

# บทที่ 3

แบบจำลองชลศาสตร์และการทดลอง

## แบบจำลองชลศาสตร์ และการทดลอง

วิศวกรชายฝั่งทะเลต้องอาศัยเทคนิค 3 ประการในการศึกษารูปแบบการไหลของของเหลวที่ซับซ้อน ในงานป้องกันชายฝั่ง เทคนิคดังกล่าวคือ การสังเกตและวัดข้อมูลในสนาม การสังเกตและการวัดข้อมูลในห้องทดลองโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพ (physical model) และการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) แม้ว่าในปัจจุบันนิยมใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กันมาก เนื่องจากคำนวณได้รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่าย และศึกษาได้พื้นที่กว้าง แต่อย่างไรก็ตามมีเงื่อนไขการไหล และปัญหาในด้านวิศวกรรมอีกมาก ที่ไม่สามารถจำลองหรือวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากความเป็น non-linear และความสลับซับซ้อนของปัญหา Dalrymple (1985, อ้างใน Hughes, 1993), ซึ่งให้เห็นว่าการศึกษาจากสนามจะได้ข้อมูลที่ดีที่สุด แต่ก็มีค่าใช้จ่ายสูง และมีตัวแปรของธรรมชาติมาก จึงยากต่อการแปลความหมายของข้อมูล ในทางกลับกันแบบจำลองทางกายภาพนั้นมีขนาดเล็กกว่า ราคาถูกง่ายต่อการศึกษาและไม่ซับซ้อนเท่าในธรรมชาติรวมทั้งเงื่อนไขที่ใส่เข้าไปในแบบจำลอง สามารถควบคุมและผันแปรอย่างเป็นระบบได้ในขณะที่การศึกษาในสนามไม่สามารถทำได้ ดังนั้นการศึกษาด้วยแบบจำลองทางกายภาพ ในหลายกรณีจึงเป็นเทคนิคที่มีความเป็นในการศึกษา เพื่อหารูปแบบการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด

การศึกษาในครั้งนี้ใช้แบบจำลองทางกายภาพในการศึกษาพฤติกรรมและกระบวนการชายฝั่งเมื่อมีโครงสร้างคันดักตะกอนเป็นโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง โดยทดลองในแบบจำลองชลศาสตร์ (Hydraulic Model) และผลที่ได้จากการศึกษานี้นำไปสรุปเป็นเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนต่อไป

### 3.1 แบบจำลองชลศาสตร์

ในการศึกษานี้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล (Hydraulic and Coastal Model Laboratory) ของภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งองค์ประกอบในการทดลองประกอบด้วย

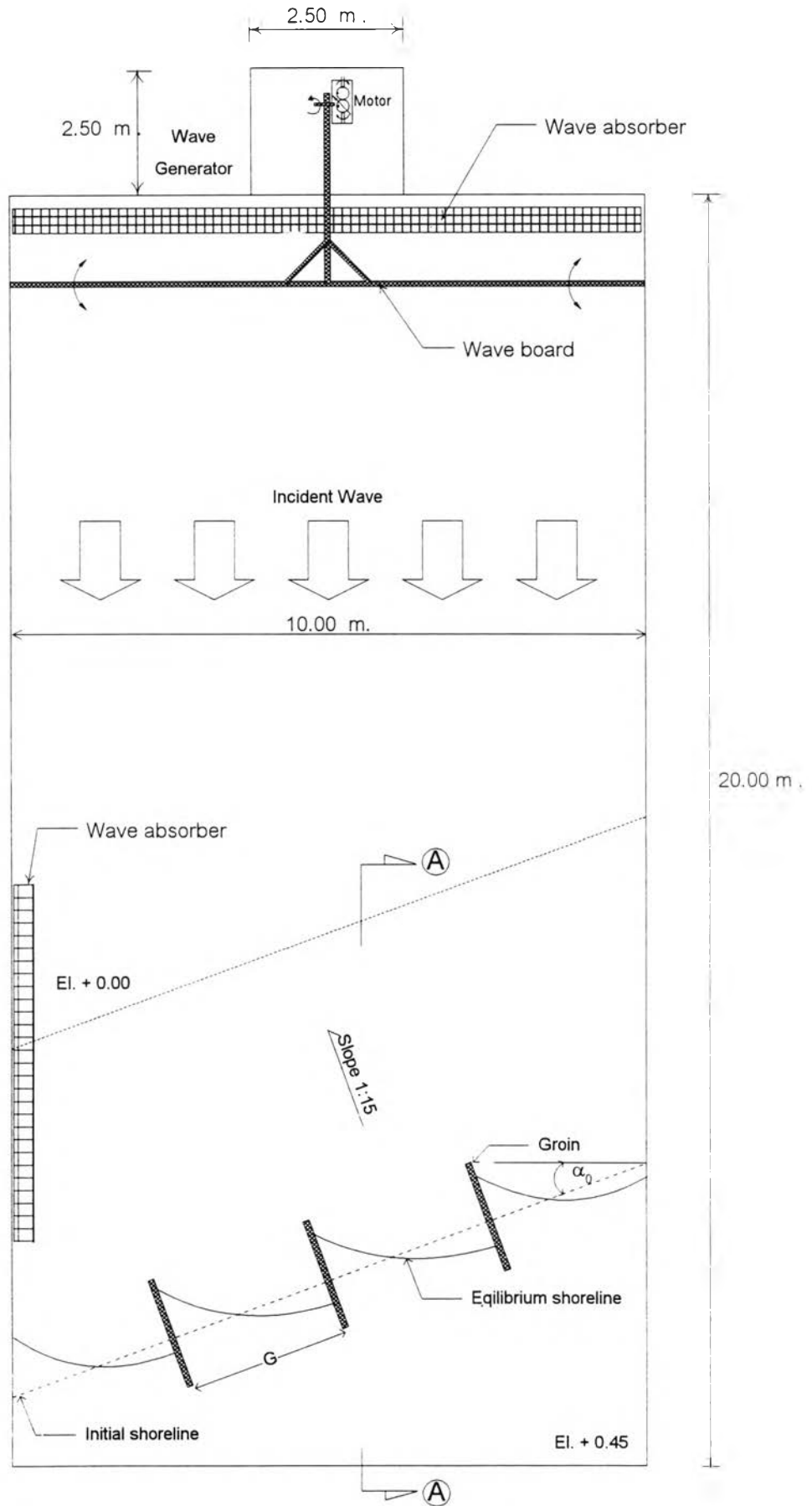
1) แบบจำลองอ่างคลื่น (wave basin) ขนาด 10 ม. x 20 ม. x 0.70 ม. ดังแสดงในรูปที่ 3-1 และจำลองชายฝั่งด้วยทรายขนาด  $d_{50} = 0.025$  มม. มีความลาดชันด้านหน้าชายฝั่งประมาณ 1:15 ดังแสดงในรูปที่ 3-2 ส่วนการวิเคราะห์การกระจายตัวของทรายที่ใช้ในการทดลอง แสดงใน ภาคผนวก ข

2) แบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอน (groin model) สร้างขึ้นจากไม้ทึบน้ำ ขนาด 0.06 ม. x 0.20 ม. x 1.80 ม. แสดงในรูป 3-3 และวางห่างกันเป็นกลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 3-1 และ 3-4

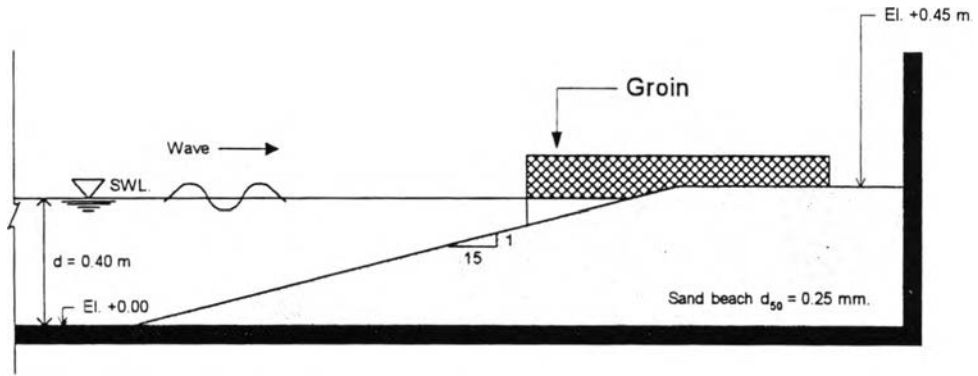
3) เครื่องกำเนิดคลื่น (wave generator) ที่ติดตั้งในแบบจำลองอ่างคลื่น มีโครงสร้างทั้งหมดทำด้วยเหล็ก และกระดานสร้างคลื่น (wave board) ซึ่งทำด้วยพลาสติกแข็ง ปลายด้านล่างของกระดานสร้างคลื่นเป็นแบบ Hinge Connection ส่วนปลายด้านบนต่อเข้ากับส่วนขับเคลื่อนสามารถโยกกลับไปกลับมาได้ ดังแสดงในรูป 3-5 เครื่องกำเนิดคลื่นนี้สามารถสร้างคลื่นที่มีความสูงคลื่น และคาบเวลาที่แตกต่างกันโดยปรับระยะช่วงชัก ความสูงของระดับน้ำในอ่างคลื่น และความเร็วมอเตอร์ ซึ่งสามารถสร้างคลื่นให้มีคาบเวลาอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 3.0 วินาที

4) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลในการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย

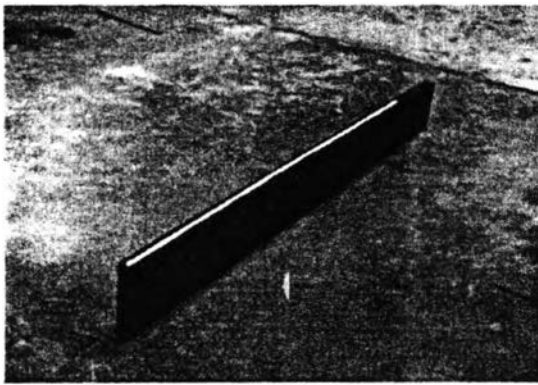
- เครื่องมือวัดความสูงคลื่น (wave height meter) ได้ติดตั้งลงในแบบจำลองเพื่อวัดลักษณะคลื่นตามจุดต่าง ๆ ดังแสดงในรูป 3-6 และการสอบเทียบ (calibrated) เครื่องมือวัดความสูงคลื่นแสดงในภาคผนวก ข
- การ์ดคอมพิวเตอร์แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (A/D converter) ของ PC-LAB รุ่น PCL-816 ซึ่งใช้ร่วมกับแผงวงจรรวมสัญญาณแบบสกรู (terminal board) รุ่น PCLD-780 และ PCLD-880
- คอมพิวเตอร์ IBM-PC 486DX2-66 ใช้เก็บข้อมูลสัญญาณจากเครื่องมือวัดความสูงคลื่น โดยใช้โปรแกรม "Labtech NOTEBOOKpro" ในการเก็บข้อมูล
- เครื่องมือวัดระดับน้ำ ใช้วัดระดับน้ำ และระดับท้องน้ำ
- กล้องถ่ายภาพ ใช้ในการบันทึกภาพพฤติกรรมการไหลและกระบวนการชายฝั่งที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลอง เช่น การแตกตัวของคลื่น การกระจายของคลื่น และใช้บันทึกภาพรูปร่างชายฝั่งสมมูลในการทดลอง



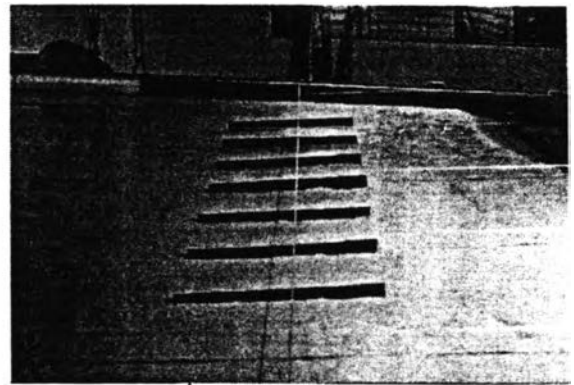
รูป 3-1 แบบจำลองอ่างคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอน



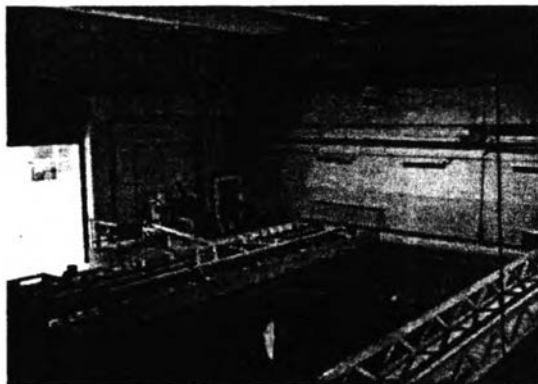
รูป 3-2 รูปตัดแบบจำลองอ่างคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอน (A) - (A)



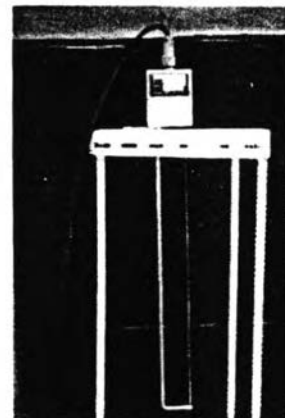
รูป 3-3 แบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอน



รูป 3-4 การติดตั้งแบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอน



รูป 3-5 เครื่องกำเนิดคลื่น



รูป 3-6 เครื่องมือวัดความสูงคลื่น

- กล้องวิดีโอเทปบันทึกภาพ ใช้ในการบันทึกขั้นตอนและรายละเอียดการทดลอง รวมทั้งพฤติกรรมและกระบวนการชายฝั่งที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการทดลอง

สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับการใช้ เครื่องกำเนิดคลื่น เครื่องมือวัดความสูงคลื่น อุปกรณ์แปลงสัญญาณต่างๆ และโปรแกรม "Labtech NOTEBOOKpro" ได้รวบรวมไว้โดย อาทิตยา (2540: 135-143)

### 3.2 การวัดข้อมูลการทดลอง

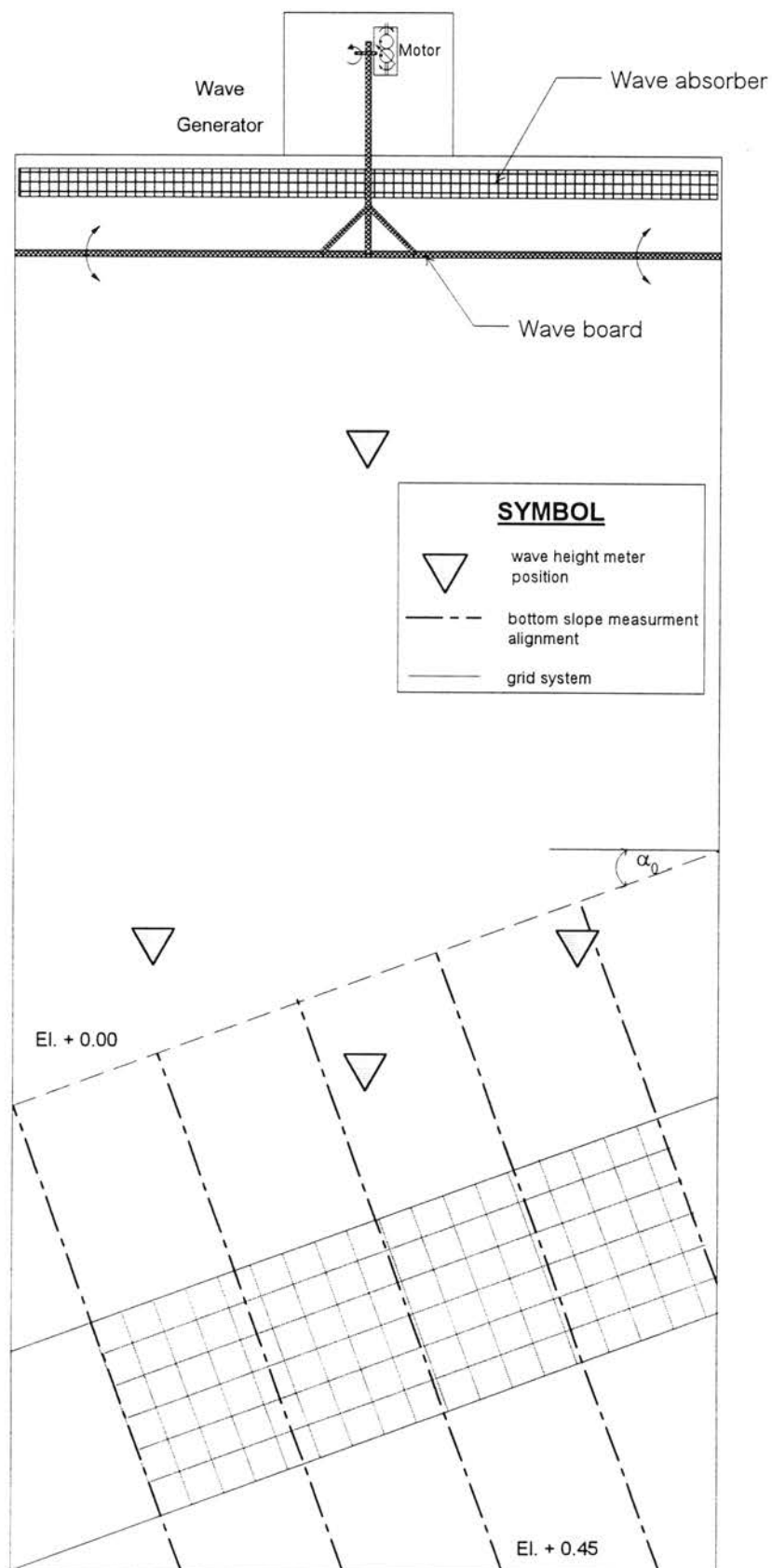
ข้อมูลในการทดลองสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน

#### 3.2.1 การวัดข้อมูลคลื่นในแอ่งคลื่นที่สร้างจากเครื่องกำเนิดคลื่น

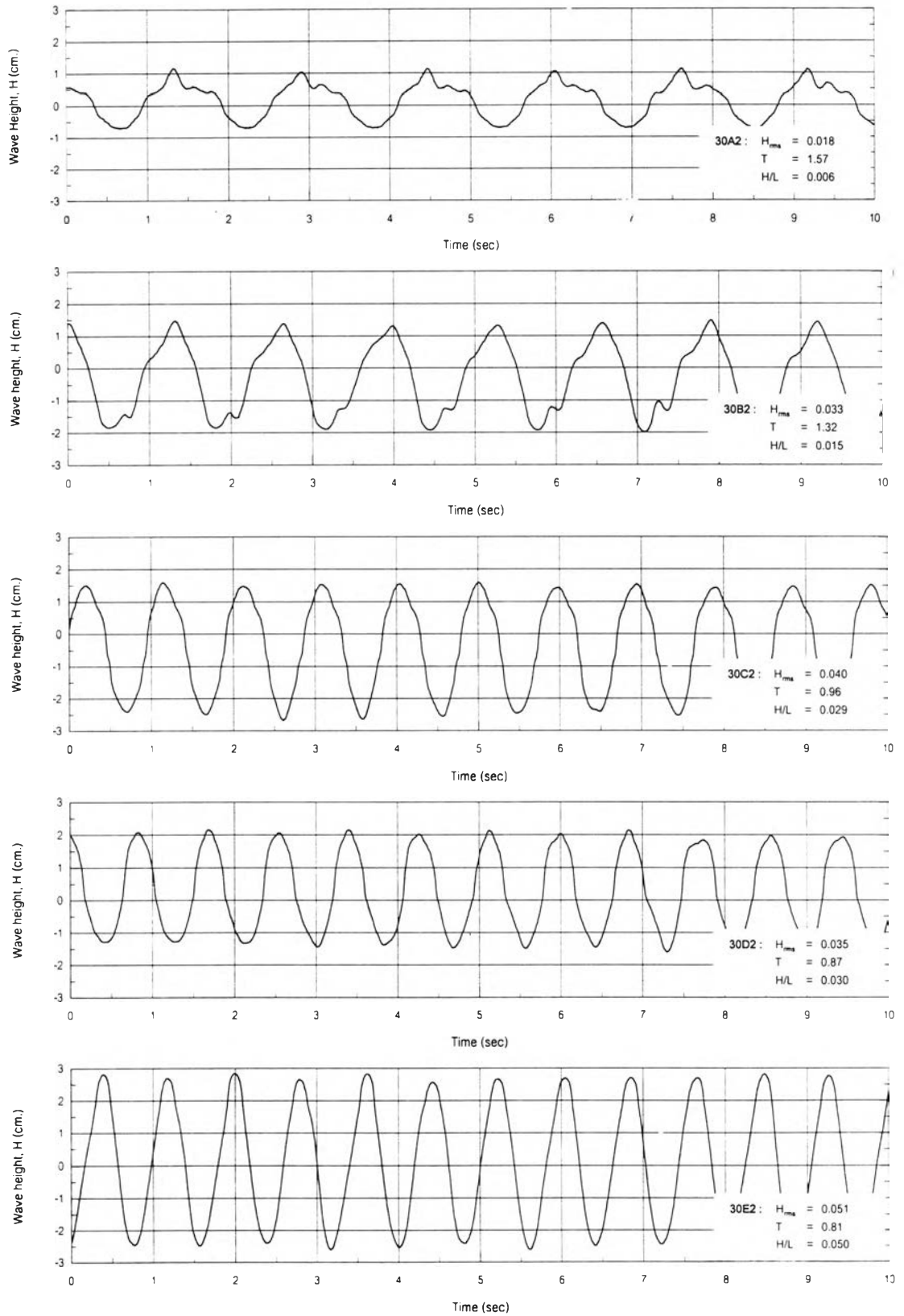
ลักษณะคลื่นที่ได้จากการสร้างคลื่นด้วยเครื่องกำเนิดคลื่นในแบบจำลองสามารถบันทึกข้อมูลได้โดยใช้โปรแกรม "Labtech NOTEBOOKpro" ซึ่งควบคุมการวัดและบันทึกข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดความสูงคลื่น จำนวน 4 เครื่อง ติดตั้งในแบบจำลองตามจุดต่าง ๆ ดังแสดงในรูป 3-7 ข้อมูลที่ได้ประกอบด้วยเวลา และระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่บันทึก ใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างข้อมูลคลื่น 3 ครั้ง ครั้งละ 400 วินาที และกำหนดให้บันทึกข้อมูลด้วยความถี่ 100 ข้อมูลต่อวินาที หรือ 100 Hz ได้ข้อมูลจำนวน 40,000 จุดในแต่ละครั้ง ใช้หน่วยความจำฮาร์ดดิสก์ 0.64 เมกะไบต์ โดยรวมทุกกรณีการทดลองได้ใช้หน่วยความจำฮาร์ดดิสก์ทั้งหมดประมาณ 700 เมกะไบต์ ตัวอย่างข้อมูลคลื่นที่ได้จากการบันทึก แสดงในรูป 3-8

#### 3.2.2 การวัดข้อมูลชายฝั่งสมดุล

การเก็บข้อมูลในส่วนนี้ ประกอบด้วย การเก็บข้อมูลโดยการวัดในแบบจำลอง โดยติดตั้งระบบกริดขนาด 0.10 ม. x 0.10 ม. แสดงในรูป 3-7, 3-9 และ 3-10 ไว้เหนือแอ่งคลื่นเพื่อเก็บข้อมูลชายฝั่งสมดุล ที่นิยามไว้ในรูป 3-11 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ



รูป 3-7 ตำแหน่งเครื่องมือวัดความสูงคลื่น และระบบการวัดข้อมูลชายฝั่งสมดุ

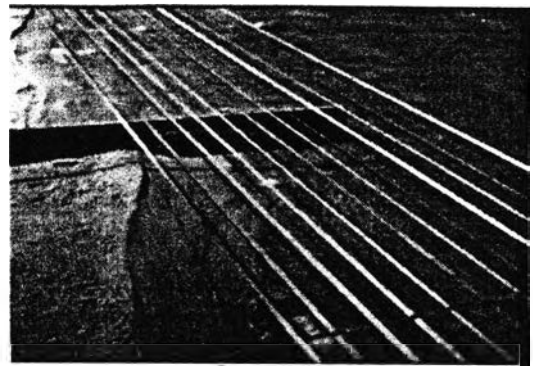


รูป 3-8 ตัวอย่างข้อมูลคลื่น (A,B,C,D,E) จากการบันทึก ชุดการทดลอง 30A2 ถึง 30E2

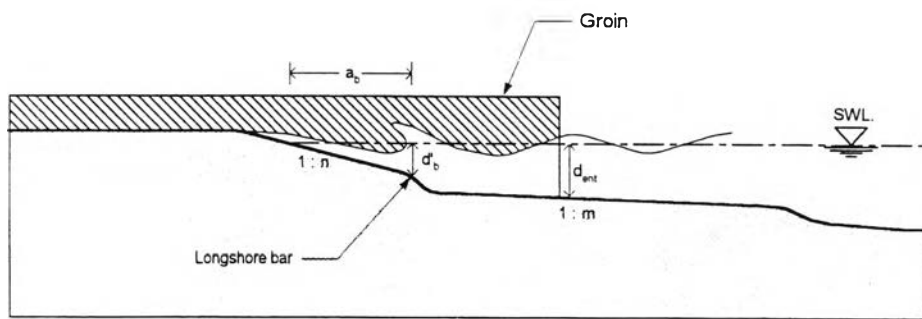




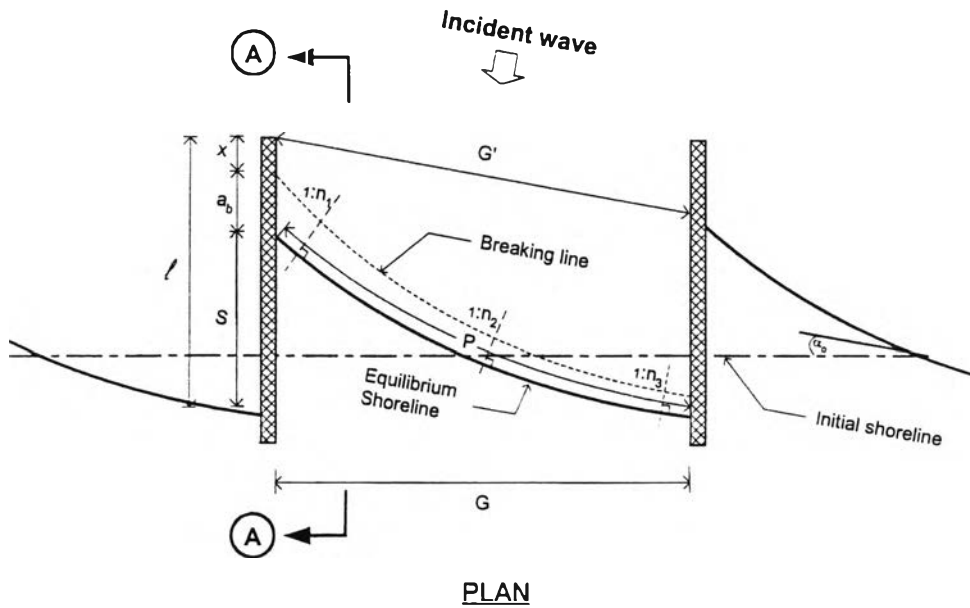
รูป 3-9 กริดขนาด 0.10 ม. x 0.10 ม.



รูป 3-10 การติดตั้งระบบกริดเหนือแบบจำลอง



SECTION (A) - (A)



PLAN

รูป 3-11 นิยามและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) รูปร่างชายฝั่งสมดุล (equilibrium shoreline shape) โดยการวัดตำแหน่งของแนวชายฝั่งที่ระดับน้ำนิ่ง (shoreline at still water level) ดังแสดงในรูปที่ 3-12
- 2) ความยาวชายฝั่ง (beach length, P) วัดที่ระดับน้ำนิ่ง
- 3) ระยะเว้าของชายฝั่ง (Bay depth, S) ได้แก่ระยะห่างของปลายของชายหาดทั้งสองข้างของอ่าว
- 4) ความลาดชันชายฝั่ง (beach slope, 1:n) วัดบริเวณชายฝั่งด้านเหนือหน้าของโครงสร้างตรงกลาง ระหว่างโครงสร้าง และด้านท้ายน้ำของโครงสร้าง โดยวัดตั้งฉากกับแนวชายฝั่งสมดุล
- 5) ความลาดชันท้องน้ำ (bottom slope, 1:m) วัดตั้งฉากกับแนวชายฝั่งเป็น 5 แนว ดังแสดงในรูป 3-7 และ 3-13
- 6) ระยะจากแนวชายฝั่งที่ระดับน้ำนิ่งถึงตำแหน่งคลื่นแตกตัว ( $a_b$ )
- 7) ระดับน้ำบริเวณทางเข้าอ่าว ( $d_{ent}$ )

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น

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

การวิเคราะห์ทางสถิติ เป็นการประมาณค่าของข้อมูลตัวอย่างคลื่น ซึ่งในการศึกษามีพารามิเตอร์ทางสถิติในการประมาณค่า ความสูงคลื่น และคาบเวลาของคลื่นที่นิยมใช้ในทางวิศวกรรมชายฝั่ง ดังแสดงในตารางที่ 3-1 เมื่อวิเคราะห์ค่าความสูงคลื่นในแบบจำลอง พบว่านำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามเวลามาคำนวณหาความสูงคลื่น คาบเวลาของคลื่น และจำนวนคลื่นทั้งหมดของตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกได้ในแบบจำลอง มาคำนวณค่าความสูงเฉลี่ย (average wave height) ความสูงคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสอง (root mean squared wave height) และค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญ (significant wave height) ซึ่งพบว่ามีความใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากคลื่นที่สร้างขึ้นในแบบจำลองเป็นคลื่นที่มีความสูงคลื่น และคาบเวลาคลื่นสม่ำเสมอ (regular wave)

$$\bar{H} \approx H_{rms} \approx H_s = H_d$$

เมื่อ  $H_d$  คือความสูงคลื่นของตัวอย่างข้อมูลในแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความถี่ข้อมูล จากข้อมูลความสูงคลื่นและคาบเวลาของคลื่น สามารถหาแอมพลิจูดของข้อมูลคลื่นแต่ละลูกได้ เมื่อนำข้อมูลไปคำนวณหาค่าความหนาแน่น สเปกตรัมของพลังงานคลื่นที่ความถี่ต่างๆ และสร้างกราฟ density spectral histogram จากกราฟสามารถหาค่าความถี่ของคลื่นที่มีความหนาแน่นของพลังงานสูงสุดได้ จากจุดยอดของกราฟ (peak) ดังแสดงในรูป 3-14 ซึ่งความถี่ที่ได้นี้ คือ ส่วนกลับของคาบเวลาคลื่นนั่นเอง เนื่องจากข้อมูลคลื่นจากการทดลองเป็นคลื่นแบบสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงมี จุดยอดของกราฟเพียงจุดเดียว ซึ่งหมายถึงคลื่นในการทดลองมีคาบเวลาสม่ำเสมอ สำหรับความสูงคลื่นสามารถวิเคราะห์ได้จากค่าความแปรปรวนของความหนาแน่นพลังงานคลื่น โดยมีสมการในการคำนวณค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ แสดงในตารางที่ 3-1

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และการวิเคราะห์ความถี่คลื่นพบว่า ค่าของคาบเวลาคลื่นที่ได้จากทั้ง 2 วิธีเท่ากัน สำหรับในการวิเคราะห์ค่าความสูงคลื่น และคาบของคลื่น รวมทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นทั้งสองวิธีที่กล่าวมาแล้ว ได้เขียนโปรแกรมการวิเคราะห์โดยอาทิตยา (2540: 151-155) แสดงอยู่ในภาคผนวก ข

### 3.4 ลักษณะและวิธีการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันทักตะกอน โดยศึกษาจากแนวชายฝั่งสมดุลง เริ่มต้นจากการตั้งสมมติฐานว่าปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อรูปร่างชายฝั่งเมื่อมีโครงสร้างคันทักตะกอนคือ ขนาดของคลื่น อันประกอบด้วย ความสูงและคาบเวลาของคลื่น มุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่ง และระยะห่างระหว่างโครงสร้าง ดังนั้นในการศึกษาจึงมุ่งเน้นการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยเหล่านี้ ที่มีผลต่อรูปร่างชายฝั่งสมดุลงโดยกำหนดให้เป็นตัวแปรในการทดลอง ตัวแปรของคลื่นแบ่งเป็น 5 ขนาด มีความชัน (H/L) ตั้งแต่ 0.003 – 0.050 และแทนขนาดของคลื่นแต่ละช่วงด้วยสัญลักษณ์ A B C D และ E เรียงตามลำดับจากน้อยไปหามาก ส่วนตัวแปรระยะห่างระหว่างโครงสร้างคันทักตะกอน ใช้ 4 ช่วงคือ 1 ม.

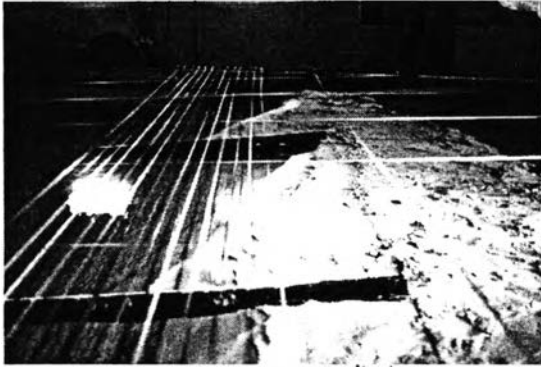
ตาราง 3-1 พารามิเตอร์คลื่นที่ใช้ในงานวิศวกรรมชายฝั่ง

Parameter	Notation	Equation
<i>Statistic wave parameter</i>		
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>
<i>Frequency wave parameter</i>		
Spectral energy density	$S(f)$	$S(f)\Delta f = \sum_t^{t+\Delta t} \frac{a_n^2}{2}$ <p><math>a_n</math> = Wave amplitude</p>
Spectral variance	$\sigma^2$	$\sigma^2 = \int_0^{\infty} S(f)df = m_0$
Zero - moment wave height	$H_{m0}$	$H_{m0} = 4\sigma$

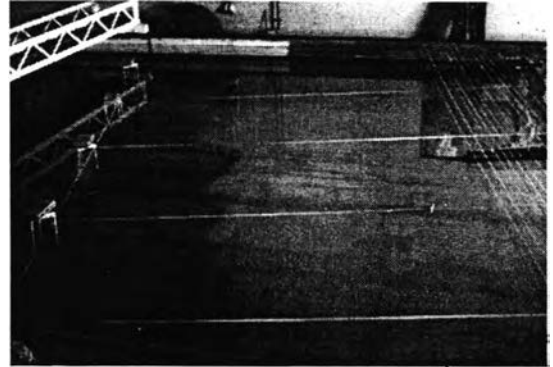
2 ม. 3 ม. และ 4 ม. สำหรับตัวแปรทิศที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่งกำหนดให้ใช้ 3 ช่วงคือ  $15^\circ$   $30^\circ$  และ  $45^\circ$  โดยมีวิธีการในการทดลองดังนี้

- 1) ปรับแนวชายฝั่งให้ทำมุมกับทิศทางของคลื่น  $15^\circ$  ดังแสดงในรูป 3-15
- 2) ติดตั้งแบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอน ลงบนชายฝั่งทรายโดยวางห่างกัน 1 ม. ตั้งฉากกับแนวชายฝั่งเริ่มต้น ดังแสดงในรูป 3-16
- 3) เปิดเครื่องกำเนิดคลื่นให้สร้างคลื่นเข้ากระทำต่อชายฝั่ง ดังแสดงในรูป 3-17
- 4) สังเกตพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดขึ้น จนกระทั่งมั่นใจว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูป 3-18 จึงหยุดการทดลอง ซึ่งการทดลองใช้เวลาประมาณ 20 – 30 ชั่วโมงต่อครั้ง
- 5) วัดการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผลการทดลอง
- 6) เปลี่ยนขนาดความชันคลื่นอีกจำนวน 4 ชุดตามที่กำหนดไว้เบื้องต้น และทำซ้ำขั้นตอนที่ 4 – 5 เพื่อศึกษาถึงผลของขนาดคลื่นที่มีต่อรูปร่างชายฝั่งสมดุล
- 7) เปลี่ยนระยะห่างระหว่างโครงสร้างเป็น 2 เมตร แล้วทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 – 6 แล้วเปลี่ยนระยะห่างระหว่างโครงสร้างจนครบ 4 ช่วง เพื่อศึกษาถึงผลของระยะห่างระหว่างชายฝั่ง ที่มีต่อรูปร่างชายฝั่งสมดุล
- 8) ปรับแนวชายฝั่งให้ทำมุมกับทิศทางของคลื่น  $30^\circ$  และ  $45^\circ$  แล้วทำขั้นตอนที่ 2 – 7 เพื่อศึกษาผลของทิศทางของคลื่นที่มีผลต่อรูปร่างชายฝั่งสมดุล ซึ่งได้สรุปลักษณะการทดลองไว้ในตารางที่ 3-2
- 9) เมื่อทำการทดลองในกรณีที่มีโครงสร้างคันดักตะกอน เป็นโครงสร้างป้องกันชายฝั่งครบทั้ง 60 กรณีแล้ว ทำการทดลองเพิ่มเติมในกรณีที่ไม่มีโครงสร้างป้องกันชายฝั่งอีกกรณีหนึ่ง เพื่อศึกษาชายฝั่งสมดุลกรณีไม่มีโครงสร้างคันดักตะกอน

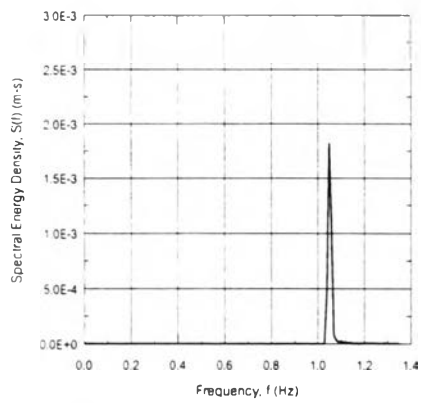
สำหรับการตั้งชื่อกรณีทดลอง กำหนดให้ตัวเลข 2 ตัวแรกแทนมุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่ง ( $\alpha_0$ ) สัญลักษณ์ A, B, C, D และ E แทนขนาดของคลื่น และตัวเลขหลักสุดท้ายแทนระยะห่างระหว่างโครงสร้างคันดักตะกอน เช่น กรณีการทดลอง 15B2 หมายถึง กรณีทดลองที่คลื่นทำมุม  $15$  องศา ความชันคลื่นประมาณ 0.009 และระยะห่างระหว่างโครงสร้าง 2 เมตร เป็นต้น



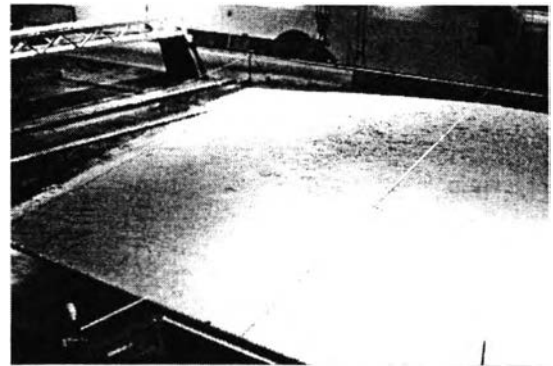
รูป 3-12 แนวระดับน้ำนิ่ง



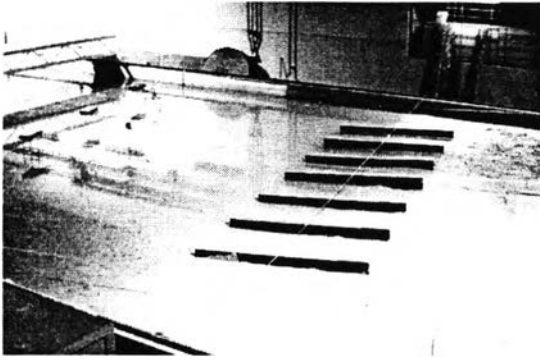
รูป 3-13 แนวการวัดความชันท้องน้ำ



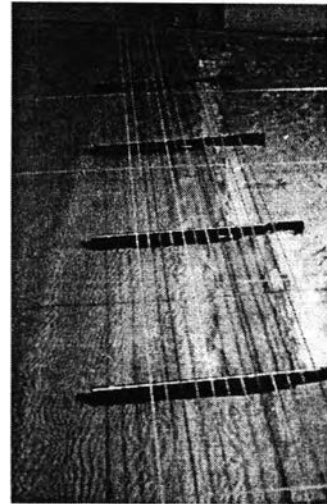
รูป 3-14 Density spectral histogram



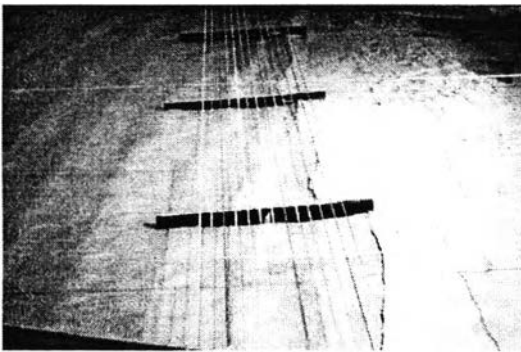
รูป 3-15 การปรับแนวชายฝั่งก่อนการทดลอง



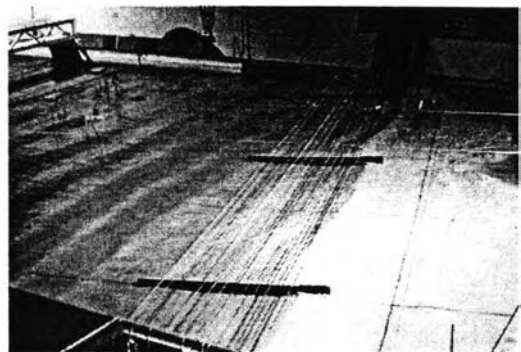
ก) กรณี  $\alpha_0 = 15^\circ$  และ  $G = 1$  เมตร



ข) กรณี  $\alpha_0 = 15^\circ$  และ  $G = 2$  เมตร



ค) กรณี  $\alpha_0 = 15^\circ$  และ  $G = 3$  เมตร

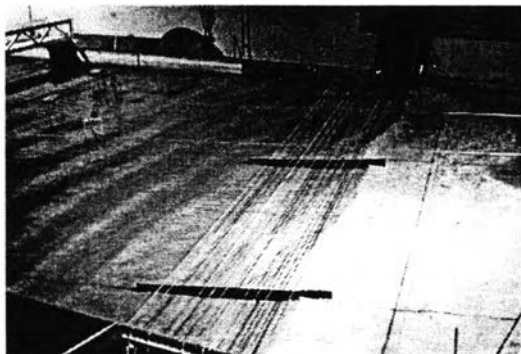


ง) กรณี  $\alpha_0 = 15^\circ$  และ  $G = 4$  เมตร

รูป 3-16 การติดตั้งแบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอนในการทดลอง



ก)

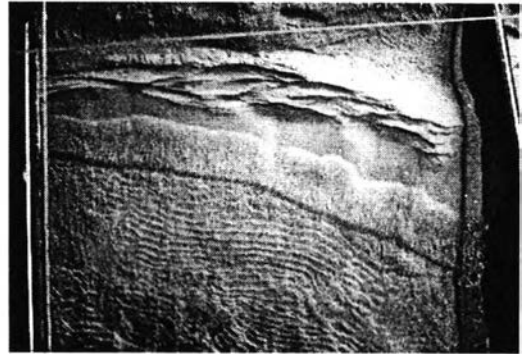


ข)

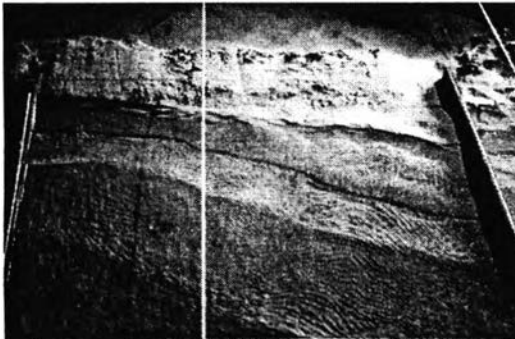
รูป 3-17 แบบจำลองขณะที่มีคลื่นกระทำต่อชายฝั่ง



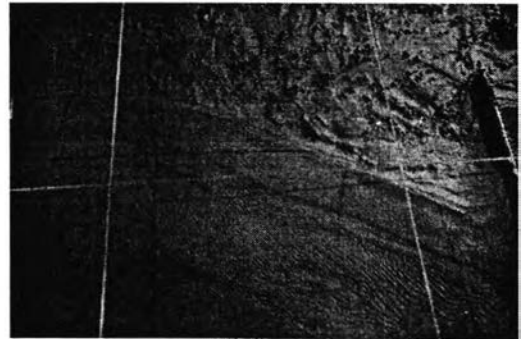
ก.) กรณี  $\alpha_0 = 45^\circ$  , G = 1.00 ม.



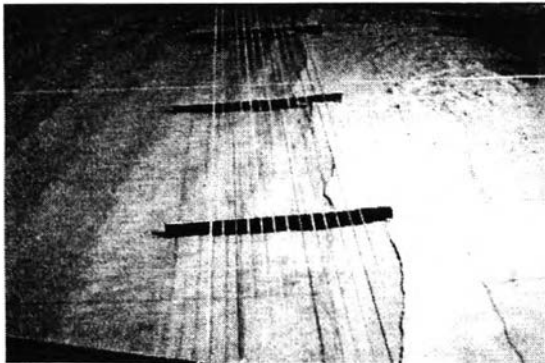
ข.) กรณี  $\alpha_0 = 45^\circ$  , G = 2.00 ม.



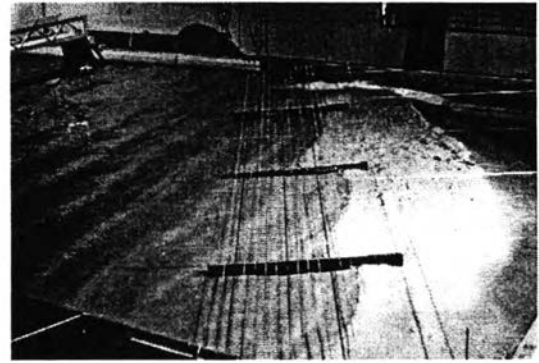
ค.) กรณี  $\alpha_0 = 45^\circ$  , G = 3.00 ม.



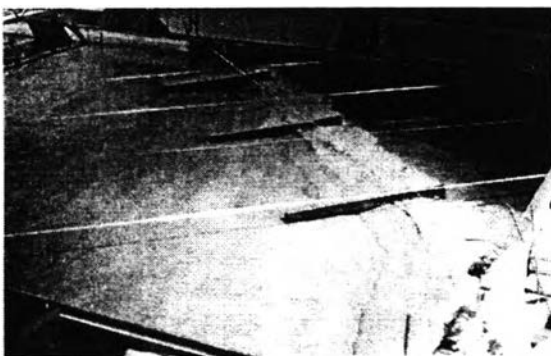
ง.) กรณี  $\alpha_0 = 45^\circ$  , G = 4.00 ม.



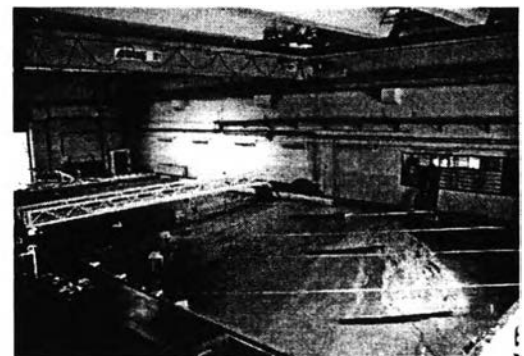
จ.) กรณี  $\alpha_0 = 15^\circ$  , G = 3.00 ม.



ฉ.) กรณี  $\alpha_0 = 30^\circ$  , G = 3.00 ม.



ช.) กรณี  $\alpha_0 = 45^\circ$  , G = 3.00 ม.



ซ.) กรณี  $\alpha_0 = 45^\circ$  , G = 4.00 ม.

รูป 3-18 ตัวอย่างแนวชายฝั่งสมดุค



ตาราง 3-2 กรณีการทดลองต่างๆ ที่ทำการศึกษา จำนวน 60 กรณี

Wave direction ( $\alpha$ )	Spacing (G) m.	Average wave steepness ( $H_g / L_g$ )				
		A $\approx 0.004$	B $\approx 0.020$	C $\approx 0.025$	D $\approx 0.035$	E $\approx 0.045$
15°	1	15A1	15B1	15C1	15D1	15E1
	2	15A2	15B2	15C2	15D2	15E2
	3	15A3	15B3	15C3	15D3	15E3
	4	15A4	15B4	15C4	15D4	15E4
30°	1	30A1	30B1	30C1	30D1	30E1
	2	30A2	30B2	30C2	30D2	30E2
	3	30A3	30B3	30C3	30D3	30E3
	4	30A4	30B4	30C4	30D4	30E4
45°	1	45A1	45B1	45C1	45D1	45E1
	2	45A2	45B2	45C2	45D2	45E2
	3	45A3	45B3	45C3	45D3	45E3
	4	45A4	45B4	45C4	45D4	45E4

### 3.5 ข้อมูลจากการทดลอง

จากการศึกษาทดลองในลักษณะต่างๆ ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมา ข้อมูลจากการทดลองที่ได้ นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน คือ

1) ตารางสรุปผลการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกสรุปลักษณะการทดลอง ข้อมูลคลื่น วัดได้จากการทดลอง พารามิเตอร์ของคลื่นที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติและการวิเคราะห์ความถี่ ซึ่ง ข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณลักษณะคลื่นบริเวณจุดต่าง ๆ คือ สภาพคลื่นในน้ำลึก สภาพคลื่นบริเวณทางเข้า อ่าว และสภาพคลื่นบริเวณคลื่นแตกตัว ในส่วนที่สองคือสรุปลักษณะชายฝั่งสมดุลงที่วัดได้จากการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังตาราง 3-3 และตัวอย่างตารางสรุปผลแสดงในตาราง 3-4

2) ลักษณะคลื่นจากการบันทึก เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการบันทึกด้วยคอมพิวเตอร์เป็นข้อมูล เวลาและการเปลี่ยนแปลงระดับผิวน้ำ เมื่อนำมาสร้างกราฟจะได้รูปร่างของคลื่นที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง ดัง แสดงในรูป 3-8 ซึ่งสามารถนำมาหาคาบเวลาและความสูงคลื่นตรวจสอบกับค่าที่คำนวณจากโปรแกรมได้

3) พลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ข้อมูล การวิเคราะห์ความถี่ข้อมูลคลื่นโดยใช้โปรแกรม วิเคราะห์ความถี่จะได้ค่าของความหนาแน่นของพลังงานคลื่น กับความถี่ ของชุดข้อมูลคลื่นแต่ละกรณี เมื่อนำมากราฟสร้าง ดังรูป 3-19 แสดงถึงความถี่ของข้อมูลที่มีความหนาแน่นของพลังงานมากที่สุด จาก รูป 3-19 กรณีการทดลอง 30A2 มีความหนาแน่นของพลังงานมากที่สุดที่ความถี่ 0.65 Hz และมีเพียงค่าเดียว หมายถึงข้อมูลคลื่นส่วนใหญ่มีความถี่ 0.65 Hz ซึ่งเป็นลักษณะของคลื่นที่มีความสม่ำเสมอมาก (regular wave)

4) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลอง แสดงแนวชายฝั่งที่ปรับตัวจนสมดุลงกับลักษณะคลื่น ทิศทางของคลื่น และระยะห่างระหว่างโครงสร้างคันตักตะกอน แสดงในรูป 3-20

ตาราง 3-3 รายละเอียดคำอธิบายตารางสรุปผลการทดลอง

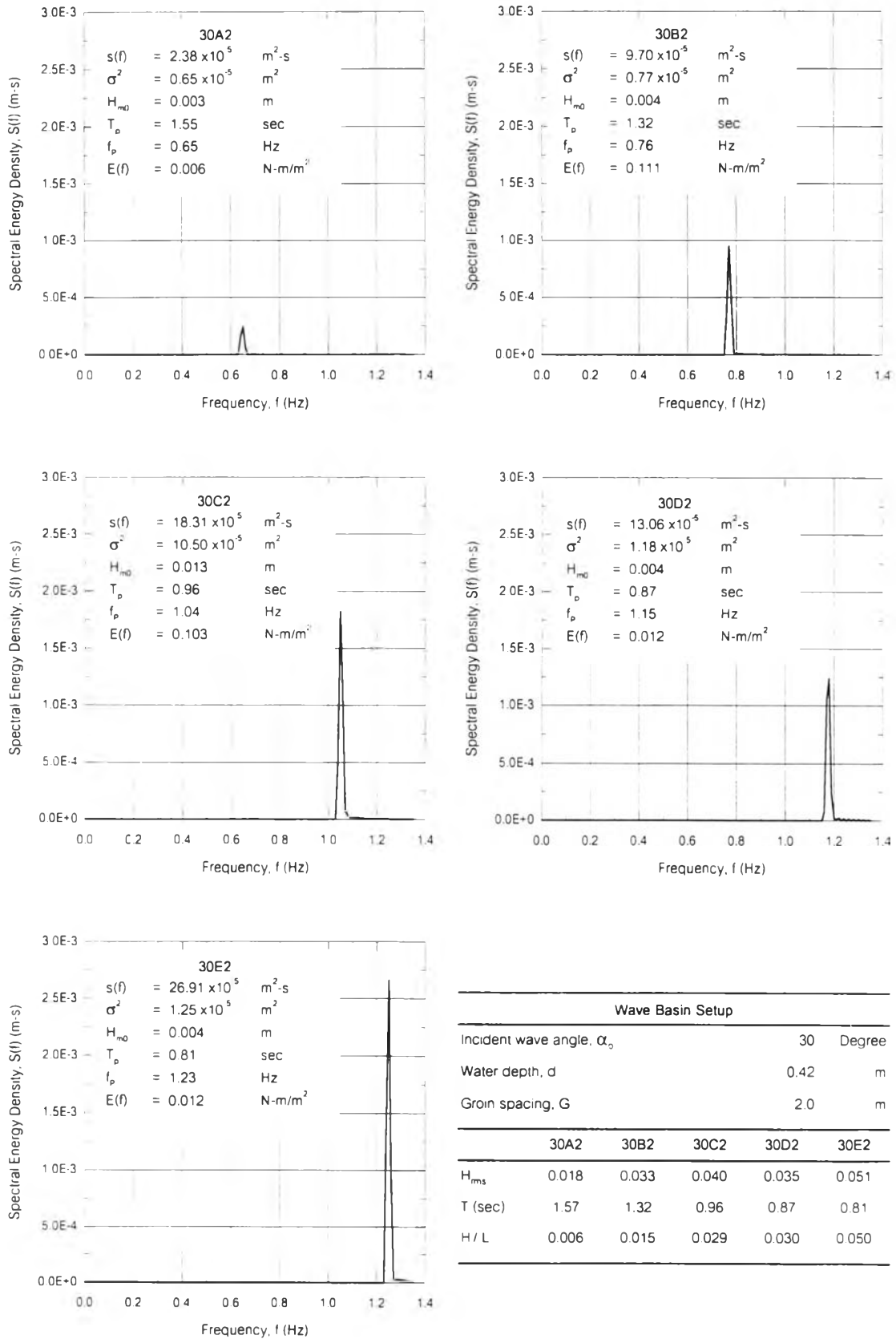
	ข้อมูลจากการบันทึกและการคำนวณ	การกำหนดค่าตัวแปร (หน่วย)	
การติดตั้งโครงสร้าง คันดักตะกอน	- ความลึกน้ำในแอ่งคลื่น - ระยะห่างระหว่างโครงสร้างคันดัก - มุมของคลื่นที่กระทำกับแนวชายฝั่ง	d G, G' a	m. m. degree
ข้อมูลคลื่น	- เวลาในการบันทึก - จำนวนข้อมูลคลื่น	- -	sec -
ลักษณะคลื่นในแอ่งคลื่น (จากการวัดและการ คำนวณ)	- ความสูงคลื่น - ความยาวคลื่น - คาบเวลาคลื่น - ความถี่คลื่น - ความเร็วคลื่น - ความชันคลื่น - พลังงานคลื่น - กำลังคลื่น	$H_{rms}$ , $H_s$ , $H_{m0}$ $L_c$ T f $C_c$ $H_{rms}/L$ E P	m. m. sec Hz $m^2/s$ - $N\text{-}m/m^2$ $N\text{-}m/s/m$
ลักษณะคลื่นในน้ำลึก (ได้จากการคำนวณ)	- ความสูงคลื่นในน้ำลึก - ความยาวคลื่นในน้ำลึก - ความชันคลื่นในน้ำลึก	$H_0$ $L_0$ $H_0/L_0$	m. m. -
ลักษณะคลื่นบริเวณ ทางเข้าอ่าวสมดุ (ได้จากการคำนวณ)	- สัมประสิทธิ์การหักเหของคลื่น - สัมประสิทธิ์การกระจายของคลื่น - ความสูงคลื่น - ความยาวคลื่น - ความเร็วคลื่น - พลังงานคลื่น - กำลังคลื่น - พลังงานคลื่นที่ผ่านช่องว่างระหว่าง เขื่อนเข้ามาระทบชายฝั่ง	- - $H_{ent}$ $L_{ent}$ $C_{ent}$ $E_{ent}$ $P_{ent}$ $T_{gap}$	- - m. m. m/s $N\text{-}m/m^2$ $N\text{-}m/s/m$ N-m/s
การแตกตัวของคลื่น	- ดัชนีความสูงคลื่นแตกตัว - ความสูงคลื่นแตกตัว - ความลึกน้ำบริเวณคลื่นแตกตัว	$H_b/H_0$ $H_b$ $d_b$	- m. m.
การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง (ได้จากการวัดการ เปลี่ยนแปลงชายฝั่งเมื่อ ชายฝั่งมีสภาพสมดุ)	- ความยาวชายฝั่ง - ระยะเว้าของชายฝั่ง - ความลาดชันชายฝั่ง - ความลึกน้ำบริเวณคลื่นแตกตัว - ระยะจากแนวชายฝั่งที่ระดับน้ำนิ่ง ถึงบริเวณคลื่นแตกตัว	P S 1:n $d'_b$ $a_b$	m. m. - m. m.

ตาราง 3-4 ตัวอย่างตารางสรุปข้อมูลการทดลอง กรณีมุม  $\alpha_0=30^\circ$  และ  $G=2.00$  เมตร (30A2 ถึง 30E2)

Run No.	30A2	30B2	30C2	30D2	30E2	Remark
<b>Setup Condition</b>						
<b>Groin Setup</b>						
Water depth in wave basin, d (m)	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	
Groin spacing, G (m)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Effective spacing, G' (m)	1.932	1.932	1.932	1.932	1.932	
Incident wave angle, $\alpha_0$ (degree)	30	30	30	30	30	
<b>Wave Characteristics</b>						
Transitional Water at Mid Basin ( recorder, d = 0.42 m.)						
Time of the record (sec)	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	
Numbers of wave data	572	681	934	1,045	1,112	
Statistic Analysis ( Time Domain )						
Root mean square wave height, $H_{rms}$ (m)	0.018	0.033	0.040	0.035	0.051	$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum H^2}$
Significant wave period, $T_s$ (sec)	1.57	1.32	0.96	0.87	0.81	$L_d = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_d}\right)$
Wave length, $L_d$ (m)	2.816	2.237	1.376	1.155	1.012	$C_d = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_d}\right) = \frac{L_d}{T}$
Wave celerity, $C_d$ (m/s)	1.793	1.695	1.434	1.328	1.249	$\bar{E} = \frac{\rho g H_{rms}^2}{8}$
Wave steepness, $H_{rms}/L_d$	0.006	0.015	0.029	0.030	0.050	$\bar{P} = \bar{E} C_d = \frac{1}{2} \bar{E} C$
Wave energy, $E_d$ ( N-m/m <sup>2</sup> )	0.397	1.335	1.961	1.502	3.188	$S(f)\Delta f = \sum_{i=1}^{i+\Delta f} \frac{H_{rms}^2}{2}$
Energy flux, $P_d$ (N-m/s per m. of wave crest)	0.356	1.131	1.406	0.997	1.991	$\sigma^2 = \int_0^{\infty} S(f) df = m_0$
Spectral Analysis ( Frequency Domain )						
Spectral energy density at $f_p$ , $S(f)$ ( $\times 10^5$ m <sup>2</sup> -s )	2.38	9.70	18.31	13.06	26.91	$H_{rms} = 4\sigma$
Spectral variance, $s^2$ ( $\times 10^6$ m <sup>2</sup> )	0.65	0.77	10.50	1.18	1.25	$T_p = \frac{1}{f_p}$
Zeroth-moment wave height, $H_{m0}$ (m)	0.003	0.004	0.013	0.004	0.004	$\bar{E}(f) = \rho g \sigma^2 = \rho g \int_0^{\infty} S(f) df = \rho g \frac{H_{rms}^2}{16}$
Peak spectra period, $T_p$ (sec)	1.55	1.32	0.96	0.87	0.81	$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$
Peak frequency, $f_p$ (Hz)	0.65	0.76	1.04	1.15	1.23	$H_0 = \frac{H}{K_s}$
Wave energy, $E(f)$ ( N-m/m <sup>2</sup> )	0.006	0.008	0.103	0.012	0.012	
Deep Water ( calculated )						
Wave period, T (sec)	1.55	1.32	0.96	0.87	0.81	
Wave length, $L_0$ (m)	3.750	2.719	1.438	1.181	1.024	
Wave height, $H_0$ (m)	0.019	0.036	0.042	0.036	0.052	
Wave steepness, $H_0/L_0$	0.005	0.013	0.029	0.031	0.051	

ตาราง 3-4 (ต่อ) ตัวอย่างตารางสรุปข้อมูลการทดลอง กรณีมุม  $\alpha_0=30^\circ$  และ  $G=2.00$  เมตร (30A2 ถึง 30E2)

Run No.	30A2	30B2	30C2	30D2	30E2	Remark
<b>Wave Characteristics (cont.)</b>						
<b>At Entrance</b>						
Avg. water depth, $d_{ent}$ (m.)	0.083	0.081	0.101	0.098	0.095	
Wave length, $L_{ent}$ (m.)	1.384	1.140	0.885	0.778	0.706	
Wave celerity, $C_{ent}$ (m/s)	0.882	0.863	0.922	0.895	0.871	
Shoaling coef. , $K_s$	1.206	1.127	0.971	0.951	0.939	$L_{ent} = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_{ent}}\right)$
$\alpha = \sin^{-1}(C/C_0) \sin \alpha_0$	5.532	6.413	9.824	10.670	11.272	
Refraction coef. , $K_r$	0.954	0.955	0.959	0.960	0.961	$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_{ent}}\right)$
Energy flux , $P_{ent}$ (N-m/s per m. of wave crest) ( rate of energy per unit crest width )	0.542	1.601	1.751	1.205	2.375	$H_{ent} = H_0 K_r K_s$
Total energy passing gap, $T_{gap}$ (N-m/s)	1.046	3.093	3.383	2.328	4.589	$\bar{E}_{ent} = \frac{\rho g H_{rms}^2}{8}$
<b>At Breaking</b>						
<b>Munk (1949)</b>						
Breaker height index, $H_b/H_0$	1.750	1.279	0.982	0.967	0.817	$\bar{P}_{ent} = \bar{E}_{ent} C_{ent}$
Breaking height, $H_b$ (m.)	0.034	0.046	0.042	0.035	0.043	$T_{gap} = \bar{P}_{ent} G' = \bar{P}_{ent} (G \cos \alpha_0)$
Breaking depth, $d'_b$ (m.)	0.044	0.059	0.053	0.045	0.055	$\frac{H_b}{H_0} = \frac{1}{3.3(H_0/L_0)^{1/3}}$
<b>Weggle (1972)</b>						
Breaker height index, $H_b/H_0$	1.925	1.400	1.213	1.213	1.100	$\frac{d'_b}{H_b} = 1.28$ (Munk)
Breaking height, $H_b$ (m.)	0.037	0.051	0.051	0.044	0.057	$\frac{d'_b}{H_b} = \frac{1}{b - \left(\frac{aH_b^2}{gT^2}\right)}$ (Weggle)
$d'_b/H_b$	0.668	0.694	0.736	0.739	0.788	$a = 43.75(1 - e^{-19m})$
Breaking depth, $d'_b$ (m.)	0.025	0.035	0.038	0.033	0.045	$b = \frac{1.56}{(1 + e^{-19.5m})}$
<b>Beach Formation</b>						
<b>Equilibrium Bays</b>						
Beach length P (m)	2.040	2.048	2.070	2.082	2.128	$*K_s = \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \frac{(4\pi d/L)}{\sinh(4\pi d/L)}\right] \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)}}$
Bay depth, S (m.)	0.398	0.408	0.494	0.464	0.596	
Beach slope 1: $n_1$	1.61	1.62	1.71	1.82	1.67	$*K_r = \left[\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}\right]^{1/2}$
Beach slope 1: $n_2$	1.60	1.64	1.66	1.74	1.69	
Beach slope 1: $n_3$	1.54	1.61	1.74	1.67	1.77	
Avg. beach slope 1: n	1.58	1.62	1.70	1.74	1.71	
Bottom slope m	1.237	1.362	1.24	1.218	1.21	
Breaking depth , $d'_b$ (m)	0.021	0.021	0.028	0.030	0.028	
$a_b$ (m)	0.190	0.160	0.310	0.440	0.430	
Total energy passing gap, $T_{gap}$ (N-m/s)	1.046	3.093	3.383	2.328	4.589	
Avg. energy per beach lengths, $T_{gap}/P$ (N-m/s per m. of beach lengths)	0.513	1.510	1.634	1.118	2.156	

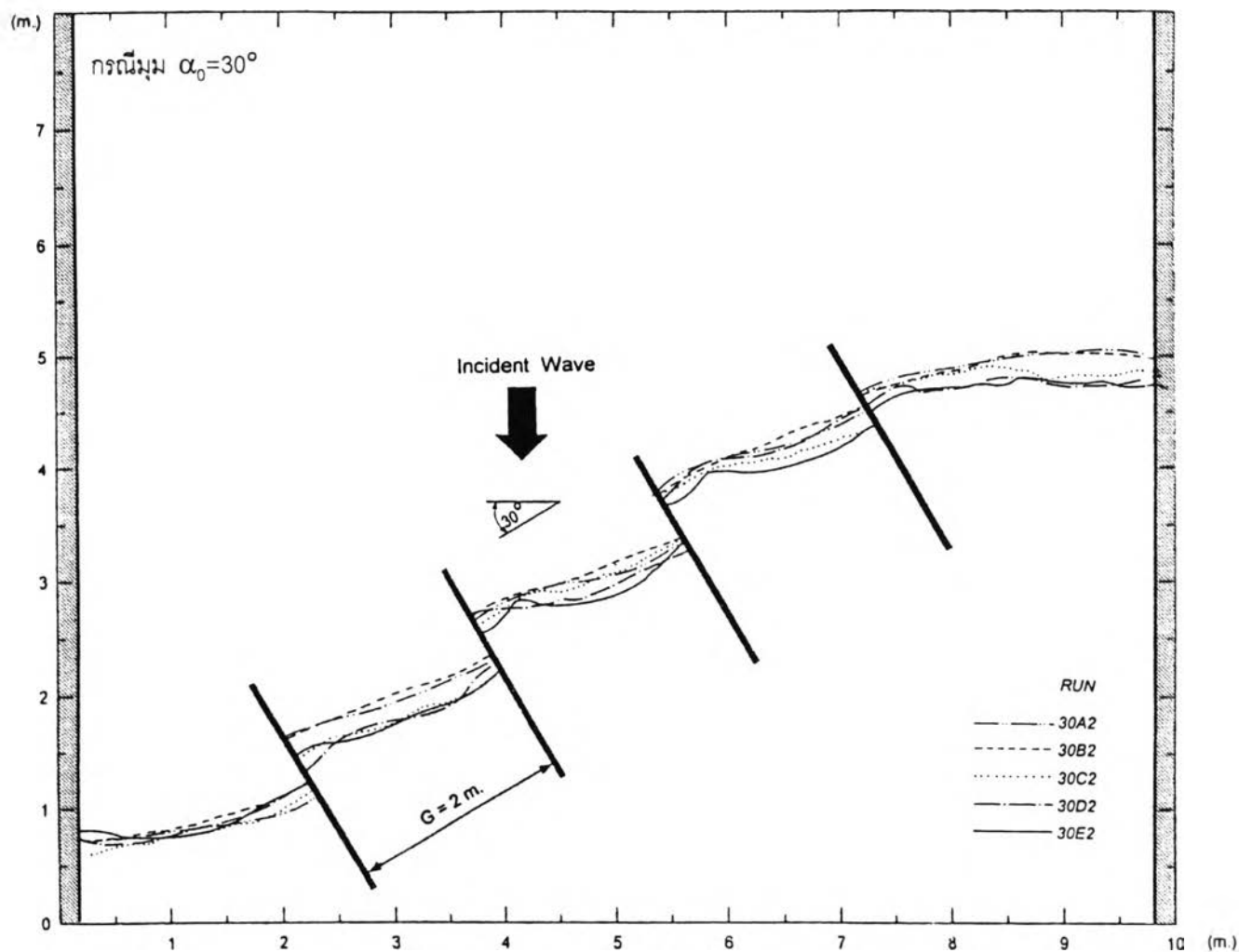


รูป 3-19 ตัวอย่างพลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ กรณีมุม  $\alpha_0=30^\circ$  และ  $G=2.00$  เมตร (30A2 ถึง 30E2)

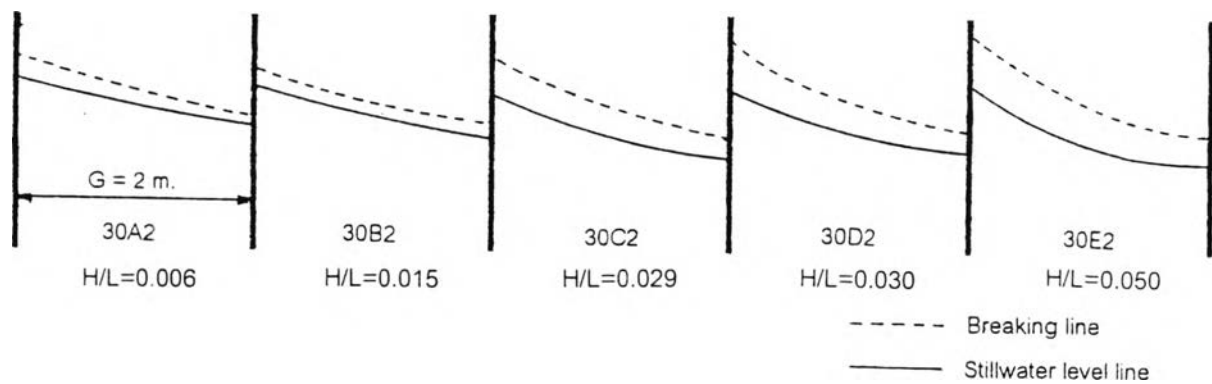
5) ลักษณะชายฝั่งสมดุลงอเลีย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งสมดุลงในแต่ละการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งสมดุลงในแต่ละอ่าวไม่เท่ากัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากอิทธิพลของท้องน้ำ และตำแหน่งของโครงสร้าง รวมทั้งความยาวของโครงสร้าง จึงต้องหาลักษณะชายฝั่งสมดุลงอเลีย เพื่อเป็นตัวแทนชายฝั่งสมดุลงในแต่ละการทดลอง รูป 3-21 แสดงตัวอย่างชายฝั่งสมดุลงอเลีย กรณีคลื่นทำมุม  $30^{\circ}$  และระยะห่างระหว่างโครงสร้าง 2 เมตร

6) การเปลี่ยนแปลงรูปตัดด้านข้างของชายฝั่งที่สมดุลงอเลียกับลักษณะคลื่น และกระแสน้ำ แสดงในรูป 3-22

สำหรับสรุปผลการศึกษาทั้งหมดของกรณีศึกษา มุมของคลื่นเท่ากับ  $15^{\circ}$   $30^{\circ}$  และ  $45^{\circ}$  จัดไว้ในภาคผนวก ค ง และ จ ตามลำดับ

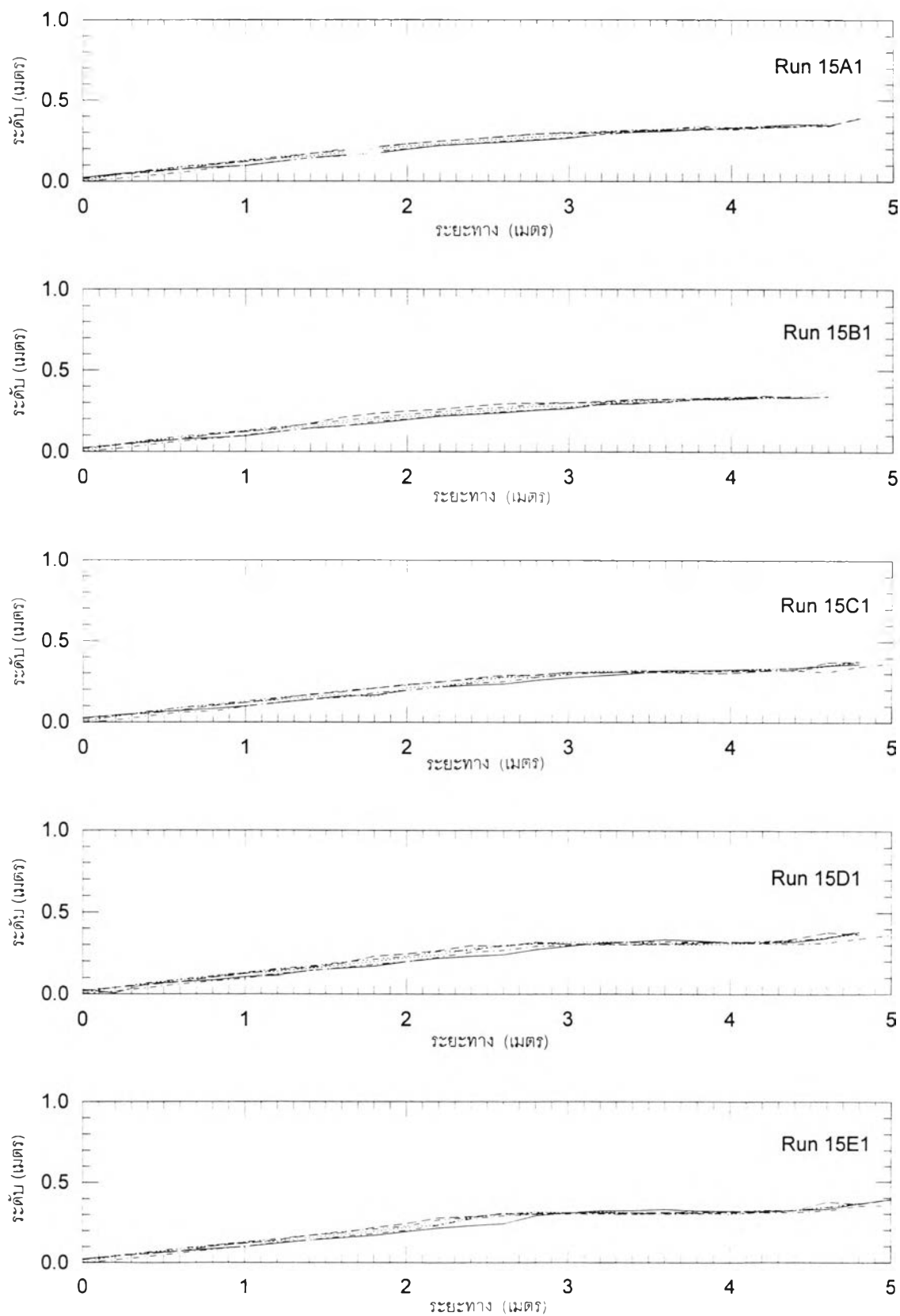


รูป 3-20 ตัวอย่างแนวชายฝั่งสมดุลงกรณี  $\alpha = 30^\circ$  และ  $G = 2.00 \text{ m.}$  (30A2 ถึง 30E2)



รูป 3-21 ตัวอย่างแนวชายฝั่งสมดุลงเคตี่ยกรณี  $\alpha = 30^\circ$  และ  $G = 2.00 \text{ m.}$  (30A2 ถึง 30E2)





รูป 3-22 ตัวอย่างรูปตัดด้านข้างของชายฝั่งสมมุติ กรณี  $\alpha=15^\circ$  และ  $G=1.00$ ม. (15A1 ถึง 15E1)