เกิดในช่วง $0.52 < X/B < 0.62$
รูปร่างชายฝั่งชนิด 2S	เกิดในช่วง $0.30 < X/B < 0.52$
รูปร่างชายฝั่งชนิด S/T	เกิดเมื่อ $X/B < 0.30$

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเกณฑ์กำหนดรูปร่างชายฝั่งที่ได้ กับผลการศึกษาของผู้ศึกษาอื่น (ในหัวข้อ 2.4.3) ที่สรุปว่ารูปร่างชายฝั่งแบบแหลมทรายเดี่ยว เกิดเมื่อความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น ( $B/X$ ) น้อยกว่า 0.4 – 1.5 และรูปร่างชายฝั่งแบบแหลมทรายยื่นติดกับเขื่อนกันคลื่นเกิดเมื่อ  $B/X$  มากกว่า 1 – 2 ส่วนผลการศึกษานี้สรุปว่ารูปร่างแบบแหลมทรายเดี่ยวเกิดเมื่อ  $B/X$  น้อยกว่า 1.6 ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาอื่น ๆ ส่วนรูปร่างชายฝั่งแบบแหลมทรายยื่นติดกับเขื่อนกันคลื่นเกิดเมื่อ  $B/X$  มากกว่า 1.6 ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับผลการศึกษาของผู้ศึกษาอื่น

จากผลศึกษาที่ได้ พบว่าการเกิดรูปร่างชายฝั่งสมดุลงี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างฝั่งสัมพัทธ์ของเขื่อนกันคลื่น ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่อเขื่อนกันคลื่นอยู่ห่างแนวชายฝั่งมาก ( $X/B > 0.62$ ) กระบวนการเกิดรูปร่างชายฝั่งเป็นไปอย่างสมบูรณธ์ ทำให้เกิดรูปร่างชายฝั่งสมดุลงี้แบบแหลมทรายเดี่ยว (1S) และเมื่อเขื่อนกันคลื่นอยู่ใกล้แนวชายฝั่งมากขึ้นถึงระยะหนึ่ง ( $X/B \approx 0.52-0.62$ ) ปลายแหลมทรายจะยื่นถึงเขื่อนกันคลื่นพอดี เกิดเป็นรูปร่างชายฝั่งสมดุลงี้แบบแหลมทรายยื่นติดเขื่อนกันคลื่น (T) แต่เมื่อเขื่อนกันคลื่นอยู่ใกล้แนวชายฝั่งมากกว่าระยะ  $X/B \approx 0.52$  แหลมทรายยื่นบริเวณปลายทั้งสองของเขื่อนกันคลื่น ซึ่งเกิดในช่วงแรกของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง จะขัดขวางการเคลื่อนที่ของคลื่น ทำให้เกิดการกระจายของคลื่นเมื่อเคลื่อนผ่านปลายแหลมทราย ส่งผลให้ขนาดคลื่นเล็กลงจนไม่สามารถพัดพาตะกอนเข้าสู่แนวกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่นได้ทั้งหมด เกิดเป็นรูปร่างชายฝั่งสมดุลงี้แบบแหลมทรายยอดคู้ (2S) และเมื่อเขื่อนกันคลื่นอยู่ใกล้แนวชายฝั่งมาก ( $X/B < 0.3$ ) การเกิดแหลมทรายยื่นบริเวณปลายทั้งสองของเขื่อนกันคลื่นในช่วงแรก นอกจากจะขวางการเคลื่อนที่ของคลื่นแล้ว ยังพัฒนาต่อจนยื่นติดกับเขื่อนกันคลื่นอีกด้วย ทำให้ไม่มีการพัดพาตะกอนเข้าสู่แนวกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่นอีก และเกิดรูปร่างชายฝั่งสมดุลงี้แบบแหลมทรายคู้ยื่นติดเขื่อนกันคลื่น (S/T)

#### 4.2.2 ตัวแปรรูปร่างชายฝั่งสมดุค

นอกจากชนิดของชายฝั่งสมดุคที่แตกต่างกันแล้ว เมื่อพิจารณารูปร่างชายฝั่งสมดุคในแต่ละกรณีทดลอง พบว่ายังมีความแตกต่างของตัวแปรรูปร่างชายฝั่งสมดุคอื่นที่น่าสนใจ ซึ่งได้แก่ ระยะยื่นของแหลมทราย ( $D_a$ ) ระยะจากจุดเว้าต่ำสุดถึงเขื่อนกันคลื่น ( $X_a$ ) ระยะจากปลายแหลมถึงเขื่อนกันคลื่น ( $X_e$ ) และความกว้างฐานของแหลมทราย ( $B_a$ ) ซึ่งความหมายของตัวแปรต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 (รูปที่ 3-10) ดังนั้นในการศึกษานี้ จึงพยายามหาอิทธิพลของตัวแปรคลื่นและตัวแปรกำหนดแบบจำลองที่มีผลต่อตัวแปรรูปร่างชายฝั่งสมดุคดังกล่าว โดยการนำข้อมูลการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

ระยะยื่นของแหลมทราย ( $D_a$ ) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึก ( $X/L_0$ ) กับระยะยื่นของแหลมทรายต่อระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น ( $D_a/X$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4-4 ซึ่งแสดงว่า เมื่อสัดส่วน  $X/L_0$  มากขึ้น ทำให้  $D_a/X$  ลดลง และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) พบว่าคลื่นขนาดใหญ่ มีแนวโน้มทำให้ระยะยื่นต่อระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นเพิ่มตามไปด้วย สรุปได้ว่ากลุ่มตัวแปรทั้ง 2 มีผลต่อระยะยื่นของแหลมทราย

ระยะจากจุดเว้าต่ำสุดถึงเขื่อนกันคลื่น ( $X_a$ ) จากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) กับ ระยะจากจุดเว้าต่ำสุดถึงเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึก ( $X_a/L_0$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4-5 พบว่า  $X_a/L_0$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดคลื่น

ระยะห่างจากปลายแหลมทรายถึงเขื่อนกันคลื่น ( $X_e$ ) จากความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างฝั่งต่อความยาวเขื่อนกันคลื่น ( $X/B$ ) กับระยะห่างจากปลายแหลมถึงเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างฝั่ง ( $X_e/X$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4-6 จากรูปพบว่า  $X_e/X$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม  $X/B$  แต่เมื่อ  $X/B$  มีค่ามากขึ้น อัตราการเพิ่มของ  $X_e/X$  จะลดต่ำลง

ความกว้างฐานของแหลมทราย ( $B_a$ ) จากความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึก ( $B/L_0$ ) กับความกว้างฐานของแหลมทรายต่อความยาวเขื่อนกันคลื่น ( $B_a/B$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4-7 พบว่า เมื่อความยาวเขื่อนกันคลื่นเพิ่มขึ้น จะทำให้สัดส่วนของ  $B_a/B$  ลดลงสำหรับขนาดคลื่นคงที่ค่าหนึ่ง แต่เมื่อขนาดคลื่นเพิ่มขึ้น สัดส่วนของ  $B_a/B$  ก็เพิ่มขึ้นด้วย

#### 4.3 การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งและพื้นที่ทับถม

ในการศึกษาค้างนี้มีจุดประสงค์หลัก ในการศึกษาอัตราทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่นที่เวลาต่าง ๆ และศึกษาอิทธิพลของตัวแปรลักษณะคลื่นและตัวแปรกำหนดแบบจำลอง ที่มีต่อการ

ทับถมตะกอน โดยศึกษาจากตัวแปรรูปร่างชายฝั่ง 2 ชนิด คือ พื้นที่ตะกอนทับถมหลังเชื่อมกันคลื่น (A) และปริมาตรตะกอนทับถมหลังเชื่อมกันคลื่น (V) ซึ่งนิยามพื้นที่ทับถมตะกอนหลังเชื่อมกันคลื่นคือ พื้นที่เหนือระดับน้ำนิ่งของชายฝั่ง ณ เวลาใด ๆ ที่ยื่นจากแนวชายฝั่งเริ่มต้น และอยู่ระหว่างจุดเว้าต่ำสุดของแนวชายฝั่ง ส่วนปริมาตรตะกอนทับถมหลังเชื่อมกันคลื่นคือ ปริมาตรตะกอนที่อยู่เหนือระดับท้องน้ำของชายฝั่งเริ่มต้นในพื้นที่หลังเชื่อมกันคลื่น และอยู่ระหว่างแนวจุดเว้าต่ำสุดถึงแนวเชื่อมกันคลื่น

ในการนำผลการศึกษาที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบจริง ต้องอาศัยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตามวิธีตัวแปรไร้หน่วย เพื่อที่จะสามารถนำไปวิเคราะห์หาขนาดมิติต่าง ๆ ในสภาพจริงได้ ดังนั้นการศึกษาพื้นที่ตะกอนทับถมหลังเชื่อมกันคลื่น จะศึกษาจากตัวแปรพื้นที่ทับถมต่อพื้นที่อับคลื่น (A/BX) ส่วนปริมาตรทับถมตะกอนหลังเชื่อมกันคลื่น จะศึกษาจากตัวแปรปริมาตรตะกอนทับถมต่อปริมาตรปริซึมในพื้นที่อับคลื่น ( $V/BXd_{BW}$ ) ส่วนเวลาของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง จะศึกษาจากตัวแปรเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งต่อคาบคลื่น (t/T)

สำหรับการศึกษาพื้นที่ตะกอนทับถมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลานี้ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรพื้นที่ตะกอนทับถม กับกลุ่มตัวแปรเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของแต่ละกรณีทดลอง ตามความสัมพันธ์ทางกายภาพและข้อมูลจากการทดลอง พบว่าความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรทั้งสองอยู่ในรูปสมการ

$$\frac{A}{BX} = m(1 - \exp(-n(t/T))) \quad (4-1)$$

เมื่อ m และ n เป็นพารามิเตอร์ของสมการที่ผันแปรตามกรณีทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4-8 และจากการศึกษารูปแบบสมการพบว่า พารามิเตอร์ m มีความหมายทางกายภาพ คือ พื้นที่ตะกอนทับถมต่อพื้นที่อับคลื่น ณ สภาพชายฝั่งสมดุล ซึ่งในทางอุดมคติ ค่านี้จะต้องเป็นอัตราส่วนพื้นที่ตะกอนทับถมต่อพื้นที่อับคลื่นที่มากที่สุดสำหรับสภาพการณ์หนึ่ง ที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งผ่านไปนานมาก ส่วนพารามิเตอร์ n คือ อัตราเร่งของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทับถมตะกอน และเมื่อใช้รูปแบบสมการ 4-1 แทนความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ตะกอนทับถมกับเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ดังนั้นการศึกษาในส่วนนี้จึงเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ m และ n เนื่องจากความผันแปรของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละกรณีทดลองที่ใช้ในการศึกษา มี 2 วิธี คือ การประมาณโดยวิธี Iteration algorithm และการประมาณจากการกำหนดอัตราส่วนพื้นที่ทับถมต่อพื้นที่อับคลื่น ณ สมดุล



Iteration algorithm เป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์  $m$  และ  $n$  ที่ทำให้ผลบวกของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (sum square of error) มีค่าต่ำสุด ส่วนการประมาณค่าพารามิเตอร์จากการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ที่ทับถมต่อพื้นที่อับคลื่น ณ สมดุล เกิดจากแนวคิดที่ว่าพื้นที่ตะกอนทับถมหลังเชื่อมกันคลื่นต่อพื้นที่อับคลื่น ( $A/BX$ ) ที่มีค่ามากที่สุด จากการทดลองแต่ละกรณี น่าจะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่า  $A/BX$  ณ สภาพสมดุลของชายฝั่งมาก ดังนั้นจึงกำหนดให้  $A/BX$  ที่มีค่ามากที่สุดจากการทดลอง หรือ  $(A/BX)_{\max}$  มีค่าเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ของค่า  $A/BX$  ณ สมดุล ซึ่งทำให้สามารถหาค่าพารามิเตอร์  $m$  ได้จากสมการ

$$m = 1.1 \left( \frac{A}{BX} \right)_{\max} \quad (4-2)$$

จากนั้นแปลงรูปสมการ 4-1 ให้อยู่ในรูปเชิงเส้น โดยการใช้ฟังก์ชันลอการิทึม (logarithm) ดังนั้นจะได้

$$\ln \left( 1 - \frac{A}{BX} / m \right) = -n \left( \frac{t}{T} \right) \quad (4-3)$$

จากการแทนค่าพารามิเตอร์  $m$  ในสมการ 4-3 ทำให้สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์  $n$  ของแต่ละช่วงเวลาได้ และใช้ค่า  $n$  เฉลี่ยของทุกช่วงเวลาในแต่ละกรณีทดลอง เป็นตัวแทนของค่า  $n$  สำหรับกรณีทดลองนั้น ซึ่งสามารถแสดงการหาพารามิเตอร์  $n$  ในรูปสมการคณิตศาสตร์ได้เป็น

$$n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\ln \left( 1 - \frac{A_i}{BX} / m \right)}{t_i / T} \right] \quad (4-4)$$

เมื่อ  $N$  เป็นจำนวนข้อมูลในแต่ละกรณีทดลอง

ค่าพารามิเตอร์  $m$  และ  $n$  ที่ประมาณโดยวิธีการทั้งสอง สำหรับแต่ละกรณีทดลอง แสดงดังตารางที่ 4-1 ส่วนการสร้างเส้นฟังก์ชันเปรียบเทียบกับจุดข้อมูลโดยใช้ค่าของ  $m$  และ  $n$  จากวิธีทั้งสองแสดงในรูปที่ 4-8 และ 4-9

เมื่อเปรียบเทียบค่า  $m$  และ  $n$  ที่ได้จากวิธีการทั้งสองพบว่า ค่าที่ประมาณได้จากทั้งสองวิธี มีค่าใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ แต่มีบางกรณีที่มีการประมาณโดยวิธี Iteration algorithm ให้ค่า  $m$  ที่สูงมาก ตัวอย่างเช่น กรณี B10D05c (low wave -  $H_0/L_0 = 0.004$ ) ซึ่งมีค่า  $m$  เท่ากับ 4.56

ตะกอนหลังเชื่อมกันคลื่น ณ สภาพสมดุลง่ายฝั่ง มีขนาดเป็น 4.56  
เท่าของพื้นที่อัปคลื่น ซึ่งไม่น่าจะถูกต้องตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติ

เมื่อเปรียบเทียบเส้นฟังก์ชันกับจุดข้อมูลจากการทดลอง โดยใช้ค่า  $m$  และ  $n$  จากทั้งสอง  
วิธี พบว่าเส้นฟังก์ชันที่สร้างจากค่า  $m$  และ  $n$  โดยวิธี Iteration algorithm ใกล้เคียงกับจุดข้อมูล  
แต่เส้นฟังก์ชันที่สร้างจากค่า  $m$  และ  $n$  โดยวิธีกำหนดสัดส่วนพื้นที่ทับถมต่อพื้นที่อัปคลื่น ณ  
สมดุลง ในบางกรณีอยู่ต่ำกว่าจุดข้อมูลเล็กน้อย ตัวอย่างเช่นกรณี B15D05c ซึ่งเกิดจากการ  
กำหนดค่าสัดส่วนพื้นที่ทับถมต่อพื้นที่อัปคลื่น ณ สมดุล อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น  
นี้ เป็นความคลาดเคลื่อนของกรณีทดลองส่วนน้อย และมีความแตกต่างกับจุดข้อมูลของการ  
ทดลองเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นต่อไป จึงเลือกใช้ค่า  $m$  และ  $n$  จากวิธีการ  
ประมาณค่าโดยกำหนดสัดส่วนพื้นที่ทับถมต่อพื้นที่อัปคลื่น ณ สมดุล

เมื่อประมาณค่าพารามิเตอร์  $m$  และ  $n$  ที่เป็นตัวแทนของจุดข้อมูลได้แล้ว ต่อมาเป็นการ  
หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรคลื่นและตัวแปรกำหนดแบบจำลองที่มีอิทธิพลต่อพารามิเตอร์  $m$   
และ  $n$  ซึ่งจากการทดลองหาความสัมพันธ์ที่น่าจะมีอิทธิพลต่อพารามิเตอร์ ดังแสดงในภาคผนวก  
จ. พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์  $m$  คือขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) และอัตราส่วนระยะ  
ห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึก ( $X/L_0$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4-10 โดยความสัมพันธ์  
ระหว่างอัตราส่วนระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึกกับค่าพารามิเตอร์  $m$  อยู่  
ในรูปสมการลอการิทึม (logarithm equations) ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างขนาดคลื่นน้ำลึกกับค่า  
พารามิเตอร์  $m$  แม้ว่าจะไม่ชัดเจนนัก แต่ก็พอประมาณเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นได้ ดังแสดง  
ในรูปที่ 4-11 ดังนั้นจึงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรโดยการวิเคราะห์ความถดถอย  
เชิงซ้อนแบบเชิงเส้น (multiple linear regression, MR) ได้ โดยกำหนดให้  $\ln(X/L_0)$  และ  $H_0/L_0$   
เป็นตัวแปรอิสระ ส่วนพารามิเตอร์  $m$  เป็นตัวแปรตาม

จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน โดยวิธี stepwise เพื่อวิเคราะห์หาอิทธิพลของตัว  
แปรอิสระคือ ระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_0$ ) และขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) ที่มีต่อตัวแปรตาม  
คือค่าพารามิเตอร์  $m$  พบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์  $m$  มากที่สุดคือ ระยะห่างฝั่งของ  
เขื่อนกันคลื่น ( $X/L_0$ ) ส่วนขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) มีอิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์ในอันดับรองลงมา  
ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ได้ความสัมพันธ์ซึ่งมี  $R^2 = 0.72$  โดยมีผลแสดงในรูปที่ 4-12 หรือ  
แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$m = -0.43 \ln \left( \frac{X}{L_0} \right) + 18.8 \left( \frac{H_0}{L_0} \right) - 0.17 \quad (4-5)$$

สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์  $n$  จากการทดลองหาความสัมพันธ์ที่นำจะมีผลต่อพารามิเตอร์ ดังแสดงในภาคผนวก ฉ. พบว่าขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) มีแนวโน้มทำให้ค่าพารามิเตอร์  $n$  สูงขึ้น แต่ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ ( $R^2 = 0.45$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4-13 โดยมีความสัมพันธ์อยู่ในรูปสมการเอ็กซ์โปเนนเชียล (exponential equations) ดังแสดง

$$n = 1.2 \times 10^{-5} \exp \left[ 33.4 \left( \frac{H_0}{L_0} \right) \right] \quad (4-6)$$

จากการแทนค่าข้อมูล  $X/L_0$  และ  $H_0/L_0$  ของการทดลองลงในสมการ 4-5 และ 4-6 จะได้ค่าพารามิเตอร์  $m$  และ  $n$  แล้วใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้นี้ประมาณค่า  $A/BX$  โดยใช้สมการที่ 4-1 จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $A/BX$  จากการทดลองกับ  $A/BX$  จากการคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 4-14 พบว่าความสัมพันธ์ของค่า  $A/BX$  เป็นเส้นตรงทำมุม  $45^\circ$  กับแกน  $X$  ซึ่งหมายถึงค่าที่ได้จากการคำนวณมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง

#### 4.4 อัตราการทับถมของปริมาตรตะกอน

การศึกษาในส่วนนี้ เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตะกอนทับถม ตามเวลาของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว โดยศึกษาจากปริมาตรตะกอนทับถมหลังเขื่อนกันคลื่น ในรูปกลุ่มตัวแปรไร้หน่วยของปริมาตรตะกอนทับถมต่อปริมาตรปริซึมในพื้นที่อับคลื่น ( $V/BXd_{BW}$ ) ซึ่งขั้นตอนการศึกษาและวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่นตามเวลาดังที่กล่าวมาแล้ว โดยเริ่มจากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปร  $V/BXd_{BW}$  กับเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของแต่ละกรณีทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4-15 พบว่าความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรทั้งสองอยู่ในรูปสมการ

$$\frac{V}{BX d_{BW}} = M(1 - \exp(-N(t/T))) \quad (4-7)$$

เมื่อ  $M$  และ  $N$  เป็นพารามิเตอร์ของสมการที่ผันแปรตามกรณีทดลอง โดยพารามิเตอร์  $M$  มีความหมายทางกายภาพ คือ ปริมาตรตะกอนทับถมต่อปริมาตรปริซึมในพื้นที่อับคลื่น ณ สภาพสมดุลของชายฝั่ง ส่วนพารามิเตอร์  $N$  คือ อัตราเร่งของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตะกอนทับถมซึ่งวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์  $M$  และ  $N$  ของแต่ละกรณีทดลองใช้วิธีเช่นเดียวกับการวิเคราะห์พื้นที่ทับถม คือวิธี Iteration algorithm และการประมาณโดยกำหนดสัดส่วนปริมาตรทับถมต่อปริมาตร

ปริซึมในพื้นที่อัปคลีน ณ สมดุล ซึ่งกำหนดให้  $V/BXd_{BW}$  ที่มากที่สุดจากการทดลองหรือ  $(V/BXd_{BW})_{max}$  มีค่าเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ของค่า ณ สมดุล ซึ่งทำให้สามารถหาค่า  $M$  ได้จากสมการ

$$M = 1.1 \left( \frac{V}{BXd_{BW}} \right)_{max} \quad (4-8)$$

และสามารถหาค่าพารามิเตอร์  $N$  ได้จาก

$$N = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left[ \frac{\ln \left( 1 - \frac{V_i}{BXd_{BW} / M} \right)}{t_i / T} \right] \quad (4-9)$$

เมื่อ  $k$  เป็นจำนวนข้อมูลในแต่ละกรณีทดลอง

ค่าพารามิเตอร์  $M$  และ  $N$  ที่ประมาณโดยวิธีการทั้งสองสำหรับแต่ละกรณีทดลอง แสดงดังตารางที่ 4-2 ส่วนการเปรียบเทียบเส้นฟังก์ชันโดยใช้ค่า  $M$  และ  $N$  ที่ประมาณจากทั้งสองวิธีกับข้อมูลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4-15 และ 4-16

จากการเปรียบเทียบค่า  $M$  และ  $N$  จากวิธีทั้งสอง พบว่าค่าที่ได้จากการประมาณทั้งสองวิธีส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน แต่มีบางกรณีที่มีการประมาณโดยวิธี Iteration algorithm ให้ค่า  $M$  ที่สูงมาก เช่นกรณี B10D05c (low wave -  $H_0/L_0 = 0.004$ ) ซึ่งมีค่า  $M$  เท่ากับ 1.88 หมายความว่าตะกอนทับถม ณ สภาพชายฝั่งสมดุลมีปริมาตรเป็น 1.88 เท่าของปริมาตรปริซึมหลังเขื่อนกันคลื่น ซึ่งไม่น่าจะถูกต้องตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติ

ส่วนการเปรียบเทียบเส้นฟังก์ชันกับจุดข้อมูลจากการทดลอง โดยใช้ค่า  $M$  และ  $N$  จากทั้งสองวิธี พบว่าเส้นฟังก์ชันที่สร้างจากค่า  $M$  และ  $N$  โดยวิธี Iteration algorithm ใกล้เคียงกับจุดข้อมูล แต่เมื่อใช้ค่า  $M$  และ  $N$  จากการกำหนดสัดส่วนปริมาตรตะกอนทับถมต่อปริมาตรปริซึมในพื้นที่อัปคลีน ณ สมดุล พบว่าในบางกรณีเส้นฟังก์ชันที่สร้างขึ้นจะอยู่ต่ำกว่าจุดข้อมูลเล็กน้อย ตัวอย่างเช่นกรณี B10D05c ซึ่งเกิดจากการบังคับค่าสัดส่วนปริมาตรตะกอนทับถมต่อปริมาตรปริซึมในพื้นที่อัปคลีน ณ สมดุล อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้เป็นความคลาดเคลื่อนของกรณีทดลองส่วนน้อย และมีความแตกต่างกับจุดข้อมูลจากการทดลองเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลจึงเลือกใช้ค่า  $M$  และ  $N$  จากวิธีการประมาณโดยกำหนดปริมาตรตะกอนต่อปริมาตรปริซึมในพื้นที่อัปคลีน ณ สมดุล เป็นตัวแทนของจุดข้อมูล

เมื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อพารามิเตอร์ M และ N โดยการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่น่าจะส่งผลต่อพารามิเตอร์ดังแสดงในภาคผนวก จ. พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์ M คือขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) และอัตราส่วนระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นต่อความสูงคลื่นน้ำลึก ( $X/H_0$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4-17 โดยความสัมพันธ์ระหว่าง  $X/H_0$  กับค่าพารามิเตอร์ M อยู่ในรูปสมการเอ็กซ์โปเนนเชียล ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างขนาดคลื่นน้ำลึกกับค่าพารามิเตอร์ M พอประมาณเป็นสมการเอ็กซ์โปเนนเชียลได้ดังรูปที่ 4-18 ซึ่งสามารถแปลงเป็นความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นของตัวแปร ( $H_0/L_0$ ) และ  $\ln(M)$  ดังแสดงในรูปที่ 4-19 ดังนั้นจึงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรโดยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเชิงเส้นได้ โดยกำหนดให้  $X/H_0$  และ  $H_0/L_0$  เป็นตัวแปรอิสระ ส่วนค่า  $\ln(M)$  เป็นตัวแปรตาม

จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนโดยวิธี stepwise พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์ M มากที่สุดคือ ตัวแปรระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นต่อความสูงคลื่นน้ำลึก ( $X/H_0$ ) ส่วนขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) มีอิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์รองลงมา ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ได้ความสัมพันธ์ซึ่งมี  $R^2 = 0.74$  โดยมีผลแสดงในรูปที่ 4-20 หรือแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\ln(M) = -0.023 \left( \frac{X}{H_0} \right) - 32.9 \left( \frac{H_0}{L_0} \right) + 0.541 \quad (4-10)$$

สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ N จากการทดลองหาความสัมพันธ์ที่น่าจะมีผลต่อพารามิเตอร์ ดังแสดงในภาคผนวก จ. พบว่าขนาดของคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) ที่ใหญ่ขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่าพารามิเตอร์ N สูงขึ้นด้วย แต่ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ( $R^2 = 0.32$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4-21 โดยมีความสัมพันธ์อยู่ในรูปสมการเอ็กซ์โปเนนเชียล ดังแสดง

$$N = 1.4 \times 10^{-5} \exp \left[ 28.0 \left( \frac{H_0}{L_0} \right) \right] \quad (4-11)$$

จากการแทนค่าข้อมูล  $X/H_0$  และ  $H_0/L_0$  ของการทดลองลงในสมการ 4-10 และ 4-11 จะได้ค่าพารามิเตอร์ M และ N แล้วใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้นี้ประมาณค่า  $V/BXd_{BW}$  โดยใช้สมการที่ 4-7 จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $V/BXd_{BW}$  จากการทดลองกับ  $V/BXd_{BW}$  จากการคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 4-22 พบว่าความสัมพันธ์ของค่า  $V/BXd_{BW}$  เป็นเส้นตรงทำมุม  $45^\circ$  กับแกน X แต่จุดข้อมูลค่อนข้างกระจายตัว ซึ่งหมายถึงค่าที่ได้จากการคำนวณมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองพอประมาณเท่านั้น



#### 4.5 การทดลองใช้แบบจำลอง GENESIS

การศึกษาในส่วนนี้ เป็นการทดลองประยุกต์ใช้แบบจำลอง GENESIS ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ พัฒนาโดย USACE-Coastal Engineering Research Center (US.CERC. 1991) เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่นเดี่ยว วางตัวขนานกับแนวชายฝั่ง และมีคลื่นขนาดต่างๆ เข้าปะทะในทิศทางตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง สภาพคลื่นและคุณสมบัติทางกายภาพของชายฝั่งอยู่ในลักษณะเดียวกับแบบจำลองชลศาสตร์ โดยการทดลองจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งนี้ ใช้มาตราส่วนของแบบจำลองชลศาสตร์ รายละเอียดของการจำลองและผลลัพธ์จากการจำลอง แสดงในภาคผนวก ข

ผลการประยุกต์ใช้ GENESIS กับกรณีแบบจำลองนี้ แสดงให้เห็นว่ารูปร่างชายฝั่งที่ได้จาก GENESIS มีความแตกต่างกับรูปร่างชายฝั่งในแบบจำลองชลศาสตร์มาก คือมีร่องหยักที่บริเวณกึ่งกลางแหลมทรายในทุกกรณีการจำลอง จึงสรุปได้ว่าแบบจำลอง GENESIS ไม่เหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้กับกรณีแบบจำลองที่มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับกรณีสภาพจริง (prototype)

เนื่องจากสภาพชายฝั่งจริงแตกต่างจากสภาพชายฝั่งในแบบจำลองมาก โดยเฉพาะมาตราส่วนความยาวแนวชายฝั่งในแบบจำลองชลศาสตร์ที่สั้นกว่าความยาวแนวชายฝั่งในสภาพจริง ดังนั้นในการทดลองจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง จึงมีการขยายมาตราส่วนความยาวของแนวชายฝั่งเป็น 100 เท่าของความยาวในแบบจำลองชลศาสตร์ เพื่อให้มาตราส่วนความยาวที่จำลอง ใกล้เคียงกับแนวชายฝั่งจริง ซึ่งรายละเอียดและผลการจำลองแสดงในภาคผนวก ข

จากการพิจารณาผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง GENESIS กับกรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วน พบว่าแนวชายฝั่งที่ได้จาก GENESIS มีรูปร่างชายฝั่งใกล้เคียงกับรูปร่างชายฝั่งจากแบบจำลองชลศาสตร์ นั่นคือรูปร่างชายฝั่งส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแหลมทรายยื่นจากแนวชายฝั่งที่บริเวณกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่น แต่ระยะยื่นของแหลมทรายมีความแตกต่างกับกรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วนมาก โดยเฉพาะกรณีที่มีคลื่นความชันมากเข้าปะทะชายฝั่ง

#### 4.6 เกณฑ์พิจารณาที่ได้จากการศึกษาและทดลอง

จากการศึกษาทดลอง และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลรูปร่างชายฝั่ง กับตัวแปรคลื่นและตัวแปรกำหนดแบบจำลอง ทำให้ได้เกณฑ์พิจารณาที่ใช้ออกแบบ และร่วมในการออกแบบเขื่อนกันคลื่นสำหรับงานป้องกันชายฝั่ง สำหรับเขื่อนกันคลื่นเดี่ยวที่มีคลื่นเข้าปะทะตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ เกณฑ์สำหรับรูปร่างชายฝั่งสมดุล และการพัฒนาชายฝั่งเข้าสู่สมดุล

#### 4.6.1 รูปร่างชายฝั่งสมดุลง

ข้อพิจารณาหลักสำหรับการออกแบบเขื่อนกันคลื่นในงานป้องกันชายฝั่งคือ รูปร่างชายฝั่งสมดุลงที่สอดคล้องกับการออกแบบ ซึ่งการสร้างเขื่อนกันคลื่นนี้ ในบางกรณีต้องการแนวชายฝั่งที่ยื่นติดกับตัวเขื่อน แต่ก็มีหลายกรณีที่ต้องการชายฝั่งที่ไม่ยื่นติดกับตัวเขื่อน ซึ่งการออกแบบในส่วนนี้ต้องพิจารณาระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น และความยาวเขื่อนกันคลื่นควบคู่กัน ถ้าไม่ต้องการให้ชายฝั่งสมดุลงที่เกิดขึ้นยื่นติดกับเขื่อนกันคลื่น ก็ควรออกแบบให้เขื่อนกันคลื่นมีอัตราส่วนระยะห่างฝั่งต่อความยาวเขื่อนกันคลื่นมีค่ามากกว่าประมาณ 0.62 ( $X/B > 0.62$ ) สำหรับกรณีที่ต้องการให้ชายฝั่งสมดุลงยื่นติดกับเขื่อนกันคลื่น ก็ควรออกแบบให้ค่า  $X/B$  น้อยกว่าประมาณ 0.62 แต่ทั้งนี้ไม่ควรให้ค่า  $X/B$  น้อยกว่าประมาณ 0.52 เนื่องจากจะทำให้เกิดรูปร่างชายฝั่งสมดุลงแบบแหลมทราาย 2 ยอด ซึ่งทำให้สภาพน้ำบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่นค่อนข้างนิ่ง เป็นต้นเหตุของปัญหาหน้าเสียด และพีชน้ำเจริญเติบโตมากเกินไป หรือเพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นอาจมีแนวทางร่วมในการออกแบบ เช่น การถมทรายเพิ่มบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น

เมื่อได้เกณฑ์กำหนดรูปร่างชายฝั่งสมดุลงแล้ว การออกแบบมิติต่าง ๆ ของรูปร่างชายฝั่งสมดุลงอาจใช้แนวทางที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรคลื่น ความยาวและระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นกับตัวแปรรูปร่างชายฝั่งชนิดต่าง ๆ ดังนี้

ระยะยื่นของแหลมทราายจากจุดเว้าต่ำสุด ( $D_a$ ) เป็นฟังก์ชันของระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นและลักษณะคลื่นน้ำลึก ( $H_0$  และ  $L_0$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4-4 ซึ่งข้อมูลที่ใช้หาความสัมพันธ์นี้เป็นข้อมูลของรูปร่างชายฝั่งทุกรูปแบบ ดังนั้นระยะ  $D_a$  ที่ได้จึงเป็นระยะ  $D_a$  น้อยที่สุดที่เกิดขึ้น เนื่องจากกรณีรูปร่างชายฝั่งแบบแหลมทราายที่มี 2 ยอด พื้นที่อับคลื่นบริเวณปลายแหลมเป็นบริเวณที่มีน้ำนิ่ง ในการออกแบบเขื่อนกันคลื่น อาจใช้การถมทรายเติมในบริเวณน้ำนิ่ง เพื่อเพิ่มระยะยื่นของปลายแหลมได้

ระยะจากจุดเว้าต่ำสุดถึงเขื่อนกันคลื่น ( $X_a$ ) เป็นฟังก์ชันของลักษณะคลื่นน้ำลึก ( $H_0$  และ  $L_0$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4-5 แต่การกระจายของข้อมูลอยู่ในช่วงค่อนข้างกว้าง ดังนั้นการนำความสัมพันธ์นี้ไปใช้จึงต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งานด้วย ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการกำหนดระยะเว้าชายฝั่งที่อาจเกิดขึ้น จึงแนะนำให้ใช้ระยะ  $X_a$  จากขอบเขตบนของข้อมูลเพื่อให้ได้ระยะเว้าสูงสุดที่เกิดขึ้นได้ เพื่อความปลอดภัยในการออกแบบ

ระยะห่างจากปลายแหลมทราายถึงเขื่อนกันคลื่น ( $X_b$ ) เป็นฟังก์ชันของระยะห่างฝั่งและความยาวเขื่อนกันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 4-6 ซึ่งข้อมูลที่ใช้หาความสัมพันธ์เป็นข้อมูลของรูปร่าง

ชายฝั่งทุกรูปแบบ ดังนั้นระยะ  $X_e$  ที่ได้จึงเป็นระยะ  $X_e$  สูงสุดที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งอธิบายได้ในลักษณะเดียวกับความสัมพันธ์ของระยะ  $D_a$

ความกว้างฐานของแหลมทราย ( $B_a$ ) เป็นฟังก์ชันของความยาวเขื่อนกันคลื่น และลักษณะคลื่นน้ำลึก ( $H_0$  และ  $L_0$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4-7

#### 4.6.2 การพัฒนาชายฝั่งเข้าสู่สมดุล

การปรับแนวชายฝั่งตามธรรมชาติเพื่อให้ได้รูปร่างชายฝั่งสมดุลตามที่ออกแบบในหัวข้อที่ผ่านมาจะต้องใช้เวลานานมาก ในทางปฏิบัติอาจใช้การถมพื้นที่ชายฝั่งเพื่อเร่งให้เกิดรูปร่างสมดุลตามที่ออกแบบ จึงต้องอาศัยแนวทางจากการศึกษาการพัฒนาชายฝั่งก่อนเข้าสู่สมดุลร่วมในการออกแบบ โดยมีขั้นตอนการคำนวณออกแบบดังนี้

พื้นที่ทับถมตะกอน (A)

- 1) การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทับถมตามเวลาเป็นดังสมการ

$$\frac{A}{B \cdot X} = m(1 - \exp(-n(t/T)))$$

- 2) คำนวณพื้นที่ตะกอนทับถม ณ สภาพชายฝั่งสมดุล (m) จากสมการ 4-5 ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น (X)
- 3) คำนวณพารามิเตอร์อัตราเร่งเข้าสู่สมดุลของพื้นที่ทับถม (n) จากสมการ 4-6 ซึ่งเป็นฟังก์ชันของขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ )
- 4) ใช้ค่า m และ n ที่คำนวณได้แทนในสมการการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทับถมตามเวลา (สมการ 4-1) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของพื้นที่ทับถมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

ปริมาตรตะกอนทับถม (V)

- 1) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตะกอนทับถมตามเวลาเป็นดังสมการ

$$\frac{V}{B \cdot X \cdot d_{BW}} = M(1 - \exp(-N(t/T)))$$

- 2) คำนวณปริมาตรตะกอนทับถม ณ สภาพชายฝั่งสมดุล (M) จากสมการ 4-10 ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น (X) ความสูงคลื่นน้ำลึก ( $H_0$ ) และความยาวคลื่นน้ำลึก ( $L_0$ )
- 3) คำนวณพารามิเตอร์อัตราเร่งเข้าสู่สมดุลของปริมาตรตะกอนทับถม (N) จากสมการ 4-11 ซึ่งเป็นฟังก์ชันของขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ )
- 4) ใช้ค่า M และ N ที่คำนวณได้แทนในสมการการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตะกอนทับถมตามเวลา (สมการ 4-7) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของปริมาตรตะกอนทับถมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

จากความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง กับพื้นที่หรือปริมาตรตะกอนทับถมที่ได้จากการคำนวณออกแบบนี้ สามารถประยุกต์ใช้เพื่อวางแผนการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งได้ดียิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม เกณฑ์พิจารณาร่วมในการออกแบบนี้ อยู่บนพื้นฐานของผลการศึกษาในแบบจำลอง ซึ่งมีอิทธิพลของมาตราส่วนเวลาของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลอง ที่ไม่ตรงกับมาตราส่วนเวลาในสภาพจริง เนื่องจากเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งขึ้นกับปัจจัยต่างๆ มากมาย เช่น ลักษณะคลื่น กระแสน้ำ ขนาดตะกอน ความลาดชายฝั่ง เป็นต้น ดังนั้นความถูกต้องในการใช้งานเกณฑ์พิจารณานี้ จึงขึ้นกับความเหมาะสมของการขยายมาตราส่วนให้อยู่ในสภาพจริงด้วย

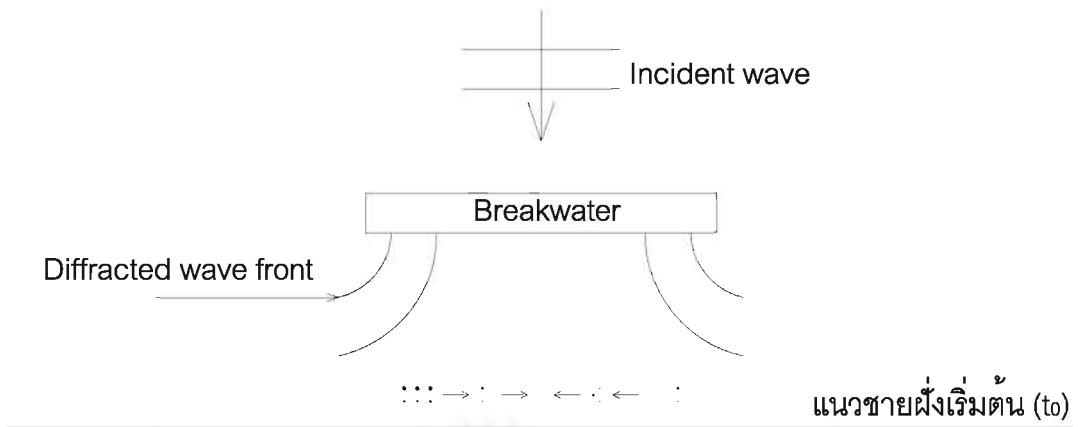
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ m และ n โดยวิธี Iteration algorithm และวิธีกำหนดพื้นที่  
 ทั้บถม ถ สมดุล

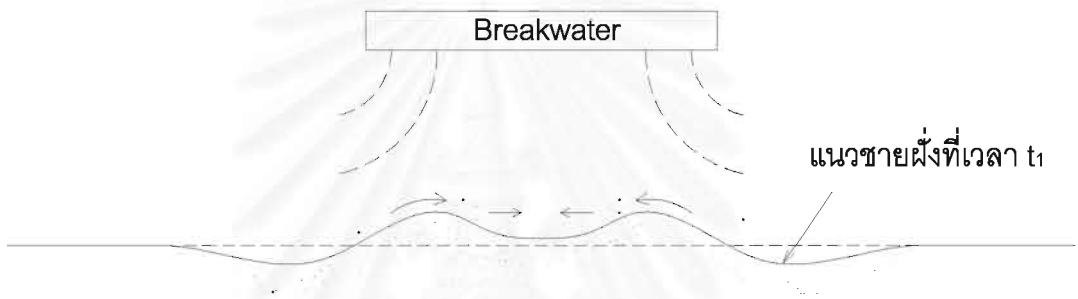
	Iteration algorithm			กำหนดพื้นที่ทั้บถม ถ สมดุล		
	m	n ( $\times 10^{-4}$ )	R <sup>2</sup>	m	n ( $\times 10^{-4}$ )	R <sup>2</sup>
B10D05a	0.68	1.37	0.84	0.83	0.54	0.83
B10D05b	0.51	0.93	0.94	0.59	0.33	0.91
B10D05c	4.56	0.01	0.86	0.53	0.09	0.85
B10D10a	0.36	0.45	0.95	0.37	0.38	0.95
B10D10b	2.47	0.02	0.95	0.51	0.10	0.94
B10D10c	0.28	0.69	0.95	0.32	0.31	0.94
B10D15a	0.28	0.67	0.74	0.35	0.28	0.72
B10D15b	0.30	0.37	0.93	0.33	0.23	0.92
B10D15c	0.06	0.51	0.94	0.07	0.24	0.94
B15D05a	0.72	0.97	0.74	1.03	0.24	0.68
B15D05b	0.99	0.18	0.98	0.94	0.16	0.97
B15D05c	0.36	0.22	0.99	0.36	0.15	0.99
B15D10a	0.33	0.44	0.98	0.36	0.27	0.98
B15D10b	0.34	0.18	0.93	0.34	0.15	0.91
B15D10c	0.29	0.23	0.96	0.32	0.13	0.96
B15D15a	0.13	0.98	0.96	0.16	0.31	0.91
B15D15b	0.23	1.05	0.91	0.27	0.32	0.87
B15D15c	0.15	0.14	0.96	0.13	0.12	0.96
B20D05a	0.40	0.79	0.96	0.44	0.35	0.92
B20D05b	0.45	0.39	0.98	0.50	0.20	0.97
B20D05c	0.76	0.11	0.95	0.60	0.11	0.95
B20D10a	0.44	0.38	0.95	0.52	0.21	0.95
B20D10b	0.26	0.60	0.79	0.36	0.18	0.76
B20D10c	0.21	0.24	0.92	0.24	0.13	0.91
B20D15a	0.16	1.06	0.94	0.18	0.37	0.89
B20D15b	0.10	0.62	0.92	0.12	0.21	0.92
B20D15c	0.16	0.18	0.97	0.16	0.12	0.97

ตารางที่ 4-2 ค่าพารามิเตอร์ M และ N โดยวิธี Iteration algorithm และวิธีกำหนดปริมาตร  
 ทั้บถม ถ สมดุล

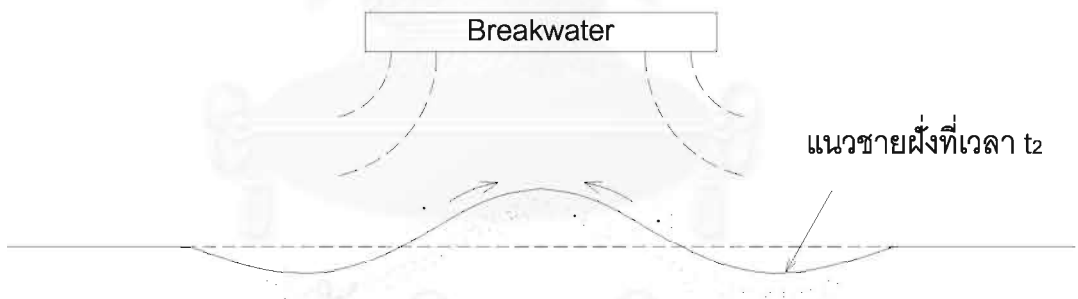
	Iteration algorithm			กำหนดพื้นที่ทั้บถม ถ สมดุล		
	M	N ( $\times 10^{-4}$ )	R <sup>2</sup>	M	N ( $\times 10^{-4}$ )	R <sup>2</sup>
B10D05a	0.51	0.75	0.93	0.60	0.45	0.88
B10D05b	0.48	1.79	0.99	0.56	0.40	0.86
B10D05c	1.88	0.03	0.91	0.58	0.10	0.87
B10D10a	0.21	1.10	0.93	0.25	0.59	0.83
B10D10b	0.39	0.29	0.94	0.43	0.24	0.90
B10D10c	0.24	0.72	0.98	0.28	0.36	0.95
B10D15a	0.27	0.59	0.87	0.36	0.24	0.65
B10D15b	0.14	0.98	0.99	0.16	0.38	0.94
B10D15c	0.05	0.62	0.98	0.06	0.28	0.95
B15D05a	0.66	0.34	0.90	0.83	0.21	0.83
B15D05b	1.47	0.11	0.99	1.19	0.13	0.98
B15D05c	0.49	0.15	0.99	0.46	0.12	0.98
B15D10a	0.32	0.57	0.97	0.38	0.27	0.88
B15D10b	0.79	0.09	0.93	0.53	0.15	0.90
B15D10c	0.24	0.24	0.99	0.25	0.14	0.99
B15D15a	0.13	1.14	0.96	0.16	0.33	0.71
B15D15b	0.24	1.37	0.98	0.29	0.33	0.77
B15D15c	0.12	0.21	0.99	0.12	0.13	0.99
B20D05a	0.30	0.68	0.99	0.35	0.29	0.91
B20D05b	0.45	0.48	0.99	0.51	0.21	0.94
B20D05c	0.67	0.14	0.99	0.60	0.12	0.99
B20D10a	0.45	0.24	0.98	0.48	0.20	0.98
B20D10b	0.34	0.31	0.90	0.41	0.17	0.85
B20D10c	0.17	0.18	0.99	0.16	0.13	0.99
B20D15a	0.14	0.89	0.89	0.20	0.26	0.50
B20D15b	0.20	0.52	0.98	0.24	0.19	0.90
B20D15c	0.18	0.23	0.95	0.19	0.14	0.95



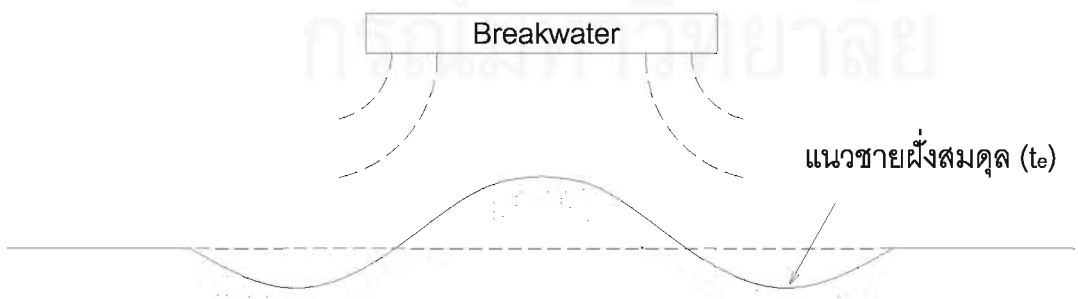
ก) การพัดพาตะกอนเนื่องจากคลื่นที่กระจายตัวสู่บริเวณอับคลื่น



ข) การเกิดแหลมทรายในช่วงแรกของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง



ค) การรวมตัวกันของแหลมทรายทั้งสองข้าง

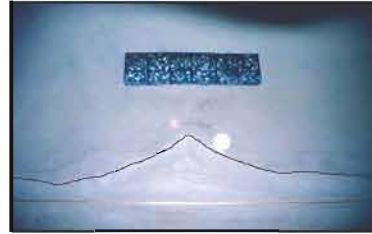
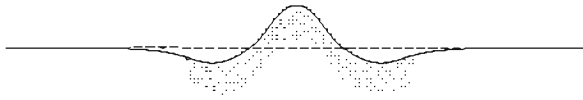


ง) แนวชายฝั่งสมดุลขนานกับหน้าคลื่นที่กระจายหลังเชื่อมกันคลื่น

รูปที่ 4-1 กระบวนการพัฒนารูปร่างชายฝั่ง

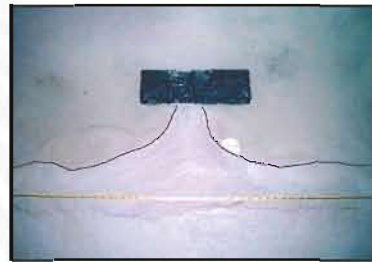
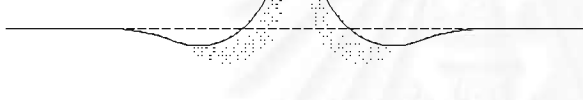


Breakwater



ก) แหลมทรายเดี่ยว (Single salient, 1S)

Breakwater



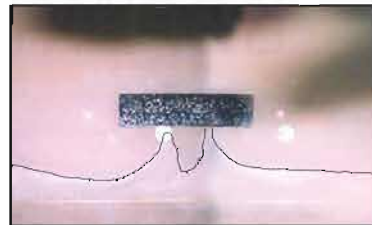
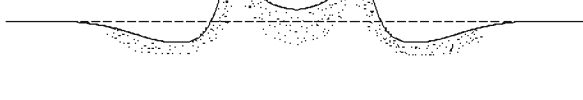
ข) แหลมทรายยื่นติดกับเขื่อนกันคลื่น (Tombolo, T)

Breakwater



ค) แหลมทรายคู่ (Double salient, 2S)

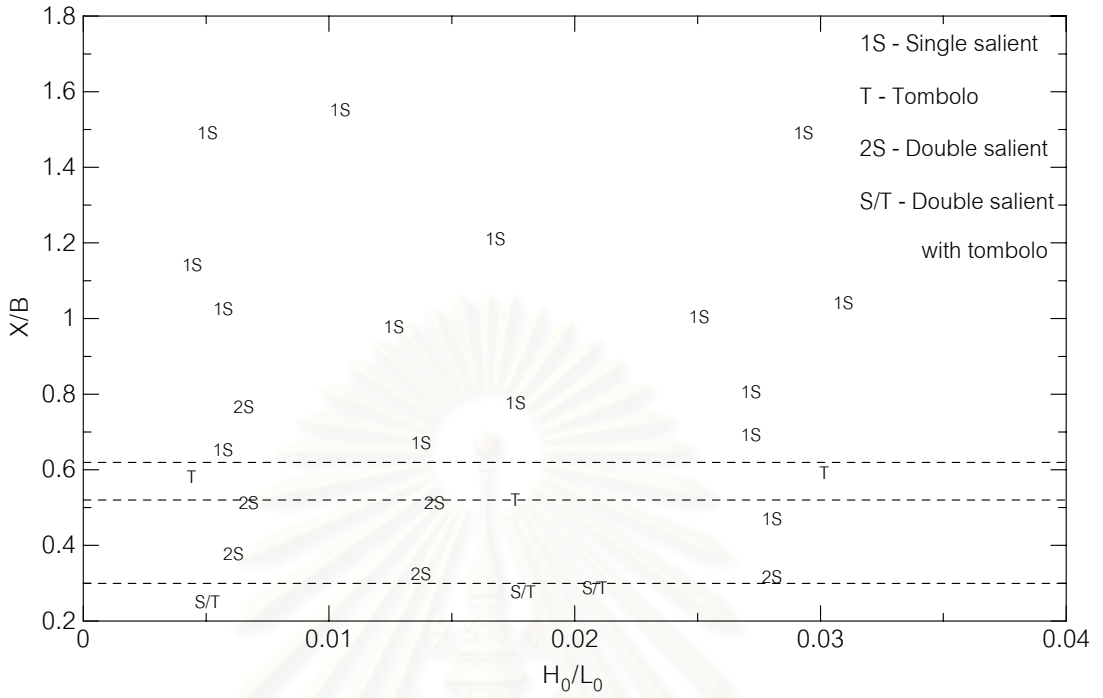
Breakwater



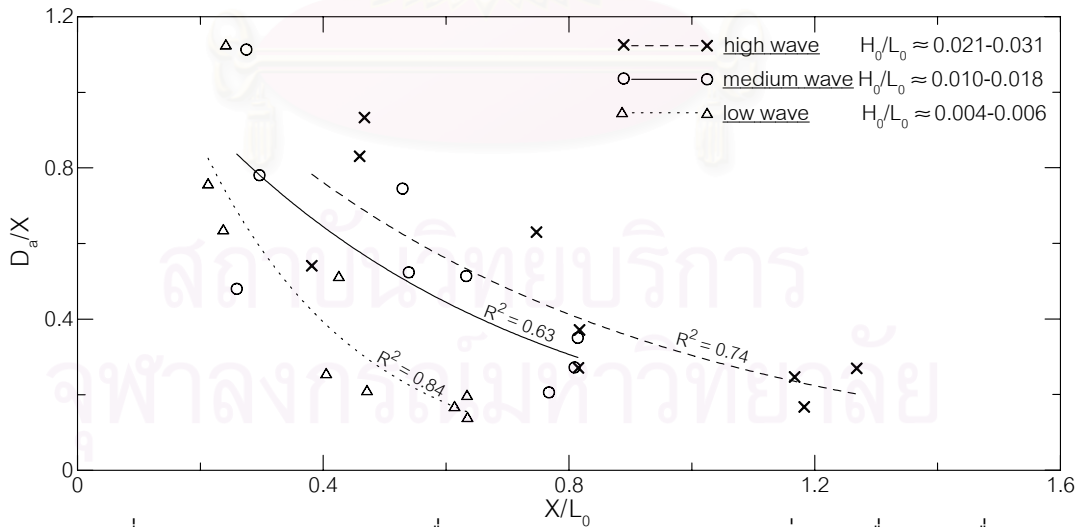
ง) แหลมทรายคู่ยื่นติดกับเขื่อนกันคลื่น (Double salient with tombolo, S/T)

รูปที่ 4-2 ชนิดของรูปร่างชายฝั่งสมดุลงหลังเขื่อนกันคลื่น

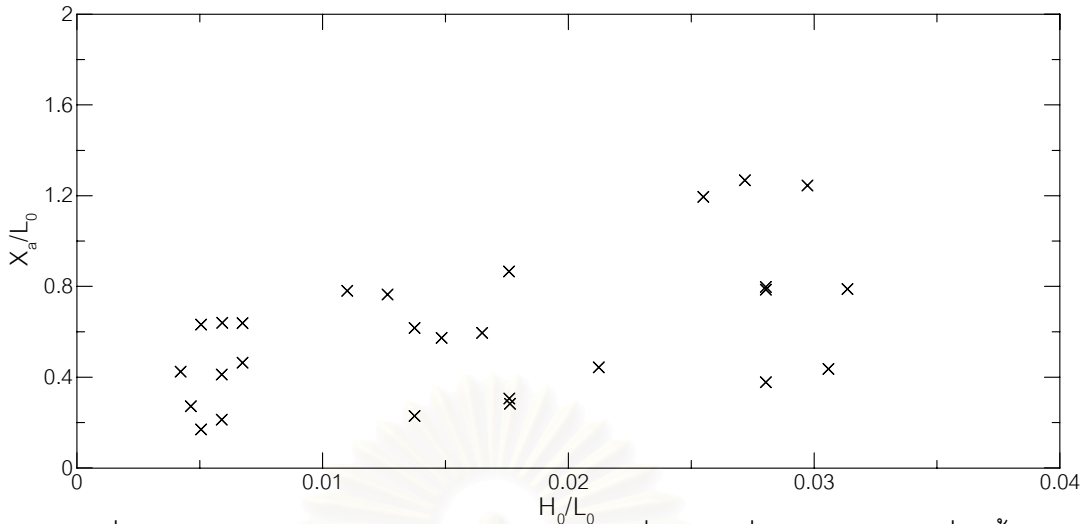




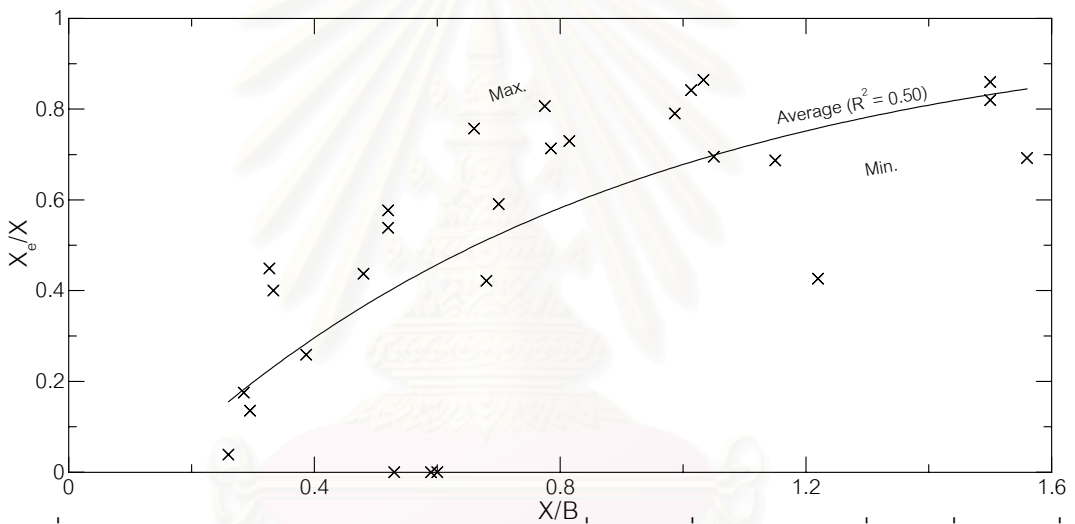
รูปที่ 4-3 เกณฑ์ระบุชนิดของรูปร่างหาดทรายหลังเขื่อนกันคลื่น



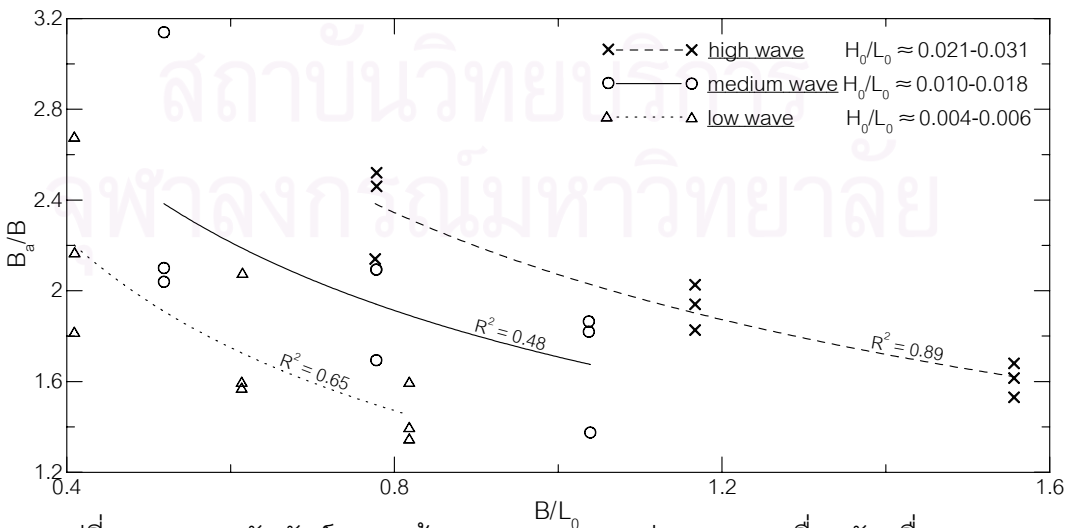
รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระยะยื่นของหาดทรายต่อระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น  
กับระยะห่างฝั่งต่อความยาวคลื่นน้ำลึกสำหรับแต่ละกลุ่มขนาดคลื่นน้ำลึก



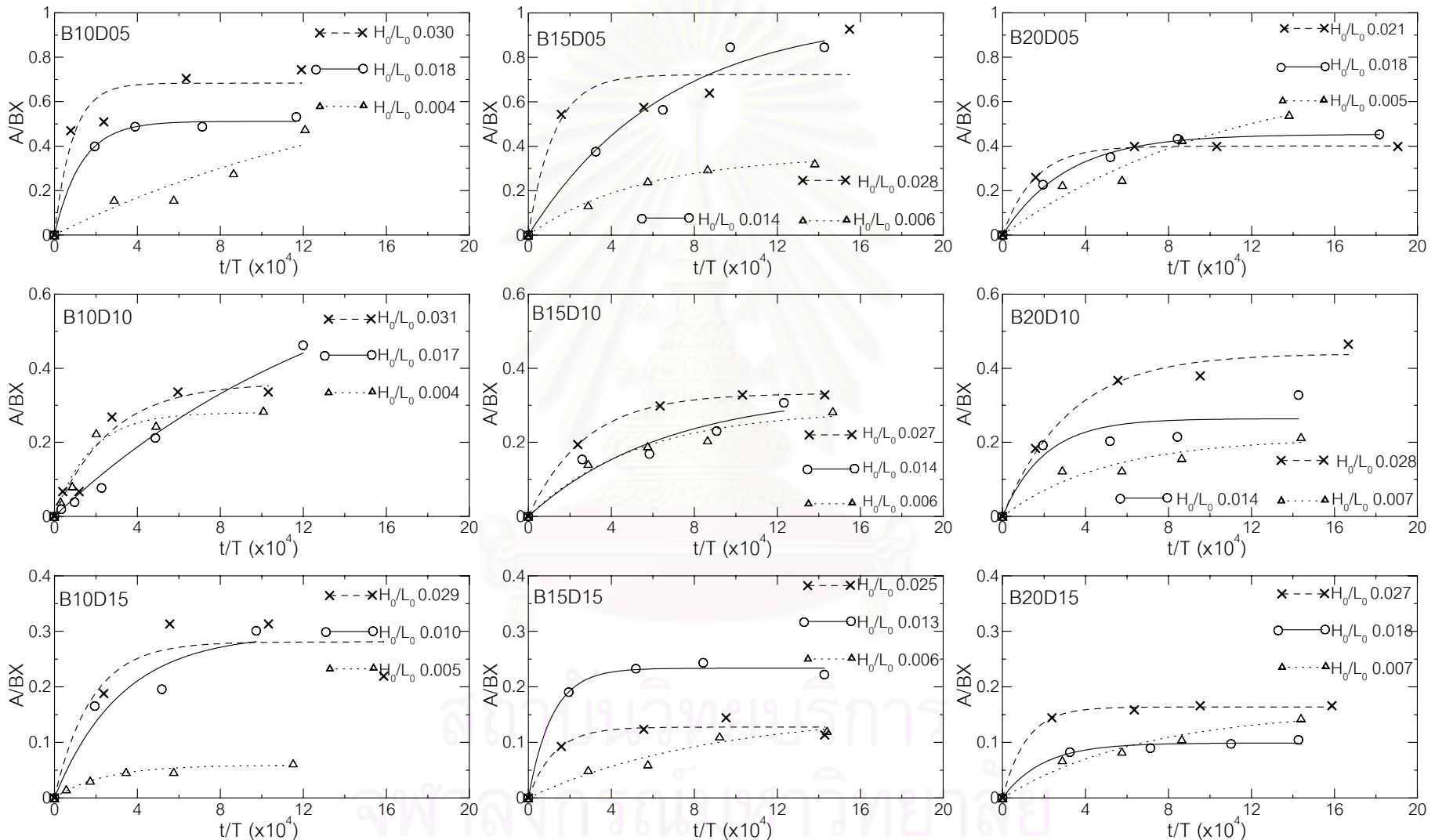
รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระยะจากจุดเว้าต่ำสุดถึงเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึก กับขนาดคลื่นน้ำลึก



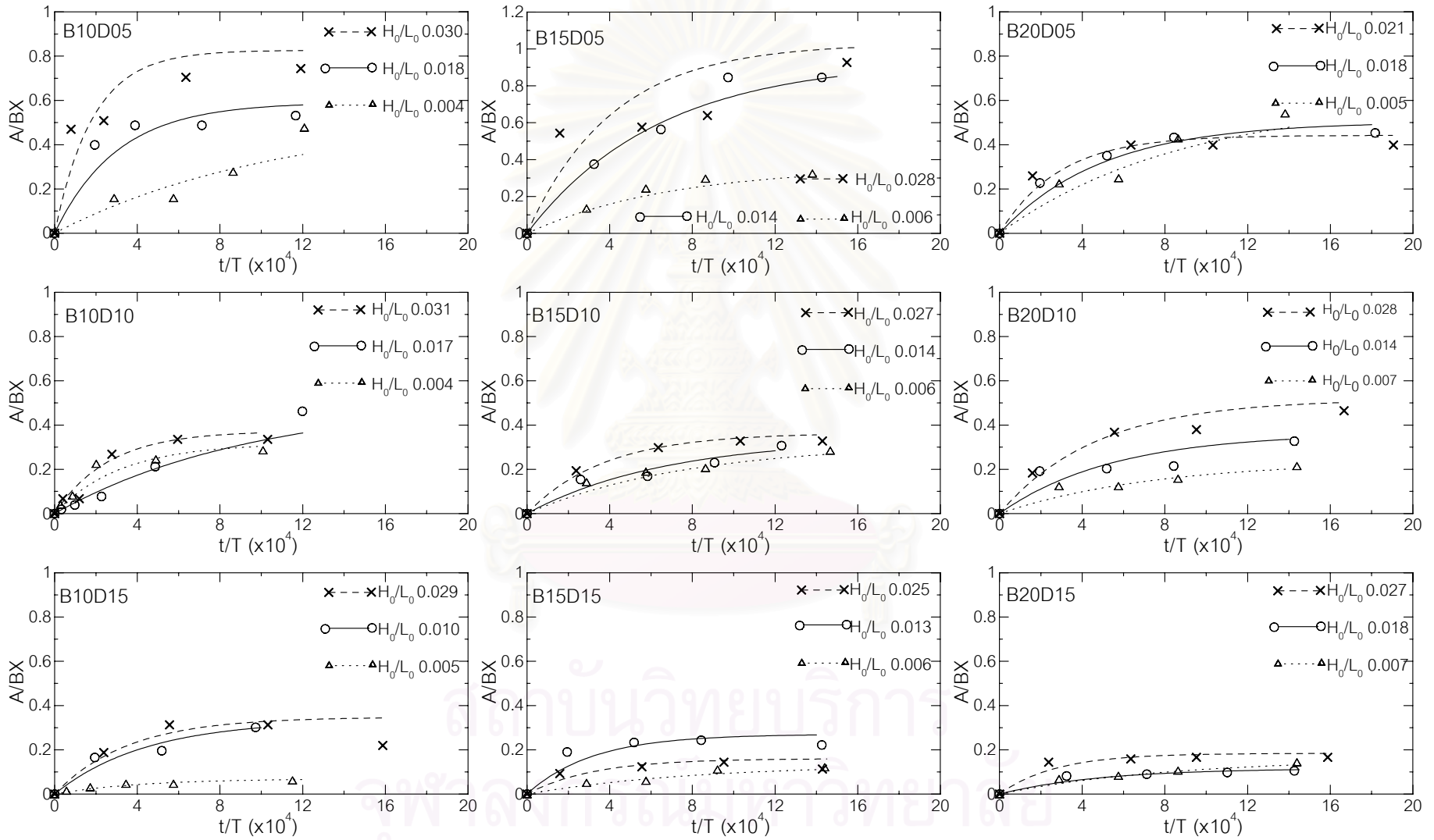
รูปที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระยะจากปลายแหลมถึงเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น กับระยะห่างฝั่งต่อความยาวเขื่อนกันคลื่น



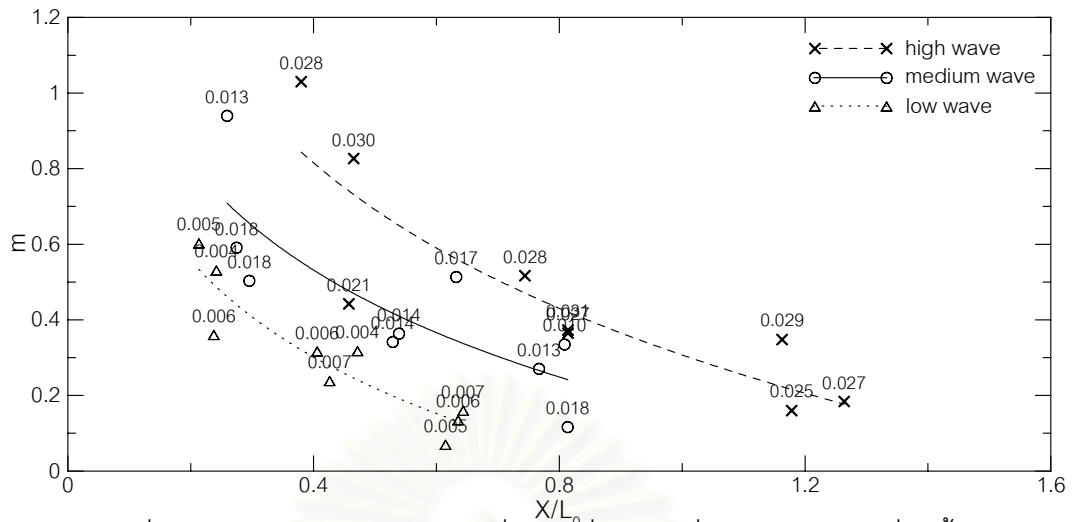
รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ความกว้างฐานแหลมทรายต่อความยาวเขื่อนกันคลื่น กับความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึกสำหรับแต่ละกลุ่มคลื่นน้ำลึก



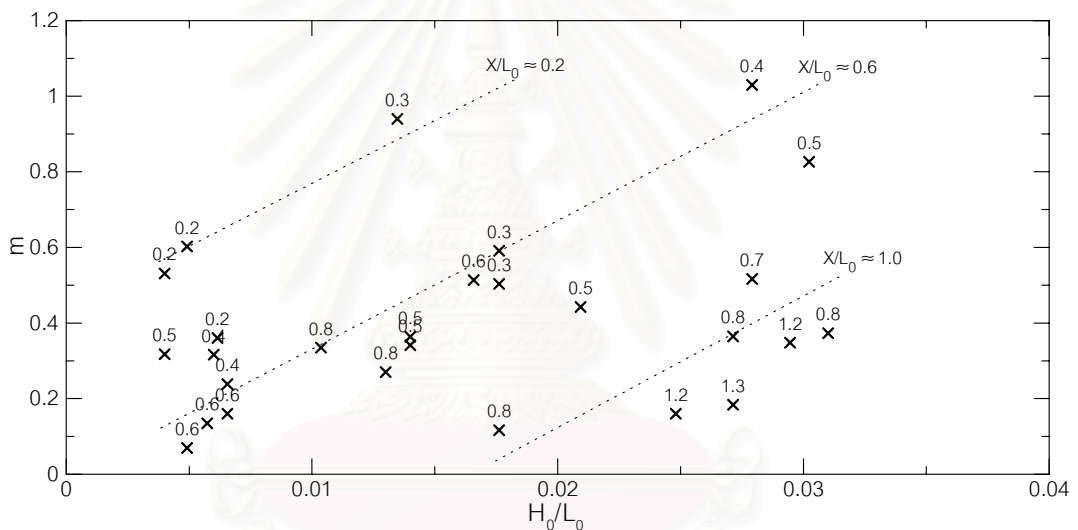
รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์เวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งต่อคาบคลื่นกับพื้นที่ที่ทับถมต่อพื้นที่อัปเดต (เส้นแนวโน้มโดยวิธี Iteration algorithm)



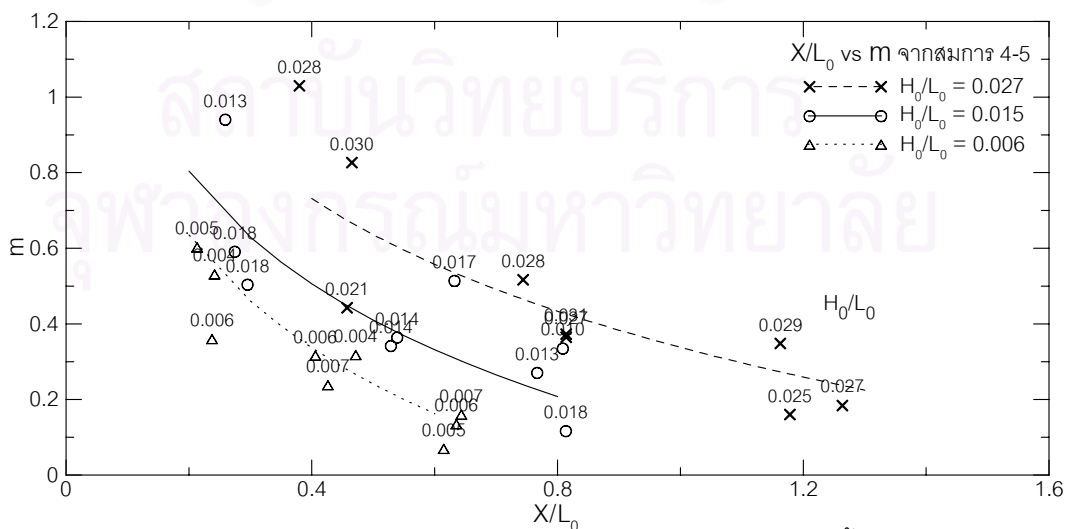
รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์เวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งต่อคาบคลื่นกับพื้นที่ทับถมต่อพื้นที่ที่บดคลื่น (เส้นแนวโน้มจากวิธีกำหนดพื้นที่ทับถม ณ สมดุล)



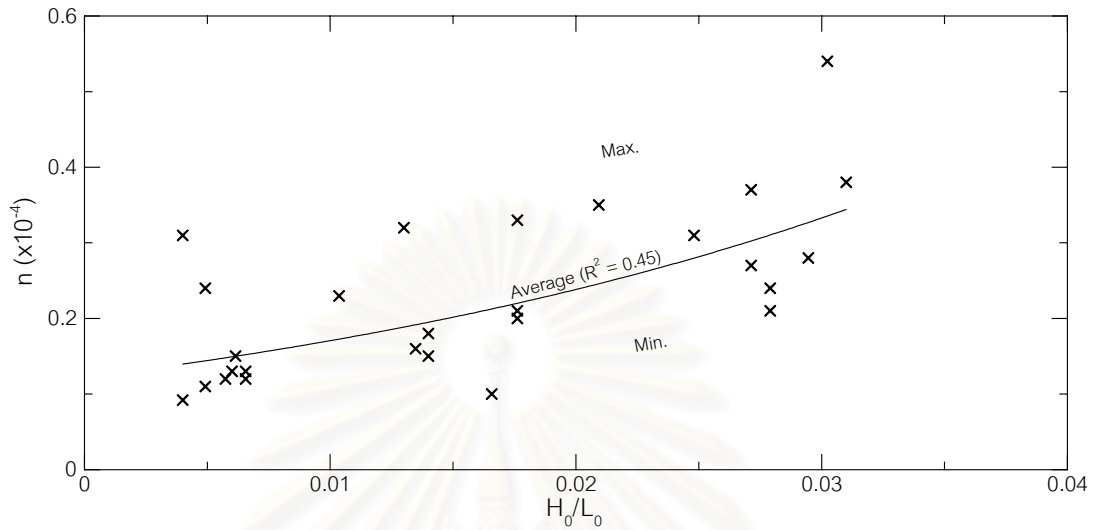
รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึก กับพารามิเตอร์  $m$  สำหรับคลื่นน้ำลึกกลุ่มต่างๆ



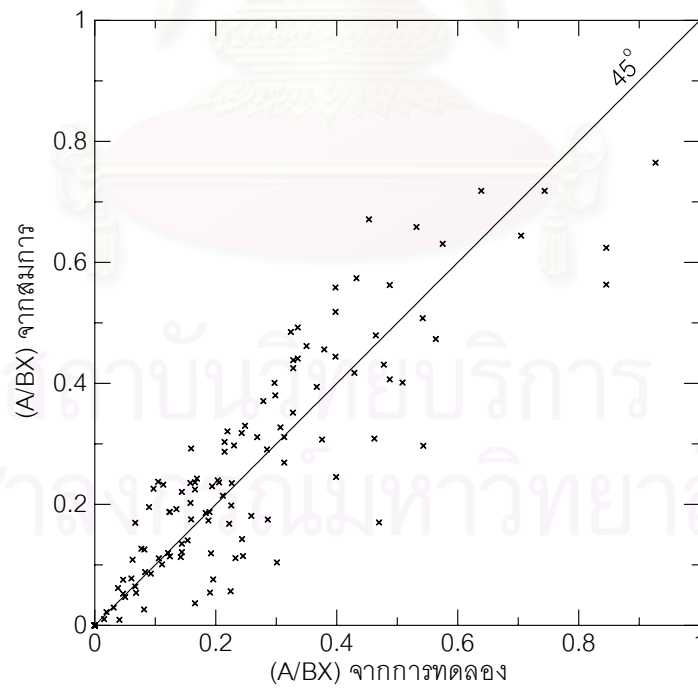
รูปที่ 4-11 ความสัมพันธ์ขนาดคลื่นน้ำลึกกับพารามิเตอร์  $m$



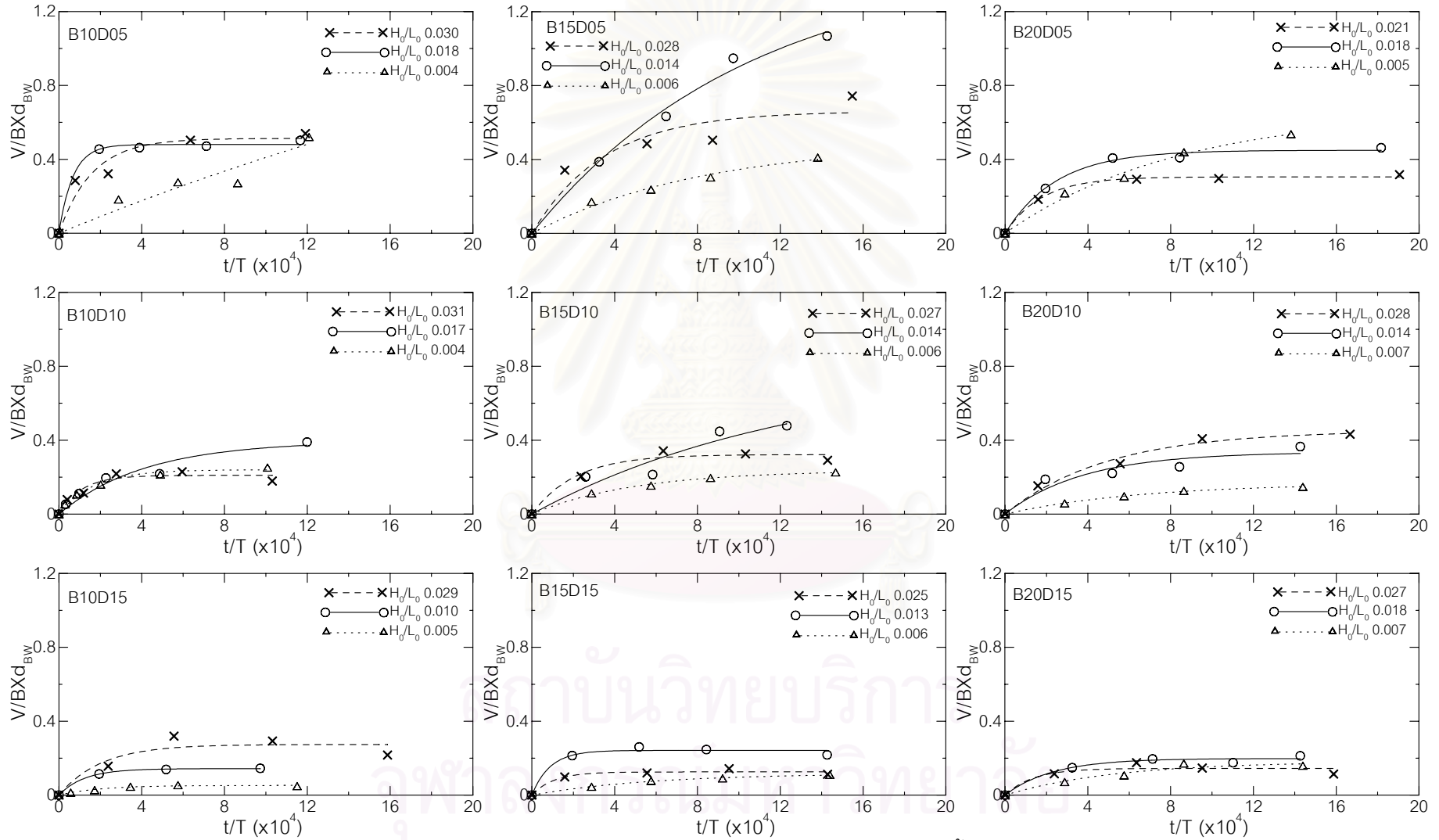
รูปที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึก กับพารามิเตอร์  $m$  จากการวิเคราะห์ MR เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการทดลอง



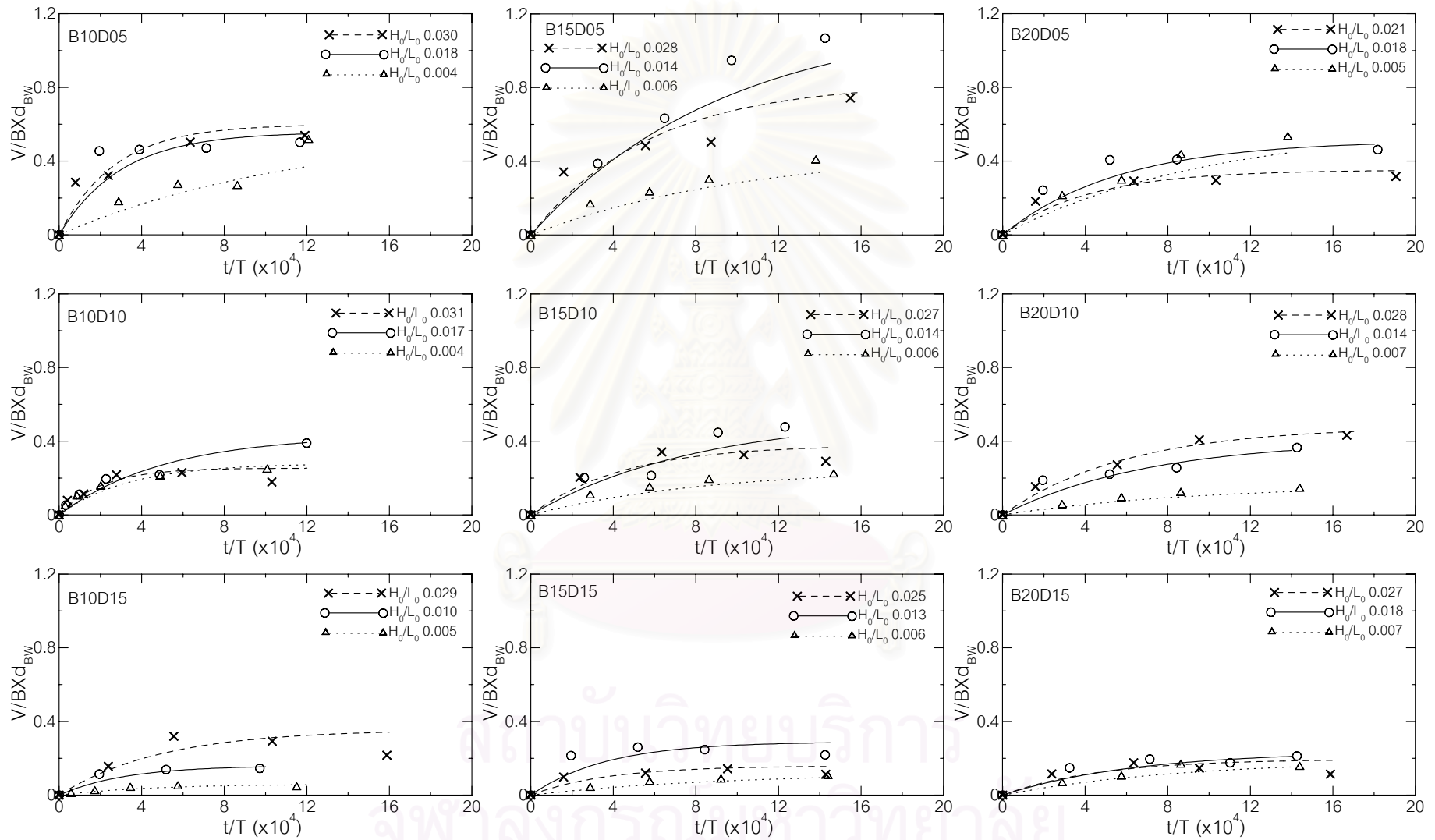
รูปที่ 4-13 ความสัมพันธ์ขนาดคลื่นนำลึกกับพารามิเตอร์  $n$



รูปที่ 4-14 ความสัมพันธ์  $A/BX$  จากการทดลองกับ  $A/BX$  ที่ได้จากสมการ 4-1



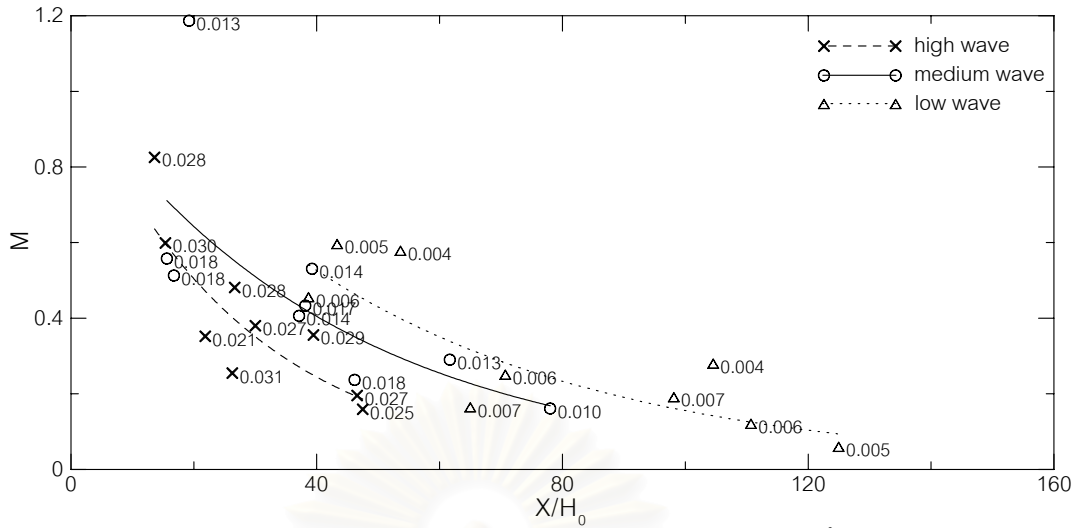
รูปที่ 4-15 ความสัมพันธ์เวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งต่อคาบคลื่นกับปริมาตรตะกอนที่บดมต่อปริมาตรในพื้นที่อัปเดต (เส้นแนวโน้มโดยวิธี Iteration algorithm)



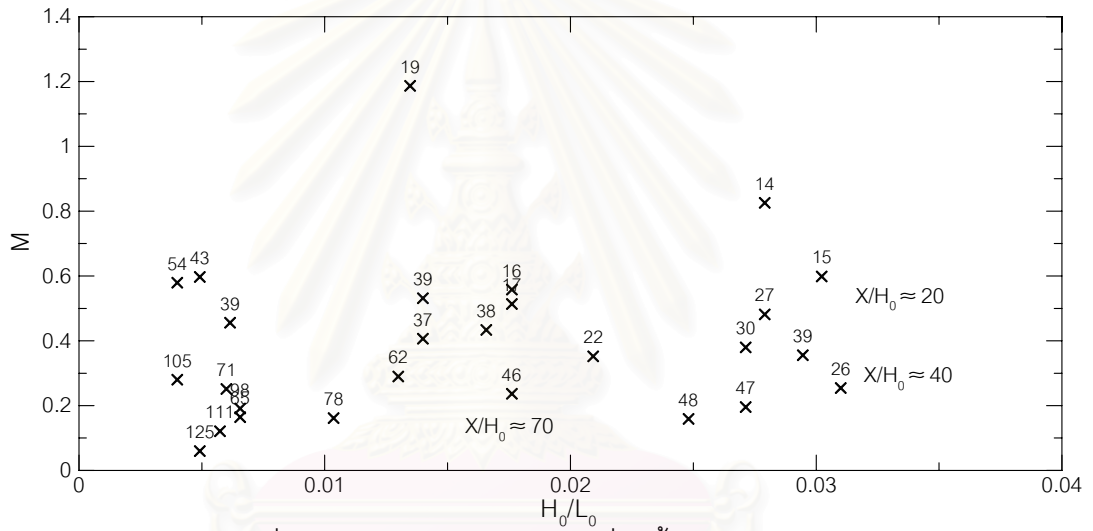
รูปที่ 4-16 ความสัมพันธ์เวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งต่อคาบคลื่นกับปริมาตรตะกอนที่บถมต่อปริมาตรในพื้นที่อัคคลื่น

(เส้นแนวโน้มโดยวิธีกำหนดปริมาตรตะกอน ณ สมดุล)

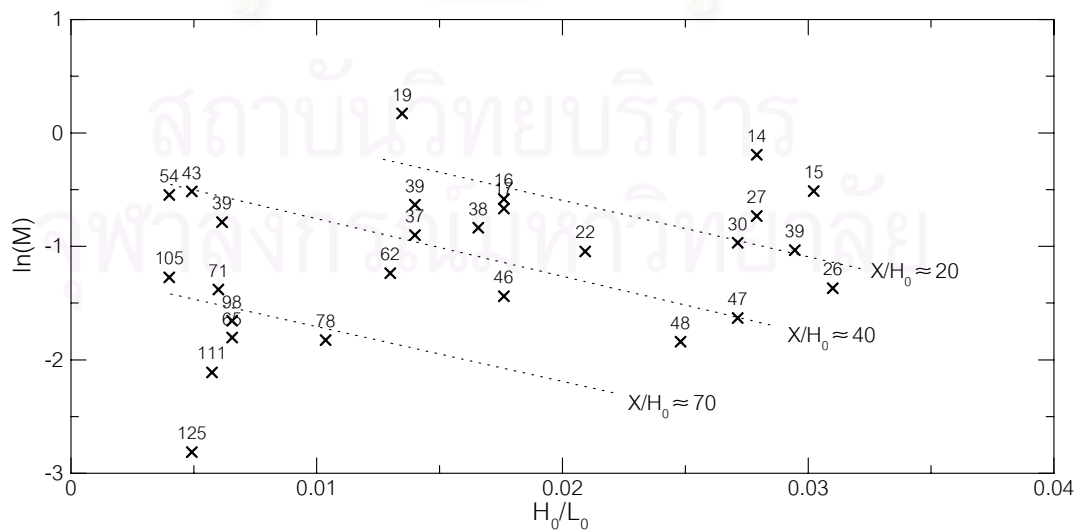




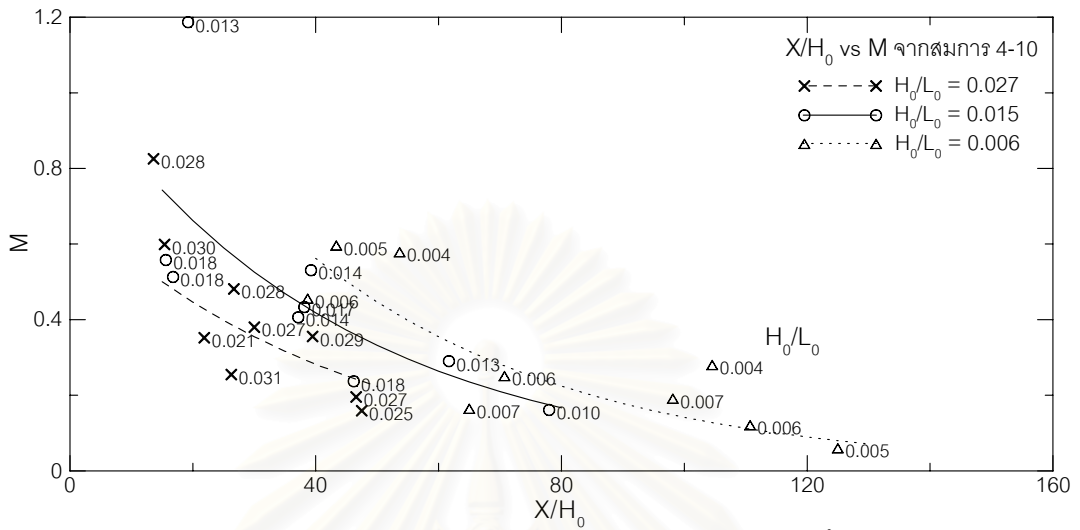
รูปที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นต่อความสูงคลื่นนำลึกลับพารามิเตอร์ M



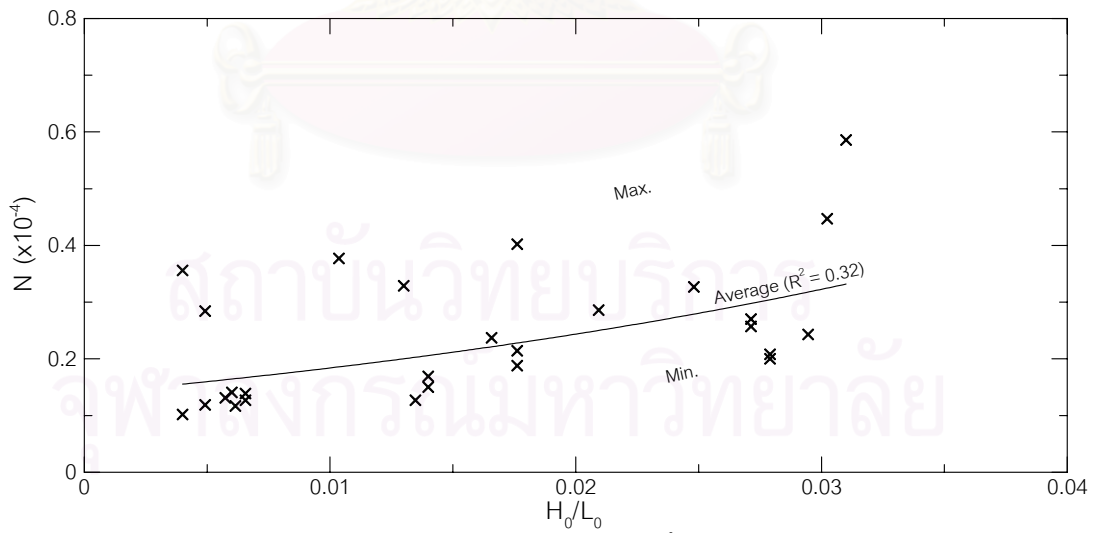
รูปที่ 4-18 ความสัมพันธ์ขนาดคลื่นนำลึกลับพารามิเตอร์ M



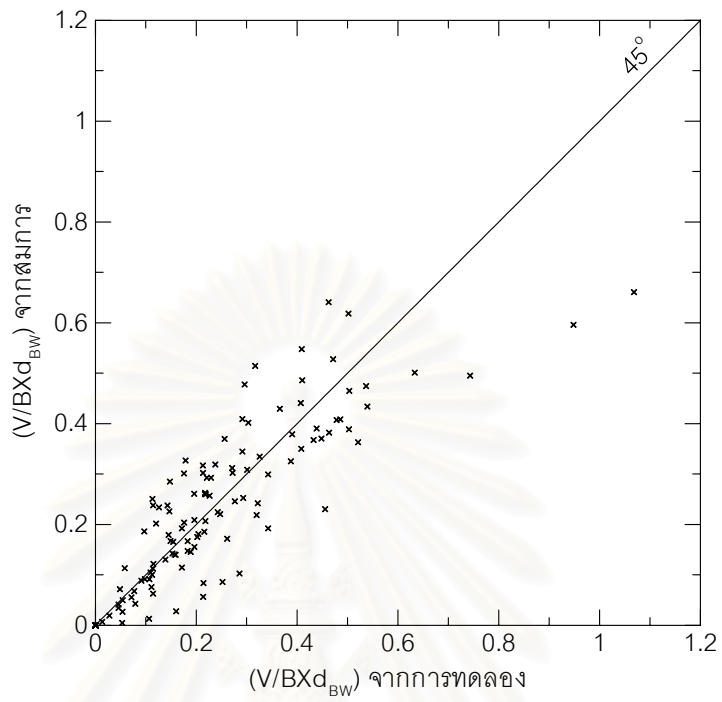
รูปที่ 4-19 ความสัมพันธ์เชิงเส้นของขนาดคลื่นนำลึกลับกับ ln(M)



รูปที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นต่อความสูงคลื่นน้ำลึกกับพารามิเตอร์ M จากการวิเคราะห์ MR เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการทดลอง



รูปที่ 4-21 ความสัมพันธ์ขนาดคลื่นน้ำลึกกับพารามิเตอร์ N



รูปที่ 4-22 ความสัมพันธ์  $V/BXd_{BW}$  จากการทดลองกับ  $V/BXd_{BW}$  ที่ได้จากสมการ 4-7

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปและเสนอแนะ

จากกระบวนการศึกษา ประสพการณ์จากการทดลองในแบบจำลองชลศาสตร์ การทดลองใช้แบบจำลอง GENESIS รวมทั้งผลการศึกษาที่ได้ สามารถสรุปเป็นประเด็นของการศึกษา รวมทั้งบอกเล่าและเสนอแนะประเด็นที่น่าสนใจ สำหรับการศึกษาในอนาคตคงจะกล่าวต่อไปนี้

#### 5.1 แบบจำลองชลศาสตร์

วิธีการศึกษาหลักของการศึกษาคั้งนี้คือ การใช้แบบจำลองชลศาสตร์เพื่อศึกษาการทับถมตะกอนหลังเชื่อมกันคลื่น โดยทดลองในอ่างคลื่น ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งในอ่างคลื่นประกอบด้วยแบบจำลองชายฝั่งเป็นทรายละเอียดขนาดประมาณ 0.25 มม. ความลาดชายฝั่งประมาณ 1:34 และแบบจำลองเชื่อมกันคลื่นสร้างเป็นโครงสร้างชนิดไม้ที่บ้น้ำ โดยใช้หินบรจู่ในกรวดตาข่ายโครงเหล็ก การสร้างคลื่นในอ่างคลื่นใช้เครื่องกำเนิดคลื่นชนิด Flap type โดยสามารถกำหนดลักษณะคลื่นได้จากการปรับความเร็วมอเตอร์ และระยะช่วงชักของเครื่องกำเนิดคลื่น สำหรับการทดลองนี้ใช้คลื่น 3 ขนาดในช่วงความชันคลื่น (H/L) ประมาณ 0.007-0.036

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย เครื่องวัดความลึกท้องน้ำ ซึ่งใช้วัดความลึกท้องน้ำเทียบกับระดับน้ำ และเครื่องวัดความสูงคลื่น ซึ่งใช้วัดระดับน้ำเทียบกับระดับอ้างอิง ณ ตำแหน่งใด ๆ ในอ่างคลื่น โดยข้อมูลคลื่นที่วัดได้อยู่ในรูปข้อมูลนาฬิกา ซึ่งต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปข้อมูลดิจิทัล โดยใช้แผงวงจรแปลงสัญญาณ A/D ของ PC-LAB รุ่น PCL-816 เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์และประมวลผลในคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งการประมวลข้อมูลใช้โปรแกรม "Labtech NOTEBOOKpro" ซึ่งทำงานบนระบบ MS-DOS สำหรับรายละเอียดและวิธีใช้เครื่องมือรวบรวมและสรุปไว้โดยอาทิตย์ยา (2540)

จากการพิจารณาแนวชายฝั่งในการทดลอง พบว่าแนวชายฝั่งจากการทดลองมีลักษณะไม่สมมาตรเล็กน้อย คือชายฝั่งทางขวาของอ่างคลื่นมีแนวโน้มที่จะมีระยะเว้ามากกว่าแนวชายฝั่งทางซ้าย ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ ความไม่สมมาตรของเครื่องกำเนิดคลื่น หรือความไม่สม่ำเสมอของระดับท้องน้ำหน้าเครื่องกำเนิดคลื่น ทำให้คลื่นที่เข้าปะทะแนวชายฝั่งมีความไม่

สมมาตร ส่งผลให้เกิดการเบ้ของแนวชายฝั่งได้ ดังนั้นจึงควรตรวจสอบสาเหตุและดำเนินการแก้ไข ก่อนการทดลองครั้งต่อไป

## 5.2 การทดลองในแบบจำลองชลศาสตร์

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ต้องทำการทดลอง โดยสร้างคลื่นเข้าปะทะชายฝั่งเป็นช่วงเวลาสลับกับการเก็บข้อมูล ซึ่งรวมระยะเวลาของการเปิดเครื่องกำเนิดคลื่นในแต่ละกรณีศึกษาประมาณ 60-70 ชั่วโมง และในส่วนของเก็บข้อมูลใช้เวลาแต่ละครั้งประมาณ 8-10 ชั่วโมง จำนวน 5 ครั้งในแต่ละกรณีการทดลอง ดังนั้นเวลาที่ใช้สำหรับแต่ละการทดลองประมาณ 100-120 ชั่วโมง โดยมีจำนวนกรณีทดลอง 27 กรณี ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้ระยะเวลาในการทดลองนานมาก ประมาณ 13 เดือน

นอกจากนี้ ในขั้นตอนทดลอง และเตรียมการทดลองต้องใช้แรงงานจำนวนมาก โดยเฉพาะขั้นตอนการปรับสภาพชายฝั่งเริ่มต้นให้ใกล้เคียงกันทุกการทดลอง โดยการปรับพื้นที่ชายฝั่งให้เรียบ และมีความแน่นของทรายสม่ำเสมอ ซึ่งการปรับทรายครั้งหนึ่งต้องใช้แรงงาน 5 คน และใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง เพื่อปรับพื้นที่ทรายขนาด 40 ตารางเมตร ดังนั้นงานในส่วนนี้ต้องใช้แรงงานที่มีทั้งฝีมือและความอดทนสูง สำหรับการทดลองครั้งนี้ได้รับความช่วยเหลือจากนิสิตปริญญาโท และเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ซึ่งต้องขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

การศึกษาโดยใช้แบบจำลองชลศาสตร์เป็นวิธีการที่ต้องใช้เงินทุนสูงมาก เนื่องจากต้องใช้สร้างและปรับปรุงแบบจำลอง รวมทั้งอุปกรณ์วัดและบันทึกข้อมูลที่มีราคาสูง ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชา นอกจากนี้การบันทึกข้อมูลต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ กล้องถ่ายรูป เทปบันทึกภาพ และคอมพิวเตอร์ ซึ่งล้วนแต่มีราคาสูงทั้งสิ้น หากจะประเมินค่าใช้จ่ายในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ มีค่าประมาณ 370,000 บาท ดังมีรายการแสดงในตารางที่ 5-1

## 5.3 ชายฝั่งสมดุล

จากการสังเกตในแบบจำลองพบว่า ขณะที่ชายฝั่งอยู่ในสภาพสมดุล แนวคลื่นแตกตัวจะขนานกับแนวชายฝั่ง และทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่เข้า-ออกจากฝั่ง มีทิศทางตั้งฉากกับชายฝั่ง ซึ่งทำให้ตะกอนเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับชายฝั่งด้วย การเคลื่อนที่ของตะกอนในลักษณะนี้ไม่ทำให้รูปร่างสมดุลของแนวชายฝั่งเปลี่ยนแปลงไป

รูปร่างชายฝั่งสมดุลที่เกิดขึ้นในแบบจำลองแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะ คือ ชนิดแหลมทรายเดี่ยว (1S) แหลมทรายยื่นติดเชื่อมกันคลื่น (T) แหลมทรายคู่ (2S) และ แหลมทรายคู่ยื่นติด

เขื่อนกันคลื่น (S/T) ซึ่งการเกิดรูปร่างชายฝั่งแบบใด ขึ้นกับค่าระยะห่างฝั่งต่อความยาวเขื่อนกันคลื่น โดยไม่ขึ้นกับลักษณะคลื่นที่เข้าปะทะชายฝั่ง

ความสัมพันธ์ของตัวแปรรูปร่างชายฝั่งสมมูลจากการศึกษานี้ได้แก่ ความสัมพันธ์ของระยะเว้าชายฝั่ง ระยะจากปลายแหลมทรายถึงเขื่อนกันคลื่น และความกว้างฐานของแหลมทรายกับตัวแปรลักษณะคลื่น ความยาวและระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น ซึ่งแสดงในรูปที่ 4-4 ถึงรูปที่ 4-7 แม้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ยังมีการกระจายของจุดข้อมูลอยู่บ้าง แต่ก็พอใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเขื่อนกันคลื่น ให้ได้รูปร่างชายฝั่งที่ต้องการได้

#### 5.4 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่และปริมาตรตะกอนทับถม

การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ตะกอนทับถมตามเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลองสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$\frac{A}{BX} = m(1 - \exp(-n(t/T))) \quad (4-1)$$

เมื่อ  $m$  คือ พื้นที่ตะกอนทับถมต่อพื้นที่อับคลื่น  $\Omega$  สมมูล และ  $n$  คือ อัตราเร่งของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทับถมเข้าสู่สมมูล จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับพารามิเตอร์  $m$  พบว่าอัตราส่วนระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นน้ำลึก ( $X/L_0$ ) เป็นตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อพารามิเตอร์  $m$  ส่วนขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) มีอิทธิพลต่อพารามิเตอร์ในอันดับรองลงมา ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการได้ดังนี้

$$m = -0.43 \ln\left(\frac{X}{L_0}\right) + 18.8 \left(\frac{H_0}{L_0}\right) - 0.17 \quad (4-5)$$

สำหรับพารามิเตอร์  $n$  มีความสัมพันธ์กับขนาดคลื่นน้ำลึกดังแสดง

$$n = 1.2 \times 10^{-5} \exp\left[33.4 \left(\frac{H_0}{L_0}\right)\right] \quad (4-6)$$

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตะกอนทับถมตามเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลองสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$\frac{V}{BXd_{BW}} = M(1 - \exp(-N(t/T))) \quad (4-7)$$

เมื่อ  $M$  คือ ปริมาตรตะกอนที่ทับถมต่อปริมาตรปริซึมในพื้นที่ที่อัปคลีน และ  $N$  คือ อัตราเร่งของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตะกอนที่ทับถมเข้าสู่สมดุลง ซึ่งรูปแบบสมการใกล้เคียงกับสมการการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ที่ทับถมต่อพื้นที่ที่อัปคลีนตามเวลา จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับพารามิเตอร์  $M$  พบว่าระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นต่อความสูงคลื่นน้ำลึก ( $X/H_0$ ) เป็นตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อพารามิเตอร์  $M$  ส่วนขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) มีอิทธิพลต่อพารามิเตอร์ในอันดับรองลงมา ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\ln(M) = -0.023 \left( \frac{X}{H_0} \right) - 32.9 \left( \frac{H_0}{L_0} \right) + 0.541 \quad (4-10)$$

สำหรับพารามิเตอร์  $N$  มีความสัมพันธ์กับขนาดคลื่นน้ำลึก ดังแสดง

$$N = 1.4 \times 10^{-5} \exp \left[ 28.0 \left( \frac{H_0}{L_0} \right) \right] \quad (4-11)$$

วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์  $m$  โดยการกำหนดอัตราส่วนพื้นที่ที่ทับถมต่อพื้นที่ที่อัปคลีน สมดุลง ซึ่งกำหนดให้พื้นที่ที่ทับถมมากที่สุดจากการทดลองเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ทับถม สมดุลงอาจมีความคลาดเคลื่อนของค่าอยู่บ้าง แต่ก็ให้ความหมายทางกายภาพของพื้นที่ที่ทับถมที่ใกล้เคียงสภาพสมดุลงในการทดลองได้ อีกทั้งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นน่าจะมีไม่มากนัก เมื่อเทียบกับการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธี Iteration algorithm ซึ่งให้เส้นฟังก์ชันที่ใกล้จุดข้อมูลจากการทดลองเพียงอย่างเดียว แต่ไม่ได้ให้ความหมายทางกายภาพของค่าพื้นที่ที่ทับถมที่เข้าใกล้สมดุลงของการทดลอง ทำให้ค่า  $m$  จากการประมาณโดยวิธีนี้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงมาก และด้วยแนวคิดเดียวกันนี้ จึงใช้วิธีกำหนดอัตราส่วนปริมาตรตะกอนที่ทับถมต่อปริมาตรในพื้นที่ที่อัปคลีน สมดุลง ในการประมาณค่าพารามิเตอร์  $M$  และ  $N$  ของสมการการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตะกอนที่ทับถมตามเวลา

ผลการศึกษาขึ้นอยู่กับพื้นฐานของการศึกษาในแบบจำลองชลศาสตร์ ซึ่งมีมาตราส่วนเวลาของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลองไม่ตรงกับมาตราส่วนเวลาในสภาพจริง เนื่องจากเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ มากมาย เช่น ลักษณะคลื่น กระแสน้ำ ขนาดตะกอน ความลาดชายฝั่ง เป็นต้น ดังนั้นความถูกต้องในการใช้ผลการศึกษาในสภาพชายฝั่งจริง จึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการขยายมาตราส่วนเวลาให้อยู่ในสภาพจริงด้วย

การศึกษานี้ได้ทดลองใช้แบบจำลอง GENESIS ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์พัฒนาโดย US Army Corps of Engineer กับกรณีของการทดลองแบบจำลองชลศาสตร์ พบว่าแบบจำลอง GENESIS

ไม่เหมาะสมที่จะจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลองชลศาสตร์ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากรูปร่างชายฝั่งจากการจำลองมีลักษณะผิดปกติ คือมีร่องหยักบริเวณกึ่งกลางแนวชายฝั่งหลังเชื่อมกันคลื่นอย่างไรก็ตาม แบบจำลอง GENESIS สามารถใช้จำลองแนวชายฝั่งสมดุลกรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วนได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบแนวชายฝั่งสมดุลจากแบบจำลองชลศาสตร์ที่ขยายสัดส่วนกับแบบจำลอง GENESIS พบว่าแนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีความแตกต่างกันมาก

## 5.5 ข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนการทดลองในส่วนของการศึกษาอุปกรณ์ เครื่องมือ และโปรแกรมประมวลข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลานานพอสมควร เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องมือทางไฟฟ้า รวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ก็มีความซับซ้อน ดังนั้นควรเผื่อเวลาสำหรับการศึกษาอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ด้วย สำหรับการทดลองครั้งนี้ใช้เวลาในขั้นตอนการศึกษาอุปกรณ์และเครื่องมือประมาณ 1 เดือน อนึ่งการถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์การใช้เครื่องมือจากผู้มีประสบการณ์หรือผู้ที่เคยใช้ จะช่วยลดระยะเวลาในการศึกษาเครื่องมือลงได้ ดังนั้นความรู้ในส่วนนี้น่าจะมีการถ่ายทอดหรือบันทึกไว้อย่างต่อเนื่อง

การใช้แบบจำลองชลศาสตร์ในการศึกษาพฤติกรรมชายฝั่ง เป็นวิธีการที่ต้องใช้เวลา แรงงาน และเงินทุนจำนวนมาก ดังนั้นก่อนการใช้แบบจำลองชลศาสตร์ในการศึกษาพฤติกรรมชายฝั่ง จึงต้องจำกัดขอบข่ายการศึกษาให้เหมาะสมกับเวลา แรงงาน และเงินทุนที่มีอยู่

การใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง แม้ว่ามีข้อดีในเรื่องของเวลา แรงงาน และเงินทุนที่น้อยเมื่อเทียบกับการจำลองโดยแบบจำลองกายภาพ แต่การใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์จำเป็นต้องรู้กลไกการจำลอง สมมติฐาน และข้อจำกัดของการจำลอง รวมทั้งความหมาย และวิธีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองอย่างละเอียด เพื่อให้การจำลองสภาพชายฝั่งมีความใกล้เคียงกับชายฝั่งจริงมากที่สุด

การศึกษาครั้งนี้เป็นการจำลองการทับถมตะกอนหลังเชื่อมกันคลื่นเดี่ยว (Single breaker) ที่มีคลื่นทิศทางด้านซ้ายปะทะชายฝั่ง โดยศึกษาอิทธิพลของขนาดคลื่น ความยาว และระยะห่างฝั่งของเชื่อมกันคลื่นเพียง 3 ปัจจัย ที่มีต่อการทับถมตะกอนหลังเชื่อมกันคลื่น แต่ในความเป็นจริงมีปัจจัยมากมายที่มีอิทธิพลต่อการทับถมตะกอน ดังนั้นผลการศึกษานี้จึงมีความจำกัดของการใช้งานอยู่มาก แนวทางการศึกษาในอนาคตน่าจะเป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยอื่น ที่มีต่อการทับถมตะกอนด้วย เช่น มุมคลื่น ความลาดชายฝั่ง คุณสมบัติความตื้นน้ำของเขื่อน



กันคลื่น ขนาดตะกอนชายฝั่ง ความหนาแน่นของตะกอนชายฝั่ง ความหนาแน่นของเหลวและ ความหนืดของเหลว เป็นต้น

เมื่อพิจารณาตำแหน่งการติดตั้งเชื่อมกันคลื่นในแบบจำลองชลศาสตร์เทียบกับตำแหน่ง คลื่นแตกตัวพบว่า ตำแหน่งติดตั้งเชื่อมกันคลื่นอยู่นอกฝั่งมากกว่าตำแหน่งคลื่นแตกตัว ทำให้ ลักษณะเชื่อมกันคลื่นที่ทดลองเป็นประเภทเชื่อมกันคลื่นน้ำลึก สำหรับกรณีที่ต้องการทดลองเชื่อม กันคลื่นประเภทน้ำตื้น จึงต้องปรับลดความลาดชายฝั่งให้น้อยลง เพื่อให้ระยะคลื่นแตกตัวอยู่ห่าง แนวชายฝั่งมากกว่าระยะห่างฝั่งของเชื่อมกันคลื่น



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-1 การประเมินค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการศึกษา

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
1. ค่าหนังสือ และสำเนาเอกสาร	5,000
2. ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแบบจำลอง	8,000
3. ค่าใช้จ่ายในการเดินแบบจำลอง	240,000*
4. เครื่องมือและอุปกรณ์การเก็บข้อมูล	100,000*
5. ค่าจัดทำวิทยานิพนธ์	7,000
6. เบ็ดเตล็ด	10,000
รวมทั้งสิ้น	370,000

หมายเหตุ \* สนับสนุนโดยงบประมาณดำเนินงานประจำปี ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และการสนับสนุน  
ทางอ้อมในรูปของแรงงานและการดำเนินงานประจำทั่วไป

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์สถิติ : สถิติเพื่อการตัดสินใจ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- ชัยพันธุ์ รักรวิชัย. บรรณารักษกร. กระบวนการทางสถิติและสถิติในอุทกวิทยา. เอกสารประกอบการเรียนการสอน. ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
- นโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, สำนัก. ร่างคู่มือการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์. โครงการศึกษาแผนแม่บทการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล ตั้งแต่ปากแม่น้ำเพชรบุรี จ.เพชรบุรี ถึงปากแม่น้ำปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์. กรุงเทพมหานคร: สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2544.
- บุศวรรณ โภธิทอง. เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนกรณีชายฝั่งสมดุล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์. แบบจำลองคณิตศาสตร์ของชายฝั่งสมดุลระหว่างเขื่อนกันคลื่นแยก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- อาทิตยา เกศมาวิษ. เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกในงานป้องกันชายฝั่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

### ภาษาอังกฤษ

- Adachi, S. and others. The effects of coastal structures on the littoral sand drifts. Coastal Engineering in Japan. 2(1959).
- Dally, W. R. and Pope, J. Detached breakwaters for shore protection. Technical Report, CERC-86-1. (1986).
- Dean, R. G. Heuristic models of sand transport in the surf zone. 1st Australian Conference on the Engineering Dynamics of the Coastal Zone. Australia : Institute of engineers, 1973.

- Fried, I. Protection by means of offshore breakwaters. Proceeding on the 15th Coastal Engineering Conference, ASCE. 2(1976).
- Hanson, H. and Kraus, N. C. Forecast of shoreline change behind multiple coastal structures. Coastal Engineering in Japan. 29(1986).
- Hanson, H. and Kraus, N. C. Numerical simulation of shoreline change at Lorain, Ohio. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. 117(1991).
- Harris, M. M., and Herbich, J. B. Effects of breakwater spacing on sand entrapment. Journal of Hydraulics Research. 24(1986).
- Herbich, J. B. Handbook of Coastal Engineering. USA: McGraw-Hill, 1999.
- Horikawa, K. Coastal Engineering: An Introduction to Ocean Engineering. Japan: University of Tokyo Press, 1978.
- Horikawa, K. Nearshore Dynamics and Coastal Processes : Theory, Measurement, and Predictive Models. Japan: University of Tokyo Press, 1988.
- Hsu, J.R.C. and Silvester, R. Accretion behind a single offshore breakwater. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. (1990).
- Hughes, S. A. Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering. Singapore: World Scientific, 1993.
- Inman, D. L. and Frautchy, J. D. Littoral processes and the development of shorelines. Proceeding Santa Babara Specially Conference, ASCE. (1965).
- Ippen, A. T. Estuary and Coastline Hydrodynamics. New York: McGraw-Hill Book, 1966.
- Nakatani, T. Morphological Change of Shorelines in the Presence of Groins and Offshore Breakwaters. Master's Thesis, School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology, 1982.
- Nir, Y. Offshore artificial structures and their influence on the Israel and Sinai Mediterranean beaches. Proceeding 18th Conference on Coastal Engineering, ASCE.(1982).
- Noble, R. M. Coastal structures' effect on shorelines. Proceeding 16th Conference on Coastal Engineering. 3(1978).
- Rosen, D.S. and Vajda M. Sedimentological influences of detached breakwaters, Proceeding 10th Coastal Engineering Conference. (1982).

- Sawaragi, T. Coastal Engineering – Waves, Beaches, Wave – Structure Interactions.  
Osaka: Elsevier Scientific Publishing Company, 1995.
- Silvester, R. Coastal Engineering. Vol. 2. New York: Elsevier Scientific Publishing  
Company, 1974.
- Sorensen, R. M. Basic Coastal Engineering. Singapore: John Wiley & Sons, 1991.
- Srinivasan, K. Shoreline Stabilization by Offshore Breakwater and Groin. Master's  
Thesis, School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology, 1989.
- Toyoshima, O. Design of a detached breakwater system. Proceeding of the 14th  
International Conference on Coastal Engineering. 2(1975).
- U.S. Army Corps. of Engineers. Coastal Groins and Nearshore Breakwaters. EM-1110-2-  
1617, 1992.
- US. Coastal Engineering Research Center. Shore Protection Manual. Vol.1. 2nd ed.  
Washington DC : Department of the US. Army Corps. of Engineers , 1984.
- US. Coastal Engineering Research Center. Shore Protection Manual. Vol.2. 2nd ed.  
Washington DC : Department of the US. Army Corps. of Engineers , 1984.
- US. Coastal Engineering Research Center. Genesis : Generalized Model for  
Simulating Shoreline Change Report 2. Washington D.C.: U.S. Army Corps of  
Engineers, 1991.
- Walker, J. R. and others. Detached breakwater system for beach protection. Proceeding  
Conference on Coastal Engineering, ASCE. 1980.

ตารางที่ ก-1 สรุปผลการศึกษาคำการใช้เขื่อนกันคลื่นในงานป้องกันชายฝั่ง

ผู้ศึกษา,ปีที่ศึกษา	เรื่องที่ศึกษา	สถานที่ศึกษา	รูปแบบการศึกษา	สรุปผลการศึกษา
Adachi, S., Sawaragi, T. และ Ogo, A. (1959)	ผลของโครงสร้างชายฝั่งต่อการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง	แบบจำลองกายภาพ	ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วกระแสน้ำตามแนวชายฝั่ง เมื่อมีเขื่อนกันคลื่นในแบบจำลองของศาสตร์ โดยพิจารณาความยาวเขื่อนกันคลื่น ความลึกน้ำที่เขื่อนกันคลื่น และความชันคลื่นน้ำลึก	รูปร่างชายฝั่งสมดุล (กรณีรูปร่างแบบ tombolo) ไม่มีความสัมพันธ์กับความชันคลื่นน้ำลึก ความลึกน้ำที่เขื่อนกันคลื่น และความยาวเขื่อนกันคลื่น แต่มีความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำที่เขื่อนกันคลื่นกับระยะเว้าตามแนวเขื่อนกันคลื่น
Shinohara, K. และ Tsubaki, T. (1966)	การจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่นเดี่ยว	แบบจำลองกายภาพ	ใช้แบบจำลองกายภาพศึกษากระบวนการชายฝั่งและรูปร่างชายฝั่งสมดุลหลังเขื่อนกันคลื่นเดี่ยวซึ่งมีคลื่นทิศทางตั้งฉากกับชายฝั่งเข้ากระทำ โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ ระยะห่างฝั่ง และขนาดคลื่นที่เข้ากระทำกับชายฝั่ง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่นและการเคลื่อนตัวของตะกอนคือการกระจายของคลื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งเขื่อนกันคลื่น</li> <li>- การทับถมของตะกอนในพื้นที่อับคลื่นเพิ่มขึ้นตามขนาดคลื่น</li> <li>- มีความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างฝั่งกับปริมาณตะกอนทับถมหลังเขื่อนกันคลื่น</li> </ul>
Fried, I. (1976)	การป้องกันชายฝั่งโดยใช้เขื่อนกันคลื่น	Tel-Aviv, Israel	ศึกษาและออกแบบระบบเขื่อนกันคลื่นในงานป้องกันชายฝั่งในประเทศอิสราเอล โดยใช้ข้อมูลแผนที่ท้องน้ำ ข้อมูลคลื่น และตัวอย่างตะกอน สร้างเป็นแบบจำลองชลศาสตร์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่น	จากการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดจริง ให้ผลที่สอดคล้องกัน ซึ่งแสดงว่ากระบวนการพัดพาตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่นในแบบจำลองชลศาสตร์สามารถอธิบายกระบวนการในธรรมชาติของต้นแบบได้
Toyashima, O. (1976)	การเปลี่ยนแปลงลักษณะท้องน้ำเนื่องจากเขื่อนกันคลื่นแยก	Kaike coast, Japan	ใช้ข้อมูลภาคสนามเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงลักษณะท้องน้ำหลังจากการสร้างเขื่อนกันคลื่น	เขื่อนกันคลื่นทำให้เกิดการยกของชายหาด รวมทั้งเหนี่ยวนำให้เกิดการตกตะกอนบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่นทำให้ลักษณะท้องน้ำหลังเขื่อนกันคลื่นมีแนวโน้มสูงขึ้น

ตารางที่ ก-1(ต่อ) สรุปผลการศึกษากาการใช้เชื่อมกันคลื่นในงานป้องกันชายฝั่ง

ผู้ศึกษา,ปีที่ศึกษา	เรื่องที่ศึกษา	สถานที่ศึกษา	รูปแบบการศึกษา	สรุปผลการศึกษา
Toyashima, O. (1976)	การออกแบบระบบเชื่อมกันคลื่นแยก	กรณีทั่วไป	ใช้ข้อมูลภาคสนามของการสร้างเชื่อมกันคลื่นแยกในญี่ปุ่นจำนวน 86 แห่งเพื่อศึกษาเกณฑ์การออกแบบระบบเชื่อมกันคลื่นแยกโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยพิจารณาตัวแปรดังนี้ ประเภทของเชื่อมกันคลื่น ความยาวเชื่อมกันคลื่น ระยะระหว่างยอดแหลม-เชื่อมกันคลื่น ความลึกน้ำที่เชื่อมกันคลื่น ระยะระหว่างเชื่อมกันคลื่น ชนิดของโครงสร้าง และความสูงเหนือระดับน้ำ	ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับตัวแปรใดๆ แต่ก็เสนอข้อแนะนำการสร้างและการใช้งานเชื่อมกันคลื่นจากประสบการณ์ โดยแบ่งเชื่อมกันคลื่นเป็น 4 ชนิดตามความลึกน้ำที่เชื่อมกันคลื่น
Noble, R.M. (1978)	ผลของโครงสร้างบริเวณชายฝั่งต่อแนวชายฝั่ง	Californis, USA	ศึกษาผลกระทบของท่าเรือ และเชื่อมกันคลื่น ต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเพื่อออกแบบท่าเรือและเชื่อมกันคลื่นในโครงการ LNG terminal pier โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม และภาพถ่ายทางอากาศ เปรียบเทียบกับผลการศึกษาในอดีตที่ศึกษาจากข้อมูลภาคสนาม และแบบจำลองชลศาสตร์	เสนอพารามิเตอร์ที่ควรนำมาพิจารณาในการออกแบบเชื่อมกันคลื่น ดังนี้ - ระยะห่างฝั่งของเชื่อมกันคลื่นต่อความยาวเชื่อมกันคลื่น - ความลึกน้ำที่เชื่อมกันคลื่น - ระยะห่างฝั่งของเชื่อมกันคลื่นต่อระยะคลื่นแตกตัว - ความยาวคลื่นต่อความยาวเชื่อมกันคลื่น - ลักษณะคลื่นในพื้นที่อับคลื่น
AbeySIGhe, J. (1979)	รูปร่างชายฝั่งหลังเชื่อมกันคลื่น	แบบจำลองกายภาพ	ใช้แบบจำลองกายภาพศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเมื่อมีคลื่นทำมุมเฉียงเข้ากระทำกับแนวชายฝั่ง โดยศึกษาตัวแปรความยาวคลื่น คาบคลื่น และ ความยาวเชื่อมกันคลื่น	- การทับถมตะกอนเพิ่มขึ้นตามพลังงานคลื่นที่เพิ่มขึ้น - ความยาวเชื่อมกันคลื่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งมาก

ตารางที่ ก-1(ต่อ) สรุปผลการศึกษากการใช้เขื่อนกันคลื่นในงานป้องกันชายฝั่ง

ผู้ศึกษา,ปีที่ศึกษา	เรื่องที่ศึกษา	สถานที่ศึกษา	รูปแบบการศึกษา	สรุปผลการศึกษา
Devasiri, M. (1980)	กระแสน้ำหลังเขื่อนกันคลื่น	แบบจำลองกายภาพ	ใช้แบบจำลองกายภาพศึกษารูปแบบการไหลของกระแสน้ำในบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่นแยก เมื่อมีคลื่นทำมุมเฉียงเข้ากระทำกับชายฝั่ง	- ความเร็วการไหลมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความสูงและคาบคลื่น - สาเหตุหลักของการเกิดรูปแบบการไหลของกระแสน้ำหลังเขื่อนกันคลื่น เนื่องจากความแตกต่างของความสูงคลื่นจากการกระจายของคลื่นที่วิ่งเข้ากระทำ
Walker, J.R. , Clark, D. และ Pope, J. (1980)	ระบบเขื่อนกันคลื่นสำหรับงานป้องกันชายฝั่ง	ทะเลสาบ Irie, Ohio, USA	ศึกษาและออกแบบระบบเขื่อนกันคลื่นเพื่อการสันทนการ โดยมีเงื่อนไขการออกแบบคือ เขื่อนกันคลื่นที่สร้างขึ้นต้องสามารถป้องกันชายฝั่งจากการถูกกัดเซาะได้ และไม่ทำให้เกิดการยื่นของแหลมทรายติดกับเขื่อนกันคลื่น วิธีการศึกษาโดยประมาณแนวชายฝั่งสมดุลจากแนวสัมประสิทธิ์การกระจายของคลื่นเทียบเท่า (diffraction coefficient isoline)	วิธีการประมาณรูปร่างชายฝั่งสมดุลหลังเขื่อนกันคลื่นโดยใช้แนวสัมประสิทธิ์การกระจายของคลื่นเทียบเท่า เท่ากับ 0.3 ให้ผลใกล้เคียงกับรูปร่างชายฝั่งที่เกิดขึ้นพอสมควร
Nir, Y. (1982)	ผลของโครงสร้างนอกชายฝั่งต่อหาด Israel และ Sanai	Israel	ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากเขื่อนกันคลื่นในประเทศอิสราเอล โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ แผนที่ความลึกน้ำ และแผนที่ภูมิประเทศ	- ปริมาณตะกอนทับถมหลังเขื่อนกันคลื่นเพิ่มเร็วในช่วงแรกที่มีการสร้างเขื่อนและค่อยๆลดลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยอัตราการเพิ่มขนาดของแหลมทรายลดลงในปีที่ 5-6 หลังการสร้างเขื่อน
Rosen, R.S. และ Vajda, M. (1982)	ผลของเขื่อนกันคลื่นแบบแยกต่อการพัดพาตะกอน	แบบจำลองกายภาพ	ศึกษาอิทธิพลของเขื่อนกันคลื่นต่อพารามิเตอร์ชายฝั่งที่เกี่ยวข้องกับรูปร่างชายฝั่งสมดุล พื้นที่และปริมาณตะกอนทับถมหลังเขื่อนกันคลื่น โดยใช้แบบจำลองชลศาสตร์	เสนอความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่งสมดุลทั้งแบบแหลมทรายและ tombolo กับระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวเขื่อนกันคลื่น เมื่อกำหนดระยะคลื่นแตกตัว



ตารางที่ ก-1(ต่อ) สรุปผลการศึกษาคำการใช้เชื่อมกันคลื่นในงานป้องกันชายฝั่ง

ผู้ศึกษา,ปีที่ศึกษา	เรื่องที่ศึกษา	สถานที่ศึกษา	รูปแบบการศึกษา	สรุปผลการศึกษา
Harris,M.M. และ Herbich,J.B. (1986)	ผลของระยะระหว่างเขื่อนกันคลื่นต่อการดักตะกอน	แบบจำลองกายภาพ	ใช้แบบจำลองกายภาพศึกษาผลของระยะระหว่างเขื่อนกันคลื่นต่อปริมาณตะกอนที่ตกทับถมในพื้นที่อับคลื่น เมื่อมีคลื่นทิศทางตั้งฉากกับชายฝั่งเข้ากระทำ โดยพิจารณาตัวแปรระยะห่างเขื่อนกันคลื่นและระยะระหว่างเขื่อนกันคลื่น	ความสามารถในการดักตะกอนมีความสัมพันธ์กับระยะห่างฝั่งเมื่อกำหนดระยะระหว่างเขื่อนกันคลื่นโดยสรุปเป็นความสัมพันธ์ได้เป็น $Q_b/XBD = e^{[0.31481-1.9187(X/B)]}$ เมื่อ $Q_b$ คือ ปริมาณตะกอนทับถมในพื้นที่อับคลื่น $X$ คือ ระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น $B$ คือ ความยาวเขื่อนกันคลื่น $D$ คือ ความลึกน้ำที่เขื่อนกันคลื่น
Sonu,C.J. และ Warwar,J.F. (1987)	การประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่น	Santa Monica,US A	ใช้ข้อมูลภาคสนามของการสร้างเขื่อนกันคลื่นที่ Santa Monica ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่นที่ได้รับผลของกระแสน้ำชายฝั่ง	ปริมาณตะกอนหลังการสร้างเขื่อนเพิ่มขึ้นแบบ exponential โดยมีรูปแบบสมการเป็น $Q = Q_0(1-e^{-At})$ โดยที่ $Q_0$ คือ ปริมาณตะกอนที่สมดุล $A$ คือ ค่าคงที่ $t$ คือ เวลาหลังจากสร้างเขื่อนกันคลื่น
Suh,K. และ Dalrymple,R.A. (1987)	การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากเขื่อนกันคลื่น	แบบจำลองกายภาพ	ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะท้องน้ำในบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่นโดยทดลองทั้งเขื่อนกันคลื่นเดี่ยวและแบบกลุ่มในแอ่งคลื่นโค้ง แล้วนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองและข้อมูลภาคสนามจากผู้ศึกษาอื่น	ตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อรูปร่างชายฝั่งคือ ระยะคลื่นแตกตัว ความยาวเขื่อนกันคลื่น และระยะระหว่างเขื่อนกันคลื่น

ตารางที่ ก-1(ต่อ) สรุปผลการศึกษากการใช้เขื่อนกันคลื่นในงานป้องกันชายฝั่ง

ผู้ศึกษา,ปีที่ศึกษา	เรื่องที่ศึกษา	สถานที่ศึกษา	รูปแบบการศึกษา	สรุปผลการศึกษา
Hsu,J.R.C. และ Silvester,R. (1990)	การทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่นเดี่ยว	กรณีทั่วไป	รวบรวมผลการศึกษาเกี่ยวกับเขื่อนกันคลื่นทั้งข้อมูลจากแบบจำลองกายภาพและข้อมูลภาคสนามของผู้ศึกษาอื่นเพื่อนำมาวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อรูปร่างชายฝั่งสมดุล	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความสัมพันธ์ระหว่างระยะจากยอดแหลม-เขื่อนกันคลื่น(<math>X_s</math>)กับความยาวและระยะห่างฝั่งเป็น <math>X_s/B = 0.678(B/X)^{-1.215}</math> เมื่อ <math>X_s</math> คือระยะยื่นของแหลมทราย</li> <li>- เสนอวิธีทำนายรูปร่างชายฝั่งโดยที่รูปร่างชายฝั่งเป็นฟังก์ชันของระยะจากจุดกระจาย-จุดเว้าต่ำสุด</li> <li>- รูปร่างชายฝั่งแบบ tombolo เกิดเมื่อ <math>X/B &lt; 0.19</math> และเมื่อ <math>X/B &gt; 5</math> จะไม่เกิดแหลมทรายยื่น</li> </ul>
Ming,D. และ Chiew,Y. (2000)	การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่นเดี่ยว	แบบจำลองกายภาพ	ใช้แบบจำลองกายภาพศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเมื่อมีเขื่อนกันคลื่นวางตัวขนานกับแนวชายฝั่ง และมีคลื่นเข้ากระทำกับแนวชายฝั่งในทิศทางตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ ความยาวและ ระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระยะยื่นของแหลมทรายเพิ่มขึ้นตามความยาวเขื่อนกันคลื่นที่เพิ่มขึ้น</li> <li>- ระยะยื่นของแหลมทรายนลดลงเมื่อความยาวเขื่อนกันคลื่นที่เพิ่มขึ้น</li> <li>- ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ทับถมตะกอนกับความยาวและระยะห่างฝั่งเป็น <math>A/X^2 = -0.384+0.043X/B + 0.711B/X</math> เมื่อ A คือ พื้นที่ของตะกอนทับถม</li> <li>- รูปร่างชายฝั่งแบบ tombolo เกิดเมื่อ <math>X/B &lt; 0.8</math></li> </ul>

## ภาคผนวก ข

### การเตรียมการทดลอง

การจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่นนี้ ได้ทำการศึกษาโดยแบบจำลองกายภาพ ณ ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล โดยจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแอ่งคลื่นขนาดกว้าง 10 ม. ยาว 20 ม. สูง 0.7 ม. จำลองชายฝั่งด้วยทรายละเอียด ขนาดประมาณ 0.25 มม. แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปที่ ข-1 และตารางที่ ข-1 และสร้างคลื่นโดยใช้เครื่องกำเนิดคลื่น ซึ่งปลายด้านล่างของกระดานสร้างคลื่นเป็นแบบยึดหมุน (hinge) ส่วนปลายด้านบนต่อกับส่วนขับเคลื่อนที่สามารถปรับความเร็วและช่วงชักได้ ซึ่งทำให้สามารถผันแปรขนาดและคาบคลื่นในการทดลองได้ โดยแสดงลักษณะคลื่นที่สร้างโดยเครื่องกำเนิดคลื่นดังแสดงในตารางที่ ข-2

ในการเตรียมการทดลองต้องทำการปรับเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วย

- เครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter) ใช้วัดความสูงคลื่นในแบบจำลอง โดยใช้หลักการวัดความจุไฟฟ้าบนเส้นลวดรับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามระดับน้ำ แล้วส่งสัญญาณไปยังเครื่องแสดงผลให้แปลงค่าสัญญาณเป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (อาทิตยา, 2540) ซึ่งสามารถส่งสัญญาณเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อบันทึกและประมวลผลข้อมูล การปรับเทียบเครื่องวัดความสูงคลื่น แสดงดังตารางที่ ข-3 และ รูปที่ ข-2 ผลการปรับเทียบสรุปได้ว่า เมื่อระดับน้ำเปลี่ยนแปลงไป 1 ซม. ค่าความต่างศักย์จะเปลี่ยนไปเท่ากับ 1 โวลท์

- เครื่องวัดระดับท้องน้ำ (Sandy surface meter) ใช้วัดระดับท้องน้ำเทียบกับระดับของเครื่องมือ หรือระดับน้ำอ้างอิง แล้วแสดงค่าระดับน้ำบนจอแสดงผล การปรับเทียบเครื่องวัดระดับท้องน้ำแสดงดังตารางที่ ข-4 และรูปที่ ข-3 ผลการปรับเทียบแสดงให้เห็นว่าเมื่อระดับท้องน้ำเปลี่ยนแปลง 1 มม. ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดความสูงท้องน้ำเท่ากับ 1 หน่วย และความละเอียดของเครื่องวัดความสูงท้องน้ำนี้เท่ากับ 0.5 หน่วย หรือวัดระดับได้ละเอียด 0.5 มม.

หลังจากสอบเทียบเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองแล้ว ก่อนการทดลองทุกครั้งจะต้องปรับชายหาดให้ทำมุมตั้งฉากกับทิศทางคลื่น โดยมีความลาด 1:34 แล้วจึงเริ่มทำการทดลอง การเตรียมการทดลองแสดงดังรูปที่ ข-4

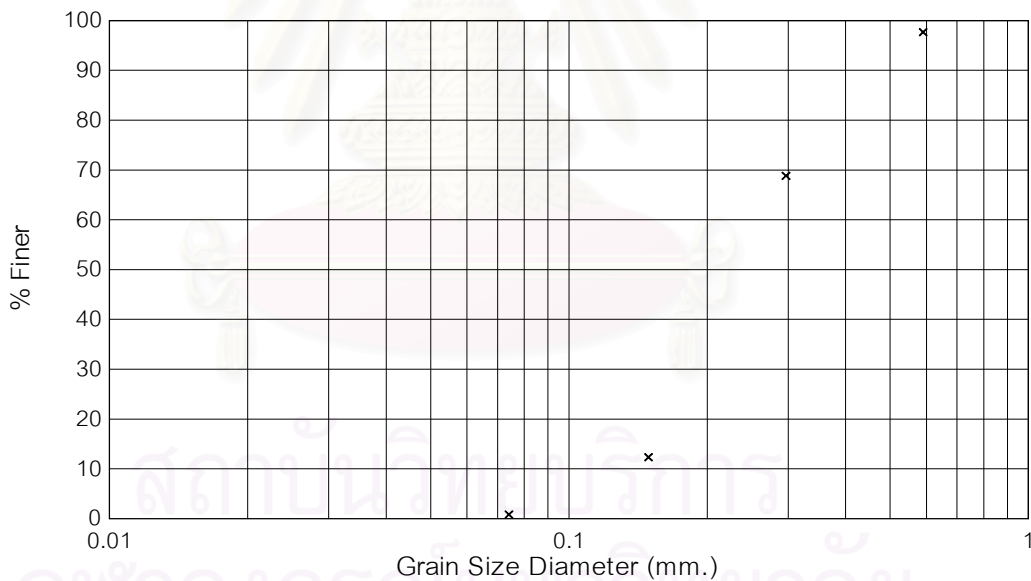
ตารางที่ ข-1 การวิเคราะห์การกระจายขนาดของทรายในแบบจำลอง

Weight of container + Dry sand 734.8 gm.

Weight of container 95.0 gm.

Weight of Dry sand 639.8 gm.

Sieve No.	Sieve Opening mm.	Weight of Sieve gm.	Weight of sieve+sand gm.	Weight of Sand gm.	Weight of Sand %	Cumulative Retained %	Percent Finer %
30	0.59	318.4	333.3	15.1	2.4	2.4	97.6
50	0.297	299.2	483.5	184.3	28.8	31.2	68.8
100	0.149	289.1	650.6	361.5	56.5	87.7	12.3
200	0.074	269.0	342.6	73.6	11.5	99.2	0.8
pan	0	264.6	270.0	5.3	0.8	100.0	0.0



รูปที่ ข-1 โค้งการกระจายขนาด (grain size distribution curve)

ตารางที่ ข-2 ลักษณะคลื่นจากเครื่องกำเนิดคลื่น เมื่อระดับน้ำในแอ่งคลื่นเท่ากับ 0.35 เมตร

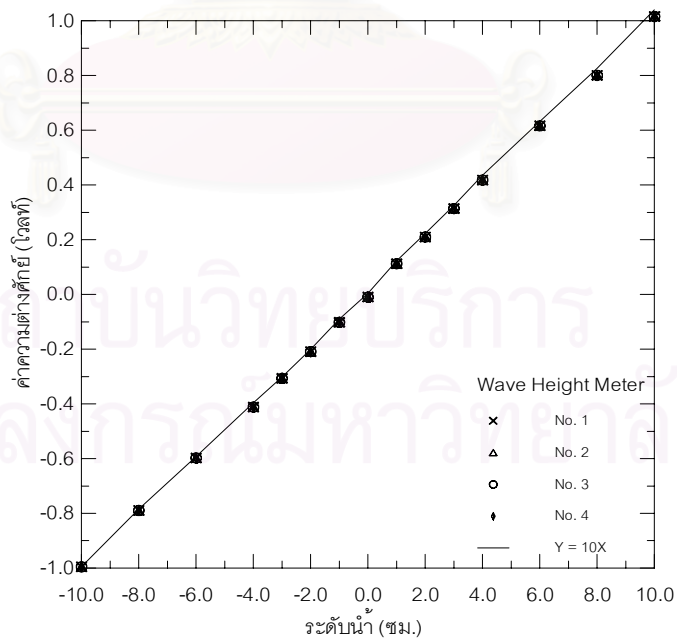
ความเร็วรอบมอเตอร์ (เฮิรตซ์)	ระยะช่วงชัก (ซม.)	ความสูงคลื่น (ม.)	คาบเวลาคลื่น (วินาที)	ความชันคลื่น
15	4	0.010 - 0.016	1.25	0.007 - 0.011
18	4.4	0.019 - 0.033	1.11	0.015 - 0.025
20	4.7	0.025 - 0.037	0.91	0.024 - 0.036



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-3 การเปรียบเทียบเครื่องวัดความสูงคลื่น

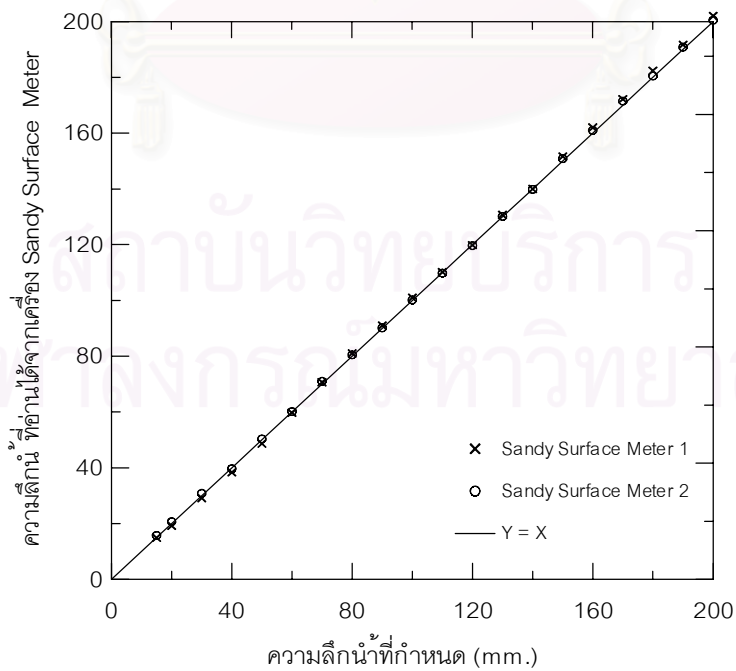
ระดับน้ำ (ซม.)	ค่าความต่างศักย์ของเครื่องมือวัดความสูงคลื่น (โวลท์)			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
-10	-0.996	-0.988	-1.006	-0.996
-8	-0.790	-0.777	-0.793	-0.785
-6	-0.598	-0.589	-0.594	-0.593
-4	-0.412	-0.403	-0.406	-0.397
-3	-0.307	-0.301	-0.299	-0.302
-2	-0.209	-0.204	-0.201	-0.201
-1	-0.102	-0.094	-0.092	-0.090
0	-0.010	0.017	0.021	0.003
1	0.112	0.115	0.120	0.123
2	0.210	0.213	0.222	0.222
3	0.314	0.321	0.325	0.326
4	0.418	0.423	0.430	0.435
6	0.616	0.620	0.628	0.632
8	0.801	0.808	0.820	0.826
10	1.016	1.019	1.037	1.040



รูปที่ ข-2 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัดความสูงคลื่น

ตารางที่ ข-4 การเปรียบเทียบเครื่องวัดระดับท้องน้ำ

measure No.	ความลึกน้ำที่ กำหนด (mm.)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง "A" (mm.)				ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง "B" (mm.)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	15	15.2	15.0	14.5	14.9	16.0	15.2	16.0	15.7
2	20	19.0	19.0	19.5	19.2	20.0	21.0	21.0	20.7
3	30	29.5	29.0	29.0	29.2	31.0	31.0	30.5	30.8
4	40	38.5	38.5	38.0	38.3	39.5	40.0	39.5	39.7
5	50	49.0	48.5	48.5	48.7	50.5	50.5	50.0	50.3
6	60	60.0	59.5	59.5	59.7	60.0	60.5	60.0	60.2
7	70	70.5	71.0	70.5	70.7	71.0	71.0	71.0	71.0
8	80	81.0	81.0	81.0	81.0	80.5	80.5	80.5	80.5
9	90	91.0	91.0	91.0	91.0	90.0	90.0	90.5	90.2
10	100	101.0	101.0	101.0	101.0	100.0	100.0	100.5	100.2
11	110	109.5	110.5	110.5	110.2	110.0	109.5	110.0	109.8
12	120	119.5	120.0	120.0	119.8	119.5	119.5	120.0	119.7
13	130	131.0	131.0	130.0	130.7	130.0	130.0	130.5	130.2
14	140	140.5	139.5	140.0	140.0	139.5	140.0	140.0	139.8
15	150	151.0	152.0	152.0	151.7	150.5	151.0	151.0	150.8
16	160	162.0	162.0	162.0	162.0	161.0	161.0	161.0	161.0
17	170	171.5	172.5	172.5	172.2	171.5	171.5	171.5	171.5
18	180	182.0	182.5	182.5	182.3	180.5	180.5	180.5	180.5
19	190	191.0	192.0	192.0	191.7	190.5	191.0	191.0	190.8
20	200	202.0	202.0	202.0	202.0	200.5	200.5	200.5	200.5



รูปที่ ข-3 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัดระดับท้องน้ำ



ก) การกำหนดระดับชายฝั่ง



ข) การปรับชายฝั่งให้ได้ระดับ



ค) ชายฝั่งหลังการปรับแต่ง



ง) การปรับขนาดคลื่น



จ) ตรวจสอบความสม่ำเสมอของชายฝั่ง



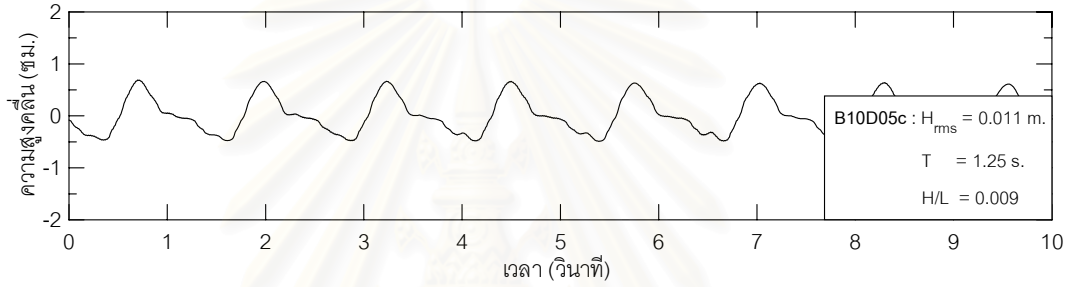
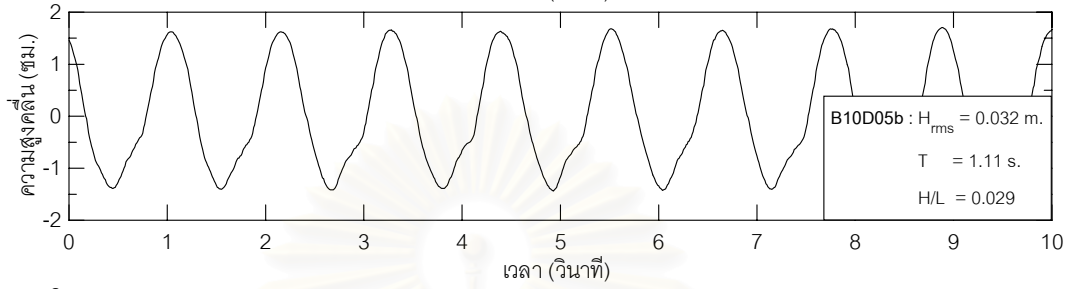
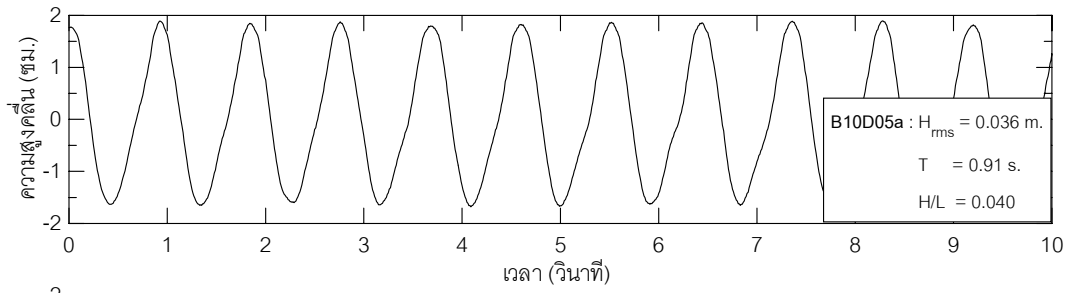
ฉ) เริ่มทดลอง

รูปที่ ข-4 การเตรียมการทดลอง

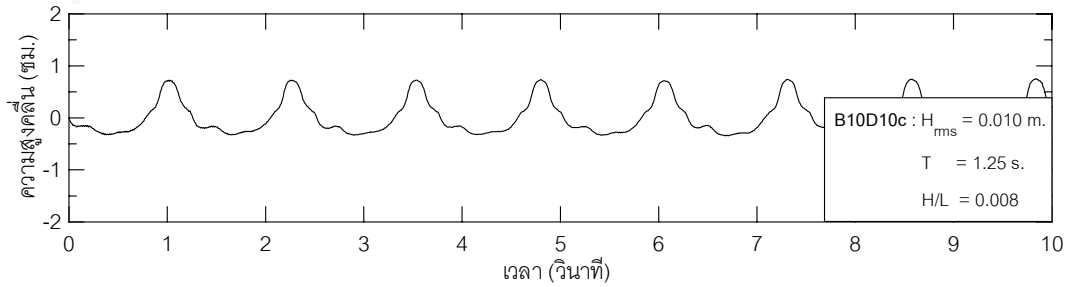
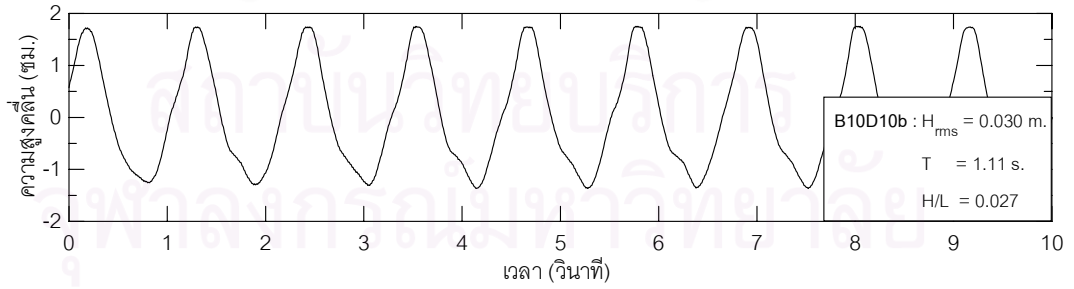
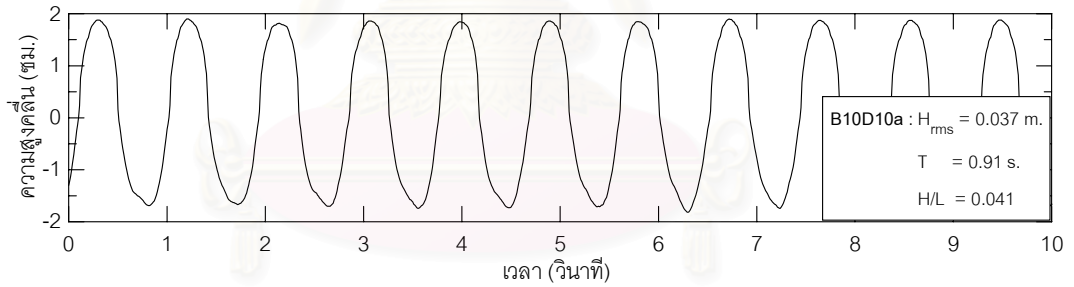


ตารางที่ ค-1 สรุปข้อมูลการทดลอง กรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 เมตร

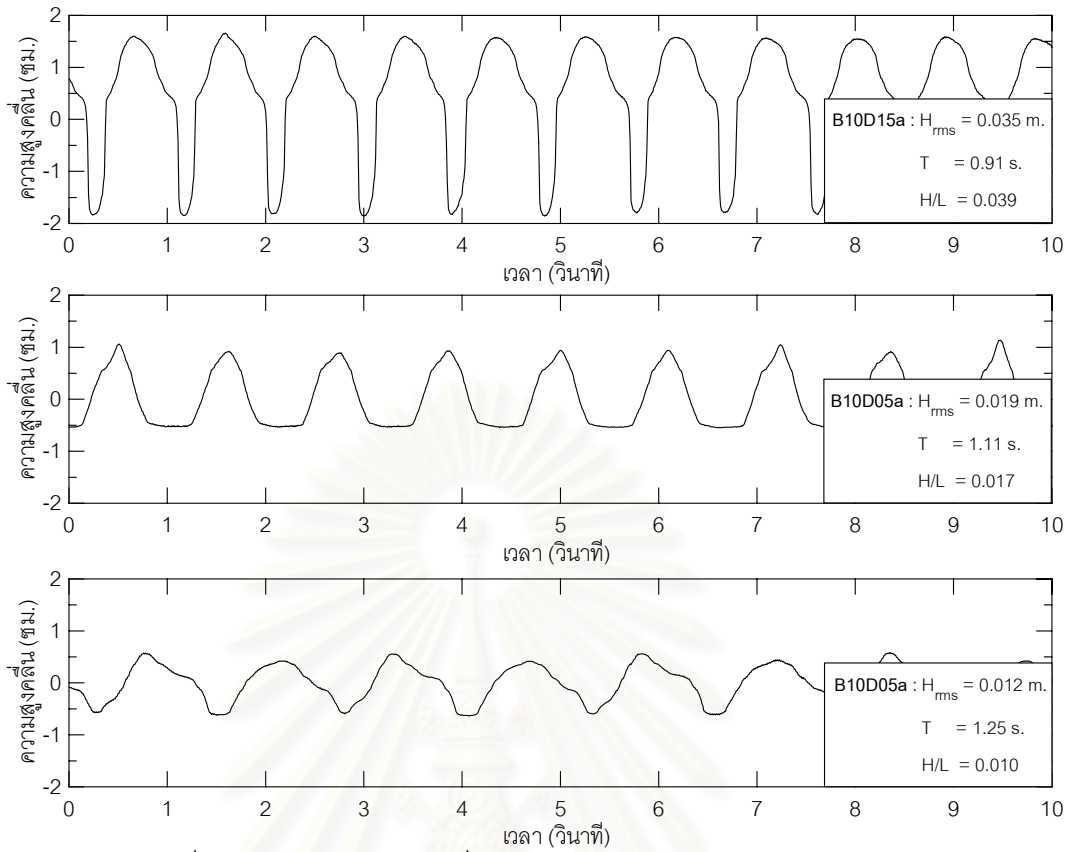
Run No.	B10D05a	B10D05b	B10D05c	B10D10a	B10D10b	B10D10c	B10D15a	B10D15b	B10D15c
<i>Model Setup</i>									
Water depth in wave basin, d(m)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Breakwater length (m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Offshore distance of breakwater (m)	0.60	0.53	0.59	1.05	1.22	1.15	1.50	1.56	1.50
<i>wave at recorder No.1 (d=0.17 m.)</i>									
Time of recorder (sec)	1800	1800	1800	1800	1800	1800	2160	1800	1980
Number of wave data	1978	1621	1440	1978	1621	1440	2373	1621	1584
<i>Statistic Analysis (Time Domain)</i>									
Mean wave height, $\bar{H}$ (m)	0.036	0.032	0.011	0.037	0.031	0.011	0.035	0.019	0.012
Root mean square wave height, $H_{rms}$ (m)	0.036	0.032	0.011	0.037	0.030	0.010	0.035	0.020	0.012
Average wave period, $T_s$ (sec)	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25
Wave length, $L_d$ (m)	1.01	1.30	1.50	1.01	1.30	1.50	1.01	1.30	1.50
Wave celerity, $C_d$ (m/s)	1.11	1.17	1.20	1.11	1.17	1.20	1.11	1.17	1.20
Wave steepness, $H_d/L_d$	0.035	0.025	0.007	0.036	0.023	0.007	0.034	0.015	0.008
Wave energy, $E_d$ (N-m/m <sup>2</sup> )	1.589	1.256	0.148	1.679	1.104	0.123	1.502	0.491	0.177
Energy flux, $P_d$ (N-m/s per m. of wave crest)	0.885	0.737	0.089	0.936	0.648	0.074	0.837	0.288	0.106
<i>Spectral Analysis (Frequency Domain)</i>									
Spectral energy density at fp, g(f)	0.97	0.90	0.71	0.96	0.88	0.75	0.94	0.92	0.92
Peak frequency, $f_p$ (Hz)	1.10	0.90	0.80	1.10	0.90	0.80	1.10	0.90	0.80
Peak spectra period, $T_p$ (sec)	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25
<i>Deep Water (calculated)</i>									
Wave period, T (sec)	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25
Wave height, $H_0$ (m)	0.039	0.034	0.011	0.040	0.032	0.011	0.038	0.020	0.012
Wave length, $L_0$ (m)	1.29	1.93	2.44	1.29	1.93	2.44	1.29	1.93	2.44
Wave steepness, $H_0/L_0$	0.030	0.018	0.004	0.031	0.017	0.004	0.029	0.010	0.005
<i>At Breakwater (calculated)</i>									
Average water depth, $d_{BW}$ (m)	0.068	0.058	0.038	0.085	0.066	0.056	0.075	0.089	0.078
Wave height, $H_{BW}$ (m)	0.040	0.038	0.014	0.039	0.035	0.013	0.038	0.021	0.013
Wave length, $L_{BW}$ (m)	0.70	0.82	0.75	0.77	0.86	0.90	0.73	0.98	1.05
Wave steepness, $H_{BW}/L_{BW}$	0.057	0.047	0.019	0.051	0.041	0.014	0.052	0.021	0.013
Energy flux, $P_{BW}$ (N-m/s per m. of wave crest)	1.335	1.236	0.150	1.420	1.076	0.127	1.275	0.478	0.181
<i>At Breaking (calculated)</i>									
Breaking depth, $d_b$ (m)	0.053	0.051	0.023	0.054	0.048	0.023	0.052	0.033	0.024
Breaking wave height, $H_b$ (m)	0.047	0.047	0.022	0.048	0.044	0.022	0.046	0.031	0.023



รูปที่ ค-1 ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการบันทึก ชุดการทดลอง B10D05

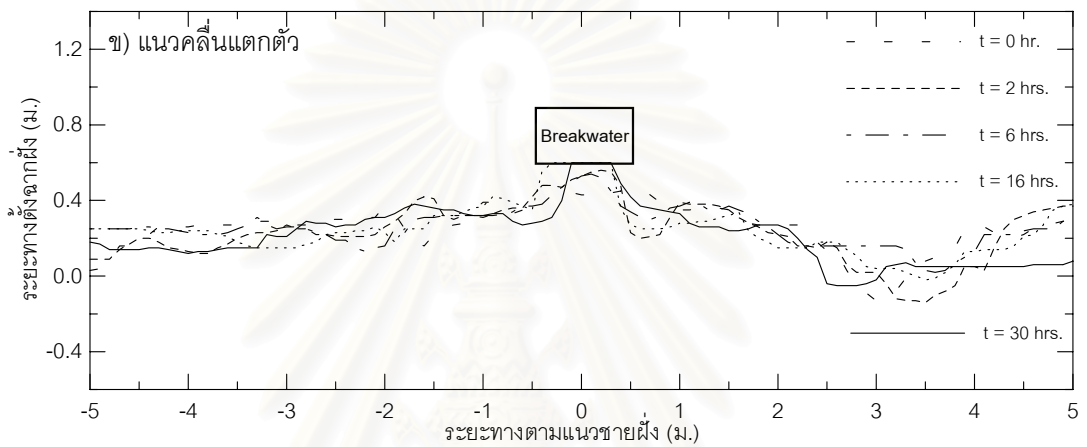
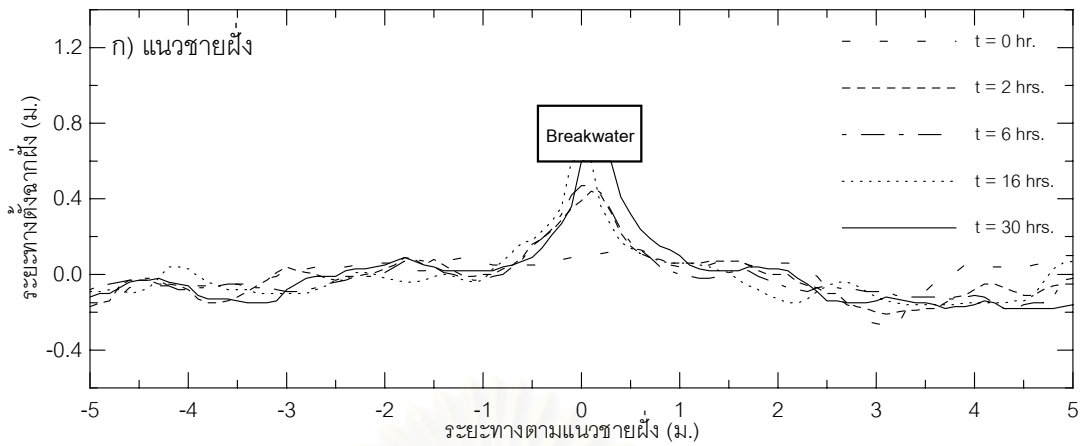


รูปที่ ค-2 ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการบันทึก ชุดการทดลอง B10D10



รูปที่ ค-3 ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการบันทึก ชุดการทดลอง B10D15

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

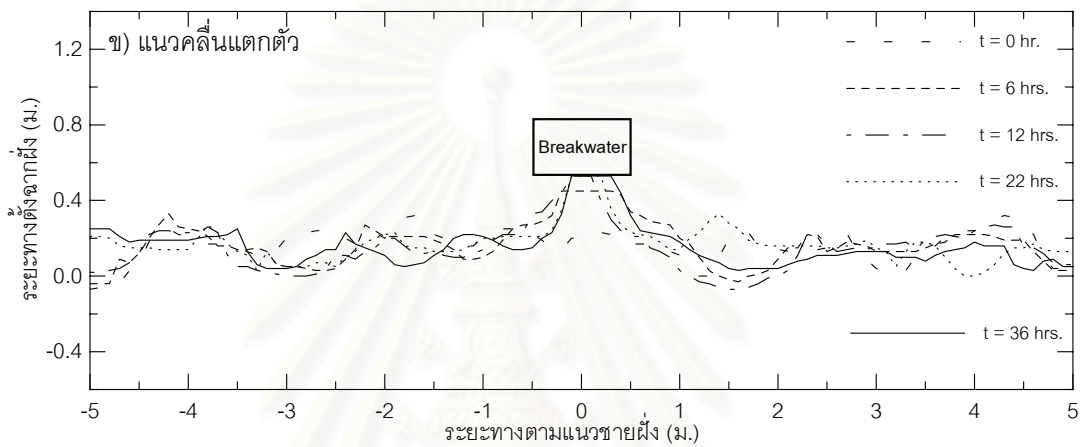
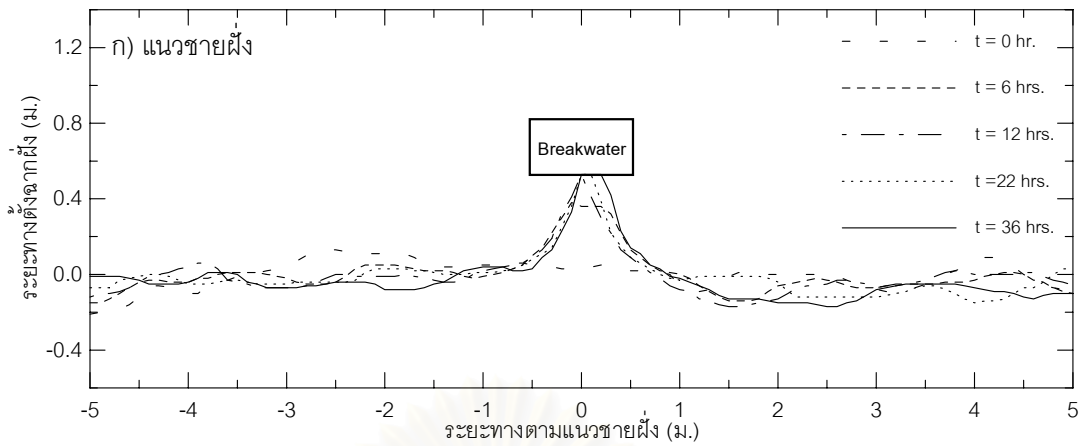


รูปที่ ค-4 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.60 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.030$  คาบคลื่น  $T = 0.91$  วินาที

ตารางที่ ค-2 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B10D05a

	B10D05a				
run duration, t	0 hr.	2 hrs.	6 hrs.	16 hrs.	30 hrs.
shape	-	1S	1S	T	T
$X_a$ (m)	-	0.57	0.63	0.60	0.56
$D_a$ (m)	0.00	0.40	0.52	0.60	0.56
$X_e$ (m)	0.49	0.17	0.11	0.00	0.00
$B_a$ (m)	-	2.29	2.33	2.16	2.46
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.28	0.31	0.42	0.45
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	11.61	13.08	20.45	21.93

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

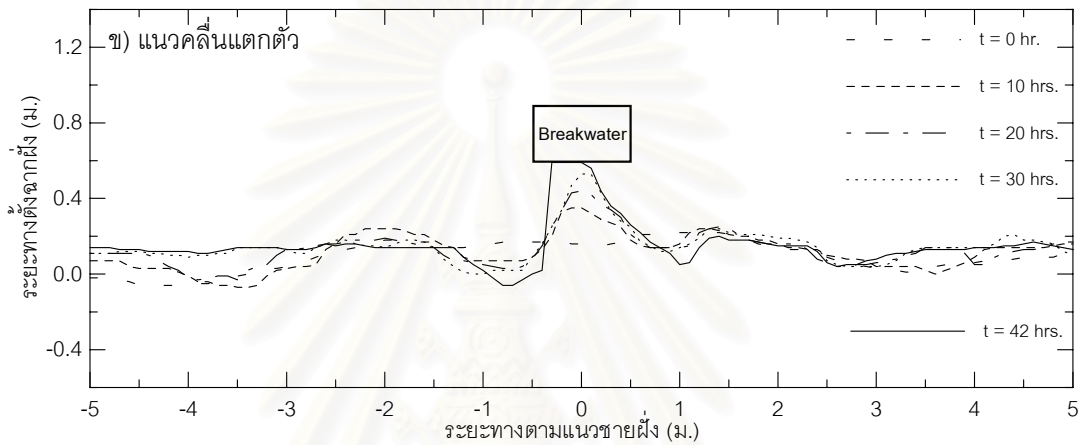
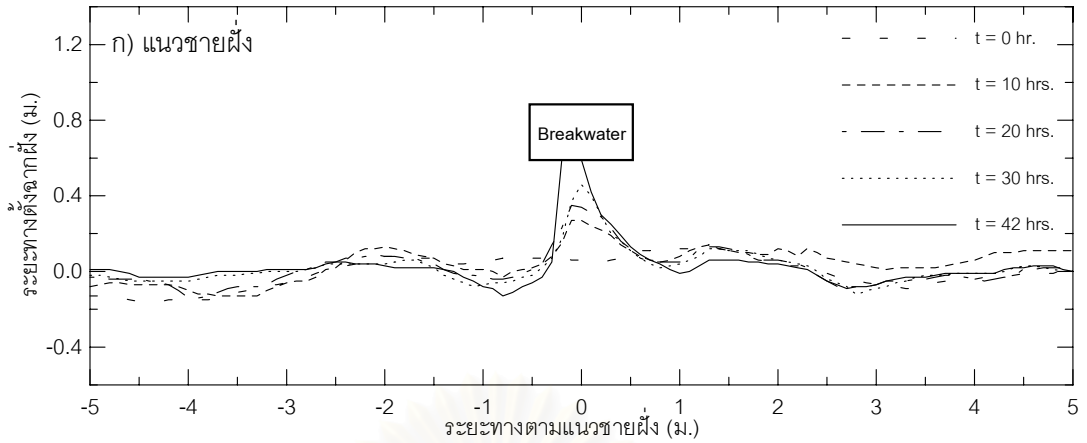


รูปที่ ค-5 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.53 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.018$  คาบคลื่น  $T = 1.11$  วินาที

ตารางที่ ค-3 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B10D05b

B10D05b					
run duration, t	0 hr.	6 hrs.	12 hrs.	22 hrs.	36 hrs.
shape	-	1S	T	T	T
$X_a$ (m)	-	0.55	0.56	0.55	0.59
$D_a$ (m)	0.00	0.39	0.56	0.55	0.59
$X_e$ (m)	0.50	0.16	0.00	0.00	0.00
$B_a$ (m)	-	2.16	1.90	1.86	2.10
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.21	0.26	0.26	0.28
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	14.10	14.35	14.60	15.54

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

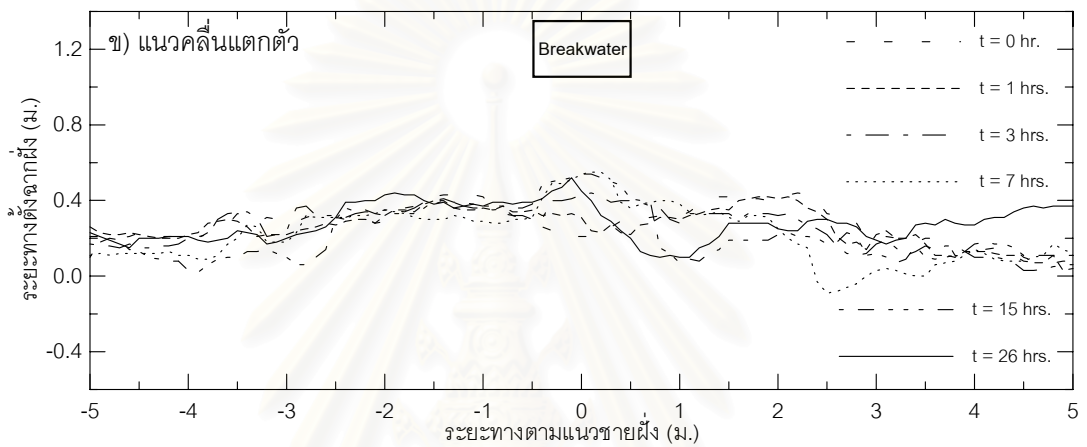
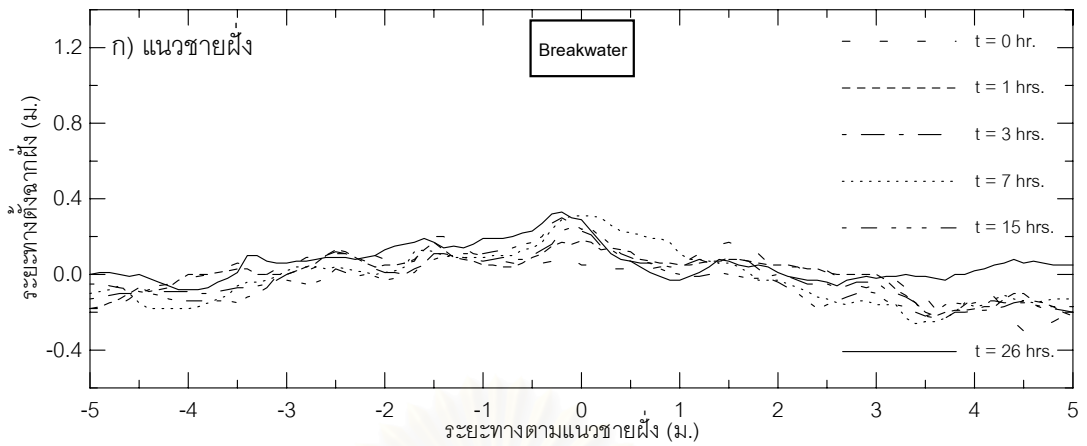


รูปที่ ค-6 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.59 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.004$  คาบคลื่น  $T = 1.25$  วินาที

ตารางที่ ค-4 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B10D05c

	B10D05c				
run duration, t	0 hr.	10 hrs.	20 hrs.	30 hrs.	42 hrs.
shape	-	1S	1S	1S	T
$X_a$ (m)	-	0.57	0.59	0.61	0.67
$D_a$ (m)	0.00	0.26	0.36	0.49	0.67
$X_e$ (m)	0.53	0.31	0.23	0.12	0.00
$B_a$ (m)	-	1.57	1.76	1.74	1.82
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.09	0.09	0.16	0.28
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	4.13	6.24	6.12	11.77

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

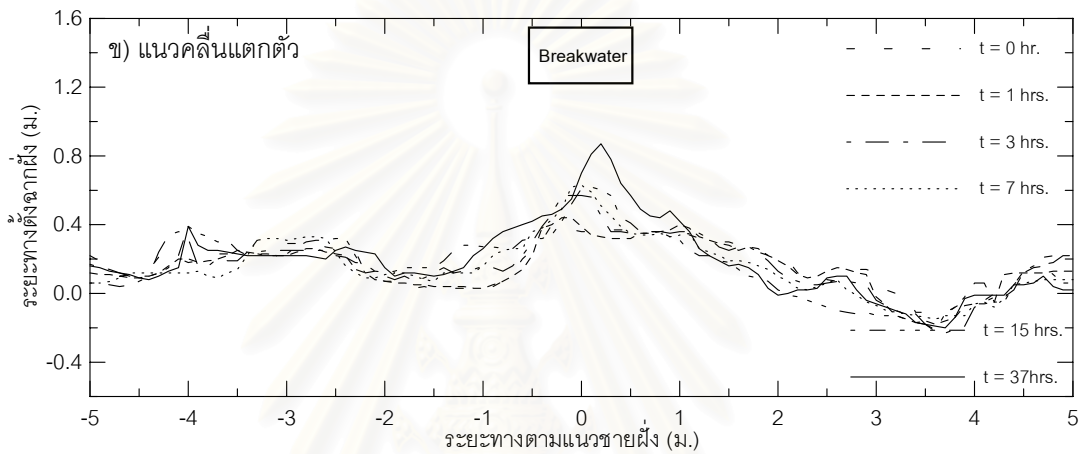
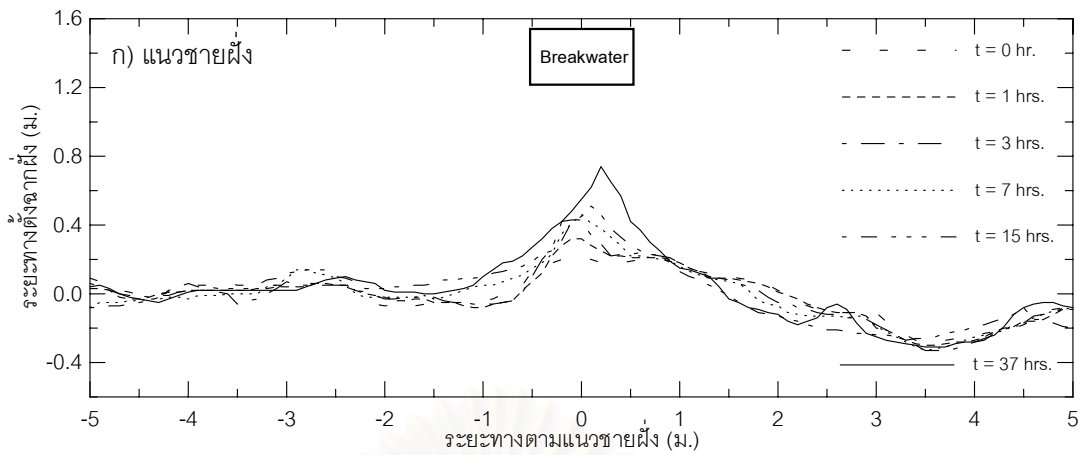


รูปที่ ค-7 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.05 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.031$  คาบคลื่น  $T = 0.91$  วินาที

ตารางที่ ค-5 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B10D10a

	B10D10a					
run duration, t	0 hr.	1 hrs.	3 hrs.	7 hrs.	15 hrs.	26 hrs.
shape	-	1S	1S	1S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.01	1.02	0.97	1.03	1.02
$D_a$ (m)	0.00	0.12	0.21	0.23	0.30	0.29
$X_e$ (m)	1.01	0.89	0.81	0.74	0.73	0.73
$B_a$ (m)	-	1.78	1.94	1.90	2.13	2.14
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.07	0.07	0.28	0.35	0.35
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	7.07	10.19	19.49	20.49	15.95

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo



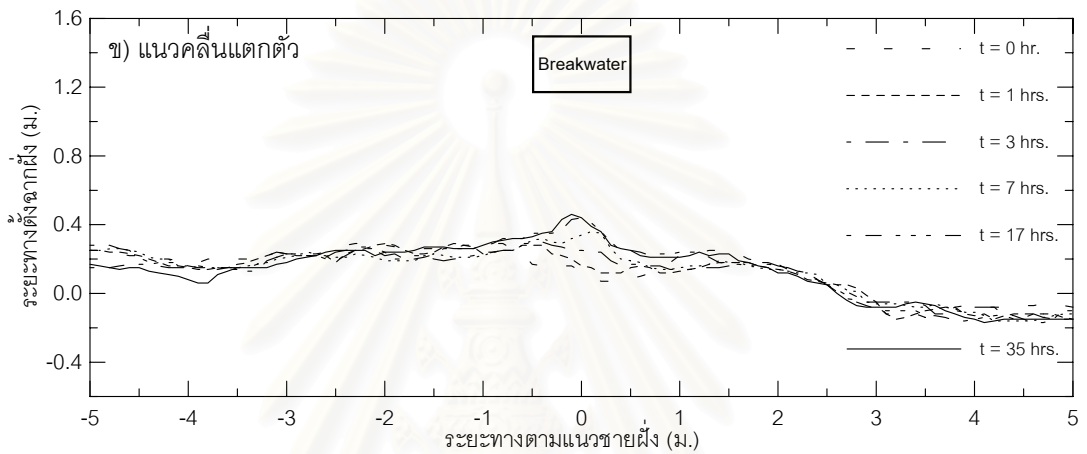
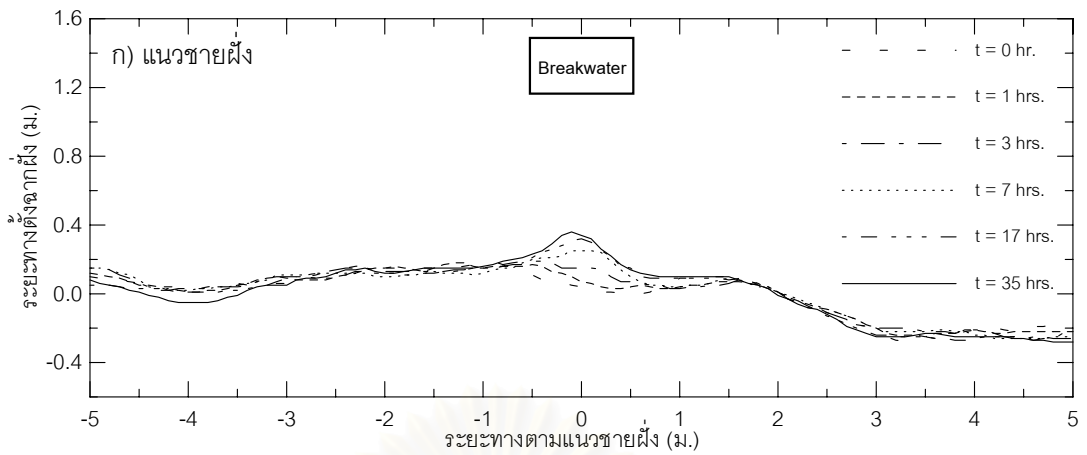
รูปที่ ค-8 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.22 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.017$  คาบคลื่น  $T = 1.11$  วินาที

ตารางที่ ค-6 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B10D10b

B10D10b						
run duration, t	0 hr.	1 hrs.	3 hrs.	7 hrs.	15 hrs.	37 hrs.
shape	-	1S	1S	1S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.34	1.32	1.15	1.01	1.15
$D_a$ (m)	0.00	0.42	0.51	0.35	0.27	0.63
$X_e$ (m)	1.04	0.92	0.81	0.80	0.74	0.52
$B_a$ (m)	-	2.10	1.92	2.04	1.81	2.04
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.02	0.05	0.09	0.26	0.56
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	4.30	8.90	15.70	17.41	31.19

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo



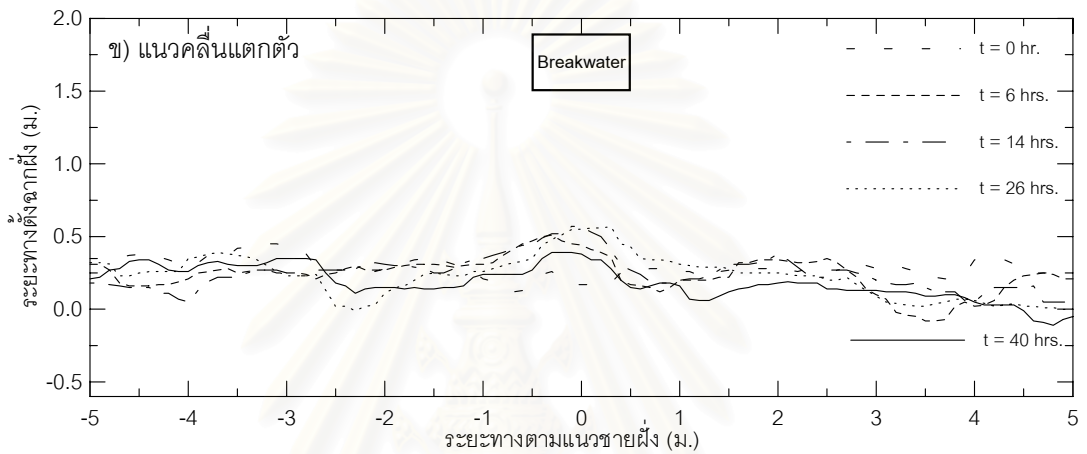
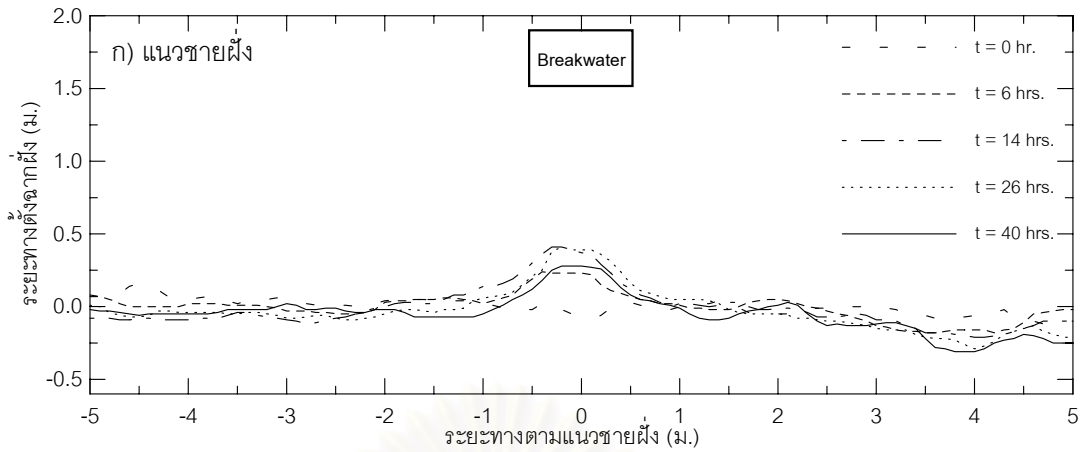


รูปที่ ค-9 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.15 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.004$  คาบคลื่น  $T = 1.25$  วินาที

ตารางที่ ค-7 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B10D10c

	B10D10c					
run duration, t	0 hr.	1 hrs.	3 hrs.	7 hrs.	17 hrs.	35 hrs.
shape	-	1S	1S	1S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.06	1.04	1.09	1.01	1.04
$D_a$ (m)	0.00	0.08	0.08	0.19	0.18	0.25
$X_e$ (m)	1.12	0.98	0.96	0.90	0.83	0.79
$B_a$ (m)	-	2.05	2.21	2.03	1.94	2.17
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.05	0.09	0.26	0.28	0.33
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	3.40	6.86	10.32	13.76	16.25

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

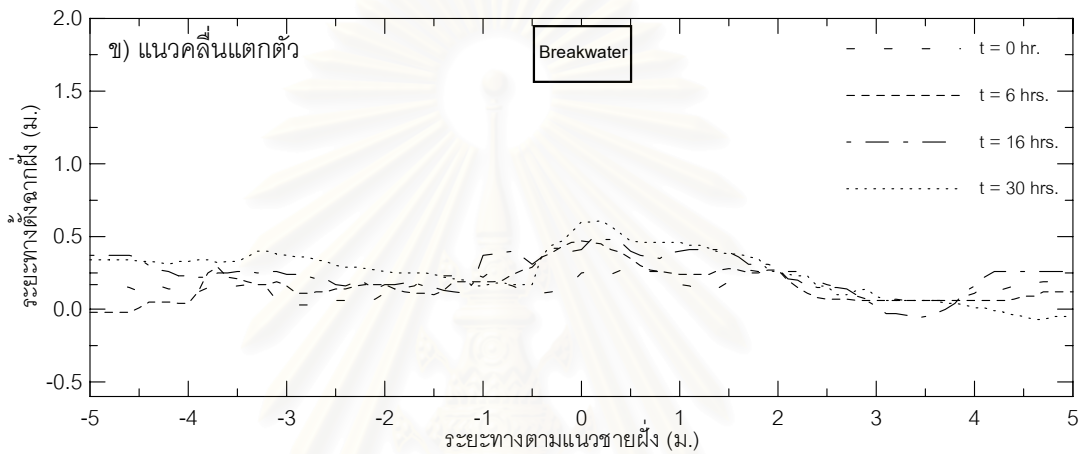
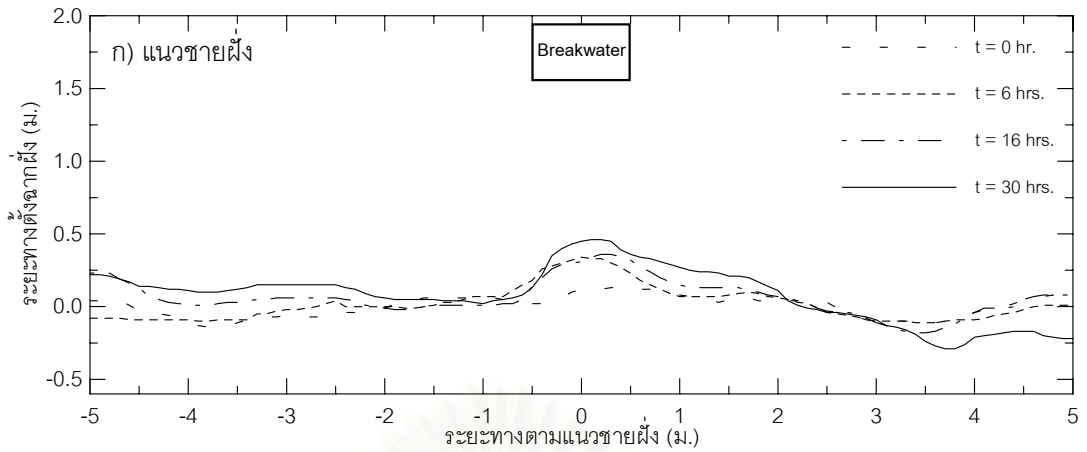


รูปที่ ค-10 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.50 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.029$  คาบคลื่น  $T = 0.91$  วินาที

ตารางที่ ค-8 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B10D15a

	B10D15a				
run duration, t	0 hr.	6 hrs.	14 hrs.	26 hrs.	40 hrs.
shape	-	1S	1S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.49	1.45	1.46	1.60
$D_a$ (m)	0.00	0.23	0.35	0.37	0.37
$X_e$ (m)	1.54	1.26	1.10	1.09	1.23
$B_a$ (m)	-	1.97	1.96	2.05	2.52
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.28	0.47	0.47	0.33
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	17.63	35.91	32.92	24.39

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

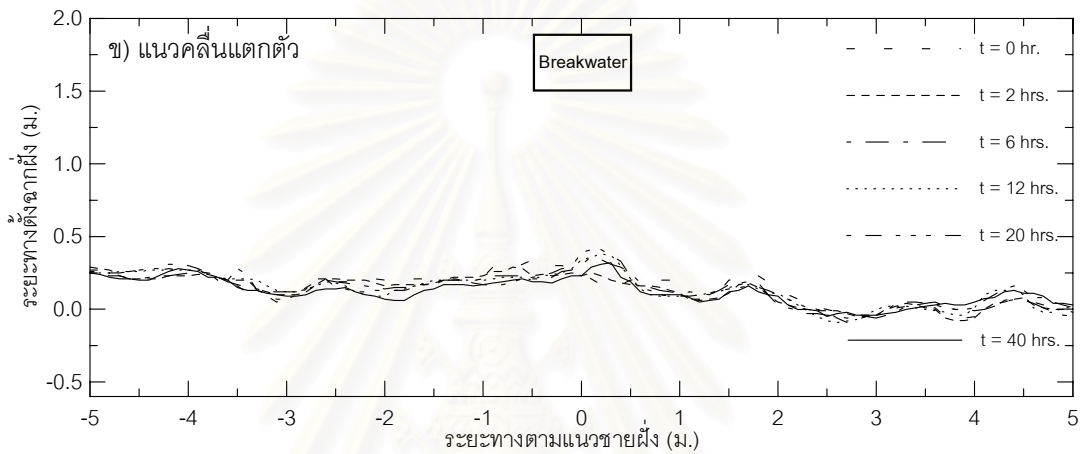
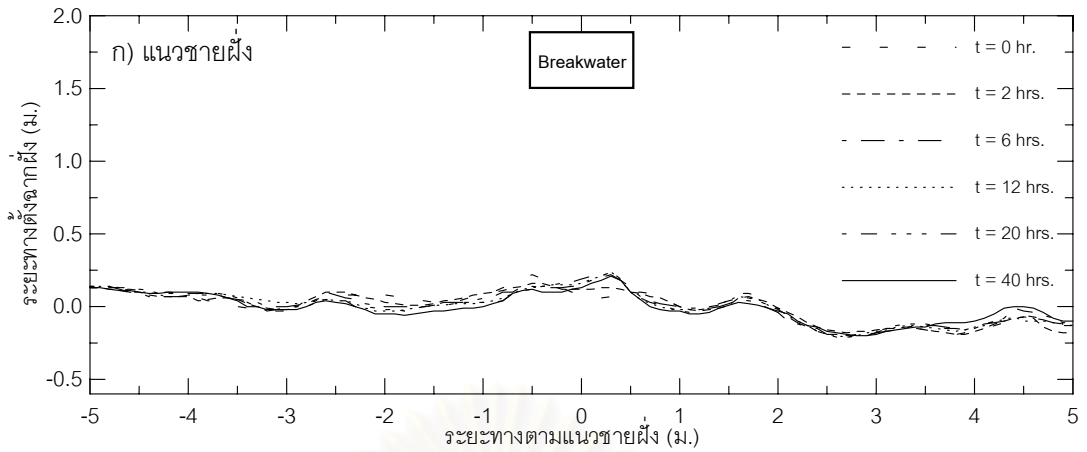


รูปที่ 11 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.56 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.010$  คาบคลื่น  $T = 1.11$  วินาที

ตารางที่ ค-9 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B10D15b

B10D15b				
run duration, t	0 hr.	6 hrs.	16 hrs.	30 hrs.
shape	-	1S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.49	1.49	1.51
$D_a$ (m)	0.00	0.28	0.31	0.43
$X_e$ (m)	1.43	1.21	1.18	1.08
$B_a$ (m)	-	2.13	2.11	3.14
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.26	0.31	0.47
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	15.80	19.15	20.07

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

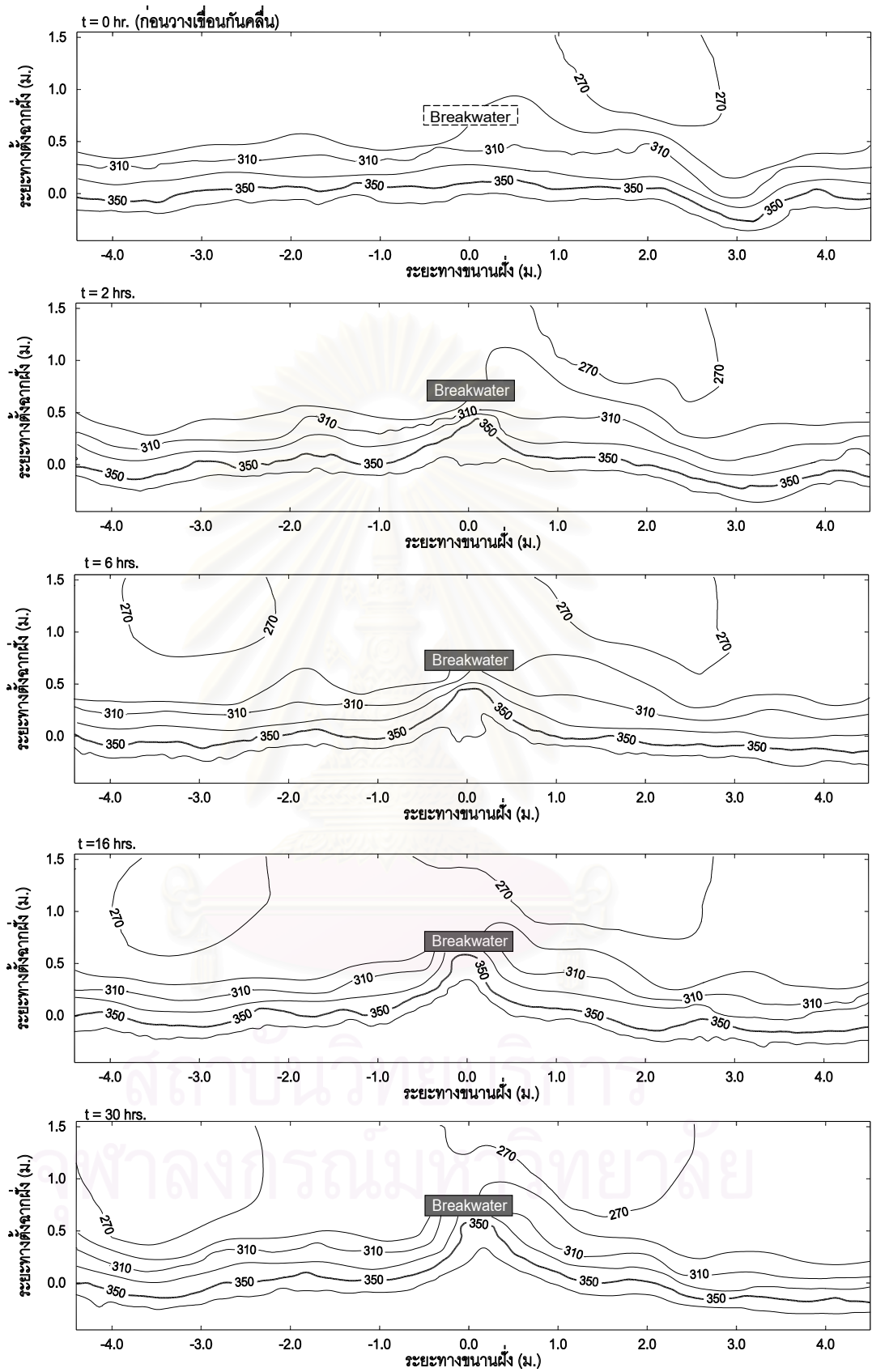


รูปที่ ค-12 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.50 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.005$  คาบคลื่น  $T = 1.25$  วินาที

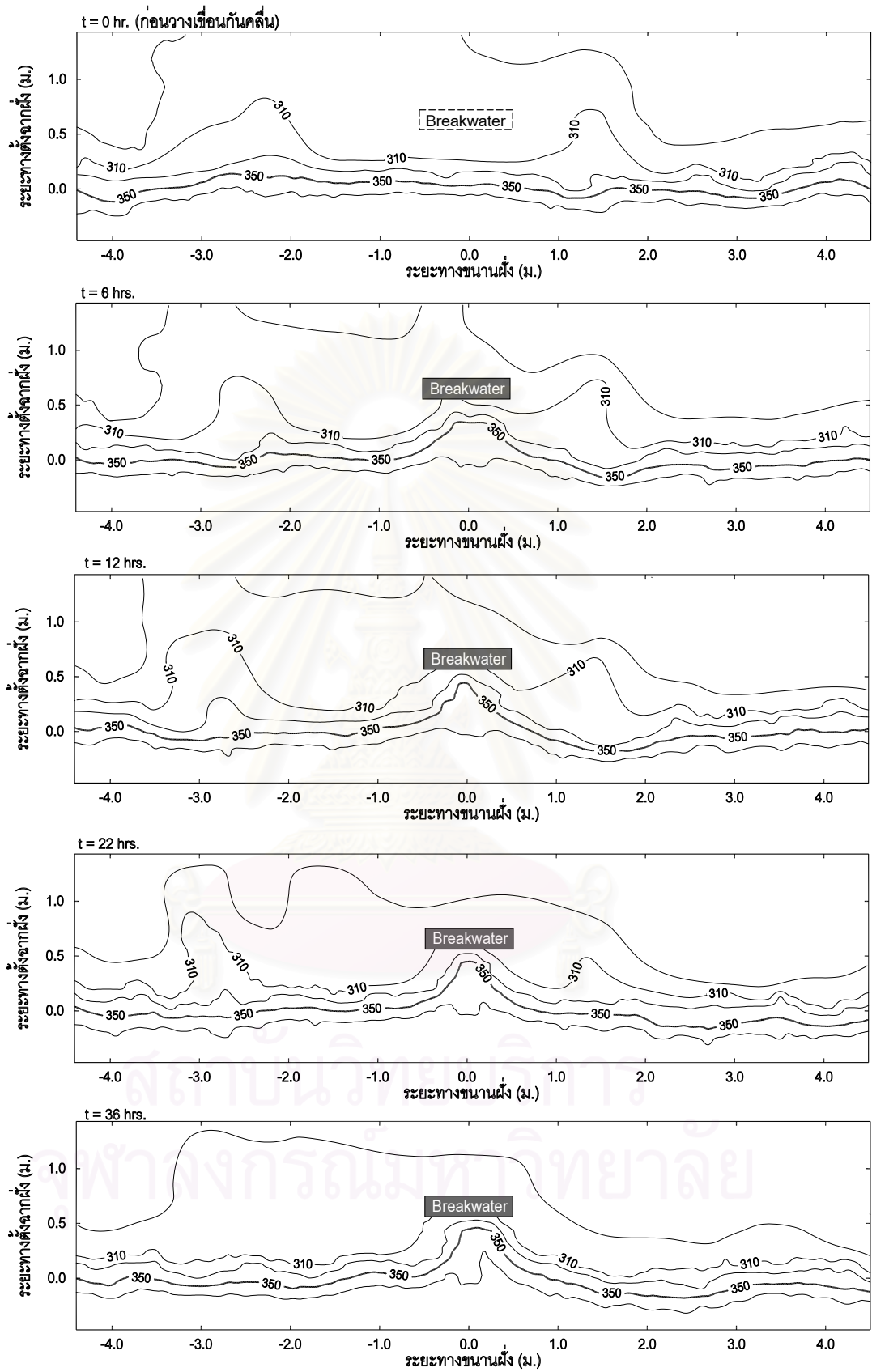
ตารางที่ ค-10 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B10D15c

	B10D15c					
run duration, t	0 hr.	2 hrs.	6 hrs.	12 hrs.	20 hrs.	40 hrs.
shape	-	1S	1S	1S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.49	1.51	1.50	1.52	1.55
$D_a$ (m)	0.00	0.14	0.23	0.23	0.25	0.26
$X_e$ (m)	1.39	1.35	1.28	1.27	1.27	1.29
$B_a$ (m)	-	2.25	2.32	2.10	2.26	2.68
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.02	0.05	0.07	0.07	0.09
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	1.57	3.25	5.32	6.31	5.67

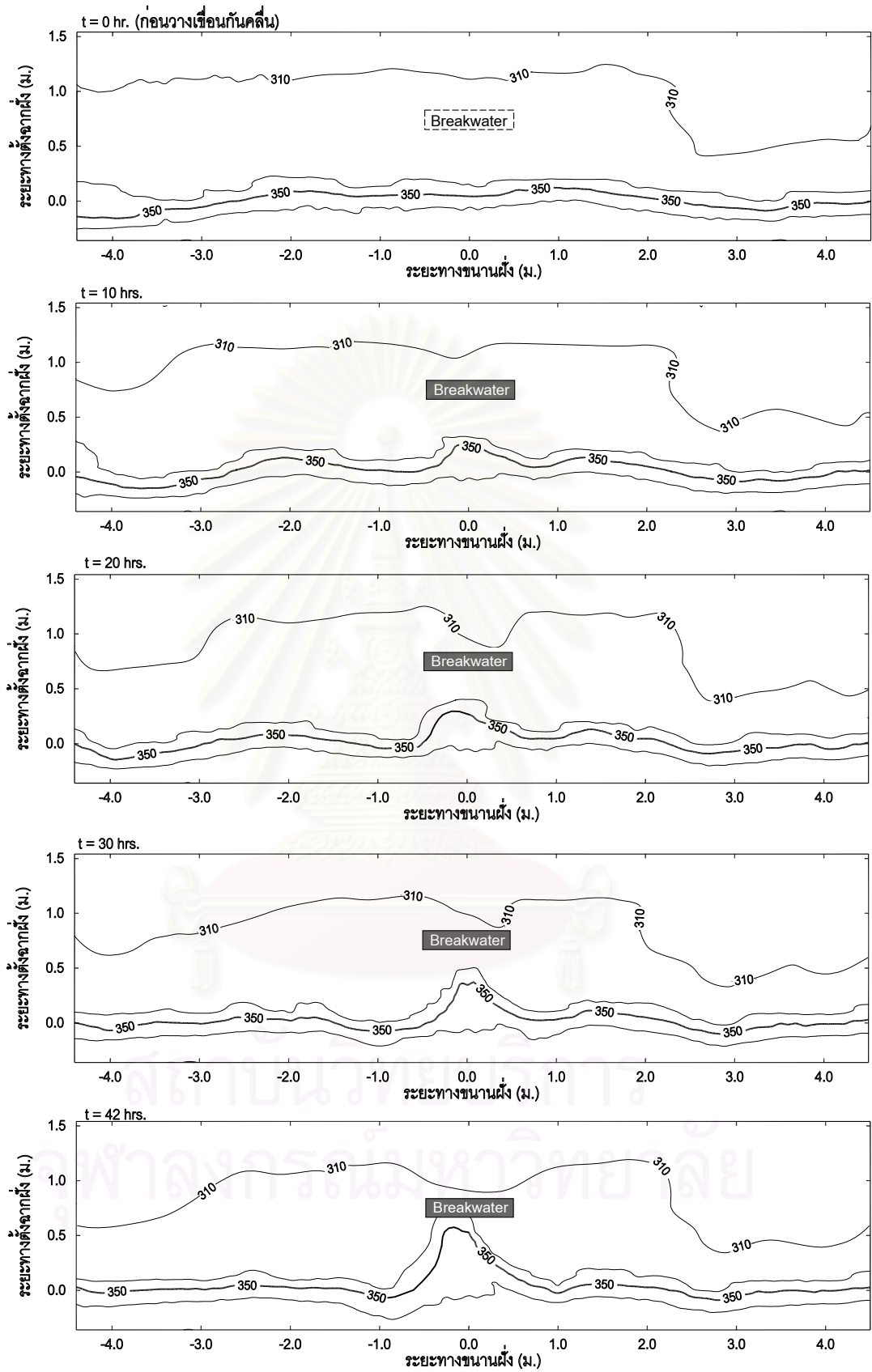
หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo



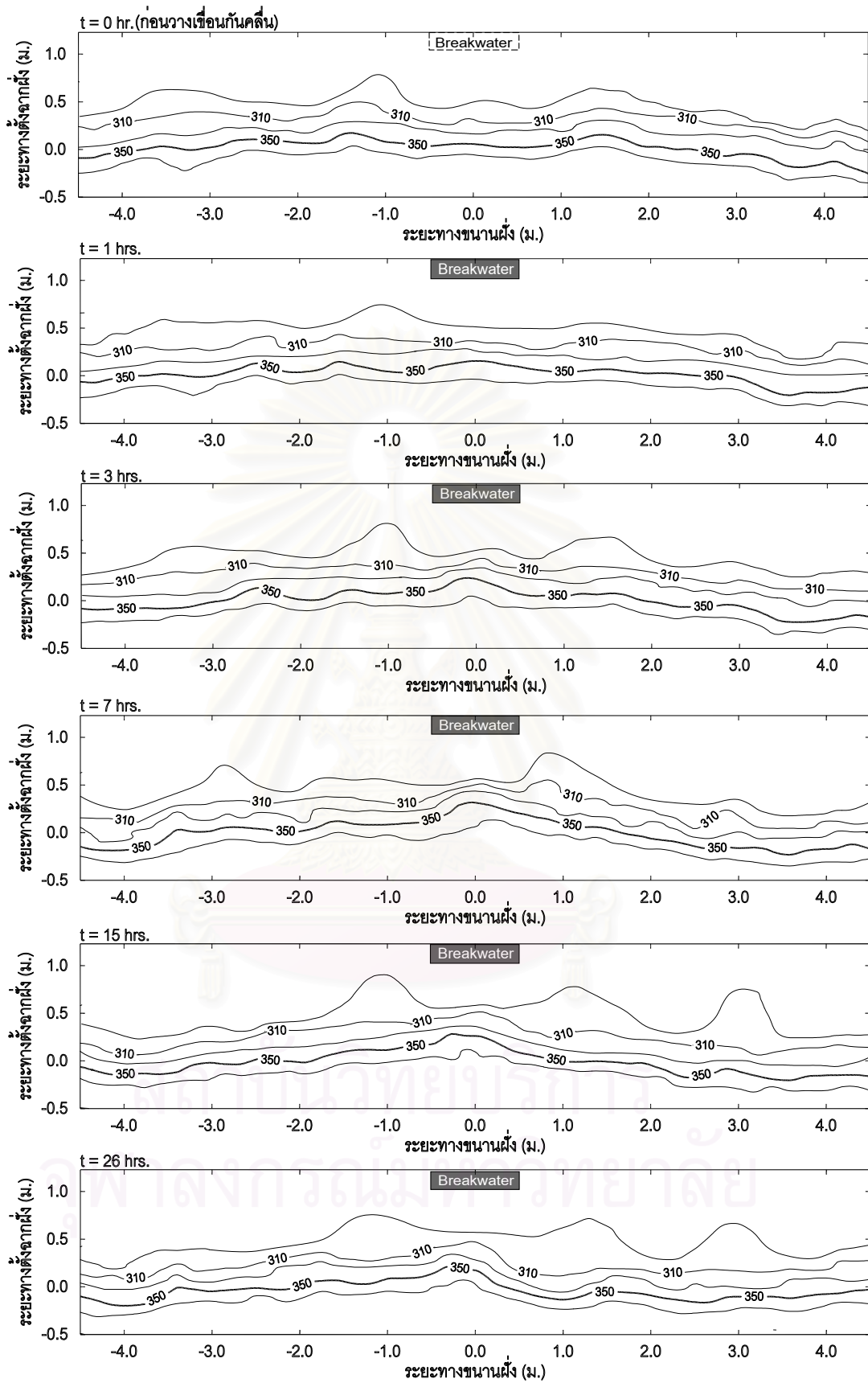
รูปที่ ค14 เส้นชั้นความสูงท่อน้ำ กรณี ความยาวเชือกกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.60 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.030 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 0.91 วินาที



รูปที่ ค15 เส้นชั้นความสูงท่อน้ำ กรณี ความยาวเชือกกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.53 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.018 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.11 วินาที

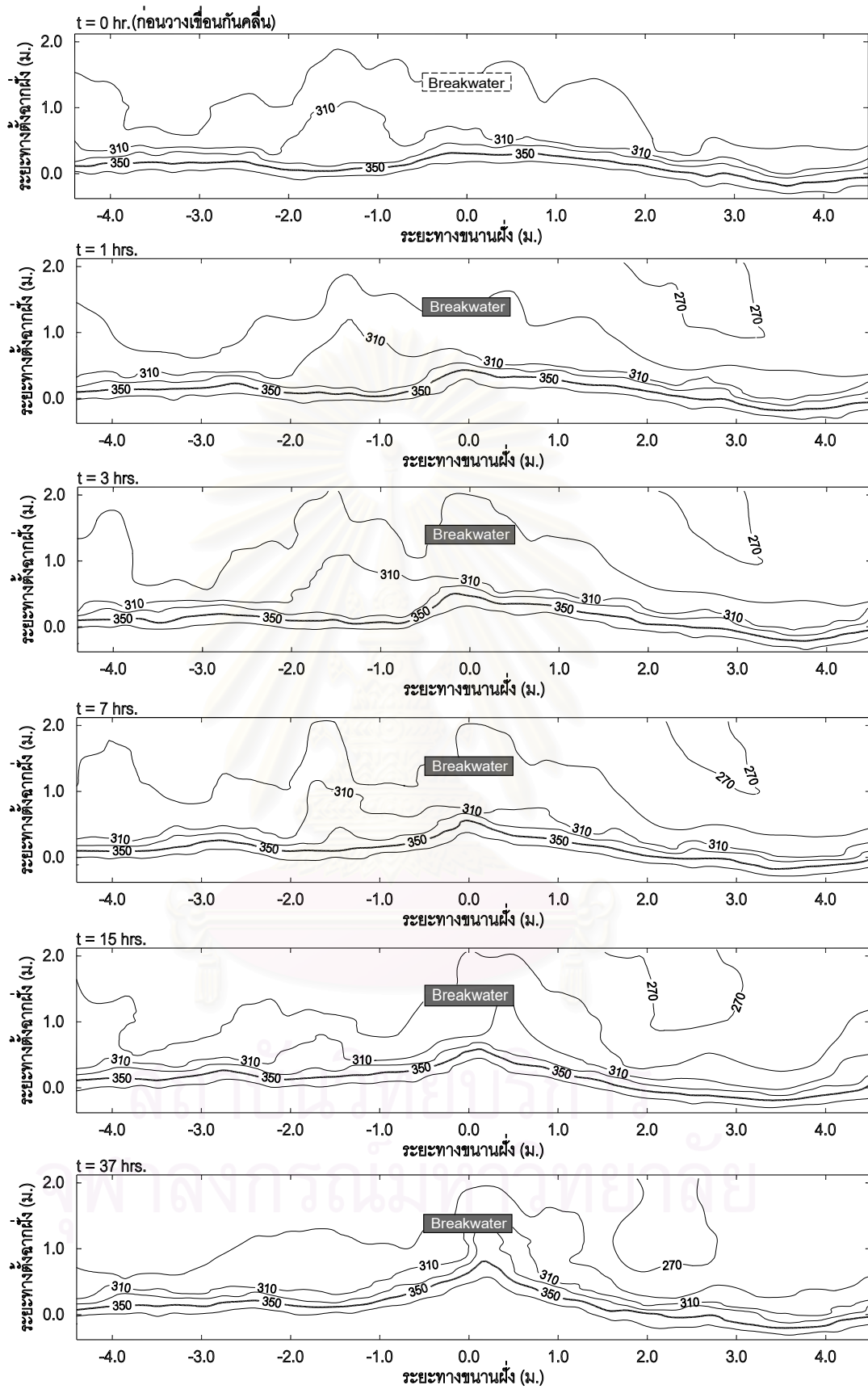


รูปที่ ค16 เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.59 ม.  
ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.004 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.25 วินาที

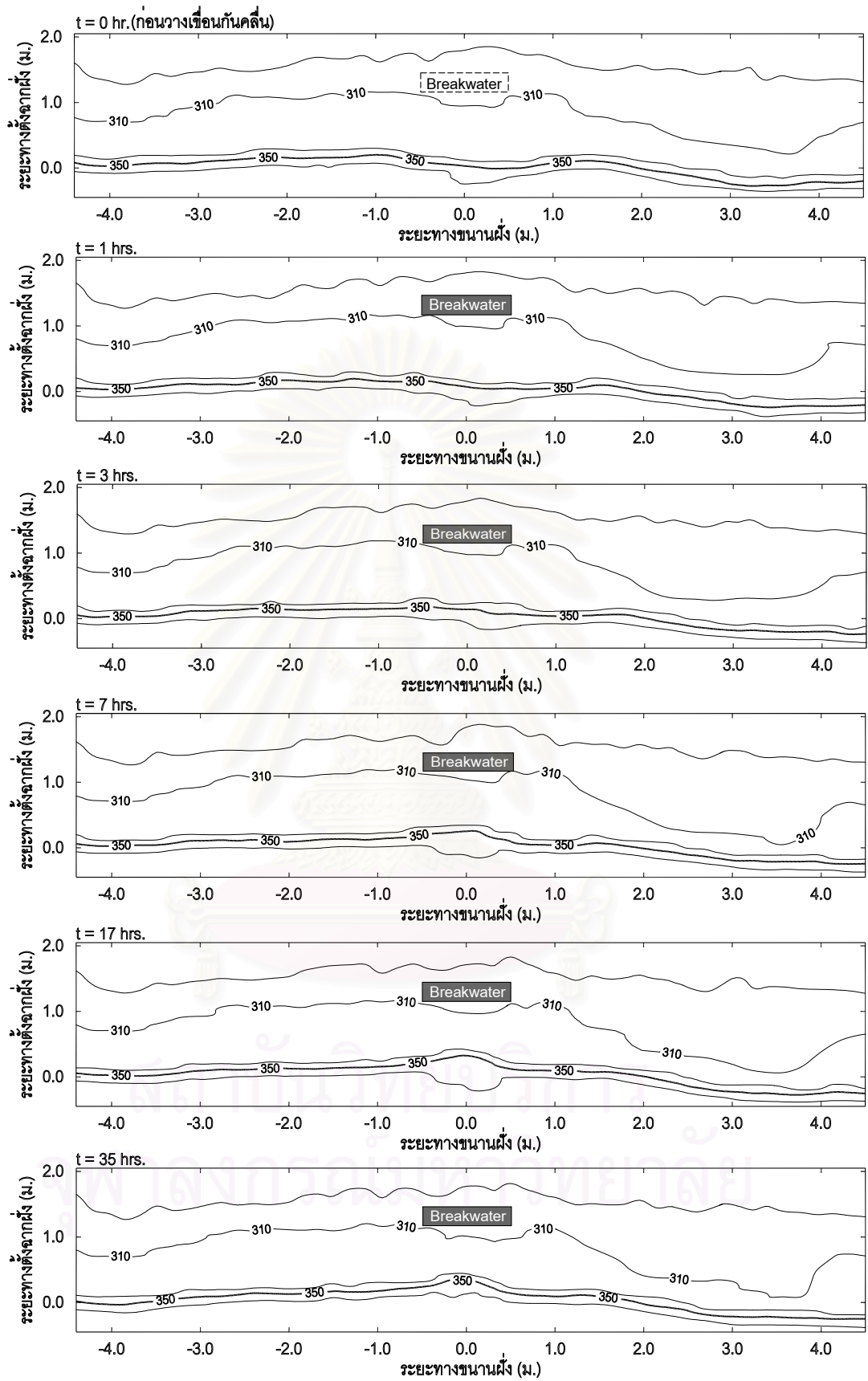


รูปที่ ค17 เส้นชั้นความสูงท่อน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.05 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.031 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 0.91 วินาที

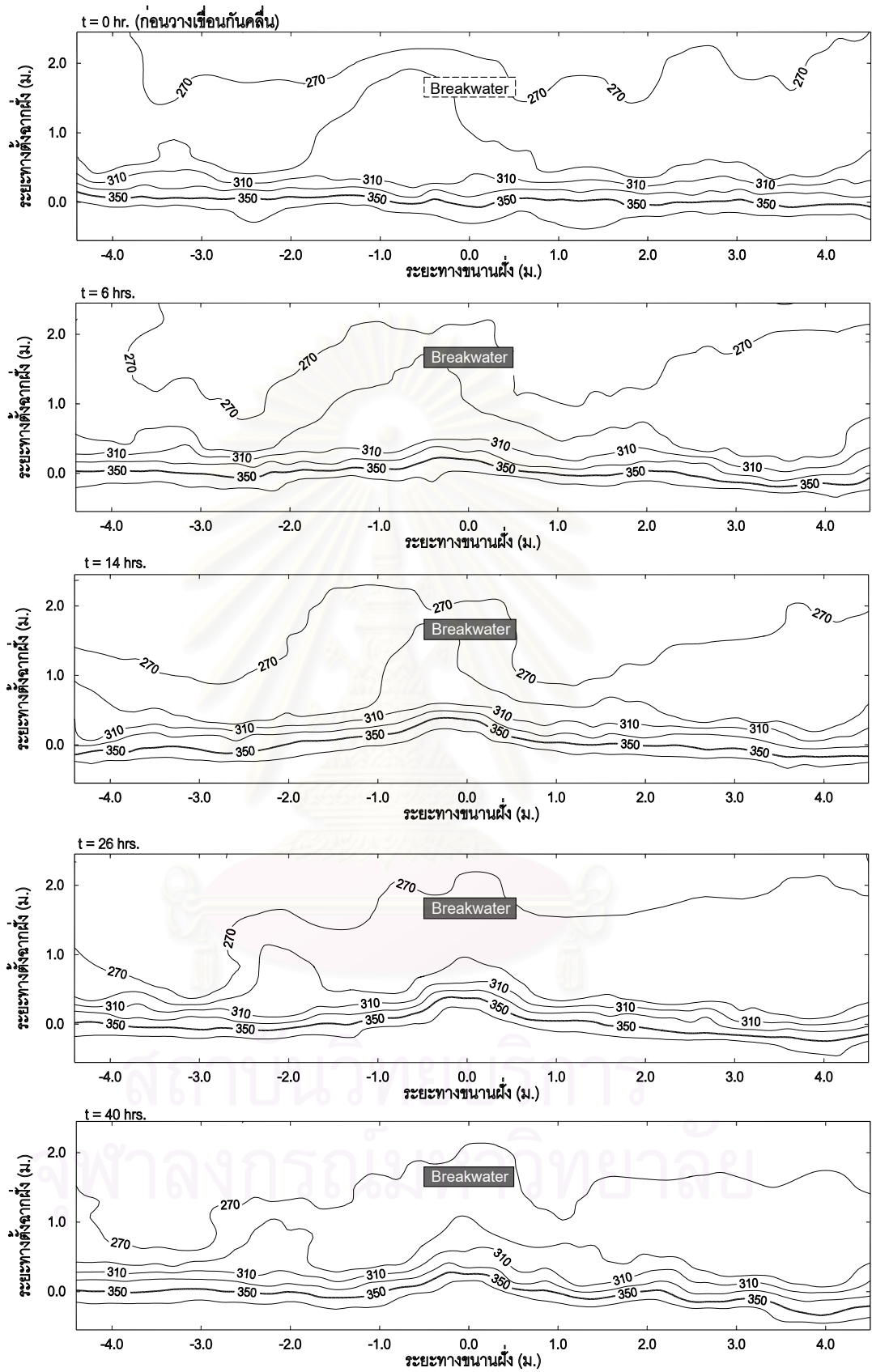




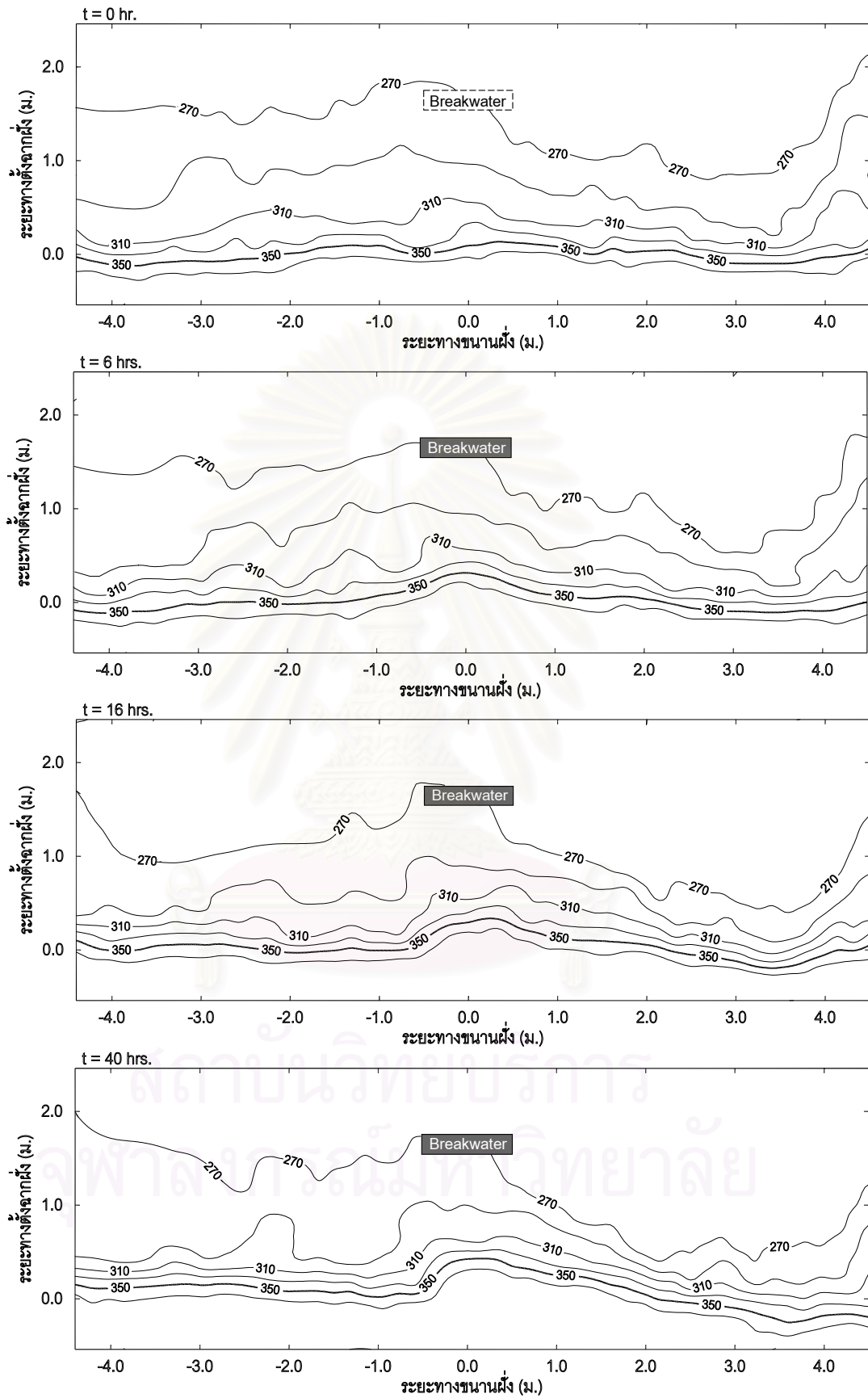
รูปที่ ค18 เส้นชั้นความสูงท่อน้ำ กรณี ความยาวเชือกกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.22 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.017 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.11 วินาที



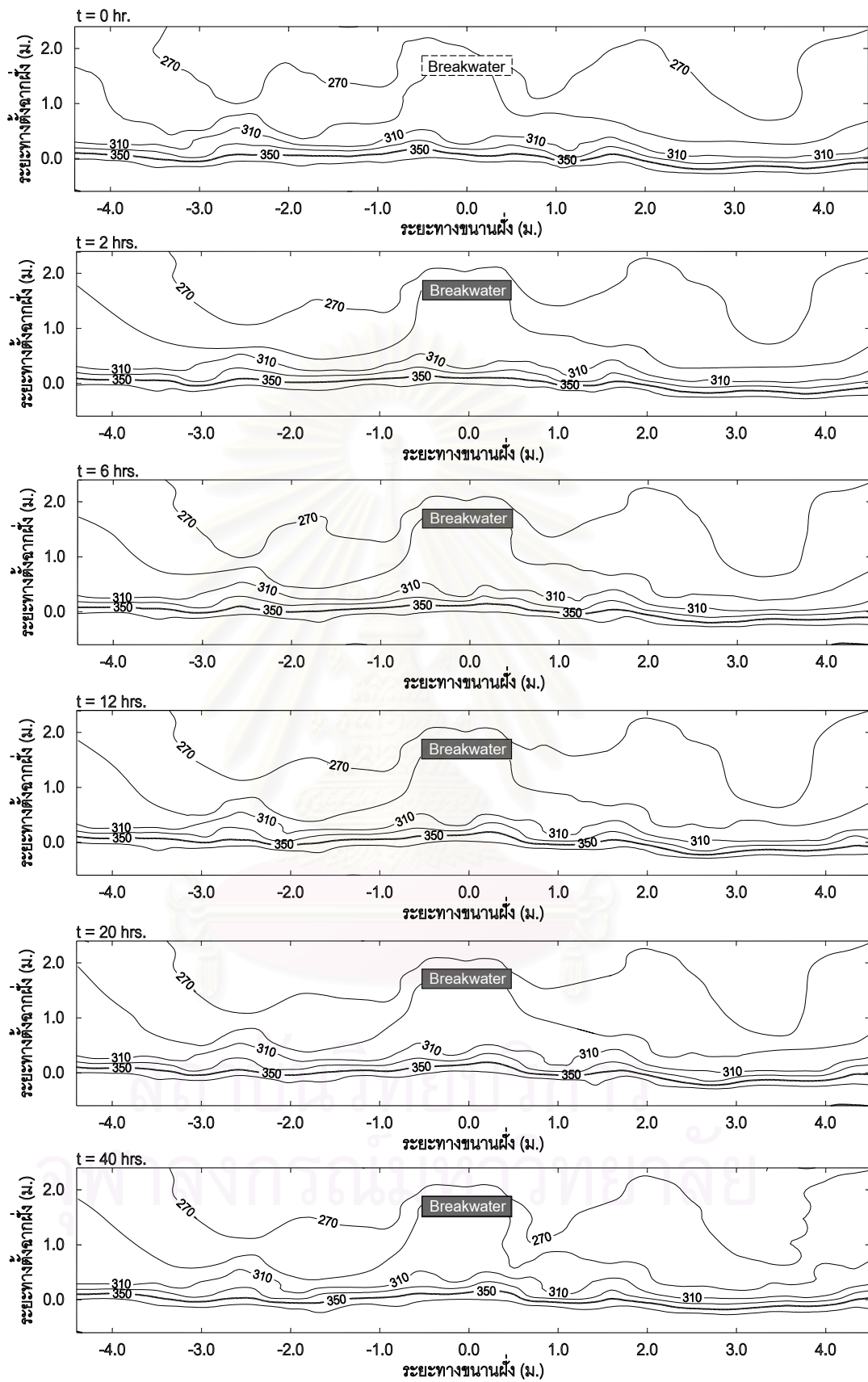
รูปที่ ค19 เส้นชั้นความสูงท่อน้ำ กรณี ความยาวเชือกกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.15 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.004 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.25 วินาที



รูปที่ ค20 เส้นชั้นความสูงท่อน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.50 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.029 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 0.91 วินาที



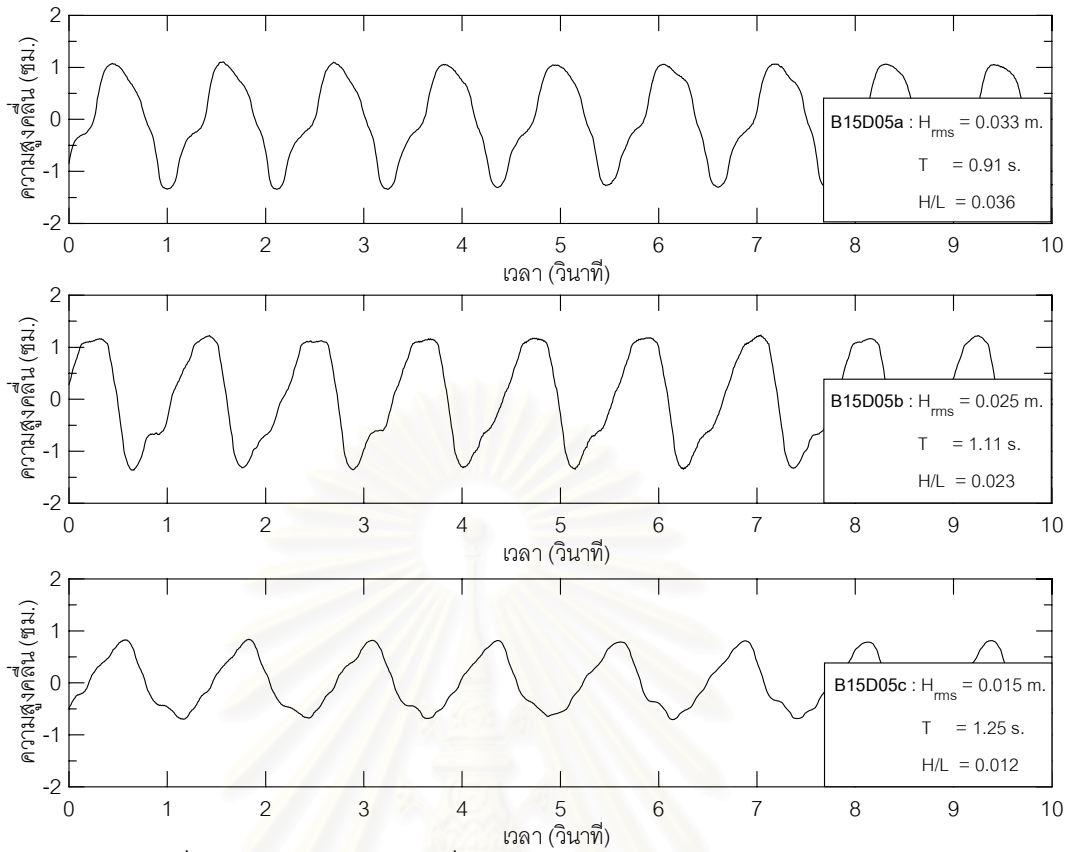
รูปที่ ค21 เส้นชั้นความสูงท่อน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.56 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.010 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.11 วินาที



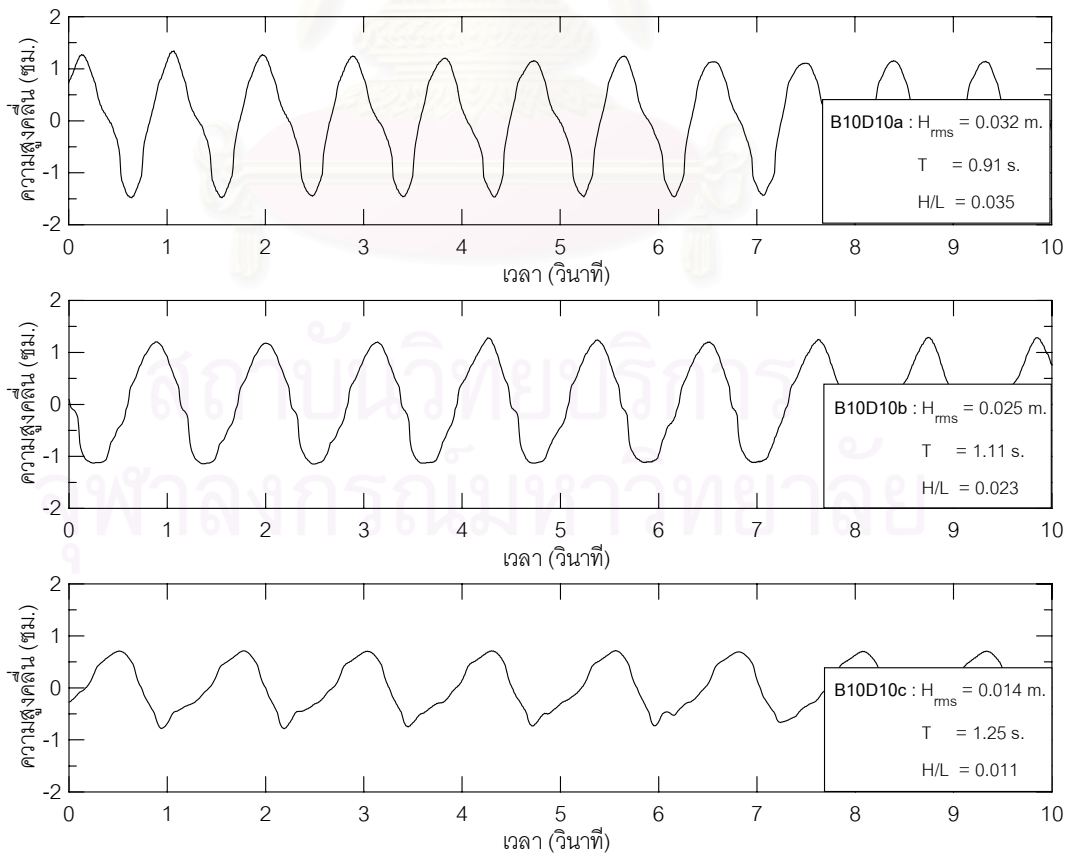
รูปที่ ค22 เส้นชั้นความสูงท่อน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.50 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.005 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.25 วินาที

ตารางที่ ง-1 สรุปข้อมูลการทดลอง กรณีความยาวคลื่นกันคลื่น 1.5 เมตร

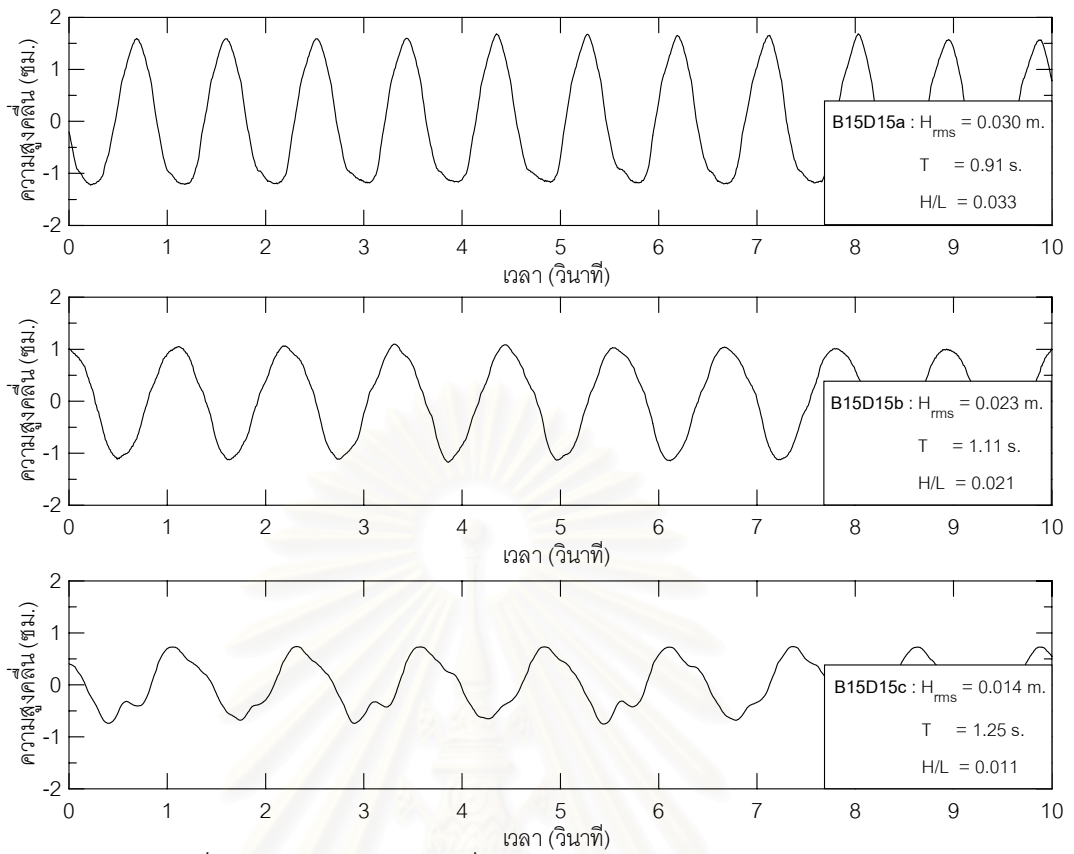
Run No.	B15D05a	B15D05b	B15D05c	B15D10a	B15D10b	B15D10c	B15D15a	B15D15b	B15D15c
<i>Model Setup</i>									
Water depth in wave basin, d(m)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Breakwater length (m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Offshore distance of breakwater (m)	0.49	0.50	0.58	1.05	1.02	0.99	1.52	1.48	1.55
<i>wave at recorder No.1 (d=0.17 m.)</i>									
Time of recorder (sec)	3600	4140	3960	3420	3240	3240	3780	3960	3240
Number of wave data	3956	3729	3168	3758	2918	2592	4153	3567	2592
<i>Statistic Analysis (Time Domain)</i>									
Mean wave height, $\bar{H}$ (m)	0.033	0.025	0.015	0.032	0.025	0.014	0.030	0.023	0.014
Root mean square wave height, $H_{rms}$ (m)	0.033	0.025	0.014	0.033	0.025	0.014	0.030	0.023	0.014
Average wave period, $T_s$ (sec)	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25
Wave length, $L_d$ (m)	1.01	1.30	1.50	1.01	1.30	1.50	1.01	1.30	1.50
Wave celerity, $C_d$ (m/s)	1.11	1.17	1.20	1.11	1.17	1.20	1.11	1.17	1.20
Wave steepness, $H_d/L_d$	0.033	0.019	0.010	0.032	0.019	0.009	0.029	0.018	0.009
Wave energy, $E_d$ (N-m/m <sup>2</sup> )	1.335	0.766	0.240	1.335	0.766	0.240	1.104	0.649	0.240
Energy flux, $P_d$ (N-m/s per m. of wave crest)	0.744	0.450	0.144	0.744	0.450	0.144	0.615	0.381	0.144
<i>Spectral Analysis (Frequency Domain)</i>									
Spectral energy density at fp, g(f)	0.99	0.95	0.78	0.94	0.97	0.97	0.98	0.93	0.93
Peak frequency, $f_p$ (Hz)	1.10	0.90	0.80	1.10	0.90	0.80	1.10	0.90	0.80
Peak spectra period, $T_p$ (sec)	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25
<i>Deep Water (calculated)</i>									
Wave period, T (sec)	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25
Wave height, $H_0$ (m)	0.036	0.026	0.015	0.035	0.026	0.014	0.032	0.024	0.014
Wave length, $L_0$ (m)	1.29	1.93	2.44	1.29	1.93	2.44	1.29	1.93	2.44
Wave steepness, $H_0/L_0$	0.028	0.014	0.006	0.027	0.014	0.006	0.025	0.013	0.006
<i>At Breakwater (calculated)</i>									
Average water depth, $d_{BW}$ (m)	0.064	0.063	0.033	0.069	0.057	0.046	0.063	0.070	0.071
Wave height, $H_{BW}$ (m)	0.037	0.029	0.020	0.035	0.029	0.017	0.033	0.026	0.016
Wave length, $L_{BW}$ (m)	0.68	0.84	0.69	0.70	0.81	0.82	0.68	0.89	1.02
Wave steepness, $H_{BW}/L_{BW}$	0.054	0.034	0.029	0.050	0.036	0.021	0.048	0.029	0.016
Energy flux, $P_{BW}$ (N-m/s per m. of wave crest)	1.119	0.744	0.240	1.124	0.755	0.247	0.932	0.639	0.251
<i>At Breaking (calculated)</i>									
Breaking depth, $d_b$ (m)	0.051	0.041	0.028	0.050	0.041	0.027	0.045	0.038	0.027
Breaking wave height, $H_b$ (m)	0.045	0.037	0.027	0.044	0.037	0.026	0.040	0.036	0.026



รูปที่ ง-1 ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการบันทึก ชุดการทดลอง B15D05

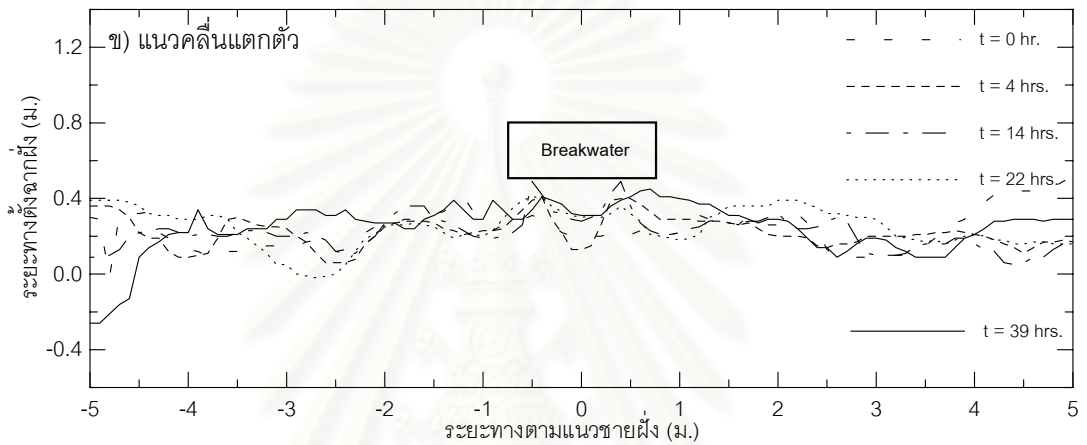
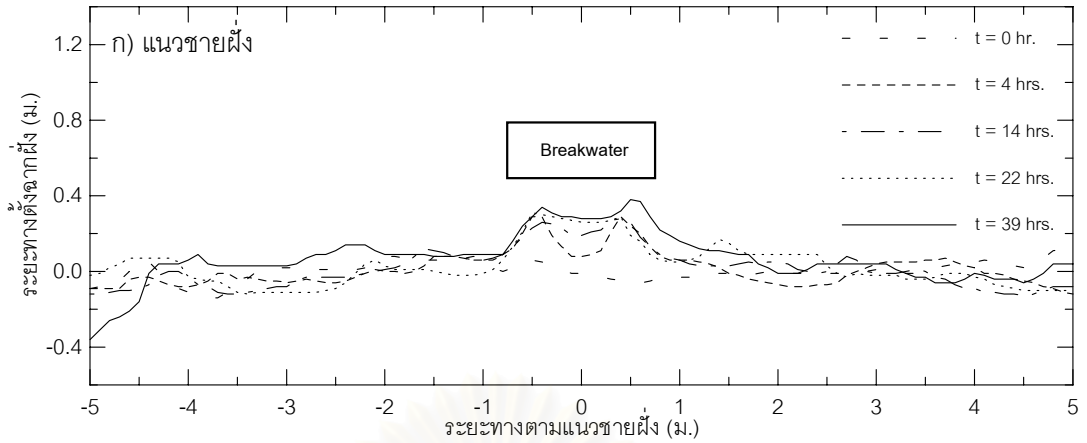


รูปที่ ง-2 ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการบันทึก ชุดการทดลอง B15D10



รูปที่ ง-3 ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการบันทึก ชุดการทดลอง B15D15



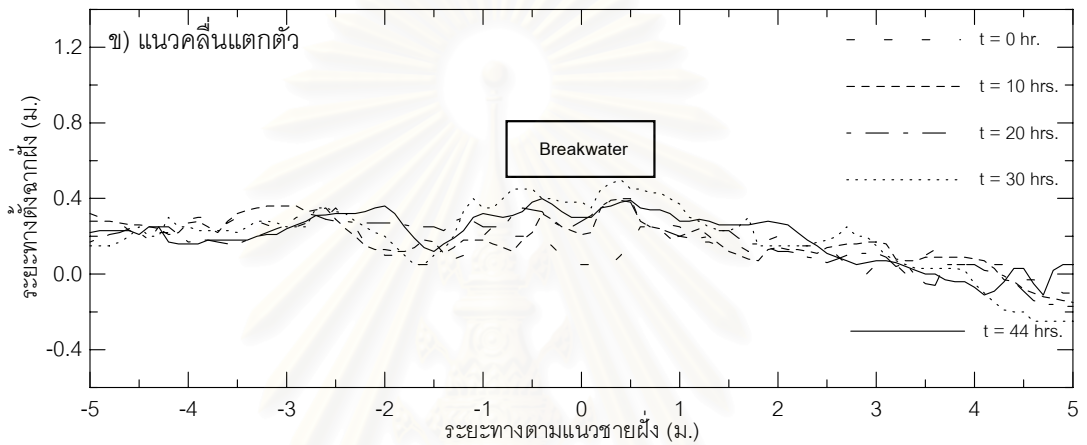
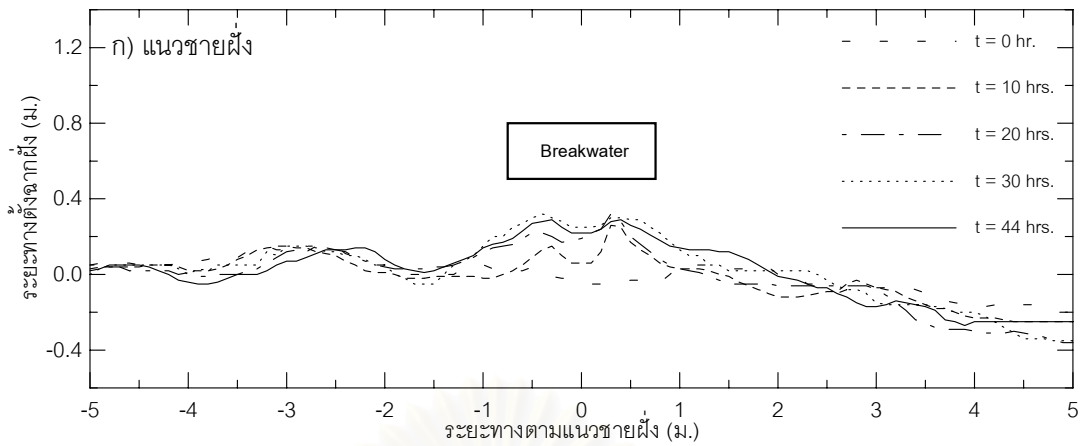


รูปที่ ง-4 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.49 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.028$  คาบคลื่น  $T = 0.91$  วินาที

ตารางที่ ง-2 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B15D05a

	B15D05a				
run duration, t	0 hr.	4 hrs.	14 hrs.	22 hrs.	39 hrs.
shape	-	2S	2S	2S	2S
$X_a$ (m)	-	0.51	0.53	0.56	0.49
$D_a$ (m)	0.00	0.22	0.22	0.28	0.27
$X_e$ (m)	0.59	0.29	0.31	0.28	0.22
$B_a$ (m)	-	2.56	2.42	2.22	2.91
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.40	0.42	0.47	0.68
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	16.05	22.76	23.60	34.82

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

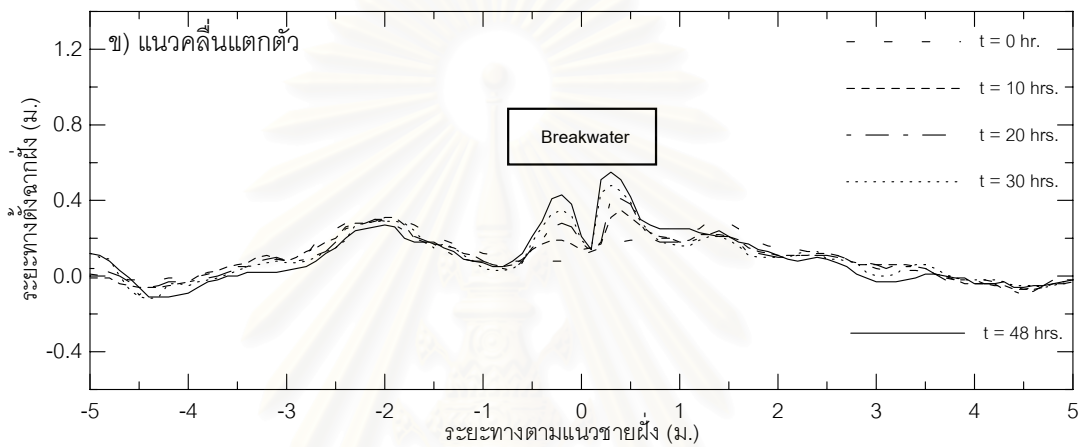
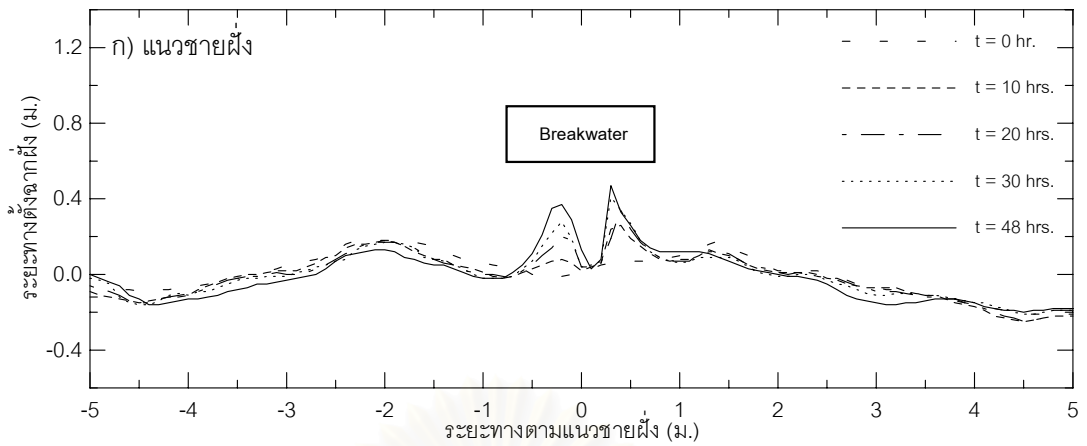


รูปที่ 5-5 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.50 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.014$  คาบคลื่น  $T = 1.11$  วินาที

ตารางที่ 3-3 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B15D05b

B15D05b					
run duration, t	0 hr.	10 hrs.	20 hrs.	30 hrs.	44 hrs.
shape	-	2S	2S	2S	2S
$X_a$ (m)	-	0.45	0.48	0.40	0.44
$D_a$ (m)	0.00	0.16	0.26	0.22	0.24
$X_e$ (m)	0.51	0.29	0.22	0.18	0.20
$B_a$ (m)	-	2.44	2.46	2.44	3.14
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.28	0.42	0.63	0.63
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	18.43	30.12	45.07	50.78

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

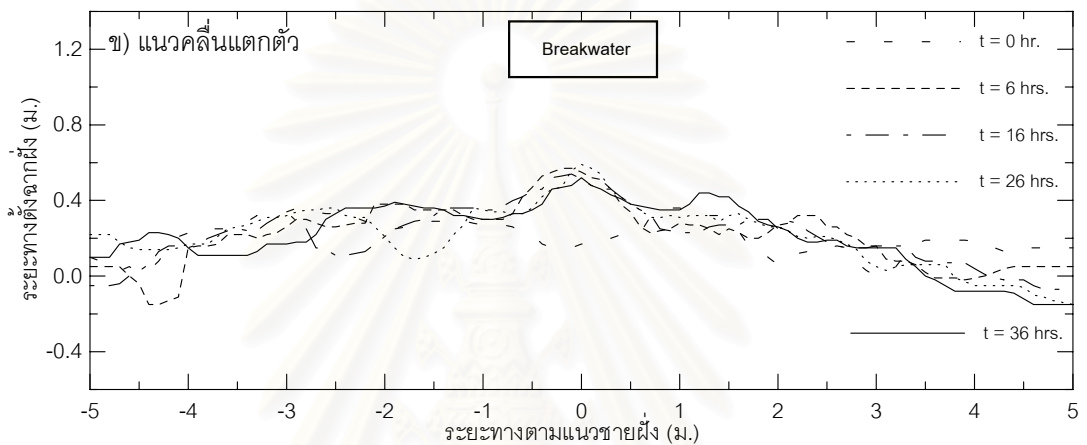
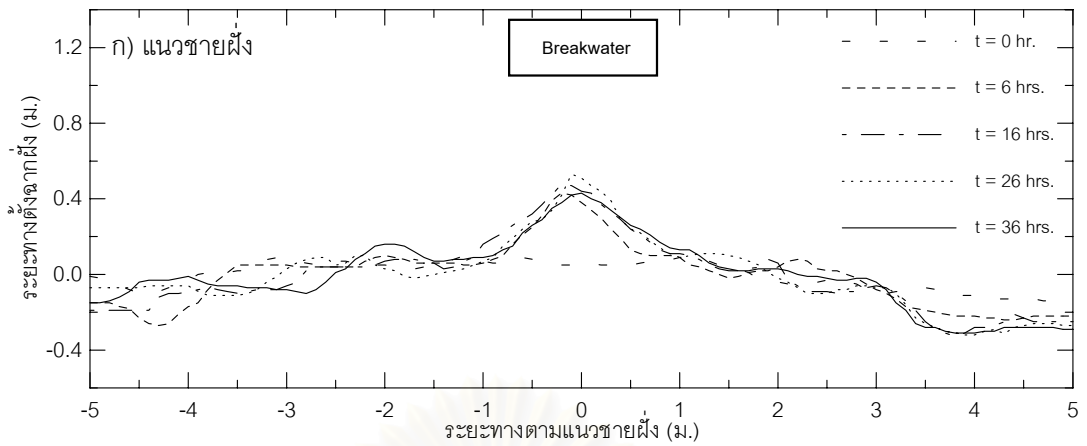


รูปที่ ง-6 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.58 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.006$  คาบคลื่น  $T = 1.11$  วินาที

ตารางที่ ง-4 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B15D05c

		B15D05c				
run duration, t	0 hr.	10 hrs.	20 hrs.	30 hrs.	48 hrs.	
shape	-	2S	2S	2S	2S	
$X_a$ (m)	-	0.56	0.52	0.56	0.52	
$D_a$ (m)	0.00	0.16	0.21	0.34	0.37	
$X_e$ (m)	0.54	0.40	0.31	0.22	0.15	
$B_a$ (m)	-	1.87	2.24	2.06	2.36	
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.12	0.21	0.26	0.28	
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	4.93	6.83	8.71	11.79	

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

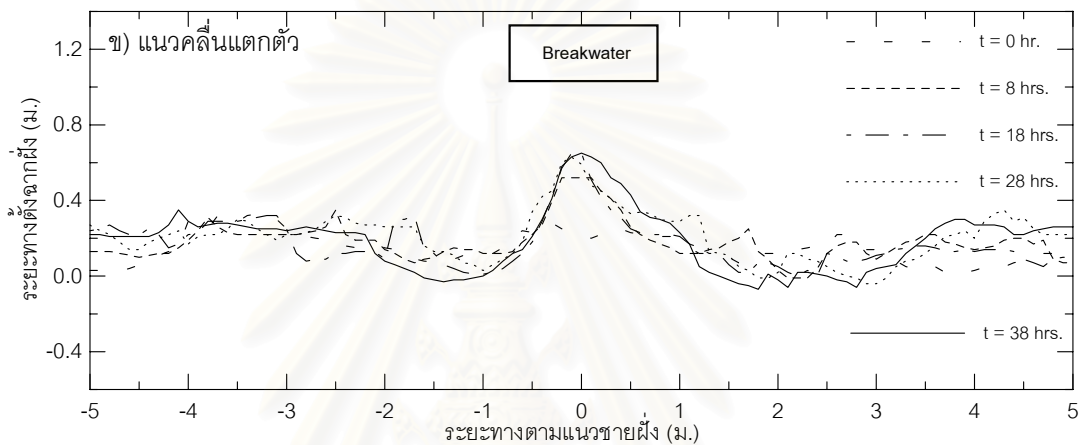
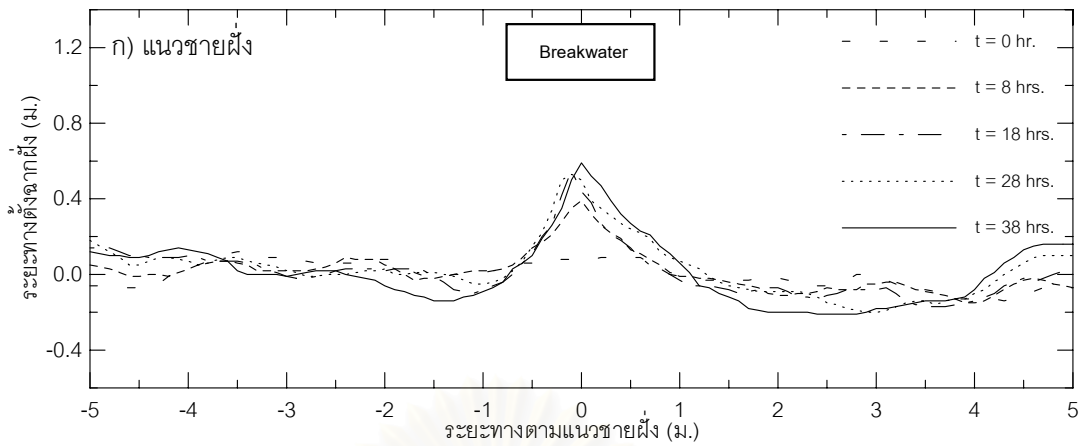


รูปที่ ง-7 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.05 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.027$  คาบคลื่น  $T = 0.91$  วินาที

ตารางที่ ง-5 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B15D10a

	B15D10a				
run duration, t	0 hr.	6 hrs.	16 hrs.	26 hrs.	36 hrs.
shape	-	1S	1S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.01	0.99	1.01	1.01
$D_a$ (m)	0.00	0.40	0.44	0.50	0.39
$X_e$ (m)	1.00	0.61	0.55	0.51	0.62
$B_a$ (m)	-	2.35	2.43	2.34	3.04
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.31	0.47	0.52	0.52
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	22.24	37.30	35.47	31.74

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

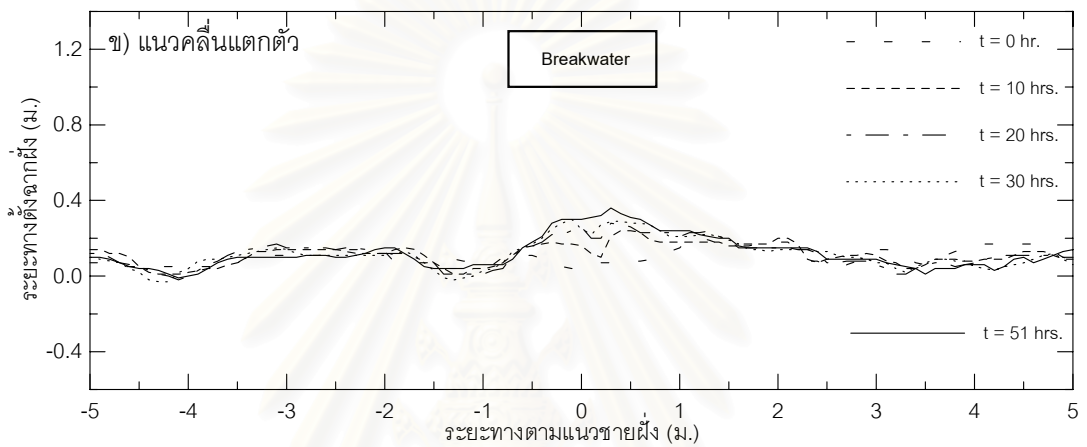
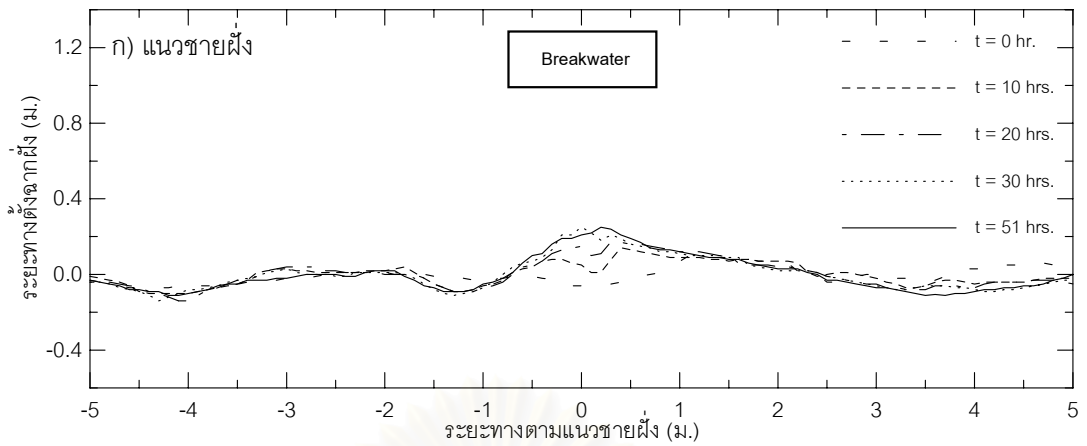


รูปที่ ง-8 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.02 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.014$  คาบคลื่น  $T = 1.11$  วินาที

ตารางที่ ง-6 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B15D10b

	B15D10b				
run duration, t	0 hr.	8 hrs.	18 hrs.	28 hrs.	38 hrs.
shape	-	1S	1S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.03	1.11	1.08	1.19
$D_a$ (m)	0.00	0.40	0.65	0.60	0.76
$X_e$ (m)	0.95	0.63	0.46	0.48	0.43
$B_a$ (m)	-	2.36	2.46	2.54	3.14
$A(m^2)$	0.00	0.23	0.26	0.35	0.47
$V(\times 10^{-3} m^3)$	0.00	17.47	18.48	38.80	41.40

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

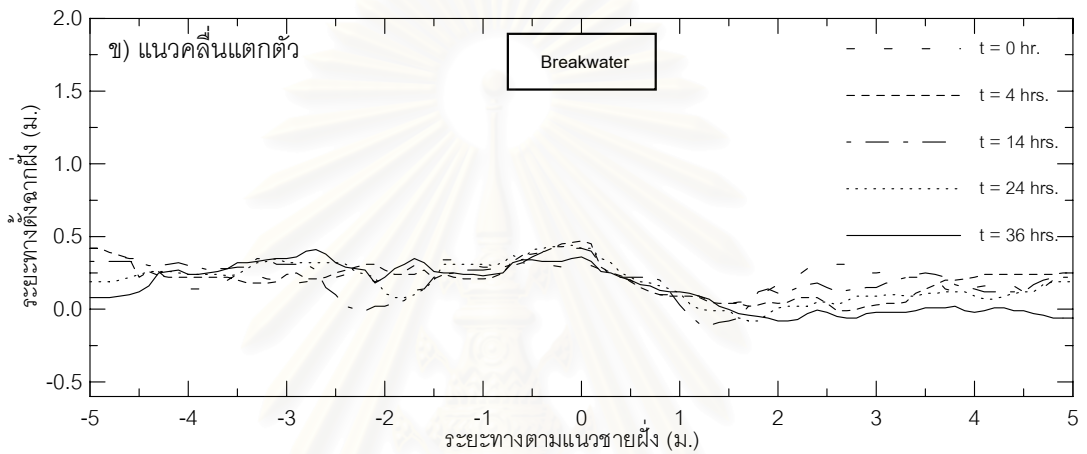
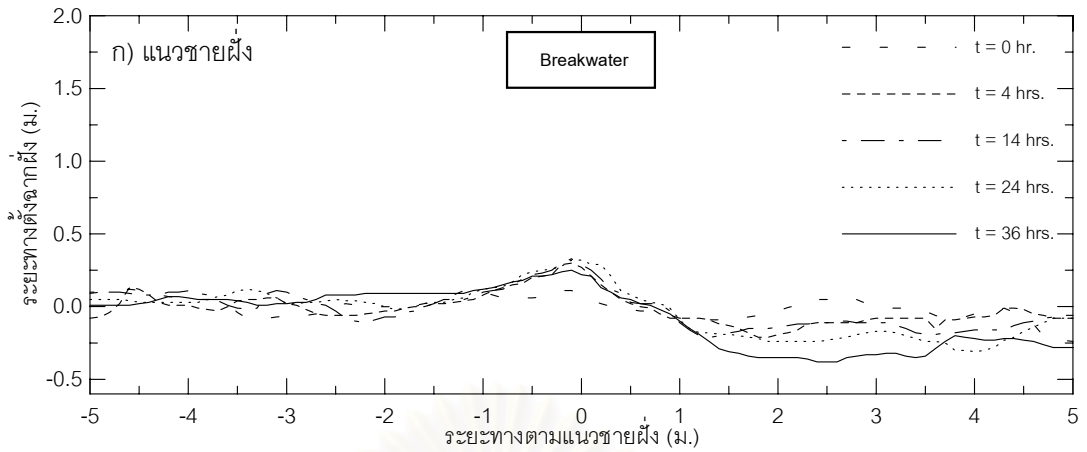


รูปที่ ง-9 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.99 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.006$  คาบคลื่น  $T = 1.25$  วินาที

ตารางที่ ง-7 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B15D10c

	B15D10c				
run duration, t	0 hr.	10 hrs.	20 hrs.	30 hrs.	51 hrs.
shape	-	2S	2S	2S	1S
$X_a$ (m)	-	0.99	0.98	1.00	1.01
$D_a$ (m)	0.00	0.10	0.14	0.23	0.26
$X_e$ (m)	1.06	0.89	0.84	0.77	0.75
$B_a$ (m)	-	2.34	2.45	2.46	2.40
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.21	0.28	0.31	0.42
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	7.70	10.58	13.44	15.50

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

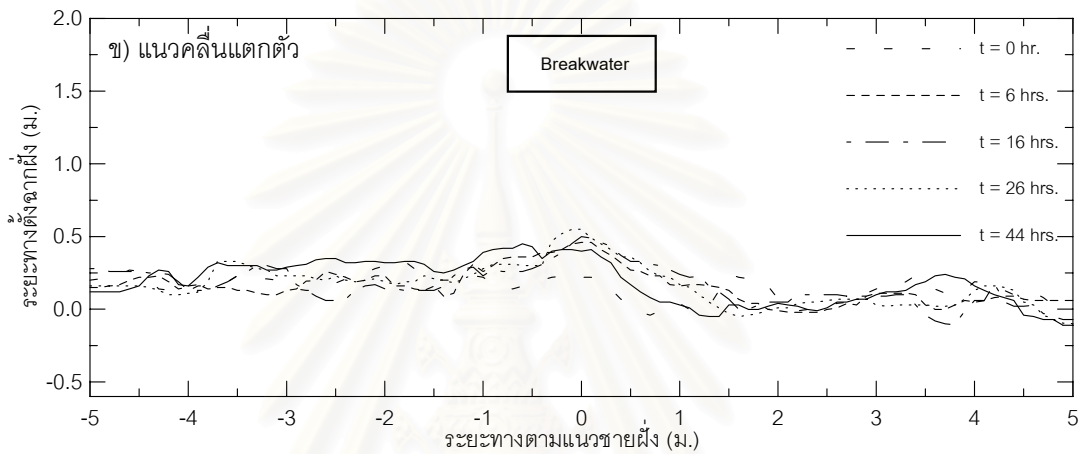
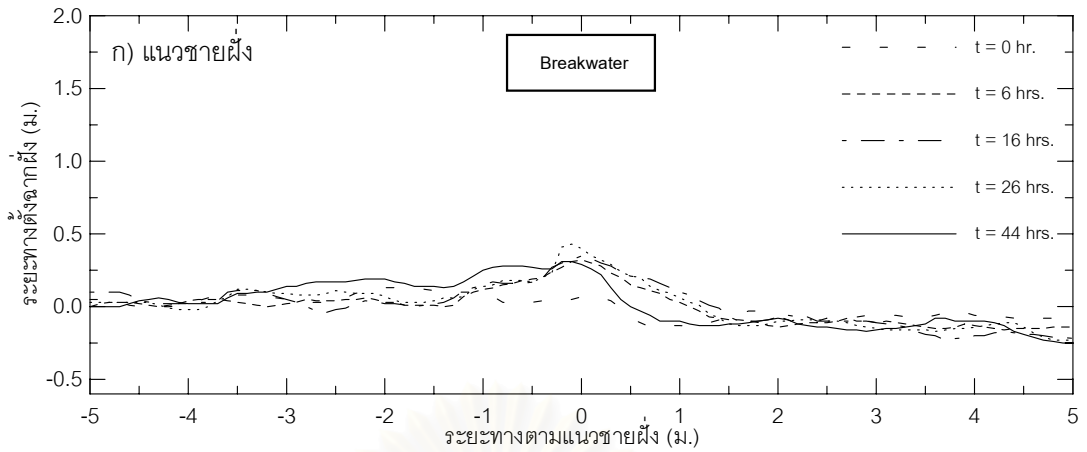


รูปที่ ง-10 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.52 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.025$  คาบคลื่น  $T = 1.11$  วินาที

ตารางที่ ง-8 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B15D15a

	B15D15a				
run duration, t	0 hr.	4 hrs.	14 hrs.	24 hrs.	36 hrs.
shape	-	1S	1S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.57	1.57	1.60	1.54
$D_a$ (m)	0.00	0.35	0.37	0.40	0.26
$X_e$ (m)	1.47	1.22	1.20	1.20	1.28
$B_a$ (m)	-	2.11	2.23	2.38	2.74
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.21	0.28	0.33	0.26
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	14.22	17.38	20.64	16.37

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo



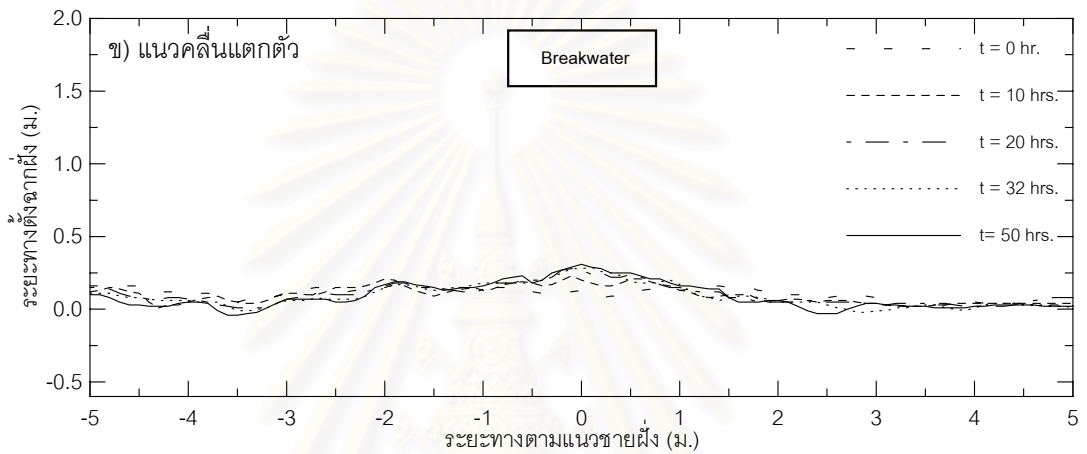
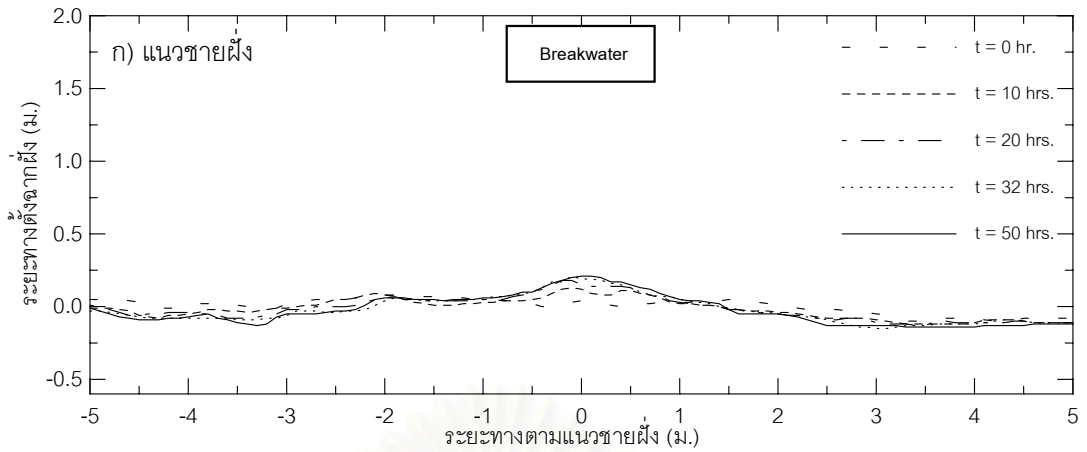
รูปที่ ง-11 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.48 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.013$  คาบคลื่น  $T = 1.11$  วินาที

ตารางที่ ง-9 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B15D15b

	B15D15b				
run duration, t	0 hr.	6 hrs.	16 hrs.	26 hrs.	44 hrs.
shape	-	1S	1S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.52	1.47	1.53	1.48
$D_a$ (m)	0.00	0.35	0.32	0.47	0.31
$X_e$ (m)	1.44	1.17	1.15	1.06	1.17
$B_a$ (m)	-	2.72	2.85	3.21	2.54
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.42	0.52	0.54	0.49
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	33.40	40.68	38.49	34.07

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo



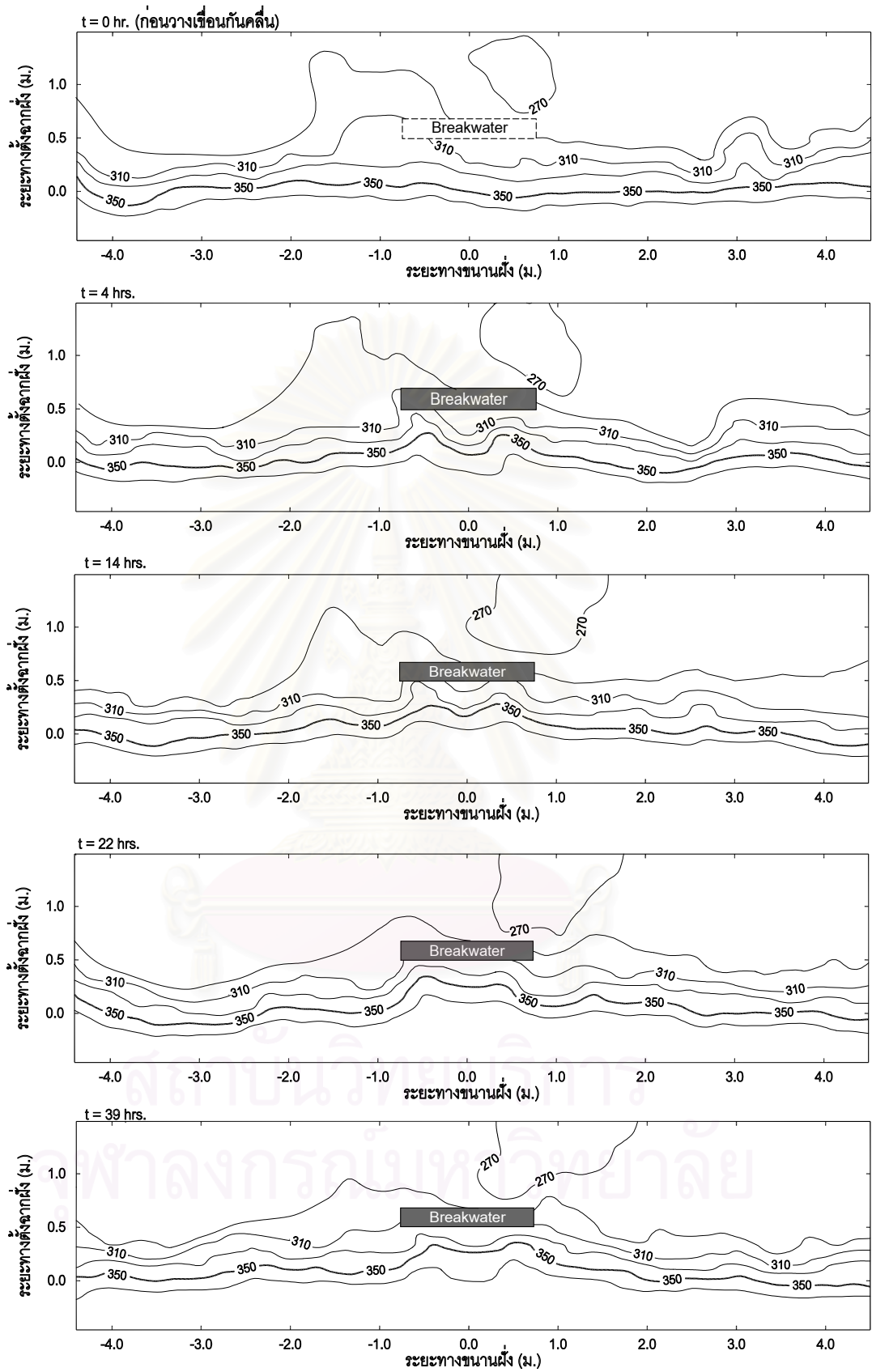


รูปที่ ง-12 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.55 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.006$  คาบคลื่น  $T = 1.25$  วินาที

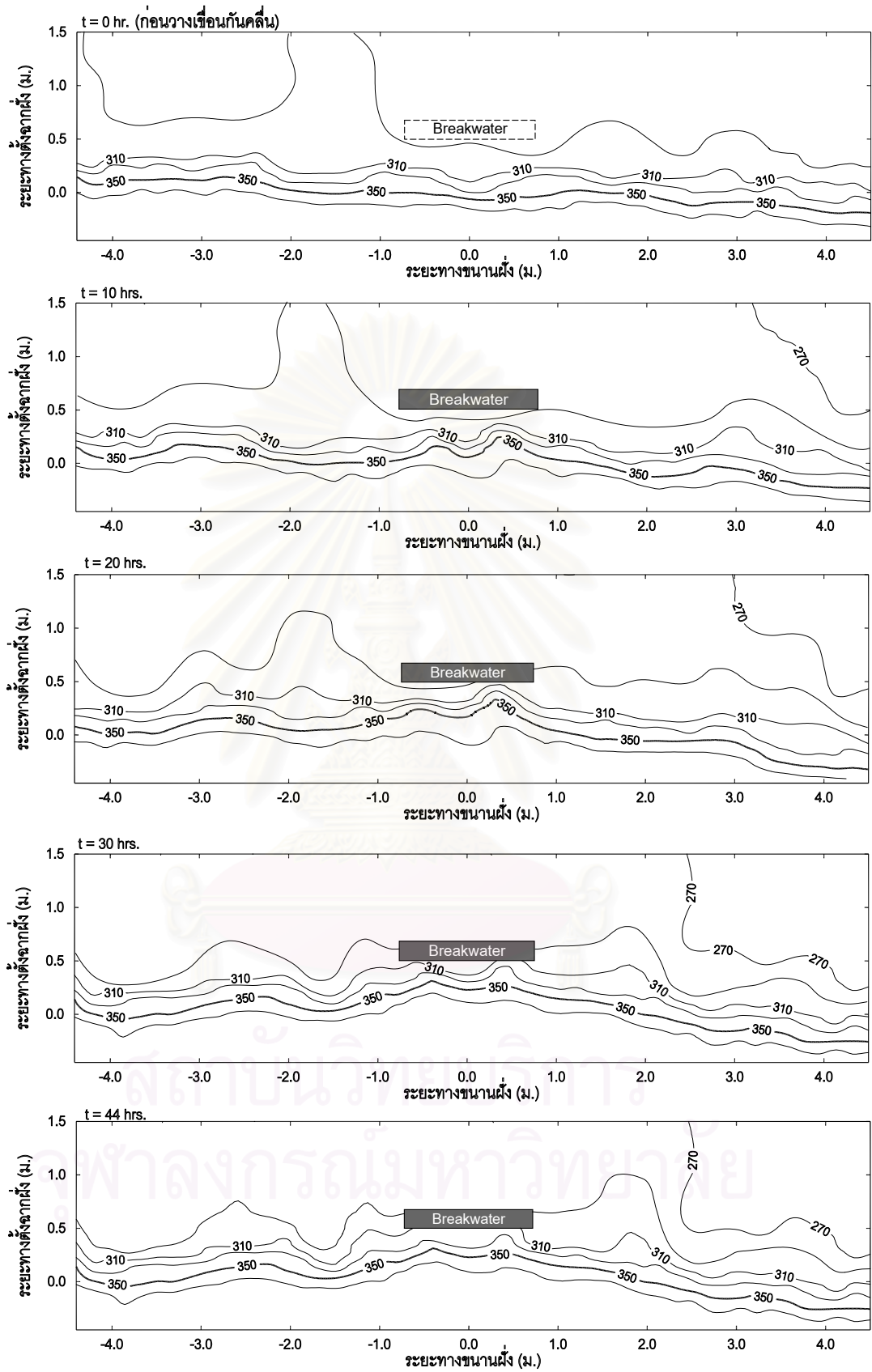
ตารางที่ ง-10 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B15D15c

	B15D15c				
run duration, t	0 hr.	10 hrs.	20 hrs.	32 hrs.	50 hrs.
shape	-	2S	1S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.53	1.52	1.53	1.56
$D_a$ (m)	0.00	0.09	0.15	0.20	0.22
$X_e$ (m)	1.53	1.44	1.37	1.33	1.34
$B_a$ (m)	-	2.88	3.12	3.12	3.12
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.12	0.14	0.26	0.28
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	7.61	12.78	15.14	18.18

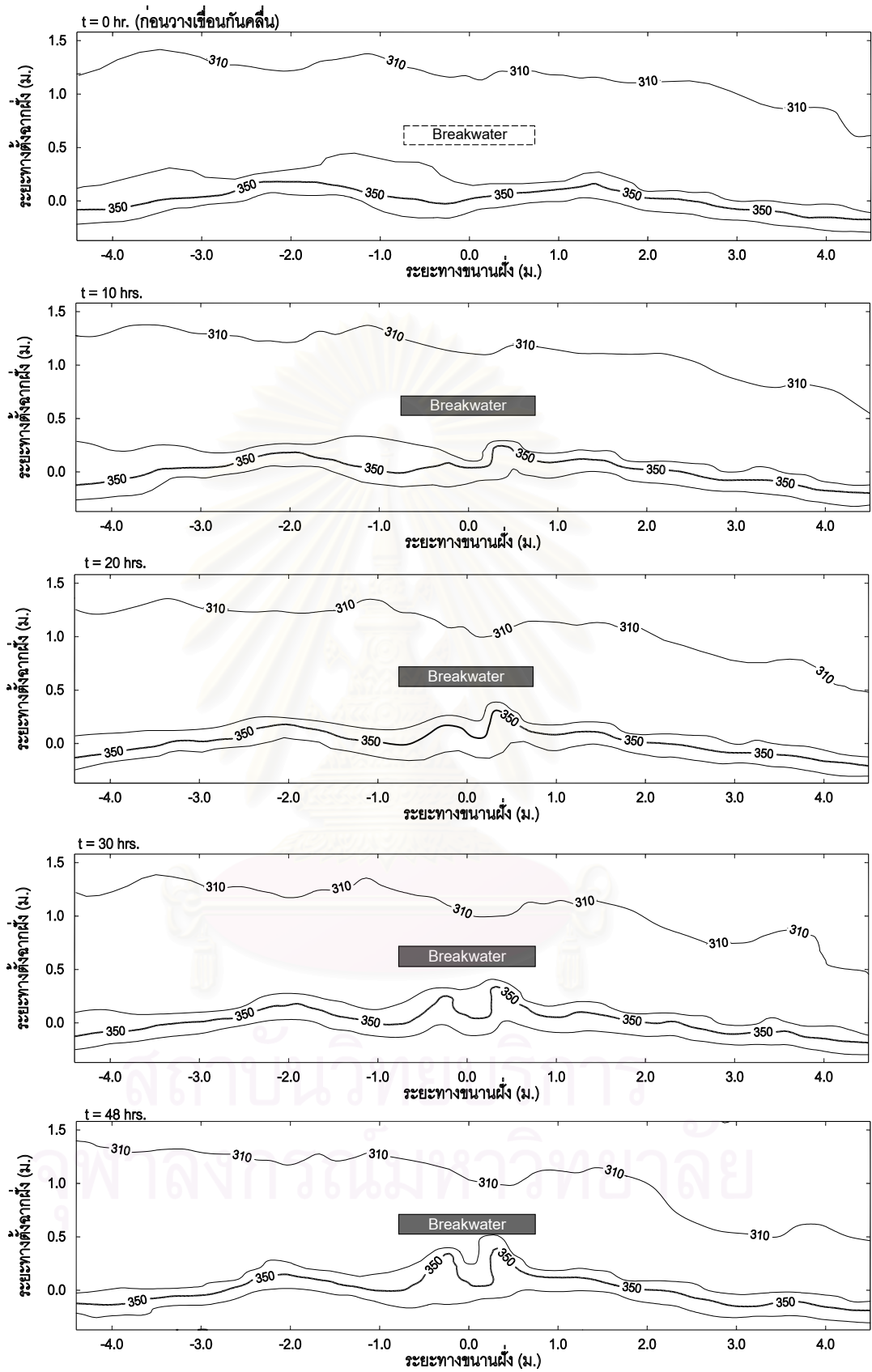
หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo



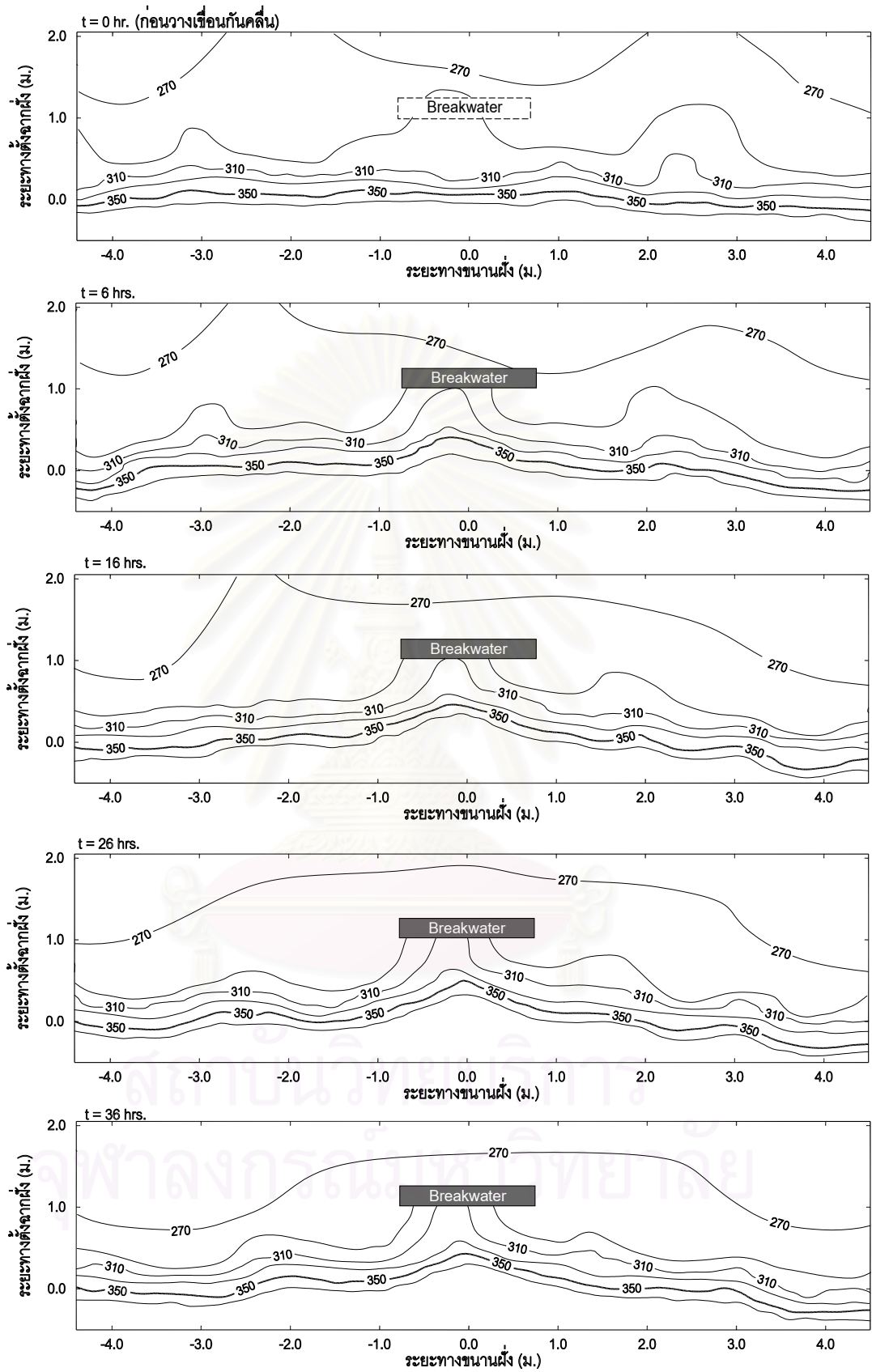
รูปที่ 14 เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวคลื่นก้นคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.49 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.028 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 0.91 วินาที



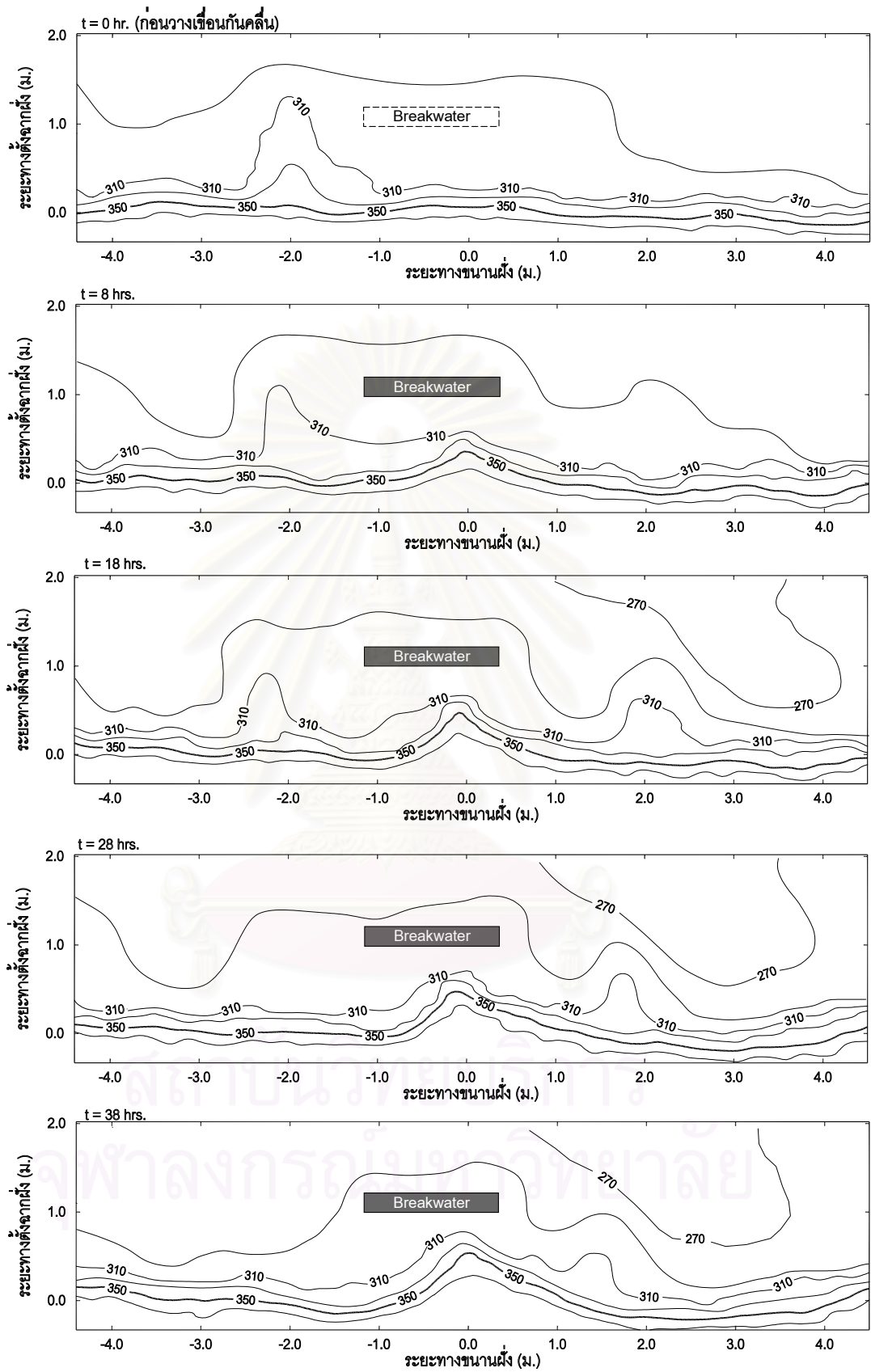
รูปที่ 15 เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.50 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.014 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.11 วินาที



รูปที่ 16 เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวเชือกกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.58 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.006 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.25 วินาที

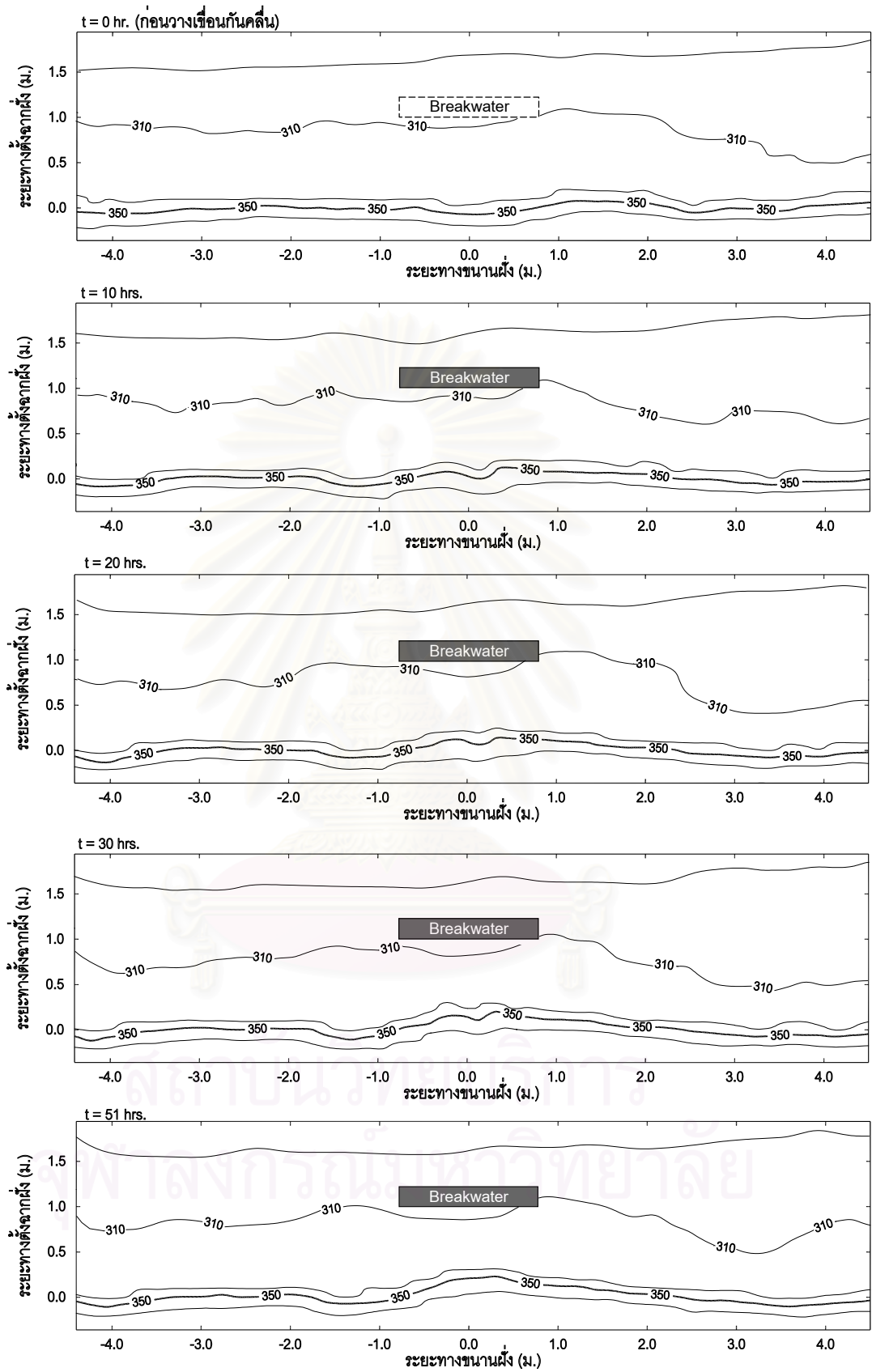


รูปที่ 17 เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.05 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.027 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 0.91 วินาที

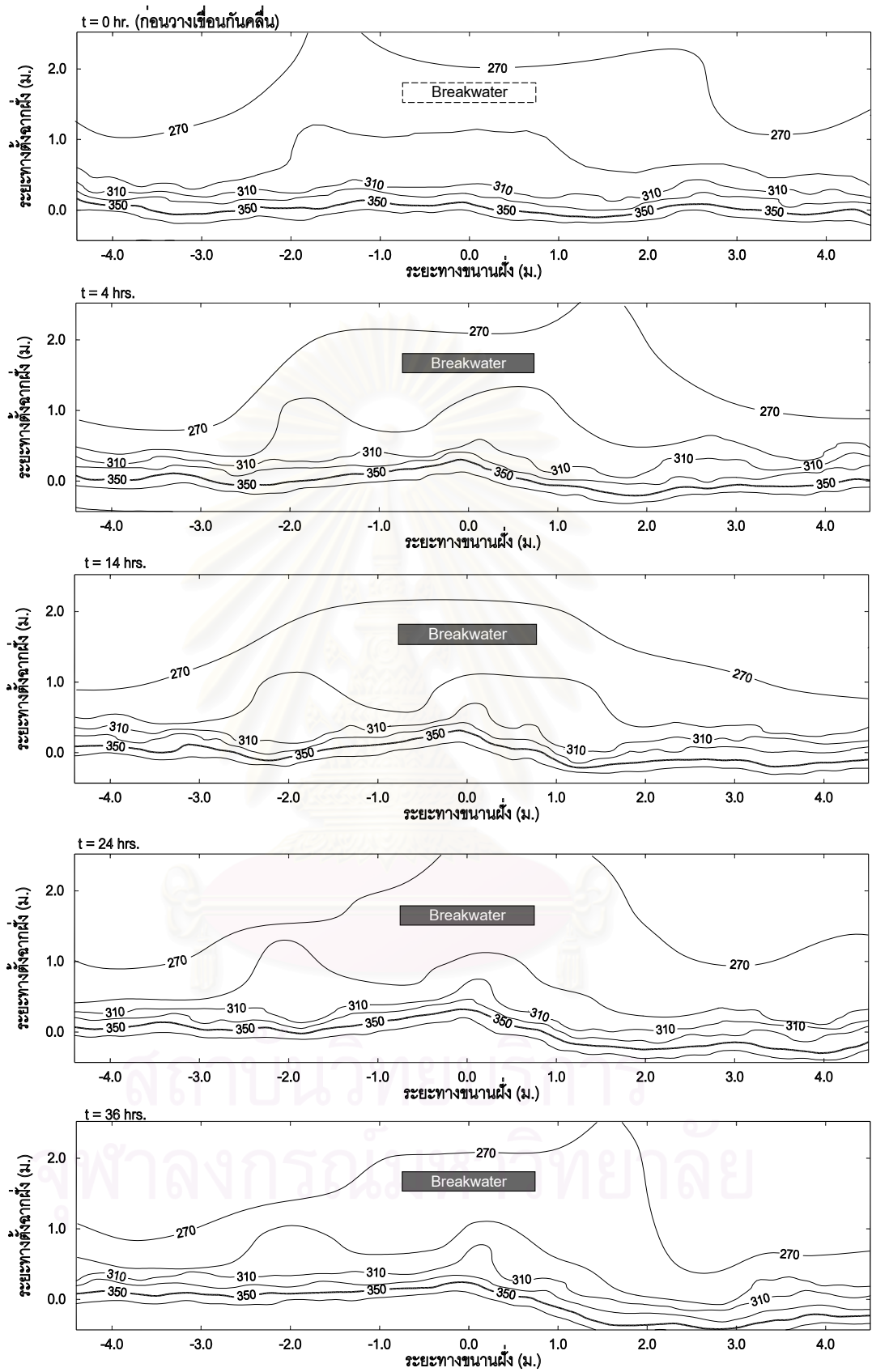


รูปที่ 18 เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.02 ม.

ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.014 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.11 วินาที



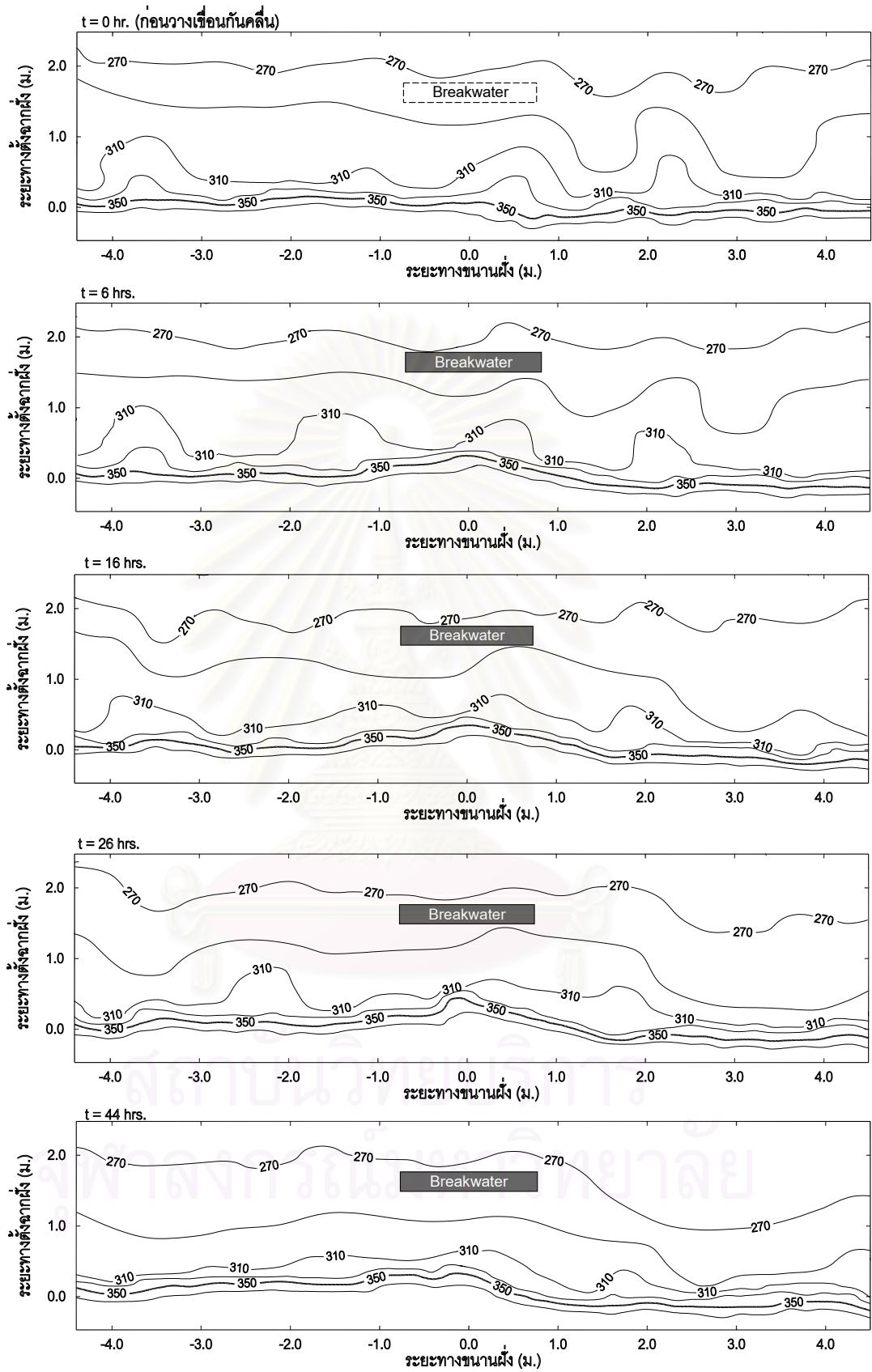
รูปที่ 19 เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.99 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.006 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.25 วินาที



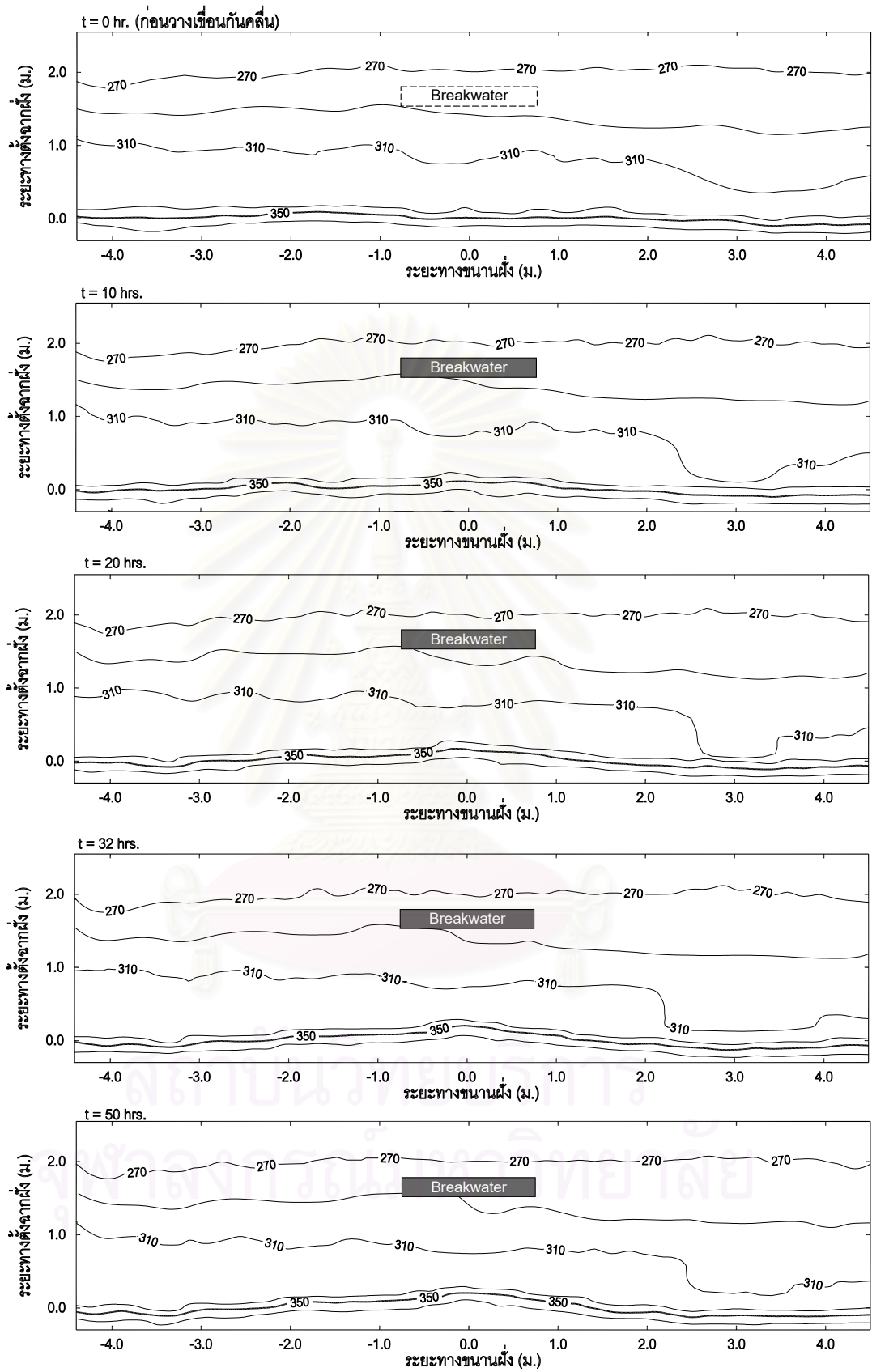
รูปที่ 20 เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.52 ม.

ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.025 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 0.91 วินาที





รูปที่ 21 เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.48 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.013 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.11 วินาที

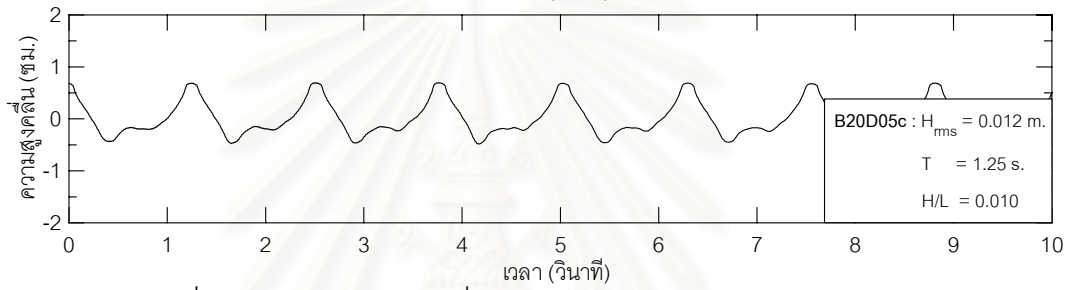
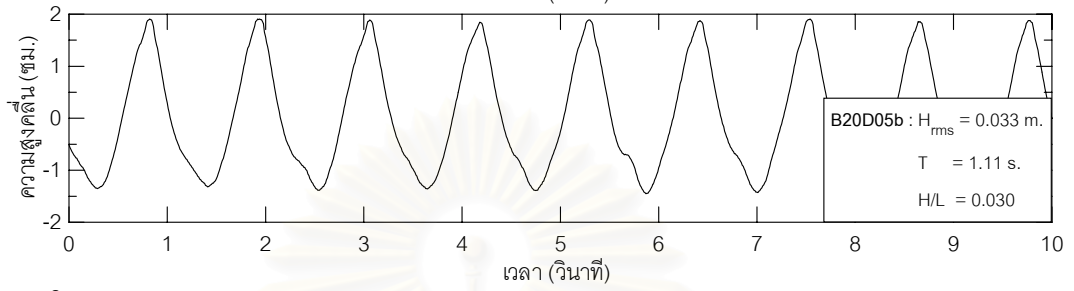
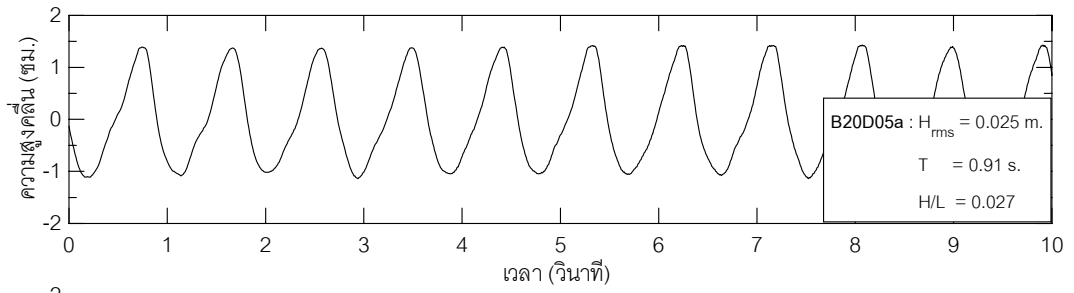


รูปที่ 22 เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวคลื่น 1.50 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.55 ม.

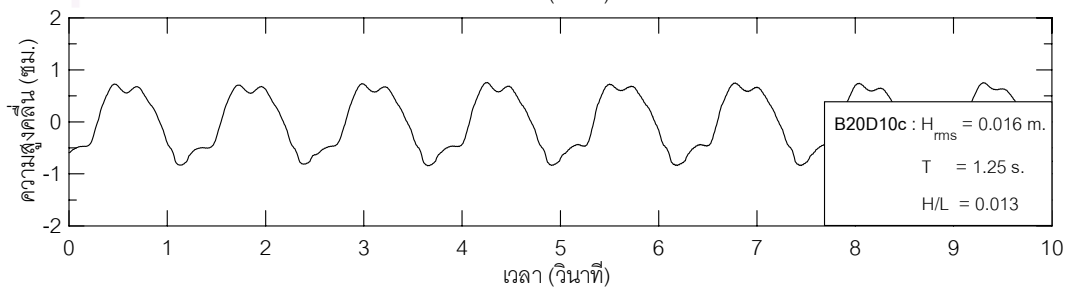
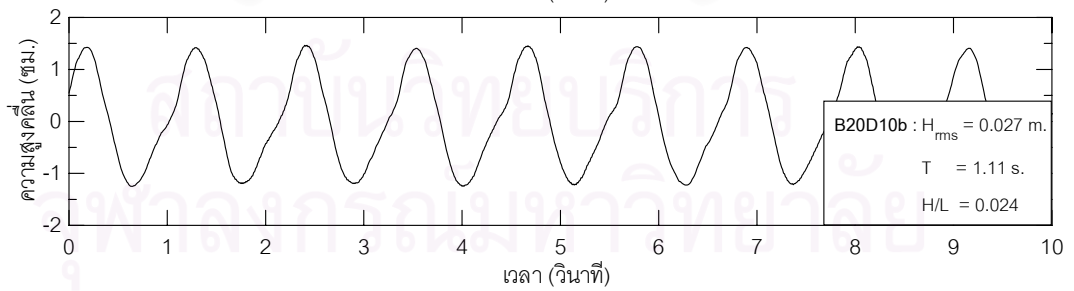
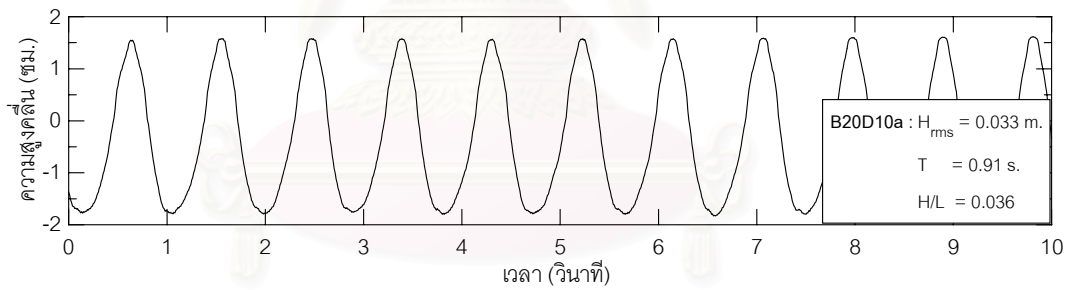
ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.006 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.25 วินาที

ตารางที่ จ-1 สรุปข้อมูลการทดลอง กรณีความยาวคลื่นก้นคลื่น 2.0 เมตร

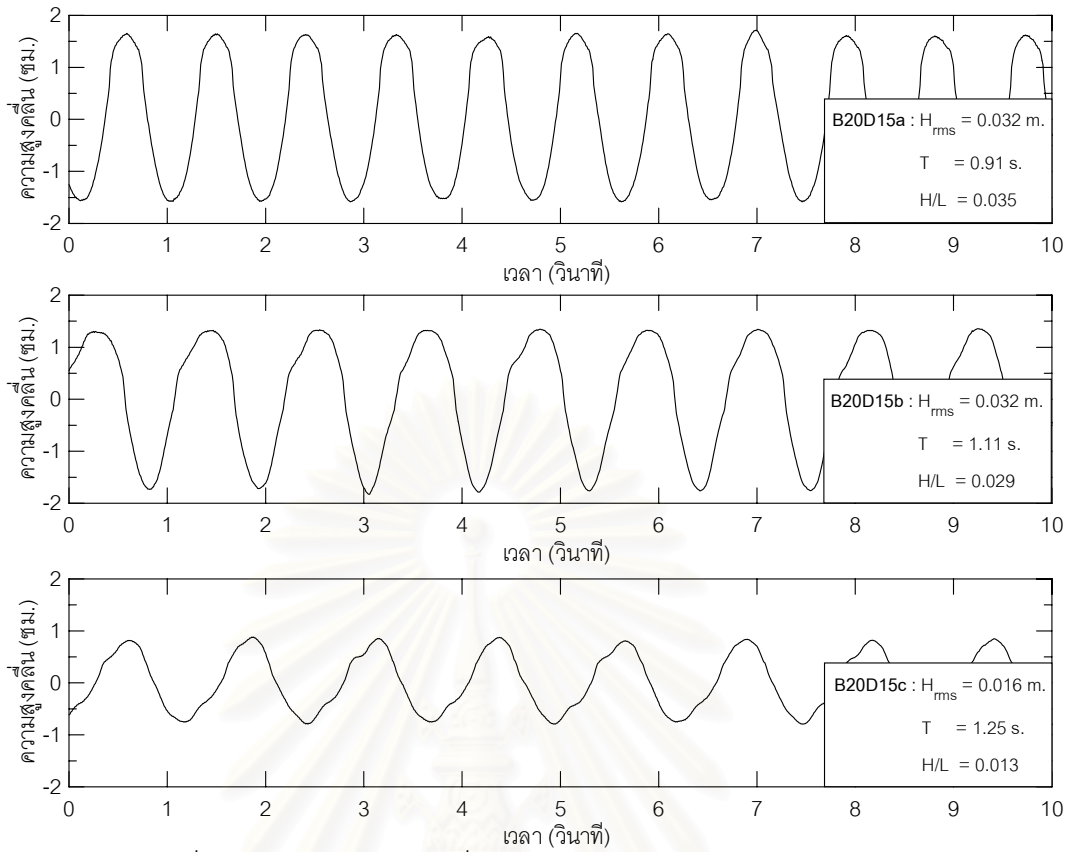
Run No.	B20D05a	B20D05b	B20D05c	B20D10a	B20D10b	B20D10c	B20D15a	B20D15b	B20D15c
<i>Model Setup</i>									
Water depth in wave basin, d(m)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Breakwater length (m)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Offshore distance of breakwater (m)	0.59	0.57	0.52	0.96	1.04	1.04	1.63	1.57	1.55
<i>wave at recorder No.1 (d=0.17 m.)</i>									
Time of recorder (sec)	3780	3960	3960	4140	4140	4320	3600	3780	3960
Number of wave data	4153	3567	3168	4549	3729	3456	3956	3405	3168
<i>Statistic Analysis (Time Domain)</i>									
Mean wave height, $\bar{H}$ (m)	0.025	0.033	0.012	0.033	0.026	0.016	0.032	0.032	0.016
Root mean square wave height, $H_{rms}$ (m)	0.025	0.032	0.012	0.033	0.027	0.016	0.032	0.032	0.016
Average wave period, $T_s$ (sec)	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25
Wave length, $L_d$ (m)	1.01	1.30	1.50	1.01	1.30	1.50	1.01	1.30	1.50
Wave celerity, $C_d$ (m/s)	1.11	1.17	1.20	1.11	1.17	1.20	1.11	1.17	1.20
Wave steepness, $H_d/L_d$	0.024	0.025	0.080	0.033	0.020	0.011	0.032	0.025	0.010
Wave energy, $E_d$ (N-m/m <sup>2</sup> )	0.766	1.256	0.177	1.335	0.894	0.314	1.256	1.256	0.314
Energy flux, $P_d$ (N-m/s per m. of wave crest)	0.427	0.738	0.106	0.744	0.525	0.189	0.700	0.738	0.189
<i>Spectral Analysis (Frequency Domain)</i>									
Spectral energy density at fp, g(f)	0.98	0.74	0.71	0.99	0.87	0.90	0.97	0.95	0.96
Peak frequency, $f_p$ (Hz)	1.10	0.90	0.80	1.10	0.90	0.80	1.10	0.90	0.80
Peak spectra period, $T_p$ (sec)	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25
<i>Deep Water (calculated)</i>									
Wave period, T (sec)	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25	0.91	1.11	1.25
Wave height, $H_0$ (m)	0.027	0.034	0.012	0.036	0.028	0.016	0.035	0.034	0.016
Wave length, $L_0$ (m)	1.29	1.93	2.44	1.29	1.93	2.44	1.29	1.93	2.44
Wave steepness, $H_0/L_0$	0.021	0.018	0.005	0.028	0.014	0.007	0.027	0.018	0.007
<i>At Breakwater (calculated)</i>									
Average water depth, $d_{BW}$ (m)	0.067	0.060	0.033	0.076	0.059	0.047	0.089	0.065	0.054
Wave height, $H_{BW}$ (m)	0.027	0.038	0.016	0.036	0.032	0.020	0.034	0.037	0.019
Wave length, $L_{BW}$ (m)	0.70	0.83	0.70	0.74	0.82	0.83	0.79	0.86	0.90
Wave steepness, $H_{BW}/L_{BW}$	0.039	0.046	0.023	0.049	0.038	0.024	0.043	0.044	0.021
Energy flux, $P_{BW}$ (N-m/s per m. of wave crest)	0.641	1.239	0.178	1.134	0.858	0.327	1.054	1.218	0.328
<i>At Breaking (calculated)</i>									
Breaking depth, $d_b$ (m)	0.040	0.051	0.024	0.051	0.044	0.030	0.050	0.051	0.030
Breaking wave height, $H_b$ (m)	0.036	0.047	0.023	0.045	0.040	0.028	0.044	0.047	0.028



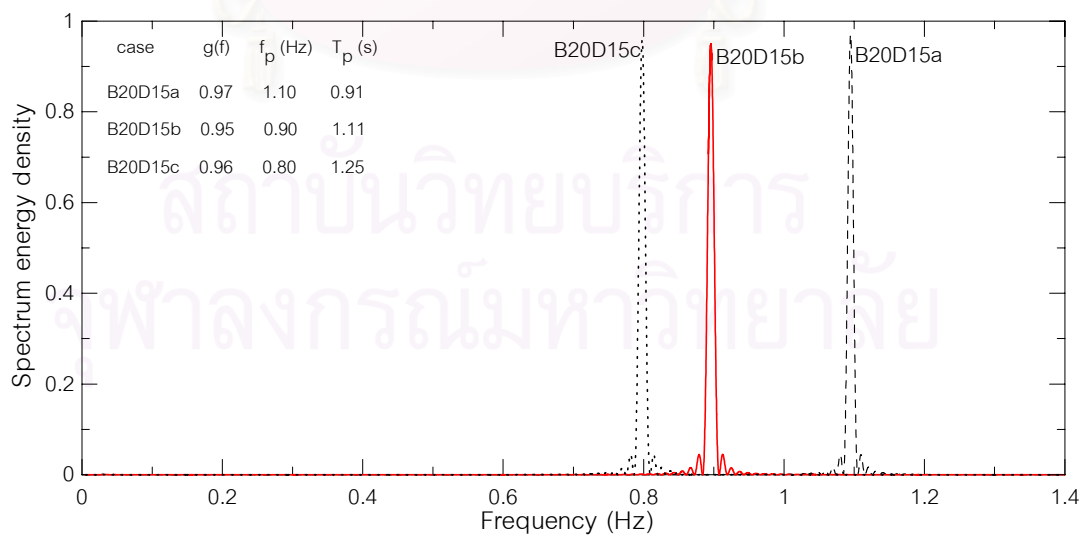
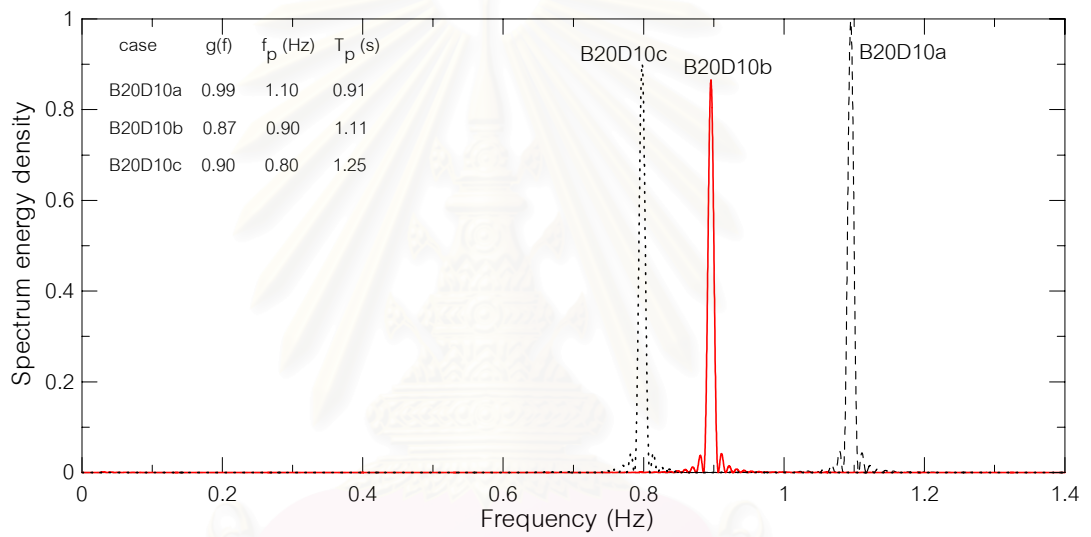
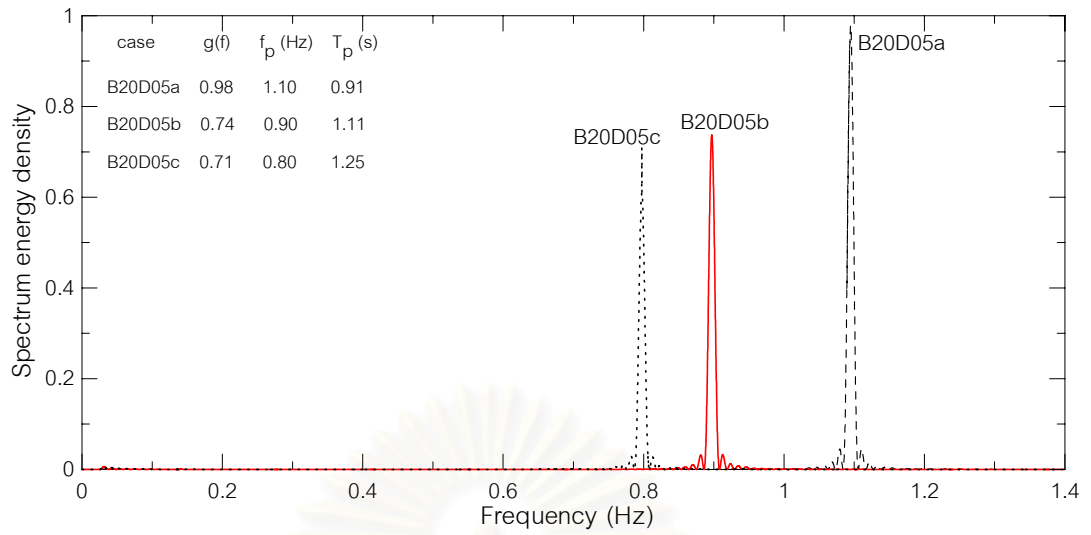
รูปที่ จ-1 ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการบันทึก ชุดการทดลอง B20D05



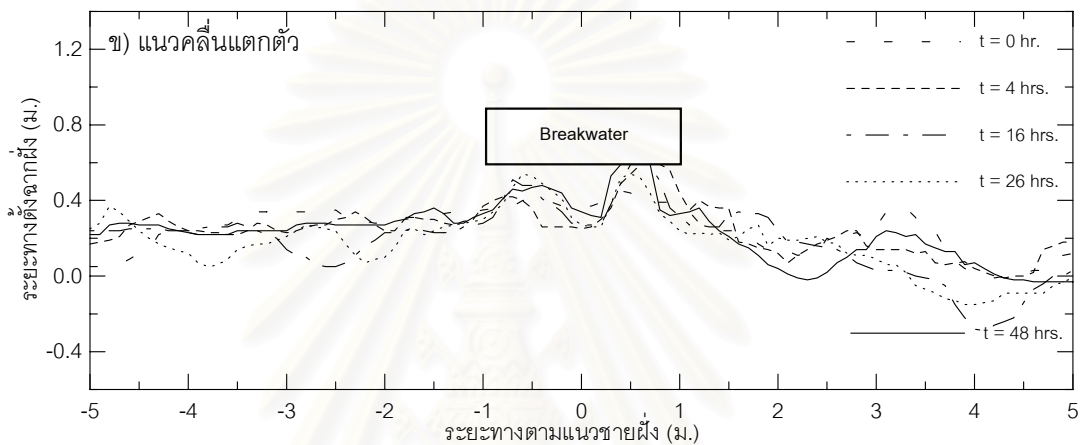
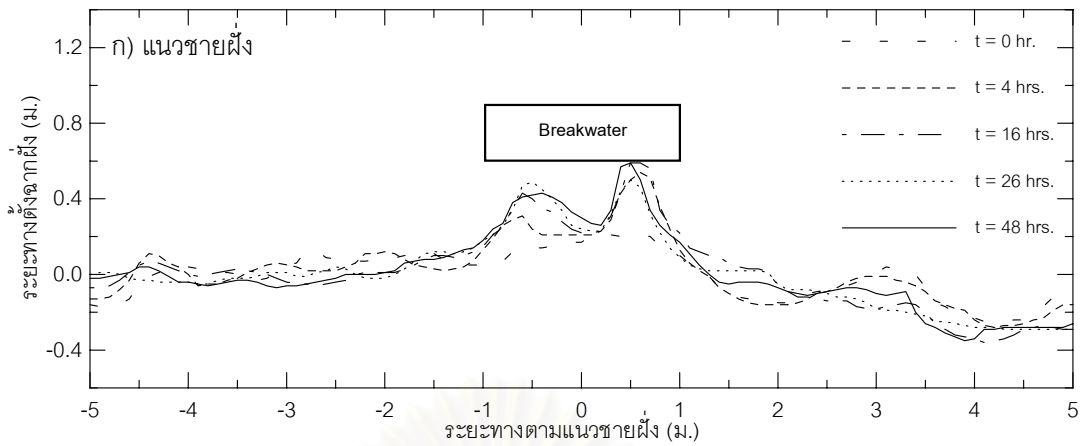
รูปที่ จ-2 ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการบันทึก ชุดการทดลอง B20D10



รูปที่ ๑-3 ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการบันทึก ชุดการทดลอง B20D15



รูปที่ ๑-4 พลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ กรณีความยาวเข็มนาฬิกา 2.0 เมตร

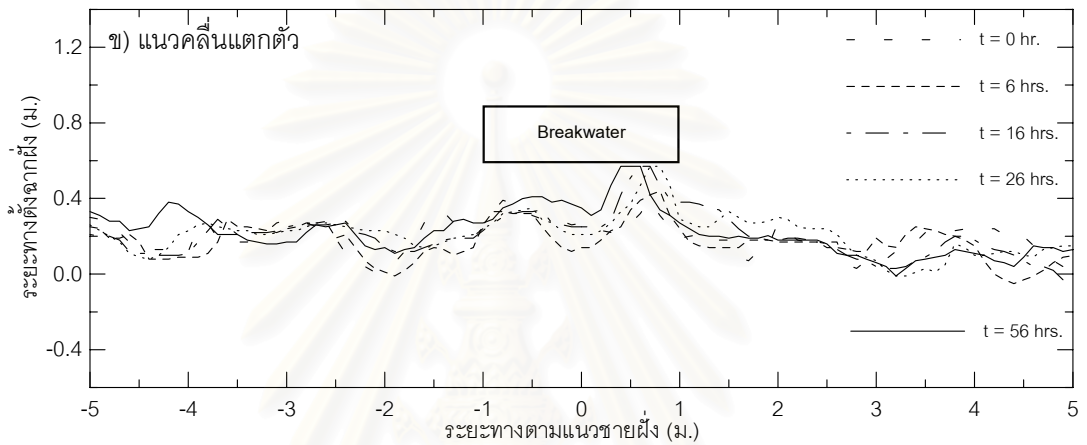
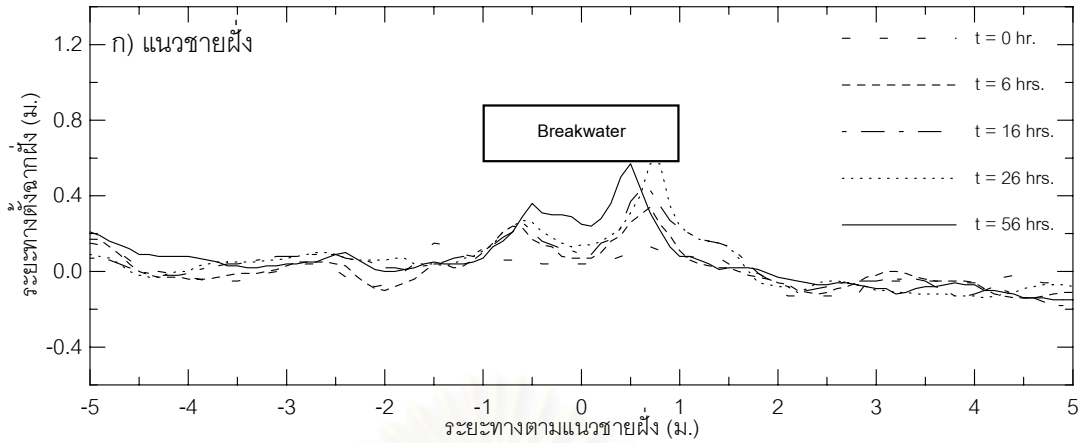


รูปที่ จ-4 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.59 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.021$  คาบคลื่น  $T = 0.91$  วินาที

ตารางที่ จ-2 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B20D05a

	B20D05a				
run duration, t	0 hr.	4 hrs.	16 hrs.	26 hrs.	48 hrs.
shape	-	2S	S/T	2S	S/T
$X_a$ (m)	-	0.60	0.53	0.51	0.57
$D_a$ (m)	0.00	0.43	0.44	0.42	0.49
$X_e$ (m)	0.43	0.17	0.09	0.09	0.08
$B_a$ (m)	-	2.72	3.04	2.88	3.06
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.31	0.47	0.47	0.47
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	14.56	23.21	23.57	25.23

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo



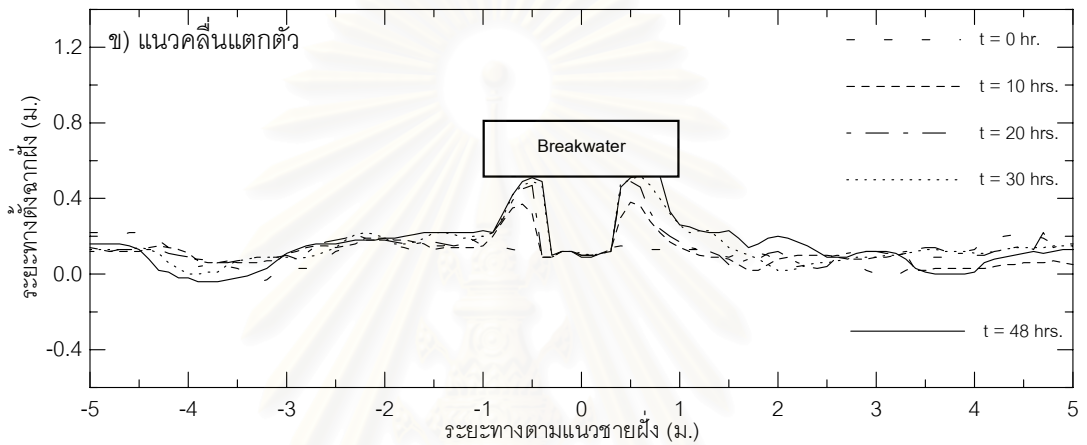
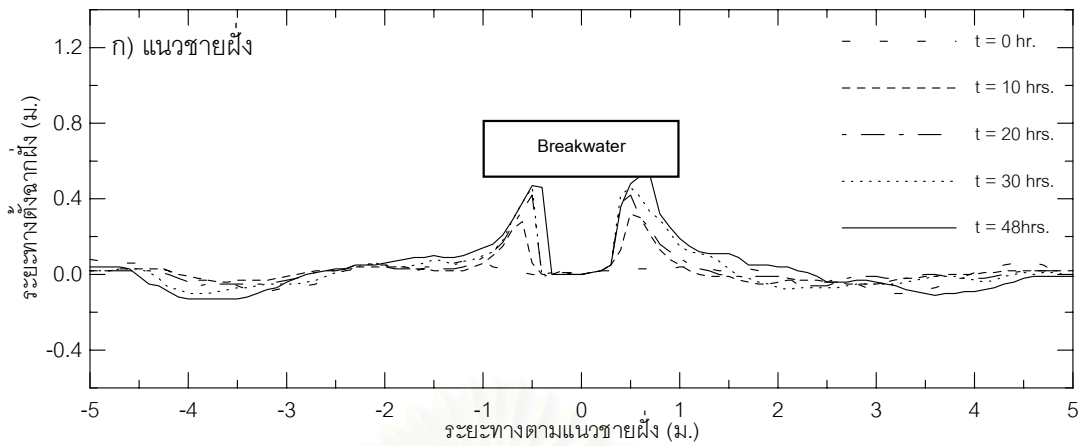
รูปที่ ๑-5 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.57 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.018$  คาบคลื่น  $T = 1.11$  วินาที

ตารางที่ ๑-3 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B20D05b

	B20D05b				
run duration, t	0 hr.	6 hrs.	16 hrs.	26 hrs.	56 hrs.
shape	-	2S	2S	S/T	S/T
$X_a$ (m)	-	0.52	0.47	0.45	0.55
$D_a$ (m)	0.00	0.26	0.26	0.31	0.45
$X_e$ (m)	0.52	0.26	0.21	0.14	0.10
$B_a$ (m)	-	2.88	2.93	2.97	2.75
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.26	0.40	0.49	0.52
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	16.71	28.05	28.18	31.86

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo



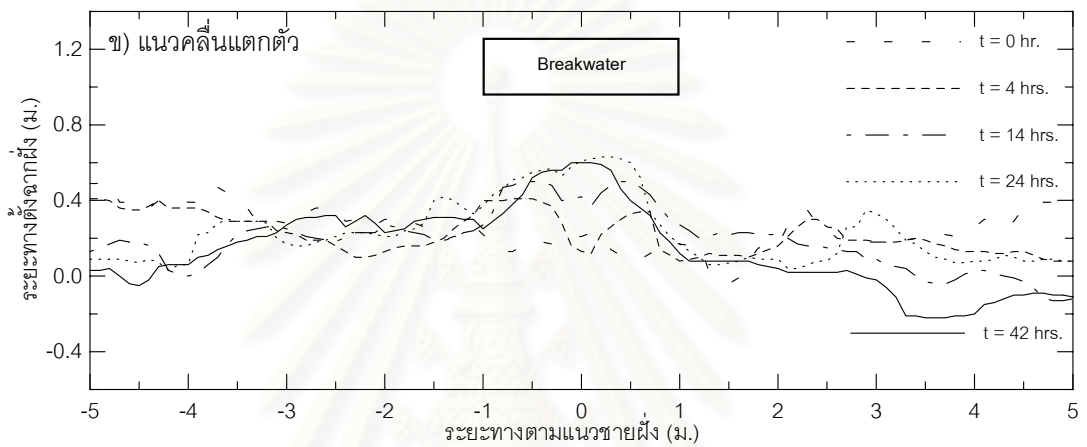
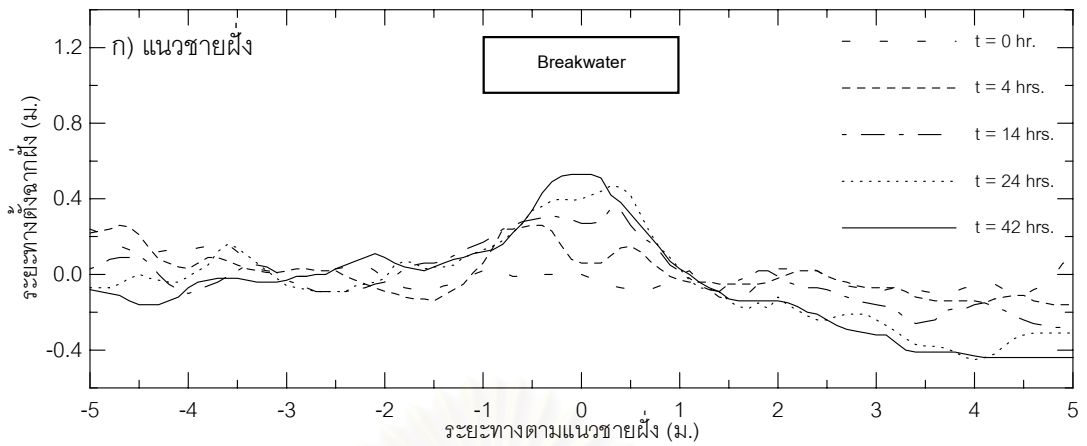


รูปที่ จ-6 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.52 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.005$  คาบคลื่น  $T = 1.25$  วินาที

ตารางที่ จ-4 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B20D05c

B20D05c					
run duration, t	0 hr.	10 hrs.	20 hrs.	30 hrs.	48 hrs.
shape	-	2S	2S	2S	S/T
$X_a$ (m)	-	0.51	0.51	0.45	0.42
$D_a$ (m)	0.00	0.30	0.42	0.41	0.40
$X_e$ (m)	0.52	0.21	0.09	0.04	0.02
$B_a$ (m)	-	2.90	2.97	2.62	2.70
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.23	0.26	0.45	0.56
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	7.48	10.42	15.20	18.59

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

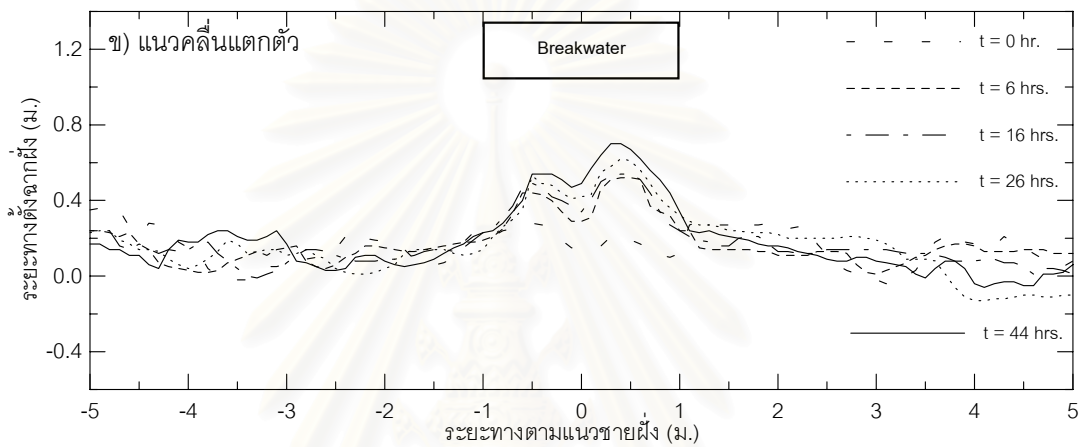
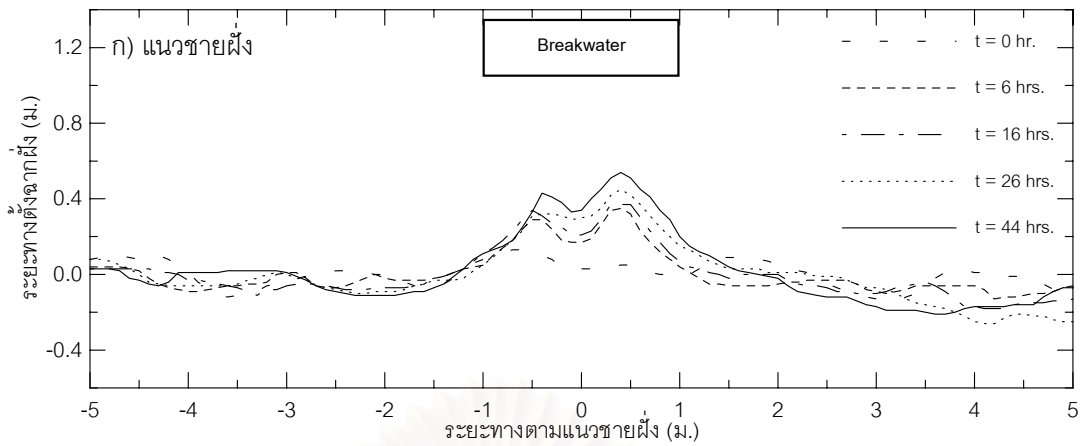


รูปที่ จ-7 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.96 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.028$  คาบคลื่น  $T = 0.91$  วินาที

ตารางที่ จ-5 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B20D10a

	B20D10a				
run duration, t	0 hr.	4 hrs.	14 hrs.	24 hrs.	42 hrs.
shape	-	2S	2S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.05	0.95	1.02	1.03
$D_a$ (m)	0.00	0.30	0.33	0.54	0.61
$X_e$ (m)	0.98	0.75	0.62	0.48	0.42
$B_a$ (m)	-	2.99	2.98	3.24	3.23
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.35	0.70	0.73	0.89
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	22.35	39.84	59.78	63.35

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

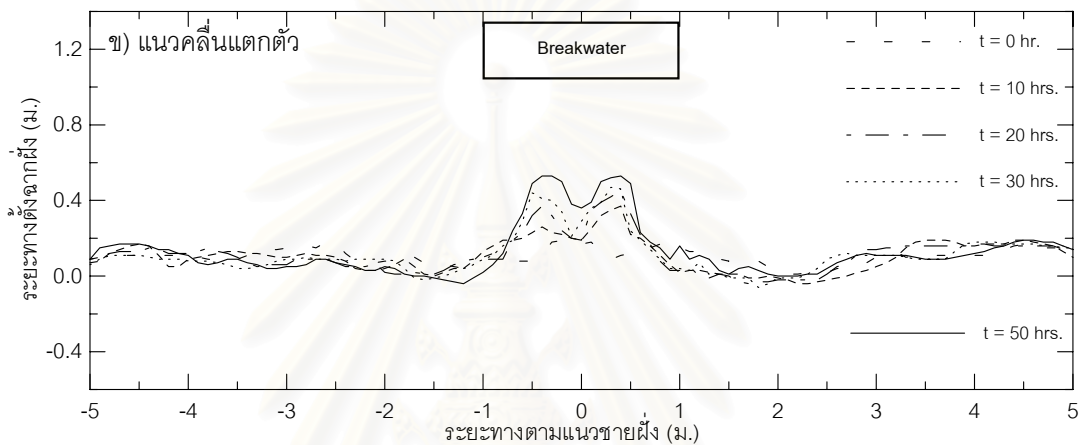
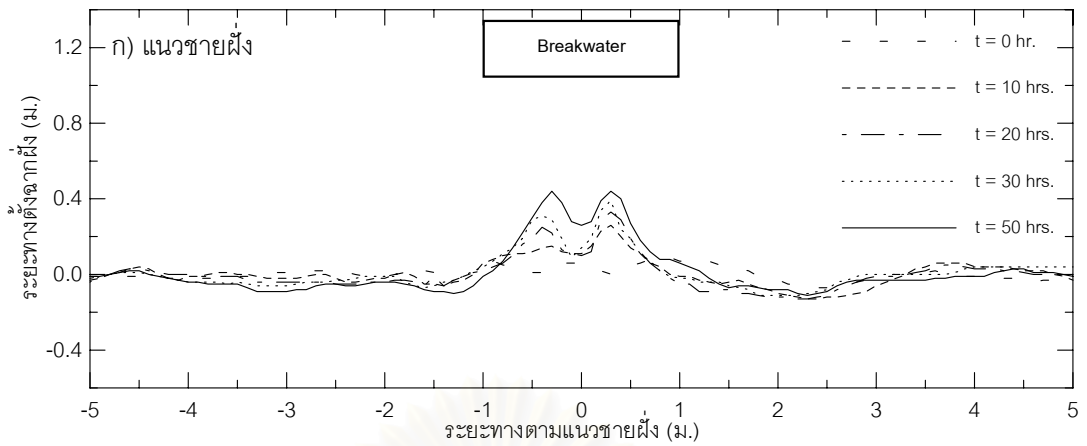


รูปที่ จ-8 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.04 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.014$  คาบคลื่น  $T = 1.11$  วินาที

ตารางที่ จ-6 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B20D10b

		B20D10b				
run duration, t	0 hr.	6 hrs.	16 hrs.	26 hrs.	44 hrs.	
shape	-	2S	2S	2S	2S	
$X_a$ (m)	-	1.09	1.08	1.05	1.11	
$D_a$ (m)	0.00	0.38	0.39	0.40	0.55	
$X_e$ (m)	1.02	0.71	0.69	0.65	0.56	
$B_a$ (m)	-	3.51	3.32	3.31	3.73	
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.40	0.42	0.45	0.68	
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	23.13	27.03	31.38	44.78	

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

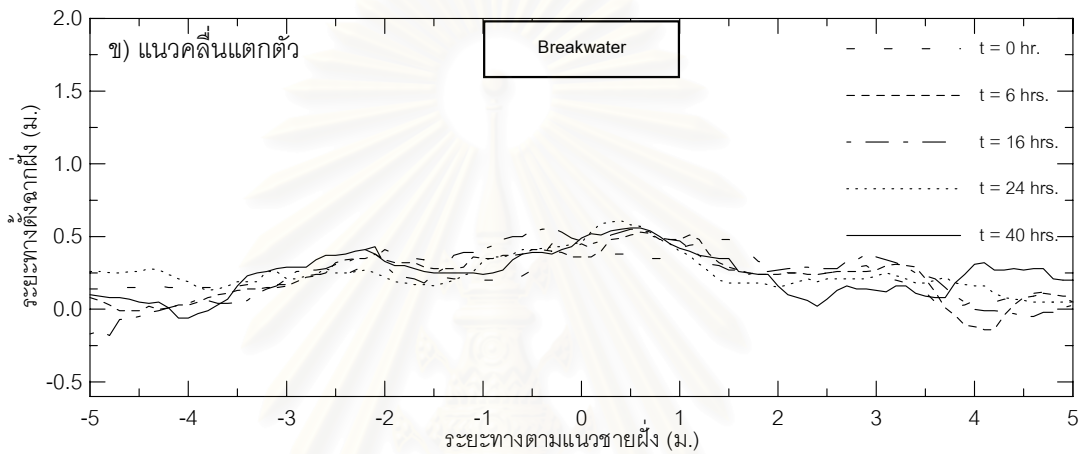
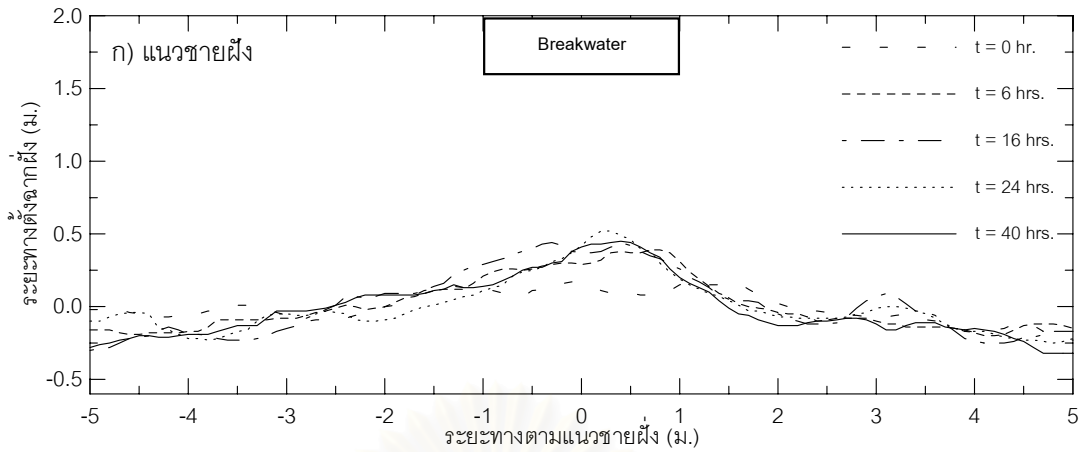


รูปที่ ๑-๙ แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.04 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.007$  คาบคลื่น  $T = 1.25$  วินาที

ตารางที่ ๑-๗ ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B20D10c

		B20D10c				
run duration, t	0 hr.	10 hrs.	20 hrs.	30 hrs.	50 hrs.	
shape	-	2S	2S	2S	2S	
$X_a$ (m)	-	1.09	1.12	1.11	1.14	
$D_a$ (m)	0.00	0.25	0.37	0.41	0.54	
$X_e$ (m)	1.04	0.84	0.75	0.70	0.60	
$B_a$ (m)	-	2.84	3.13	3.27	2.80	
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.26	0.26	0.33	0.45	
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	5.67	9.38	12.25	14.33	

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

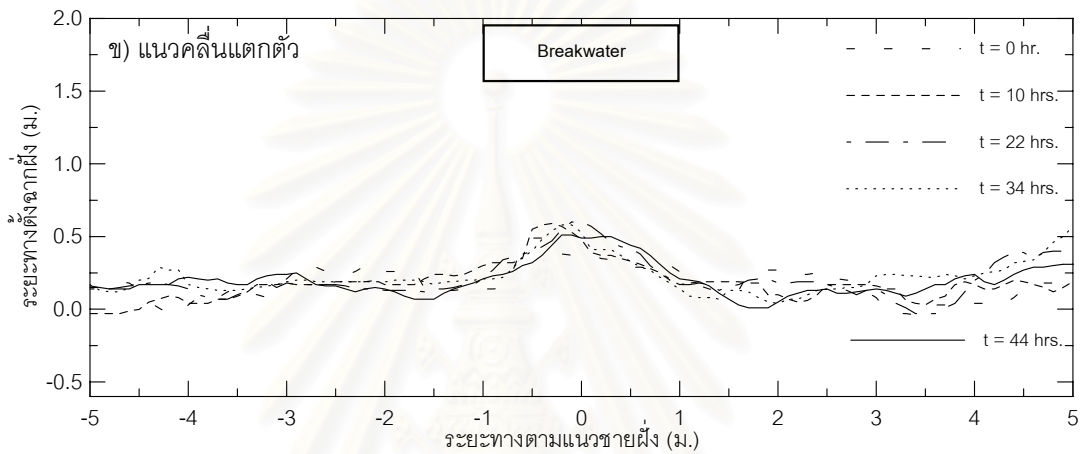
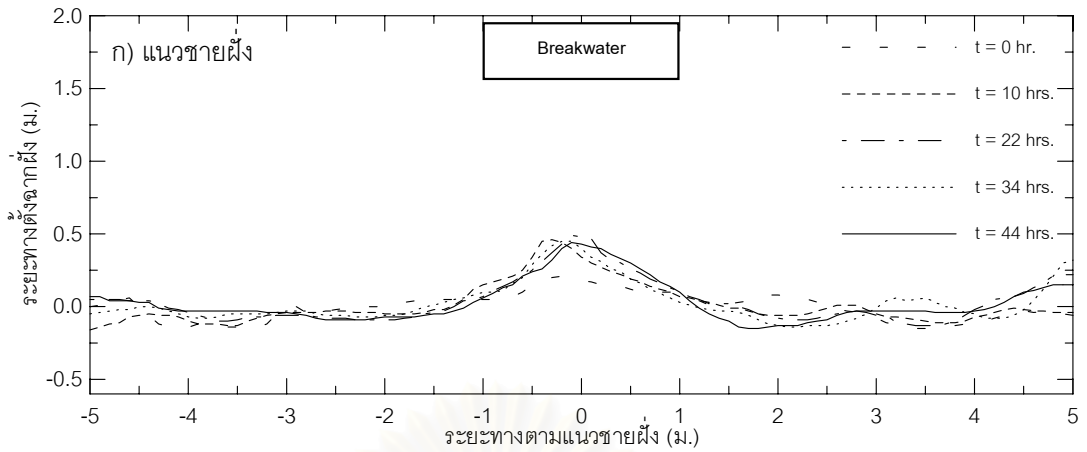


รูปที่ จ-10 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.63 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.027$  คาบคลื่น  $T = 0.91$  วินาที

ตารางที่ จ-8 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B20D15a

	B20D15a				
run duration, t	0 hr.	6 hrs.	16 hrs.	24 hrs.	40 hrs.
shape	-	1S	1S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.58	1.58	1.65	1.63
$D_a$ (m)	0.00	0.33	0.38	0.54	0.44
$X_e$ (m)	1.51	1.25	1.20	1.11	1.19
$B_a$ (m)	-	3.30	3.50	3.49	3.36
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.47	0.52	0.54	0.54
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	33.57	51.30	42.75	33.29

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

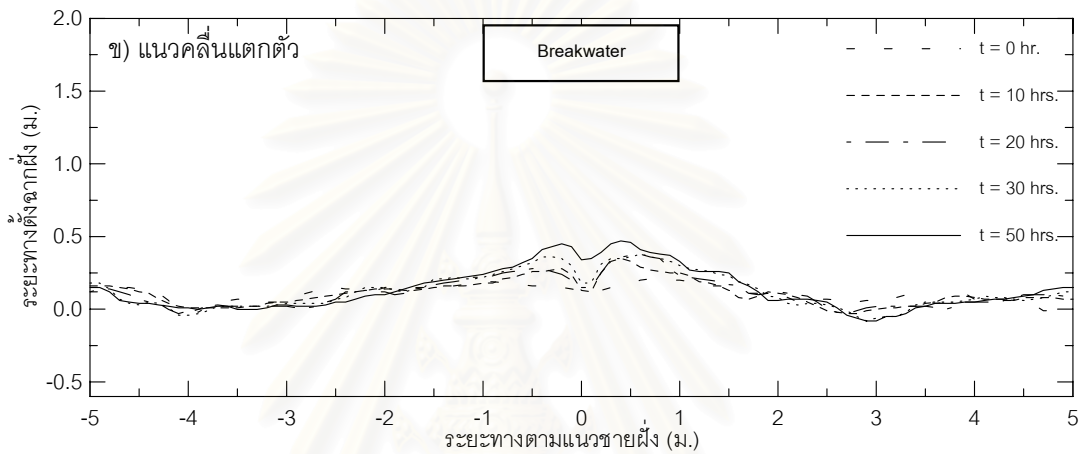
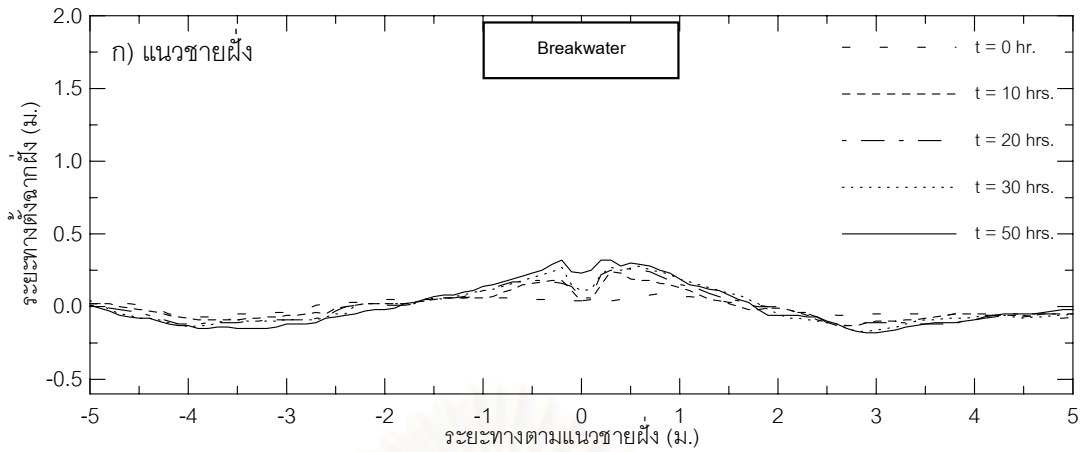


รูปที่ จ-11 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.57 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.018$  คาบคลื่น  $T = 1.11$  วินาที

ตารางที่ จ-9 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B20D15b

	B20D15b				
run duration, t	0 hr.	10 hrs.	22 hrs.	34 hrs.	44 hrs.
shape	-	1S	1S	1S	1S
$X_a$ (m)	-	1.61	1.63	1.57	1.67
$D_a$ (m)	0.00	0.52	0.57	0.47	0.55
$X_e$ (m)	1.45	1.09	1.06	1.10	1.12
$B_a$ (m)	-	3.62	3.76	3.15	3.64
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.26	0.28	0.31	0.33
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	30.49	40.15	35.99	43.65

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

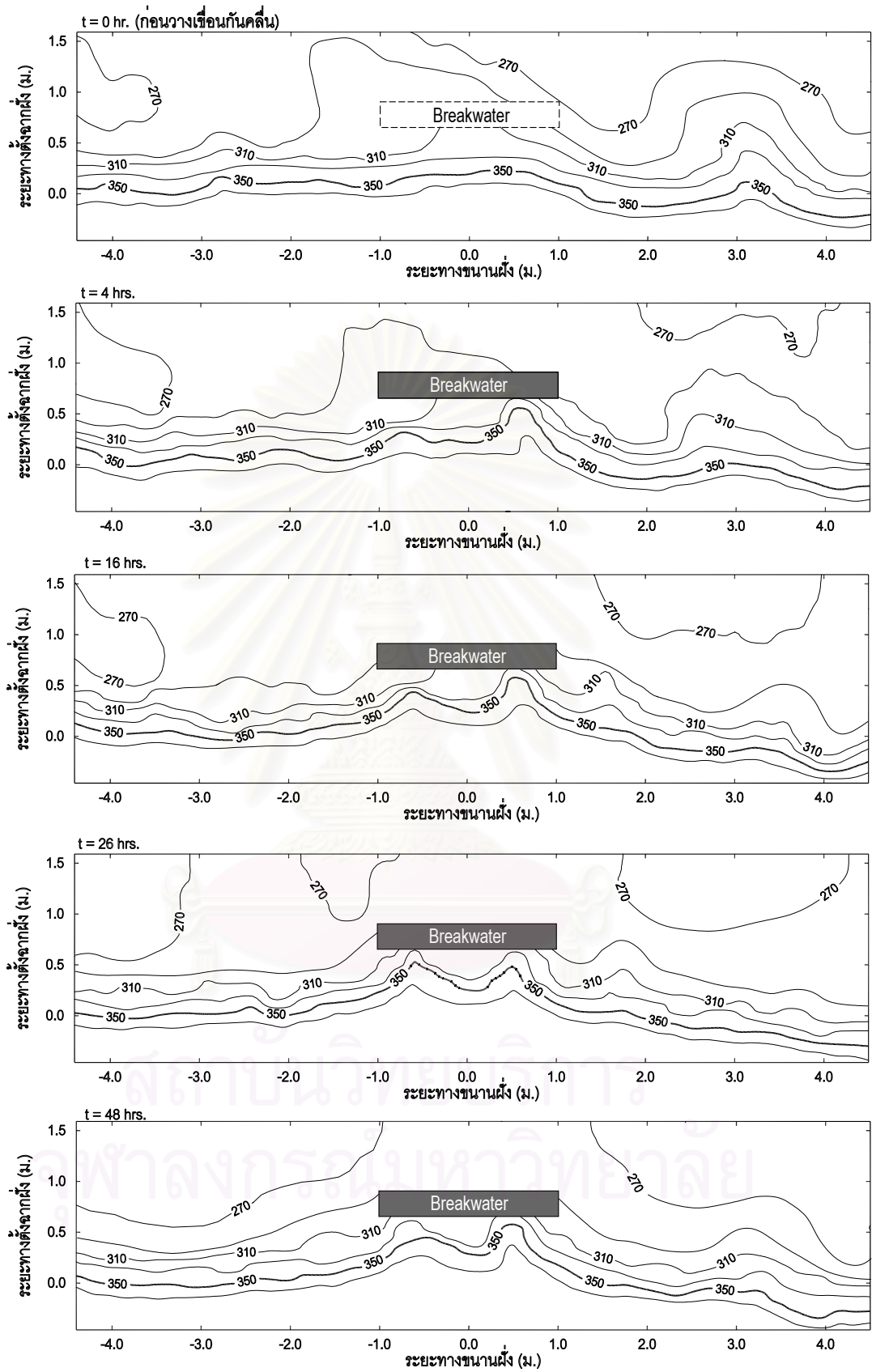


รูปที่ จ-12 แนวชายฝั่งและแนวคลื่นแตกตัวกรณีความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.57 ม.  
ขนาดคลื่น  $H_0/L_0 = 0.007$  คาบคลื่น  $T = 1.25$  วินาที

ตารางที่ จ-10 ค่าพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง กรณี B20D15c

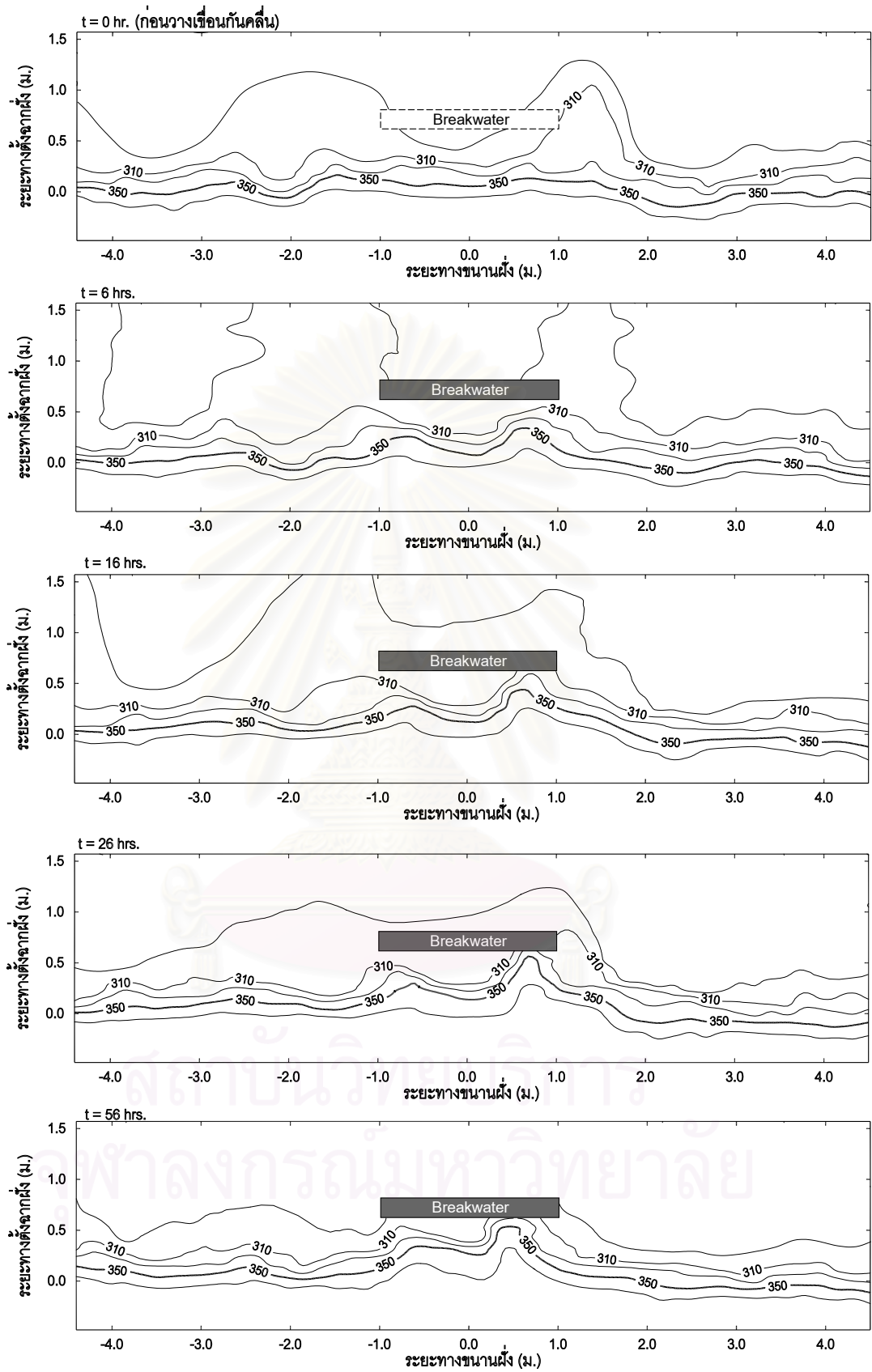
	B20D15c				
run duration, t	0 hr.	10 hrs.	20 hrs.	30 hrs.	50 hrs.
shape	-	2S	2S	2S	2S
$X_a$ (m)	-	1.55	1.53	1.52	1.56
$D_a$ (m)	0.00	0.20	0.18	0.24	0.31
$X_e$ (m)	1.51	1.35	1.35	1.28	1.25
$B_a$ (m)	-	3.31	3.51	3.23	3.20
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.00	0.21	0.26	0.33	0.45
$V$ (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	0.00	12.02	17.98	28.86	26.78

หมายเหตุ (1S)-Salient (T)-Tombolo (2S)-Double salient (S/T)-Double salient with tombolo

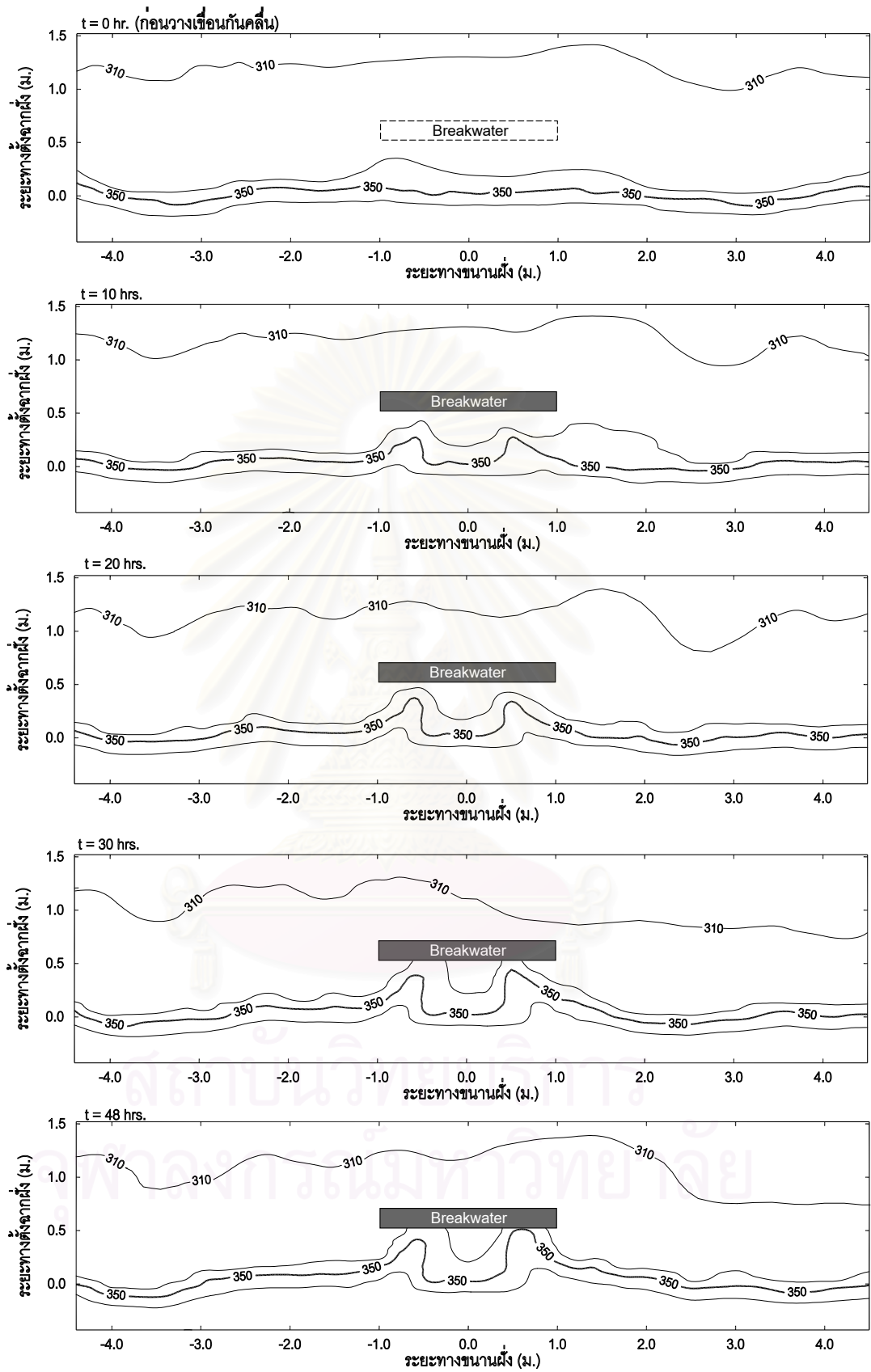


รูปที่ ๑๑๔ เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.59 ม.  
ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.021 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 0.91 วินาที

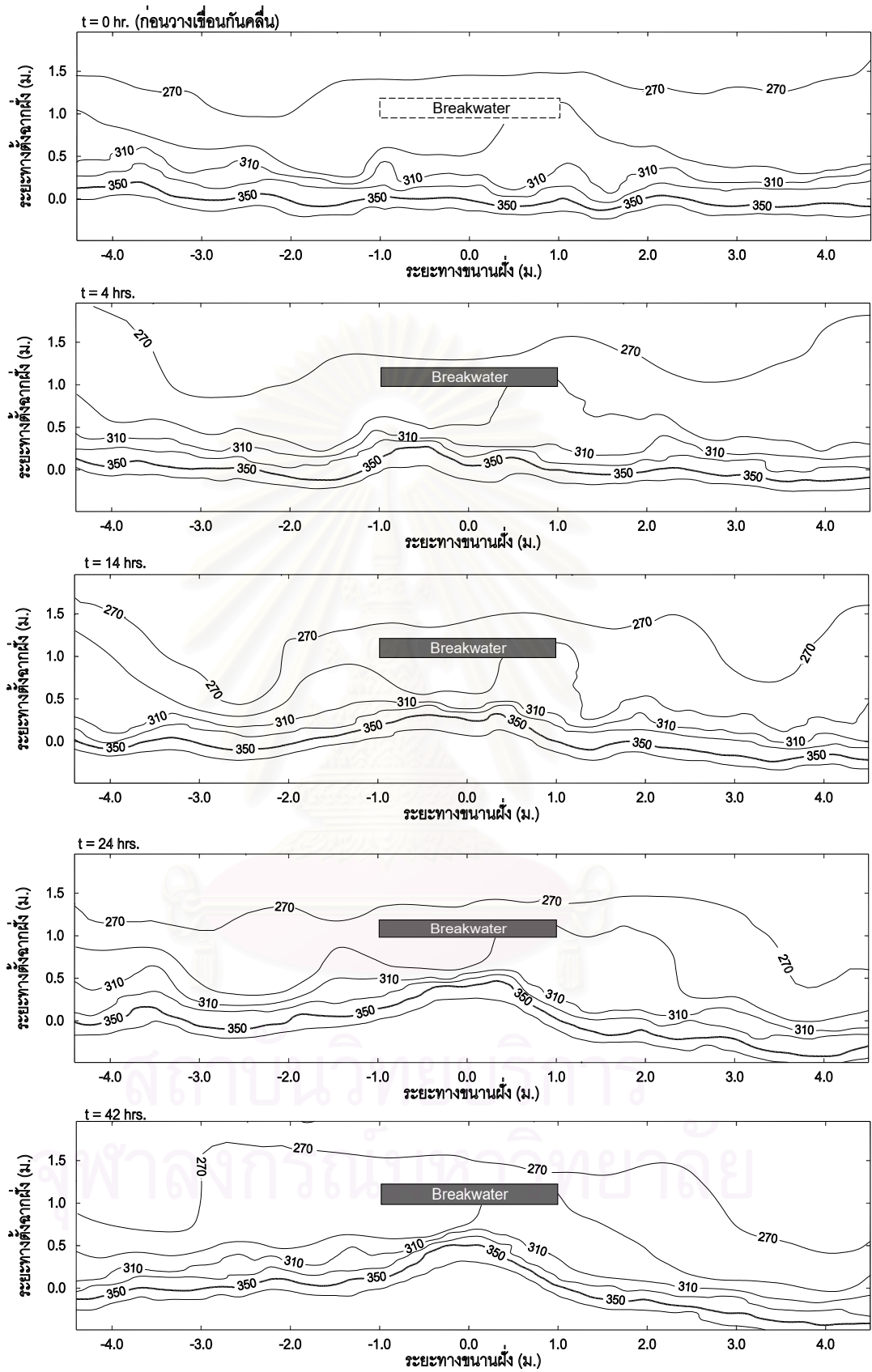




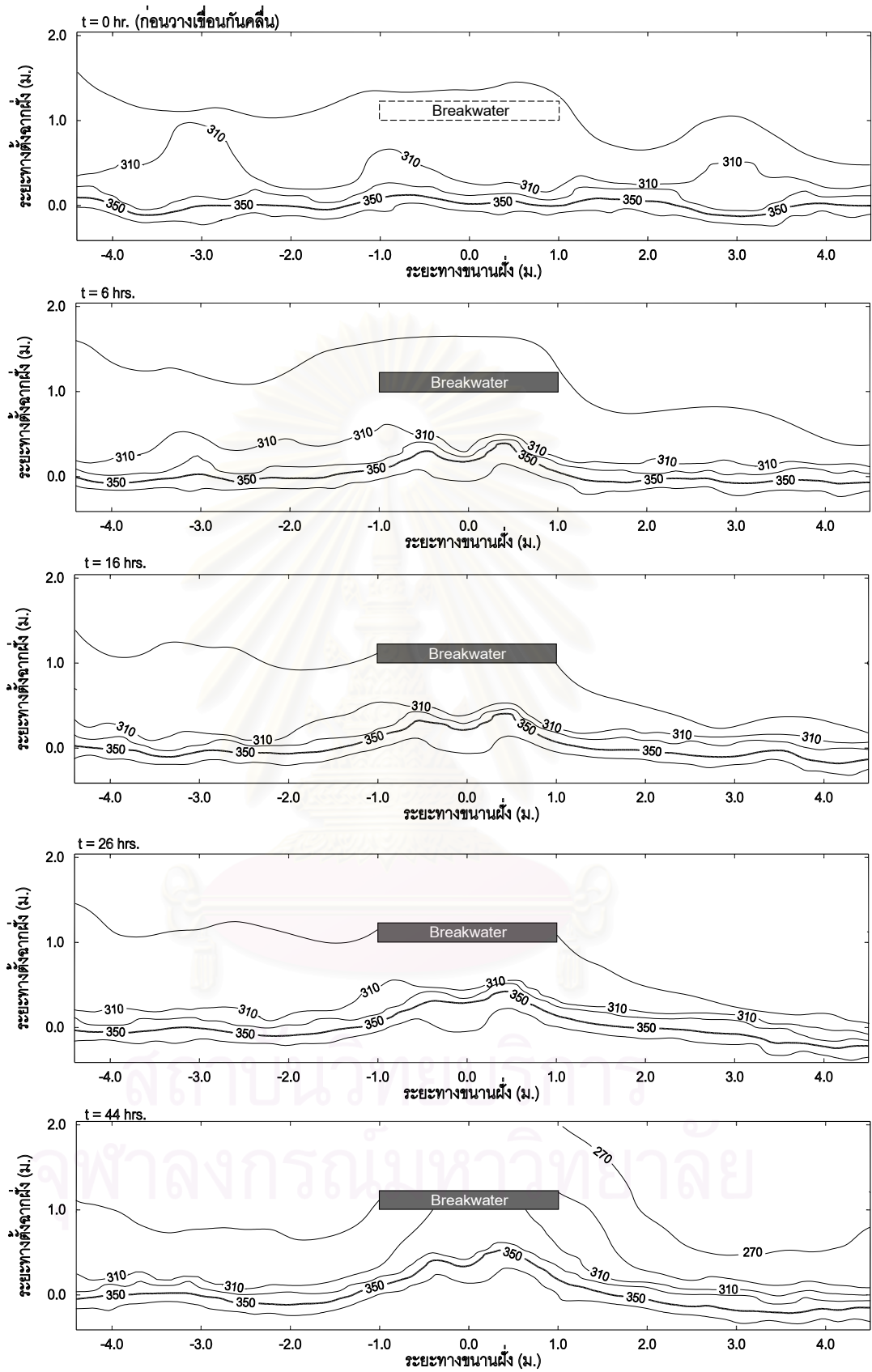
รูปที่ ๑๕ เส้นชั้นความสูงท่อน้ำ กรณี ความยาวคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.57 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.018 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.11 วินาที



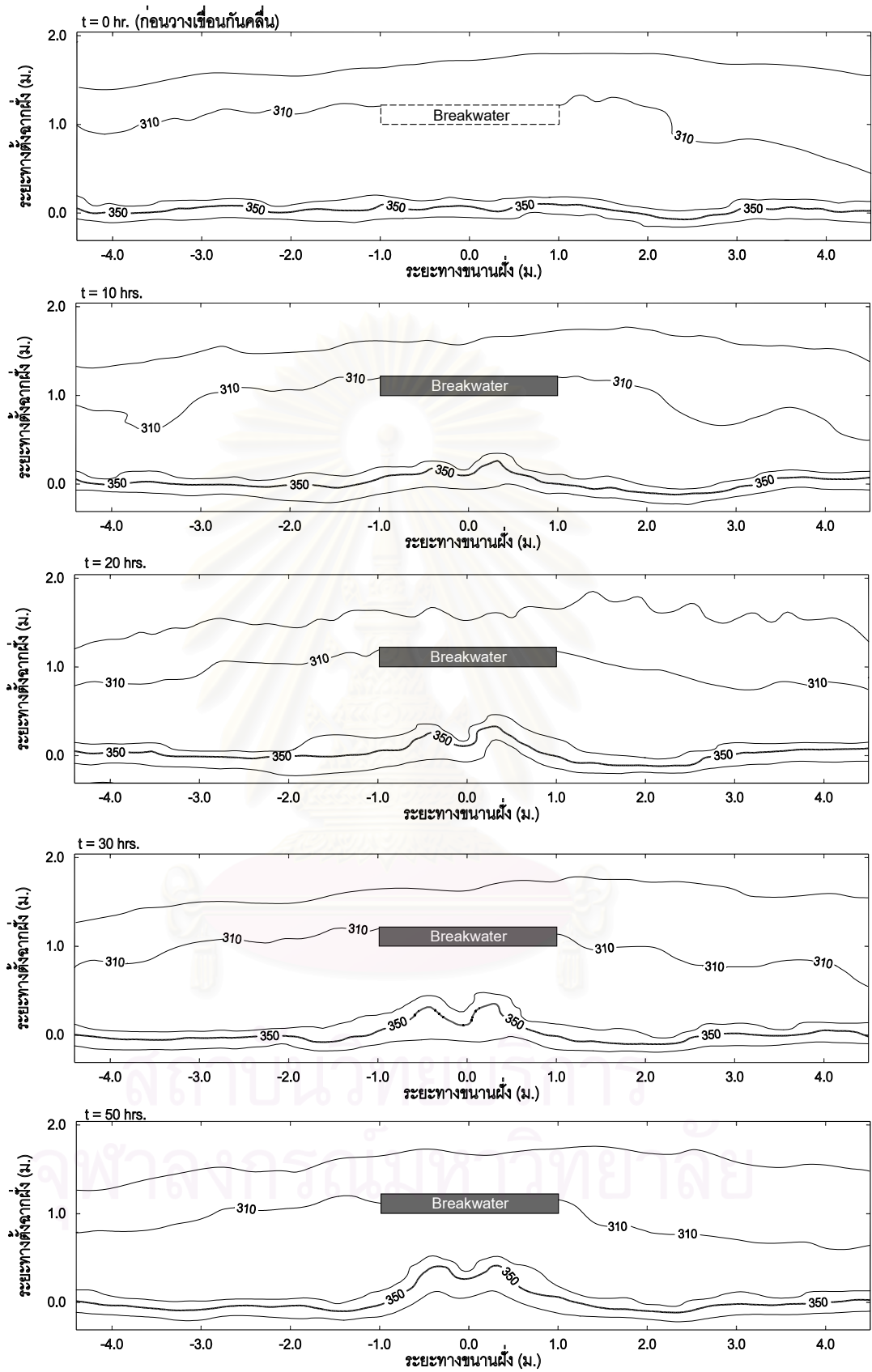
รูปที่ ๑๖ เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.52 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.005 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.25 วินาที



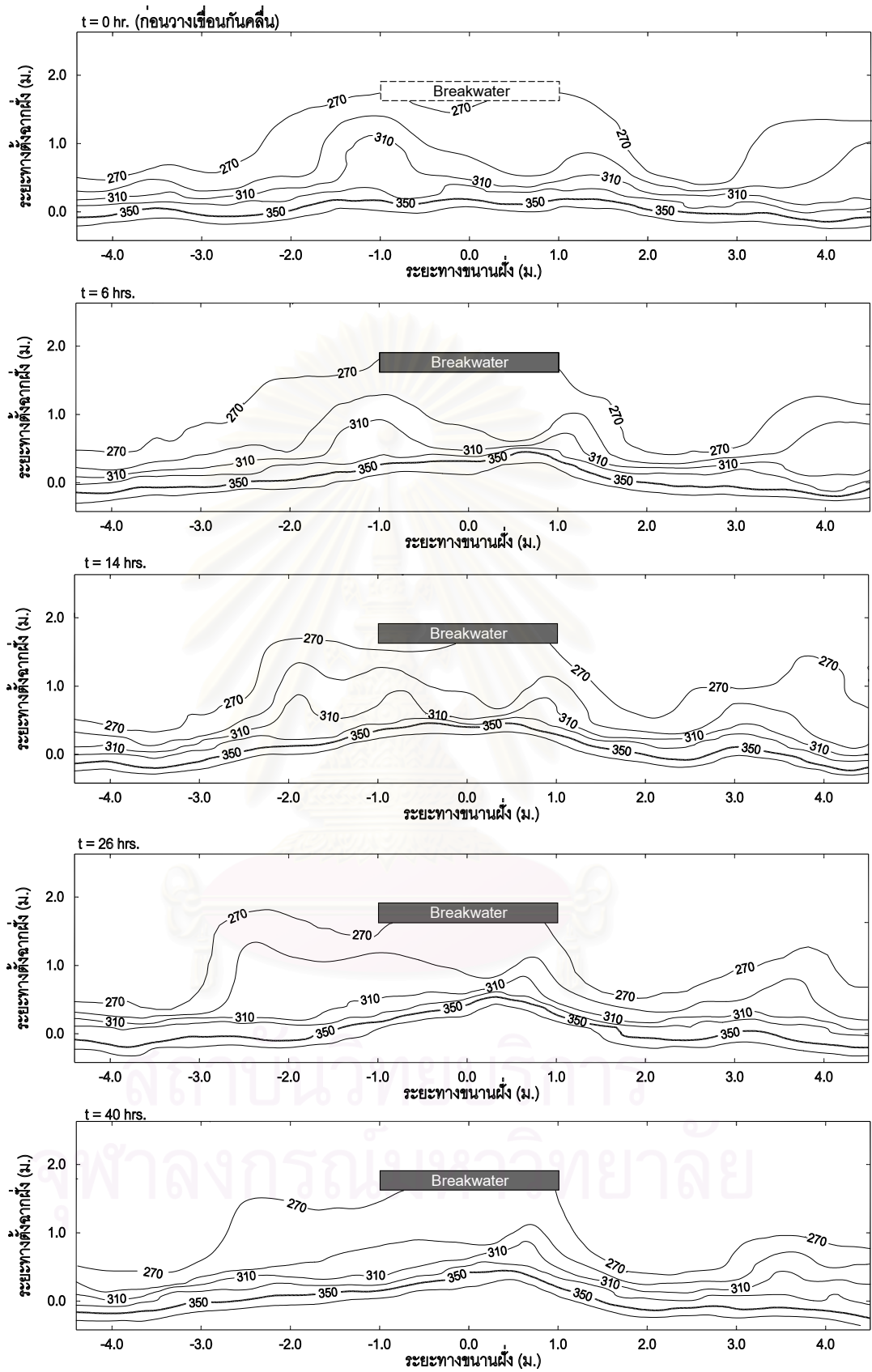
รูปที่ ๑๗ เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 0.96 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.028 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 0.91 วินาที



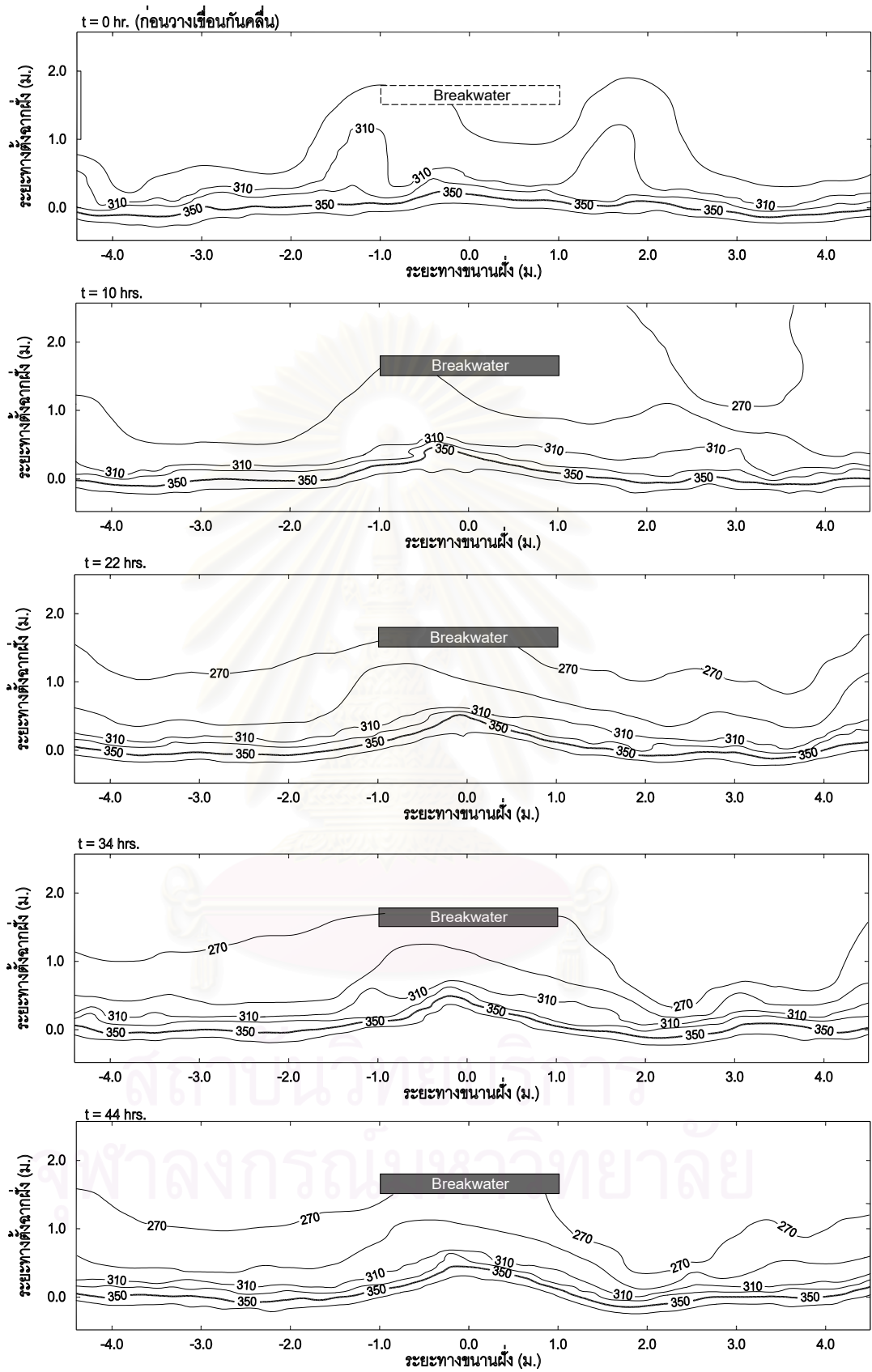
รูปที่ ๑๑๘ เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 เมตร ระยะห่างฝั่ง 1.04 เมตร  
ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.014 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.11 วินาที



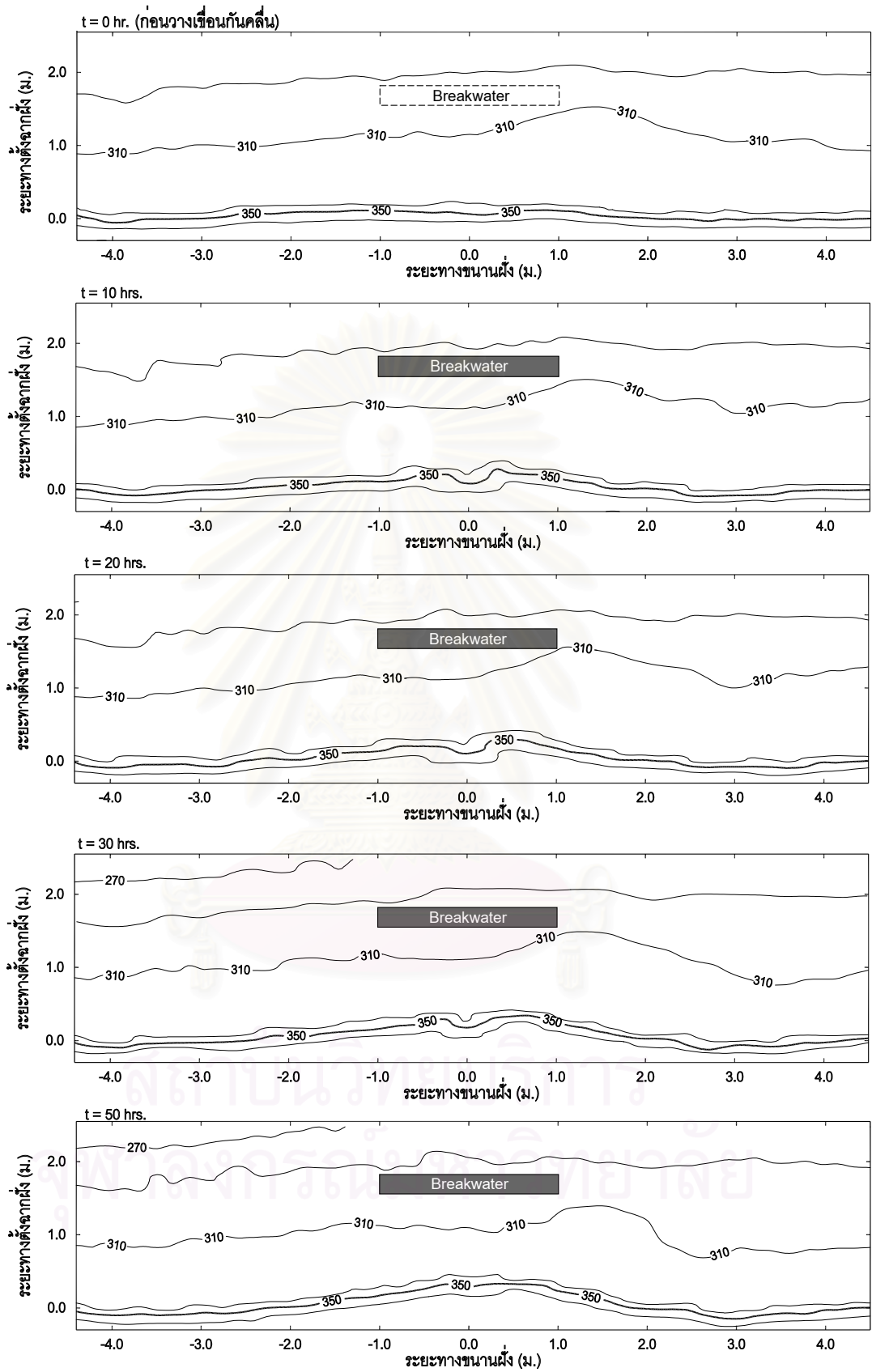
รูปที่ ๑๑๙ เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.04 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.007 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.25 วินาที



รูปที่ ๑๒๐ เส้นชั้นความสูงท่อน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.63 ม.  
ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.027 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 0.91 วินาที



รูปที่ ๑๒๑ เส้นชั้นความสูงท่อน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.57 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.018 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.11 วินาที



รูปที่ ๑๒๒ เส้นชั้นความสูงของน้ำ กรณี ความยาวเขื่อนกันคลื่น 2.0 ม. ระยะห่างฝั่ง 1.57 ม.  
 ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) = 0.007 , คาบคลื่น ( $T$ ) = 1.25 วินาที



## ภาคผนวก จ

### ความสัมพันธ์ตัวแปรการทับถมตะกอนตามเวลา

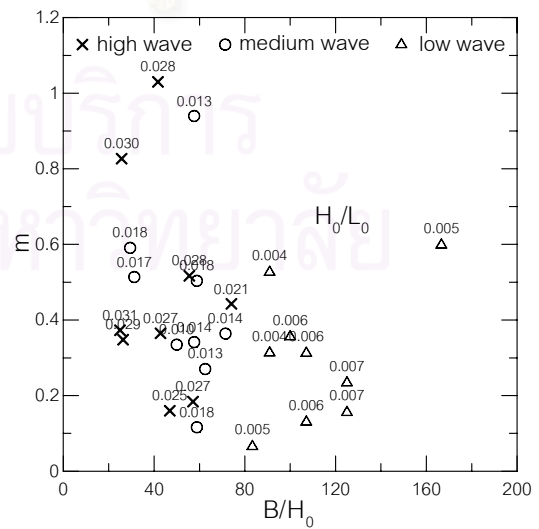
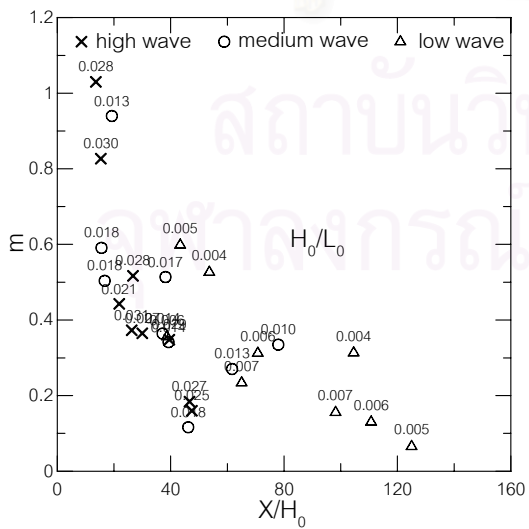
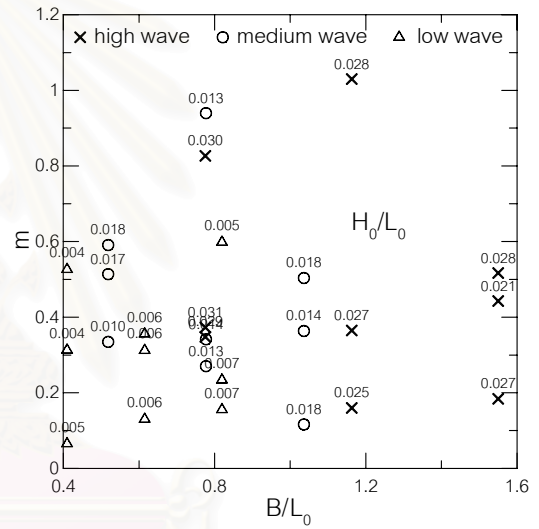
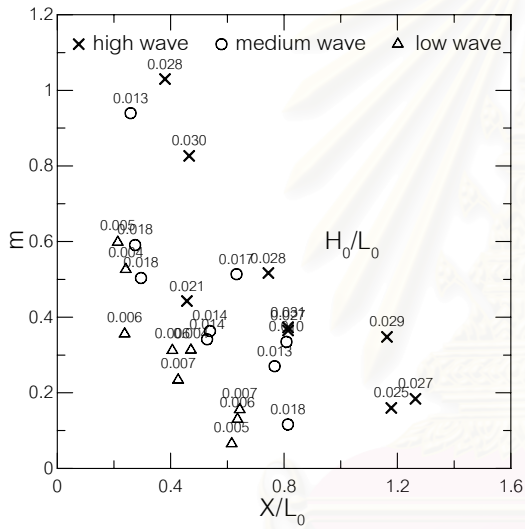
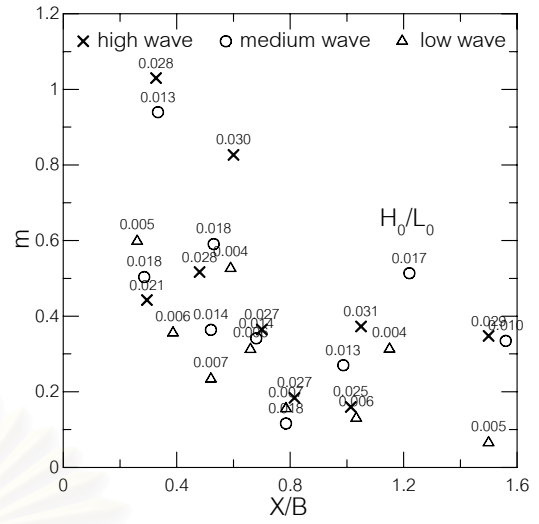
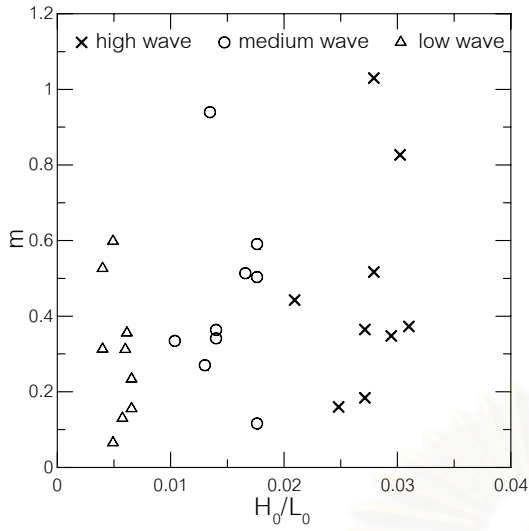
เมื่อศึกษาอัตราการทับถมตะกอนตามเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง พบว่ามีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ตะกอนทับถม ตามเวลาของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง 2 ชนิด คือ พารามิเตอร์  $m$  และ  $n$  ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตะกอนทับถมตามเวลาอธิบายได้ด้วยพารามิเตอร์  $M$  และ  $N$  ซึ่งตัวแปรทั้งสองน่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรการทดลอง แต่ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษามีจำนวนมาก ดังนั้นจึงเลือกตัวแปรที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์เหล่านี้ ก่อนการหาความสัมพันธ์ ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์มีดังนี้

1) ตัวแปรคลื่น ได้แก่ ความสูงคลื่นน้ำลึก( $L_0$ ) และ ความยาวคลื่นน้ำลึก( $H_0$ )

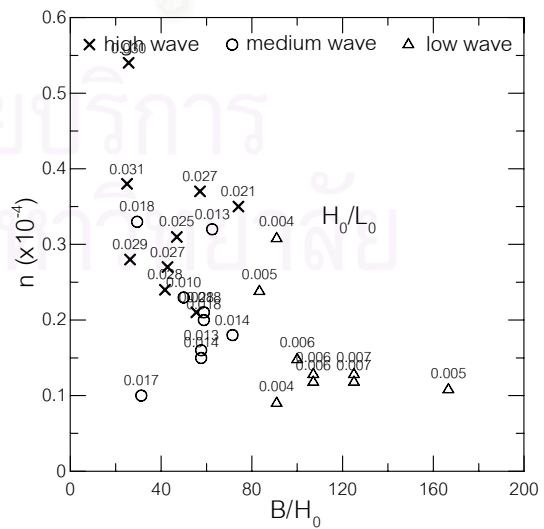
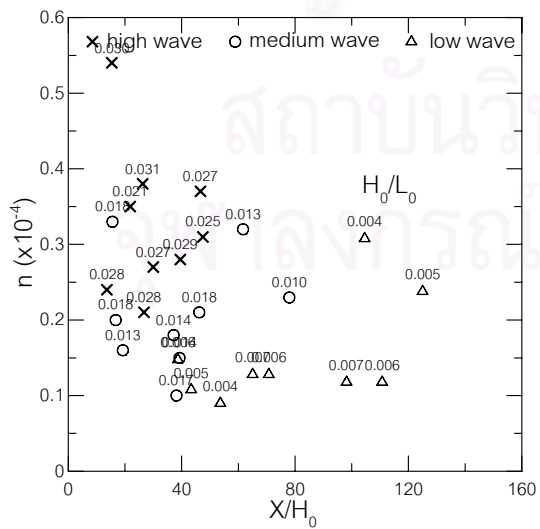
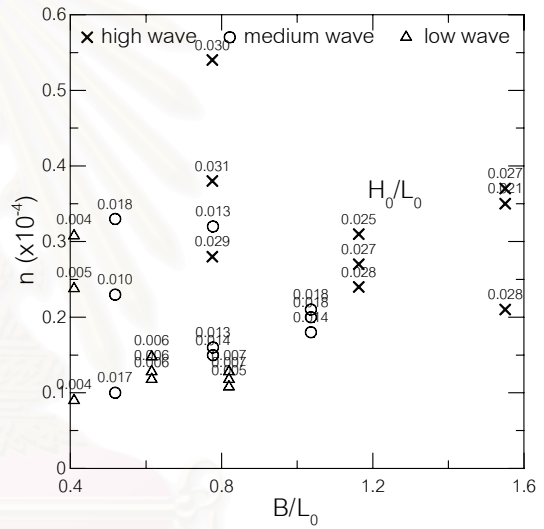
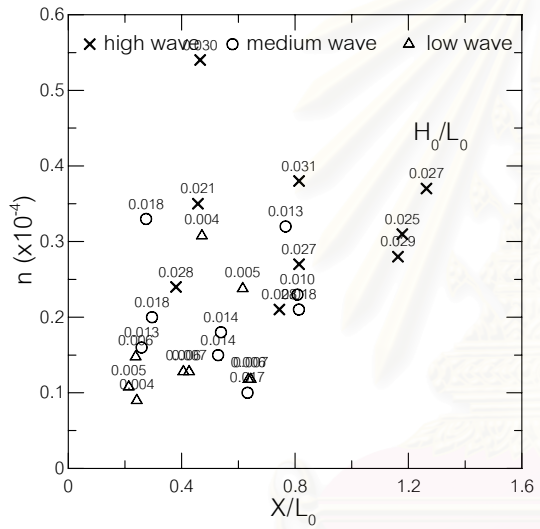
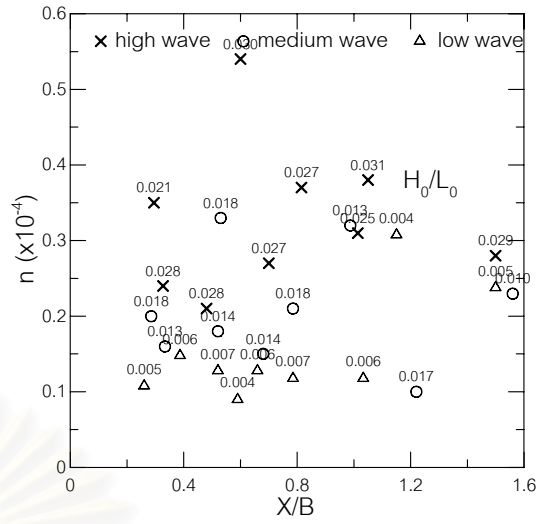
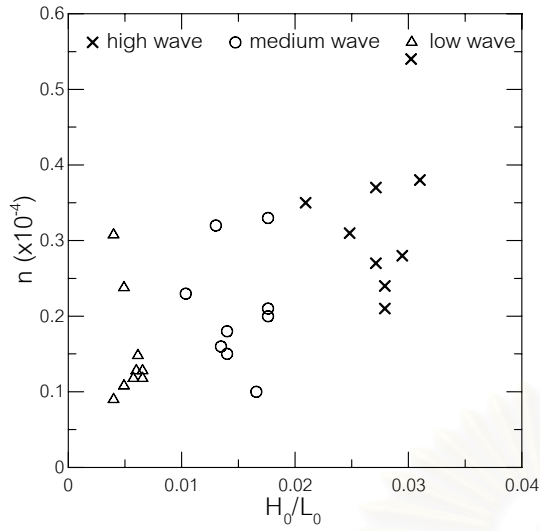
2) ตัวแปรกำหนดแบบจำลอง ได้แก่ ความยาวเขื่อนกันคลื่น( $B$ ) และ ระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น( $X$ )

ซึ่งเมื่อสร้างเป็นตัวแปรไร้หน่วย จะได้กลุ่มตัวแปรไร้หน่วย 6 กลุ่ม คือ  $H_0/L_0$   $X/B$   $X/L_0$   $B/L_0$   $X/H_0$  และ  $B/H_0$  แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรไร้หน่วยนี้กับพารามิเตอร์ของการทับถมตะกอนตามเวลาเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปร ซึ่งแสดงดังรูปที่ จ-1 ถึงรูปที่ จ-4

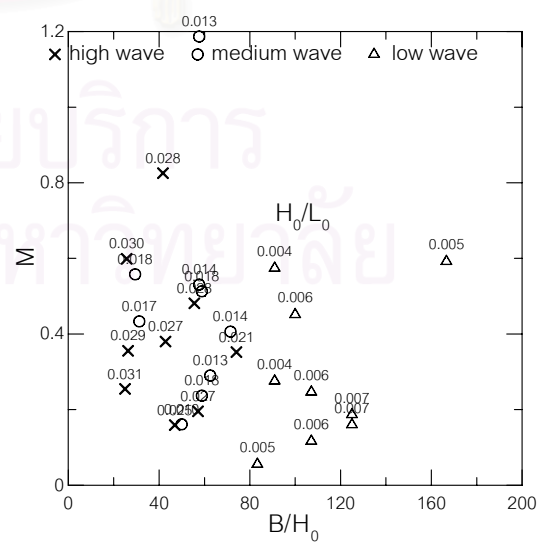
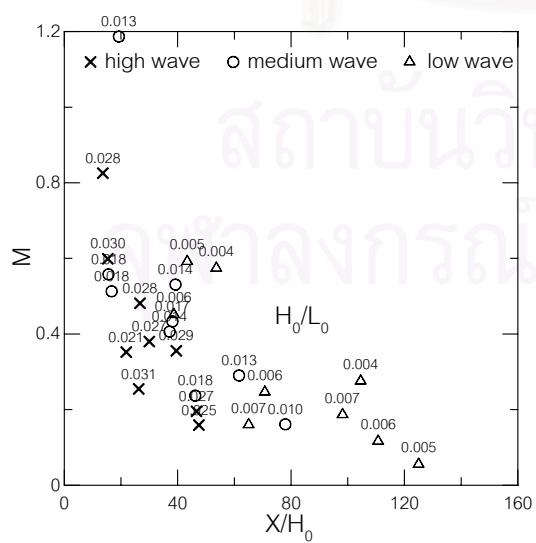
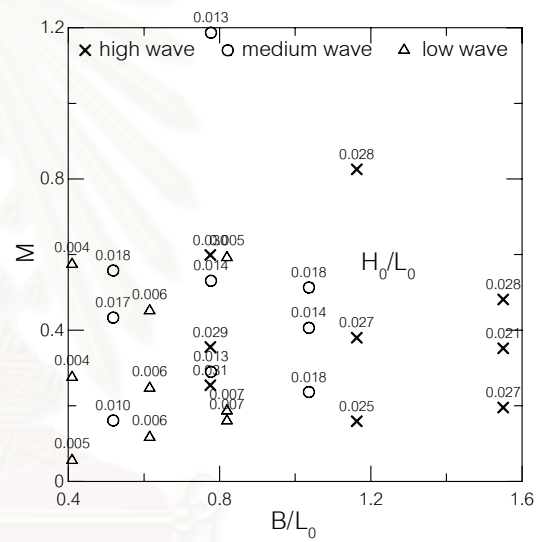
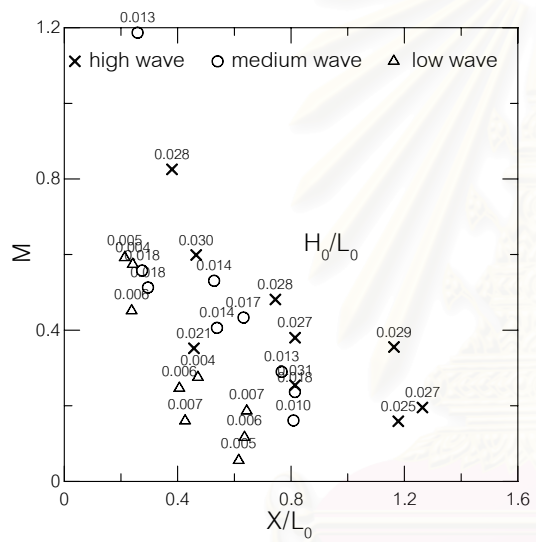
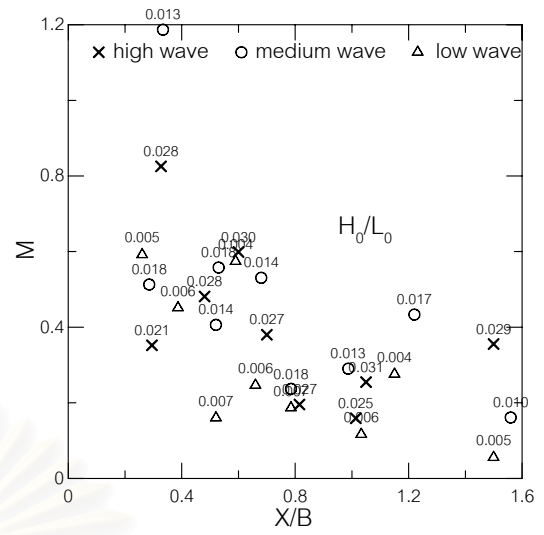
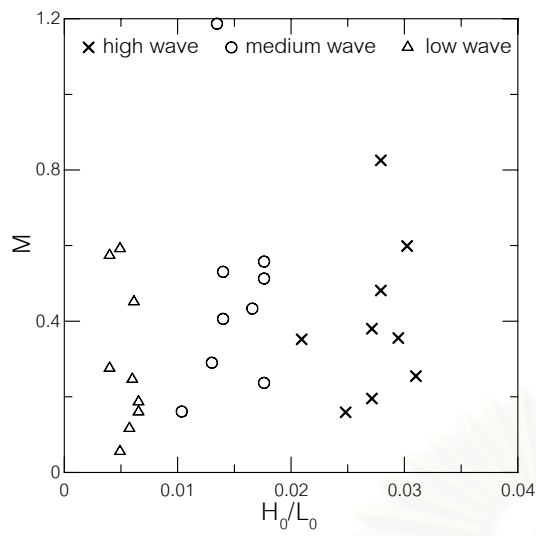
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



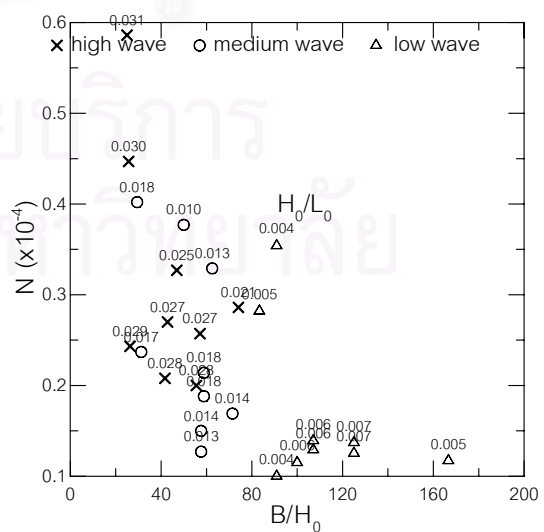
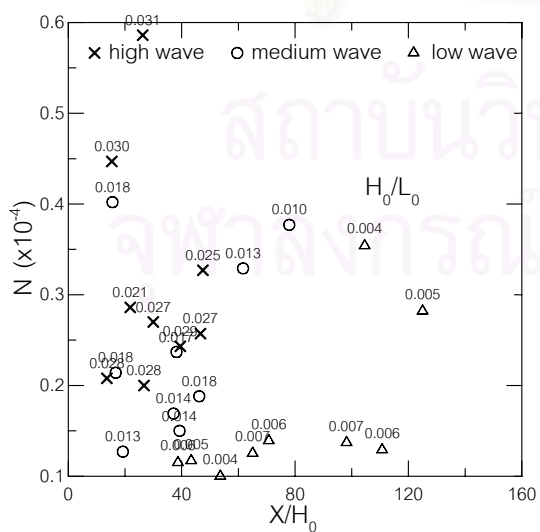
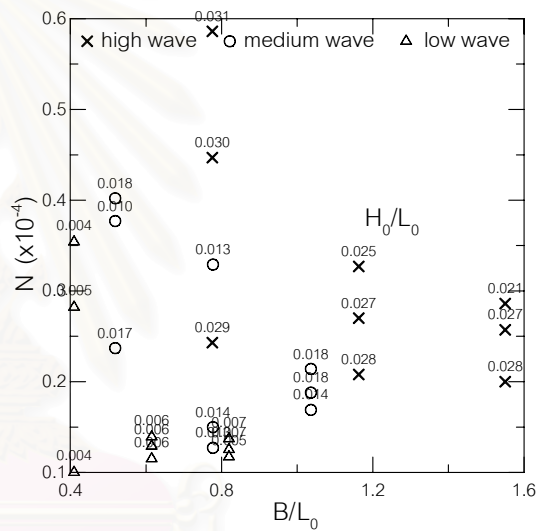
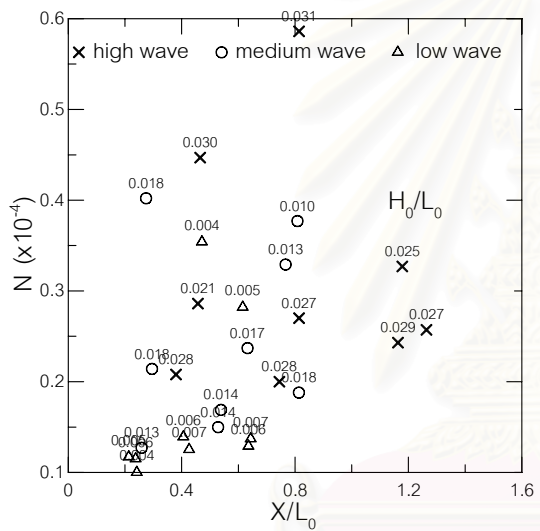
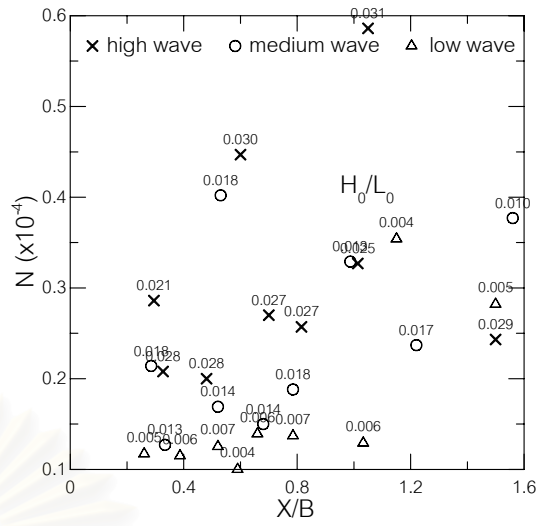
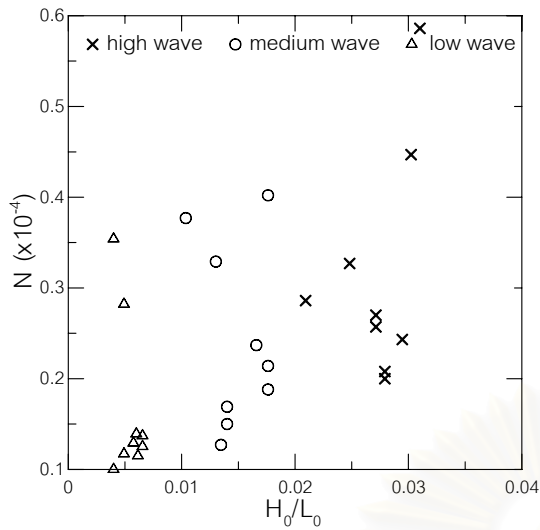
รูปที่ ๑-1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ กับพารามิเตอร์  $\eta$



รูปที่ ๑-2 ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ กับพารามิเตอร์ n



รูปที่ ๓-3 ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ กับพารามิเตอร์  $M$



รูปที่ ๔-4 ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ กับพารามิเตอร์ N

## ภาคผนวก ข

### การประยุกต์ใช้แบบจำลอง GENESIS กรณีเขื่อนกันคลื่น

ในบทนี้มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แบบจำลอง GENESIS ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ พัฒนาโดย USACE-Coastal Engineering Research Center (US.CERC 1991) เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่นเดี่ยว วางตัวขนานกับแนวชายฝั่ง และมีคลื่นขนาดต่าง ๆ เข้ากระทำในทิศทางตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง ซึ่งมีลักษณะเดียวกับการทดลองในแบบจำลองชลศาสตร์ และนำผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจาก GENESIS เปรียบเทียบกับผลจากการใช้แบบจำลองชลศาสตร์

#### ข.1 หลักการเบื้องต้นของแบบจำลอง GENESIS

ในส่วนนี้เป็นการอธิบายเนื้อหาและหลักการเบื้องต้นของแบบจำลอง GENESIS ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ภายใต้ระบบจัดการ MSDOS เพื่อให้เกิดความเข้าใจลักษณะพื้นฐานของแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วย ข้อจำกัด สมมติฐาน และหลักการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง รวมทั้งโครงสร้างข้อมูลของแบบจำลองที่มีการกำหนดเบื้องต้นในการพัฒนาซอฟต์แวร์ของ USACE-Coastal Engineering Research Center

##### ข.1.1 ข้อจำกัดของแบบจำลอง

ข้อจำกัดของการใช้แบบจำลอง GENESIS มีดังนี้

- 1) ในการคำนวณลักษณะคลื่นในแบบจำลอง ไม่คิดผลการสะท้อนของคลื่นที่เกิดจากโครงสร้างต่าง ๆ
- 2) ไม่สามารถวิเคราะห์การงอกของชายฝั่งแบบ tombolo
- 3) ไม่มีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (น้ำขึ้น-น้ำลง)
- 4) มีข้อจำกัดของการกำหนดรูปร่าง ขนาด และการวางตำแหน่งโครงสร้างต่าง ๆ

### ช.1.2 สมมติฐานของแบบจำลอง

สมมติฐานของการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เพื่อให้ง่ายต่อการจำลองในแบบจำลอง มีดังนี้

- 1) รูปตัดขวางชายฝั่ง (beach profile) คงที่ โดยสมมติให้รูปตัดขวางชายฝั่งมีรูปแบบเป็นโค้งพาราโบลา
- 2) เขตสิ้นสุดการคำนวณในแนวตั้งฉากชายฝั่งเป็นขอบเขตคงที่ ตั้งแต่สันทรายเหนือระดับน้ำ (berm) ถึงความลึกน้ำ ณ ตำแหน่งที่ไม่มีการเคลื่อนตัวของตะกอน (depth of closure)
- 3) การเคลื่อนตัวของตะกอนทราย เป็นผลจากการแตกตัวของคลื่นเพียงอย่างเดียว (ไม่มีการเคลื่อนตัวของตะกอนทรายเนื่องจากกระแสน้ำ)
- 4) ไม่คิดผลของการหมุนวนของกระแสน้ำ เนื่องจากโครงสร้าง
- 5) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมีแนวโน้มระยะยาว ไม่มีการคำนวณการพัดพาตะกอนตั้งฉากชายฝั่ง

### ช.1.3 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

การคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลอง GENESIS ใช้หลักการของสมดุลตะกอน ซึ่งสามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งได้จาก

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{(D_B + D_C)} \left( \frac{\partial Q}{\partial x} - q \right) = 0 \quad (\text{ช-1})$$

- โดยที่
- y คือ ระยะทางตั้งฉากชายฝั่ง
  - x คือ ระยะทางตามแนวชายฝั่ง
  - t คือ เวลาของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง
  - Q คือ อัตราการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่ง
  - q คือ ปริมาณตะกอนขุดลอก หรือปริมาณตะกอนที่เติมให้กับชายฝั่งต่อหน่วยความกว้างชายฝั่ง
  - $D_B$  คือ ความสูงของสันทรายเหนือระดับน้ำ
  - $D_C$  คือ ความลึกน้ำ ณ ตำแหน่งที่ไม่มีการเคลื่อนตัวของตะกอน

ความหมายของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในสมการอาจแสดงได้ดังรูปที่ ข-1 ซึ่งอัตราการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่ง (Q) ในสมการ ข-1 สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = (H^2 C_g)_b \left( a_1 \sin 2\theta_{bs} - a_2 \cos \theta_{bs} \frac{\partial H}{\partial x} \right)_b \quad (\text{ข-2})$$

- เมื่อ H คือ ความสูงคลื่น (m)  
 $C_g$  คือ ความเร็วกลุ่มคลื่นจากทฤษฎีคลื่นความสูงน้อย  
b คือ การแสดงถึงการแตกตัวของคลื่น  
 $\theta_{bs}$  คือ มุมการแตกตัวของคลื่นเทียบกับแนวชายฝั่ง  
 $a_1, a_2$  คือ พารามิเตอร์ไร้หน่วย

โดยที่  $a_1 = \frac{K_1}{16(s-1)(1-p)(1.416)^{5/2}} \quad (\text{ข-3})$

$$a_2 = \frac{K_2}{8(s-1)(1-p)\tan\beta(1.416)^{7/2}} \quad (\text{ข-4})$$

- เมื่อ  $K_1, K_2$  เป็นพารามิเตอร์ปรับแก้จากข้อมูลจริง (empirical coefficient)  
s คือ ความถ่วงจำเพาะของตะกอน =  $\rho_s / \rho$   
 $\rho_s$  คือ ความหนาแน่นตะกอนทราย (เท่ากับ  $1.65 \times 10^3$  กก./ลบ.ม.)  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ (เท่ากับ  $1.03 \times 10^3$  กก./ลบ.ม.)  
p คือ ความพรุนของตะกอนท้องน้ำ (เท่ากับ 0.4)  
 $\tan\beta$  คือ ความลาดชันจากแนวชายฝั่งถึงความลึกน้ำสูงสุดที่มีการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่ง

นอกจากนี้การคำนวณในแบบจำลอง ยังมีการประมาณรูปตัดขวางชายฝั่งเป็นโค้งพาราโบลา ดังแสดงในสมการ

$$D = Ay^{2/3} \quad (\text{ข-5})$$

- เมื่อ D คือ ความลึกน้ำ หน่วย เมตร  
A คือ สัมประสิทธิ์ของรูปตัดขวางชายฝั่ง โดยค่านี้ขึ้นอยู่กับขนาดตะกอนชายฝั่ง ดังนี้



$$\left. \begin{aligned} A &= 0.41(d_{50})^{0.94} & d_{50} < 0.4 \\ A &= 0.23(d_{50})^{0.32} & 0.4 \leq d_{50} < 10.0 \\ A &= 0.23(d_{50})^{0.28} & 10.0 \leq d_{50} < 40.0 \\ A &= 0.46(d_{50})^{0.11} & 40.0 \leq d_{50} \end{aligned} \right\} \quad (\text{ท-6})$$

ส่วนการประมาณค่าความลาดชายฝั่ง ( $\tan\beta$ ) สามารถคำนวณได้จาก

$$\tan\beta = \left( \frac{A^3}{D_{LT0}} \right)^{1/2} \quad (\text{ท-7})$$

เมื่อ  $D_{LT0}$  คือ ความลึกสูงสุดที่มีการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่ง โดยที่  $D_{LT0}$  ขึ้นกับขนาดของคลื่นน้ำลึกดังสมการ

$$D_{LT0} = \left( 2.3 - 10.9H_0 \right) \frac{H_0}{L_0} \quad (\text{ท-8})$$

#### ท.1.4 โครงสร้างข้อมูลของแบบจำลอง

การเริ่มจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ทำได้โดยการป้อนข้อมูลนำเข้าในเอกสาร (file) หลัก 4 ส่วน คือ START SHORL SHORM และ WAVES ส่วนผลลัพธ์จากแบบจำลองแสดงในเอกสาร 3 ส่วน คือ SETUP OUTPT และ SHORC โดยรายละเอียดของเอกสารนำเข้าและผลลัพธ์จากแบบจำลอง แสดงดังรูปที่ ท-2

#### ท.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง GENESIS กับกรณีแบบจำลอง

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการทดลองใช้แบบจำลอง GENESIS ในสภาพคลื่นและคุณสมบัติทางกายภาพของชายฝั่งลักษณะเดียวกับแบบจำลองชลศาสตร์ โดยเปรียบเทียบรูปร่างชายฝั่ง ณ เวลาต่าง ๆ และรูปร่างสมดุลงกับผลการจำลองจากแบบจำลองชลศาสตร์ โดยมีรายละเอียดของการจำลองดังนี้

- 1) ชายฝั่งที่ทำการจำลองยาว 10 เมตร โดยแบ่งเป็นช่วงเท่า ๆ กัน ยาวช่วงละ 0.10 เมตร
- 2) ช่วงเวลาการคำนวณ (time increment) เท่ากับ 0.1 ชั่วโมง
- 3) ระยะเวลาที่จำลองเท่ากับระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลองชลศาสตร์

- 4) ความลึกน้ำ ณ ตำแหน่งคลื่นเข้าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่นน้ำลึก เพื่อให้คลื่นอยู่ในสภาพคลื่นน้ำลึก
- 5) ข้อมูลคลื่นใช้ข้อมูลคลื่นน้ำลึกเฉลี่ย ขนาดและคาบเวลาเดียวกับคลื่นในแบบจำลองชลศาสตร์
- 6) ขนาดตะกอนทรายเฉลี่ย 0.25 มิลลิเมตร
- 7) ความสูงของสันทรายเหนือระดับน้ำ ( $D_B$ ) และความลึกน้ำมากที่สุดที่มีการเคลื่อนที่ของตะกอน ( $D_C$ ) ใช้ข้อมูลโดยประมาณจากการทดลอง คือ  $D_B$  ประมาณ 3 – 5 ซม. และ  $D_C$  ประมาณ 12 – 17 ซม.
- 8) ความยาวและตำแหน่งของเขื่อนกันคลื่นใช้ข้อมูลเหมือนกรณีทดลองในแบบจำลองชลศาสตร์

ก่อนการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยใช้ GENESIS ต้องทำการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การพัดพาตะกอน 2 ค่า คือ K1 และ K2 โดยทำการปรับเทียบเท่ากับกรณีทดลอง 3 กรณี คือ กรณี B10D10a B15D10b และ B20D10c วิธีการปรับเทียบทำโดยการผันแปรค่า K1 และ K2 จนกระทั่งชายฝั่งสมดุลงที่ได้จากแบบจำลอง GENESIS มีรูปร่างคล้ายคลึงกับชายฝั่งสมดุลงจากการทดลอง แต่จากการปรับเทียบพบว่า รูปร่างชายฝั่งสมดุลงที่ได้จากแบบจำลอง GENESIS มีลักษณะแตกต่างกับรูปร่างชายฝั่งสมดุลงจากแบบจำลองชลศาสตร์มาก เนื่องจากรูปร่างชายฝั่งสมดุลงจาก GENESIS มีลักษณะผิดปกติคือ มีลักษณะเป็นร่องหยักที่กึ่งกลางของแนวชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่นไม่ว่าจะใช้ค่า K1 และ K2 เป็นเท่าใดก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ ข-3 จึงไม่สามารถปรับเทียบค่า K1 และ K2 และอาจสรุปได้ว่า แบบจำลอง GENESIS ไม่เหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้กับกรณีแบบจำลองที่มีมาตราส่วนเล็กมากเทียบกับกรณีสภาพจริง (prototype)

### ข.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง GENESIS กับกรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วน

เนื่องจาก GENESIS เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นตามสภาพการใช้งานในพื้นที่จริง ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่ในแบบจำลองมาก ทำให้ความละเอียดในการคำนวณไม่เพียงพอที่จะคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่ขนาดเล็ก ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ไม่สามารถใช้ GENESIS ในกรณีแบบจำลองได้ ดังนั้นจึงต้องขยายขนาดของแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับขนาดในพื้นที่จริง โดยอาศัยหลักความคล้ายคลึงทางจลนศาสตร์ (kinematic similarity) ของคลื่น โดยกำหนดให้ขนาดคลื่นน้ำลึก ( $H_0/L_0$ ) ของกรณีขยายสัดส่วน เท่ากับขนาดของคลื่นน้ำลึกในแบบจำลองชลศาสตร์ และมิติของความยาวในกรณีขยายสัดส่วนมีค่าเป็น 100 เท่าของกรณีแบบจำลอง เพื่อให้ได้ความสูงคลื่น

พื้นที่ และขนาดเขื่อนกันคลื่นใกล้เคียงกับขนาดในพื้นที่จริง ซึ่งจากการขยายขนาดของแบบจำลองนี้ ทำให้มิติเวลาของคลื่นในกรณีขยายสัดส่วนมีค่าเป็น 10 เท่า ของแบบจำลอง อย่างไรก็ตามการขยายขนาดของแบบจำลองนี้ไม่รวมถึงเวลาของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลอง จึงไม่สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งตามเวลาในกรณีต้นแบบได้ ดังนั้นการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองชลศาสตร์กับผลจากแบบจำลอง GENESIS จึงทำได้เฉพาะกรณีชายฝั่งสมดุลเท่านั้น ซึ่งเวลาของการเข้าสู่สมดุลในกรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วนนี้ ใช้เท่ากับ 10 ปี ซึ่งได้จากเวลาของการเข้าสู่สมดุลของชายฝั่งในการปรับเทียบแบบจำลอง ดังจะกล่าวต่อไป โดยมีรายละเอียดของการจำลองดังนี้

- 1) ชายฝั่งที่ทำการจำลองยาว 1 กิโลเมตร โดยแบ่งเป็น 100 ช่วงเท่า ๆ กัน ยาวช่วงละ 10 เมตร
- 2) เวลาคำนวณทั้งหมดเท่ากับ 10 ปี โดยแบ่งเป็นช่วงเวลาคำนวณ (time increment) เท่ากับ 1 ชั่วโมง จำนวน 87600 ชั่วโมง
- 3) ความลึกน้ำ ณ ตำแหน่งคลื่นเข้าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่นน้ำลึก
- 4) ข้อมูลคลื่นใช้ข้อมูลขยายขนาดจากแบบจำลองโดยความยาวและความสูงคลื่นมีขนาดเป็น 100 เท่าของคลื่นในแบบจำลอง ส่วนคาบคลื่นที่ใช้เป็น 10 เท่าของคาบคลื่นในแบบจำลอง
- 5) ขนาดตะกอนทรายเฉลี่ย 25 มิลลิเมตร
- 6) ความสูงของสันทรายเหนือระดับน้ำและความลึกน้ำมากที่สุดที่มีการเคลื่อนที่ของตะกอนใช้ข้อมูลที่ขยายค่าจากการทดลองคือ  $D_b$  ประมาณ 3 – 5 เมตร และ  $D_c$  ประมาณ 12 – 17 เมตร
- 7) ความยาวและตำแหน่งของเขื่อนกันคลื่นใช้ข้อมูลที่ขยายขนาดเป็น 100 เท่าของแบบจำลอง

#### ช.4 การปรับเทียบแบบจำลอง

ในแบบจำลอง GENESIS มีการเตรียมสัมประสิทธิ์การพัดพาตะกอน 2 ค่าคือ K1 และ K2 เพื่อใช้ปรับเทียบอัตราการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่ง ซึ่งมีผลกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างชายฝั่งและเวลาของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างชายฝั่ง โดยที่ค่า K1 เป็นสัมประสิทธิ์หลักของการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่ง ที่เกิดจากแนวคลื่นแตกตัวทำมุมเอียงกับแนวชายฝั่ง โดยเบื้องต้น Komar

และ Inman (1970) เสนอให้ใช้ค่า  $K_1 = 0.58$  (อ้างใน CERC, 1991) ส่วนค่า  $K_2$  เป็นสัมประสิทธิ์การพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่ง ที่เกิดจากความต่างระดับตามแนวชายฝั่งของความสูงคลื่นแตกตัว ( $\partial H_b / \partial X$ ) โดยทั่วไป  $K_2$  มีค่าโดยประมาณ 0.5 ถึง 1 เท่าของ  $K_1$  สำหรับบริเวณชายฝั่งที่ไม่มีโครงสร้าง ซึ่งการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่งเนื่องจากความต่างระดับของความสูงคลื่นแตกตัวนี้มีค่าน้อยกว่าการพัดพาตะกอนเนื่องจากคลื่นแตกตัวทำมุมเอียงกับแนวชายฝั่ง แต่ในบริเวณที่มีโครงสร้างโดยเฉพาะเขื่อนกันคลื่นนอกชายฝั่งซึ่งมีปรากฏการณ์การกระจายของคลื่นจะส่งผลให้เกิดความต่างระดับตามแนวชายฝั่งของความสูงคลื่นแตกตัวมาก ซึ่งทำให้ค่า  $K_2$  เพิ่มขึ้นได้

ข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบ ใช้ข้อมูลจากกรณีทดลองที่ขยายขนาดคือ กรณี B10D10a B15D10b และ B20D10c โดยจะเปรียบเทียบรูปร่างชายฝั่งที่ได้จากการจำลองโดย GENESIS เมื่อใช้ค่า  $K_1$  และ  $K_2$  ต่าง ๆ กันกับรูปร่างชายฝั่งจากกรณีแบบจำลองดังกล่าว ซึ่งจากการทดลองซ้ำ (trial-error) ทำให้ทราบว่าที่สัดส่วนของค่า  $K_1/K_2$  เท่ากัน จะให้รูปร่างชายฝั่งสมดุลง่ายๆ เหมือนกัน ดังรูปที่ ข-4 จากรูปเป็นการทดลองใช้สัดส่วนของค่า  $K_1/K_2$  ที่เท่ากันจำนวน 3 ชุด ใน 3 กรณีทดลอง ซึ่งผลจากการใช้สัดส่วนค่า  $K_1/K_2$  เท่ากันดังกล่าว จะได้รูปร่างสมดุลง่ายๆ ของชายฝั่งที่เหมือนกัน ไม่ว่าจะใช้ค่า  $K_1$  และ  $K_2$  เท่าใดก็ตาม ในทุก ๆ กรณีทดลอง ดังนั้นการเปรียบเทียบค่า  $K_1$  และ  $K_2$  สำหรับกรณีชายฝั่งสมดุลง่ายๆ จึงเป็นการเปรียบเทียบสัดส่วนของค่า  $K_1/K_2$  นั่นเอง ซึ่งจากการเปรียบเทียบค่า  $K_1/K_2$  จะได้ค่า  $K_1/K_2$  ที่ทำให้ได้รูปร่างชายฝั่งใกล้เคียงกับกรณีทั้ง 3 เป็น 0.8 0.57 และ 0.57 ตามลำดับ ดังนั้นสัดส่วนของค่า  $K_1/K_2$  ใกล้เคียงเท่ากับ 0.65 และเมื่อใช้สัดส่วนของค่า  $K_1/K_2$  เท่ากัน แต่ขนาดแตกต่างกันจะทำให้เวลาของการพัฒนารูปร่างไปสู่สมดุลง่ายๆ แตกต่างกัน ดังรูปที่ ข-5 โดยที่เมื่อใช้ขนาดของค่า  $K_1$  และ  $K_2$  มาก เวลาที่ใช้เข้าสู่สมดุลง่ายๆ จะน้อยลง

รูปที่ ข-6 เป็นการเปรียบเทียบเวลาของการยื่นของแหลมทราย ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของพารามิเตอร์รูปร่างชายฝั่ง เมื่อใช้สัดส่วนของค่า  $K_1/K_2$  เท่ากัน คือเท่ากับ 0.65 ส่วนขนาดของค่า  $K_1$  และ  $K_2$  ใช้แตกต่างกัน 3 ชุดดังนี้

1)  $K_1=0.13$   $K_2=0.20$

2)  $K_1=0.39$   $K_2=0.60$

3)  $K_1=0.65$   $K_2=1.00$

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ทำให้แหลมทรายยื่นเป็น 80 % ของระยะยื่น ณ สมดุล ( $t_{80\%}$ ) จะได้ว่าเมื่อใช้ค่า  $K_1$  และ  $K_2$  น้อย ค่า  $t_{80\%}$  จะมีค่ามาก นั่นคือ รูปร่างชายฝั่งเข้าสู่สมดุลได้ช้านั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อให้เวลาของการปรับสมดุลง่ายๆ มาก ๆ ชายฝั่งสมดุลที่จำลองโดยใช้สัดส่วนของค่า  $K$  เท่ากัน จะให้ระยะยื่นของแหลม ณ สมดุลเท่ากัน

สำหรับการเปรียบเทียบนี้ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในสนามที่จะนำมาเปรียบเทียบมาตรฐานเวลาของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างชายฝั่ง (sedimentological time scale) ดังนั้นจึงทำได้เพียงเปรียบเทียบสัดส่วนของค่า K1/K2 เพื่อให้ได้รูปร่างชายฝั่งสมดุล ใกล้เคียงกับรูปร่างชายฝั่งสมดุลของการทดลองในแบบจำลองชลศาสตร์เท่านั้น ซึ่งค่า K1/K2 เฉลี่ยจากการเปรียบเทียบเท่ากับ 0.65 และเลือกใช้ขนาดของ K1 และ K2 เป็น 0.39 และ 0.60 ตามลำดับ เพื่อ จำลองรูปร่างชายฝั่งสมดุลสำหรับกรณีทดลองอื่นๆต่อไป

#### ข.5 การเปรียบเทียบผลการใช้แบบจำลอง GENESIS กับกรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วน

ในส่วนนี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลอง GENESIS กับกรณีต้นแบบจำนวน 24 กรณี ซึ่งได้จากการขยายมาตรฐานระยะทาง (length scale) เป็น 100 เท่าของค่าจากแบบจำลองชลศาสตร์ ดังนั้นข้อมูลนำเข้าอื่น จึงเป็นข้อมูลขยายขนาดจากแบบจำลองชลศาสตร์ด้วย ค่าของข้อมูลนำเข้าในแต่ละกรณีแสดงดังตารางที่ ข-1 ส่วนค่าพารามิเตอร์ของการพัดพาตะกอน (K1 และ K2) ใช้ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบในส่วนที่ผ่านมา

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง GENESIS ทำนายรูปร่างชายฝั่งสมดุลในกรณีแบบจำลองขยายสัดส่วน ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ ข-7 ถึง ข-15 จากผลลัพธ์ที่ได้สามารถสรุปการเปรียบเทียบรูปร่างชายฝั่งสมดุลกับกรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วนได้ดังตารางที่ ข-2 โดยใช้ระยะยื่นของแหลมทรายจากแนวชายฝั่งเริ่มต้นเป็นตัวแทนของรูปร่างชายฝั่ง

ผลการจำลองรูปร่างชายฝั่งสมดุลจำนวน 24 กรณี มี 5 กรณีที่การจำลองไม่สมบูรณ์ เนื่องจากขณะจำลอง ชายฝั่งเกิดลักษณะรูปร่างแบบ tombolo ซึ่งแบบจำลอง GENESIS ไม่สามารถคำนวณต่อไปได้ อันเป็นข้อจำกัดที่กำหนดไว้ในการพัฒนาแบบจำลอง ดังนั้นจึงไม่นำกรณีเหล่านี้มาวิเคราะห์ร่วมด้วย

จากการเปรียบเทียบรูปร่างชายฝั่งสมดุลจากแบบจำลอง GENESIS กับกรณีต้นแบบ พบว่าในกรณีคลื่นรุนแรง ( $H_0/L_0 \approx 0.021-0.031$ ) การประมาณรูปร่างชายฝั่งสมดุลโดยแบบจำลอง GENESIS ส่วนใหญ่ ให้ค่าระยะยื่นของแหลมทรายมากกว่ากรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วน ซึ่งสังเกตได้จากค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะยื่น ในกรณีคลื่นรุนแรงมีถึง 6 กรณีใน 7 กรณี ที่ผลการจำลองโดย GENESIS ให้ค่าระยะยื่นมากกว่าผลจากกรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วน โดยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะยื่น มีค่าสูงถึง 64% ส่วนในกรณีคลื่นปานกลาง ( $H_0/L_0 \approx 0.010-0.018$ ) และคลื่นเบา ( $H_0/L_0 \approx 0.004-0.007$ ) จะได้ผลแตกต่างกันในแต่ละกรณี แต่โดยเฉลี่ยกรณีคลื่นปานกลาง และคลื่นเบา มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะยื่น

ผล -17% และ -19% ตามลำดับ (ค่าลบแสดงถึงระยะยื่นจาก GENESIS น้อยกว่าระยะยื่นจากกรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วน)

ความแตกต่างของระยะยื่นจากการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดย GENESIS กับกรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วน อาจเกิดขึ้นจากความผิดพลาดในการใช้ค่า K1 และ K2 เนื่องจากค่า K1 และ K2 ที่ใช้เป็นค่าเฉลี่ยของกรณีทดลอง 3 กรณี ที่มีขนาดเขื่อนกันคลื่น และขนาดคลื่นต่างกัน ซึ่งตัวแปรขนาดเขื่อนกันคลื่น ขนาดคลื่น รวมทั้งระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่น เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราการพัดพาตะกอน และรูปแบบการพัดพาตะกอน สำหรับกรณีเขื่อนกันคลื่นที่มีคลื่นเข้าปะทะตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง ดังนั้นค่า K1 และ K2 ที่ใช้ในการจำลอง ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ที่กำหนดอัตราการพัดพาตะกอน และรูปแบบของการพัดพาตะกอน จึงเป็นค่าที่ค่อนข้างเฉพาะเจาะจงสำหรับแต่ละกรณี ทำให้ผลที่ได้จากการจำลองโดยแบบจำลอง GENESIS และแบบจำลองชลศาสตร์ที่ขยายสัดส่วนไม่ตรงกัน

อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบผลของการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยแบบจำลอง GENESIS นี้อยู่บนพื้นฐานของข้อมูลแบบจำลองชลศาสตร์ที่ขยายสัดส่วน และจำนวนข้อมูลที่ใช้ศึกษาเพียง 27 กรณี ดังนั้นผลการเปรียบเทียบนี้จึงเป็นเพียงข้อสังเกตของผู้ศึกษาเท่านั้น ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษา แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเวลาที่ใช้ศึกษาจึงไม่สามารถรวบรวมข้อมูลการทดลองและข้อมูลภาคสนามอย่างเพียงพอที่จะสรุปผลได้

## ข.6 สรุปการประยุกต์ใช้แบบจำลอง GENESIS

การศึกษานี้ได้ทดลองใช้แบบจำลอง GENESIS ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์พัฒนาโดย US Army Corps of Engineer กับกรณีของการทดลองแบบจำลองชลศาสตร์ พบว่าแบบจำลอง GENESIS ไม่เหมาะสมที่จะจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลองชลศาสตร์ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากรูปร่างชายฝั่งจากการจำลองมีลักษณะผิดปกติ คือมีร่องหยักบริเวณกึ่งกลางแนวชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่น

พารามิเตอร์ที่สำคัญในการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลอง GENESIS คือพารามิเตอร์ K1 ซึ่งใช้ปรับเทียบอัตราการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่งที่เกิดจากคลื่นแตกตัวที่ทำมุมเอียงกับแนวชายฝั่ง และพารามิเตอร์ K2 ซึ่งใช้ปรับเทียบอัตราการพัดพาตะกอนที่เกิดจากความต่างของความสูงคลื่นแตกตัวตามแนวชายฝั่งให้ใกล้เคียงกับอัตราการพัดพาตะกอนที่เกิดขึ้นตามสภาพชายฝั่งจริง ซึ่งอัตราการพัดพาตะกอนจากสาเหตุทั้งสองเป็นค่าที่เฉพาะเจาะจงสำหรับสภาพคลื่นที่เข้าปะทะชายฝั่ง ลักษณะกายภาพของชายฝั่ง และลักษณะโครงสร้างชายฝั่งของแต่ละ

ดังนั้นค่า K1 และ K2 สำหรับการจำลองแนวชายฝั่ง จึงเป็นค่าที่เฉพาะเจาะจงสำหรับแต่ละพื้นที่ชายฝั่งด้วย

จากการศึกษาผลของค่า K1 และ K2 ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งใน GENESIS พบว่าเมื่อกำหนดสัดส่วนของค่า K1/K2 เท่ากัน จะได้รูปร่างชายฝั่งสมดุลงจากการจำลองที่เหมือนกัน ไม่ว่าขนาดของ K1 และ K2 เป็นเท่าใด และเมื่อสัดส่วนของค่า K1/K2 เท่ากัน แต่ขนาดของค่า K1 และ K2 ต่างกัน จะทำให้เวลาของการเข้าสู่สมดุลงต่างกัน โดยเมื่อกำหนดขนาดของค่า K1 และ K2 มาก จะทำให้แนวชายฝั่งจากการจำลองใช้เวลาปรับเข้าสู่แนวชายฝั่งสมดุลงน้อยกว่าเมื่อขนาดของค่า K1 และ K2 น้อย

แบบจำลอง GENESIS สามารถใช้จำลองแนวชายฝั่งสมดุลงกรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วนได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบแนวชายฝั่งสมดุลงจากแบบจำลองศาสตร์ที่ขยายสัดส่วนกับแบบจำลอง GENESIS โดยใช้ค่า K1 และ K2 ที่ได้จากการเฉลี่ยค่า K1 และ K2 ของกรณีแบบจำลอง 3 กรณีที่มีขนาดคลื่นและระยะห่างฝั่งของเขื่อนกันคลื่นที่ต่างกัน พบว่าแนวชายฝั่งที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งอาจเป็นเพราะความเฉพาะเจาะจงของค่า K1 และ K2 สำหรับแต่ละกรณี

การจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตามเวลาใน GENESIS มีความผิดปกติ คือชายฝั่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก แล้วค่อย ๆ ช้าลงจนเกือบหยุดนิ่ง จากนั้นเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันอีกครั้ง แล้วค่อย ๆ ช้าลงจนเข้าสู่สมดุลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในลักษณะดังกล่าวขัดแย้งกับผลการศึกษารั้งนี้ และขัดแย้งกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งน่าจะเป็นความผิดพลาดของการคำนวณในแบบจำลอง

จากการทดลองใช้ GENESIS เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่นเดี่ยวที่มีคลื่นเข้าปะทะตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง พบว่ามีสาเหตุหลายประการที่ทำให้ผลการจำลองคลาดเคลื่อนกับเหตุการณ์จริง โดยเฉพาะการหาค่าพารามิเตอร์ K1 และ K2 เนื่องจากเป็นค่าที่ไม่สามารถตรวจสอบจากสภาพทางกายภาพได้โดยง่าย ดังนั้นค่า K1 และ K2 ที่ได้จากวิธีการที่ขาดความระมัดระวัง อาจส่งผลให้การจำลองชายฝั่งแตกต่างจากสภาพจริง หรือส่งผลให้การจำลองชายฝั่งเหมือนกับสภาพจริงโดยบังเอิญก็ได้ ดังนั้นผู้ใช้ควรระมัดระวังในขั้นตอนและข้อมูลที่ใช้หาค่า K1 และ K2 เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องตามสภาพจริงหรือเป็นตัวแทนของสภาพชายฝั่งจริงในช่วงเวลาที่จำลองได้

## ข.7 ข้อสังเกตจากการใช้แบบจำลอง GENESIS

### ข.7.1 การจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

เมื่อทดลองจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตามเวลาโดยแบบจำลอง GENESIS ดังแสดงในรูปที่ ข-16 ซึ่งเป็นตัวอย่างการจำลองการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของแบบจำลองขยายสัดส่วนกรณี B10D10a พบว่า การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก (0 – 200 ชั่วโมง) มีการปรับแนวชายฝั่งนอกบริเวณอับคลื่นให้เรียบ และพัฒนาแหลมทรายในบริเวณอับคลื่น หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจะช้าลงจนเกือบหยุดนิ่งที่เวลา 400 – 700 ชั่วโมง แต่จากชั่วโมงที่ 700 – 1000 มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอย่างรวดเร็วอีกครั้ง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทั้งแนวชายฝั่งนอกบริเวณอับคลื่น และพัฒนาแหลมทรายให้มียอดยื่นออกมามากขึ้นด้วย หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงจะค่อย ๆ ช้าลงจนเข้าสู่สมดุล ซึ่งขัดแย้งกับผลการศึกษาคั้งนี้และการศึกษาที่ผ่านมา ทั้งในแบบจำลองชลศาสตร์และข้อมูลภาคสนามที่สรุปตรงกันว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังเชื่อมกันคลื่นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และค่อย ๆ ช้าลงจนหยุดเมื่อถึงสมดุลของชายฝั่ง (Shinohara และ Tsubaki 1966, Nir 1982, Sonu และ Warwar 1987) จึงสันนิษฐานว่าน่าจะเป็นความผิดพลาดของการคำนวณในแบบจำลอง การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอย่างกะทันหันนี้ เกิดขึ้นในทุกกรณีที่จำลอง แต่เกิดชัดเจนในกรณีความยาวเชื่อมกันคลื่นน้อย ๆ

### ข.7.2 ค่าสัมประสิทธิ์การพัดพาตะกอน

ค่าสัมประสิทธิ์การพัดพาตะกอน K1 และ K2 เป็นค่าที่ใช้กำหนดการพัดพาตะกอน 2 ลักษณะคือ อัตราการพัดพาตะกอนและรูปแบบการพัดพาตะกอน โดย K1 เป็นค่าที่ควบคุมอัตราการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่งเนื่องจากคลื่นแตกตัวทำมุมเอียงกับแนวชายฝั่ง ส่วน K2 ควบคุมการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่งที่เกิดจากความต่างระดับของความสูงคลื่นแตกตัวตามแนวชายฝั่ง ซึ่งโดยปกติค่า K1 มักจะมากกว่าค่า K2 แต่สำหรับการศึกษาที่เป็นการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหลังเชื่อมกันคลื่น ทำให้กลไกการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่ง ที่เกิดจากความต่างระดับของความสูงคลื่นแตกตัวตามแนวชายฝั่ง มีความสำคัญเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่า K2 ที่ใช้ในการจำลองนี้จึงมากกว่าค่า K1

และเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การพัดพาตะกอน K1 และ K2 เป็นค่าที่ใช้กำหนดทั้งอัตราการพัดพาตะกอนและรูปแบบการพัดพาตะกอน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อรูปร่างชายฝั่ง ณ เวลาต่าง ๆ ดังนั้นการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองนี้จึงมีความสำคัญมาก ผู้ใช้แบบจำลอง GENESIS จึงควรใส่ใจกับรายละเอียดของการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ทั้งสองนี้เป็นพิเศษ มิฉะนั้นค่า



รูปพาดะกอนที่มีจุดประสงค์เพื่อปรับค่าอัตราการผลิตพาดะกอนให้ใกล้เคียงกับ  
ค่าที่ใช้จริงจะกลายเป็นจุดรวมความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการจำลอง



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในกรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วน

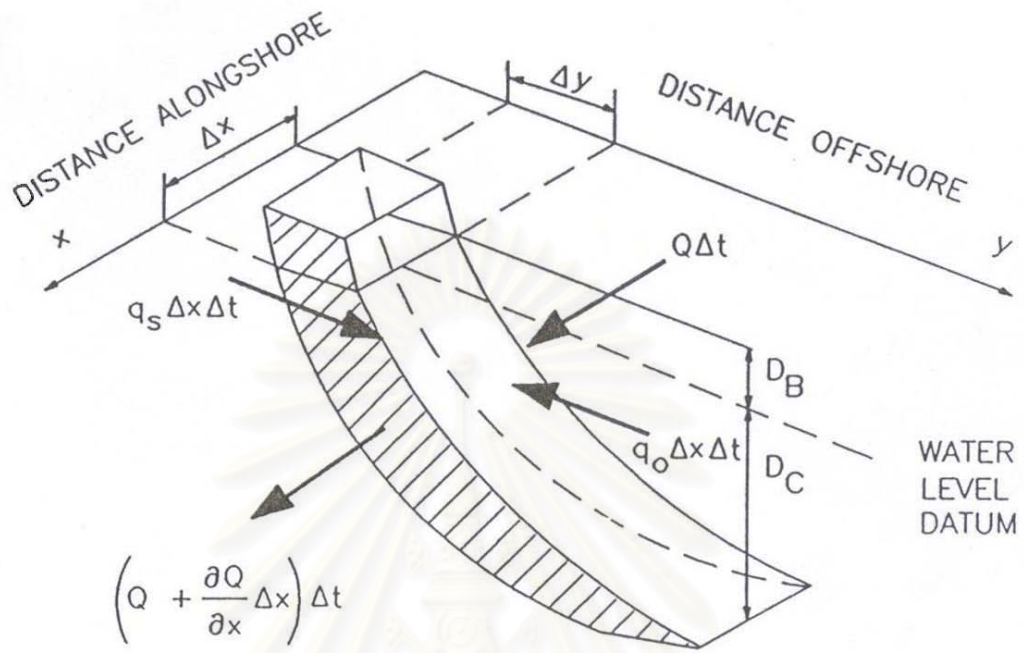
กรณีทดลอง	$\Delta X$ (m.)	$\Delta T$ (hrs.)	เวลา (ปี)	K1	K2	$D_B$ (m.)	$D_C$ (m.)	$D_Z$ (m.)	$D_{50}$ (mm.)	$H_0$ (m.)	T (s.)	ความยาว เขื่อนกันคลื่น (ม.)	ระยะห่างฝั่ง ของเขื่อนกันคลื่น (ม.)
B10D05a	10	1	10	0.39	0.60	5	11	64	25	3.6	9.1	100	60
B10D05b	10	1	10	0.39	0.60	4	8	96	25	3.2	11.1	100	53
B10D05c	10	1	10	0.39	0.60	3	4	122	25	1.1	12.5	100	59
B10D10a	10	1	10	0.39	0.60	5	11	64	25	3.7	9.1	100	105
B10D10b	10	1	10	0.39	0.60	4	8	96	25	3	11.1	100	122
B10D10c	10	1	10	0.39	0.60	3	4	122	25	1	12.5	100	115
B10D15a	10	1	10	0.39	0.60	5	11	64	25	3.5	9.1	100	150
B10D15b	10	1	10	0.39	0.60	4	8	96	25	2	11.1	100	156
B10D15c	10	1	10	0.39	0.60	3	4	122	25	1.2	12.5	100	150
B15D05a	10	1	10	0.39	0.60	5	11	64	25	3.3	9.1	150	49
B15D05b	10	1	10	0.39	0.60	4	8	96	25	2.5	11.1	150	50
B15D05c	10	1	10	0.39	0.60	3	4	122	25	1.4	12.5	150	58
B15D10a	10	1	10	0.39	0.60	5	11	64	25	3.3	9.1	150	105
B15D10b	10	1	10	0.39	0.60	4	8	96	25	2.5	11.1	150	102
B15D10c	10	1	10	0.39	0.60	3	4	122	25	1.4	12.5	150	99
B15D15a	10	1	10	0.39	0.60	5	11	64	25	3	9.1	150	152
B15D15b	10	1	10	0.39	0.60	4	8	96	25	2.3	11.1	150	148
B15D15c	10	1	10	0.39	0.60	3	4	122	25	1.4	12.5	150	155
B20D05a	10	1	10	0.39	0.60	5	11	64	25	2.5	9.1	200	59
B20D05b	10	1	10	0.39	0.60	4	8	96	25	3.2	11.1	200	57
B20D05c	10	1	10	0.39	0.60	3	4	122	25	1.2	12.5	200	52
B20D10a	10	1	10	0.39	0.60	5	11	64	25	3.3	9.1	200	96
B20D10b	10	1	10	0.39	0.60	4	8	96	25	2.7	11.1	200	104
B20D10c	10	1	10	0.39	0.60	3	4	122	25	1.6	12.5	200	104
B20D15a	10	1	10	0.39	0.60	5	11	64	25	3.2	9.1	200	163
B20D15b	10	1	10	0.39	0.60	4	8	96	25	3.2	11.1	200	157
B20D15c	10	1	10	0.39	0.60	3	4	122	25	1.6	12.5	200	155

ตารางที่ ข-2 สรุปการเปรียบเทียบรูปร่างชายฝั่งสมดุจาก GENESIS กับกรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วน

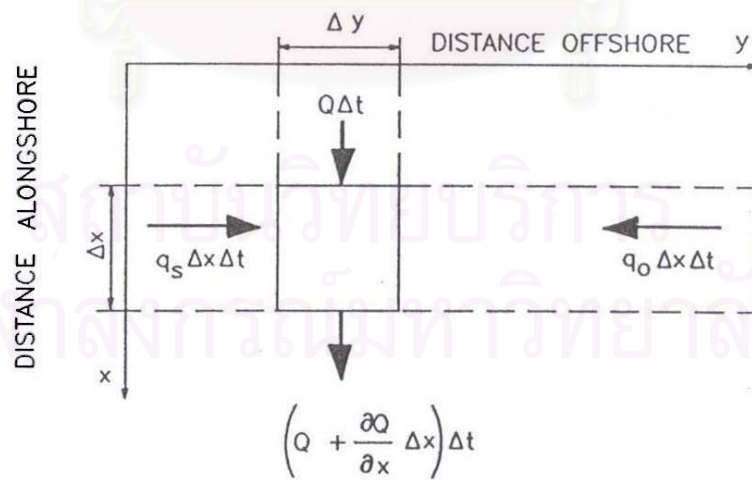
กรณีทดลอง	H <sub>0</sub> (m.)	T (s.)	H <sub>0</sub> /L <sub>0</sub>	ความยาว เขื่อนกันคลื่น (m.)	ระยะห่างฝั่ง ของเขื่อนกันคลื่น (m.)	ระยะยื่นแหลมทวาย กรณีแบบจำลอง ขยายสัดส่วน, D <sub>p</sub> (m.)	ระยะยื่นแหลมทวาย GENESIS, D <sub>G</sub> (m.)	เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่าง ของระยะยื่น (%)	หมายเหตุ
B10D05a	3.6	9.1	0.030	100	60	60.0	-	-	เกิด Tombolo
B10D05b	3.2	11.1	0.018	100	53	53.0	-	-	เกิด Tombolo
B10D05c	1.1	12.5	0.004	100	59	59.0	14.5	-75	
B10D10a	3.7	9.1	0.031	100	105	34.3	66.3	93	กรณีที่ใช้เปรียบเทียบ
B10D10b	3.0	11.1	0.017	100	122	73.1	65.5	-10	
B10D10c	1.0	12.5	0.004	100	115	35.9	17.6	-51	
B10D15a	3.5	9.1	0.029	100	150	28.4	63.3	123	
B10D15b	2.0	11.1	0.010	100	156	45.9	38.5	-16	
B10D15c	1.2	12.5	0.005	100	150	22.1	23.5	7	
B15D05a	3.3	9.1	0.028	150	49	32.1	-	-	เกิด Tombolo
B15D05b	2.5	11.1	0.014	150	50	28.8	-	-	เกิด Tombolo
B15D05c	1.4	12.5	0.006	150	58	42.0	16.6	-60	
B15D10a	3.3	9.1	0.027	150	105	42.8	59.3	39	กรณีที่ใช้เปรียบเทียบ
B15D10b	2.5	11.1	0.014	150	102	58.1	47.5	-18	
B15D10c	1.4	12.5	0.006	150	99	25.8	30.9	20	
B15D15a	3.0	9.1	0.025	150	152	27.0	51.3	90	
B15D15b	2.3	11.1	0.013	150	148	34.7	45.0	30	
B15D15c	1.4	12.5	0.006	150	155	21.7	28.9	33	
B20D05a	2.5	9.1	0.021	200	59	51.6	41.9	-19	เกิด Tombolo
B20D05b	3.2	11.1	0.018	200	57	46.7	-	-	
B20D05c	1.2	12.5	0.005	200	52	49.6	34.0	-31	
B20D10a	3.3	9.1	0.028	200	96	45.7	93.9	106	กรณีที่ใช้เปรียบเทียบ
B20D10b	2.7	11.1	0.014	200	104	49.1	67.0	36	
B20D10c	1.6	12.5	0.007	200	104	43.8	36.6	-16	
B20D15a	3.2	9.1	0.027	200	163	45.8	53.3	16	
B20D15b	3.2	11.1	0.018	200	157	43.5	76.3	75	
B20D15c	1.6	12.5	0.007	200	155	32.6	34.4	5	

หมายเหตุ: เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะยื่น =  $\frac{D_G - D_p}{D_p} \times 100$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



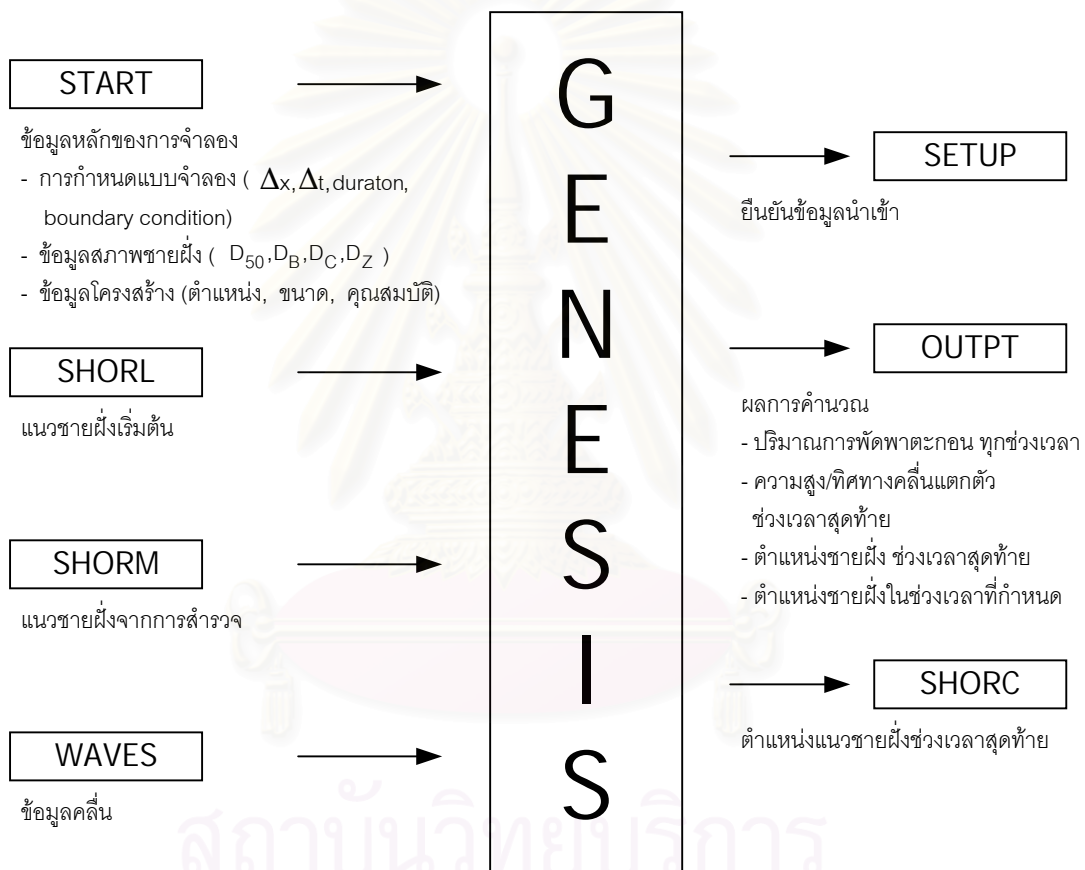
a. Cross-section view



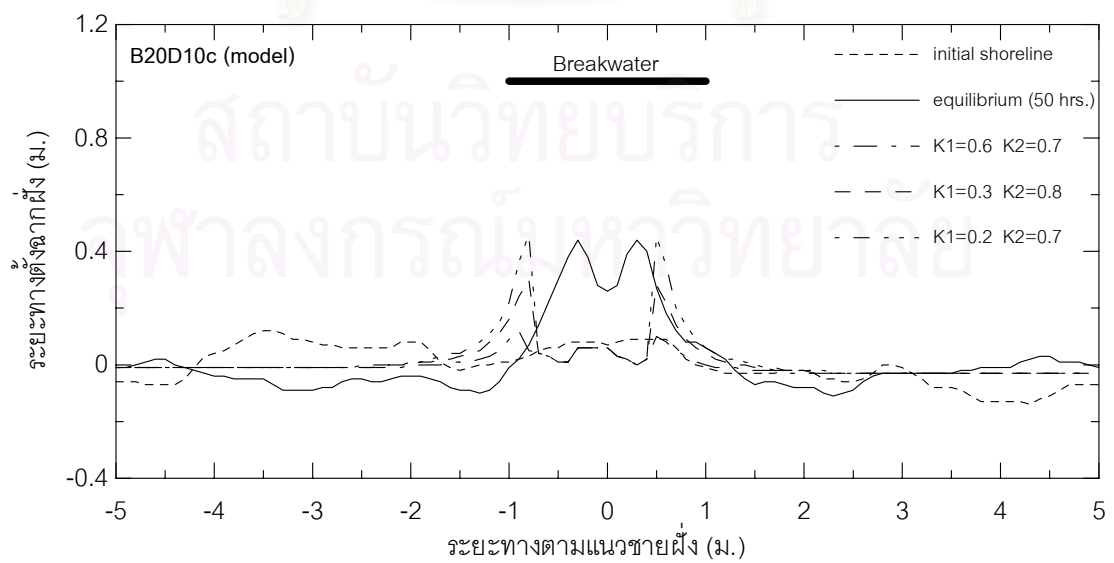
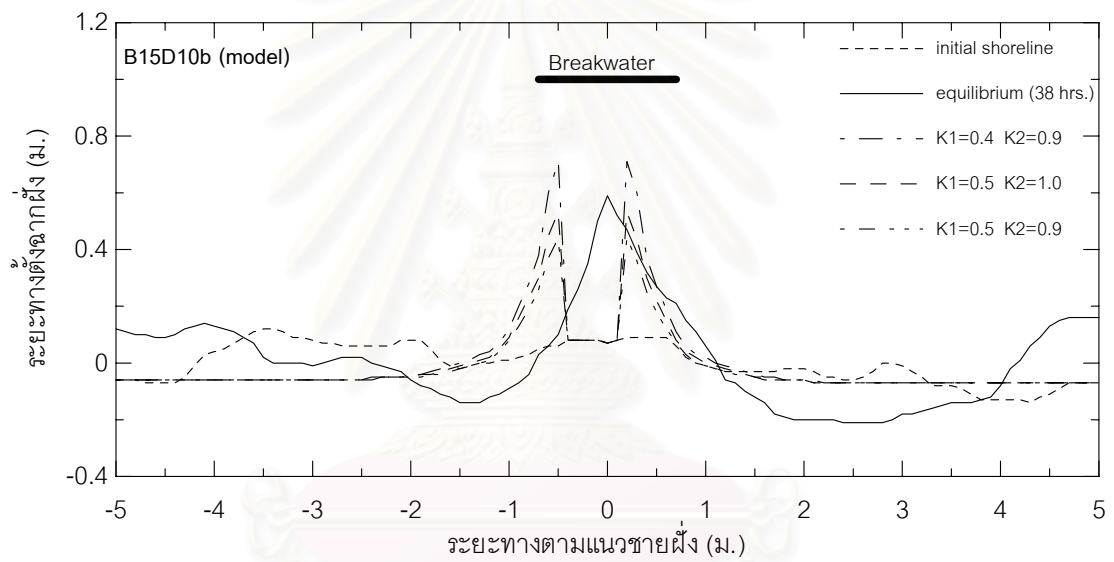
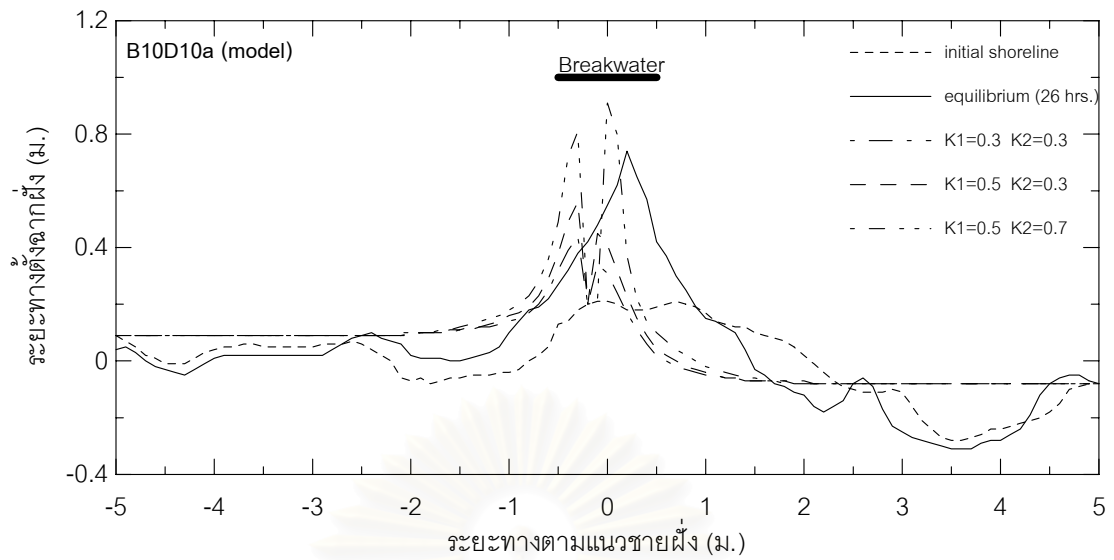
b. Plan view

จาก US.CERC. 1991

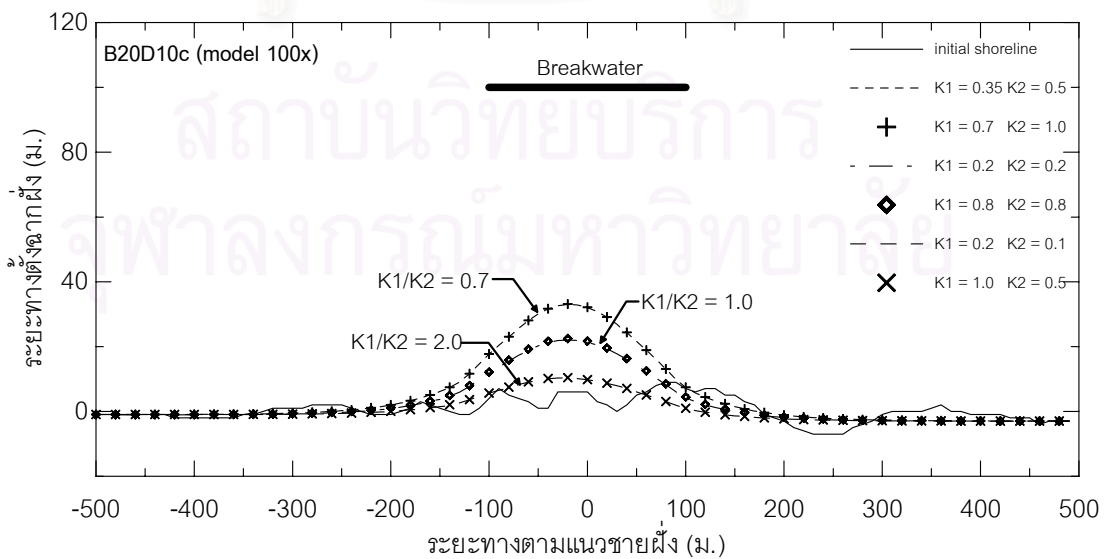
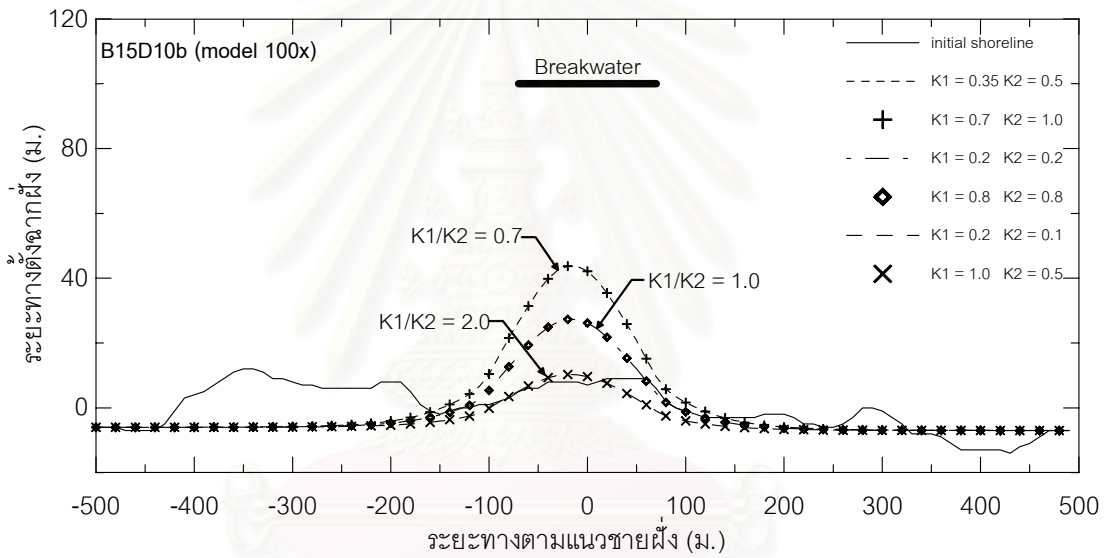
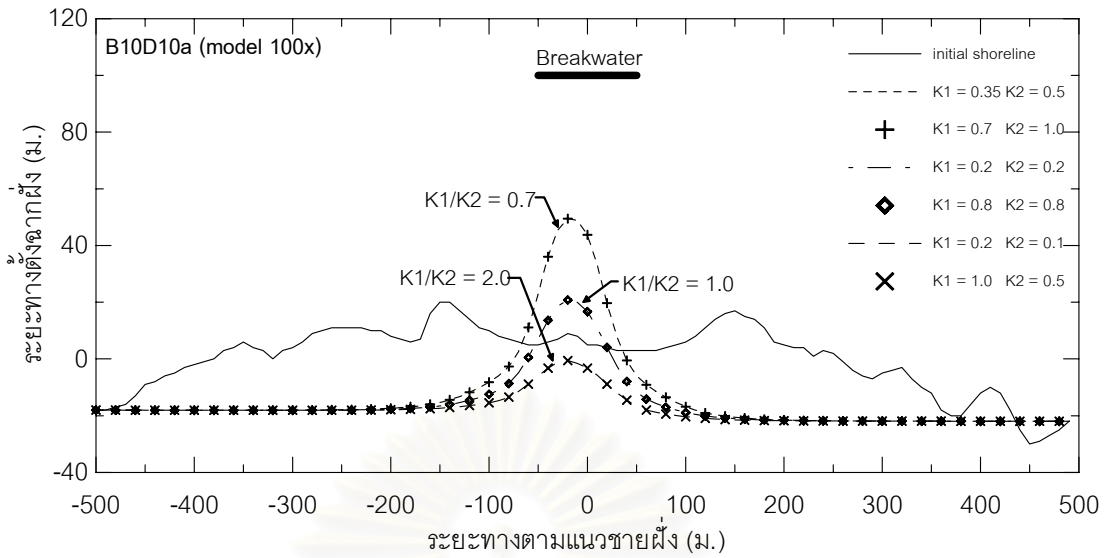
รูปที่ ๑-1 นิยามพารามิเตอร์ของการคำนวณในแบบจำลอง GENESIS



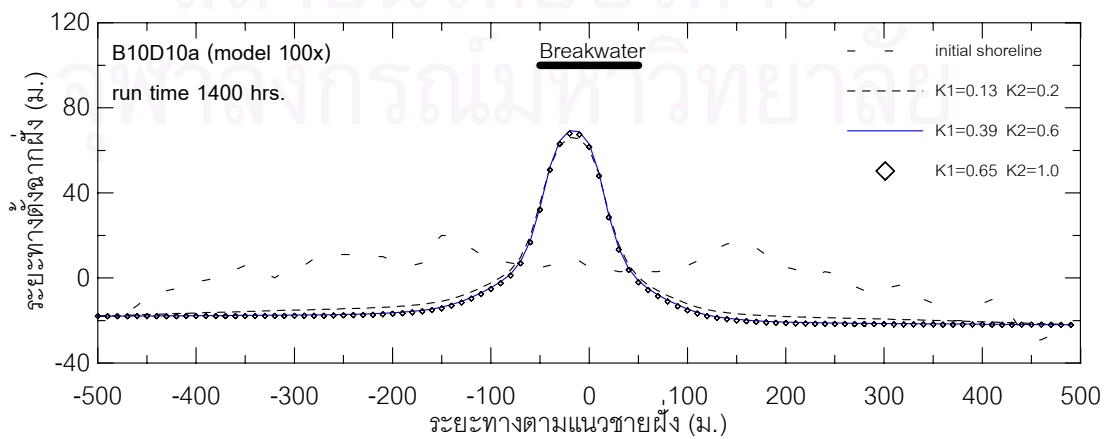
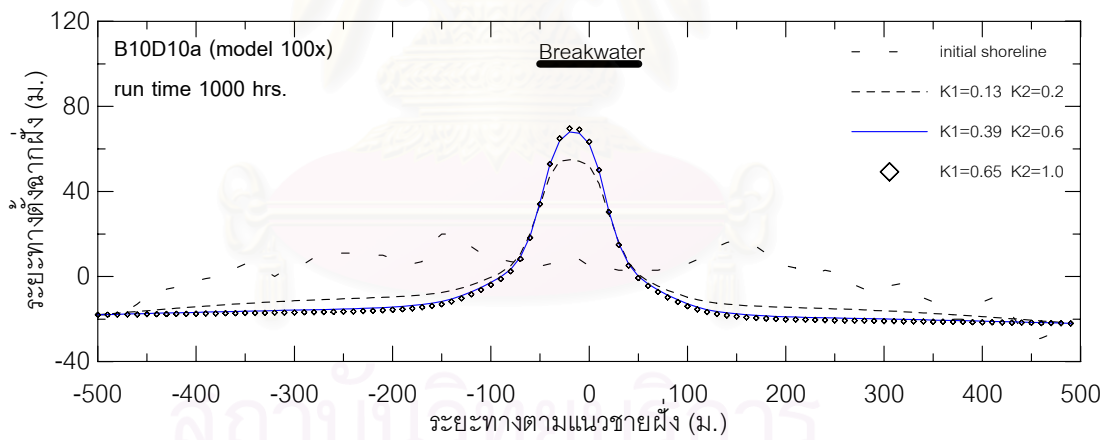
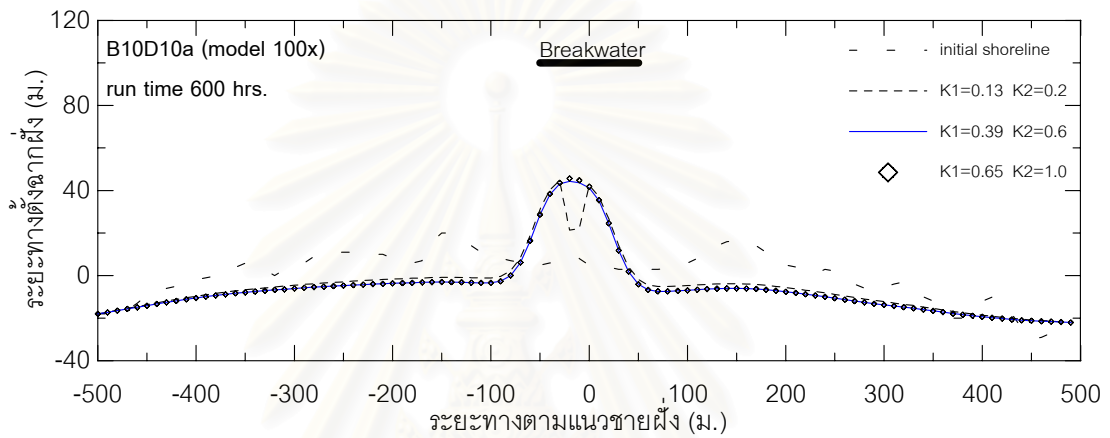
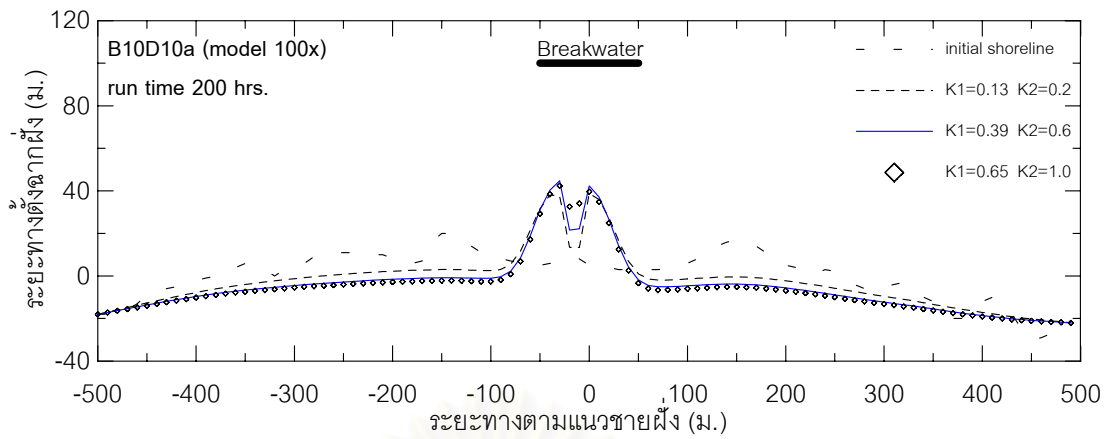
รูปที่ ๒-๒ โครงสร้างข้อมูลนำเข้า และผลลัพธ์จากแบบจำลอง GENESIS



รูปที่ ช-3 การจำลองแนวชายฝั่งสมดุลตามสภาพของแบบจำลองชลศาสตร์โดยใช้ GENESIS

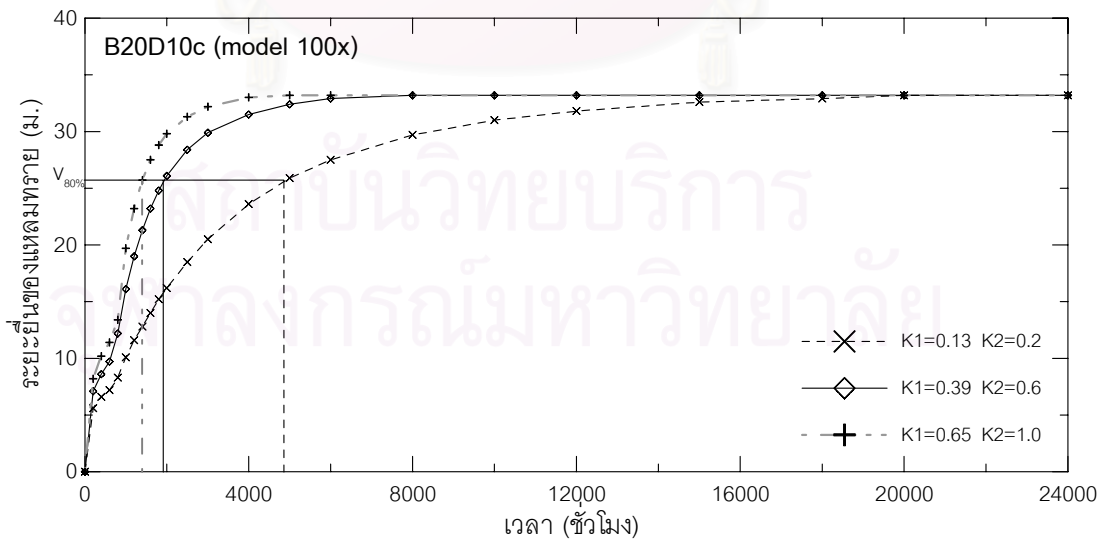
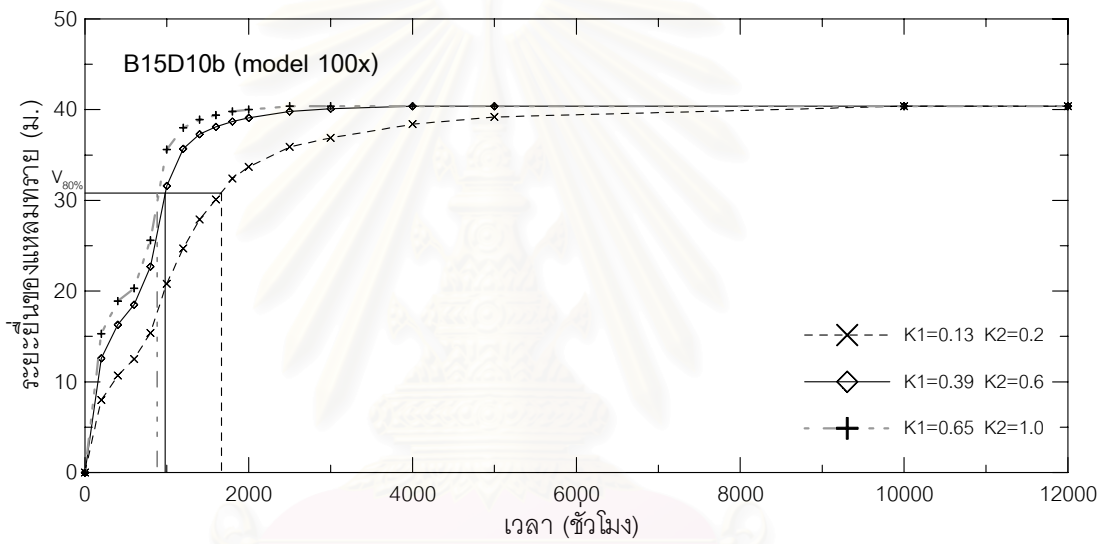
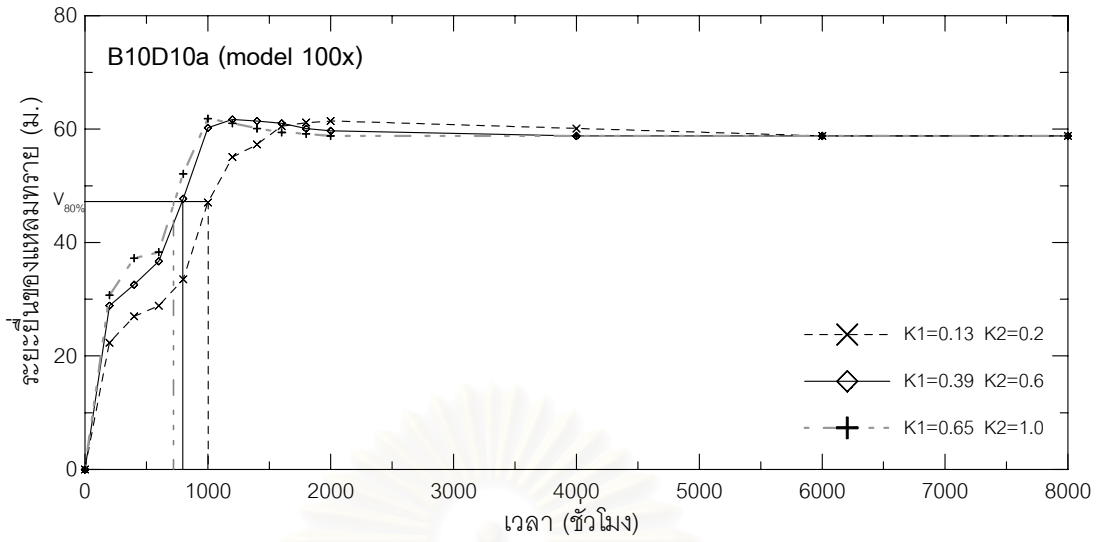


รูปที่ ข-4 แนวชายฝั่งสมดุลง เมื่อใช้สัดส่วนค่า K1/K2 เท่ากัน

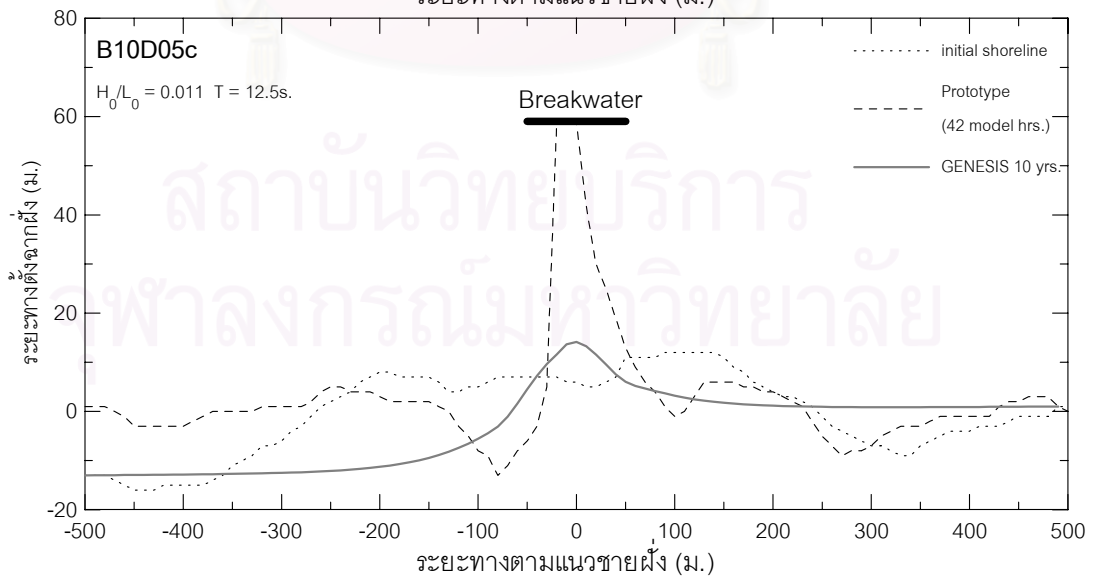
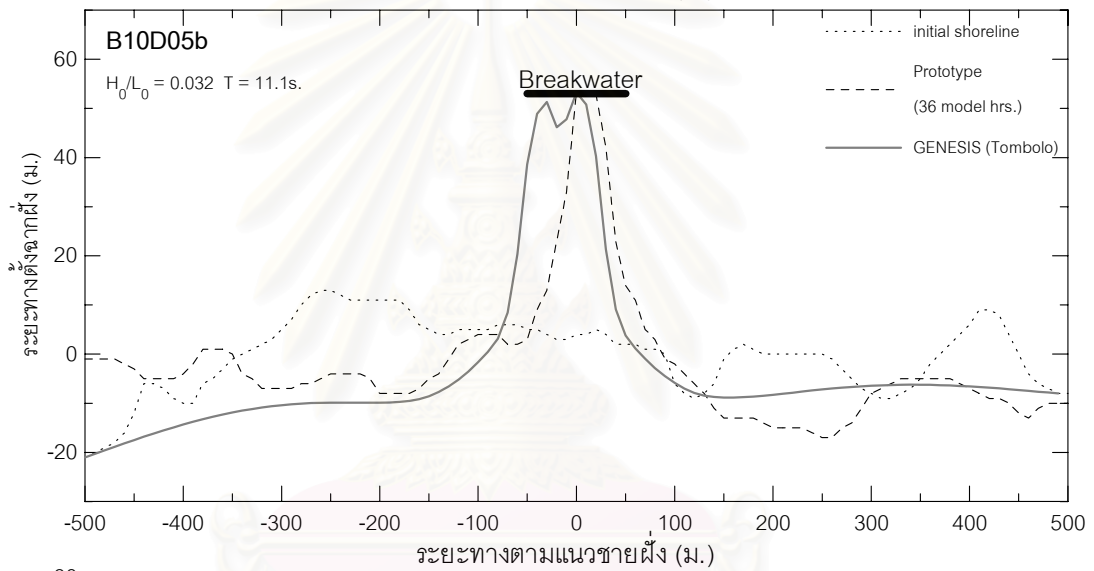
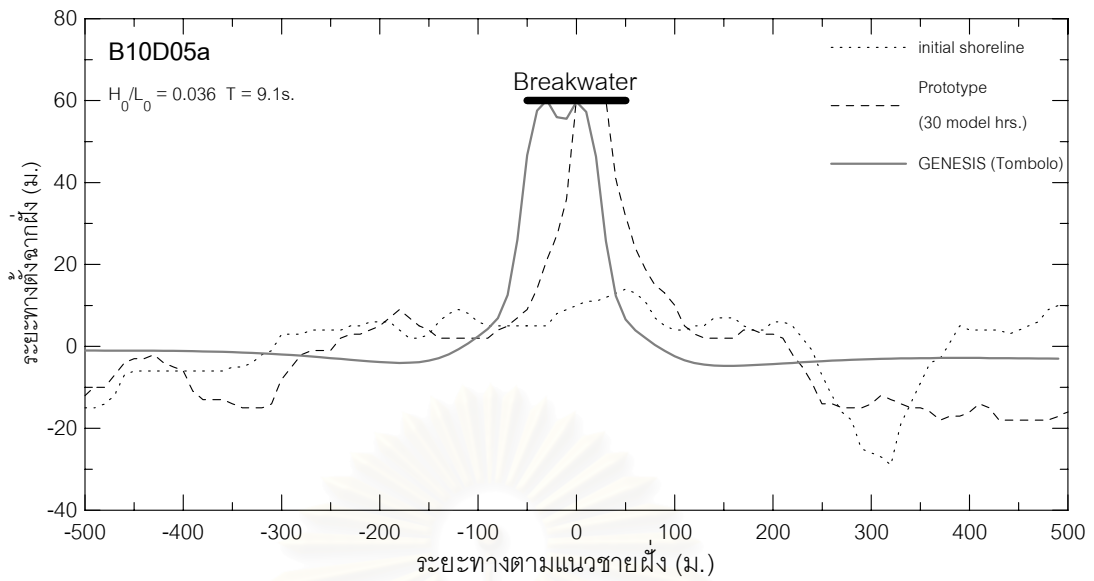


รูปที่ ๕-5 การพัฒนารูปร่างชายฝั่ง เมื่อใช้สัดส่วนของ K1/K2 เท่ากัน แต่ขนาดของ K1 และ K2 ต่างกัน

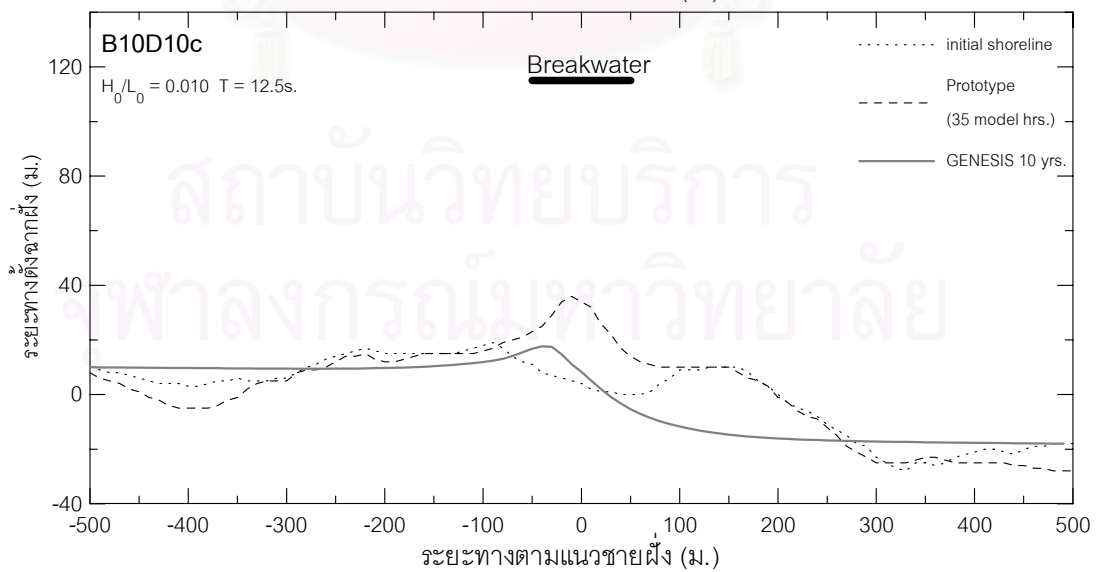
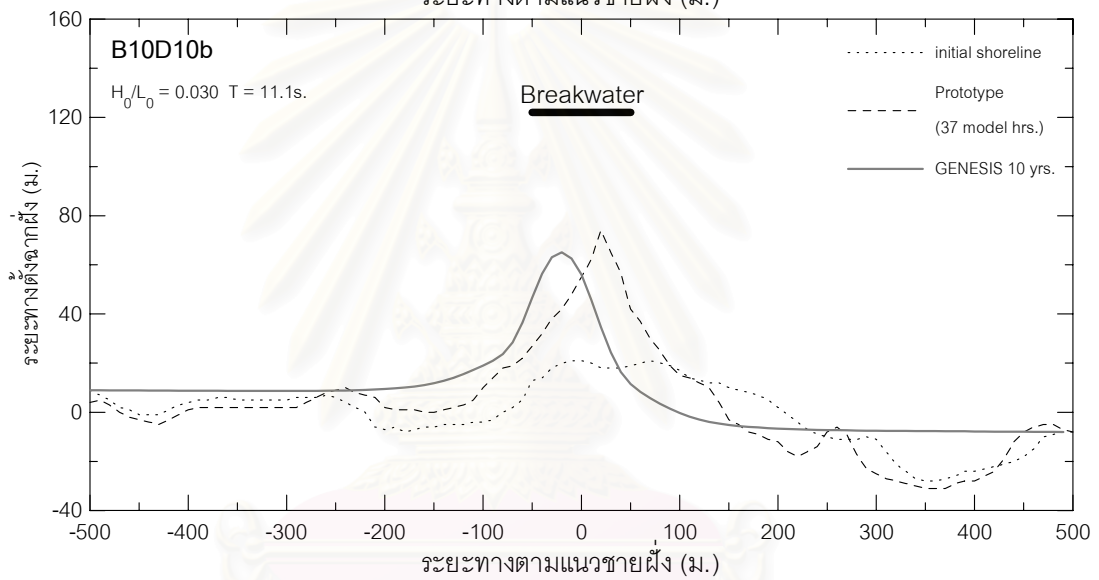
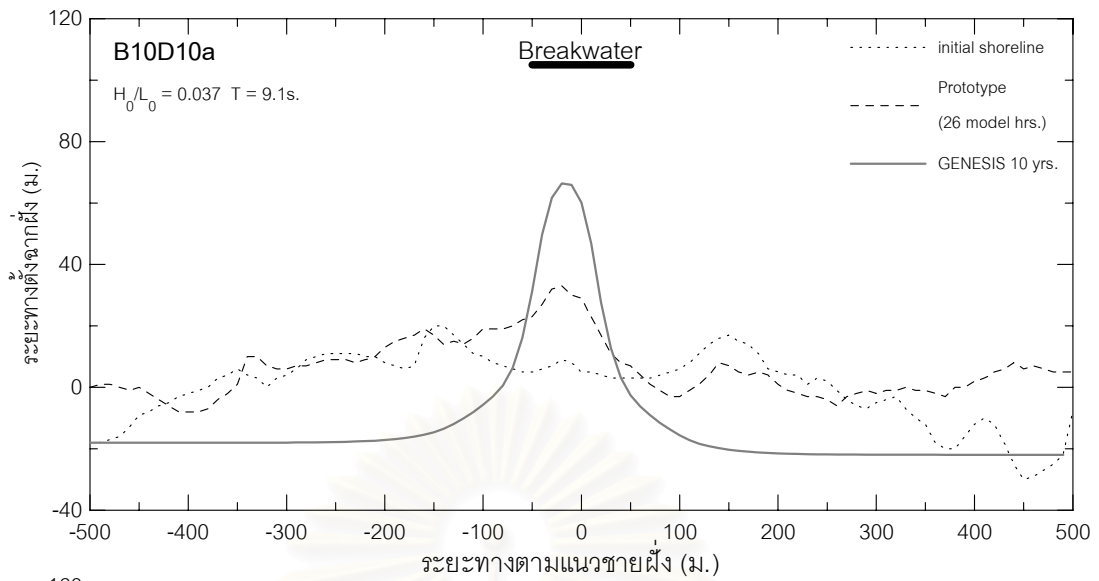




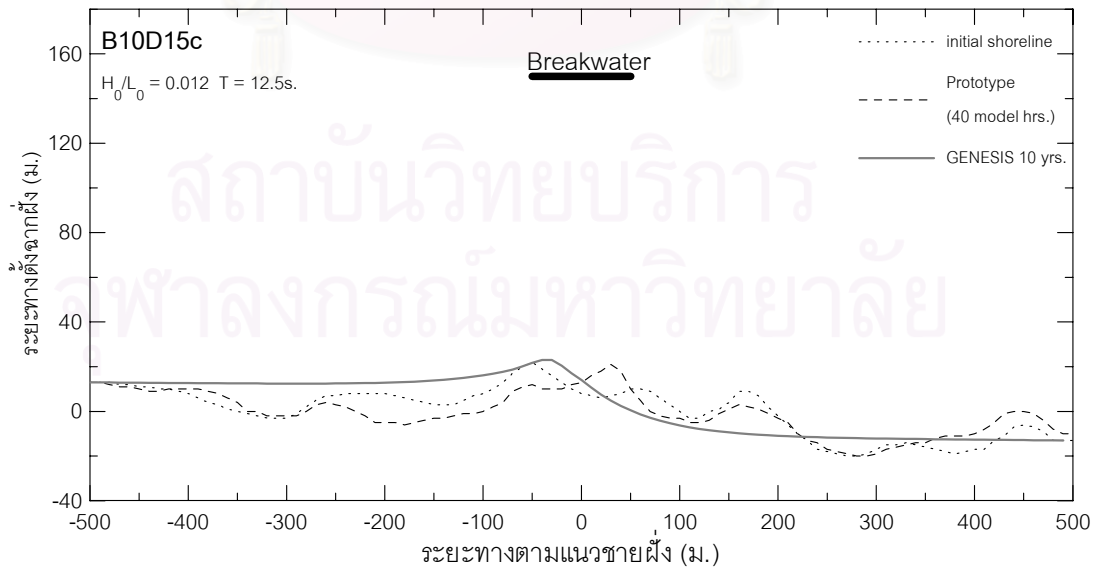
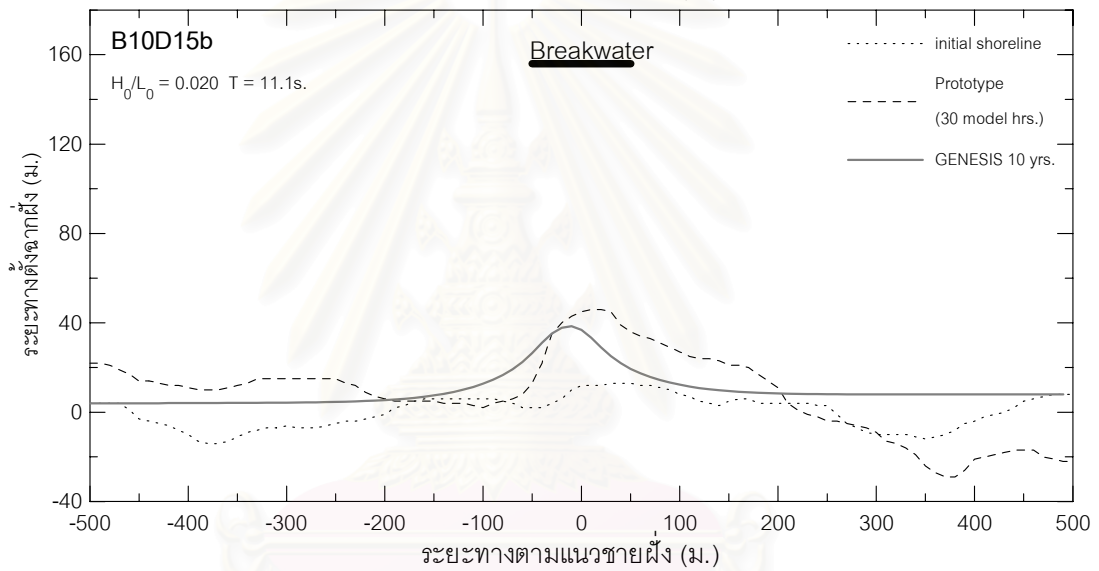
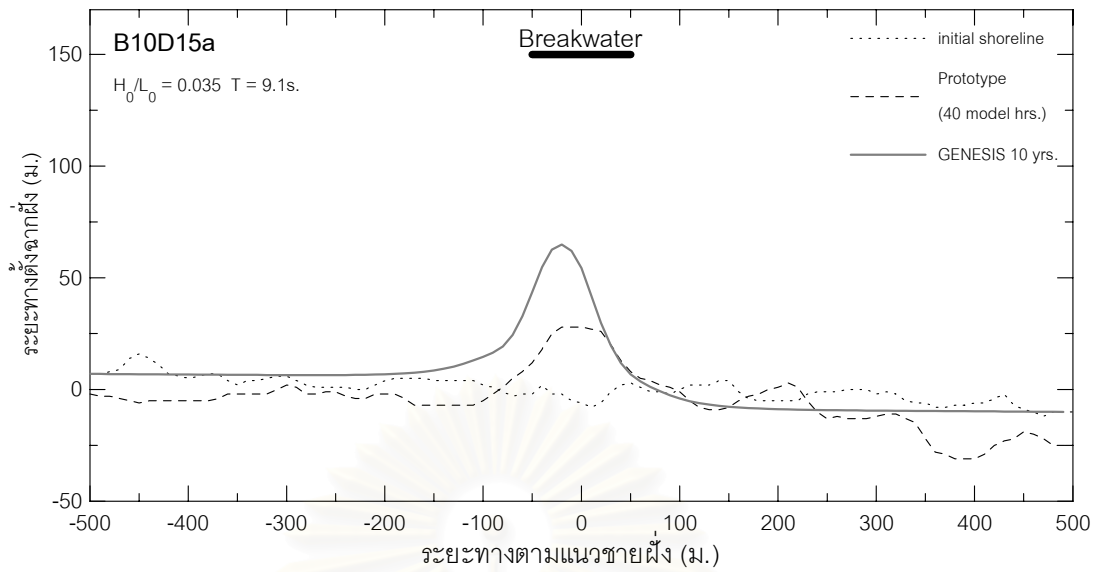
รูปที่ ๕-6 เวลาของการขึ้นนอกของแผลมทรายหลังเชื่อมกันคลื่น  
เมื่อใช้สัดส่วนค่า K1/K2 เท่ากันแต่ขนาดแตกต่างกัน



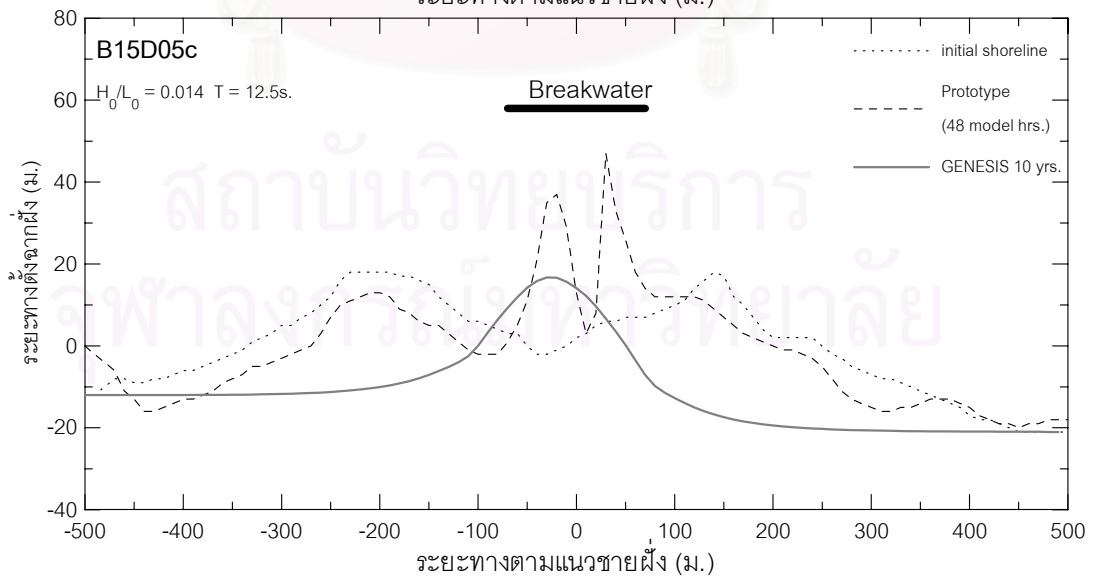
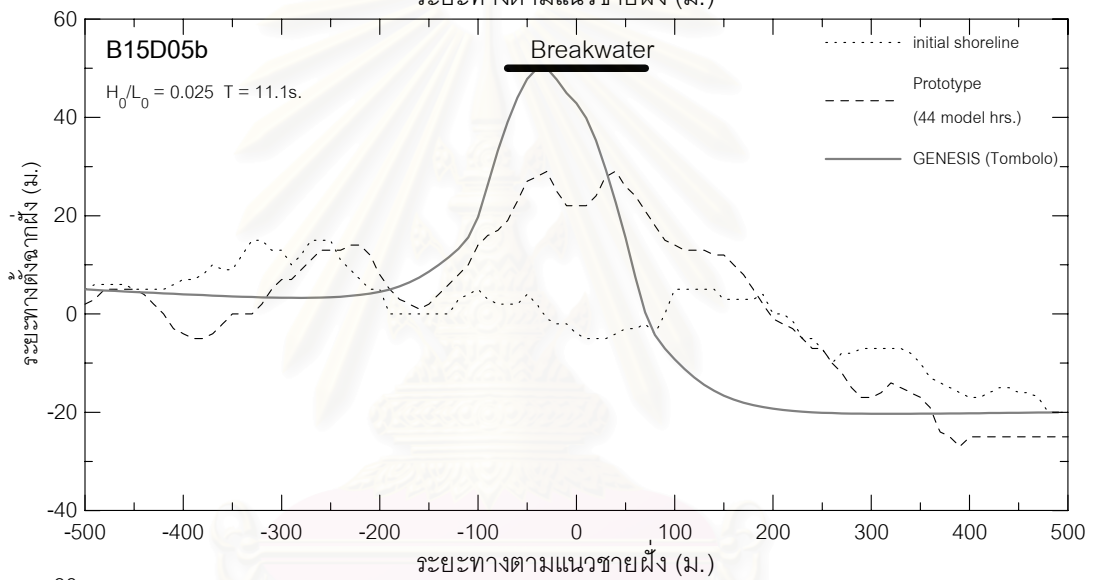
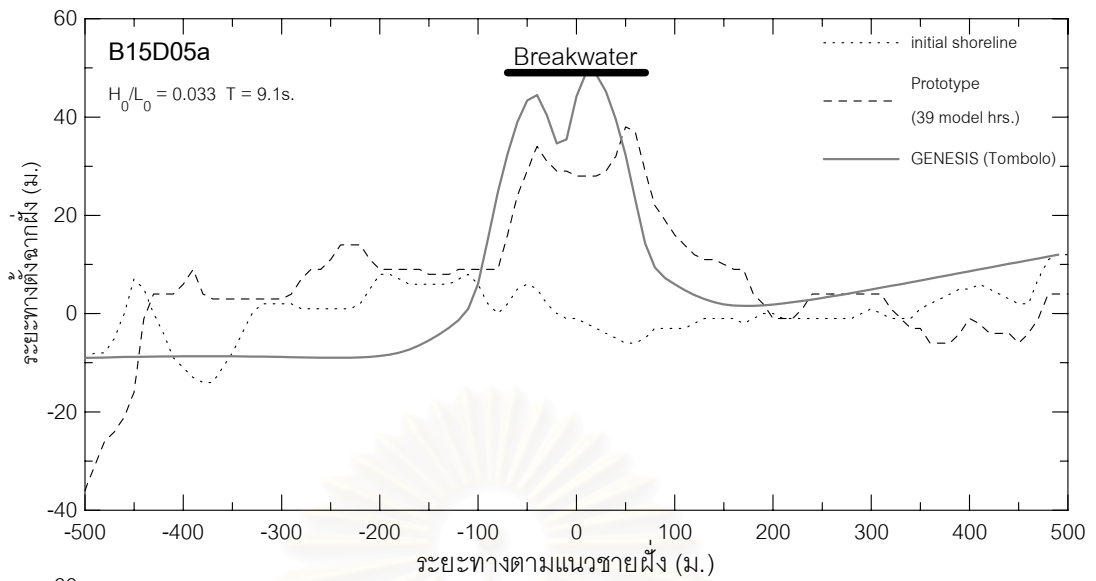
รูปที่ ๗-7 แนวชายฝั่งสมดุลงจาก GENESIS กรณี B10D05a b และ c (ขยายสัดส่วน)



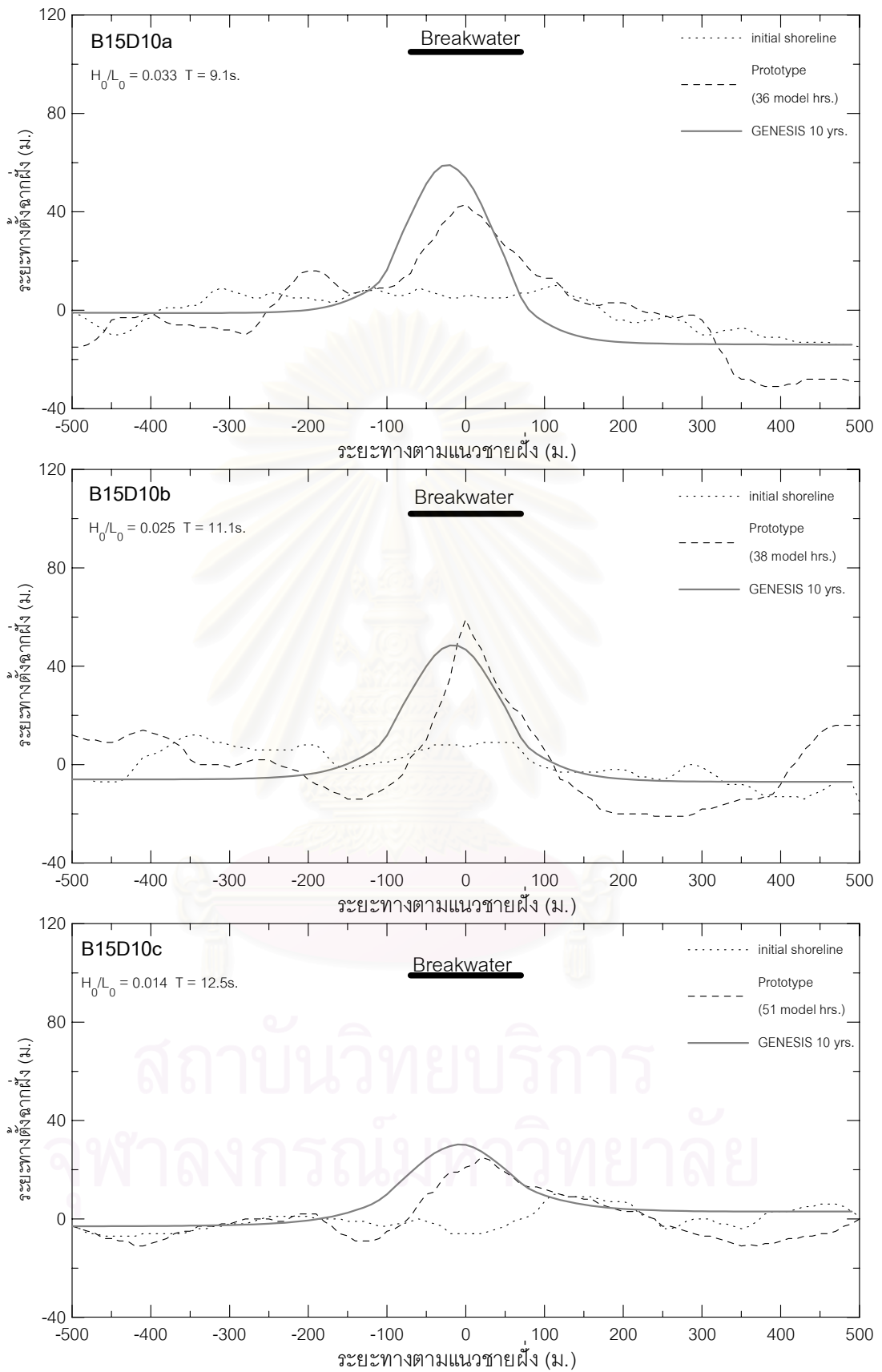
รูปที่ ๗-8 แนวชายฝั่งสมมูลจาก GENESIS กรณี B10D10a b และ c (ขยายสัดส่วน)



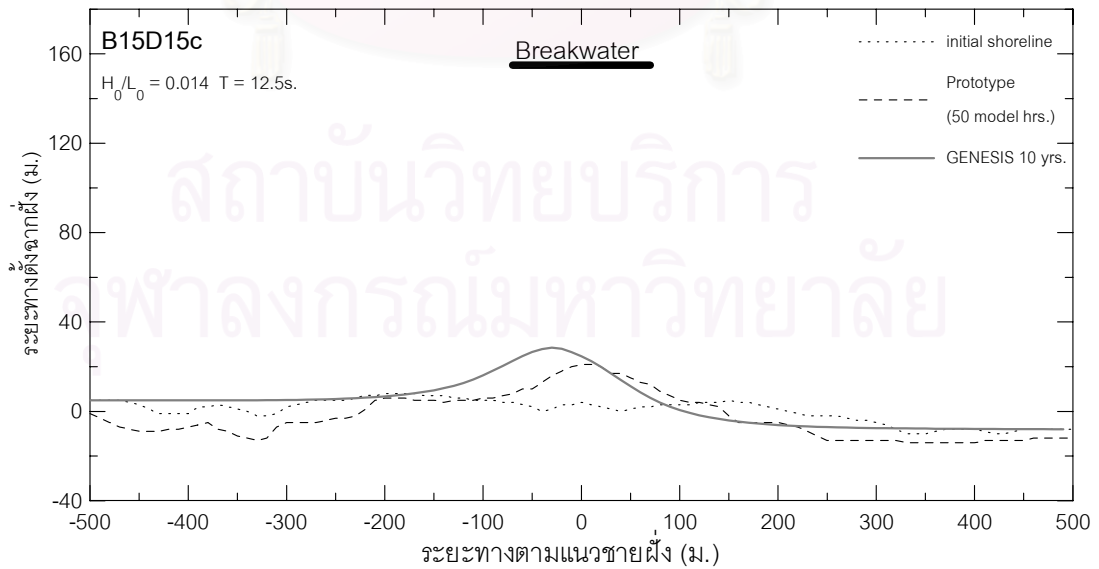
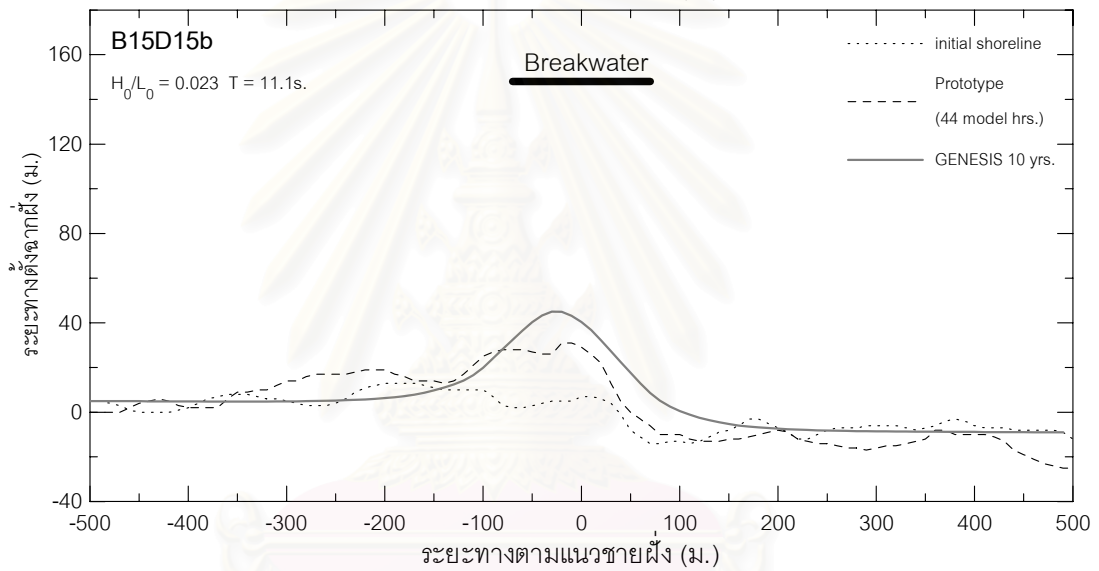
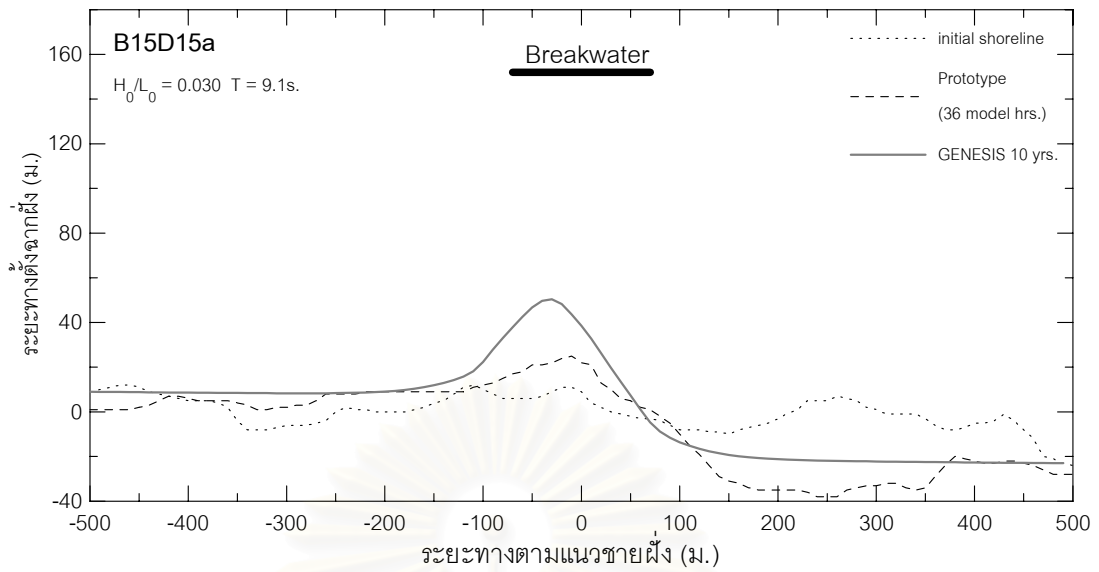
รูปที่ ๙-9 แนวชายฝั่งสมมูลจาก GENESIS กรณี B10D15a b และ c (ขยายสัดส่วน)



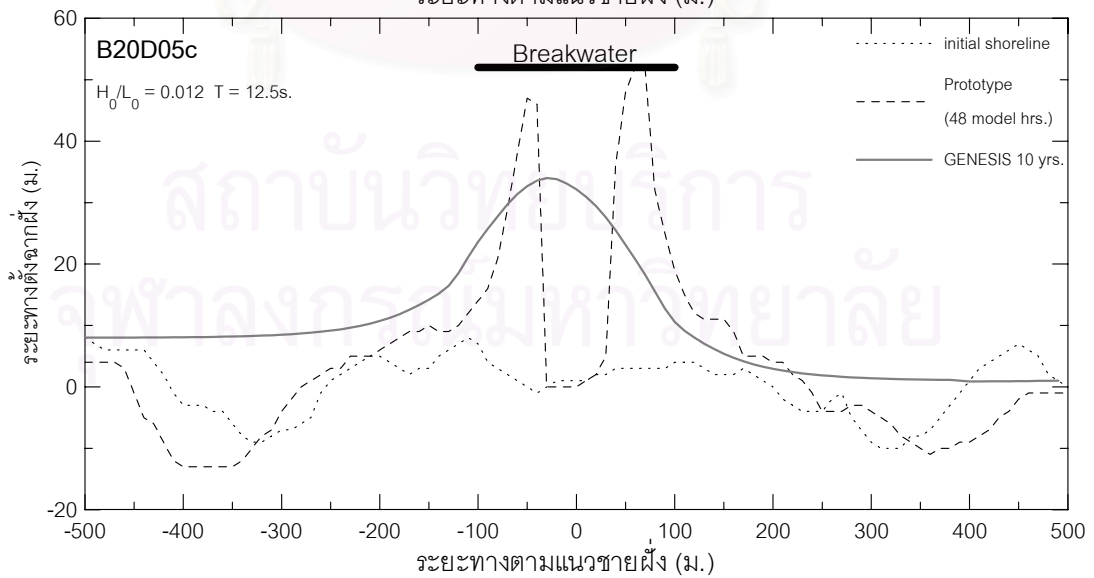
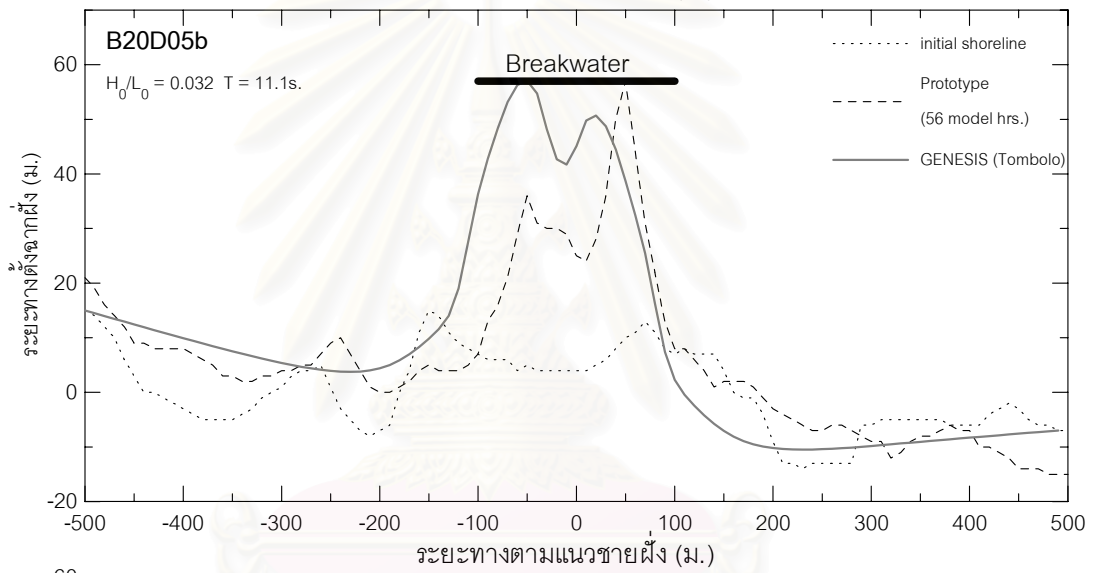
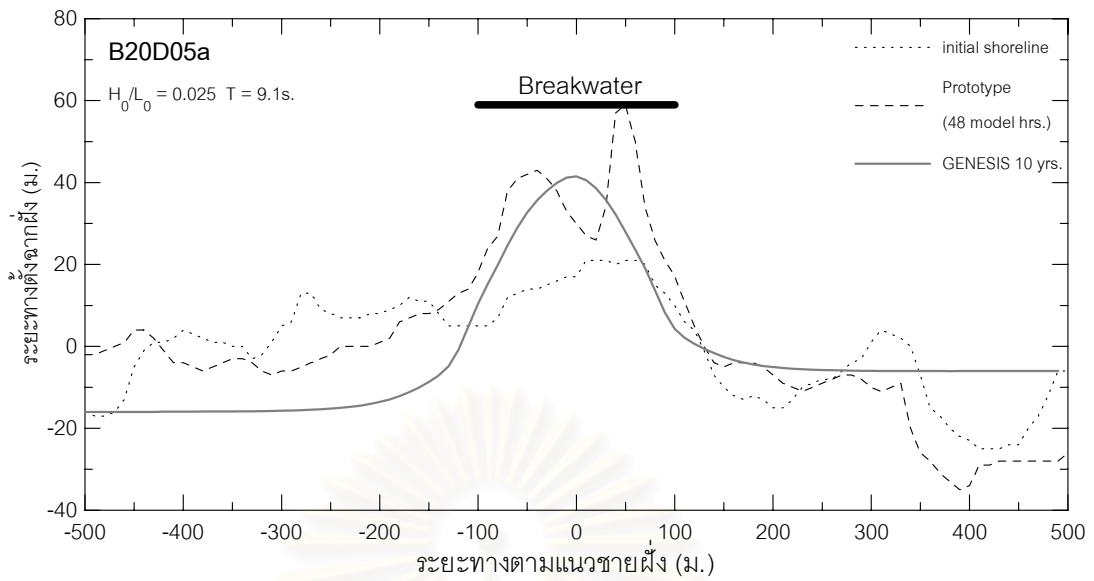
รูปที่ ข-10 แนวชายฝั่งสมดุลงจาก GENESIS กรณี B15D05a b และ c (ขยายสัดส่วน)



รูปที่ ข-11 แนวชายฝั่งสมมูลจาก GENESIS กรณี B15D10a b และ c (ขยายสัดส่วน)

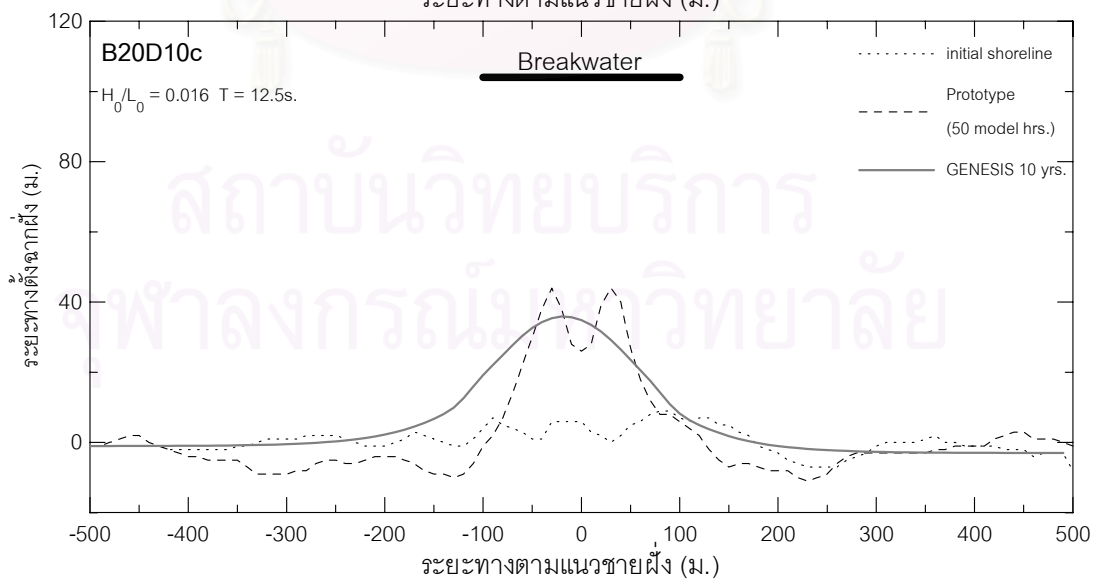
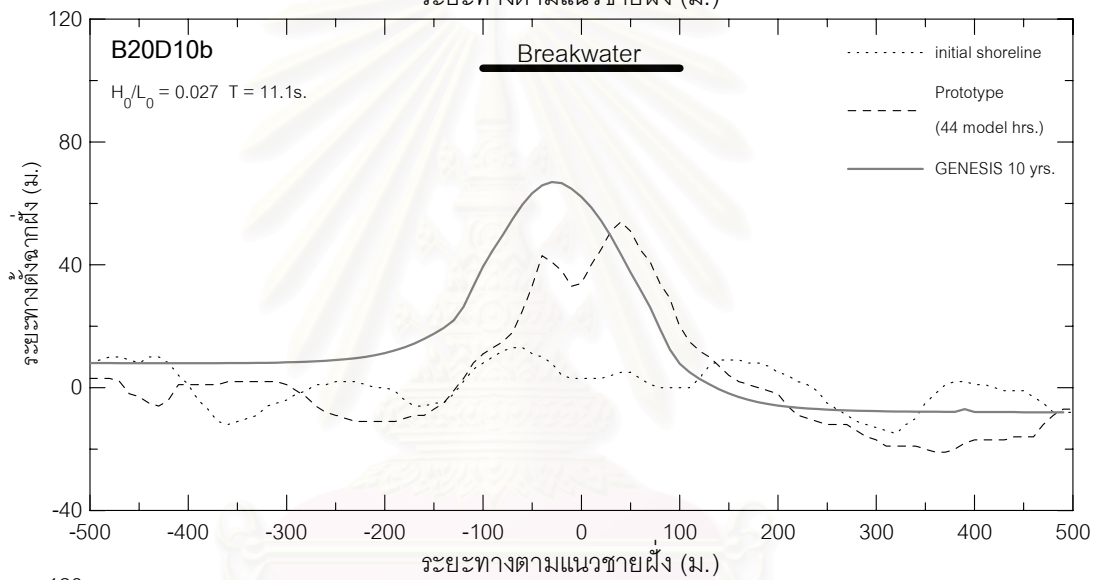
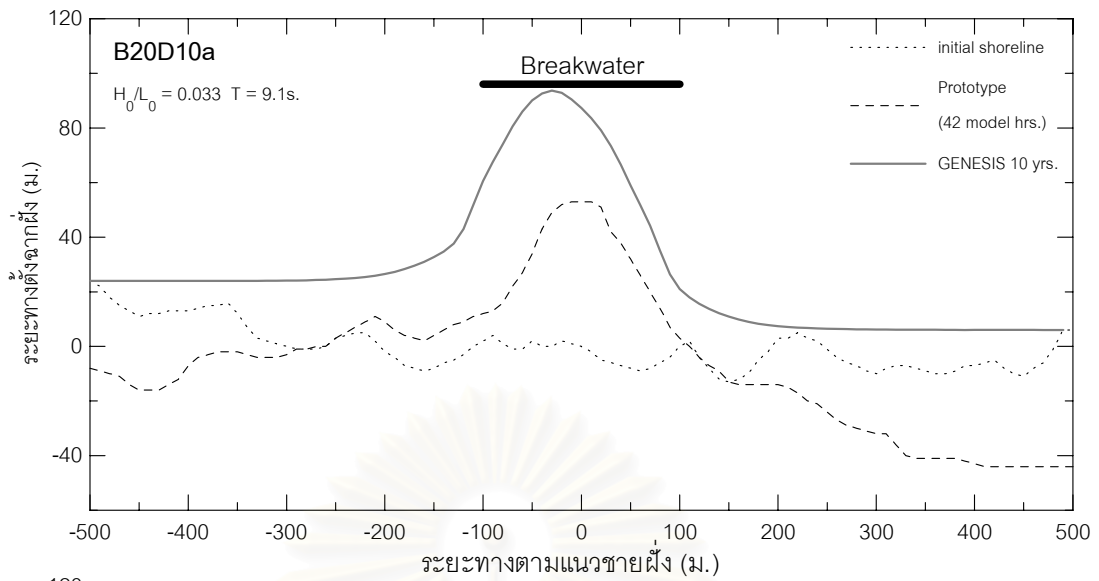


รูปที่ ข-12 แนวชายฝั่งสมมูลจาก GENESIS กรณี B15D15a b และ c (ขยายสัดส่วน)

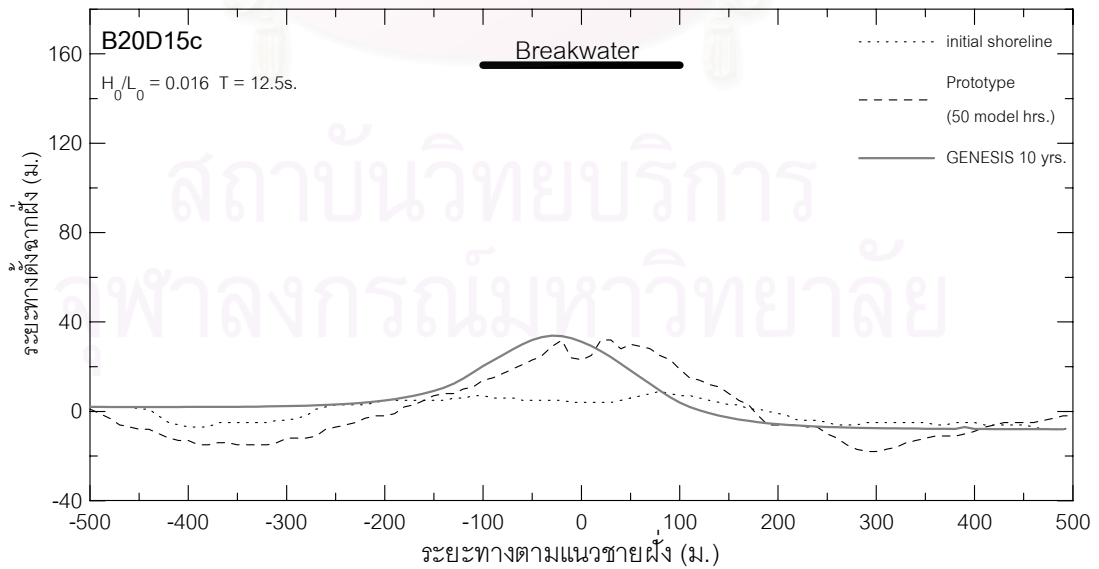
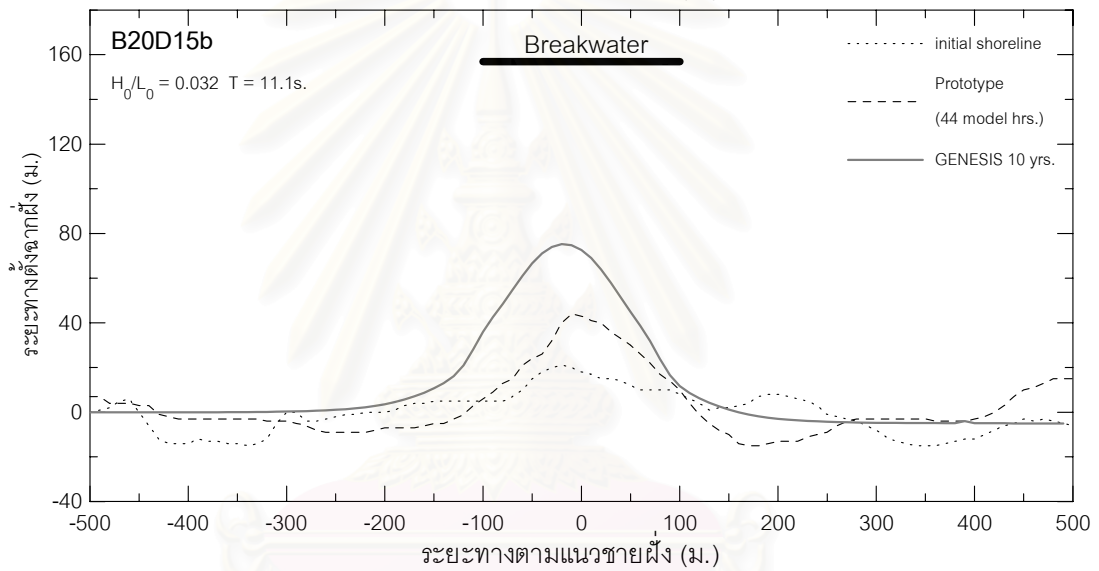
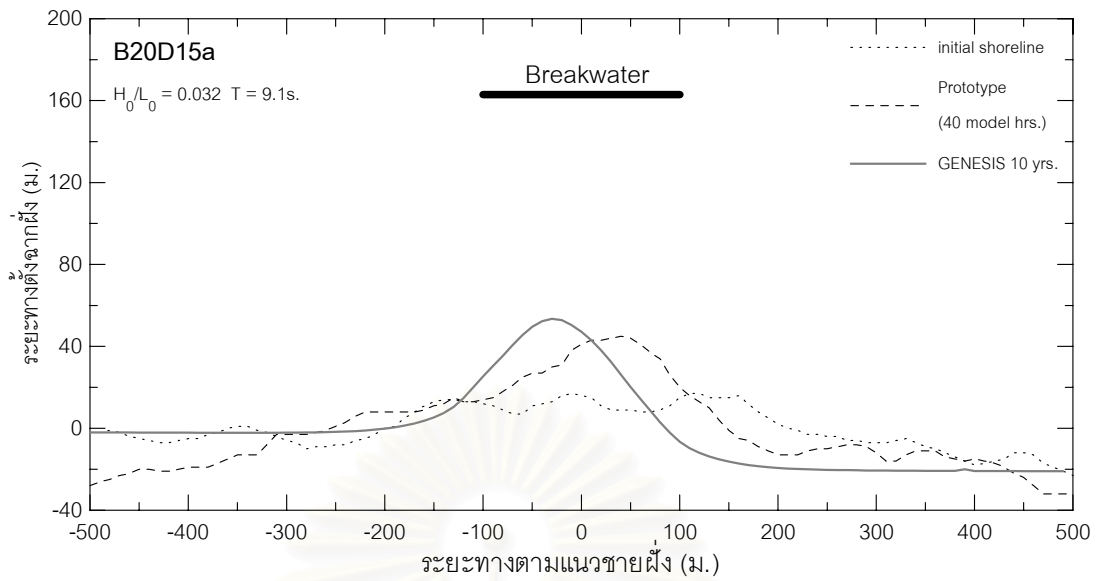


รูปที่ ข-13 แนวชายฝั่งสมดุจาก GENESIS กรณี B20D05a b และ c (ขยายสัดส่วน)

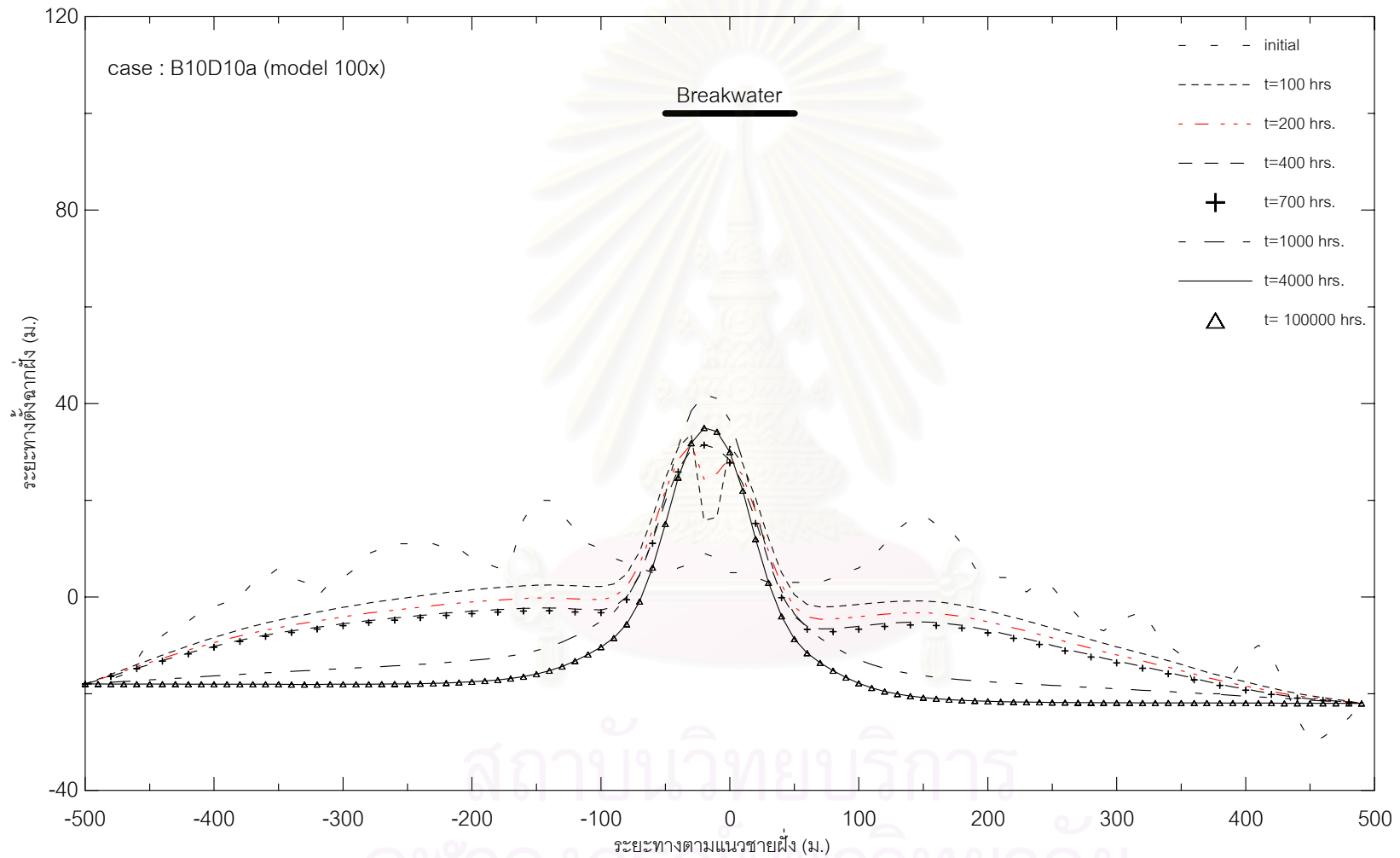




รูปที่ ข-14 แนวชายฝั่งสมดุจาก GENESIS กรณี B20D10a b และ c (ขยายสัดส่วน)



รูปที่ ๑๕ แนวชายฝั่งสมดุจาก GENESIS กรณี B20D15a b และ c (ขยายสัดส่วน)



รูปที่ ข-16 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งตามเวลา จากการที่ใช้แบบจำลอง GENESIS กรณีแบบจำลองที่ขยายสัดส่วน

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ	นายปิยะฉัตร เลิศอมรพงษ์	
เกิด	26 พฤษภาคม 2521	
การศึกษา	พ.ศ.2541	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วศ.บ.โยธา) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
	พ.ศ. 2542	เข้าศึกษาหลักสูตรปริญญาโท (วศ.ม) ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ประสบการณ์	พ.ศ. 2543	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
	พ.ศ. 2544	ได้รับทุนวิจัยของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย