

ผลของการจัดเรียงแนวเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มต่อลักษณะคลื่น



นายเมธาฤทธิ นามสัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# EFFECTS OF PILE BREAKWATER LAYOUT ON WAVE CHARACTERISTICS

Mr.Matharit Namsai



ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Water Resources Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของการจัดเรียงแนวเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มต่อลักษณะ  
คลื่น

โดย

นายเมธาฤทธิ์ แนมสัย


สาขาวิชา

วิศวกรรมแหล่งน้ำ


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทรโยธา


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรณรงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทรโยธา)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ กิตติสุนทร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมธาฤทธิ์ แนมลัย : ผลของการจัดเรียงแนวเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มต่อลักษณะคลื่น (EFFECTS OF PILE BREAKWATER LAYOUT ON WAVE CHARACTERISTICS)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.เสรี จันทโรยธา, 304 หน้า.

การศึกษาผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอกที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น บริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่น ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองกายภาพ ณ ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีรูปแบบของการจัดเรียงเสาเข็มรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.85 ซม. จำนวน 38 ต้น ที่มีความยาวของเขื่อนกันคลื่นและจำนวนเสาเข็มที่เท่ากัน ได้ทำการจัดเรียงแบบ 2 แถว ทั้งแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลา จัดเรียงโดยมีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็ม (b) คงที่เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม แต่เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B) ตั้งแต่ 0 ถึง 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม การทดลองทำในแบบจำลองอ่างคลื่นที่มีท้องน้ำเป็นแบบไม่เปลี่ยนแปลง คลื่นที่ศึกษาเป็นคลื่นที่มีขนาดสม่ำเสมอสร้างด้วยเครื่องกำเนิดคลื่น มีความชันคลื่น ( $H_w/gT^2$ ) อยู่ในช่วง 0.0035 ถึง 0.0180

ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นเพิ่มขึ้นในลักษณะเอ็กซ์โพเนนเชียล เมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้นทุกรูปแบบของการจัดเรียง ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึง แนวโน้มของการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น ที่มีลักษณะเอ็กซ์โพเนนเชียลกับการเพิ่มขึ้นของช่องว่างระหว่างแถวในกรณีของการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา ส่วนกรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันพบว่า เมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 0.5 เท่าของขนาดเสาเข็ม การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นเมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นมากกว่า 0.5 เท่าของขนาดเสาเข็ม การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นมีแนวโน้มลดลงในลักษณะเอ็กซ์โพเนนเชียล การจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลาไม่ส่งผลต่อการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นแตกต่างจากการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยการจัดเรียงทั้ง 2 รูปแบบทำให้ความสูงคลื่นและพลังงานคลื่นลดลงประมาณ 6.5 และ 13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ภาควิชา..... วิศวกรรมแหล่งน้ำ..... ลายมือชื่อนิสิต..... เมธาฤทธิ์ แนมลัย.....  
สาขาวิชา..... วิศวกรรมแหล่งน้ำ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ปีการศึกษา..... 2552.....



## 4970516021 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS : EXPERIMENTAL INVESTIGATION / PILE BREAKWATER / WAVE CHARACTERISTICS

MATHARIT NAMSAI : EFFECTS OF PILE BREAKWATER LAYOUT ON WAVE

CHARACTERISTICS. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.SEREE CHANYOTHA, 304 pp.

The effects of the arrangement of the circular pile breakwater on wave characteristics and wave energy dissipation behind the breakwater were experimentally investigated at the Hydraulic and Coastal Model Laboratory, Department of Water Resources Engineering, Chulalongkorn University. Thirty eight piles of 4.85 cm in diameter were differently arranged in two equally-spaced pile rows by keeping the breakwater length and the number of piles constantly. The double row pile breakwaters were arranged in both rectangle and staggering shapes with a constant side-by-side clear spacing of 1-time pile diameter. However, clear spacing of the pile rows were varied from 0 to 2-times pile diameter. The experiment was carried out in the rigid bed wave basin under the steady regular wave generated by the wave generator with the wave steepness ( $H_N/gT^2$ ) ranged from 0.0035 to 0.0180.

The experiment results indicated that the reduction of wave height and the dissipation of wave energy increased exponentially as the wave steepness increased for all arrangements. The experiment results showed an exponential decrease tendency in wave height reduction and wave energy dissipation as the clear spacing of the pile rows increased for staggering arrays of the double row. However, the wave height reduction and wave energy dissipation for the double row with rectangle arrays increased as the clear spacing of the pile rows increased up to 0.5-times pile diameter and then decreased exponentially for the clear spacing of the pile rows greater than 0.5-times pile diameter. Staggering and rectangle arrays of the double row pile breakwater resulted in insignificantly different reduction of wave height and wave energy. Both arrangements reduced wave height and wave energy about 6.5 and 13.5 percents, respectively.

Department : .....WATER RESOURCES ENGINEERING.....

Field of study : .....WATER RESOURCES ENGINEERING.....

Academic year : .....2009.....

Student's signature..........

Advisor's signature..........

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ท่านรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย และท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ กิติสุนทร ที่ได้กรุณาสละเวลาในการให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธา ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ทั้งในด้านหลักวิชาการและหลักการปฏิบัติ ตลอดจนปรัชญาการใช้ชีวิตอันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าอย่างเอาใจใส่มาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ทั้งนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา และอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการศึกษา

ข้าพเจ้าขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนบางส่วนเพื่อใช้ในการทำวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องสถานที่ เครื่องมือในการทดลอง รวมทั้งสาธารณูปโภคต่างๆ รวมทั้งขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเลทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกต่างๆ เป็นอย่างดีขณะทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณวันวิสา มะมา ที่ช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดจนถึง พี่ เพื่อน น้องและบุคคลท่านอื่นๆ ที่มีได้กล่าวนาม ณ ที่นี้ซึ่งได้มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานด้านต่างๆ และคอยเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้าในขณะที่ทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของข้าพเจ้าผู้ซึ่งให้ความรัก ความเอาใจใส่ รวมทั้งอดทนต่อความเหน็ดเหนื่อย เพื่อให้การสนับสนุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้าตลอดมา รวมทั้งเป็นที่ยึดเหนี่ยวและแรงบันดาลใจในการนำไปสู่ความสำเร็จทั้งหมดในชีวิตของข้าพเจ้า ประโยชน์ที่ก่อให้เกิดกุศลอันใดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ หากพึงมี ข้าพเจ้าใคร่ขอมอบอุทิศให้แก่ พ่อ แม่ ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทั้งหลาย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบข่ายการศึกษา.....	4
1.4 การดำเนินงานศึกษา.....	7
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	7
บทที่ 2 แนวทางการศึกษาและหลักการ.....	9
2.1 กลศาสตร์ของคลื่น.....	9
2.2 พลังงานคลื่น.....	11
2.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น.....	15
2.4 การสลายพลังงานคลื่น.....	18
2.5 การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ.....	19
2.6 การศึกษาที่ผ่านมา.....	22
บทที่ 3 แบบจำลองชลศาสตร์และการทดลอง.....	27
3.1 แบบจำลองชลศาสตร์.....	27
3.2 การวัดและวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น.....	34
3.3 การออกแบบการทดลอง.....	36
3.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	38
3.5 การตรวจสอบคลื่นในอ่างคลื่น.....	43
3.6 ผลการทดลอง.....	51

	หน้า
บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์.....	62
4.1 พฤติกรรมและกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นในแบบจำลอง.....	63
4.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น.....	65
4.3 ผลของความชันคลื่น.....	75
4.4 ผลของช่องว่างระหว่างแถว.....	86
4.5 ความสัมพันธ์ร่วมของความชันคลื่นและช่องว่างระหว่างแถว.....	91
4.6 การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลา.....	98
4.7 การประมาณค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น.....	102
4.8 การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับแบบ 1 แถว.....	104
4.9 การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับการจัดเรียงแบบ 3 แถว.....	111
บทที่ 5 สรุปและเสนอแนะ.....	116
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	116
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	126
รายการอ้างอิง.....	128
ภาคผนวก.....	131
ภาคผนวก ก แบบจำลองกายภาพชลศาสตร์และอุปกรณ์การทดลอง.....	132
ภาคผนวก ข การปรับเทียบอุปกรณ์การทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น.....	149
ภาคผนวก ค การตรวจสอบคลื่นในอ่างคลื่น.....	159
ภาคผนวก ง ข้อมูลจากการทดลอง.....	194
ภาคผนวก จ การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น.....	232
ภาคผนวก ฉ การศึกษาพื้นที่ด้านหน้าเชื่อมกันคลื่น.....	270
ภาคผนวก ช สรุปผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเชื่อมกันคลื่นแบบเส้าเข็ม.....	292
ภาคผนวก ซ สรุปสัญลักษณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....	300
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	304



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติคลื่นในช่วงความถี่ต่าง.....	10
ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์คลื่นที่ใช้ในงานวิศวกรรมชายฝั่ง.....	36
ตารางที่ 3-2 แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มในกรณีศึกษาทั้งหมด 12 กรณีศึกษา.....	37
ตารางที่ 3-3 ลักษณะคลื่นที่ใช้ในการศึกษา.....	38
ตารางที่ 3-4 รายละเอียดกรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่น....	40
ตารางที่ 3-5 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง.....	46
ตารางที่ 3-6 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง.....	46
ตารางที่ 3-7 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี $H_N/gT^2$ เท่ากับ 0.0180.....	58
ตารางที่ 3-8 ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ด้วยวิธีเฉลี่ยเลขคณิต.....	61
ตารางที่ 3-9 ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ด้วยวิธีเฉลี่ยจากเส้นชั้น อัตราส่วนลดความสูงคลื่น.....	61
ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณและค่าคงที่ในสมการที่ (4-5) ที่ให้ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด กับข้อมูลการทดลองของแต่ละรูปแบบการจัดเรียง.....	77
ตารางที่ 4-2 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณและค่าคงที่ในสมการที่ (4-6) ที่ให้ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด กับข้อมูลการทดลองของแต่ละรูปแบบการจัดเรียง.....	77
ตารางที่ 4-3 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ (a) และค่าเลขยกกำลัง (b) ในสมการ (4-5) กรณีการ จัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน.....	92
ตารางที่ 4-4 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ (a') และค่าเลขยกกำลัง (b') ในสมการ (4-6) กรณีการ จัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน.....	93
ตารางที่ 4-5 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ (a) และค่าเลขยกกำลัง (b) ในสมการ (4-5) กรณีการ จัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา.....	95
ตารางที่ 4-6 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ (a') และค่าเลขยกกำลัง (b') ในสมการ (4-6) กรณีการ จัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา.....	96
ตารางที่ 5-1 ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของแต่ละ รูปแบบการ จัดเรียง.....	118
ตารางที่ 5-2 ค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) เฉลี่ย ของการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน.....	120

ตารางที่ 5-3 ค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) เฉลี่ย ของการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา.....	120
ตารางที่ 5-4 ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของการจัดเรียงแบบ 2 แถว.....	123
ตารางที่ 5-5 ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของการจัดเรียงแบบ 2 แถวและแบบ 1 แถว.....	124
ตารางที่ 5-6 ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของการจัดเรียงแบบ 2 แถวและแบบ 3 แถว.....	126



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

รูปที่ 1-1 ตัวอย่างเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มในประเทศไทย.....	2
รูปที่ 1-2 รายละเอียดแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม.....	6
รูปที่ 2-1 นิยามพารามิเตอร์คลื่น.....	10
รูปที่ 2-2 การเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าสู่หน้าตื้น.....	11
รูปที่ 2-3 รูปสำหรับใช้อธิบายการหาพลังงานศักย์.....	13
รูปที่ 2-4 รูปสำหรับใช้อธิบายการหาพลังงานจลน์.....	14
รูปที่ 2-5 ลักษณะของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม.....	17
รูปที่ 2-6 การกระจายของคลื่น.....	17
รูปที่ 3-1 แบบจำลองแอ่งคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม.....	28
รูปที่ 3-2 รูปตัดแบบจำลองแอ่งคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม A-A	29
รูปที่ 3-3 รายละเอียดแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม.....	31
รูปที่ 3-4 ตัวอย่างแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่ใช้ในการทดลอง.....	32
รูปที่ 3-5 เครื่องมือวัดความสูงคลื่น (wave height meter).....	33
รูปที่ 3-6 เครื่องมือวัดระดับน้ำ (point gauge).....	33
รูปที่ 3-7 ตำแหน่งวัดข้อมูลคลื่นในแบบจำลองทุกกรณีศึกษา.....	35
รูปที่ 3-8 การติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นในแอ่งคลื่น.....	41
รูปที่ 3-9 แผนผังขั้นตอนการทดลอง.....	42
รูปที่ 3-10 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับเวลาในช่วง 24 ชั่วโมง ณ ตำแหน่ง ต่างๆ.....	47
รูปที่ 3-11 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับเวลาในช่วง 1 ชั่วโมง ณ ตำแหน่งต่างๆ	48
รูปที่ 3-12 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (H) กับระยะทางในทิศทางคลื่น (X) กรณีไม่มีเขื่อน (T=1 sec).....	49
รูปที่ 3-13 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (H) กับระยะทางในทิศทางคลื่น (X) กรณีไม่มีเขื่อน	49
รูปที่ 3-14 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (H) กับระยะทางในทิศทางคลื่น (X) พิจารณาใน แต่ละแนวตั้งฉากกับทิศทางคลื่น (Y) กรณีไม่มีเขื่อน.....	50
รูปที่ 3-15 ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการทดลองกรณี 2 แถวสลัฟพื้นปลา C1W1 ถึง C1W8 ที่ตำแหน่ง (X/L <sub>B</sub> เท่ากับ 0.25, Y/L <sub>B</sub> เท่ากับ 0).....	53
รูปที่ 3-16 การสร้างเส้นชั้นค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น (K <sub>p</sub> ).....	55

รูปที่ 3-17 ตัวอย่างเส้นชั้นค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) กรณี $H_o/gT^2$ เท่ากับ 0.018	56
รูปที่ 4-1 การสะท้อนของคลื่นจากการทดลอง.....	64
รูปที่ 4-2 ความปั่นป่วนของน้ำระหว่างแถวของเขื่อนกันคลื่น.....	65
รูปที่ 4-3 ลักษณะของคลื่นหลังผ่านเขื่อนกันคลื่น.....	65
รูปที่ 4-4 ตัวอย่างเส้นชั้นค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ( $K_p$ ) กรณี $H_N/gT^2$ เท่ากับ 0.0180.....	67
รูปที่ 4-5 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_{P(X/Y)}$ กับ $X/L_B$ กรณี $H_N/gT^2$ เท่ากับ 0.0035.....	69
รูปที่ 4-6 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_{P(Y/X)}$ กับ $Y/L_B$ กรณี $H_N/gT^2$ เท่ากับ 0.0089.....	73
รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ของค่า $\bar{K}_{P(A)}$ , $\phi_H$ และ $\phi_E$ กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณีจัดเรียง แบบ 3 แถวสลับ.....	78
รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ของค่า $\bar{K}_{P(A)}$ , $\phi_H$ และ $\phi_E$ กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณีจัดเรียง แบบ 2 แถวตรงที่ B/D เท่ากับ 0.....	78
รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ของค่า $\bar{K}_{P(A)}$ , $\phi_H$ และ $\phi_E$ กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณีจัดเรียง แบบ 2 แถวตรงที่ B/D เท่ากับ 0.5.....	79
รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ของค่า $\bar{K}_{P(A)}$ , $\phi_H$ และ $\phi_E$ กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณี จัดเรียงแบบ 2 แถวตรงที่ B/D เท่ากับ 1.....	79
รูปที่ 4-11 ความสัมพันธ์ของค่า $\bar{K}_{P(A)}$ , $\phi_H$ และ $\phi_E$ กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณี จัดเรียงแบบ 2 แถวตรงที่ B/D เท่ากับ 1.5.....	80
รูปที่ 4-12 ความสัมพันธ์ของค่า $\bar{K}_{P(A)}$ , $\phi_H$ และ $\phi_E$ กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณี จัดเรียงแบบ 2 แถวตรงที่ B/D เท่ากับ 0.....	80
รูปที่ 4-13 ความสัมพันธ์ของค่า $\bar{K}_{P(A)}$ , $\phi_H$ และ $\phi_E$ กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณี จัดเรียงแบบ 2 แถวสลับที่ B/D เท่ากับ 0.....	81
รูปที่ 4-14 ความสัมพันธ์ของค่า $\bar{K}_{P(A)}$ , $\phi_H$ และ $\phi_E$ กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณี จัดเรียงแบบ 2 แถวสลับที่ B/D เท่ากับ 0.5.....	81
รูปที่ 4-15 ความสัมพันธ์ของค่า $\bar{K}_{P(A)}$ , $\phi_H$ และ $\phi_E$ กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณี จัดเรียงแบบ 2 แถวสลับที่ B/D เท่ากับ 1.....	82
รูปที่ 4-16 ความสัมพันธ์ของค่า $\bar{K}_{P(A)}$ , $\phi_H$ และ $\phi_E$ กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณี จัดเรียงแบบ 2 แถวสลับที่ B/D เท่ากับ 1.5.....	82

รูปที่ 4-17 ความสัมพันธ์ของค่า $\bar{K}_{P(A)}$ , $\phi_H$ และ $\phi_E$ กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณี จัดเรียงแบบ 2 แถวสลับที่ B/D เท่ากับ 2.....	83
รูปที่ 4-18 ความสัมพันธ์ของค่า $\bar{K}_{P(A)}$ , $\phi_H$ และ $\phi_E$ กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณี จัดเรียงแบบ 1 แถว.....	83
รูปที่ 4-19 ผลของระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) ต่อค่า $\phi_H$ รวมทุกค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรง.....	88
รูปที่ 4-20 ผลของระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) ต่อค่า $\phi_E$ รวมทุกค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรง.....	88
รูปที่ 4-21 ผลของระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) ต่อค่า $\phi_H$ รวมทุกค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับ.....	90
รูปที่ 4-22 ผลของระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) ต่อค่า $\phi_E$ รวมทุกค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับพื้นปลา.....	90
รูปที่ 4-23 ความสัมพันธ์ของค่า $\phi_H$ กับ ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยก กำลังคงที่ (b เท่ากับ 0.695) รวมทุกช่องว่างระหว่างแถว กรณี 2 แถวตรง.....	94
รูปที่ 4-24 ความสัมพันธ์ของค่า $\phi_E$ กับ ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยก กำลังคงที่ (b เท่ากับ 0.726) รวมทุกช่องว่างระหว่างแถว กรณี 2 แถวตรง.....	94
รูปที่ 4-25 ความสัมพันธ์ของค่า ( $\phi_H$ ) กับ ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยก กำลังคงที่ (b เท่ากับ 0.593) รวมทุกช่องว่างระหว่างแถว กรณี 2 แถวสลับ.....	97
รูปที่ 4-26 ความสัมพันธ์ของค่า ( $\phi_E$ ) กับ ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยก กำลังคงที่ (b เท่ากับ 0.603) รวมทุกช่องว่างระหว่างแถว กรณี 2 แถวสลับ.....	97
รูปที่ 4-27 การเปรียบเทียบค่า ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกับแบบแถวสลับ.....	99
รูปที่ 4-28 ความแตกต่างของการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงและแบบ 2 แถวสลับ.....	101
รูปที่ 4-29 เปรียบเทียบค่า $\phi_H$ จากการคำนวณสมการที่ (4-9) กับค่าจากการทดลองกรณี 2 แถวสลับ.....	105
รูปที่ 4-30 เปรียบเทียบค่า $\phi_E$ จากการคำนวณสมการที่ (4-10) กับค่าจากการทดลองกรณี 2 แถวสลับ.....	105
รูปที่ 4-31 เปรียบเทียบค่า $\phi_H$ จากการคำนวณสมการที่ (4-11) และ (4-12) กับค่าจากการ ทดลองกรณี 2 แถวตรง.....	106



รูปที่ 4-32 เปรียบเทียบค่า $\phi_E$ จากการคำนวณสมการที่ (4-13) และ (4-14) กับค่าจากการ ทดลองกรณี 2 แถวตรง.....	106
รูปที่ 4-33 การเปรียบเทียบค่า $\bar{K}_{P(A)}$ ของจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกับแบบ 1 แถว.....	108
รูปที่ 4-34 การเปรียบเทียบค่า $\bar{K}_{P(A)}$ ของจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับกับแบบ 1 แถว.....	110
รูปที่ 4-35 การเปรียบเทียบค่า $(\bar{K}_{P(A)})$ ของจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกับแบบ 3 แถว.....	113
รูปที่ 4-36 การเปรียบเทียบค่า $(\bar{K}_{P(A)})$ ของจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา กับแบบ 3 แถว....	115



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

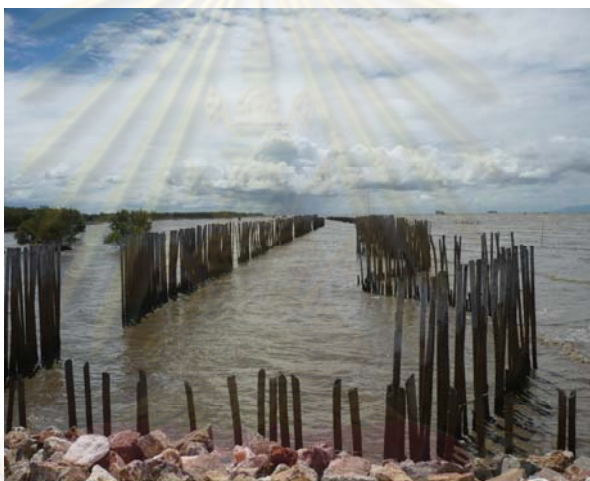
ประเทศไทยมีพื้นที่ติดทะเลทั้งฝั่งอ่าวไทยและทะเลอันดามัน มีชายฝั่งยาวกว่า 2,600 กิโลเมตร จากการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบัน ทำให้พื้นที่ชายฝั่งทะเลเป็นทั้งแหล่งที่อยู่อาศัย แหล่งท่องเที่ยว และแหล่งอุตสาหกรรมที่สำคัญ แต่พื้นที่ดังกล่าวมักประสบกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง อันเนื่องมาจากการกัดเซาะชายฝั่ง และการพังทลายของสิ่งปลูกสร้างบริเวณชายฝั่ง ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นล้วนแต่เกิดมาจากคลื่นที่มีความรุนแรง หรือคลื่นที่มีพลังงานมากเป็นสาเหตุหนึ่งที่สำคัญ ดังนั้นในการป้องกันและ/หรือแก้ไขปัญหาดังกล่าว แนวทางหนึ่งที่ใช้ในปัจจุบันคือการใช้โครงสร้างทางวิศวกรรมชายฝั่งในการลด หรือ สลายพลังงานคลื่น

เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (pile breakwater) ที่ประกอบด้วยเสาเข็มจัดเรียงเป็นแถวเดียว หรือหลายแถว เป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมชายฝั่งชนิดหนึ่ง ที่ทำหน้าที่สลายพลังงาน และลดความรุนแรงของคลื่นที่จะเข้าสู่ชายฝั่ง ซึ่งการลดความรุนแรงของคลื่นลงย่อมส่งผลต่อความสามารถในการนำพา หรือเคลื่อนย้ายมวลดินให้ลดลง ทำให้การกัดเซาะชายฝั่งลดลง และอาจส่งผลให้มวลดินตกตะกอนเพิ่มขึ้นอาจนำไปสู่การสูงขึ้นของท้องทะเล หรือการงอกของแผ่นดินได้ ข้อดีของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มคือ สามารถสร้างในพื้นที่ที่ไม่สามารถสร้างเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้ง ( rubble mound breakwater ) ได้ เช่น หาดโคลน อีกทั้งค่าก่อสร้างยังถูกกว่า และวิธีการก่อสร้างง่ายกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้ง ในต่างประเทศมีการศึกษาและใช้เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มในการกันคลื่นที่จะเข้าสู่ท่าเรือขนาดเล็ก ใช้ลดหรือสลายพลังงานคลื่นเพื่อลดความปั่นป่วนของน้ำบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่นที่ใช้เป็นพื้นที่พักผ่อนหย่อนใจ หรือ เพื่อทำกิจกรรมสันทนาการทางน้ำ ส่วนในประเทศไทย ได้มีการศึกษาและนำมาใช้ในงานป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งในบางพื้นที่ เช่น การใช้เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มคอนกรีตรูปสามเหลี่ยมในการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งที่บ้านขุนสมุทรจีน อ. พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ (ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ, 2551) และการใช้เสาไม้ไผ่เป็นแนวกันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 1-1

การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น และการสลายพลังงานคลื่น อันเนื่องมาจากผลของการจัดเรียงเสาเข็มในเขื่อนกันคลื่น เป็นกระบวนการที่มีความสลับซับซ้อน ไม่สามารถวิเคราะห์หาคำตอบในทางทฤษฎีล้วนได้อย่างน่าพอใจ อีกทั้งข้อมูลจริงจากภาคสนามที่มีอยู่อย่างจำกัด และค่าใช้จ่ายในการศึกษาและเก็บข้อมูลที่สูง ทำให้ในการศึกษาที่ผ่านมาถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น



ก) เสาไม้ไผ่หลายแถว ต.โคกขาม อ.เมือง จ.สมุทรสาคร



ข) เสาไม้ไผ่แบบ 2 แถว ต.แหลมฟ้าผ่า อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ



ค) เสาคอนกรีตรูปสามเหลี่ยมแบบ 3 แถว ต.แหลมฟ้าผ่า อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ  
รูปที่ 1-1 ตัวอย่างเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มในประเทศไทย

และการสลายพลังงานคลื่นจากผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์จากแบบจำลองกายภาพ (physical model) ดังปรากฏในการศึกษาของ Hayashi et al. (1966), Nagai (1966) Hayashi et al. (1968), Hutchison and Raudkivi (1984) ,Truitt and Herbich (1986) , Subba et al. (1999) และ Subba et al. (2002) เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า รูปแบบและการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น และการสลายพลังงานคลื่น โดยการจัดเรียงที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มน้อยการส่งผ่านของคลื่น (wave transmission) จะน้อย และเกิดการสะท้อนคลื่น (wave reflection) มาก ส่งผลให้เกิดการสลายพลังงานคลื่น (wave energy dissipation) ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นที่สูง แต่การจัดเรียงที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มน้อย ทำให้ต้องใช้จำนวนเสาเข็มมากขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการลงทุนที่สูงขึ้นและเกิดความยุ่งยากในการก่อสร้าง โดยทั่วไปในทางปฏิบัติจะใช้ช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มน้อยที่สุดเท่ากับขนาดของเสาเข็ม (Mani, 2008) นอกจากนี้การศึกษามากมายยังชี้ให้เห็นว่าการจัดเรียงที่มีช่องว่างมากกว่า 2 เท่าของขนาดเสาเข็มส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นน้อยลง เนื่องจากลักษณะความเป็นกลุ่มก้อนของเสาเข็ม (massiveness) ที่ลดน้อยลง

การลงทุนสร้างเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มขึ้นอยู่กับจำนวนเสาเข็มที่ใช้ เพื่อการลงทุนที่คุ้มค่า จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงรูปแบบของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นในการศึกษารังนี้ จึงได้ศึกษาถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น และการสลายพลังงานคลื่น อีกทั้งยังได้ศึกษาถึงผลของขนาดคลื่น ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษาวิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายหลักคือ ผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น (wave characteristics) หลังเขื่อนกันคลื่น โดยการศึกษาประกอบด้วย

- 1) ศึกษาผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น และการสลายพลังงานคลื่น
- 2) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงเสาเข็มในลักษณะที่แตกต่างกัน ที่ขนาดคลื่น (ความชันคลื่น) ขนาดต่างๆ
- 3) ศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น และขนาดคลื่น

4) เพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ในการใช้แบบจำลองกายภาพในการศึกษา และวิเคราะห์ปัญหาในงานวิศวกรรมชายฝั่ง

### 1.3 ขอบข่ายการศึกษา

การศึกษานี้ เป็นการทดลองในแบบจำลองกายภาพ (physical model) เพื่อศึกษาถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น และการสลายพลังงานคลื่นบริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่น จำลองในแอ่งคลื่น (wave basin) ขนาดกว้าง 10 ม. ยาว 20 ม. ลึก 0.70 ม. ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ศึกษาลักษณะคลื่น (wave characteristic) ที่สำคัญและสัมพันธ์กับพลังงานคลื่นอันได้แก่ อัตราการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นและการลดลงของความสูงคลื่นบริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่น

2) เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาคือ มุ่งเน้นที่ผลของการจัดเรียงเสาเข็มต่อการสลายพลังงานคลื่นบริเวณพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นเป็นหลัก ดังนั้นเพื่อลดผลจากการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำต่อลักษณะคลื่น จึงใช้แอ่งคลื่นมีลักษณะท้องน้ำเป็นแบบไม่เปลี่ยนแปลง ไม่มีความลาดเอียง และเป็นระบบปิดไม่มีการไหลเวียนของน้ำ ความลึกของน้ำในแอ่งคลื่นบริเวณติดตั้งเขื่อนกันคลื่น 30 ซม.

3) คลื่นที่ใช้ในการทดลอง สร้างด้วยเครื่องกำเนิดคลื่น (wave generator) เป็นคลื่นที่มีขนาดสม่ำเสมอ (regular wave) ทิศทางตั้งฉากกับโครงสร้าง โดยมีขนาดความชัน ( $H_w/gT^2$ ) ตามความสามารถของเครื่องกำเนิดคลื่น (wave generator) อยู่ในช่วง 0.0035-0.0180

4) เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม ที่ใช้ในการศึกษาจะเป็นเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอกกลมแบบแนวตรง (linear alignment) โดยตัวเขื่อนเป็นโครงสร้างที่ยอมให้น้ำผ่านได้ (permeable) เสาเข็มทรงกระบอกทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.85 ซม. จัดเรียงเป็นแถว เนื่องจากการจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มในการศึกษาเป็นแบบความยาวไม่จำกัด (infinite length) ดังนั้นจึงไม่คำนึงถึงผลของส่วนปลายสุดของเขื่อนกันคลื่นทั้ง 2 ด้าน ต่อลักษณะคลื่น ดังนั้นความยาวเสาเข็มที่ใช้ในการทดลอง จึงมีขนาดความยาวที่ไม่ก่อให้เกิดผลของผนังด้านข้าง (side wall effect) ของแอ่งคลื่นต่อลักษณะคลื่นจึงกำหนดที่ระยะความยาวของเขื่อนกันคลื่นประมาณ 1.8 ม. (36 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม) เท่ากันทุกรูปแบบ จัดเรียง 4 รูปแบบ ดังรูปที่ 1-2 ประกอบด้วย



- รูปแบบ A จัดเรียงแบบ 3 แถวสลับพื้นปลา มีช่องว่างระหว่างต้น (b) และช่องว่างระหว่างแถว (B) เป็น 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ในการจัดเรียงใช้เสาเข็มจำนวน 38 ต้น

- รูปแบบ B จัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน (rectangle) มีช่องว่างระหว่างต้น (b) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B) 5 ขนาด ได้แก่ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ในการจัดเรียงใช้เสาเข็มจำนวน 38 ต้น

- รูปแบบ C จัดเรียงแบบ 2 แถวสลับพื้นปลา (staggering) มีช่องว่างระหว่างต้น (b) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B) 5 ขนาด ได้แก่ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ในการจัดเรียงใช้เสาเข็มจำนวน 38 ต้น

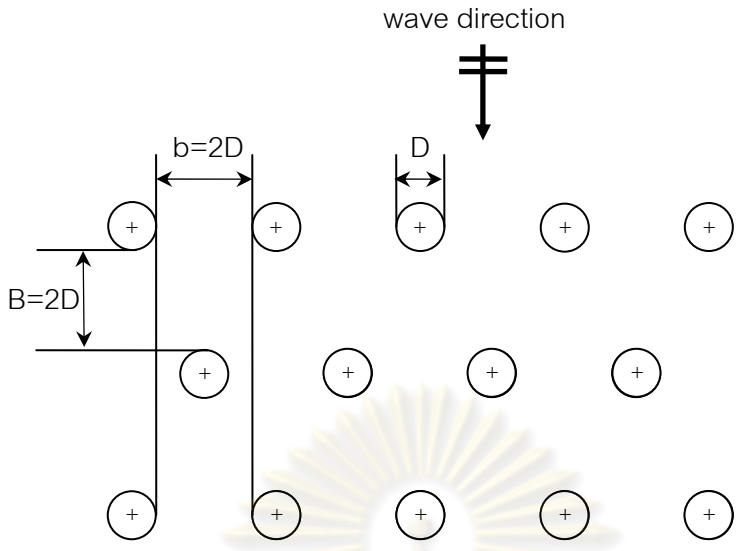
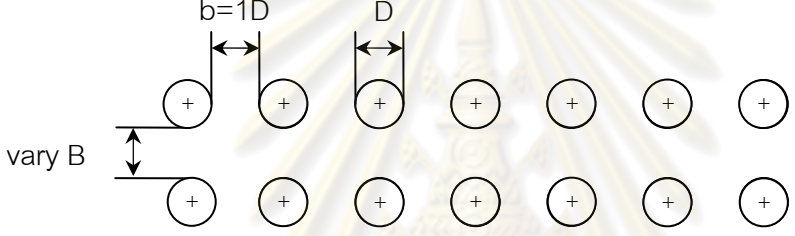
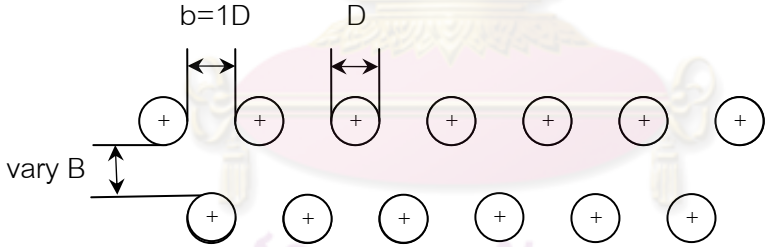

- รูปแบบ D จัดเรียงแบบแถวเดียว มีช่องว่างระหว่างต้น (b) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็มเหมือนกับกรณีจัดเรียงแบบ 2 แถว ในการจัดเรียงใช้เสาเข็มจำนวน 19 ต้น

5) ตัวแปรหลักในการศึกษาครั้งนี้ในกรณีการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถว ประกอบด้วย ตัวแปรของลักษณะทางกายภาพของเสาเข็ม อันได้แก่ การจัดเรียงแบบแถวตรงกันและสลับพื้นปลา และตัวแปรช่องว่างระหว่างแถวและตัวแปรของลักษณะคลื่นอันได้แก่ ขนาดของคลื่นหรือความชันคลื่น

6) ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับแบบ 1 แถว ที่มีช่องว่างระหว่างต้นเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็มเท่ากัน เพื่อพิจารณาถึงผลของจำนวนแถวของเสาเข็ม

7) ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงแบบ 3 แถวสลับพื้นปลา ที่มีช่องว่างระหว่างต้นและช่องว่างระหว่างแถวเท่ากับ 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม อันเป็นรูปแบบของการจัดเรียงที่มีการศึกษาและก่อสร้างจริงในประเทศไทย (ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ, 2551) กับการจัดเรียงแบบ 2 แถวที่มีช่องว่างระหว่างต้นเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็มเท่ากัน ซึ่งใช้จำนวนเสาเข็มและความยาวเขื่อนกันคลื่นที่เท่ากัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

 <p>Diagram showing a diffraction grating with a period <math>b=2D</math> and a total width <math>B=2D</math>. The wave direction is indicated by a downward arrow. The diagram shows a 3x5 grid of particles, with the top row having a phase shift relative to the others.</p>	<p>รูปแบบ A (3 แถวสลัป)</p>
 <p>Diagram showing a diffraction grating with a period <math>b=1D</math>. The diagram shows a 2x7 grid of particles.</p>	<p>รูปแบบ B (2 แถวตรง)</p>
 <p>Diagram showing a diffraction grating with a period <math>b=1D</math>. The diagram shows a 2x7 grid of particles, with the top row having a phase shift relative to the bottom row.</p>	<p>รูปแบบ C (2 แถวสลัป)</p>
 <p>Diagram showing a diffraction grating with a period <math>b=1D</math>. The diagram shows a 1x7 grid of particles.</p>	<p>รูปแบบ D (1 แถว)</p>

รูปที่ 1-2 รายละเอียดแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม

#### 1.4. การดำเนินการศึกษา

การศึกษานี้ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ เพื่อให้ครอบคลุมขอบข่ายและวัตถุประสงค์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- 1) รวบรวมเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งศึกษาทฤษฎีทางด้านวิศวกรรมชายฝั่ง หลักการและสมมุติฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกัน เชื่อมกัน คลื่นแบบเส้าเสริม เพื่อใช้ในการวางแผนการทดลองและเป็นแนวทางในการศึกษา
- 2) ศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง พร้อมปรับปรุงวิธีการเก็บข้อมูลต่างๆ ให้มีความสะดวกและแม่นยำ
- 3) ศึกษาแบบจำลองแอ่งคลื่นที่มีอยู่เดิม ปรับปรุงและก่อสร้างเพิ่มเติมเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และขอบข่ายของการศึกษานี้
- 4) ทดสอบและเปรียบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่น และเครื่องกำเนิดคลื่น
- 5) ออกแบบการทดลอง ประกอบด้วย การกำหนดเงื่อนไขการทดลอง และกรณีศึกษาเพื่อนำไปวิเคราะห์หาคำตอบของปัญหาตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้
- 6) สร้างแบบจำลองเชื่อมกัน คลื่นแบบเส้าเสริม
- 7) ทดลองแบบจำลองในกรณีต่างๆ ปรับปรุงการทดลอง การเก็บข้อมูล และเครื่องมือที่ใช้ให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น
- 8) รวบรวมข้อมูลจากการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง
- 9) สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ
- 10) จัดทำวิทยานิพนธ์

#### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) ทราบถึงผลของการจัดเรียงแนวเชื่อมกัน คลื่นแบบเส้าเสริมรูปแบบต่างๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น และการสลายพลังงานคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น
- 2) ทราบถึงอิทธิพลของความชันคลื่นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น และการสลายพลังงานคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น

3) ได้รับประสบการณ์และแนวทางในการดำเนินงานวิจัย โดยใช้แบบจำลองทางกายภาพในการหาคำตอบของปัญหาทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งที่ตั้งขึ้นอย่างเป็นระบบได้

4) เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้เชื่อมกันคลื่นแบบเสก้าเข้มในงานชายฝั่งทะเล และเป็นแนวทางสำหรับการศึกษา วิจัยขั้นต่อไปของผู้สนใจในด้านวิศวกรรมชายฝั่ง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### หลักการและการศึกษาที่ผ่านมา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทบทวนทฤษฎีและการศึกษาที่ผ่านมา รายละเอียดประกอบด้วย กลศาสตร์ของคลื่น พลังงานคลื่น การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น การสลายพลังงานคลื่น และการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ รวมทั้งผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาครั้งนี้

#### 2.1 กลศาสตร์ของคลื่น

คลื่นที่กระทำต่อชายฝั่งเกิดจากหลายแหล่งกำเนิด ได้แก่ คลื่นที่เกิดจากลม (wind wave) คลื่นที่เกิดจากเรือ (ship-generated wave) คลื่นที่เกิดจากแผ่นดินไหว (tsunami) คลื่นที่เกิดจากน้ำขึ้นน้ำลง (tide) เป็นต้น โดยคลื่นที่กล่าวมานั้นมีนิยามของพารามิเตอร์คลื่นดังรูป 2-1

คลื่นในทะเลและมหาสมุทรมากกว่าร้อยละ 90 เป็นคลื่นที่เกิดมาจากลม เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวออกจากแหล่งกำเนิด แต่ยังคงอยู่ในบริเวณน้ำลึก (deep water) ซึ่งจำแนกโดยใช้ความลึกสัมพัทธ์ (relative depth,  $d/L$ ) มีค่ามากกว่า 0.5 ลักษณะต่างๆ ของคลื่น เช่น ความเร็วคลื่น (wave celerity,  $C$ ) ความยาวคลื่น (wave length,  $L$ ) และความสูงคลื่น (wave height,  $H$ ) ลักษณะเหล่านี้ถือว่ามีค่าคงที่ การเคลื่อนตัวของคลื่นส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ มีลักษณะวงโคจรเป็นรูปวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางของวงโคจรที่ผิวหน้าอิสระเท่ากับ ความสูงคลื่น และเส้นผ่านศูนย์กลางของวงโคจรจะลดลงตามกำลังฐาน  $e$  (exponentially) จนกระทั่งถึงความลึกประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น หลังจากความลึกดังกล่าวถือว่าไม่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอนลึกลับเป็นศูนย์กลางของน้ำใต้คลื่นจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมารอบจุดเฉลี่ยเท่านั้น

เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณน้ำตื้นปานกลาง (transition depth,  $0.04 < d/L < 0.5$ ) ลักษณะต่างๆ ของคลื่นจะเปลี่ยนไป เนื่องจากอิทธิพลของน้ำตื้น (shoaling effect) ซึ่งส่งผลให้ความยาวคลื่นสั้นลง ความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น และความเร็วคลื่นลดลง แต่คาบคลื่น (wave period,  $T$ ) ไม่เปลี่ยนแปลง การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำจะถูกอิทธิพลของน้ำตื้น ทำให้วงโคจรมีลักษณะเป็นวงรีรอบๆ ตำแหน่งเฉลี่ย โดยมีแกนหลักอยู่ในแนวราบขนานกับท้องน้ำ และแกนรองอยู่ในแนวตั้ง ขนาดของวงโคจรจะลดลงตามความลึกจนกระทั่งเป็นเส้นตรงที่บริเวณท้องน้ำ ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนบริเวณท้องน้ำ และเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณน้ำตื้น (shallow water,

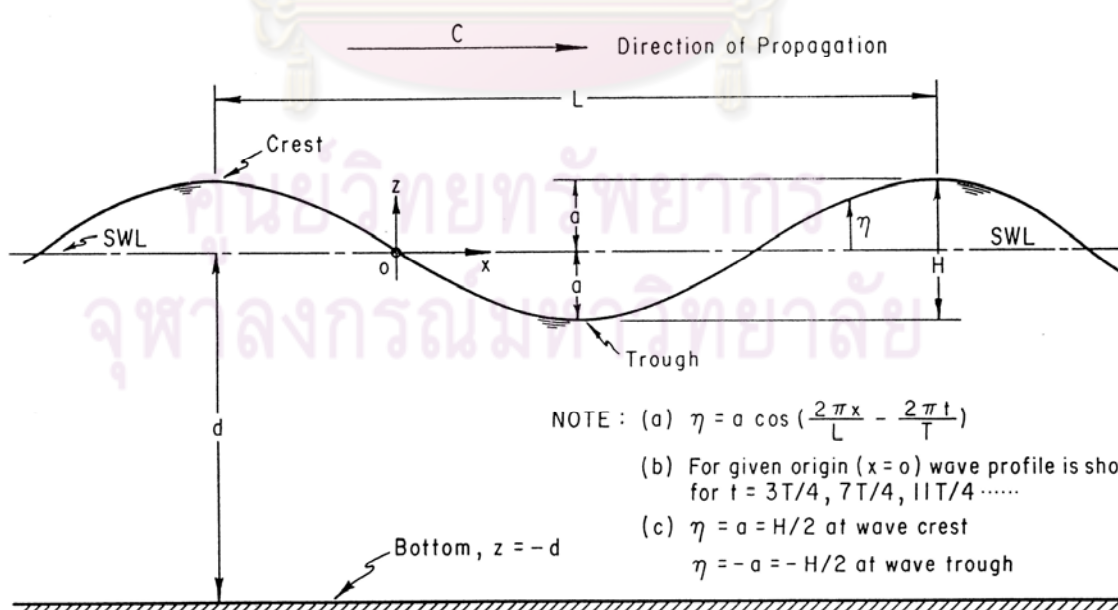


$d/L < 0.04$ ) ลักษณะวงโคจรของอนุภาคน้ำที่เป็นวงรีจะราบขึ้นเรื่อยๆ และความเร็วที่ท้องน้ำจะสูงขึ้น การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำได้คลื่นในช่วงความลึกน้ำต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2-2

จากการเคลื่อนตัวของคลื่นผ่านความลึกน้ำที่ต่างกันนี้ ได้มีทฤษฎีคลื่นมากมายที่ใช้อธิบายลักษณะของคลื่นในช่วงความลึกน้ำต่างๆ โดยแต่ละทฤษฎีมีความถูกต้องในการอธิบายลักษณะคลื่นที่ความลึกต่างกัน ซึ่งทฤษฎีที่ง่ายและนิยมใช้กันมากคือ ทฤษฎีคลื่นความสูงน้อย (small amplitude wave theory) ที่คิดค้นโดย Airy ในปี 1845 (U.S. CERC, 1984) เป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายคลื่นในน้ำลึกได้ดี และมีข้อจำกัดมากขึ้นเมื่อคลื่นเข้าสู่บริเวณน้ำตื้น โดยคุณสมบัติต่างๆ ของคลื่นที่เคลื่อนตัวในช่วงความลึกน้ำต่างๆ ที่อธิบายโดยทฤษฎีคลื่นความสูงน้อยแสดงดังตารางที่ 2-1

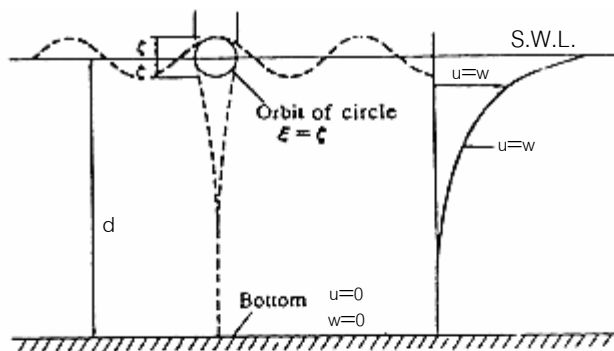
ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติคลื่นในช่วงความลึกต่างๆ

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	$L = T\sqrt{gd} = CT$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$L = \frac{gT^2}{2\pi}$

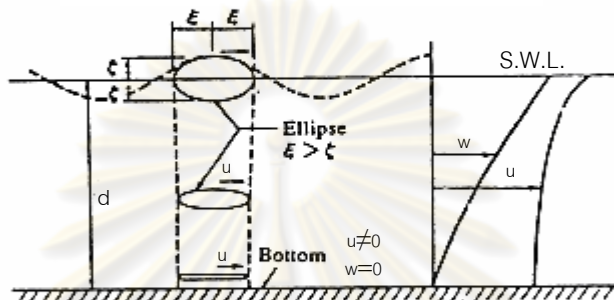


จาก U.S. CERC. 1984

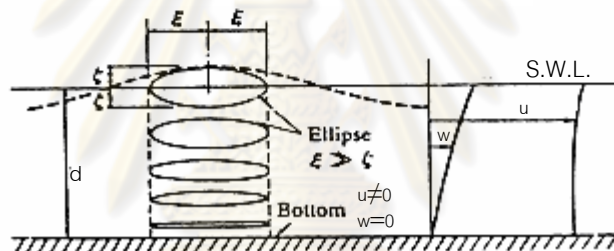
รูปที่ 2-1 นิยามพารามิเตอร์คลื่น



(a) Deepwater waves  $d/L > 1/2$



(b) Shallow water waves  $1/25 < d/L < 1/2$



(c) Very shallow water waves  $d/L = 1/25$

จาก Sawaragi 1995

รูปที่ 2-2 การเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าสู่ผิวน้ำ

## 2.2 พลังงานของคลื่น

พลังงานของคลื่นเป็นผลรวมของพลังงานที่เกิดจาก พลังงานศักย์ (potential energy,  $P_E$ ) และพลังงานจลน์ (kinetic energy,  $K_E$ ) โดยพลังงานศักย์ได้แก่มวลน้ำที่อยู่เหนือตำแหน่งที่พิจารณา โดยไม่คำนึงถึงแรงตึงผิวของน้ำ และพลังงานจลน์เกิดจากความเร็วมวลน้ำที่เคลื่อนที่ (water particle energy)

พลังงานศักย์ (potential energy,  $P_E$ ) เป็นพลังงานที่เกิดจากมวลน้ำ พิจารณาจากมวลน้ำ ในส่วนของผิวน้ำอิสระที่มีการเปลี่ยนแปลง หรือมวลน้ำในลูกคลื่นพิจารณาจากท้องคลื่น สามารถหาได้สมการที่ (2-1)

$$P_E = P_{E1} - P_{E2} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

- เมื่อ  $P_E$  คือ พลังงานศักย์รวมของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างคลื่น  
 $P_{E1}$  คือ พลังงานศักย์ที่พิจารณาจากท้องน้ำจนถึงผิวน้ำอิสระ  
 $P_{E2}$  คือ พลังงานศักย์ที่พิจารณาจากท้องน้ำจนถึงระดับน้ำนิ่ง

ในการหาพลังงานศักย์หาได้โดยพิจารณาจากรูปที่ 2-3 แบ่งเป็นช่องเล็กๆ สูง  $h+\eta$  ยาว  $dx$  กว้างหนึ่งหน่วย พลังงานศักย์ที่พิจารณาจากท้องน้ำจนถึงผิวน้ำอิสระพิจารณาจากรูปที่ 2-3(a)

$$\begin{aligned} dP_{E1} &= (\text{height to center of gravity})gdM \\ &= \frac{(h+\eta)^2}{2}g\rho dx \quad \dots\dots\dots (2-2) \end{aligned}$$

พลังงานศักย์เฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของคลื่น

$$P_{E1} = \frac{\rho g}{2} \int_0^L (h+\eta)^2 dx \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

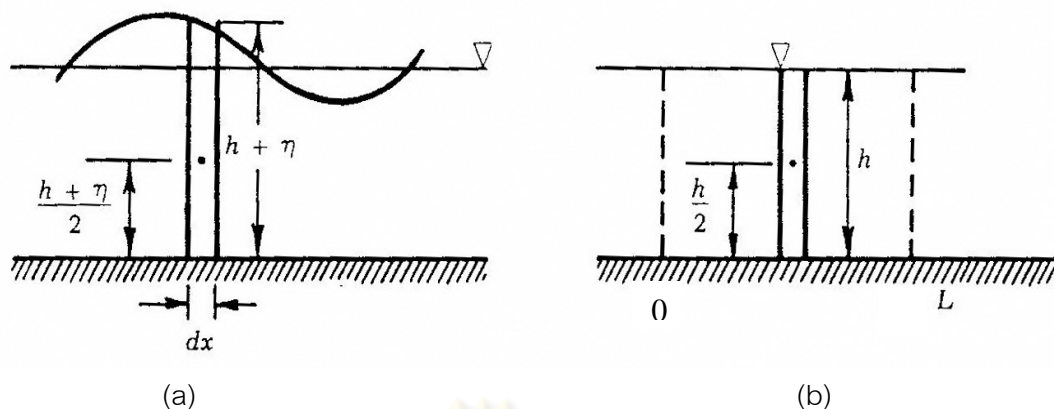
และพลังงานศักย์ที่พิจารณาจากท้องน้ำจนถึงระดับน้ำนิ่งจากรูปที่ 2-3(b)

$$P_{E2} = \frac{\rho g}{2} \int_0^L (h)^2 dx \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

ดังนั้นสามารถหาพลังงานศักย์ของคลื่นได้จาก

$$P_E = \frac{\rho g}{2} \int_0^L (h+\eta)^2 dx - \frac{\rho g}{2} \int_0^L (h)^2 dx \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

- เมื่อ  $P_E$  คือ พลังงานศักย์รวมของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างคลื่น  
 $h$  คือ ความลึกน้ำจากระดับน้ำเฉลี่ยถึงท้องน้ำ  
 $\eta$  คือ ระยะในแนวตั้งของการแทนที่ของผิวน้ำจากระดับน้ำเฉลี่ย  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ  
 $g$  คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก  
 $L$  คือ ความยาวคลื่น



จาก Ippen 1966

รูปที่ 2-3 รูปสำหรับใช้อธิบายการหาพลังงานจลน์

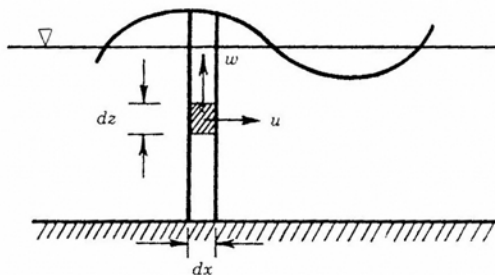
พลังงานจลน์ (kinetic energy,  $K_E$ ) เกิดจากความเร็วอนุภาคน้ำที่เคลื่อนที่ได้เคลื่อน จากรูปที่ 2-4 เมื่อพิจารณาพื้นที่เป็นชิ้นส่วนเล็กๆ ยาว  $dx$  สูง  $dz$  ต่อความกว้างหนึ่งหน่วยกับความเร็วอนุภาคน้ำในแนวราบ ( $u$ ) และแนวตั้ง ( $w$ ) สามารถหาพลังงานจลน์โดยสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} dK_E &= \frac{1}{2} (u^2 + w^2) dM \\ &= \frac{1}{2} \rho (u^2 + w^2) dz dx \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

ดังนั้นพลังงานจลน์เฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของสันคลื่น

$$K_E = \frac{\rho}{2} \int_0^L \int_{-h}^{\eta \approx 0} (u^2 + w^2) dz dx \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

- เมื่อ  $K_E$  คือ พลังงานจลน์รวมของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างสันคลื่น  
 $h$  คือ ความลึกน้ำจากระดับน้ำเฉลี่ยถึงท้องน้ำ  
 $\eta$  คือ ระยะในแนวตั้งของการแทนที่ของผิวน้ำเหนือระดับน้ำเฉลี่ย  
 $u$  คือ ความเร็วของอนุภาคน้ำในแนวราบ  
 $w$  คือ ความเร็วของอนุภาคน้ำในแนวตั้ง  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ  
 $L$  คือ ความยาวคลื่น



จาก Ippen 1966

รูปที่ 2-4 รูปสำหรับใช้อธิบายการหาพลังงานคลื่น

ตามทฤษฎีของคลื่นความสูงน้อย (small amplitude wave theory) ที่คิดค้นโดย Airy ในปี 1845 (US. CERC, 1984) พลังงานศักย์และพลังงานจลน์มีค่าเท่ากัน ดังนั้นนิพจน์ของพลังงานทั้งหมดในหนึ่งช่วงความยาวคลื่น (wave length) ต่อ ความกว้างของสันคลื่น (wave crest) หนึ่งหน่วย มีดังนี้

$$E = P_E + K_E = \frac{\rho g H^2 L}{16} + \frac{\rho g H^2 L}{16} = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

- เมื่อ E คือ พลังงานรวมของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างสันคลื่น
- $P_E$  คือ พลังงานศักย์รวมของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างสันคลื่น
- $K_E$  คือ พลังงานจลน์รวมของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างสันคลื่น
- $\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ
- g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก
- H คือ ความสูงคลื่น
- L คือ ความยาวคลื่น

ปริมาณพลังงานคลื่นทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว เรียกว่า พลังงานจำเพาะ (specific energy) หรือความหนาแน่นของพลังงาน (energy density)

$$\bar{E} = \frac{E}{L} = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad \dots\dots\dots (2-9)$$



## 2.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น

เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม ซึ่งเป็นเขื่อนกันคลื่นแบบไม่ทึบน้ำ (permeable breakwater) คลื่นบางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ และคลื่นบางส่วนจะสามารถเคลื่อนตัวผ่านได้ แต่ระหว่างที่คลื่นเคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่นจะเกิดการสูญเสียพลังงานจากตัวเขื่อนกันคลื่นจึงทำให้ความสูงของคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นลดลง ลักษณะของคลื่นที่เคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่นได้แสดงในรูปที่ 2-5

### 2.3.1 การส่งผ่านของคลื่น

การส่งผ่านของคลื่น (wave transmission) คือ การเคลื่อนที่ของคลื่นผ่านโครงสร้างที่มีลักษณะไม่ทึบน้ำ (permeable) เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่นที่มีลักษณะไม่ทึบน้ำจะเกิดพฤติกรรมของการสะท้อนของคลื่นบางส่วน และการสูญเสียพลังงานจากตัวเขื่อนกันคลื่นที่เกิดจากความปั่นป่วนของอนุภาคน้ำและความเสียดทานจากผิวของเสาเข็ม ส่งผลให้ความสูงของคลื่นที่ผ่านเขื่อนกันคลื่นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงคลื่นที่เข้ามา ซึ่งการศึกษาการส่งผ่านคลื่นจะเปรียบเทียบความสูงคลื่นหลังผ่านเขื่อนกันคลื่น (transmitted wave height,  $H_t$ ) กับความสูงคลื่นก่อนผ่านเขื่อนกันคลื่น (incident wave,  $H_i$ ) เรียกว่า สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (transmission coefficient,  $K_T$ ) ดังแสดงในสมการที่ (2-10)

$$K_T = \frac{H_t}{H_i} \quad \dots\dots\dots (2-10)$$

เมื่อ  $K_T$  คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (transmission coefficient)

$H_t$  คือ ความสูงคลื่นหลังผ่านเขื่อนกันคลื่น (transmitted wave height)

$H_i$  คือ ความสูงคลื่นก่อนผ่านเขื่อนกันคลื่น (incident wave height)

ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของเขื่อนกันคลื่น ถ้าหากมีความทึบน้ำมากค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นจะน้อย แต่กรณีที่มีลักษณะที่มีความพรุนหรือสามารถยอมให้น้ำผ่านได้มากค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นก็จะเพิ่มมากขึ้น

### 2.3.2 การสะท้อนของคลื่น

การสะท้อนของคลื่น (wave reflection) คือการเคลื่อนที่ของคลื่นในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่คลื่นเคลื่อนตัวเข้ามา การสะท้อนของคลื่นเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าปะทะกับเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม คลื่นบางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับส่งผลให้ความสูงของคลื่นด้านหน้าเขื่อนกันในตำแหน่งที่คลื่นเสริมกันคลื่นสูงขึ้นและความสูงคลื่นจะลดลงในตำแหน่งที่คลื่นหักล้างกันระหว่างคลื่นที่เข้ามาพบกับคลื่นที่สะท้อน การศึกษาการสะท้อนคลื่นจะนำความสูงคลื่นที่สะท้อน (reflected wave height,  $H_r$ ) ไปเปรียบเทียบกับความสูงคลื่นก่อนผ่านเขื่อนกันคลื่น (incident wave,  $H_i$ ) เรียกว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น (reflection coefficient,  $K_R$ ) ดังแสดงในสมการที่ (2-11)

$$K_R = \frac{H_r}{H_i} \quad \dots\dots\dots (2-11)$$

เมื่อ  $K_R$  คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น (reflection coefficient)

$H_r$  คือ ความสูงคลื่นที่สะท้อน (reflected wave height)

$H_i$  คือ ความสูงคลื่นก่อนผ่านเขื่อนกันคลื่น (incident wave height)

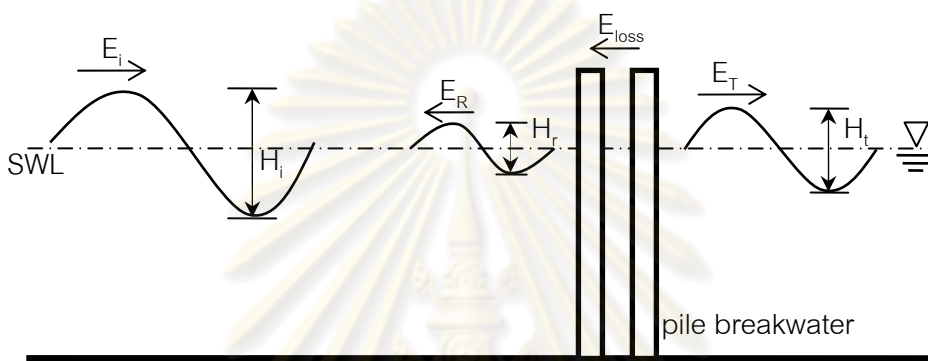
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นขึ้นอยู่กับลักษณะความตึบแน่นน้ำของเขื่อนกันคลื่น หากมีความตึบแน่นน้อยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจะน้อย และการสะท้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเขื่อนกันคลื่นมีความตึบแน่นมากขึ้น

### 2.3.3 การกระจายของคลื่น

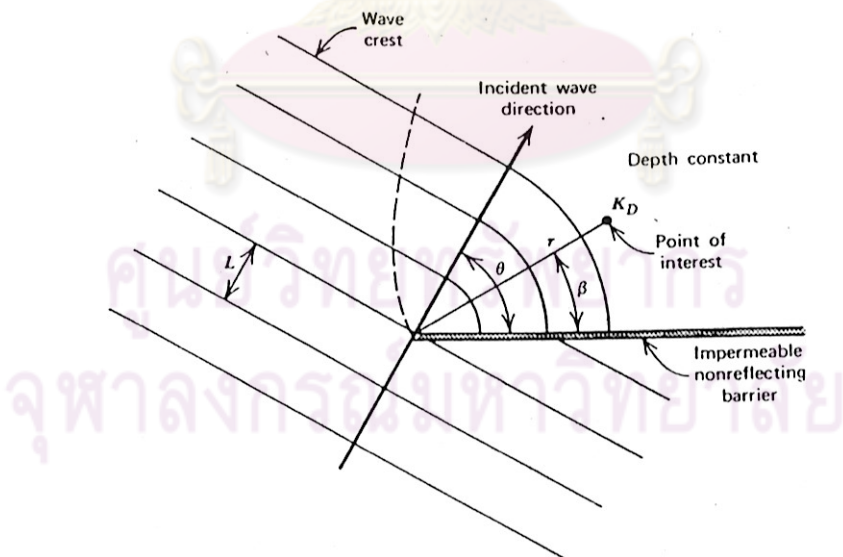
การกระจายของคลื่น (wave diffraction) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนเข้าปะทะสิ่งกีดขวาง เช่น เขื่อนกันคลื่น หรือ เคาะเล็กๆ เป็นต้น โดยคลื่นจะเกิดการกระจายเป็นรัศมีเข้าไปในบริเวณอับคลื่น (sheltered area) โดยมีจุดศูนย์กลางการกระจายอยู่ที่ปลายของสิ่งกีดขวางที่คลื่นนั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ ทำให้เกิดการส่งผ่านพลังงานคลื่นตามความยาวของแนวสันคลื่น เข้าสู่บริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น ดังรูปที่ 2-6 การคำนวณหาความสูงคลื่นในบริเวณอับคลื่นได้ อาศัยค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของคลื่น (diffraction coefficient,  $K_d$ ) ซึ่งสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความสูงของคลื่นที่กระจายต่อความสูงคลื่นก่อนผ่านเขื่อนกันคลื่น ดังแสดงในสมการที่ (2-12)

$$K_d = \frac{H_d}{H_i} \dots\dots\dots (2-12)$$

- เมื่อ  $K_d$  คือ สัมประสิทธิ์การกระจายของคลื่น (diffraction coefficient)
- $H_d$  คือ ความสูงคลื่นที่กระจายหลังเขื่อนกันคลื่น (diffraction wave height)
- $H_i$  คือ ความสูงคลื่นก่อนผ่านเขื่อนกันคลื่น (incident wave height)



รูปที่ 2-5 ลักษณะของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม



จาก Sorensen 1991

รูปที่ 2-6 การกระจายของคลื่น

### 2.3.4 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น

การติดตั้งเชื่อมกันคลื่นส่งผลให้ความสูงคลื่นบริเวณหลังเชื่อมกันคลื่นเปลี่ยนแปลงไปจากกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น เนื่องจากเชื่อมกันคลื่นไปขวางการเคลื่อนตัวของคลื่น ก่อให้เกิดการสะท้อนและการสูญเสียพลังงาน ส่งผลให้พลังงานคลื่นที่เคลื่อนผ่านลดลง ทำให้ความสูงคลื่นบริเวณหลังเชื่อมกันคลื่นลดลง การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่นจะเปรียบเทียบความสูงของคลื่นบริเวณหลังเชื่อมกันคลื่นระหว่างกรณีมีเชื่อมกันคลื่น (with pile breakwater,  $H_p$ ) กับ กรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น (without pile breakwater,  $H_N$ ) เรียกว่า อัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น ( $K_p$ ) ดังแสดงในสมการ (2-13)

$$K_p = \frac{H_p}{H_N} \quad \text{..... (2-13)}$$

โดยทั่วไปเมื่อมีเชื่อมกันคลื่นจะทำให้ความสูงของคลื่นบริเวณหลังเชื่อมกันคลื่นลดลง กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ อัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น ( $K_p$ ) มีค่าน้อยกว่า 1 ดังนั้น การพิจารณาความสูงคลื่นที่ลดลง ( $\Delta H$ ) เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับความสูงคลื่นกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น ( $H_N$ ) สามารถคำนวณได้โดยอาศัยความสัมพันธ์กับค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $K_p$ ) ดังแสดงในสมการที่ 2-14

$$\frac{\Delta H}{H_N} = 1 - K_p \quad \text{..... (2-14)}$$

เมื่อ  $K_p$  คือ อัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น

$H_p$  คือ ความสูงของคลื่นบริเวณหลังเชื่อมกันคลื่นกรณีมีเชื่อมกันคลื่น

$H_N$  คือ ความสูงของคลื่นบริเวณหลังเชื่อมกันคลื่นกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น

$\Delta H$  คือ ความสูงของคลื่นที่ลดลง

## 2.4 การสลายพลังงานคลื่น

เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าปะทะกับเชื่อมกันคลื่นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นมี 3 ลักษณะ ดังแสดงในรูป 2-5 ได้แก่ การสะท้อนพลังงานคลื่น (wave energy reflection) การส่งผ่านพลังงานคลื่น (wave energy transmitted) และการสูญเสียพลังงาน (wave energy loss) จากตัวเชื่อมกันคลื่นที่เกิดจากความปั่นป่วนของน้ำและความเสียดทานจากผิวของเสาเข็ม จากผลของการสะท้อนพลังงานคลื่นและการสูญเสียพลังงานจากตัวเชื่อมกันคลื่น ทำให้พลังงานคลื่นบริเวณพื้นที่หลัง

เขื่อนกันคลื่นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น ซึ่งการลดลงของพลังงานคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่นสามารถเขียนเป็นสมการอธิบายได้ดังสมการที่ (2-15)

$$E_N = E_p + \Delta E \quad \dots\dots\dots (2-15)$$

เมื่อ  $E_N$  คือ พลังงานคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น

$E_p$  คือ พลังงานคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่น

$\Delta E$  คือ พลังงานคลื่นที่เขื่อนกันคลื่นสลาย

ในการศึกษาการสลายพลังงานของเขื่อนกันคลื่นจะพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างพลังงานที่ลดลงกับพลังงานคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น ดังสมการที่ (2-16)

$$\frac{\Delta E}{E_N} = \frac{E_N - E_p}{E_N} \quad \dots\dots\dots (2-16)$$

พลังงานคลื่น (wave energy,  $E$ ) เป็นผลรวมของพลังงานศักย์ (potential energy,  $P_E$ ) และพลังงานจลน์ (kinetic energy,  $K_E$ ) จากทฤษฎีคลื่นความสูงน้อย (small amplitude wave theory) พลังงานศักย์และพลังงานจลน์มีค่าเท่ากัน ดังสมการ (2-17)

$$E = P_E + K_E = \frac{\rho g H^2 L}{16} + \frac{\rho g H^2 L}{16} = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad \dots\dots\dots (2-17)$$

เมื่อแทนค่าพลังงานคลื่นจากสมการ (2-17) ในสมการ (2-16) จะได้

$$\frac{\Delta E}{E_N} = 1 - \left( \frac{H_p^2 L_p}{H_N^2 L_N} \right) \quad \dots\dots\dots (2-18)$$

เมื่อ  $H_p$  คือ ความสูงของคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น กรณีมีเขื่อนกันคลื่น

$H_N$  คือ ความสูงของคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น

$L_p$  คือ ความยาวคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่น

$L_N$  คือ ความยาวคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น

## 2.5 การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ

ในการศึกษาถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเส้าเข้มต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น โดยใช้แบบจำลองกายภาพ มีตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นดังต่อไปนี้



1) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของของไหล (variables characterizing the fluid) ประกอบด้วย ความหนาแน่นของของไหล (density of fluid,  $\rho$ ) ความหนืดจลน์ของของไหล (kinematics viscosity of fluid,  $\nu$ ) และความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก (acceleration due to gravity,  $g$ )

2) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของวัสดุท้องน้ำ (variables characterizing the bed material) ประกอบด้วย ขนาดวัสดุท้องน้ำ (sediment size,  $d_{50}$ ), ความหนาแน่นของวัสดุท้องน้ำ (density of the sediment,  $\rho_s$ ), การกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำ (size distribution), ลักษณะของวัสดุท้องน้ำ (grain form) และแรงดึงดูดระหว่างวัสดุท้องน้ำ (cohesion of material)

3) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคลื่น (variables characterizing of wave) ประกอบด้วย ความสูงของคลื่น (wave height,  $H$ ) คาบคลื่น (wave period,  $T$ ) ความยาวคลื่น (wave length,  $L$ ) ทิศทางของคลื่น (wave direction,  $\alpha_0$ ) ความลึกน้ำ (depth of water,  $h$ ) และความลาดเอียงของท้องน้ำ (bed slope,  $m$ )

4) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (variables characterizing of pile breakwater) ประกอบด้วย รูปร่างของเสาเข็ม (pile shape) เปอร์เซ็นต์ความพรุนของเสาเข็ม (percentage area of perforation,  $p$ ) มุมเอียงของเสาเข็ม (inclination of pile,  $\beta$ ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (pile diameter,  $D$ ) ช่องว่างระหว่างต้น (center to center between the piles spacing,  $b$ ) จำนวนแถวของเสาเข็ม (rows of piles) ช่องว่างระหว่างแถว (center to center between the piles rows,  $B$ ) ความยาวของเขื่อนกันคลื่น (length of pile breakwater,  $L_p$ ) ความกว้างของเขื่อนกันคลื่น (width of pile breakwater) และจำนวนเสาเข็ม (number of piles)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก หากจะพิจารณาตัวแปรทั้งหมดจะก่อให้เกิดความยุ่งยากทั้งในการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ เพื่อเป็นการง่ายต่อการวิเคราะห์ตัวแปรดังกล่าว อีกทั้งเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา จึงได้ตั้งสมมติฐานและข้อจำกัดดังนี้

- 1) น้ำที่ใช้เป็นน้ำจืดและความลึกของน้ำคงที่
- 2) วัสดุท้องน้ำเป็นแบบไม่เปลี่ยนแปลง และไม่มี ความลาดเอียงของท้องน้ำ
- 3) ทิศทางของคลื่นมีทิศทางเดียวตั้งฉากกับโครงสร้าง และเป็นคลื่นขนาดสม่ำเสมอ
- 4) ลักษณะของเขื่อนกันคลื่นใช้เข็มกลมผิวเรียบขนาด เสาเข็มวางอยู่ในแนวตั้ง ความยาวของเขื่อนกันคลื่นแต่ละรูปแบบเท่ากัน

ดังนั้นเมื่อพิจารณาการจัดเรียงแบบ 2 แถวทั้งแบบแถวตรงกัน (rectangle) และแบบสลับฟันปลา (staggering) ที่มีช่องว่างระหว่างคันค้ำที่เท่ากับ 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม แต่เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว จะเหลือตัวแปรที่นำมาใช้พิจารณาความสัมพันธ์ดังนี้

- ของไหล : ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $g$ )
- คลื่น : ความสูงคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่น ( $H_N$ ) คาบคลื่น ( $T$ )
- เขื่อนกันคลื่น : ช่องว่างระหว่างแถว ( $B$ ) ขนาดเข็ม ( $D$ )

การศึกษาดังกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น จะพิจารณาความสูงคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่น ( $H_p$ ) กับตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

$$H_p = f(g, H_N, T, D) \quad \dots\dots\dots (2-19)$$

เมื่อพิจารณาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (dimensional parameter) สามารถนำตัวแปรมาเขียนในรูปตัวแปรไร้มิติ ดังต่อไปนี้

$$\frac{H_p}{H_N} = f\left[\frac{H_N}{gT^2}, \frac{B}{D}\right] \quad \dots\dots\dots (2-20)$$

หรือ

$$K_p = f\left[\frac{H_N}{gT^2}, \frac{B}{D}\right] \quad \dots\dots\dots (2-21)$$

- เมื่อ  $K_p$  คือ อัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น
- $H_p$  คือ ความสูงของคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น กรณีมีเขื่อนกันคลื่น
- $H_N$  คือ ความสูงของคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น
- $g$  คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก
- $T$  คือ คาบคลื่น
- $B$  คือ ช่องว่างระหว่างแถว
- $D$  คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม
- $H_N/gT^2$  คือ ความชันคลื่น
- $B/D$  คือ อัตราส่วนของช่องว่างระหว่างแถวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม

ดังนั้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่นจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $K_p$ ) กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) และอัตราส่วนของช่องว่างระหว่างแถวต่อขนาดเสาเข็ม ( $B/D$ )

และการสลายพลังงานคลื่น ได้ศึกษาความสัมพันธ์กับกลุ่มตัวแปรลักษณะเดียวกับอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ดังแสดงในสมการ (2-22)

$$\frac{\Delta E}{E_N} = f \left[ \frac{H_N}{gT^2}, \frac{B}{D} \right] \quad \dots\dots\dots (2-22)$$

เมื่อ  $\Delta E$  คือ พลังงานคลื่นที่เขื่อนกันคลื่นสลาย  
 $E_N$  คือ พลังงานคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น

## 2.6 การศึกษาที่ผ่านมา

เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (pile breakwater) หรือแนวกันคลื่นที่ใช้เสาเข็ม เป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมชายฝั่งที่ทำหน้าที่สลายพลังงานและลดความรุนแรงของคลื่น โดยการสลายพลังงานคลื่นเกิดจากการสะท้อนและการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่น ดังเป็นที่ทราบแน่ชัดแล้วว่าการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นนั้นมีความสลับซับซ้อน ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องในทางทฤษฎีล้วนได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นในการหาคำตอบจากปัญหาดังกล่าวจึงมุ่งไปที่การอธิบายและการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองกายภาพ (physical model) ประกอบกับเทคนิคการวิเคราะห์มิติ (dimensional analysis) ในการรวมตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่างๆ เป็นกลุ่มตัวแปร แล้วหาความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรที่ได้ในรูปของสมการหรือกราฟความสัมพันธ์เพื่อใช้ในการประเมินหรือคาดคะเนพฤติกรรมที่เกิดขึ้น

ในเบื้องต้นได้มีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นจากผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีแถวเดียว อันประกอบด้วย การส่งผ่านคลื่น (wave transmission) และการสะท้อนคลื่น (wave reflection) การส่งผ่านคลื่นศึกษาโดยเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างความสูงคลื่นหลังผ่านเขื่อนกันคลื่น (wave transmitted height) กับความสูงคลื่นก่อนผ่านเขื่อนกันคลื่น (incident wave height) เรียกว่า สัมประสิทธิ์การส่งผ่านของคลื่น (transmission coefficient,  $K_T$ ) และการสะท้อนคลื่นศึกษาโดยเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างความสูงคลื่นสะท้อน (reflected wave height) กับความสูงคลื่นก่อนผ่านเขื่อนกันคลื่น (incident wave height) เรียกว่า

สัมประสิทธิ์การสะท้อน (reflection coefficient,  $K_R$ ) ดังปรากฏอยู่ในงานศึกษาของ Hayashi et al. (1966), Nagai (1966), Hayashi et al. (1968), Grune and Kohlhasse (1974), Hutchino and Raudkivi (1984), Truitt and Herbich (1986)

จากนั้นผู้ศึกษาในกรณีการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีหลายแถวดังปรากฏในการศึกษาของ Weele and Herbich (1972), Rao et al. (1999), Rao et al. (2002), Huang (2006) รวมถึงการศึกษากกรณีเสาเข็มแขวนลอยในน้ำ (subspended pile breakwater) ของ Mani et al. (1998), Isaacson et al. (1998) และ Rao et al. (2003) จากการศึกษากรณีเสาเข็มแขวนลอยในน้ำนี้เองทำให้เข้าใจถึงกระบวนการในการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นจะเกิดขึ้นมากบริเวณใกล้ๆ ผิวน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Yagci et al. (2006) ที่พบว่าความเร็วของอนุภาคน้ำใต้คลื่นจะลดลงมากบริเวณใกล้ผิวน้ำ จึงก่อให้เกิดการศึกษาถึงเขื่อนกันคลื่นแบบผสมโดยส่วนที่อยู่ใกล้ผิวน้ำลักษณะของเขื่อนกันคลื่นจะเป็นแบบที่บ้น้ำ และส่วนด้านล่างของเขื่อนกันคลื่นจะถูกรองรับด้วยเสาเข็ม ดังปรากฏในการศึกษาของ Sundar and Subbarao (2003), Suh et al. (2006), Suh et al. (2007), Mani (2008) ซึ่งเขื่อนกันคลื่นแบบผสมนี้การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นจะขึ้นอยู่กับส่วนที่ที่บ้น้ำด้านบน ส่วนการจัดเรียงเสาเข็มด้านล่างมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากการทบทวนรายงานการศึกษามากมายที่กล่าวไว้ข้างต้น พบว่ามีรายงานการศึกษาบางส่วนที่สอดคล้องกับการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นจากผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอก ซึ่งเป็นประเด็นหลักของการศึกษานี้ ดังนั้นจึงสามารถนำผลการศึกษาดังกล่าวมาเป็นแนวทางในการศึกษาคั้งนี้ได้ โดยรายละเอียดของการศึกษาที่ผ่านมาดังต่อไปนี้

Hayashi et al. (1966) ศึกษาถึงการส่งผ่านและการสะท้อนคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอกที่มีแถวเดียว ทดลองในรางน้ำ โดยเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มตั้งแต่ 0 ถึง 0.22 เท่าของขนาดเสาเข็ม ( $b/d$  ตั้งแต่ 0 ถึง 0.22) เปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นและใช้คาบคลื่นคงที่ ผลการศึกษาพบว่า สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) เพิ่มขึ้นและสัมประสิทธิ์การสะท้อน ( $K_R$ ) ลดลง เมื่อช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นลดลงและการสะท้อนเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น โดยสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นอยู่ในช่วง 0.22 ถึง 0.7 และสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.6

Nagai (1966) ศึกษาการส่งผ่านคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอกที่มีแถวเดียว การจัดเรียงมีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเป็น 0.05 เท่าของขนาดเสาเข็ม ( $b/d = 0.05$ ) ทดลองในอ่างคลื่นโดยเปลี่ยนแปลงกับความสูงคลื่นและคาบคลื่น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) น้อย เนื่องจากช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มน้อยมาก

โดยสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นอยู่ในช่วง 0.28 ถึง 0.42 และในกรณีที่คลื่นสามารถข้ามผ่านเขื่อนกันคลื่นได้จะส่งผลให้สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นเพิ่มขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์

Hayashi et al. (1968) ศึกษาถึงการส่งผ่านและการสะท้อนคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอกที่มีแถวเดียว การจัดเรียงได้เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มตั้งแต่ 0.04 ถึง 0.2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ทดลองในรางน้ำเปลี่ยนแปลงทั้งความสูงคลื่นและความยาวคลื่น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) เพิ่มขึ้นและสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น ( $K_R$ ) ลดลง เมื่อช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเพิ่มขึ้น เมื่อความชันคลื่นมากขึ้น สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นลดลงและสัมประสิทธิ์การสะท้อนเพิ่มขึ้น โดยสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.6 และสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.6

Weele and Herbich (1972) ศึกษาการส่งผ่านและการสะท้อนคลื่นของกลุ่มเสาเข็มรูปทรงกระบอกขนาด  $4 \times 4$  ต้น แบ่งเป็น 3 กรณีคือ กรณีที่ 1 เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างต้นตั้งแต่ 1 ถึง 4 เท่าของขนาดเสาเข็มและใช้ช่องว่างระหว่างแถวคงที่เท่ากับ 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม กรณีที่ 2 ช่องว่างระหว่างแถวคงที่เท่ากับ 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวตั้งแต่ 1 ถึง 4 เท่าของขนาดเสาเข็ม และกรณีที่ 3 จัดเรียงแบบสลับฟันปลา มีช่องว่างระหว่างต้นและช่องว่างระหว่างแถวเป็น 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ทดลองในรางน้ำ ใช้ความชันคลื่น 3 ขนาด ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) ลดลงและสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น ( $K_R$ ) เพิ่มขึ้นเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น ช่องว่างระหว่างต้นเพิ่มขึ้นสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นเพิ่มขึ้นและสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นลดลง ช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นเพิ่มขึ้นและสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นลดลง การจัดแบบสลับฟันปลาไม่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นแต่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแบบแถวตรงกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นอยู่ในช่วง 0.81 ถึง 0.95 และสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นอยู่ในช่วง 0.07 ถึง 0.1

Hutchinson and Raudkivi (1984) ศึกษาการส่งผ่านคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอกที่มี 2 แถว โดยการจัดเรียงเสาเข็มแถวหน้าตั้งตรงและแถวหลังเอียงที่มีการสร้างจริงบริเวณท่าเรือ Half Moon Bay ในประเทศนิวซีแลนด์ จากการทดลองโดยใช้มาตราส่วน 1:12 ในรางทดลองพบว่า เขื่อนกันคลื่นสามารถลดคลื่นได้ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระดับน้ำลดลงความสามารถในการลดคลื่นเหลือ 30 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้น

Truitt and Herbich (1986) ศึกษาการส่งผ่านคลื่นของเขื่อนกันแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอกที่มีแถวเดียว การจัดเรียงได้เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็ม 3 ขนาด ตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ทดลองในรางน้ำ เปลี่ยนแปลงความลึกน้ำ คลื่นที่ใช้เป็น



คลื่นแบบสุ่ม (random wave) พิจารณาค่าประสิทธิภาพการส่งผ่านคลื่นจากข้อมูลคลื่นเฉลี่ยรวมที่สอง ( $H_{rms}$ ) ความสูงคลื่นเฉลี่ย ( $\bar{H}$ ) และความสูงคลื่นนัยสำคัญ ( $H_s$ ) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) เพิ่มขึ้นเมื่อช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นจากข้อมูลคลื่นต่างๆ ให้ผลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นอยู่ในช่วง 0.27 ถึง 0.88

Herbich and Douglas (1988) ศึกษาการส่งผ่านคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอกแบบ 2 แถวสลับนพื้นปลาที่มีช่องว่างระหว่างแถวเป็น 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างต้นในแถวเดียวกัน 2 ขนาด คือ 0.1 และ 0.2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ทดลองในรางน้ำใช้คลื่นขนาดไม่สม่ำเสมอ (irregular wave) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การจัดเรียงที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเท่ากับ 0.1 เท่าของขนาดเสาเข็มมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) น้อยกว่ากรณีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเท่ากับ 0.2 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเมื่อเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับ 1 แถว พบว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเท่ากับ 0.1 เท่าของขนาดเสาเข็มมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นลดลง 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ และกรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างต้นเท่ากับ 0.2 เท่าของขนาดเสาเข็ม มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นลดลง 15 เปอร์เซ็นต์ จากกรณีจัดเรียงแบบ 1 แถว และผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า การส่งผ่านคลื่นลดลงเมื่อความสูงคลื่นมากขึ้น คาบคลื่นลดลง และความชันคลื่นมากขึ้น

Rao et al. (1999) ศึกษาถึงการส่งผ่านคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มทรงกระบอกแบบ 2 แถวที่มีการเจาะรูที่เสาเข็ม การจัดเรียงได้เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มตั้งแต่ 0.5 ถึง 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และช่องว่างระหว่างแถวตั้งแต่ 0.5 ถึง 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ได้ทดลองในรางน้ำโดยเปลี่ยนแปลงความลึกน้ำและขนาดความชันคลื่น พบว่า เมื่อความชันคลื่นมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นลดลง ช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มลดลงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นลดลง ความลึกน้ำไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น การจัดเรียงแบบ 2 แถวทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของคลื่นลดลงต่างกันเล็กน้อยกับกรณีแถวเดียว สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นเพิ่มขึ้นเมื่อช่องว่างระหว่างแถวมากขึ้น และการจัดเรียงแบบสลับนพื้นปลามีผลต่อสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นเพียงเล็กน้อย โดยสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของคลื่น ( $K_T$ ) อยู่ในช่วง 0.7 ถึง 0.9

Rao et al. (2002) ศึกษาถึงการส่งผ่านคลื่นและการสะท้อนคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มทรงกระบอกแบบ 2 แถวที่มีการเจาะรูที่เสาเข็ม การจัดเรียงได้เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มตั้งแต่ 0.5 ถึง 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และช่องว่างระหว่างแถวตั้งแต่ 0.5

ถึง 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ได้ทดลองในรางน้ำโดยเปลี่ยนแปลงความลึกน้ำและขนาดความชันคลื่น พบว่า เมื่อความชันคลื่นมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นลดลงแต่สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นเพิ่มขึ้น ช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มลดลงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นลดลงแต่สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นเพิ่มขึ้น การจัดเรียงแบบ 2 แถวทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของคลื่นลดลงต่างกันเล็กน้อยกับกรณีแถวเดียวแต่สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นเพิ่มขึ้นและสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นลดลงเมื่อช่องว่างระหว่างแถวมากขึ้น และการจัดเรียงแบบสลับฟันปลาจะมีผลต่อสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นเพียงเล็กน้อย โดยสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของคลื่นอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 0.9 ส่วนสัมประสิทธิ์การสะท้อนอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.3

Yagci et al. (2006) ศึกษาถึงการส่งผ่านคลื่น และความเร็วของอนุภาคน้ำภายใต้คลื่น (orbital velocity) ของแนวเสาเข็มรูปทรงกระบอกที่มีแถวเดียว จัดเรียงช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเท่ากับ 0.17 เท่าของขนาดเสาเข็ม ทดลองในรางน้ำโดยเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นและคาบคลื่น พบว่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นเพิ่มขึ้นเมื่อคาบคลื่นเพิ่มขึ้น โดยสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของคลื่นอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.75 และยังพบว่าความเร็วของอนุภาคน้ำใต้คลื่นลดลงมากบริเวณใกล้ผิวหน้า แต่บริเวณใกล้ท้องน้ำความเร็วของอนุภาคน้ำลดลงเพียงเล็กน้อย

ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ (2551) ศึกษาการส่งผ่านคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่ใช้เสาสามเหลี่ยมด้านเท่าขนาด 0.5 ม. จัดเรียงแบบ 3 แถวสลับฟันปลาช่องว่างระหว่างต้นและช่องว่างระหว่างแถวเท่ากับ 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ศึกษาโดยวัดข้อมูลภาคสนาม พบว่าความสูงคลื่นลดลงประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### แบบจำลองชลศาสตร์และการทดลอง

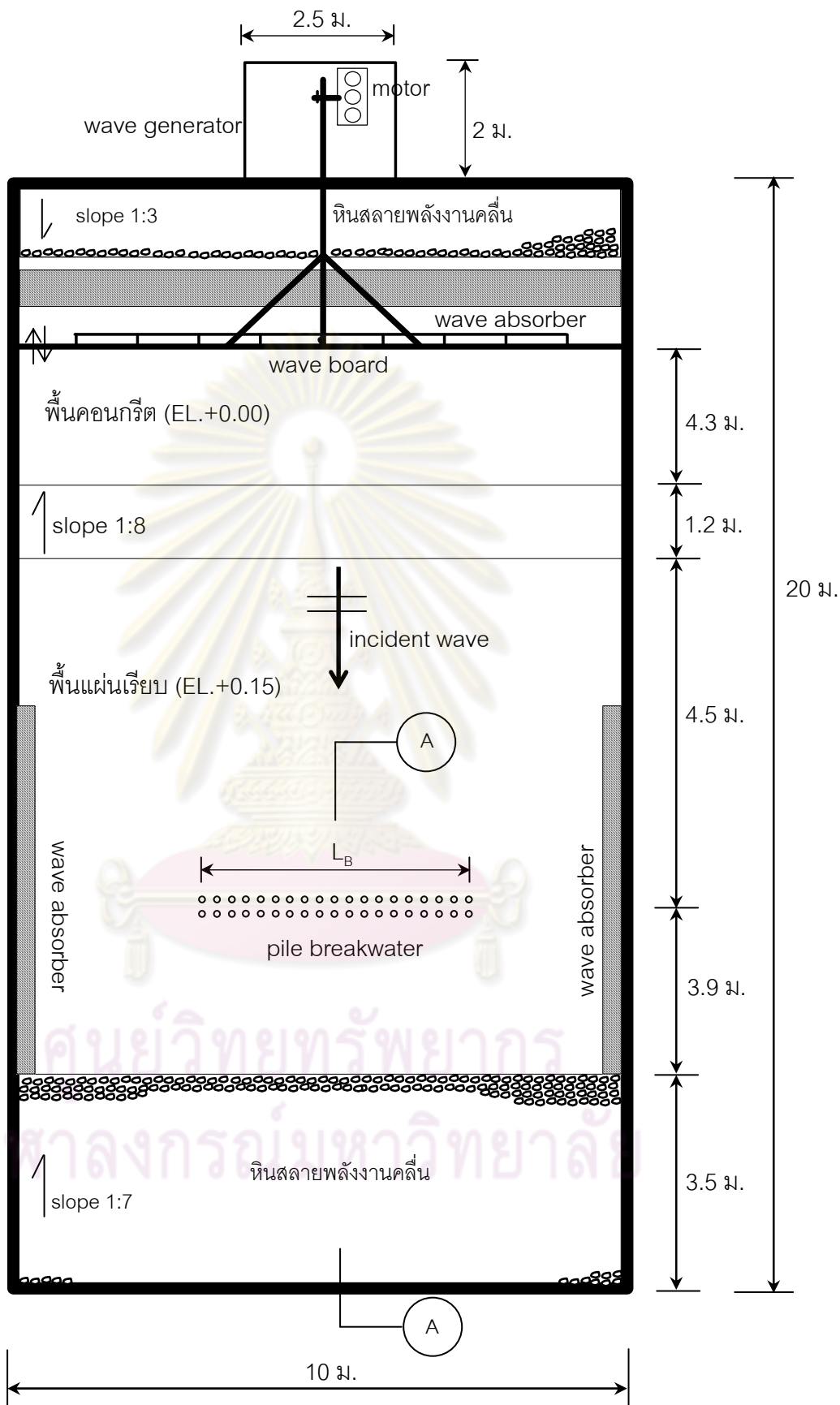
การศึกษาทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งมีแนวทางในการศึกษา เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมและกระบวนการทางชายฝั่งทะเลที่เกิดขึ้น โดยการศึกษาที่มี 3 แนวทาง ประกอบด้วย การสังเกตและวัดข้อมูลในสนาม การสังเกตและวัดข้อมูลในแบบจำลองกายภาพ (physical model) และการคำนวณและวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) โดยทั้ง 3 แนวทางมีทั้งข้อดีข้อด้อยแตกต่างกัน ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้แนวทางใดนั้นย่อมขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับการใช้แก้ปัญหา ซึ่งบางปัญหาอาจจะเหมาะสมกับแนวทางใดแนวทางหนึ่ง แต่บางปัญหาอาจจะต้องใช้หลายๆ แนวทางในการแก้ปัญหาร่วมกัน

แม้ว่าในปัจจุบันมีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความรวดเร็วในการแก้ปัญหา ความประหยัด และความสามารถที่ประยุกต์ใช้กับการศึกษาพื้นที่ต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง แต่ในทางวิศวกรรมชายฝั่งยังคงมีปัญหาอีกมากที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เนื่องจากความสลับซับซ้อนของปัญหาที่เกิดขึ้น ส่วนการสังเกตและวัดข้อมูลในสนามซึ่งน่าจะเป็นวิธีการศึกษาที่ให้ความถูกต้องมากที่สุด แต่มีค่าใช้จ่ายสูงและตัวแปรในธรรมชาติที่มีอยู่มากจึงยากต่อการแปลความหมายของข้อมูล จากข้อจำกัดของวิธีการสังเกตและวัดข้อมูลในสนาม จึงทำให้การศึกษาโดยใช้แบบจำลองกายภาพเป็นแนวทางที่ได้รับความนิยม และมีความเหมาะสมกับปัญหาทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งที่มีความสลับซับซ้อน (complicated) อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าและสามารถควบคุมตัวแปรที่ต้องการศึกษาได้อย่างเป็นระบบ ทำให้แปลความหมายของข้อมูลง่ายกว่าการศึกษาในภาคสนาม ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้แนวทางการศึกษาโดยใช้แบบจำลองกายภาพเพื่อศึกษาถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีต่อเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น

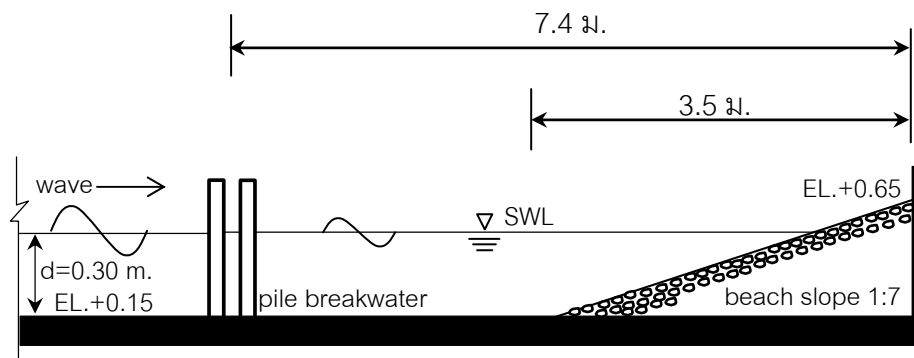
#### 3.1 แบบจำลองชลศาสตร์

การศึกษาค้นคว้าทดลองในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีองค์ประกอบ 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

- 1) แบบจำลองแอ่งคลื่น (wave basin) ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาดความกว้าง 10 ม. ยาว 20 ม. ลึก 0.70 ม. ดังรูปที่ 3-1 พื้นและผนังทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ในการทดลองได้มีการปรับปรุงพื้นของแอ่งคลื่น จากเดิมที่เป็นพื้นทรายเป็นวัสดุที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโดยใช้แผ่นเรียบสเมิร์ทบอร์ดปูบนโครงคร่าวไม้ ยกกระดานจากระดับพื้นเดิม 0.15 ม.



รูปที่ 3-1 แบบจำลองอ่างคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม



รูปที่ 3-2 รูปตัดแบบจำลองอ่างคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (A)-(A)

เท่ากันทั้งพื้นที่ขนาด  $9.6 \times 10$  ม. เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นจากผลของการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ รอบด้านข้างขอบอ่างคลื่นติดตั้งตัวสลายคลื่น (wave absorber) เพื่อลดการสะท้อนของคลื่น โดยที่ด้านต้นแอ่งและด้านท้ายแอ่งคลื่นตัวสลายพลังงานคลื่นใช้เป็นหินก่อสร้างเบอร์ # 1 เทเป็นแนวลาดเอียง 1:3 และ 1:7 ตามลำดับ ยาวตลอดด้านต้นและด้านท้ายแอ่งคลื่นเพื่อลดการสะท้อนกลับของคลื่น ส่วนบริเวณด้านข้างของแอ่งคลื่น ตัวสลายคลื่นที่ใช้เป็นโครงเหล็กหุ้มด้วยลวดตะแกรงภายในบรรจุเม็ดโฟม โครงเหล็กมีขนาดกว้าง 0.15 ม. ยาว 1.00 ม. สูง 0.50 ม. วางห่างละ 6 ม. ส่วนรายละเอียดต่างๆ ของแอ่งคลื่นแสดงไว้ในภาคผนวก ก-1

2) เครื่องกำเนิดคลื่น (wave generator) เป็นชนิดปลายยึดหมุน (hinge connection) ที่ด้านล่างของกระดานสร้างคลื่น (wave board) ส่วนด้านบนต่อกับส่วนขับเคลื่อนซึ่งเคลื่อนที่กลับไป-มาได้ตามระยะช่วงชัก (stroke) โดยความเร็วเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับมอเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ จึงสามารถสร้างคลื่นที่มีความสูงและคาบคลื่นได้แตกต่างกัน ส่วนรายละเอียดต่างๆ ของเครื่องกำเนิดคลื่นแสดงไว้ในภาคผนวก ก-2 และการเปรียบเทียบเครื่องกำเนิดคลื่น แสดงไว้ในภาคผนวก ข-2

3) แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (pile breakwater) เป็นโครงสร้างที่ยอมให้น้ำผ่านได้ (permeable) ทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.85 ซม. จัดเรียงเป็นแถวตรงความยาวประมาณ 1.80 ม. (36 เท่าของขนาดเสาเข็ม) ติดตั้งบนแผ่นพลาสติกหนา 2 มม. มีการจัดเรียง 4 รูปแบบ ดังรูปที่ 3-3 ประกอบด้วย

- รูปแบบ A จัดเรียงแบบ 3 แถวสลับฟันปลา โดยมีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็ม (b) และช่องว่างระหว่างแถว (B) เป็น 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ในการจัดเรียงใช้เสาเข็มจำนวน 38 ต้น



- รูปแบบ B จัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน (rectangle) โดยมีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็ม (b) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B) 5 ขนาด ได้แก่ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ในการจัดเรียงใช้เสาเข็มจำนวน 38 ต้น

- รูปแบบ C จัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา (staggering) โดยมีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็ม (b) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B) 5 ขนาด ได้แก่ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ในการจัดเรียงใช้เสาเข็มจำนวน 38 ต้น

- รูปแบบ D จัดเรียงแบบแถวเดียว โดยมีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็ม (b) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม ในการจัดเรียงใช้เสาเข็มจำนวน 19 ต้น

ดังนั้นแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่ใช้ในการศึกษามี 4 รูปแบบ ประกอบด้วยรูปแบบ A มี 1 กรณีศึกษา รูปแบบ B มี 5 กรณีศึกษา รูปแบบ C มี 5 กรณีศึกษา และรูปแบบ D มี 1 กรณีศึกษา รวมทั้งสิ้น 12 กรณีศึกษา ซึ่งได้แสดงตัวอย่างของรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ใช้ในการทดลองทั้ง 4 รูปแบบ แสดงในรูปที่ 3-4 และรายละเอียดของแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแสดงไว้ในภาคผนวก ก-3

4) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

- เครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter) ติดตั้งในแอ่งคลื่นเพื่อวัดคลื่นที่ผ่านจุดตรวจวัด ดังแสดงในรูปที่ 3-5 และการสอบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่นแสดงในภาคผนวก ข-1

- เครื่องมือวัดระดับน้ำ (point gauge) ติดตั้งในแอ่งคลื่นเพื่อวัดระดับน้ำที่ผ่านจุดตรวจวัด ดังแสดงในรูปที่ 3-6

- แผงวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล รุ่น DAQ Card-6024E ใช้ร่วมกับแผงวงจรสัญญาณแบบสกรูรุ่น CB-68LD และสายต่อรุ่น R6868 พร้อมด้วยซอฟต์แวร์โปรแกรม LabVIEW ของบริษัท Nation Instruments

- คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก COMPAQ Presario ใช้เก็บข้อมูลจากเครื่องวัดความสูงคลื่น

- กล้องถ่ายรูปและกล้องวิดีโอใช้บันทึกภาพพฤติกรรมต่างๆ ในแบบจำลอง

สำหรับรายละเอียดรูปเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ก-4 ส่วนรายละเอียดเกี่ยวกับการใช้วงจรแปลงสัญญาณและโปรแกรม LabVIEW รวบรวมไว้โดย ปิยะกฤษณะ (2004)

	<p>รูปแบบ A (3 แถวสลับ)</p>
	<p>รูปแบบ B (2 แถวตรง)</p>
	<p>รูปแบบ C (2 แถวสลับ)</p>
	<p>รูปแบบ D (แบบ 1 แถว)</p>

รูปที่ 3-3 รายละเอียดแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม



ด้านบน



ด้านหน้า



ด้านข้าง

(ก) การจัดเรียงรูปแบบ A (แบบ 3 แถวสลับ)



ด้านบน



ด้านหน้า



ด้านข้าง

(ข) การจัดเรียงรูปแบบ B (แบบ 2 แถวตรง)



ด้านบน



ด้านหน้า



ด้านข้าง

(ค) การจัดเรียงรูปแบบ C (แบบ 2 แถวสลับ)



ด้านบน



ด้านหน้า



ด้านข้าง

(ง) การจัดเรียงรูปแบบ D (แบบ 1 แถว)

รูปที่ 3-4 ตัวอย่างแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3-5 เครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter)



รูปที่ 3-6 เครื่องมือวัดระดับน้ำ (point gauge)



## 3.2 การวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวัดข้อมูลคลื่นในการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น โดยข้อมูลคลื่นที่ได้จากการทดลองจะประกอบด้วยข้อมูลของระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์หาความสูง คาบเวลา และจำนวนของลูกคลื่น เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

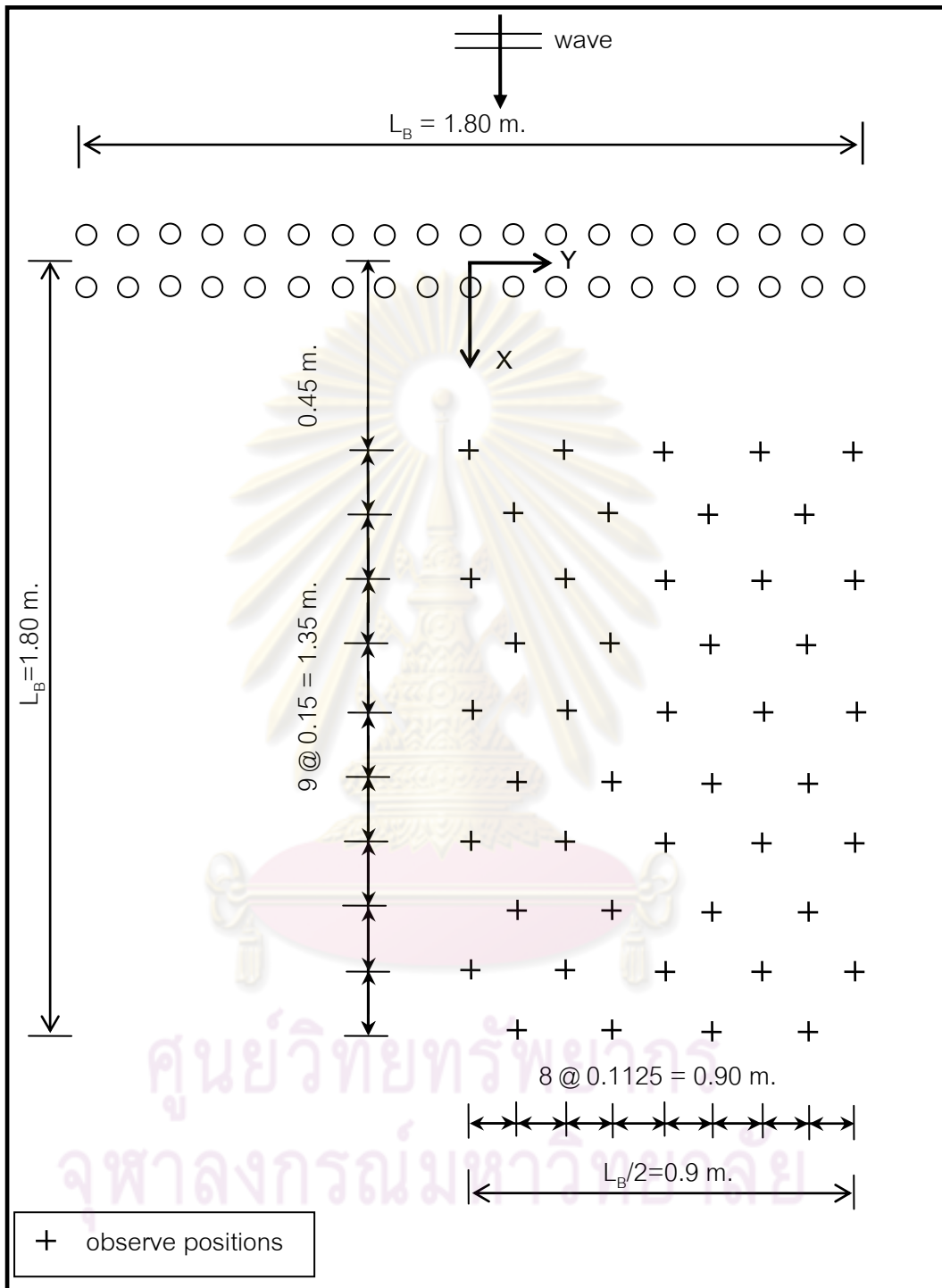
### 3.2.1 การวัดข้อมูลคลื่น

ข้อมูลคลื่นอันประกอบด้วยความสูงคลื่น (wave height,  $H$ ) และคาบคลื่น (wave period,  $T$ ) นับว่าเป็นข้อมูลที่สำคัญในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นจากผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น คลื่นที่เกิดจากเครื่องกำเนิดคลื่นสามารถบันทึกข้อมูลได้โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งควบคุมการวัดและบันทึกข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดความสูงคลื่นที่ติดตั้งในแอ่งคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3-7 ข้อมูลที่ได้ประกอบด้วยเวลาและระดับน้ำ ณ จุดวัด การวัดข้อมูลกำหนดให้บันทึกข้อมูลด้วยความถี่ 100 ข้อมูลต่อวินาทีเป็นเวลา 2 นาที การพิจารณาตำแหน่งเก็บข้อมูลเนื่องจากเขื่อนกันคลื่นมีการจัดเรียงระยะห่างระหว่างต้นของเสาเข็มที่เท่ากัน กล่าวได้ว่าเขื่อนกันคลื่นมีลักษณะสมมาตร หากแบ่งครึ่งเขื่อนกันคลื่นออกเป็น 2 ส่วน การเปลี่ยนแปลงในแต่ละส่วนจะเหมือนกัน ดังนั้นจึงวัดข้อมูลในขอบเขตพื้นที่ครึ่งหนึ่งของความยาวเขื่อนกันคลื่น โดยความกว้างของพื้นที่เก็บข้อมูลความกว้างเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวเขื่อนกันคลื่นและความยาวของพื้นที่เก็บข้อมูลเท่ากับความยาวของเขื่อนกันคลื่น

### 3.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น

ข้อมูลคลื่นที่ได้จากเครื่องวัดความสูงคลื่นประกอบด้วย เวลาและค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งต้องนำข้อมูลนี้มาวิเคราะห์หาค่าความสูงคลื่น คาบเวลาของคลื่น และจำนวนของลูกคลื่น จากนั้นนำค่าความสูงและคาบเวลาของคลื่นแต่ละลูกคลื่นมาวิเคราะห์ตามหลักสถิติ การวิเคราะห์ทางสถิติเป็นการประมาณค่าของข้อมูลตัวอย่างคลื่น ซึ่งในการศึกษามีพารามิเตอร์ทางสถิติในการประมาณค่าความสูงคลื่นและคาบเวลาของคลื่นที่นิยมในใช้งานวิศวกรรมชายฝั่งดังแสดงในตารางที่ 3-1 เมื่อนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามเวลามาคำนวณหาความสูงคลื่น คาบเวลาของคลื่น และจำนวนคลื่นทั้งหมดของตัวอย่างข้อมูลทีบันทึกได้ในแบบจำลองจากนั้นใช้ค่าความสูงคลื่นที่ได้มาคำนวณค่าความสูงเฉลี่ย (average wave height,  $\bar{H}$ ) ความสูงคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสอง (root mean squared wave height,  $H_{rms}$ ) และค่าความ





รูปที่ 3-7 ตำแหน่งวัดข้อมูลคลื่นในแบบจำลองทุกระณีศึกษา

สูงคลื่นนัยสำคัญ (significant wave height,  $H_s$ ) พบว่า ค่าความสูงคลื่นเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกับความสูงคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสองแต่น้อยกว่าความสูงคลื่นนัยสำคัญแสดงว่าคลื่นที่สร้างในอ่างคลื่นค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ความสูงคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสองในการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น

ในการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นเพื่อหาความสูง คาบเวลา และจำนวนลูกคลื่น รวมถึงการวิเคราะห์ทางสถิติใช้โปรแกรมวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ข-3

ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์คลื่นที่ใช้ในงานวิศวกรรมชายฝั่ง

Parameter	Notation	Equation
Mean wave height	$\bar{H}$	$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i$ $H_i$ = Discrete wave height in a distribution $N$ = Number of wave height
Root mean squared wave height	$H_{rms}$	$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2}$
Significant wave height	$H_s$ or $H_{1/3}$	Average of the height 1/3 of wave in record
Mean period	$\bar{T}$	$\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i$ $T_i$ = Discrete wave period

### 3.3 การออกแบบการทดลอง

การศึกษามูลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น ได้ทดลองในอ่างคลื่น โดยใช้คลื่นที่มีขนาดสม่ำเสมอ (regular wave) และกำหนดความลึกของน้ำบริเวณที่ติดตั้งเขื่อนกันคลื่นขณะน้ำนิ่ง (d) 30 ซม. มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 1) แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม

แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (pile breakwater) ที่ออกแบบไว้ในการศึกษามี 4 รูปแบบรวมทั้งสิ้น 12 กรณีศึกษาดังกล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3-1 ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของแบบจำลองแสดงไว้ในภาคผนวก ก-3 รวมแบบจำลองที่ใช้ทุกกรณีศึกษาดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 แบบจำลองเชื่อมกันคลื่นแบบเสาเข็มในกรณีศึกษาทั้งหมด 12 กรณีศึกษา

รูปแบบเชื่อมกันคลื่น แบบเสาเข็ม	ชื่อย่อ	กรณีศึกษา	ช่องว่าง ระหว่างต้น (b/D)	ช่องว่าง ระหว่างแถว (B/D)	จำนวนความ ชันคลื่น (ขนาด)
รูปแบบ A จัดเรียงแบบ 3 แถวสลับฟันปลา	3 แถวสลับ	A1	2	2	8
รูปแบบ B จัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน (rectangle)	2 แถวตรง	B1	1	0	8
		B2	1	0.5	8
		B3	1	1	8
		B4	1	1.5	8
		B5	1	2	8
รูปแบบ C จัดเรียงแบบ 2 แถว สลับฟันปลา (staggering)	2 แถวสลับ	C1	1	0	8
		C2	1	0.5	8
		C3	1	1	8
		C4	1	1.5	8
		C5	1	2	8
รูปแบบ D จัดเรียงแบบ 1 แถว	1 แถว	D1	1	-	8

## 2) ลักษณะท้องน้ำ

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของคลื่นจากผลของการจัดเรียงเชื่อมกันคลื่นเท่านั้น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นจากผลของการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำและความลาดชันของท้องน้ำ ดังนั้นในการทดลองจึงได้ปรับปรุงท้องน้ำจากพื้นทรายเป็นวัสดุที่ไม่เปลี่ยนแปลง โดยการปูแผ่นเรียบสเมิร์ทบอร์ดและไม่มีความลาดเอียงของท้องน้ำ

## 3) สภาพคลื่นในการทดลอง

เชื่อมกันคลื่นแบบเสาเข็มก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นรอบๆ บริเวณเชื่อมกันคลื่น โดยเฉพาะบริเวณด้านหลังเชื่อมกันคลื่นซึ่งเป็นพื้นที่หลักในการป้องกันของเชื่อมกันคลื่น จะ

พบว่า ความสูงคลื่นเปลี่ยนแปลงลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับขนาดของคลื่น (ทั้งความสูงและคาบเวลา) ในการศึกษาการป้องกันชายฝั่งตัวแปรคลื่นที่บ่งบอกถึงความรุนแรงของคลื่นคือ ความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) อันเป็นกลุ่มตัวแปรคลื่นที่ประกอบด้วยความสูงคลื่นและคาบเวลา กล่าวได้ว่า คลื่นที่รุนแรงจะมีความชันคลื่นมาก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงกำหนดขนาดคลื่น 8 ขนาด เป็นคลื่นในน้ำลึกปานกลาง ( $d/L$  อยู่ในช่วง 0.04 ถึง 0.5) ความชันคลื่นอยู่ในช่วง 0.0035 ถึง 0.0180 โดยเปลี่ยนแปลงทั้งค่าความสูงคลื่นและคาบเวลา เพื่อให้ได้ช่วงของความชันคลื่นที่กว้างมากขึ้น ขนาดของคลื่นจะขึ้นอยู่กับการปรับระยะช่วงชักของเครื่องกำเนิดคลื่นและความเร็วรอบของมอเตอร์ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ลักษณะคลื่นที่ใช้ในการศึกษา

ขนาดคลื่น	ระยะช่วงชัก (cm)	ความถี่มอเตอร์ (Hz)	ความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่, $H_N$ (cm)	คาบคลื่น, T (s)	ความชันคลื่น, $H_N/gT^2$	ความลึกสัมพัทธ์, $d/L$
W1	8	16	5.65	1.28	0.0035	0.16
W2	8	19	7.03	1.08	0.0061	0.20
W3	8	20.4	8.76	1	0.0089	0.22
W4	8	22	9.45	0.93	0.0111	0.24
W5	8	22	10.30	0.93	0.0121	0.24
W6	8	25	9.04	0.82	0.0137	0.32
W7	8	23.4	10.58	0.87	0.0143	0.27
W8	8	25	11.56	0.81	0.0180	0.31

\* $d=0.30$  cm

### 3.4 ขั้นตอนการศึกษา

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น ได้ศึกษาโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของคลื่นระหว่างกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่นกับกรณีมีเขื่อนกันคลื่น ในการทดลองได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง คือ การเตรียมการก่อนการทดลอง และการดำเนินการทดลอง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.4.1 การเตรียมการก่อนการทดลอง

- 1) ปรับปรุงพื้นแอ่งคลื่นจากพื้นทรายเป็นวัสดุที่ไม่มี การเปลี่ยนแปลง โดยใช้แผ่นเรียบ สมารท์บอร์ดปูบนคร่าวไม้ เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นจากผลของการ เปลี่ยนแปลงท้องน้ำ
- 2) ใส่หินก่อสร้างเบอร์ 1 ด้านต้นแอ่งความลาดชัน 1:3 และด้านท้ายแอ่งความชัน 1:7 และติดตั้งตัวสลายพลังงานคลื่น (wave absorber) ด้านข้างของแอ่งคลื่น เพื่อสลายพลังงานคลื่น ไม่ให้เกิดการสะท้อน
- 3) ติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำ (point gauge) สำหรับวัดระดับน้ำนิ่ง (still water level) เพื่อตรวจสอบระดับน้ำในแต่ละการทดลองให้เท่ากัน
- 4) ติดตั้งเครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter) ในแอ่งคลื่น
- 5) เปิดเครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำเข้าในแอ่งคลื่น โดยมีความลึกของน้ำบริเวณติดตั้งเชื่อมกัน คลื่น 30 ซม.
- 6) ติดตั้งกล้องวิดีโอเพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของคลื่น

### 3.4.2 การดำเนินการทดลอง

- 1) เปิดเครื่องกำเนิดคลื่นตามเงื่อนไขของคลื่นที่กำหนด ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง
- 2) วัดเก็บข้อมูลคลื่นกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่นโดยแต่ละตำแหน่งเก็บข้อมูล 2 นาที
- 3) ติดตั้งแบบจำลองเชื่อมกันคลื่นแบบเสาเข็มในตำแหน่งที่เตรียมไว้ ในขณะที่เครื่อง กำเนิดคลื่นกำลังทำงาน เพื่อรักษาเงื่อนไขของคลื่นให้คงไว้เหมือนกับกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น ดัง แสดงในรูปที่ 3-8 (การปิดเครื่องแล้วเปิดใหม่จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความสูงคลื่น)
- 4) วัดเก็บข้อมูลคลื่นกรณีมีเชื่อมกันคลื่นโดยแต่ละตำแหน่งเก็บข้อมูล 2 นาที
- 5) นำเชื่อมกันคลื่นออกจากแอ่งคลื่น ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที
- 6) ทำขั้นตอนที่ 3 ถึง 5 ซ้ำ โดยเปลี่ยนรูปแบบของเชื่อมกันคลื่นทำจนครบทั้ง 12 รูปแบบ
- 7) วัดเก็บข้อมูลคลื่นหลังทดลองเสร็จอีกครั้ง เพื่อตรวจสอบกับข้อมูลคลื่นก่อนมีเชื่อมกัน คลื่น
- 8) ทำขั้นตอนที่ 1 ถึง 7 ซ้ำโดยเปลี่ยนขนาดของคลื่น



ซึ่งในกรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นบริเวณด้านหลังเชื่อมกันคลื่น ได้เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่น 8 ขนาด รวมการทดลองทั้งสิ้น 96 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3-3 โดยมีแผนผังการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 3-9

ตารางที่ 3-4 รายละเอียดกรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นบริเวณด้านหลังเชื่อมกันคลื่น

แบบจำลอง เชื่อมกันคลื่น	ขนาดคลื่น							
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
A1	A1W1	A1W2	A1W3	A1W4	A1W5	A1W6	A1W7	A1W8
B1	B1W1	B1W2	B1W3	B1W4	B1W5	B1W6	B1W7	B1W8
B2	B2W1	B2W2	B2W3	B2W4	B2W5	B2W6	B2W7	B2W8
B3	B3W1	B3W2	B3W3	B3W4	B3W5	B3W6	B3W7	B3W8
B4	B4W1	B4W2	B4W3	B4W4	B4W5	B4W6	B4W7	B4W8
B5	B5W1	B5W2	B5W3	B5W4	B5W5	B5W6	B5W7	B5W8
C1	C1W1	C1W2	C1W3	C1W4	C1W5	C1W6	C1W7	C1W8
C2	C2W1	C2W2	C2W3	C2W4	C2W5	C2W6	C2W7	C2W8
C3	C3W1	C3W2	C3W3	C3W4	C3W5	C3W6	C3W7	C3W8
C4	C4W1	C4W2	C4W3	C4W4	C4W5	C4W6	C4W7	C4W8
C5	C5W1	C5W2	C5W3	C5W4	C5W5	C5W6	C5W7	C5W8
D1	D1W1	D1W2	D1W3	D1W4	D1W5	D1W6	D1W7	D1W8

\* A คือ การจัดเรียงแบบ 3 แถวสลับพื้นปลา

B คือ การจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน เปลี่ยนช่องว่างระหว่างแถว 5 ค่า

C คือ การจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับพื้นปลา เปลี่ยนช่องว่างระหว่างแถว 5 ค่า

D คือ การจัดเรียงแบบ 1 แถว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) รูปแบบ A (3 แถวสลับ)



ข) รูปแบบ B (2 แถวตรง)



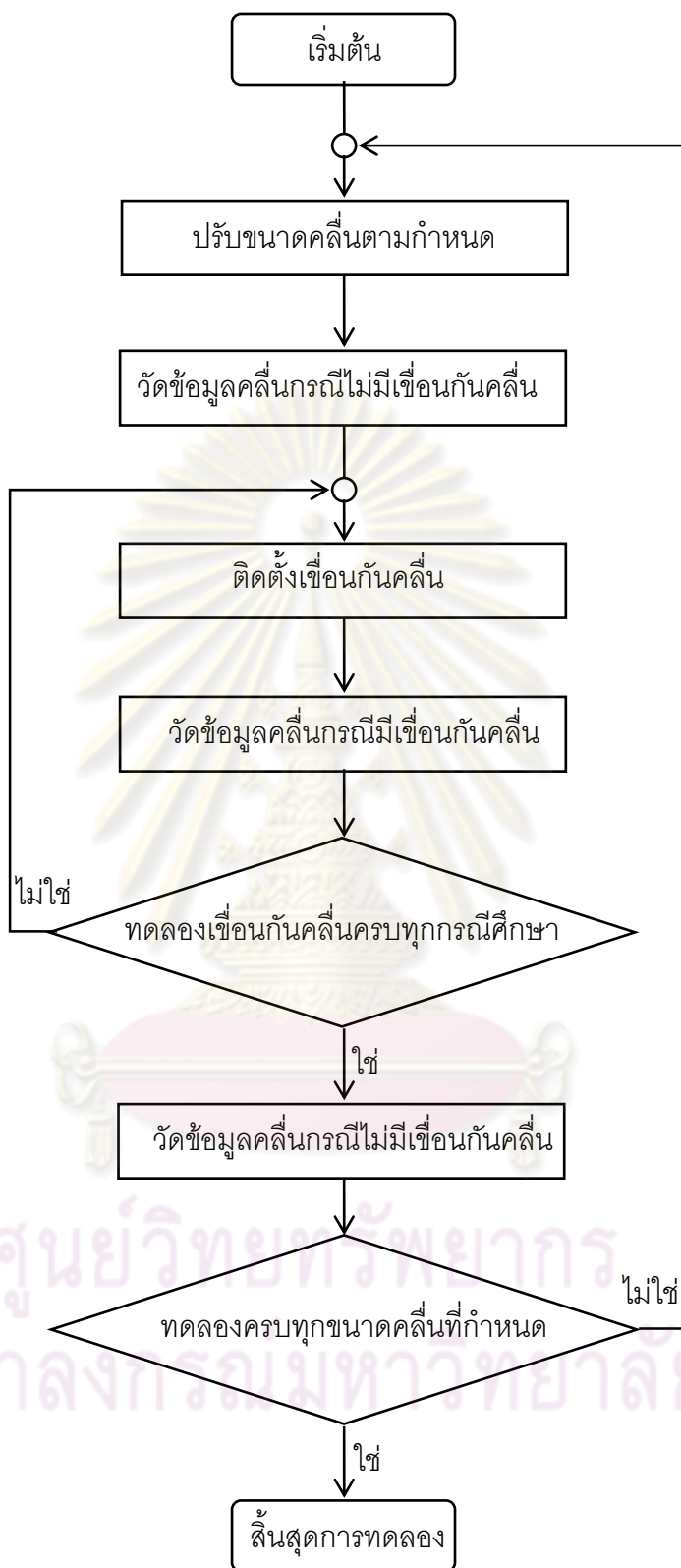
ค) รูปแบบ C (2 แถวสลับ)



ง) รูปแบบ D (1 แถว)

รูปที่ 3-8 การติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นในอ่างคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-9 แผนผังขั้นตอนการทดลอง

### 3.5 การตรวจสอบคลื่นในแองคลื่น

ในส่วนนี้เป็นการกล่าวถึงการตรวจสอบคลื่นในแบบจำลองแองคลื่น อันเนื่องมาจากการศึกษาผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม ที่มีต่อลักษณะคลื่นบริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่น ได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงความสูงของคลื่นในแต่ละตำแหน่งหลังเขื่อนกันคลื่น โดยเปรียบเทียบความสูงของคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่นกับกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น ซึ่งการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นทั้ง 2 กรณี อยู่บนสมมติฐานที่ว่า ลักษณะของคลื่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา ทำให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลในช่วงเวลาที่แตกต่างกันได้เหมือนเป็นช่วงเวลาเดียวกัน แต่การทดลองที่ใช้เวลานานอาจทำให้ลักษณะของคลื่นแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา จึงจำเป็นต้องตรวจสอบลักษณะของคลื่นในแต่ละช่วงเวลา นอกจากนั้นยังจำเป็นต้องตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับระยะทาง

การตรวจสอบคลื่นในแบบจำลองแองคลื่น จะประกอบด้วย การตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับเวลา และการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับระยะทาง ซึ่งรายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ค

#### 3.5.1 การตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์หลักในการทดลองประกอบด้วย เครื่องกำเนิดคลื่นและเครื่องวัดความสูงคลื่น โดยเครื่องกำเนิดคลื่นทำหน้าที่สร้างคลื่นในแองคลื่นสำหรับการศึกษา แต่คลื่นในแองคลื่นไม่สามารถวัดลักษณะของคลื่นได้โดยตรง ต้องอาศัยเครื่องวัดความสูงคลื่นวัดระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จากการทดลองใช้เวลาต่อเนื่องค่อนข้างยาวนาน (ประมาณ 12-14 ชั่วโมง) อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของทั้งเครื่องกำเนิดคลื่น และเครื่องวัดความสูงคลื่นให้เกิดความคลาดเคลื่อนจึงต้องทำการตรวจสอบ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค-1)

เครื่องกำเนิดคลื่นทำงานโดยอาศัยกระแสไฟฟ้า ซึ่งในช่วงเวลาต่างๆ อาจมีกระแสไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องกำเนิดคลื่น ทำให้คลื่นที่สร้างนั้นมีคาบเวลาที่แตกต่างกัน แต่จากการตรวจสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดคลื่นในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าคาบเวลาของคลื่นคงที่ตลอดการทดลอง แสดงว่า เครื่องกำเนิดคลื่นทำงานสม่ำเสมอตลอดการทดลอง

การตรวจสอบเครื่องวัดความสูงคลื่น ทำโดยเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องวัดความสูงคลื่นแต่ละตัว ซึ่งผลการทดลอง พบว่า เครื่องวัดแต่ละตัวแสดงผลโดยให้ค่าที่ไม่แตกต่างกัน และเมื่อตรวจสอบการทำงานที่ต่อเนื่องประมาณ 14 ชั่วโมงของเครื่องวัดความสูงคลื่น พบว่า เครื่องวัด

ความสูงคลื่นแสดงผลก่อนและหลังการทำงานต่อเนื่องให้ค่าแตกต่างกันประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากเอกสารประกอบของบริษัทผู้ผลิตได้ให้รายละเอียดของความถูกต้องของเครื่องวัด เมื่อเครื่องวัดทำงานต่อเนื่อง การทำงานพร้อมกันหลายๆ ตัว และอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนแปลง ความถูกต้องของเครื่องวัดประมาณ  $\pm 2$  เปอร์เซ็นต์

จากการตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือและอุปกรณ์ กล่าวได้ว่า การทำงานของเครื่องกำเนิดคลื่นทำงานสม่ำเสมอตลอดการทดลอง ส่วนเครื่องวัดความสูงคลื่นแต่ละตัวให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันและเครื่องวัดความสูงคลื่นมีความถูกต้องประมาณ  $\pm 2$  เปอร์เซ็นต์

### 3.5.2 การเปลี่ยนแปลงคลื่นกับเวลา

การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคลื่นกับเวลา ได้ตรวจสอบในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค-2) โดยการตรวจสอบในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงได้ทดลองวัดข้อมูลคลื่น เป็นเวลา 5 นาที ทุกๆ ชั่วโมง ดังแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3-10 พบว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับเวลาของแต่ละตำแหน่งมีแนวโน้มแตกต่างกัน โดยบางตำแหน่งความสูงคลื่นมีแนวโน้มที่ลดลงกับเวลาที่เพิ่มขึ้น และบางตำแหน่งความสูงคลื่นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นกับเวลาที่เพิ่มขึ้น แต่ความลาดชันของเส้นแนวโน้มค่อนข้างน้อย ดังเห็นได้จากสมการของเส้นแนวโน้มที่แสดงในรูปที่ 3-10 แสดงว่า ความสูงคลื่นมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา อย่างไรก็ตามในแต่ละช่วงเวลามีลักษณะของความสูงคลื่นที่ขึ้น-ลง ไม่แน่นอน แสดงให้เห็นถึงความผันผวนของข้อมูลคลื่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่ง ดังแสดงตารางที่ 3-5 พบว่า ความผันผวนของข้อมูลเฉลี่ยประมาณ  $\pm 1.7$  เปอร์เซ็นต์

การตรวจสอบในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ได้ทดลองวัดข้อมูลเป็นเวลา 2 นาทีๆ ทุก 5 นาที แสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 3-11 พบว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับเวลาของแต่ละตำแหน่งมีแนวโน้มแตกต่างกันทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง แต่ความลาดชันของเส้นแนวโน้มน้อยมากดังเห็นได้จากสมการของเส้นแนวโน้มที่แสดงในรูปที่ 3-11 แสดงว่าความสูงคลื่นในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา และเมื่อพิจารณาถึงความผันผวนของข้อมูลดังตารางที่ 3-6 พบว่าความผันผวนของข้อมูลเฉลี่ยประมาณ  $\pm 1.1$  เปอร์เซ็นต์

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับเวลาในช่วง 24 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของความสูงคลื่นไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา ดังนั้นการเปรียบเทียบความสูงคลื่นกรณีที่มีเขื่อนกันคลื่นและกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น ถึงแม้ว่าช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลทั้ง 2 กรณีจะต่างกัน แต่ก็สามารถเปรียบเทียบกันได้เหมือนเป็นเวลาเดียวกัน และจากความผันผวนของข้อมูลเฉลี่ยประมาณ  $\pm 1.7$  เปอร์เซ็นต์ กล่าวได้ว่า ผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแต่ละรูปแบบ



อยู่บนความผันผวนของข้อมูลประมาณ  $\pm 1.7$  เปอร์เซ็นต์เหมือนกัน ซึ่งความผันผวนของข้อมูล อาจเกิดจากเครื่องวัดความสูงคลื่นที่มีความถูกต้องประมาณ  $\pm 2$  เปอร์เซ็นต์ การทำงานของมอเตอร์และการจ่ายกระแสไฟไม่คงที่ ตัวยึดของกระดานสร้างคลื่นที่ไม่แน่นเนื่องจากอายุการใช้งานที่ยาวนานทำให้กระดานสร้างคลื่นขยับไป-มา ส่งผลให้คลื่นที่สร้างมีขนาดต่างกัน

### 3.5.3 การเปลี่ยนแปลงคลื่นกับระยะทางตามแนวคลื่น

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับระยะทาง เพื่อตรวจสอบลักษณะของคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นในกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น โดยแบ่งการศึกษา ออกเป็น 3 ลักษณะ คือ การเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งทดลองคลื่น 1 ขนาด พิจารณาการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-12 การเปลี่ยนแปลงในแต่ละขนาดคลื่น ซึ่งได้ ทดลองคลื่น 5 ขนาด ดังแสดงในรูปที่ 3-13 และการเปลี่ยนแปลงในแต่ละแนวขนานกับเขื่อนกัน คลื่นซึ่งได้ทดลอง 4 แนว ใช้คลื่น 3 ขนาด ดังแสดงในรูปที่ 3-14 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค-3)

จากการตรวจสอบ พบว่า ในแต่ละตำแหน่งมีการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นไม่แน่นอน โดยมีลักษณะขึ้น-ลงกับระยะทาง แต่เมื่อพิจารณา ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง จะเห็นได้ว่า ลักษณะของความสูงคลื่นไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา แต่จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดคลื่น และเมื่อ พิจารณาในแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น พบว่า มีความสูงต่างกัน แสดงว่าคลื่นลูกเดียวกันมีความ สูงตลอดแนวของคลื่นไม่เท่ากัน อาจเนื่องมาจาก ลักษณะของท้องน้ำที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความ ลึกของน้ำในแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน ส่งผลให้เกิดการหักเหของคลื่น อีกทั้งในแอ่งคลื่นยังมีการ สะท้อนของคลื่นจากด้านข้างและด้านท้ายของแอ่งคลื่น จึงทำให้ความสูงของคลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ มีความแตกต่างกัน

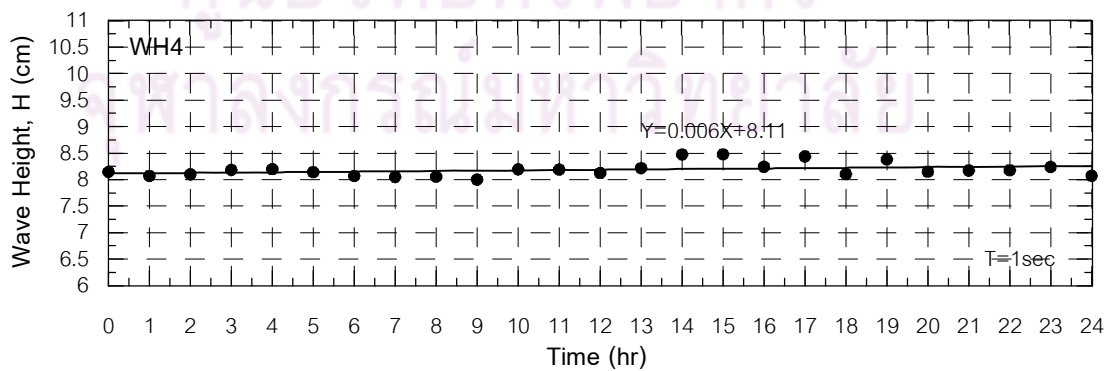
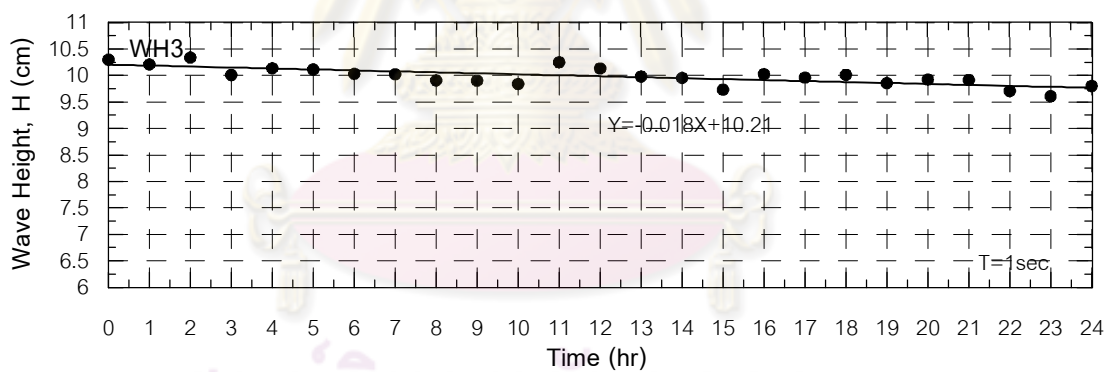
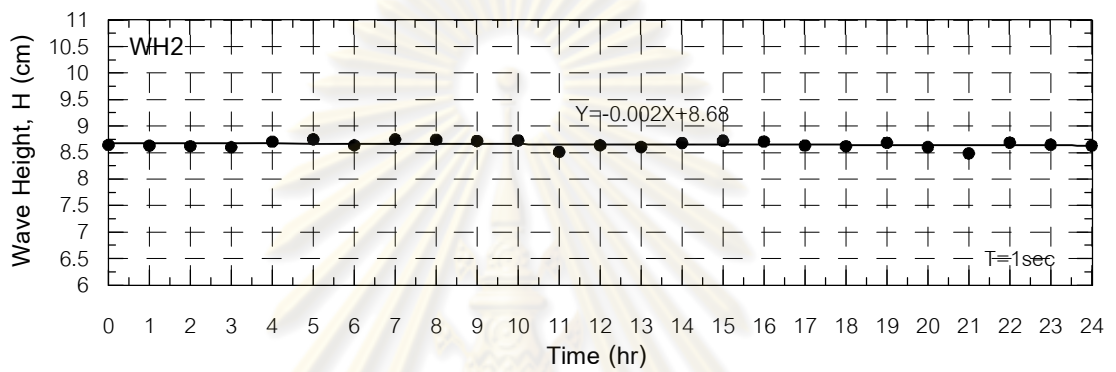
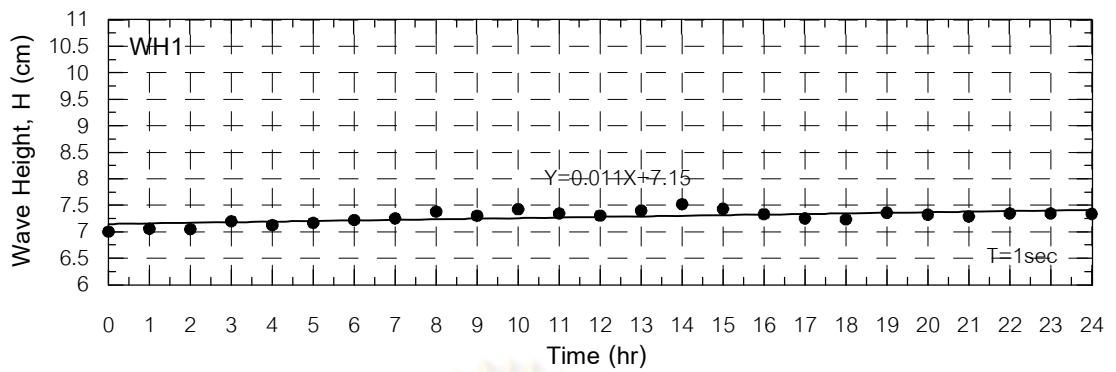
จากลักษณะของความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ไม่เท่ากัน จึงไม่สามารถเปรียบเทียบ ระหว่างตำแหน่งที่ต่างกันได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ในกรณีที่มีเขื่อนกันคลื่นไม่สามารถ เปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งด้านหน้ากับด้านหลังเขื่อนกันคลื่นได้ ดังนั้นในการศึกษาผลของการ จัดเรียงเขื่อนกันคลื่นจึงได้ศึกษาเปรียบเทียบความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งเดียวกันระหว่างกรณีมี เขื่อนกันคลื่นกับกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น และเนื่องจากลักษณะของคลื่นไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา ทำ ให้สามารถเปรียบเทียบความสูงคลื่นกรณีมีและไม่มีเขื่อนกันคลื่นได้เหมือนช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ 3-5 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

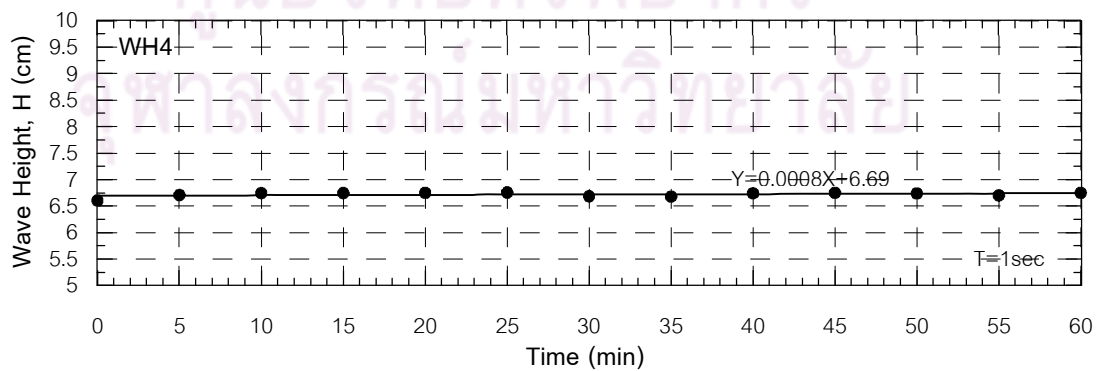
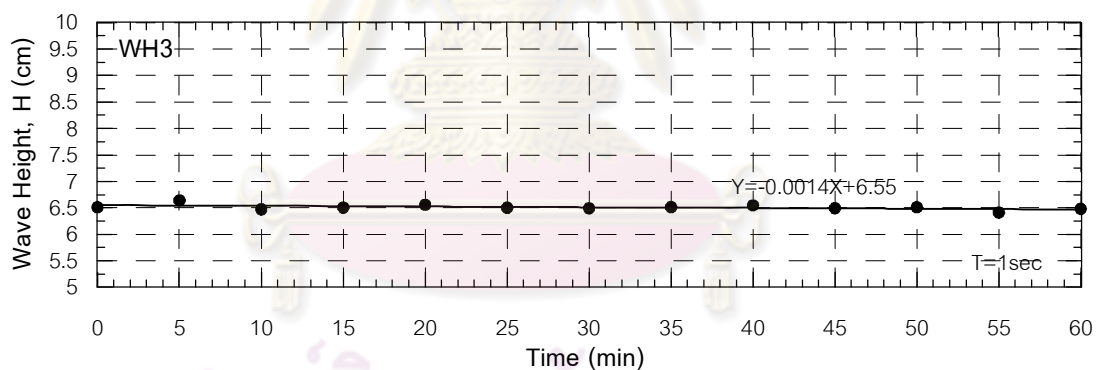
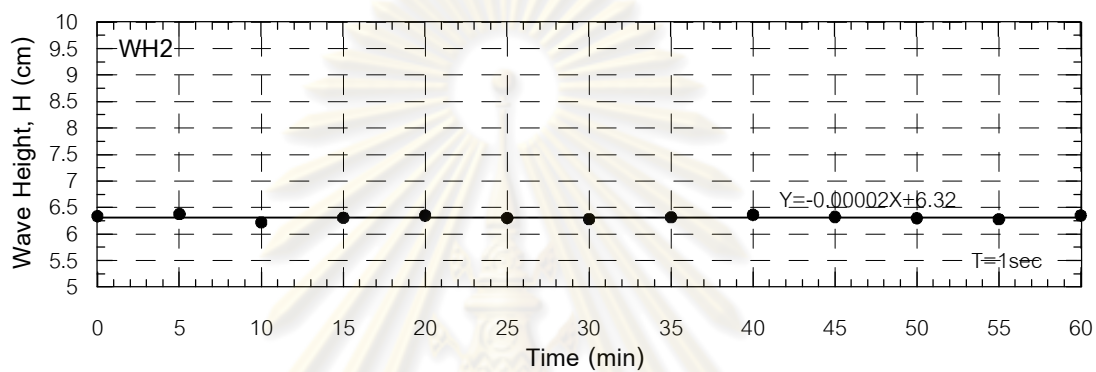
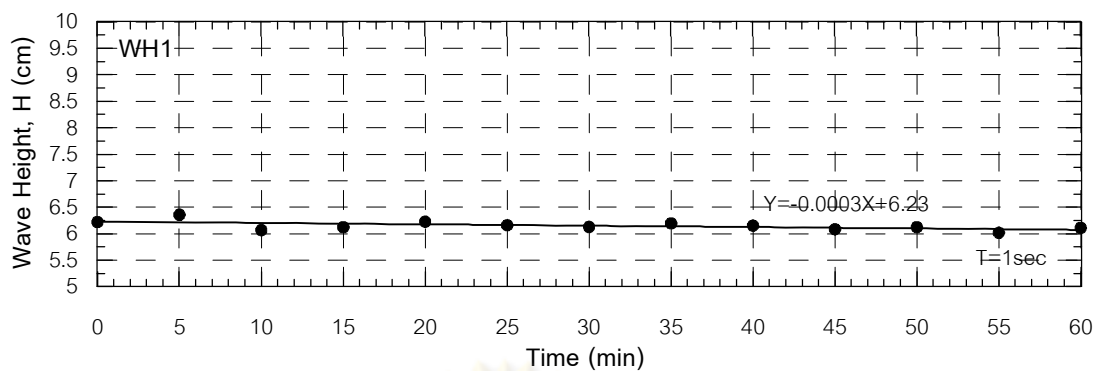
Wave height	Max (cm)	Min (cm)	Average (cm)	Std (cm)	(Std/Average) × 100 %
WH1	7.52	7.00	7.28	0.13	1.7
WH2	8.75	8.48	8.65	0.07	0.8
WH3	10.34	9.61	9.99	0.18	1.8
WH4	8.48	8.00	8.19	0.13	1.6
WH5	7.66	7.23	7.45	0.10	1.3
WH6	7.72	7.17	7.45	0.14	1.8
WH7	8.96	8.30	8.62	0.18	2.1
WH8	8.03	7.47	7.70	0.13	1.7
WH9	7.26	6.62	6.88	0.14	2.0
WH10	6.73	6.14	6.43	0.14	2.2
average					1.7

ตารางที่ 3-6 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง

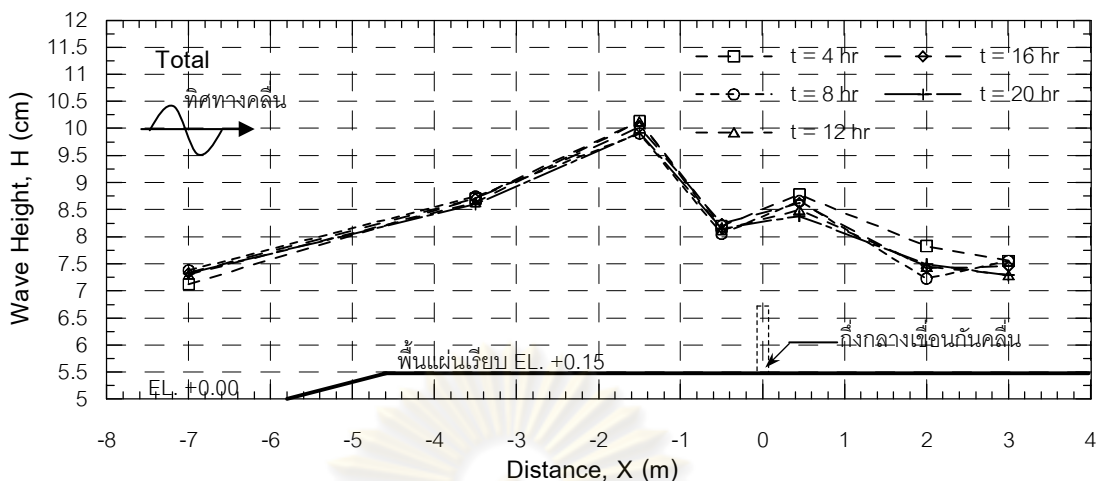
Wave height	Max (cm)	Min (cm)	Average (cm)	Std (cm)	(Std/Average) × 100 %
WH1	6.36	6.02	5.78	0.09	1.5
WH2	6.38	6.22	6.01	0.04	0.7
WH3	6.64	6.41	6.26	0.05	0.9
WH4	6.76	6.61	6.53	0.04	0.7
WH5	6.47	6.32	6.28	0.04	0.6
WH6	6.85	6.74	6.74	0.04	0.6
WH7	8.55	8.26	8.28	0.10	1.2
WH8	8.24	7.91	8.09	0.11	1.4
WH9	6.87	6.46	6.86	0.15	2.2
WH10	6.28	6.08	6.45	0.07	1.1
average					1.1



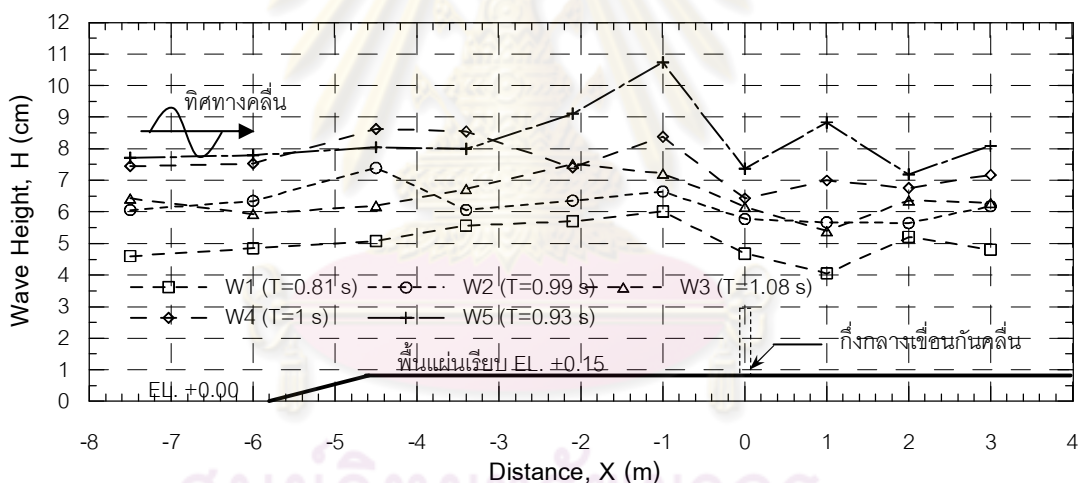
รูปที่ 3-10 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับเวลาในช่วง 24 ชั่วโมง ณ ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 3-11 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับเวลาในช่วง 1 ชั่วโมง ณ ตำแหน่งต่างๆ

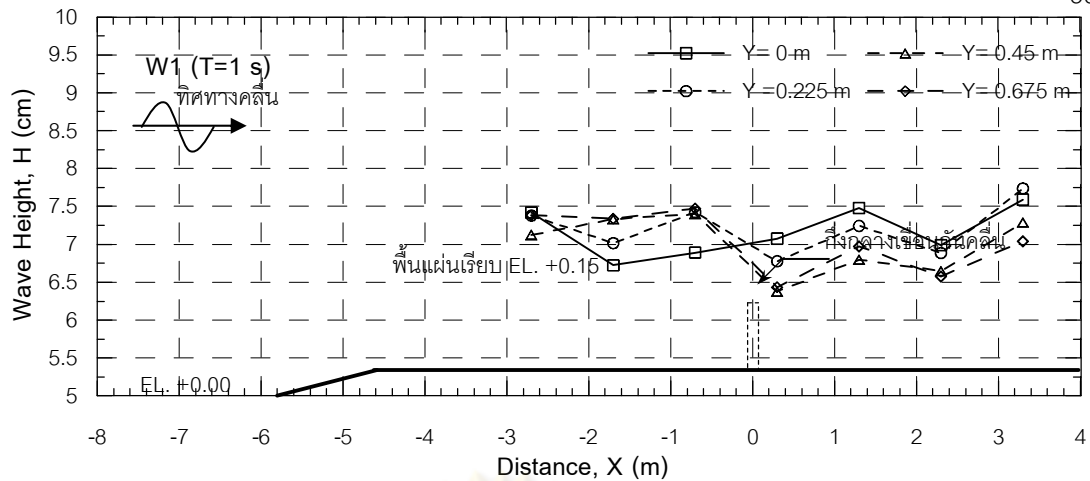


รูปที่ 3-12 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (H) กับระยะทางในทิศทางคลื่น (X)  
กรณีไม่มีเขื่อน (T=1 sec)

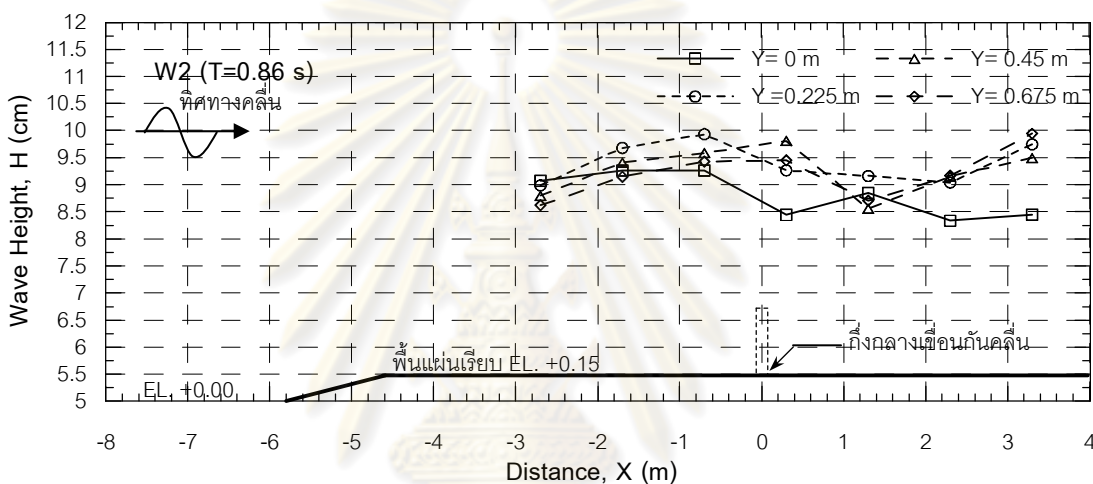


รูปที่ 3-13 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (H) กับระยะทางในทิศทางคลื่น (X)  
กรณีไม่มีเขื่อน

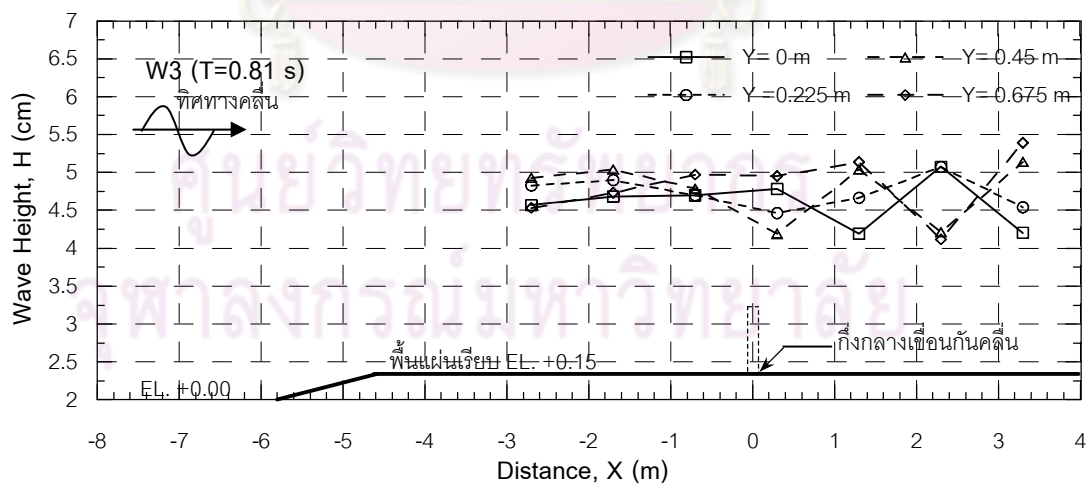




ก) คลื่นที่ 1



ข) คลื่นที่ 2



ค) คลื่นที่ 3

รูปที่ 3-14 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (H) กับระยะทางในทิศทางคลื่น (X)

พิจารณาในแต่ละแนวตั้งฉากกับทิศทางคลื่น (Y) กรณีไม่มีเขื่อน

### 3.6 ผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลองถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น โดยใช้แบบจำลองกายภาพ ซึ่งได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นบริเวณพื้นที่ด้านหลังของเขื่อนกันคลื่น โดยทดลองเขื่อนกันคลื่น 12 กรณีศึกษากับความชันคลื่น 8 ขนาด รวมการทดลองทั้งสิ้น 96 การทดลอง ข้อมูลจากการทดลองที่ได้นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วน คือ

1) ลักษณะคลื่นจากการบันทึก จะประกอบด้วยข้อมูลคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่นและกรณีมีเขื่อนกันคลื่น เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการบันทึกด้วยคอมพิวเตอร์เป็นข้อมูลเวลาและการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ เมื่อนำมาสร้างกราฟจะได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ณ จุดที่เก็บข้อมูลตามเวลา ซึ่งมีรูปร่างคล้ายรูปร่างของคลื่นที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 3-15 ซึ่งสามารถนำมาคำนวณคาบเวลา ความสูงของคลื่น และจำนวนของคลื่นได้

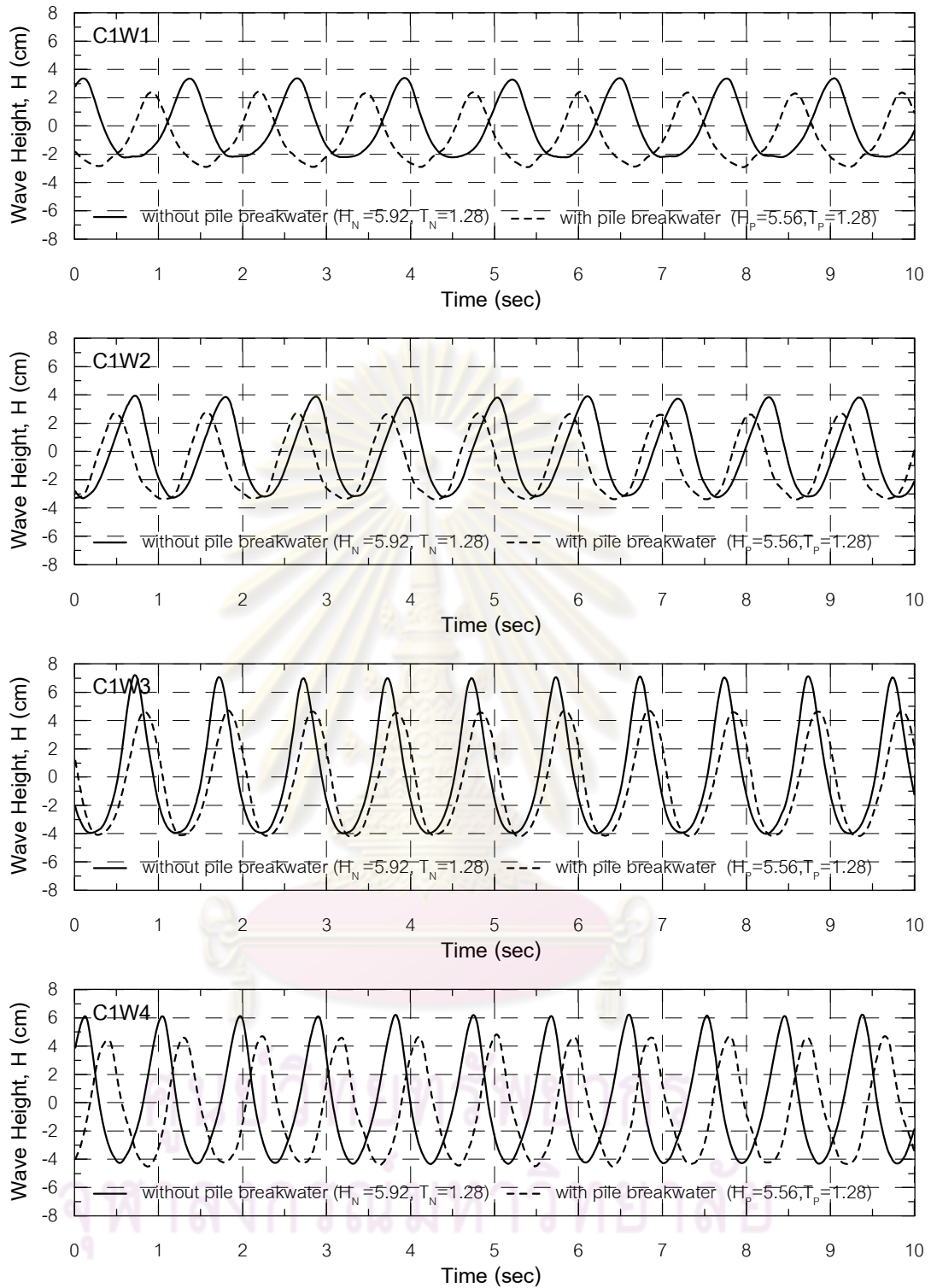
2) ตารางสรุปการทดลอง ประกอบด้วยข้อมูลคลื่นที่เกิดจากการทดลอง ณ ตำแหน่งต่างๆ หลังเขื่อนกันคลื่น ประกอบด้วยข้อมูลคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น (without pile breakwater) และข้อมูลคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่น (with pile breakwater) โดยพารามิเตอร์ของคลื่นได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยความสูงคลื่นแต่ละตำแหน่งเป็นความสูงคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสอง ซึ่งจากการทดลอง พบว่า เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฉพาะความสูงคลื่น แต่คาบเวลาไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการศึกษาถึงผลของเขื่อนกันคลื่นต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น จะศึกษาโดยเปรียบเทียบระหว่างความสูงคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่น (with pile breakwater wave height,  $H_p$ ) กับ ความสูงคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น (without pile breakwater wave height,  $H_n$ ) เรียกว่า อัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $K_p$ ) ซึ่งตัวอย่างผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3-7 และรายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ง

3) รูปเส้นชั้นอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น จากข้อมูลอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งวัดข้อมูลที่กระจายทั่วพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่น สามารถนำไปสร้างเส้นชั้นอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ดังในรูปที่ 3-16 และแสดงตัวอย่างกรณีความชันคลื่น ( $H_n/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0180 ดังรูปที่ 3-17 รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค ซึ่งจะเห็นว่าในทุกรูปแบบของการจัดเรียงมีอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) ของทุกค่าความชันคลื่น มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นตามแนวทิศทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$ ) ในช่วง 0.25 ถึง 0.625 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้เขื่อนกันคลื่น ค่า  $K_p$  ลดต่ำที่สุดจากนั้นค่า  $K_p$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะทาง  $X/L_B$  ที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งบริเวณที่  $X/L_B$  เป็น 1 ซึ่งค่า  $K_p$  เท่ากับ 1 หมายถึงพื้นที่นั้นไม่มีอิทธิพลของเขื่อนกันคลื่นอีกต่อไป และเมื่อพิจารณาตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น

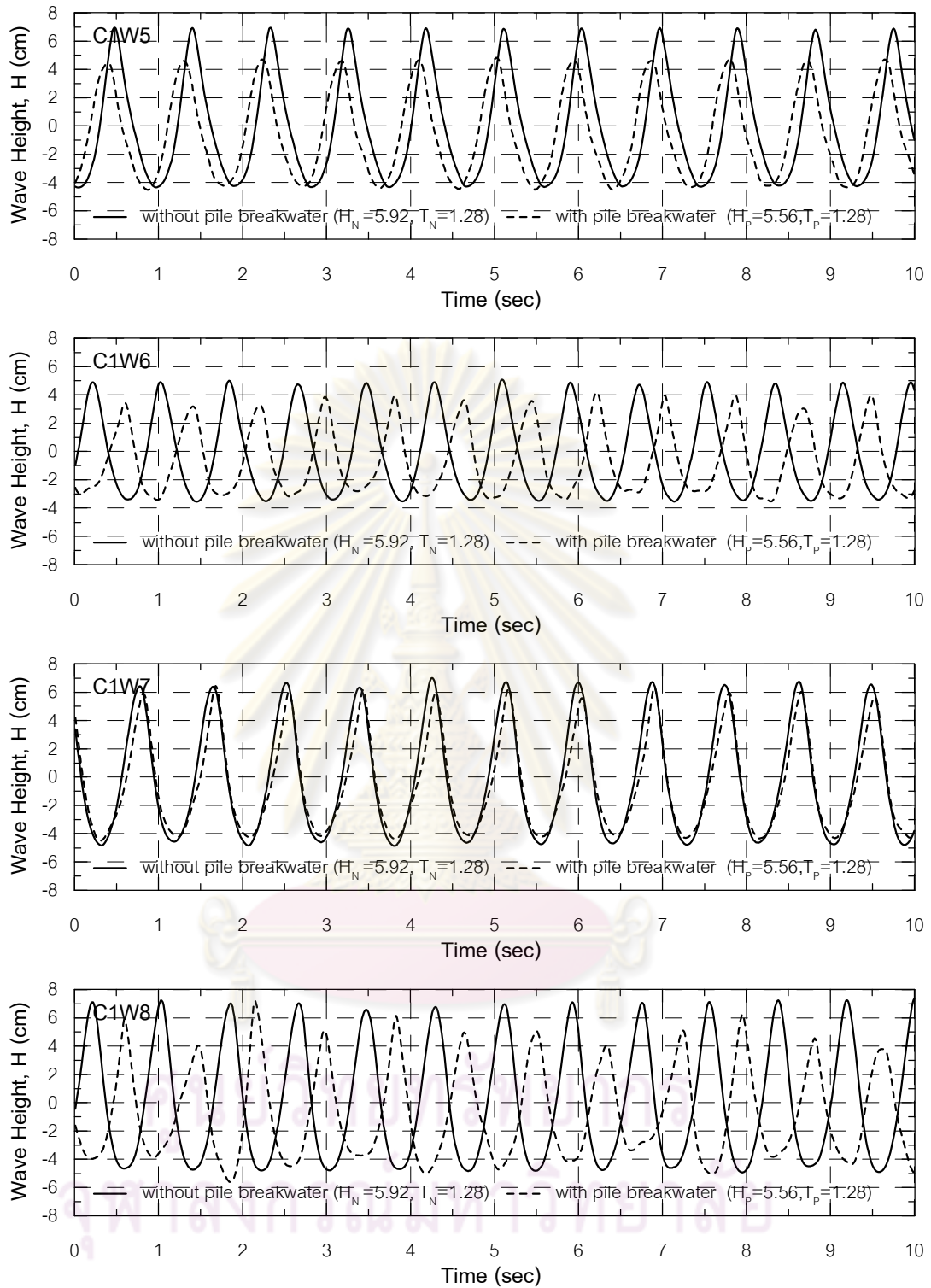
( $Y/L_B$ ) จะเห็นว่าบริเวณกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B = 0$  ถึง  $0.2$ ) จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) มีค่าต่ำที่สุด จากนั้นค่า  $K_p$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะทาง  $Y/L_B$  ที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งบริเวณพื้นที่หัวเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B = 0.4$  ถึง  $0.5$ ) ค่า  $K_p$  มีค่ามากที่สุดเนื่องจากอิทธิพลของคลื่นที่กระจาย (wave diffraction) เข้ามาทางปลายทั้งสองด้านของเขื่อนกันคลื่น (the ends of pile breakwater)

4) ตารางสรุปค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในแต่ละตำแหน่งไม่แน่นอน รวมถึงการพิจารณาแยกในแต่ละตำแหน่งที่มีอยู่หลายตำแหน่งจะเกิดความยุ่งยากในการแปรความหมาย ดังนั้นในส่วนของกราฟวิเคราะห์ผลจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่ จึงจำเป็นต้องหาค่าซึ่งเป็นตัวแทนของค่าทั้งพื้นที่นั่นก็คือค่าเฉลี่ย เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลในการศึกษา ซึ่งในการหาค่าเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นทั้งพื้นที่ได้ใช้ 2 วิธี คือ การหาจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตและการหาค่าเฉลี่ยจากเส้นชั้นอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองสรุปดังตารางที่ 3-8 และ 3-9 ตามลำดับ ซึ่งผลจากทั้ง 2 ตารางแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่มีค่าเท่ากัน โดยค่าที่ไม่เท่ากันมีความแตกต่างกันประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ อันเกิดจากการบิดเบือนทัศนียภาพ กล่าวได้ว่าการหาค่าเฉลี่ยค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นทั้งพื้นที่ทั้ง 2 วิธีให้ค่าที่ไม่แตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

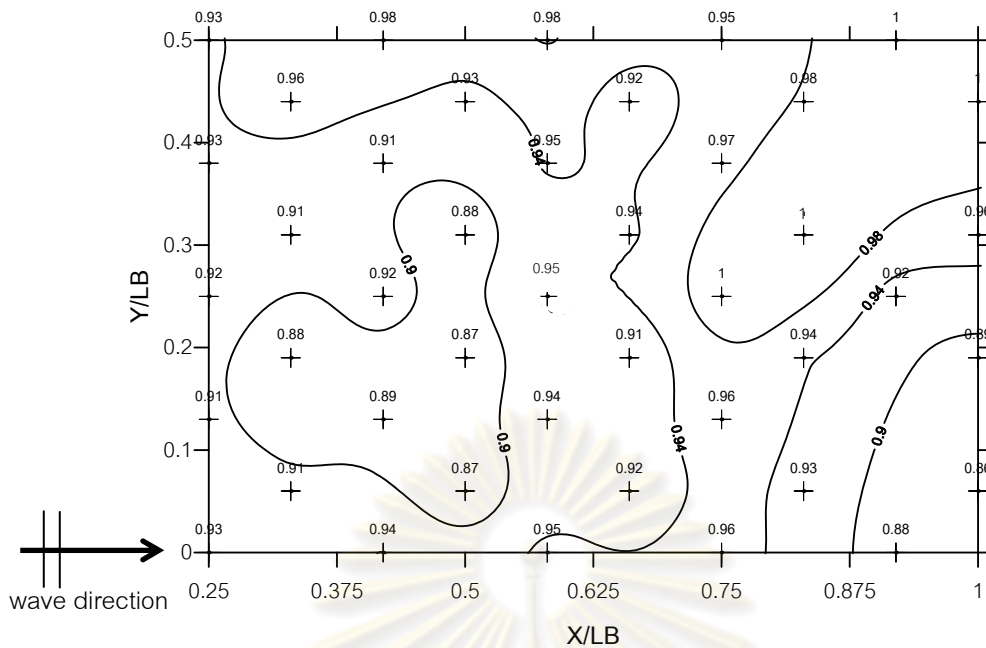


รูปที่ 3-15 ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการทดลองกรณี 2 แถวสลับพื้นปลา C1W1 ถึง C1W8  
ที่ตำแหน่ง ( $X/L_B$  เท่ากับ 0.25,  $Y/L_B$  เท่ากับ 0)

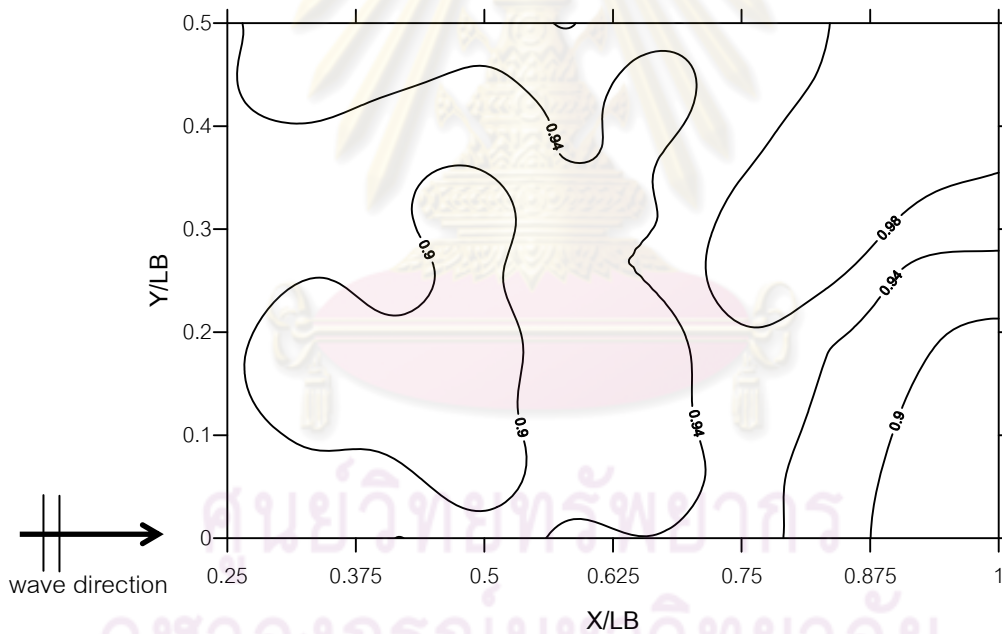


รูปที่ 3-15 ตัวอย่างข้อมูลคลื่นจากการทดลองกรณี 2 แถวสลับพื้นปลา C1W1 ถึง C1W8  
ที่ตำแหน่ง ( $X/L_B$  เท่ากับ 0.25,  $Y/L_B$  เท่ากับ 0) (ต่อ)



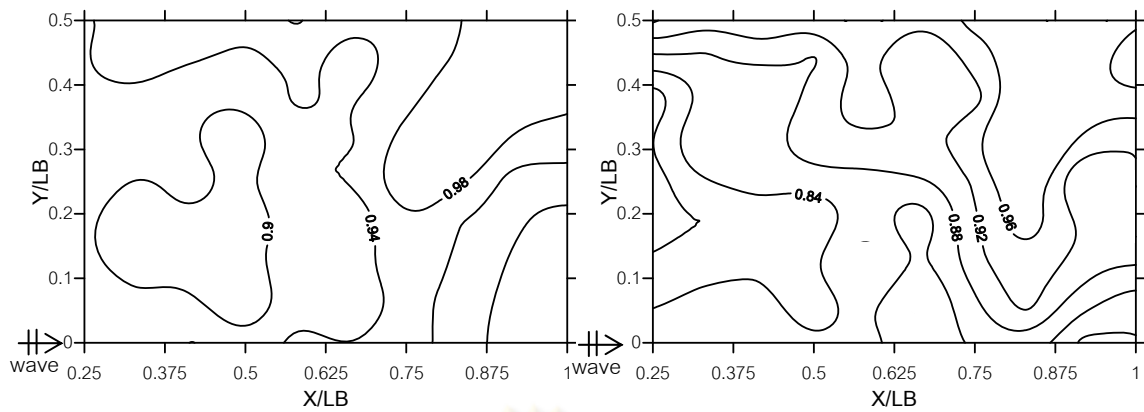


ก) ข้อมูลแต่ละตำแหน่งและการสร้างเส้นชั้นค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ )



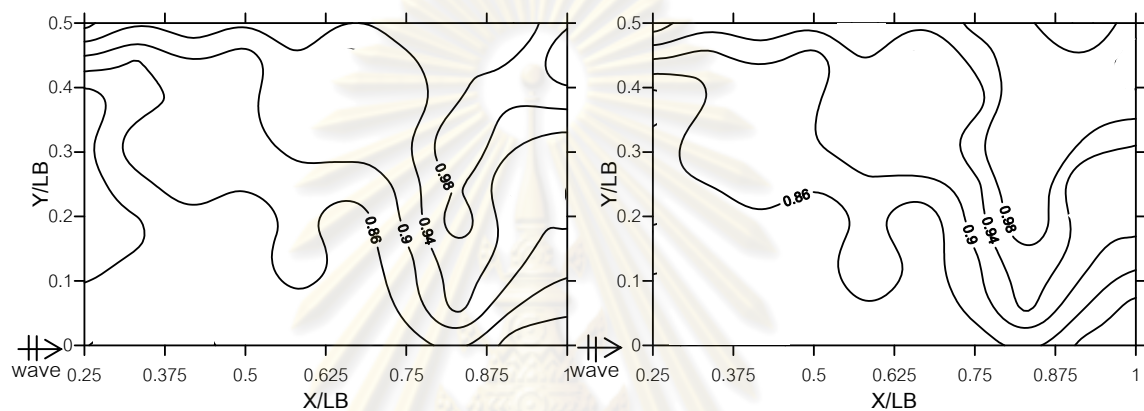
ข) เส้นชั้นค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ )

รูปที่ 3-16 การสร้างเส้นชั้นค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ )



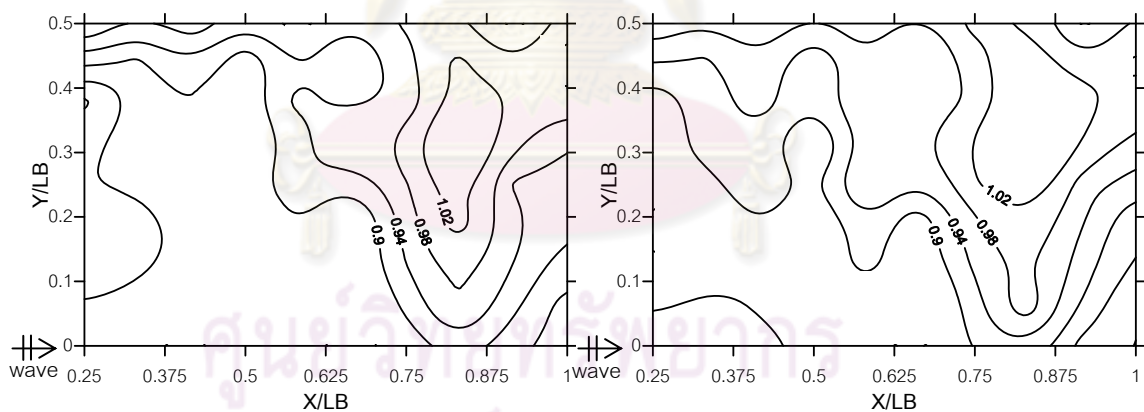
A1 (3 แถวสลับ)

B1 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0)



B2 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0.5)

B3 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1)

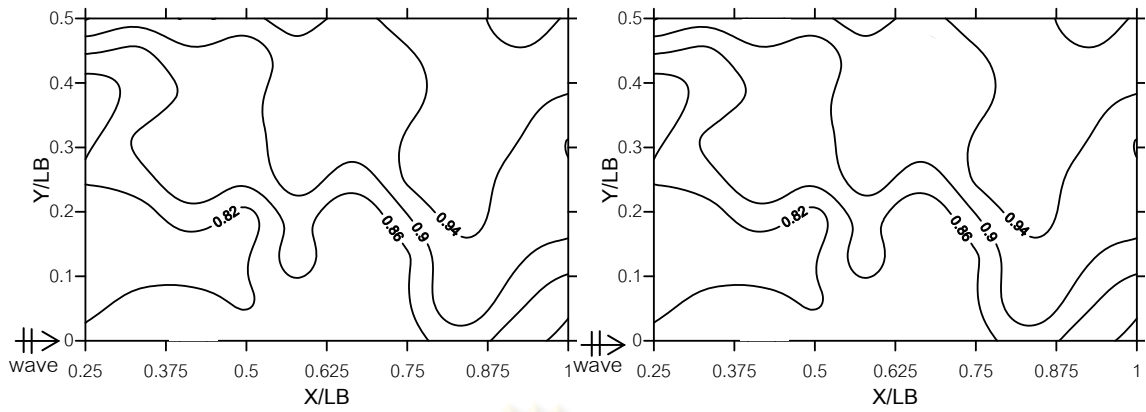


B4 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1.5)

B5 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 2)

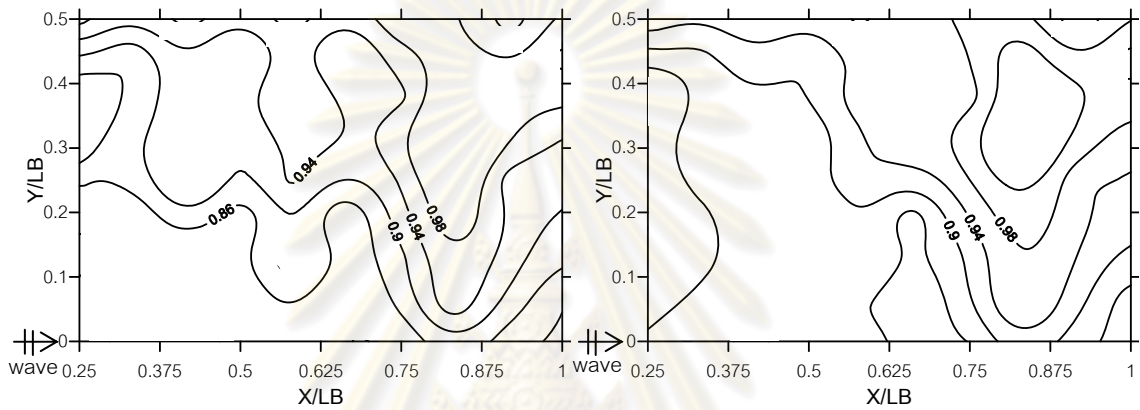
รูปที่ 3-17 ตัวอย่างเส้นชั้นค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0180



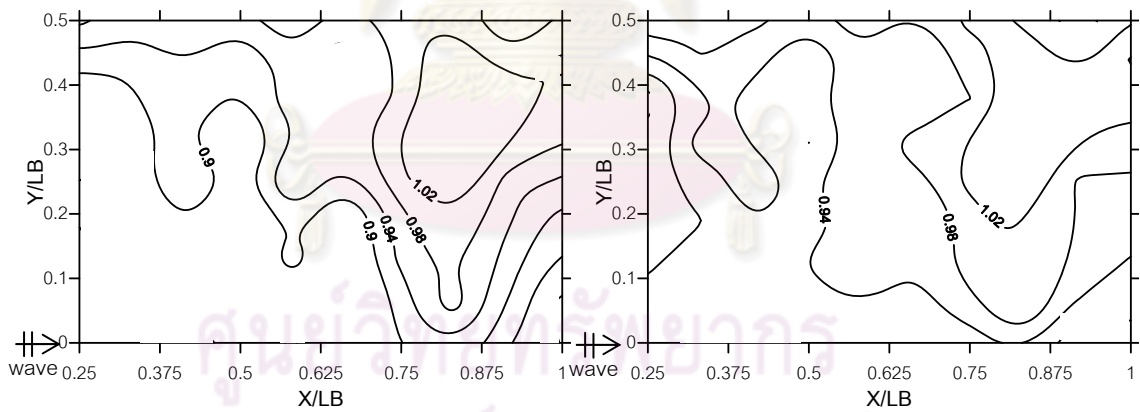
C1 (2 แถวสลั B/D เท่ากับ 0)

C2 (2 แถวสลั B/D เท่ากับ 0.5)



C3 (2 แถวสลั B/D เท่ากับ 1)

C4 (2 แถวสลั B/D เท่ากับ 1.5)



C5 (2 แถวสลั B/D เท่ากับ 2)

D1 (1 แถว)

รูปที่ 3-17 ตัวอย่างเส้นชั้นค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0180 (ต่อ)

ตารางที่ 3-7 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0180

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A1			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	12.03	11.23	0.93	12.03	10.35	0.86	12.03	10.33	0.86	12.03	10.23	0.85
2	0.42	0	11.90	11.20	0.94	11.90	10.41	0.88	11.90	10.48	0.88	11.90	10.45	0.88
3	0.58	0	13.40	12.75	0.95	13.40	11.44	0.85	13.40	11.27	0.84	13.40	11.34	0.85
4	0.75	0	9.76	9.33	0.96	9.76	8.26	0.85	9.76	8.16	0.84	9.76	8.12	0.83
5	0.92	0	10.49	9.21	0.88	10.49	8.28	0.79	10.49	8.29	0.79	10.49	8.45	0.81
6	0.33	0.06	13.14	11.90	0.91	13.14	11.22	0.85	13.14	11.38	0.87	13.14	11.39	0.87
7	0.50	0.06	12.67	11.00	0.87	12.67	10.36	0.82	12.67	10.29	0.81	12.67	10.43	0.82
8	0.66	0.06	14.44	13.22	0.92	14.44	11.43	0.79	14.44	11.90	0.82	14.44	12.11	0.84
9	0.83	0.06	9.21	8.52	0.93	9.21	8.59	0.93	9.21	8.80	0.95	9.21	8.77	0.95
10	1.00	0.06	9.34	8.07	0.86	9.34	7.64	0.82	9.34	7.73	0.83	9.34	7.53	0.81
11	0.25	0.13	12.79	11.60	0.91	12.79	10.27	0.80	12.79	10.26	0.80	12.79	10.39	0.81
12	0.42	0.13	13.14	11.75	0.89	13.14	10.97	0.84	13.14	10.77	0.82	13.14	10.81	0.82
13	0.58	0.13	11.84	11.09	0.94	11.84	10.78	0.91	11.84	10.62	0.90	11.84	10.73	0.91
14	0.75	0.13	9.62	9.28	0.96	9.62	8.72	0.91	9.62	8.51	0.89	9.62	8.57	0.89
15	0.33	0.19	13.78	12.06	0.88	13.78	11.03	0.80	13.78	11.23	0.81	13.78	11.12	0.81
16	0.50	0.19	14.32	12.48	0.87	14.32	11.55	0.81	14.32	11.82	0.83	14.32	11.60	0.81
17	0.66	0.19	14.46	13.09	0.91	14.46	11.74	0.81	14.46	12.00	0.83	14.46	11.89	0.82
18	0.83	0.19	8.97	8.47	0.94	8.97	8.80	0.98	8.97	8.99	1.00	8.97	9.13	1.02
19	1.00	0.19	8.00	7.11	0.89	8.00	7.55	0.94	8.00	7.23	0.90	8.00	7.32	0.91
20	0.25	0.25	12.03	11.09	0.92	12.03	9.42	0.78	12.03	9.64	0.80	12.03	10.14	0.84
21	0.42	0.25	11.90	10.91	0.92	11.90	10.12	0.85	11.90	10.55	0.89	11.90	10.74	0.90
22	0.58	0.25	13.40	12.75	0.95	13.40	11.61	0.87	13.40	11.91	0.89	13.40	11.99	0.89
23	0.75	0.25	9.76	9.89	1.01	9.76	9.05	0.93	9.76	8.92	0.91	9.76	9.04	0.93
24	0.92	0.25	10.49	9.65	0.92	10.49	9.09	0.87	10.49	9.24	0.88	10.49	9.25	0.88
25	0.33	0.31	13.14	11.95	0.91	13.14	11.73	0.89	13.14	11.63	0.89	13.14	11.80	0.90
26	0.50	0.31	12.67	11.09	0.88	12.67	11.50	0.91	12.67	11.16	0.88	12.67	11.37	0.90
27	0.66	0.31	14.44	13.51	0.94	14.44	13.30	0.92	14.44	13.18	0.91	14.44	13.56	0.94
28	0.83	0.31	9.21	9.52	1.03	9.21	9.73	1.06	9.21	9.45	1.03	9.21	10.06	1.09
29	1.00	0.31	9.34	8.98	0.96	9.34	8.64	0.93	9.34	8.57	0.92	9.34	8.78	0.94
30	0.25	0.38	12.79	11.96	0.93	12.79	9.94	0.78	12.79	10.15	0.79	12.79	10.16	0.79
31	0.42	0.38	13.14	11.97	0.91	13.14	11.12	0.85	13.14	11.30	0.86	13.14	11.44	0.87
32	0.58	0.38	11.84	11.20	0.95	11.84	11.19	0.95	11.84	11.28	0.95	11.84	11.29	0.95
33	0.75	0.38	9.62	9.30	0.97	9.62	8.70	0.90	9.62	8.66	0.90	9.62	8.79	0.91
34	0.33	0.44	13.78	13.18	0.96	13.78	11.98	0.87	13.78	11.79	0.86	13.78	12.03	0.87
35	0.50	0.44	14.32	13.26	0.93	14.32	12.54	0.88	14.32	12.49	0.87	14.32	12.52	0.87
36	0.66	0.44	14.46	13.34	0.92	14.46	12.54	0.87	14.46	12.69	0.88	14.46	12.66	0.88
37	0.83	0.44	8.97	8.82	0.98	8.97	8.93	1.00	8.97	8.76	0.98	8.97	9.11	1.02
38	1.00	0.44	8.00	8.07	1.01	8.00	8.29	1.04	8.00	8.49	1.06	8.00	8.45	1.06
39	0.25	0.5	11.90	11.12	0.93	11.90	11.49	0.97	11.90	11.85	1.00	11.90	11.98	1.01
40	0.42	0.5	13.40	13.13	0.98	13.40	12.79	0.95	13.40	13.06	0.97	13.40	13.10	0.98
41	0.58	0.5	9.76	9.61	0.98	9.76	9.55	0.98	9.76	9.55	0.98	9.76	9.70	0.99
42	0.75	0.5	10.49	10.00	0.95	10.49	10.22	0.97	10.49	10.15	0.97	10.49	10.43	0.99
43	0.92	0.5	12.79	12.76	1.00	12.79	11.82	0.92	12.79	12.01	0.94	12.79	11.81	0.92

\* wave period (T) = 0.81 s

ตารางที่ 3-7 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0180 (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	12.03	10.64	0.88	12.03	11.09	0.92	12.03	9.93	0.83	12.03	10.30	0.86
2	0.42	0	11.90	10.84	0.91	11.90	11.03	0.93	11.90	10.33	0.87	11.90	10.39	0.87
3	0.58	0	13.40	11.74	0.88	13.40	11.76	0.88	13.40	11.47	0.86	13.40	11.42	0.85
4	0.75	0	9.76	8.52	0.87	9.76	8.81	0.90	9.76	8.17	0.84	9.76	8.14	0.83
5	0.92	0	10.49	9.13	0.87	10.49	8.85	0.84	10.49	8.70	0.83	10.49	8.49	0.81
6	0.33	0.06	13.14	11.49	0.87	13.14	11.94	0.91	13.14	10.90	0.83	13.14	11.36	0.87
7	0.50	0.06	12.67	10.63	0.84	12.67	10.47	0.83	12.67	10.29	0.81	12.67	10.54	0.83
8	0.66	0.06	14.44	12.10	0.84	14.44	11.90	0.82	14.44	11.55	0.80	14.44	11.94	0.83
9	0.83	0.06	9.21	9.03	0.98	9.21	9.20	1.00	9.21	8.73	0.95	9.21	8.87	0.96
10	1.00	0.06	9.34	7.88	0.84	9.34	7.71	0.82	9.34	7.69	0.82	9.34	7.76	0.83
11	0.25	0.13	12.79	10.74	0.84	12.79	11.03	0.86	12.79	10.15	0.79	12.79	10.38	0.81
12	0.42	0.13	13.14	11.51	0.88	13.14	11.67	0.89	13.14	10.60	0.81	13.14	10.73	0.82
13	0.58	0.13	11.84	10.83	0.91	11.84	10.86	0.92	11.84	10.55	0.89	11.84	10.87	0.92
14	0.75	0.13	9.62	9.06	0.94	9.62	9.14	0.95	9.62	8.21	0.85	9.62	8.46	0.88
15	0.33	0.19	13.78	11.51	0.84	13.78	11.71	0.85	13.78	10.88	0.79	13.78	11.29	0.82
16	0.50	0.19	14.32	12.13	0.85	14.32	12.30	0.86	14.32	11.36	0.79	14.32	11.86	0.83
17	0.66	0.19	14.46	12.22	0.85	14.46	12.62	0.87	14.46	11.58	0.80	14.46	11.97	0.83
18	0.83	0.19	8.97	9.26	1.03	8.97	9.02	1.01	8.97	8.58	0.96	8.97	8.91	0.99
19	1.00	0.19	8.00	7.30	0.91	8.00	6.99	0.87	8.00	7.36	0.92	8.00	7.38	0.92
20	0.25	0.25	12.03	10.32	0.86	12.03	10.42	0.87	12.03	9.90	0.82	12.03	10.28	0.85
21	0.42	0.25	11.90	10.93	0.92	11.90	11.16	0.94	11.90	10.87	0.91	11.90	11.84	1.00
22	0.58	0.25	13.40	12.53	0.93	13.40	13.25	0.99	13.40	12.54	0.94	13.40	13.16	0.98
23	0.75	0.25	9.76	9.54	0.98	9.76	9.90	1.01	9.76	9.25	0.95	9.76	9.64	0.99
24	0.92	0.25	10.49	9.79	0.93	10.49	10.07	0.96	10.49	9.44	0.90	10.49	9.56	0.91
25	0.33	0.31	13.14	11.79	0.90	13.14	11.99	0.91	13.14	11.42	0.87	13.14	11.78	0.90
26	0.50	0.31	12.67	10.79	0.85	12.67	10.82	0.85	12.67	11.11	0.88	12.67	11.42	0.90
27	0.66	0.31	14.44	13.92	0.96	14.44	14.02	0.97	14.44	13.09	0.91	14.44	13.95	0.97
28	0.83	0.31	9.21	9.95	1.08	9.21	10.14	1.10	9.21	9.53	1.03	9.21	10.07	1.09
29	1.00	0.31	9.34	8.82	0.94	9.34	9.03	0.97	9.34	8.39	0.90	9.34	8.75	0.94
30	0.25	0.38	12.79	10.41	0.81	12.79	11.27	0.88	12.79	9.98	0.78	12.79	10.52	0.82
31	0.42	0.38	13.14	11.81	0.90	13.14	12.56	0.96	13.14	11.35	0.86	13.14	11.98	0.91
32	0.58	0.38	11.84	11.23	0.95	11.84	11.65	0.98	11.84	11.24	0.95	11.84	11.77	0.99
33	0.75	0.38	9.62	9.20	0.96	9.62	9.54	0.99	9.62	8.69	0.90	9.62	8.90	0.92
34	0.33	0.44	13.78	12.29	0.89	13.78	12.86	0.93	13.78	11.52	0.84	13.78	11.77	0.85
35	0.50	0.44	14.32	12.50	0.87	14.32	13.03	0.91	14.32	12.23	0.85	14.32	12.66	0.88
36	0.66	0.44	14.46	13.00	0.90	14.46	13.26	0.92	14.46	12.30	0.85	14.46	13.04	0.90
37	0.83	0.44	8.97	9.21	1.03	8.97	9.40	1.05	8.97	8.72	0.97	8.97	9.14	1.02
38	1.00	0.44	8.00	8.38	1.05	8.00	8.23	1.03	8.00	7.73	0.97	8.00	8.18	1.02
39	0.25	0.5	11.90	12.14	1.02	11.90	11.99	1.01	11.90	11.23	0.94	11.90	11.91	1.00
40	0.42	0.5	13.40	13.46	1.00	13.40	13.55	1.01	13.40	12.83	0.96	13.40	13.31	0.99
41	0.58	0.5	9.76	9.70	0.99	9.76	9.84	1.01	9.76	9.48	0.97	9.76	9.88	1.01
42	0.75	0.5	10.49	10.34	0.99	10.49	10.82	1.03	10.49	10.23	0.97	10.49	10.41	0.99
43	0.92	0.5	12.79	11.85	0.93	12.79	11.93	0.93	12.79	11.64	0.91	12.79	11.84	0.93

\* wave period (T) = 0.81 s



ตารางที่ 3-7 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0180 (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D1		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	12.03	10.20	0.85	12.03	10.40	0.86	12.03	10.55	0.88	12.03	11.10	0.92
2	0.42	0	11.90	10.54	0.89	11.90	10.86	0.91	11.90	11.10	0.93	11.90	11.48	0.96
3	0.58	0	13.40	11.37	0.85	13.40	11.80	0.88	13.40	12.14	0.91	13.40	12.13	0.90
4	0.75	0	9.76	8.06	0.83	9.76	8.41	0.86	9.76	8.77	0.90	9.76	8.93	0.92
5	0.92	0	10.49	8.76	0.83	10.49	9.19	0.88	10.49	9.04	0.86	10.49	9.06	0.86
6	0.33	0.06	13.14	11.39	0.87	13.14	11.41	0.87	13.14	11.45	0.87	13.14	12.45	0.95
7	0.50	0.06	12.67	10.47	0.83	12.67	10.38	0.82	12.67	10.31	0.81	12.67	11.71	0.92
8	0.66	0.06	14.44	11.80	0.82	14.44	11.92	0.83	14.44	11.75	0.81	14.44	13.35	0.92
9	0.83	0.06	9.21	8.94	0.97	9.21	9.17	1.00	9.21	9.15	0.99	9.21	9.48	1.03
10	1.00	0.06	9.34	7.67	0.82	9.34	7.83	0.84	9.34	7.56	0.81	9.34	8.55	0.92
11	0.25	0.13	12.79	10.34	0.81	12.79	10.59	0.83	12.79	11.16	0.87	12.79	11.41	0.89
12	0.42	0.13	13.14	10.98	0.84	13.14	11.47	0.87	13.14	11.77	0.90	13.14	12.36	0.94
13	0.58	0.13	11.84	11.04	0.93	11.84	10.80	0.91	11.84	10.84	0.92	11.84	11.63	0.98
14	0.75	0.13	9.62	8.58	0.89	9.62	8.75	0.91	9.62	9.15	0.95	9.62	9.60	1.00
15	0.33	0.19	13.78	11.28	0.82	13.78	11.62	0.84	13.78	11.55	0.84	13.78	12.37	0.90
16	0.50	0.19	14.32	11.88	0.83	14.32	12.17	0.85	14.32	11.95	0.83	14.32	13.20	0.92
17	0.66	0.19	14.46	11.86	0.82	14.46	12.15	0.84	14.46	12.23	0.85	14.46	13.29	0.92
18	0.83	0.19	8.97	9.04	1.01	8.97	9.00	1.00	8.97	9.03	1.01	8.97	9.15	1.02
19	1.00	0.19	8.00	7.18	0.90	8.00	7.37	0.92	8.00	7.10	0.89	8.00	7.61	0.95
20	0.25	0.25	12.03	10.41	0.87	12.03	9.98	0.83	12.03	10.34	0.86	12.03	10.44	0.87
21	0.42	0.25	11.90	11.50	0.97	11.90	11.17	0.94	11.90	11.23	0.94	11.90	11.40	0.96
22	0.58	0.25	13.40	12.70	0.95	13.40	12.51	0.93	13.40	13.18	0.98	13.40	13.16	0.98
23	0.75	0.25	9.76	9.24	0.95	9.76	9.56	0.98	9.76	9.84	1.01	9.76	10.05	1.03
24	0.92	0.25	10.49	9.64	0.92	10.49	9.94	0.95	10.49	10.06	0.96	10.49	10.22	0.97
25	0.33	0.31	13.14	11.66	0.89	13.14	11.78	0.90	13.14	11.60	0.88	13.14	12.53	0.95
26	0.50	0.31	12.67	11.23	0.89	12.67	11.00	0.87	12.67	10.71	0.85	12.67	11.40	0.90
27	0.66	0.31	14.44	13.53	0.94	14.44	13.97	0.97	14.44	13.83	0.96	14.44	14.20	0.98
28	0.83	0.31	9.21	9.96	1.08	9.21	10.15	1.10	9.21	10.20	1.11	9.21	10.03	1.09
29	1.00	0.31	9.34	8.76	0.94	9.34	8.94	0.96	9.34	9.17	0.98	9.34	9.37	1.00
30	0.25	0.38	12.79	10.50	0.82	12.79	10.27	0.80	12.79	11.04	0.86	12.79	10.81	0.84
31	0.42	0.38	13.14	12.23	0.93	13.14	11.77	0.90	13.14	12.16	0.93	13.14	12.20	0.93
32	0.58	0.38	11.84	12.01	1.01	11.84	11.41	0.96	11.84	11.38	0.96	11.84	11.63	0.98
33	0.75	0.38	9.62	8.95	0.93	9.62	9.27	0.96	9.62	9.53	0.99	9.62	9.41	0.98
34	0.33	0.44	13.78	11.91	0.86	13.78	12.21	0.89	13.78	12.62	0.92	13.78	13.46	0.98
35	0.50	0.44	14.32	12.52	0.87	14.32	12.92	0.90	14.32	13.03	0.91	14.32	12.99	0.91
36	0.66	0.44	14.46	12.71	0.88	14.46	13.15	0.91	14.46	13.16	0.91	14.46	13.46	0.93
37	0.83	0.44	8.97	8.98	1.00	8.97	9.40	1.05	8.97	9.40	1.05	8.97	9.40	1.05
38	1.00	0.44	8.00	8.26	1.03	8.00	8.30	1.04	8.00	8.21	1.03	8.00	8.51	1.06
39	0.25	0.5	11.90	11.82	0.99	11.90	11.49	0.97	11.90	11.75	0.99	11.90	11.99	1.01
40	0.42	0.5	13.40	13.37	1.00	13.40	13.10	0.98	13.40	13.09	0.98	13.40	13.24	0.99
41	0.58	0.5	9.76	9.73	1.00	9.76	9.63	0.99	9.76	9.85	1.01	9.76	9.78	1.00
42	0.75	0.5	10.49	10.66	1.02	10.49	10.46	1.00	10.49	10.57	1.01	10.49	10.81	1.03
43	0.92	0.5	12.79	11.76	0.92	12.79	11.60	0.91	12.79	12.05	0.94	12.79	12.19	0.95

\* wave period (T) = 0.81 s

ตารางที่ 3-8 ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ด้วยวิธีเฉลี่ยเลขคณิต

กรณีศึกษา	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
A1	0.95	0.99	0.96	0.96	0.93	1.01	0.96	0.93
B1	0.98	0.95	0.93	0.92	0.92	0.98	0.93	0.89
B2	0.95	0.95	0.92	0.92	0.92	0.96	0.91	0.89
B3	0.95	0.97	0.93	0.93	0.89	0.96	0.91	0.90
B4	0.97	0.96	0.93	0.93	0.90	0.98	0.92	0.92
B5	0.98	0.98	0.93	0.97	0.92	0.98	0.93	0.93
C1	0.93	0.92	0.91	0.93	0.93	0.96	0.92	0.88
C2	0.94	0.96	0.91	0.97	0.93	0.95	0.94	0.91
C3	0.96	0.96	0.92	0.95	0.91	0.98	0.92	0.91
C4	0.94	0.95	0.93	0.95	0.92	0.99	0.92	0.92
C5	0.95	0.97	0.95	0.97	0.92	0.99	0.95	0.93
D1	1.00	1.01	0.96	0.99	0.95	1.01	0.97	0.96

หมายเหตุ W1 ถึง W8 คือค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ซึ่งเท่ากับ 0.0035, 0.0061, 0.0089, 0.0111, 0.0121, 0.0137, 0.0143 และ 0.0180 ตามลำดับ

ตารางที่ 3-9 ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ด้วยวิธีเฉลี่ยจากเส้นชั้นอัตราส่วนลดความสูงคลื่น

กรณีศึกษา	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
A1	0.95	0.99	0.96	0.97	0.93	1.01	0.96	0.93
B1	0.99	0.95	0.94	0.92	0.92	0.99	0.93	0.89
B2	0.95	0.94	0.93	0.92	0.92	0.96	0.91	0.89
B3	0.96	0.96	0.93	0.93	0.89	0.97	0.90	0.90
B4	0.98	0.95	0.93	0.93	0.90	0.98	0.92	0.92
B5	0.99	0.97	0.94	0.97	0.92	0.98	0.93	0.94
C1	0.93	0.91	0.91	0.93	0.93	0.97	0.92	0.88
C2	0.94	0.95	0.91	0.97	0.93	0.95	0.94	0.91
C3	0.96	0.95	0.93	0.95	0.91	0.99	0.92	0.91
C4	0.94	0.94	0.94	0.95	0.92	0.99	0.92	0.92
C5	0.94	0.96	0.95	0.96	0.92	0.99	0.94	0.93
D1	1.00	1.00	0.96	0.99	0.95	1.01	0.97	0.96

หมายเหตุ W1 ถึง W8 คือค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ซึ่งเท่ากับ 0.0035, 0.0061, 0.0089, 0.0111, 0.0121, 0.0137, 0.0143 และ 0.0180 ตามลำดับ

## บทที่ 4

### การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาถึงผลการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มและขนาดของคลื่นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น ในการทดลองได้จัดเรียงเขื่อนกันคลื่น 4 รูปแบบ แบ่งเป็น 12 กรณีศึกษา ประกอบด้วย รูปแบบ A (3 สลัป) มี 1 กรณีศึกษา รูปแบบ B (2 แถวตรง) มี 5 กรณีศึกษา รูปแบบ C (2 แถวสลัป) มี 5 กรณีศึกษา และรูปแบบ D (1 แถว) มี 1 กรณีศึกษา โดยเปลี่ยนแปลงความชันคลื่น 8 ขนาด รวมการทดลองทั้งสิ้น 96 การทดลอง ในการศึกษาครั้งนี้ได้มุ่งเน้นถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นเฉพาะบริเวณพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นเป็นสำคัญ เนื่องจากเป็นพื้นที่หลักในการป้องกันของเขื่อนกันคลื่น ส่วนการเปลี่ยนแปลงบริเวณด้านหน้าเขื่อนกันคลื่นในการศึกษานี้ไม่ได้มีการศึกษาและวิเคราะห์ในรายละเอียดและจะไม่กล่าวถึงในส่วนขอเนื้อหาเพียงแต่มีผลของข้อมูลบางส่วนดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข

กระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น เกิดจาก 2 ปัจจัยหลัก คือการสะท้อนของคลื่นและการสูญเสียพลังงานจากตัวเขื่อนกันคลื่น ซึ่งการสูญเสียพลังงานจากตัวเขื่อนกันคลื่นนั้นเกิดจากความเสียดทานจากผิวของเสาเข็ม และความปั่นป่วนของอนุภาคน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่น ส่งผลให้ความสูงคลื่นและพลังงานคลื่นลดลง การศึกษาในส่วนของการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่นพิจารณาจากการเปรียบเทียบระหว่างความสูงคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่น (with pile breakwater wave height,  $H_p$ ) กับความสูงคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น (without pile breakwater wave height,  $H_N$ ) หรืออัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $K_p$ ) ดังแสดงในสมการที่ (4-1)

$$K_p = \frac{H_p}{H_N} \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

ส่วนการศึกษาถึงการสลายพลังงานคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น จะพิจารณาโดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างพลังงานคลื่นที่สลาย (wave energy dissipation,  $\Delta E$ ) กับพลังงานคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น (without pile breakwater wave energy,  $E_N$ ) จากหัวข้อที่ 2.3 (บทที่ 2) แสดงให้เห็นว่าการสลายพลังงานของเขื่อนกันคลื่นสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นทั้งความสูง ( $H$ ) และความยาวคลื่น ( $L$ ) จากการทดลอง พบว่า ความสูงของคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่นลดลงแต่ความยาวคลื่นไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากคาบเวลาของคลื่นทั้งกรณีมีและไม่มีเขื่อนกันคลื่นเท่ากัน ดังนั้นการศึกษากการสลายพลังงานคลื่นจะขึ้นอยู่กับความสูงคลื่นเพียงอย่างเดียว จากสมการที่ (2-15) สามารถเขียนใหม่ได้ดังแสดงในสมการที่ (4-2)

$$\frac{\Delta E}{E_N} = 1 - \left( \frac{H_p}{H_N} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

หรือ

$$\frac{\Delta E}{E_N} = 1 - (K_p)^2 \quad \dots\dots\dots (4-3)$$

จะเห็นได้ว่าการสลายพลังงานคลื่นนั้นจะผันแปรกับค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) กล่าวได้ว่า เมื่อทราบค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) ก็สามารถนำไปประมาณค่าการสลายพลังงานคลื่นได้จากสมการที่ (4-3) ดังนั้นในการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น จะพิจารณาจากค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) โดยนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (dimensionless parameter) ต่างๆ รวมถึงการเปรียบเทียบผลของการจัดเรียงในแต่ละรูปแบบ ดังจะกล่าวต่อไป

#### 4.1 พฤติกรรมและกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นในแบบจำลอง

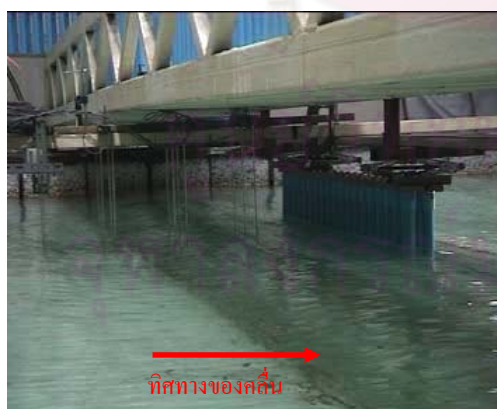
ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพฤติกรรมและกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น อันเนื่องมาจากผลของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่สังเกตได้จากการทดลอง เพื่อนำมาอธิบายลักษณะของการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่น ซึ่งจากการเฝ้าสังเกตในขณะทดลองและการบันทึกจากกล้องวิดีโอ จะเห็นได้ว่าการติดตั้งเขื่อนกันคลื่นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น มีดังต่อไปนี้

1) การสะท้อนของคลื่น เกิดขึ้นด้านหน้าของเขื่อนกันคลื่น เมื่อคลื่นเข้าปะทะกับเขื่อนกันคลื่น คลื่นส่วนหนึ่งจะเกิดการสะท้อนกลับไปทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของคลื่นที่เข้ามา ซึ่งจะสังเกตเห็นเหมือนคลื่นกำลังเคลื่อนที่ไปทางกระดานสร้างคลื่นหรือเคลื่อนที่ตรงข้ามกับคลื่นที่เคลื่อนเข้ามา โดยกรณีคลื่นมีความชันน้อยจะสังเกตเห็นเป็นคลื่นลูกเล็กๆ และคลื่นจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อความชันคลื่นมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4-1 จากผลของการสะท้อนกลับของคลื่นก่อให้เกิดการเสริมกันของคลื่นที่เคลื่อนที่เข้ามาที่คลื่นที่สะท้อนส่งผลให้ความสูงของคลื่นเพิ่มขึ้น ซึ่งการเสริมกันของคลื่นในแต่ละตำแหน่งนั้นไม่เท่ากันดังสังเกตได้ในการทดลองที่คลื่นลูกเดียวกัน เมื่อพิจารณาสันคลื่นตามแนวนานกับเขื่อนกันคลื่นพบว่าความสูงของสันคลื่นแตกต่างกัน เป็นผลให้ความสูงของคลื่นลูกเดียวกันที่เข้าปะทะเขื่อนกันคลื่นมีความสูงแตกต่างกัน อาจทำให้คลื่นที่เคลื่อนตัวผ่านเขื่อนมีความสูงที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งการสะท้อนของคลื่นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คลื่นที่เคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่นมีขนาดความสูงที่ลดลง

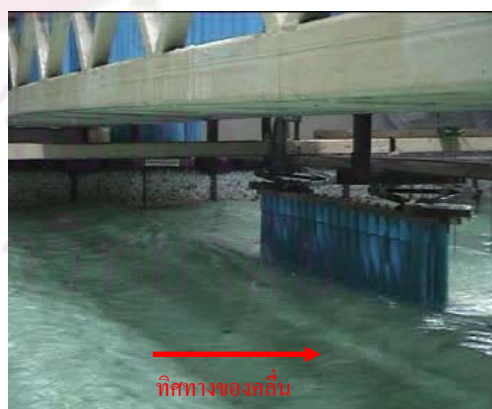


2) ความดันปนของน้ำระหว่างแถวของเสาเข็ม เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านเสาเข็ม ก่อให้เกิดการความดันปนของน้ำด้านหลังเสาเข็ม เนื่องด้วยลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ ภายใต้คลื่นมีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไป-มา ส่งผลให้เกิดความดันปนทั้งด้านหน้าและด้านหลังเสาเข็ม จะสังเกตเห็นการสะท้อนของคลื่นเกิดขึ้นระหว่างเสาเข็มที่มีลักษณะการสะท้อนกลับไป-มา ดังแสดงในรูปที่ 4-2 ซึ่งความดันปนที่เกิดขึ้นนี้เองเป็นอีกสาเหตุหนึ่งร่วมกับความเสียดทานจากผิวของเสาเข็มที่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานจากตัวเชื่อมกันคลื่น ทำให้คลื่นที่เคลื่อนตัวผ่านเชื่อมกันคลื่นมีขนาดความสูงที่ลดลง

3) การส่งผ่านของคลื่น เกิดขึ้นด้านหลังของเชื่อมกันคลื่น เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าปะทะเชื่อมกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีช่องว่างหรือมีความทึบน้ำ (permeable) น้อย คลื่นส่วนหนึ่งสามารถเคลื่อนตัวผ่านได้ เนื่องจากเชื่อมกันคลื่นที่ได้ศึกษานี้มีลักษณะความทึบน้ำน้อย จึงทำให้คลื่นสามารถเคลื่อนตัวผ่านได้มาก ดังแสดงในรูปที่ 4-3 การสังเกตบริเวณพื้นที่หลังเชื่อมกันคลื่นจึงไม่เห็นถึงความแตกต่างของความสูงคลื่นด้านหลังเชื่อมกันคลื่นกับความสูงคลื่นด้านข้างที่ไม่มีเชื่อมกันคลื่นมากนัก แต่จะเห็นลักษณะของความสูงคลื่นที่ลดลงในบริเวณที่ใกล้กับตัวเชื่อมกันคลื่น โดยลักษณะของคลื่นที่เคลื่อนตัวผ่านเชื่อมกันคลื่นมีความสูงของคลื่นไม่เท่ากัน ซึ่งบริเวณที่ตรงกับเสาเข็มจะมีความสูงคลื่นต่ำกว่าบริเวณที่ตรงช่องว่าง และลักษณะของคลื่นที่ใกล้กับเชื่อมกันคลื่นมีลักษณะปั่นป่วน นอกจากบริเวณด้านหลังเชื่อมกันคลื่นจะมีคลื่นที่ส่งผ่านแล้วยังมีคลื่นจากด้านข้างที่กระจายเข้ามาช่วยด้วย แต่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้เนื่องจากพฤติกรรมของคลื่นที่ส่งผ่านกับคลื่นที่กระจายเข้ามาเกิดการรวมกัน



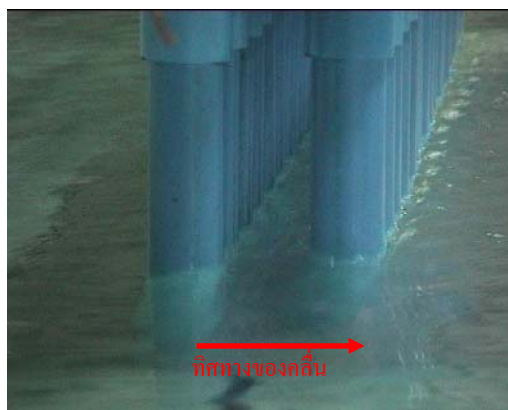
ก) ความชันคลื่นน้อย



ก) ความชันคลื่นมาก

รูปที่ 4-1 การสะท้อนของคลื่นจากการทดลอง





ก) รูปด้านข้าง



ก) รูปด้านบน

รูปที่ 4-2 ความปั่นป่วนของน้ำระหว่างแถวของเขื่อนกันคลื่น



ก) ความชันคลื่นน้อย



ก) ความชันคลื่นมาก

รูปที่ 4-3 ลักษณะคลื่นหลังผ่านเขื่อนกันคลื่น

#### 4.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น

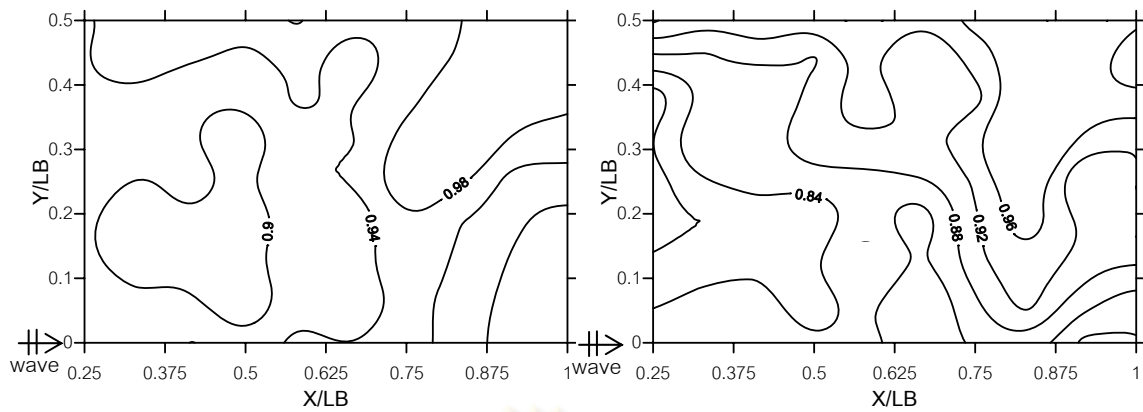
เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มมีหน้าที่ลดความสูงคลื่นและสลายพลังงานคลื่น ด้วยการสะท้อนและการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากตัวเขื่อนกันคลื่น (ความเสียดทานจากผิวของเสาเข็มและความปั่นป่วนของน้ำ) ส่งผลให้บริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่นมีความสูงคลื่นและพลังงานคลื่นลดลง เพื่อดูการกระจาย (distribution) และรูปแบบ (pattern) ของการเปลี่ยนแปลงคลื่น (อัตราส่วนลดความสูงคลื่น) หลังเขื่อนกันคลื่น ข้อมูลที่ได้จากการวัดที่เป็นจุดในตำแหน่งต่างๆ ได้นำเสนอในรูปแบบของเส้นชั้นค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) ในพื้นที่ครึ่งหนึ่งของเขื่อนกันคลื่น โดยความกว้างของพื้นที่ที่พิจารณาจากกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$  เท่ากับ 0) จนถึงหัวของเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$  เท่ากับ 0.5) ส่วนความยาวของพื้นที่พิจารณาจากกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่น

จนถึงระยะทางที่ห่างจากเขื่อนกันคลื่นตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นประมาณ 1 เท่าของความยาวเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$  เท่ากับ 1) ดังแสดงในรูปที่ 4-4 พบว่า การลดลงในแต่ละตำแหน่งที่กระจายทั้งบริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่นนั้นมีความแตกต่างกัน ความสูงคลื่นลดลงบริเวณพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับเขื่อนกันคลื่น โดยเฉพาะพื้นที่บริเวณแนวกลางเขื่อนกันคลื่นความสูงคลื่นลดลงสูงสุด แต่เมื่อระยะทางจากเขื่อนกันคลื่นมากขึ้นความสูงคลื่นลดลงเพียงเล็กน้อย รวมถึงบริเวณพื้นที่ในแนวด้านข้างของเขื่อนกันคลื่นความสูงของคลื่นลดลงน้อยเช่นกัน และเห็นได้ว่าลักษณะความสูงของคลื่นในแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดจากความสูงคลื่นที่เข้าปะทะกับเขื่อนกันคลื่นในแนวขนานกับตัวเขื่อนกันคลื่นมีความสูงไม่เท่ากัน รวมถึงผลของคลื่นจากด้านข้างที่กระจายเข้ามาเพื่อให้เห็นลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ดังนั้นจึงได้นำเสนอ การเปลี่ยนแปลงของความสูงคลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อศึกษาถึงรูปแบบการกระจายตัวของความสูงคลื่น โดยในการศึกษาได้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของความสูงคลื่นตามระยะทางทั้งในแนวตั้งฉากและแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น

#### 4.2.1 การเปลี่ยนแปลงตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$ )

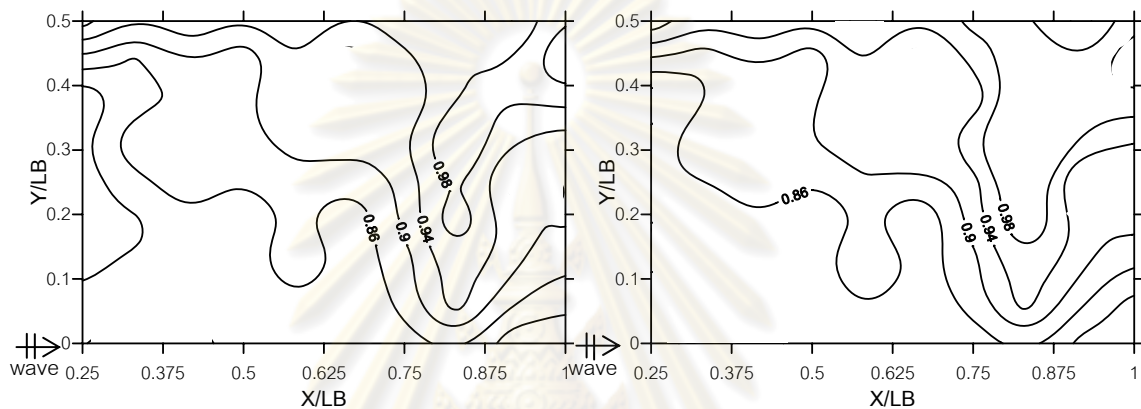
ในส่วนนี้กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) บริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่นกับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$ ) (เมื่อ  $X/L_B$  คือ อัตราส่วนระหว่างระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นจากกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่นกับความยาวของเขื่อนกันคลื่น) ซึ่งค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นในแต่ละตำแหน่งตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นเป็นค่าเฉลี่ยของจุดข้อมูลในแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่นจากกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่นถึงหัวของเขื่อนกันคลื่น เรียกว่า อัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวขนานเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{p(XY)}$ ) การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{p(XY)}$  กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น จะพิจารณาจากระยะทางอยู่ในช่วง 0.25 ถึง 1 เท่าของความยาวเขื่อนกันคลื่น ( $0.25 \leq X/L_B \leq 1$ ) จากการทดลองเขื่อนกันคลื่นทั้ง 4 รูปแบบ (รูปแบบ A, B, C และ D) โดยใช้ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) 8 ขนาด ผลการทดลองได้แสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 4-5 และรายละเอียดในภาคผนวก สามารถแยกวิเคราะห์การจัดเรียงแต่ละรูปแบบได้ดังต่อไปนี้

1) รูปแบบ A (แบบ 3 แถวสลัป) มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวขนานเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{p(XY)}$ ) กับระยะทาง  $X/L_B$  อยู่ในช่วง 0.92-0.97, 0.95-1.03, 0.93-0.99, 0.90-1.04, 0.90-1.04, 0.96-1.03, 0.91-1.00 และ 0.89-0.97 ค่าเฉลี่ย 0.95, 0.99, 0.96, 0.96, 0.96, 1.01, 0.96 และ 0.93 เมื่อความชันคลื่น ( $H_0/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0035, 0.0061, 0.0089



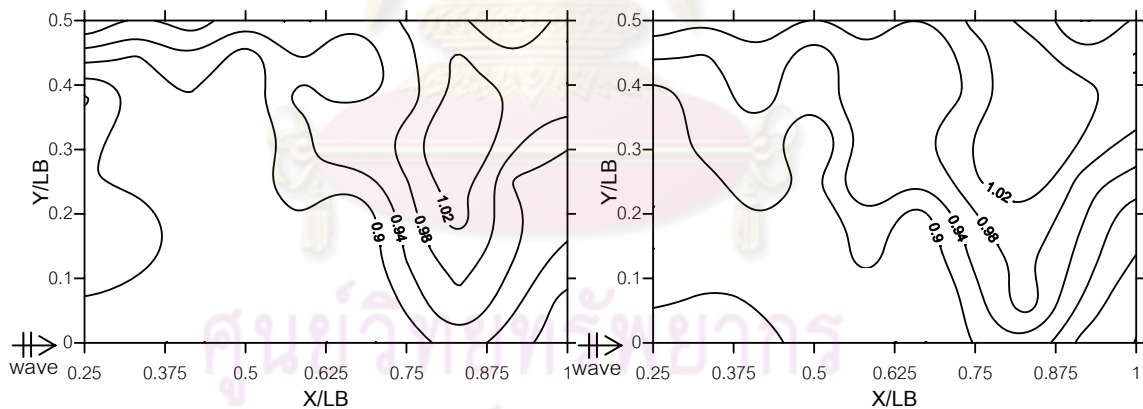
A1 (3 แถวสลับ)

B1 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0)



B2 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0.5)

B3 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1)

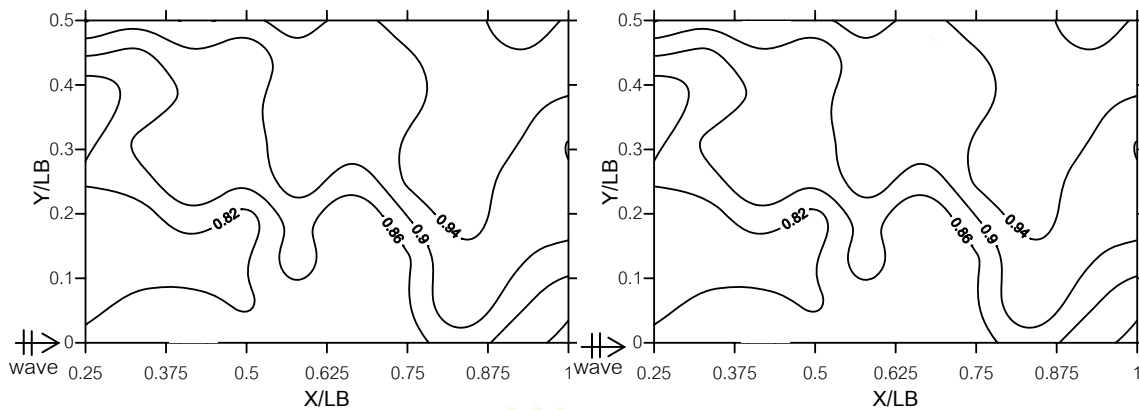


B4 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1.5)

B5 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 2)

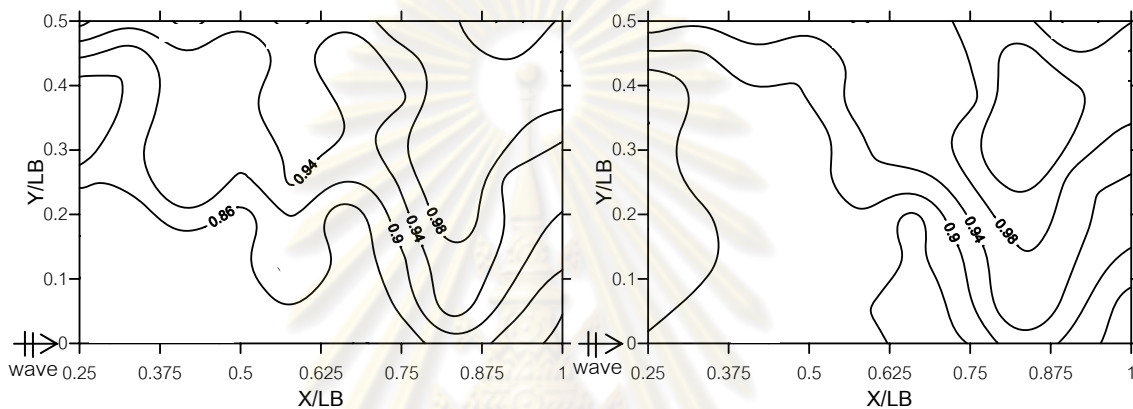
รูปที่ 4-4 ตัวอย่างเส้นชั้นค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_0/gT^2$  เท่ากับ 0.0180



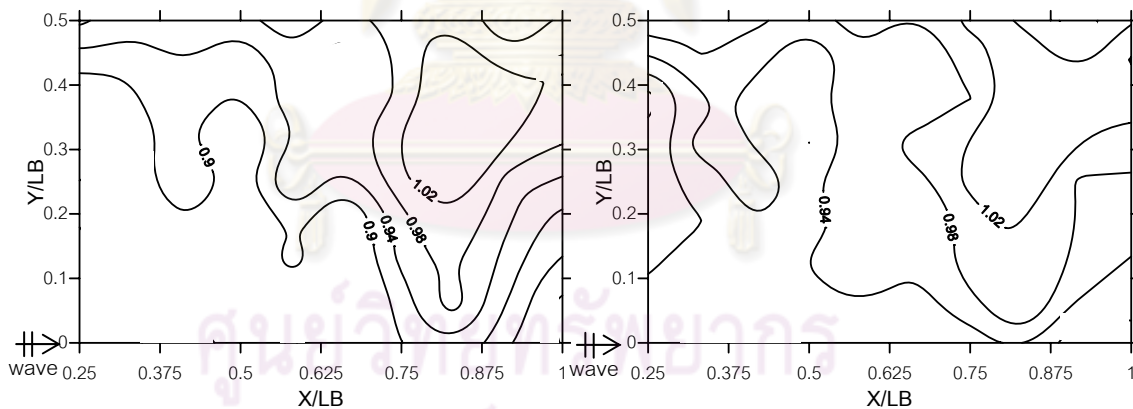
C1 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 0)

C2 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 0.5)



C3 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 1)

C4 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 1.5)

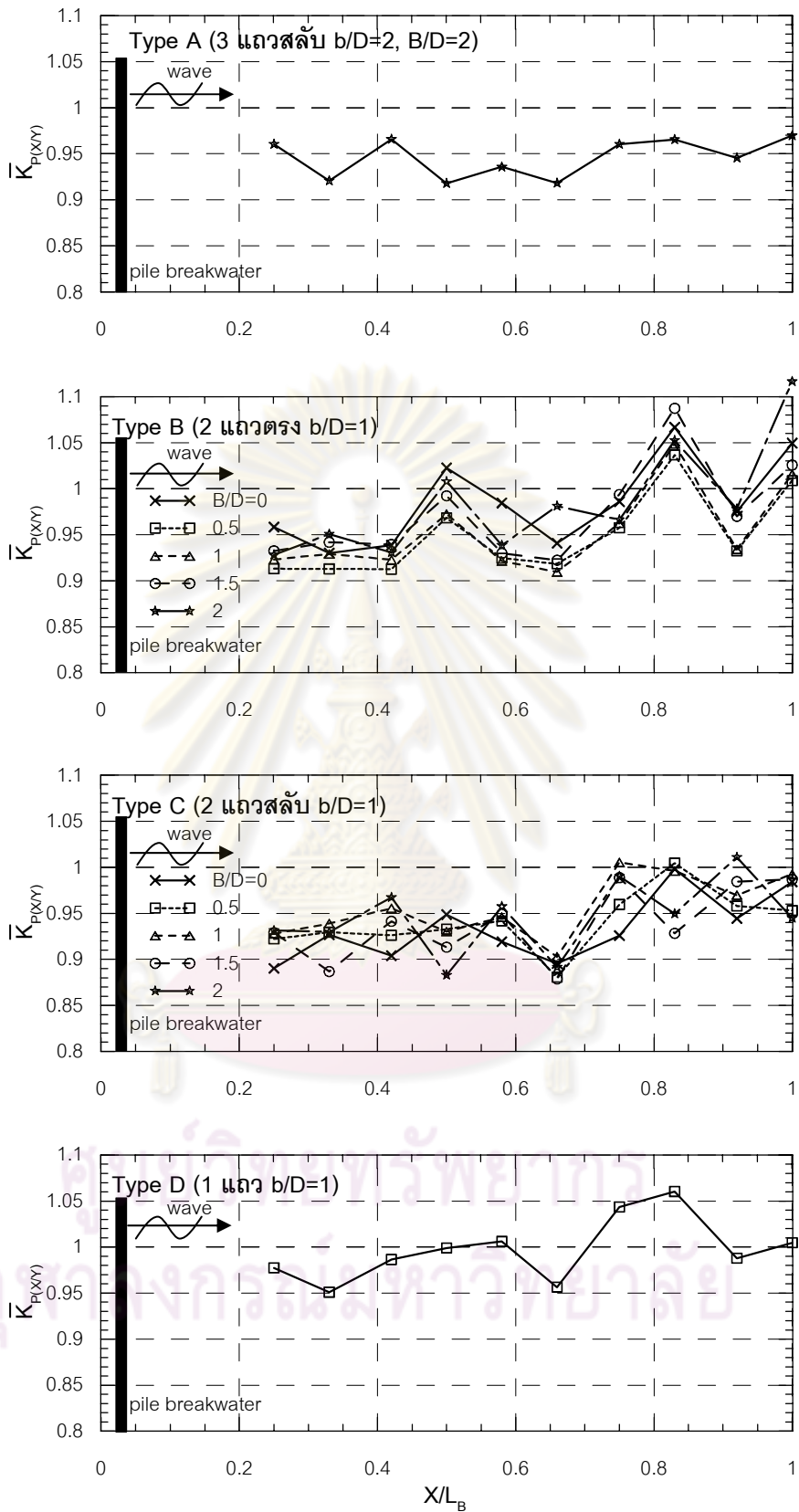


C5 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 2)

D1 (1 แถว)

รูปที่ 4-4 ตัวอย่างเส้นชั้นค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_0/gT^2$  เท่ากับ 0.0180 (ต่อ)



รูปที่ 4-5 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่า  $\bar{K}_{P(x,y)}$  กับ  $X/L_B$  กรณี  $H_0/gT^2$  เท่ากับ 0.0035



0.0111, 0.0121, 0.0137, 0.0143 และ 0.0180 ตามลำดับ จากรูปที่ 4-5 (Type A) และรูปในภาคผนวก จ แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงค่า  $\bar{K}_{P(X,Y)}$  ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะทาง  $X/L_B$  ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(X,Y)}$  มีลักษณะของเปลี่ยนแปลงที่ขึ้น-ลงตามระยะทาง  $X/L_B$  แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะทาง  $X/L_B$  เพิ่มขึ้น โดยจะลดลงมากที่สุดในแต่ละตำแหน่งใกล้กับเขื่อนกันคลื่น แต่เมื่อระยะทาง  $X/L_B$  เพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงตำแหน่งอยู่ห่างจากเขื่อนกันคลื่นมากขึ้นค่า  $\bar{K}_{P(X,Y)}$  มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(X,Y)}$  กับระยะทาง  $X/L_B$  ในแต่ละความชันคลื่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

2) รูปแบบ B (แบบ 2 แถว) มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวขนานเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(X,Y)}$ ) กับระยะทาง  $X/L_B$  อยู่ในช่วง 0.91-1.12, 0.87-1.02, 0.81-1.02, 0.83-1.01, 0.83-1.03, 0.88-1.06, 0.85-1.01 และ 0.85-1.04 ค่าเฉลี่ย 0.97, 0.96, 0.93, 0.94, 0.93, 0.97, 0.92 และ 0.91 เมื่อความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0035, 0.0061, 0.0089, 0.0111, 0.0121, 0.0137, 0.0143 และ 0.0180 ตามลำดับ จากรูปที่ 4-5 (Type B) และรูปภาคผนวก จ แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงค่า  $\bar{K}_{P(X,Y)}$  ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะทาง  $X/L_B$  ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(X,Y)}$  มีลักษณะของเปลี่ยนแปลงที่ขึ้น-ลงตามระยะทาง  $X/L_B$  แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะทาง  $X/L_B$  เพิ่มขึ้นโดยจะลดลงมากที่สุดในแต่ละตำแหน่งใกล้กับเขื่อนกันคลื่น แต่เมื่อระยะทาง  $X/L_B$  เพิ่มขึ้นค่า  $\bar{K}_{P(X,Y)}$  มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B/D) พบว่า มีลักษณะของเส้นกราฟไขว้กันตามระยะทาง  $X/L_B$  แสดงว่าผลของช่องว่างระหว่างแถวไม่มีความชัดเจน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(X,Y)}$  กับระยะทาง  $X/L_B$  ในแต่ละความชันคลื่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

3) รูปแบบ C (แบบ 2 แถวสลับ) มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวขนานเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(X,Y)}$ ) กับระยะทาง  $X/L_B$  อยู่ในช่วง 0.88-1.01, 0.86-1.04, 0.84-1.03, 0.86-1.06, 0.86-1.06, 0.87-1.05, 0.87-1.00 และ 0.83-1.04 ค่าเฉลี่ย 0.94, 0.95, 0.93, 0.95, 0.94, 0.97, 0.92 และ 0.91 เมื่อความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0035, 0.0061, 0.0089, 0.0111, 0.0121, 0.0137, 0.0143 และ 0.0180 ตามลำดับ จากรูปที่ 4-5 (Type C) และรูปภาคผนวก จ แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงค่า  $\bar{K}_{P(X,Y)}$  ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะทาง  $X/L_B$  ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(X,Y)}$  มีลักษณะของเปลี่ยนแปลงที่ขึ้น-ลงตามระยะทาง  $X/L_B$  แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะทาง  $X/L_B$  เพิ่มขึ้นโดยจะลดลงมากที่สุดในแต่ละตำแหน่งใกล้กับเขื่อนกันคลื่น แต่เมื่อระยะทาง  $X/L_B$  เพิ่มขึ้นค่า  $K_T$  มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B/D) พบว่า มีลักษณะของเส้นกราฟไขว้กันตามระยะทาง  $X/L_B$

แสดงว่าผลของช่องว่างระหว่างแถวไม่มีความชัดเจน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(XY)}$  กับระยะทาง  $X/L_B$  ในแต่ละความชันคลื่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

4) รูปแบบ D (แบบ 1 แถว) มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวขนานเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(XY)}$ ) กับระยะทาง  $X/L_B$  อยู่ในช่วง 0.95-1.06, 0.94-1.06, 0.90-1.02, 0.91-1.07, 0.91-1.03, 0.93-1.01, 0.92-1.02 และ 0.91-1.05 ค่าเฉลี่ย 1.00, 1.01, 0.96, 0.99, 0.98, 1.01, 0.97 และ 0.96 เมื่อความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0035, 0.0061, 0.0089, 0.0111, 0.0121, 0.0137, 0.0143 และ 0.0180 ตามลำดับ จากรูปที่ 4-5 (Type D) และรูปภาคผนวก จ แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงค่า  $\bar{K}_{P(XY)}$  ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะทาง  $X/L_B$  ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(XY)}$  มีลักษณะของเปลี่ยนแปลงที่ขึ้น-ลงตามระยะทาง  $X/L_B$  แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะทาง  $X/L_B$  เพิ่มขึ้นโดยจะลดลงมากที่สุดตำแหน่งใกล้กับเขื่อนกันคลื่น แต่เมื่อระยะทาง  $X/L_B$  เพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงตำแหน่งอยู่ห่างจากเขื่อนกันคลื่นมากขึ้นค่า  $\bar{K}_{P(XY)}$  มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(XY)}$  กับระยะทาง  $X/L_B$  ในแต่ละความชันคลื่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

จะเห็นได้ว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวขนานเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(XY)}$ ) กับระยะทางในแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$ ) ของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นในแต่ละรูปแบบมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่า  $\bar{K}_{P(XY)}$  เป็นไปในทิศทางเดียวกันทุกความชันคลื่น กล่าวคือ ในบริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันของการจัดเรียงทุกรูปแบบส่วนใหญ่มีค่า  $\bar{K}_{P(XY)}$  น้อยกว่า 1 แสดงว่า เมื่อมีเขื่อนกันคลื่นความสูงคลื่นเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ลดลง แต่เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(XY)}$  ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะทาง  $X/L_B$  โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(XY)}$  มีลักษณะขึ้น-ลงตามระยะทาง  $X/L_B$  แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางห่างจากเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น แสดงว่า เมื่อมีเขื่อนกันคลื่นในตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับเขื่อนกันคลื่นความสูงคลื่นจะลดลงมากที่สุด จากนั้นความสูงคลื่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางห่างจากเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น

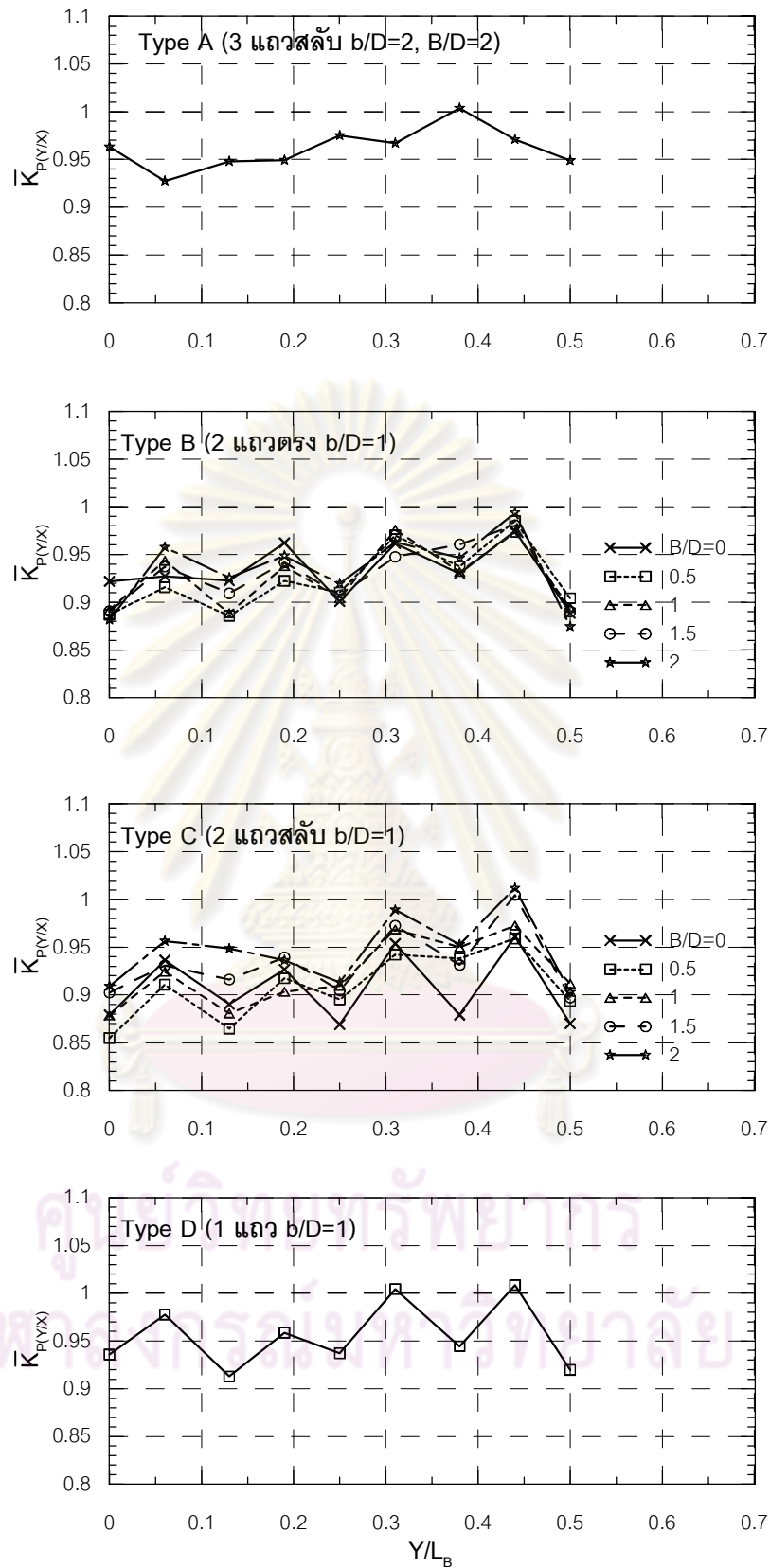
#### 4.1.2 การเปลี่ยนแปลงตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$ )

ในหัวข้อนี้เป็นการกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) กับระยะทางตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) (เมื่อ  $Y/L_B$  คือ อัตราส่วนระหว่างระยะทางตามแนวขนานเขื่อนกันคลื่นจากกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่นกับความยาวของเขื่อนกันคลื่น) ซึ่งค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในแต่ละตำแหน่งตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่นเป็น

ค่าเฉลี่ยของจุดวัดข้อมูลในแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นในช่วง 0.25 ถึง 1 เท่าของความยาวเขื่อนกันคลื่น เรียกว่า ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  กับระยะทางตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) จะพิจารณาจากระยะทางอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.5 เท่าของความยาวเขื่อนกันคลื่น ( $0 \leq Y/L_B \leq 0.5$ ) หรือจากกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่นถึงหัวเขื่อนกันคลื่น จากการทดลองเขื่อนกันคลื่น 4 รูปแบบ (รูปแบบ A, B, C และ D) โดยใช้ค่าความชันคลื่น 8 ขนาด ผลการทดลองได้แสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 4-6 และรายละเอียดในภาคผนวก จ สามารถแยกวิเคราะห์ของการจัดเรียงแต่ละรูปแบบได้ดังต่อไปนี้

1) รูปแบบ A (แบบ 3 แถวสลับ) มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) กับระยะทาง ( $Y/L_B$ ) อยู่ในช่วง 0.93-0.98, 0.96-1.01, 0.93-1.00, 0.93-1.02, 0.90-0.95, 0.98-1.04, 0.91-0.99 และ 0.90-0.97 ค่าเฉลี่ย 0.95, 0.99, 0.96, 0.96, 0.93, 1.01, 0.96 และ 0.93 เมื่อความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0035, 0.0061, 0.0089, 0.0111, 0.0121, 0.0137, 0.0143 และ 0.0180 ตามลำดับ จากรูปที่ 4-6 (Type A) และรูปในภาคผนวก จ แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะทาง  $Y/L_B$  โดยค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  ลดลงมากที่สุดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$  เท่ากับ 0) เมื่อระยะทางห่างจากตำแหน่งกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  มีลักษณะขึ้น-ลง แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามระยะทางที่ห่างจากเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  กับระยะทาง  $Y/L_B$  ในแต่ละความชันคลื่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

2) รูปแบบ B (แบบ 2 แถวตรง) มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ย ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) กับระยะทาง ( $Y/L_B$ ) อยู่ในช่วง 0.94-1.05, 0.87-1.02, 0.87-1.00, 0.85-1.03, 0.85-0.99, 0.88-1.06, 0.84-0.99 และ 0.84-1.00 ค่าเฉลี่ย 0.96, 0.96, 0.93, 0.93, 0.91, 0.97, 0.92 และ 0.90 เมื่อความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0035, 0.0061, 0.0089, 0.0111, 0.0121, 0.0137, 0.0143 และ 0.0180 ตามลำดับ จากรูปที่ 4-6 (Type B) และรูปในภาคผนวก จ แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะทาง  $Y/L_B$  โดยค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  ลดลงมากที่สุดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$  เท่ากับ 0) เมื่อระยะทางห่างจากตำแหน่งกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  มีลักษณะขึ้น-ลง แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามระยะทางที่ห่างจากเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B/D) พบว่า มีลักษณะของเส้นกราฟไขว้กันตามระยะทาง  $Y/L_B$  แสดงว่าผลของช่องว่างระหว่างแถวไม่มีความชัดเจน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  กับระยะทาง  $Y/L_B$  ในแต่ละความชันคลื่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 4-6 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  กับ  $Y/L_B$  กรณี  $H_0/gT^2$  เท่ากับ 0.0089

3) รูปแบบ C (แบบ 2 แถวสลับฟันปลา) มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ย ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) กับระยะทาง ( $Y/L_B$ ) อยู่ในช่วง 0.91-0.98, 0.87-1.05, 0.85-1.01, 0.86-1.05, 0.87-0.98, 0.85-1.07, 0.85-1.02 และ 0.84-0.99 ค่าเฉลี่ย 0.94, 0.95, 0.92, 0.95, 0.92, 0.97, 0.94 และ 0.91 เมื่อความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0035, 0.0061, 0.0089, 0.0111, 0.0121, 0.0137, 0.0143 และ 0.0180 ตามลำดับ จากรูปที่ 4-6 (Type C) และรูปในภาคผนวก จ แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะทาง  $Y/L_B$  โดยค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  ลดลงมากที่สุดที่ตำแหน่งกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$  เท่ากับ 0) เมื่อระยะทางห่างจากตำแหน่งกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  มีลักษณะขึ้น-ลง แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามระยะทางที่ห่างจากเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B/D) พบว่า มีลักษณะของเส้นกราฟไขว้กันตามระยะทาง  $Y/L_B$  แสดงว่าผลของช่องว่างระหว่างแถวไม่มีความชัดเจน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  กับระยะทาง  $Y/L_B$  ในแต่ละความชันคลื่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

4) รูปแบบ D (แบบแถวเดียว) มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ย ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) กับระยะทาง ( $Y/L_B$ ) อยู่ในช่วง 0.98-1.02, 0.95-1.05, 0.91-1.01, 0.93-1.05, 0.91-0.98, 0.94-1.07, 0.92-1.07 และ 0.91-1.00 ค่าเฉลี่ย 1.00, 1.00, 0.96, 0.99, 0.95, 1.01, 0.97 และ 0.96 เมื่อความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0035, 0.0061, 0.0089, 0.0111, 0.0121, 0.0137, 0.0143 และ 0.0180 ตามลำดับ จากรูปที่ 4-6 (Type D) และรูปในภาคผนวก จ แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะทาง  $Y/L_B$  โดยค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  ลดลงมากที่สุดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$  เท่ากับ 0) เมื่อระยะทางห่างจากตำแหน่งกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  มีลักษณะขึ้น-ลง แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามระยะทางที่ห่างจากเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  กับระยะทาง  $Y/L_B$  ในแต่ละความชันคลื่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

จะเห็นได้ว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) กับระยะทางในแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) ในแต่ละรูปแบบของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  เป็นไปในทิศทางเดียวกันทุกค่าความชันคลื่น กล่าวคือ ในบริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันของการจัดเรียงทุกรูปแบบส่วนใหญ่มีค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  น้อยกว่า 1 แสดงว่าเมื่อมีเขื่อนกันคลื่นความสูงคลื่นเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ลดลง แต่เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง  $Y/L_B$  พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะทาง  $Y/L_B$  โดยการเปลี่ยนแปลงค่า  $\bar{K}_{P(Y/X)}$  มีลักษณะขึ้น-ลง ตามระยะทาง  $Y/L_B$  แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางห่างจากกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่นไปทางหัวของเขื่อน



กันคลื่นมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าความสูงคลื่นน้อยที่สุดในตำแหน่งกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่น จากนั้นความสูงคลื่นเพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางห่างจากกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น

#### 4.3 ผลของความชันคลื่น

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการศึกษาคั้งนี้คือ ศึกษาถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น รูปแบบของเขื่อนกันคลื่นที่ใช้ในการศึกษานี้ได้กำหนดเป็น 4 รูปแบบ แบ่งเป็น 12 กรณีศึกษา ประกอบด้วยรูปแบบ A (3 แถวสลับ) มี 1 กรณีศึกษา รูปแบบ B (2 แถวตรง) มี 5 กรณีศึกษา รูปแบบ C (2 แถวสลับ) มี 5 กรณีศึกษา และ รูปแบบ D (1 แถว) มี 1 กรณีศึกษา

การศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น พิจารณาเปรียบเทียบจากความสูงคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่นต่อความสูงคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น ( $H_p/H_N$ ) หรือค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) ผลการศึกษาที่ผ่านมา ทำให้ทราบว่า ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) ขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำ ( $d$ ) ความสูงของคลื่น ( $H_N$ ) คาบเวลาของคลื่น ( $T$ ) และค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ( $g$ ) แต่จากการศึกษาของ Rao et al. (1999) พบว่าค่าความลึกของน้ำ ( $d$ ) นั้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรคลื่น อันประกอบด้วย ความสูงของคลื่น ( $H$ ) และคาบเวลาของคลื่น ( $T$ ) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นมากกว่า ดังนั้นการพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) จึงขึ้นอยู่กับความสูงคลื่น ( $H_N$ ) คาบคลื่น ( $T$ ) และค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ( $g$ ) ซึ่งสามารถเขียนในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรไร้มิติ ดังสมการที่ 4-4

$$K_p = f \left[ \frac{H_N}{gT^2} \right] \quad \dots\dots\dots (4-4)$$

เมื่อ  $K_p$  คือค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น และ  $H_N/gT^2$  คือค่าความชันคลื่น ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ที่แปรผกผันกัน โดยค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) มีแนวโน้มลดลงเมื่อความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เพิ่มขึ้น

การศึกษานี้ได้วัดข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความสูงของคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่น ดังนั้น ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่เก็บข้อมูลหลังเขื่อนกันคลื่น หรือเรียกว่า อัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ )

การหาความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) กับค่าความชันคลื่น สามารถพิจารณาจากค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และค่าการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) กับค่าความชันคลื่น โดยค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และค่าการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) สามารถคำนวณได้เมื่อทราบค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ดังแสดงในสมการสมการที่ (4-5) และ (4-6) ตามลำดับ

$$\phi_H = \frac{\Delta H}{H_N} = 1 - \bar{K}_{P(A)} \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

$$\phi_E = \frac{\Delta E}{E_N} = (1 - \bar{K}_{P(A)}^2) \quad \dots\dots\dots (4-6)$$

เมื่อ  $\phi_H$  คือ ค่าการลดลงของความสูงคลื่น  $\Delta H$  คือ ความสูงคลื่นที่ลดลง  $H_N$  คือ ความสูงคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น  $\phi_E$  คือ ค่าการสลายคลื่น  $\Delta E$  คือ พลังงานคลื่นที่ลดลง  $E_N$  คือ พลังงานคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น และ  $\bar{K}_{P(A)}$  คือ ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 4-7 ถึง 4-18 ทำให้สามารถกำหนดความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลนั้นที่อยู่ในรูปของสมการที่ (4-7) และ (4-8)

reduction in wave height, 
$$\phi_H = a \left( \frac{H_o}{gT^2} \right)^b \quad \dots\dots\dots (4-7)$$

wave energy dissipation, 
$$\phi_E = a' \left( \frac{H_o}{gT^2} \right)^{b'} \quad \dots\dots\dots (4-8)$$

เมื่อ a และ b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ และค่าเลขยกกำลังของสมการ (4-5) a' และ b' คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ และค่าเลขยกกำลังของสมการ (4-6) ซึ่งได้แสดงค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ และเลขยกกำลัง ของแต่ละชุดข้อมูลดังตารางที่ 4-1 และตารางที่ 4-2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ และค่าคงที่ในสมการที่ (4-5) ที่ให้ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดกับข้อมูลการทดลองของแต่ละรูปแบบการจัดเรียง

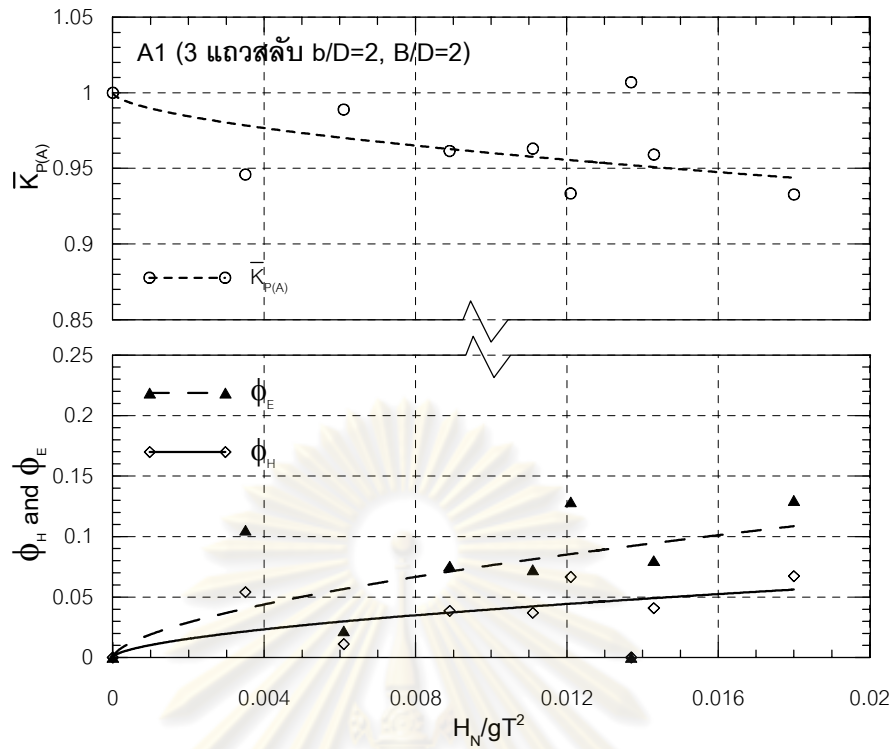
การจัดเรียง	กรณีศึกษา	ช่องว่างระหว่าง ต้น (b/D)	ช่องว่างระหว่าง แถว (B/D)	ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณและค่าคงที่		
				a	b	R <sup>2</sup>
รูปแบบ A (3 แถวสลับ)	A1	2	2	0.592	0.586	0.82
รูปแบบ B (2 แถวตรง)	B1	1	0	1.778	0.725	0.93
	B2	1	0.5	1.318	0.625	0.98
	B3	1	1	1.450	0.656	0.86
	B4	1	1.5	1.584	0.720	0.85
รูปแบบ C (2 แถวสลับ)	B5	1	2	1.412	0.748	0.79
	C1	1	0	0.891	0.510	0.54
	C2	1	0.5	1.175	0.612	0.40
	C3	1	1	1.245	0.635	0.83
รูปแบบ C (2 แถวสลับ)	C4	1	1.5	0.890	0.585	0.69
	C5	1	2	0.832	0.624	0.49
รูปแบบ D (1 แถว)	D1	1	-	0.395	0.572	0.66

R<sup>2</sup> คือ correlation

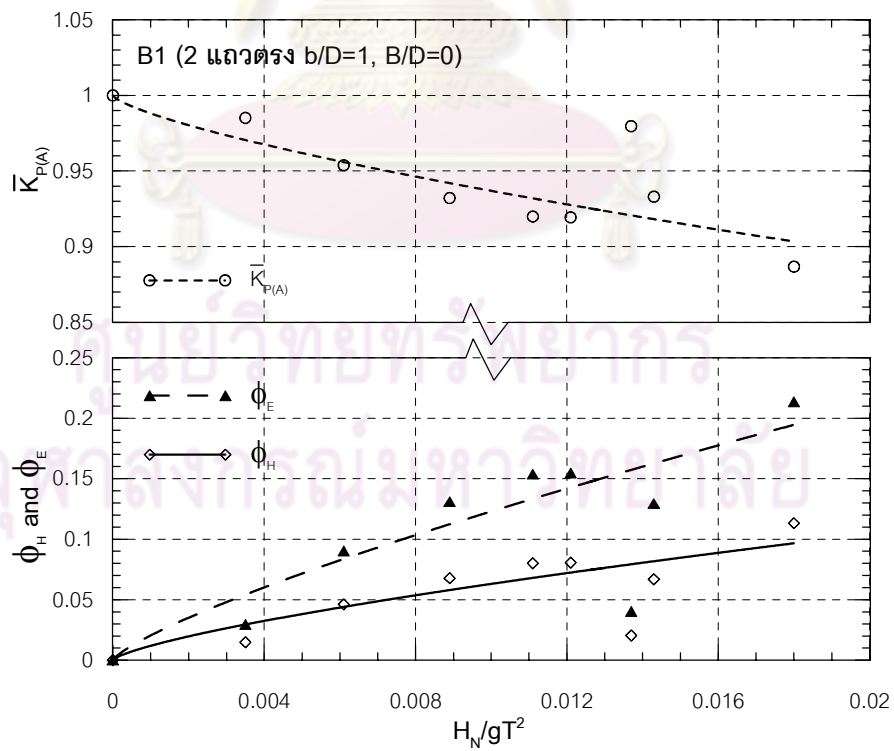
ตารางที่ 4-2 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ และค่าคงที่ในสมการที่ (4-6) ที่ให้ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดกับข้อมูลการทดลองของแต่ละรูปแบบการจัดเรียง

การจัดเรียง	กรณีศึกษา	ช่องว่างระหว่าง ต้น (b/D)	ช่องว่างระหว่าง แถว (B/D)	ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณและค่าคงที่		
				a'	b'	R <sup>2</sup>
รูปแบบ A (3 แถวสลับ)	A1	2	2	1.214	0.601	0.81
รูปแบบ B (2 แถวตรง)	B1	1	0	4.466	0.782	0.93
	B2	1	0.5	2.818	0.654	0.98
	B3	1	1	3.482	0.712	0.86
	B4	1	1.5	3.020	0.724	0.85
	B5	1	2	2.691	0.770	0.79
รูปแบบ C (2 แถวสลับ)	C1	1	0	1.778	0.522	0.54
	C2	1	0.5	2.344	0.625	0.43
	C3	1	1	2.346	0.641	0.40
	C4	1	1.5	1.860	0.599	0.83
	C5	1	2	1.661	0.632	0.68
รูปแบบ D (1 แถว)	D1	1	-	0.952	0.625	0.66

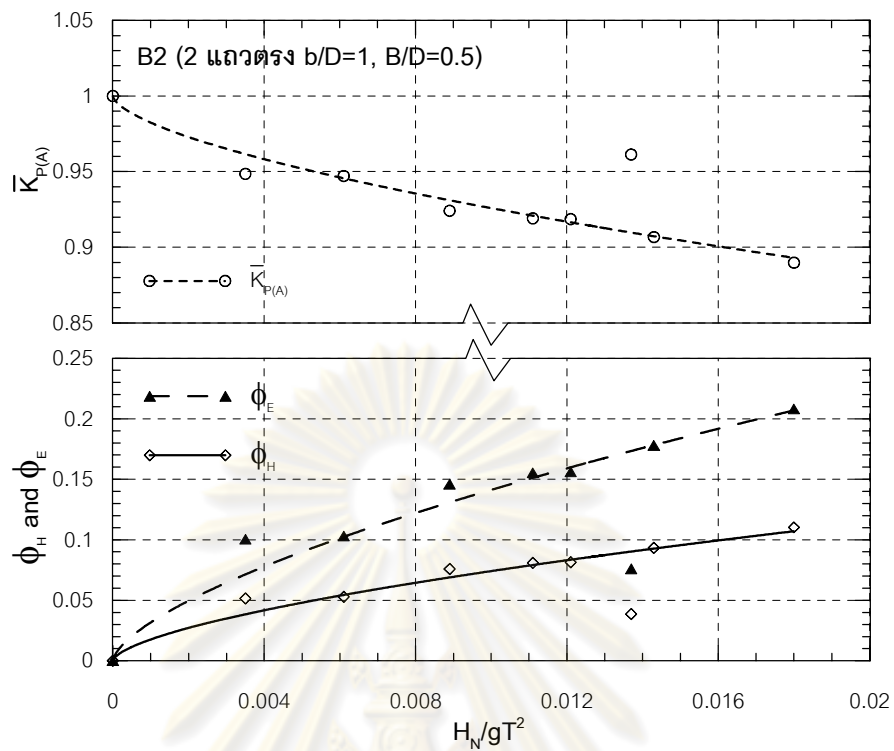
R<sup>2</sup> คือ correlation



รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ของค่า  $\bar{K}_{P(A)}$ ,  $\phi_H$  และ  $\phi_E$  กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )  
กรณีจัดเรียงแบบ 3 แฉกสลับ

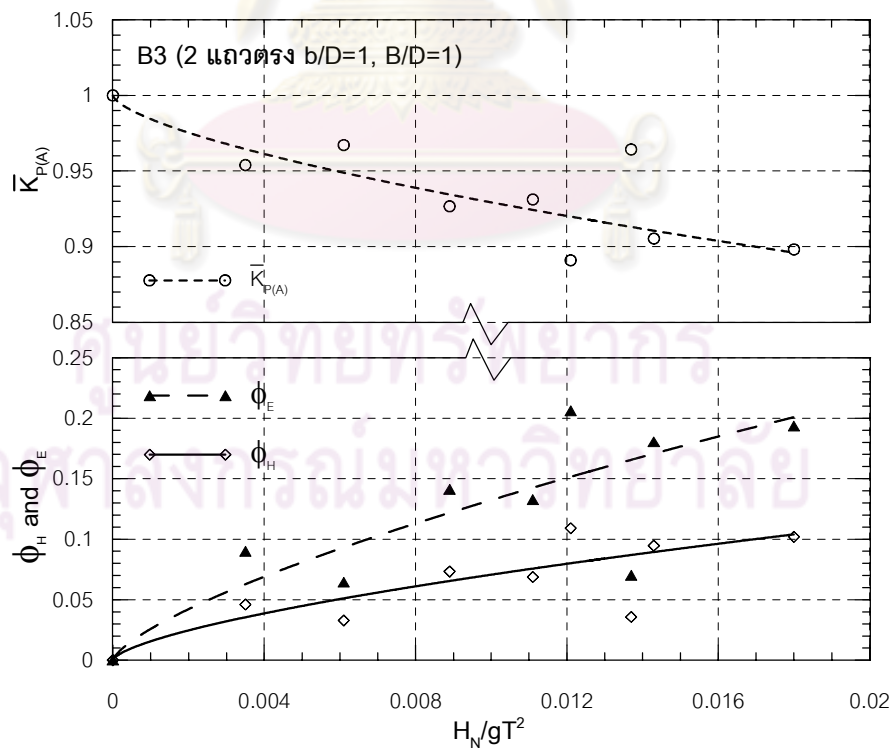


รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ของค่า  $\bar{K}_{P(A)}$ ,  $\phi_H$  และ  $\phi_E$  กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แฉกตรงที่  $B/D$  เท่ากับ 0



รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ของค่า  $\bar{K}_{P(A)}$ ,  $\phi_H$  และ  $\phi_E$  กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )

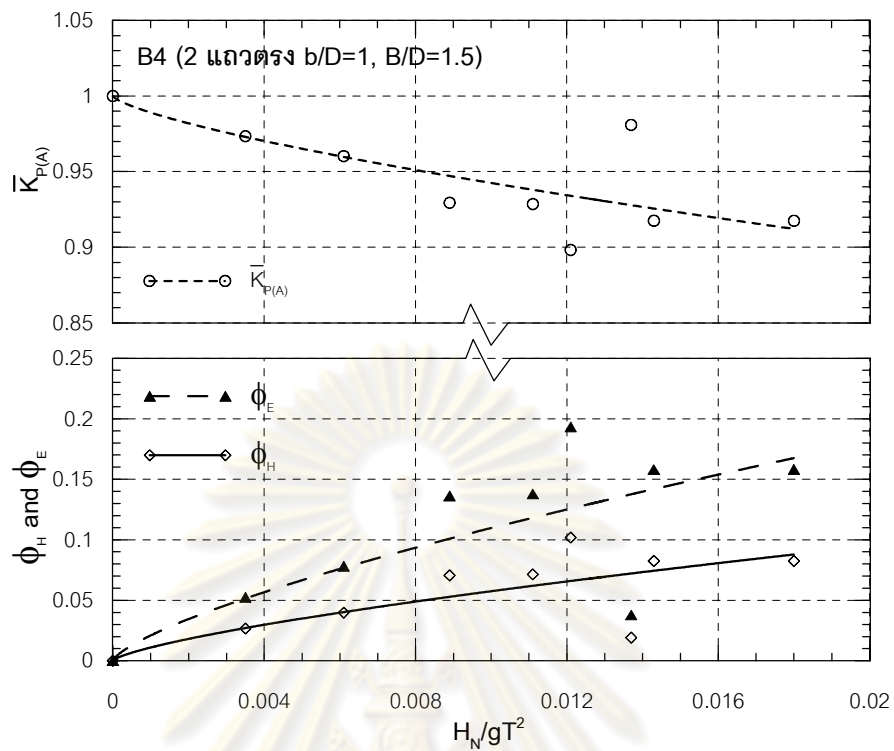
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แฉาดตรงที่  $B/D$  เท่ากับ 0.5



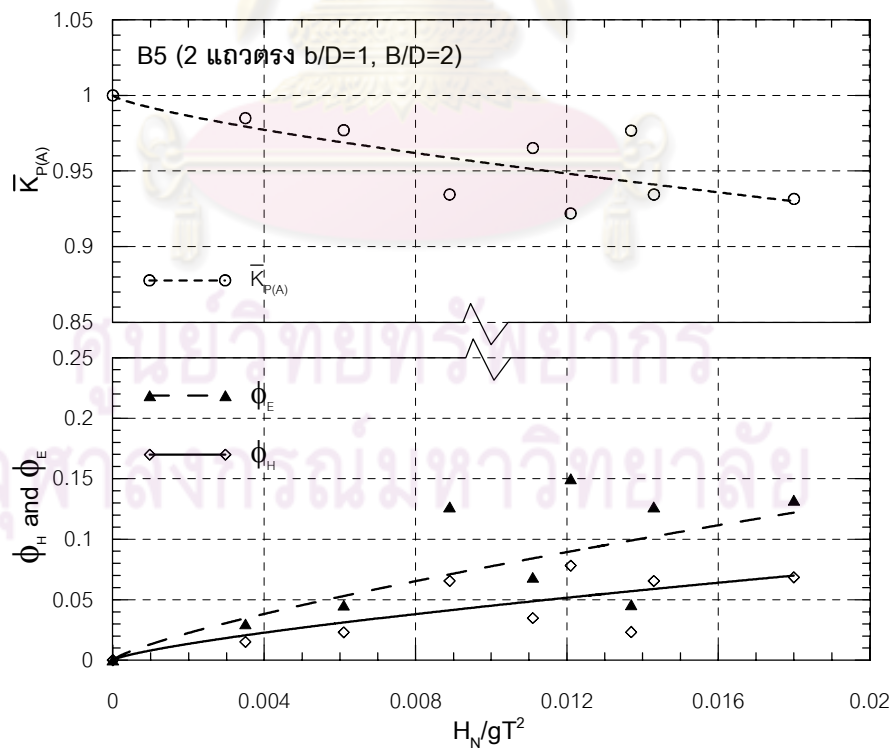
รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ของค่า  $\bar{K}_{P(A)}$ ,  $\phi_H$  และ  $\phi_E$  กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )

กรณีจัดเรียงแบบ 2 แฉาดตรงที่  $B/D$  เท่ากับ 1

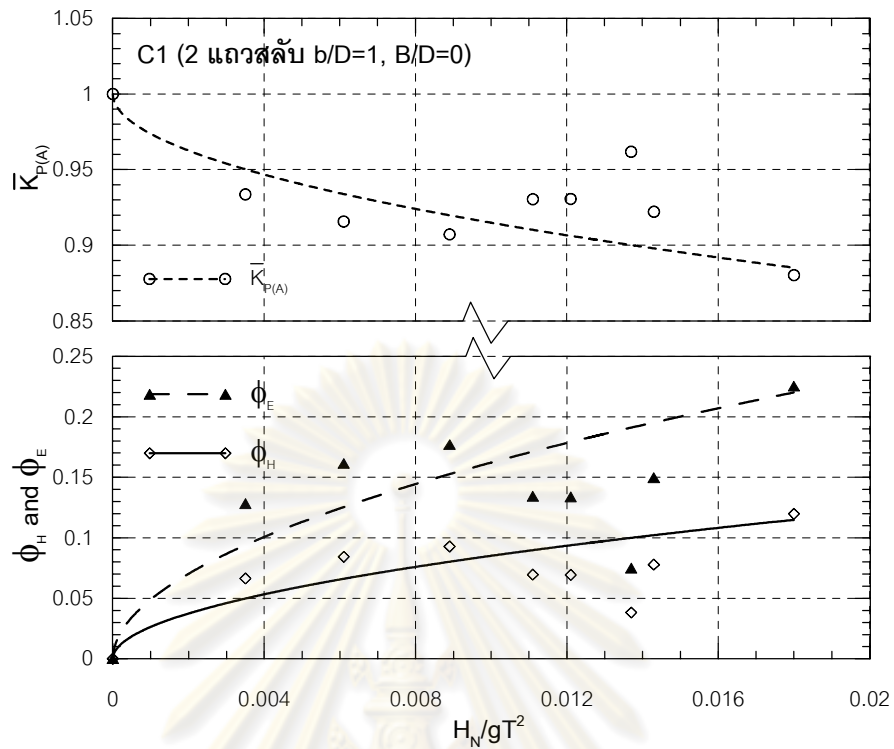




รูปที่ 4-11 ความสัมพันธ์ของค่า  $\bar{K}_{P(A)}$ ,  $\phi_H$  และ  $\phi_E$  กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงที่  $B/D$  เท่ากับ 1.5

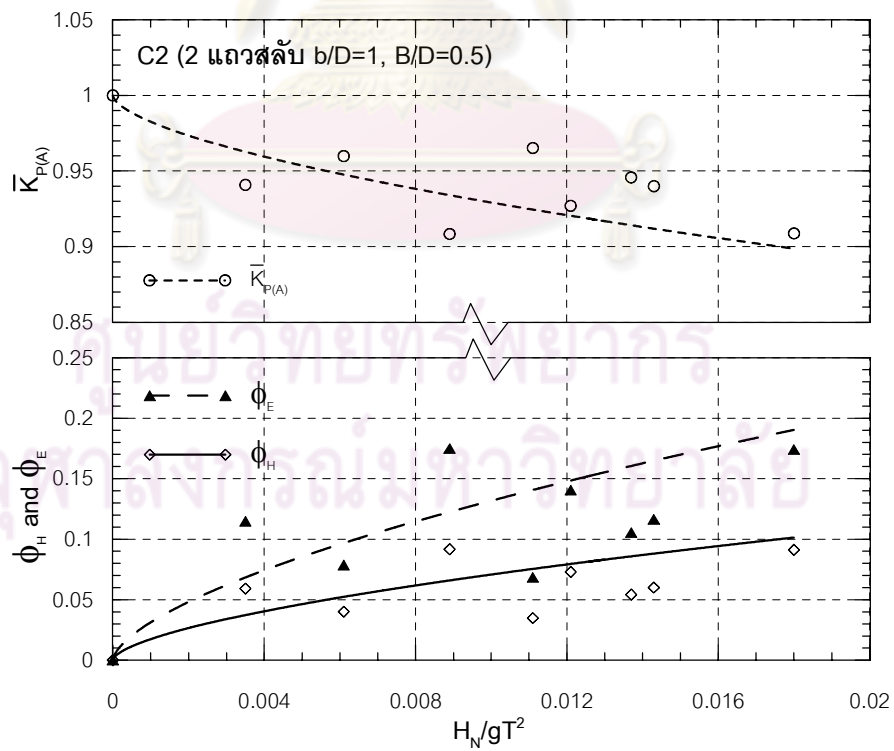


รูปที่ 4-12 ความสัมพันธ์ของค่า  $\bar{K}_{P(A)}$ ,  $\phi_H$  และ  $\phi_E$  กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงที่  $B/D$  เท่ากับ 2



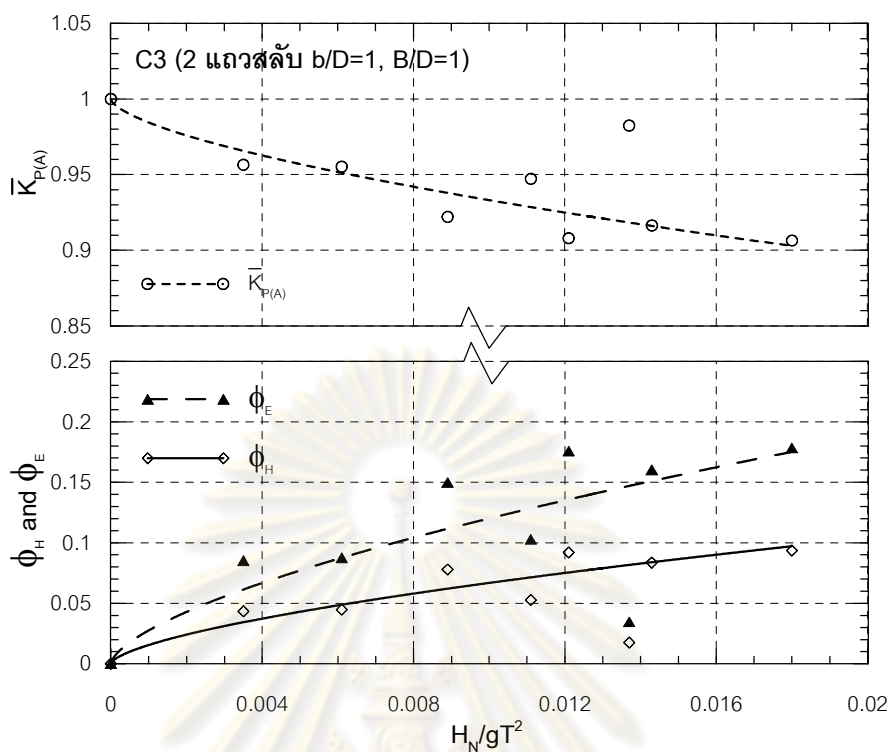
รูปที่ 4-13 ความสัมพันธ์ของค่า  $\bar{K}_{P(A)}$ ,  $\phi_H$  และ  $\phi_E$  กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )

กรณีจัดเรียงแบบ 2 แฉากลีบที่  $B/D$  เท่ากับ 0

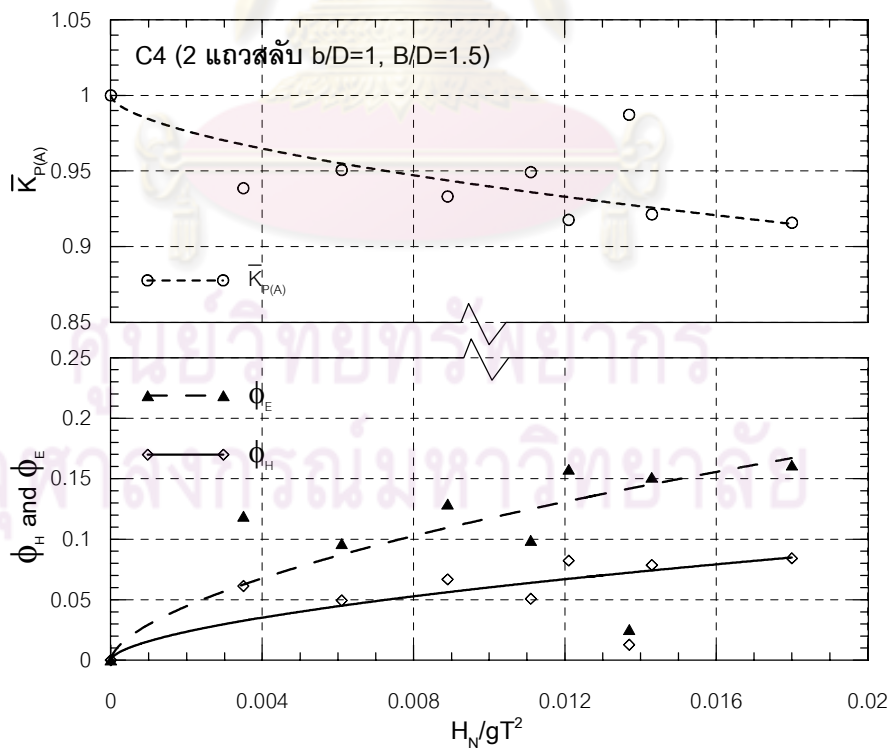


รูปที่ 4-14 ความสัมพันธ์ของค่า  $\bar{K}_{P(A)}$ ,  $\phi_H$  และ  $\phi_E$  กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )

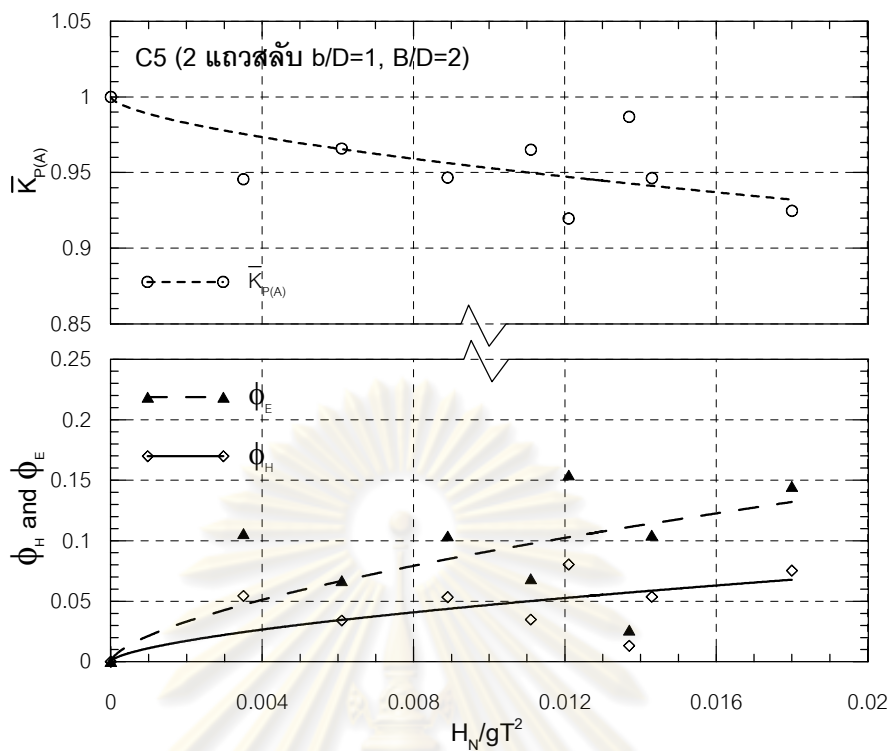
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แฉากลีบที่  $B/D$  เท่ากับ 0.5



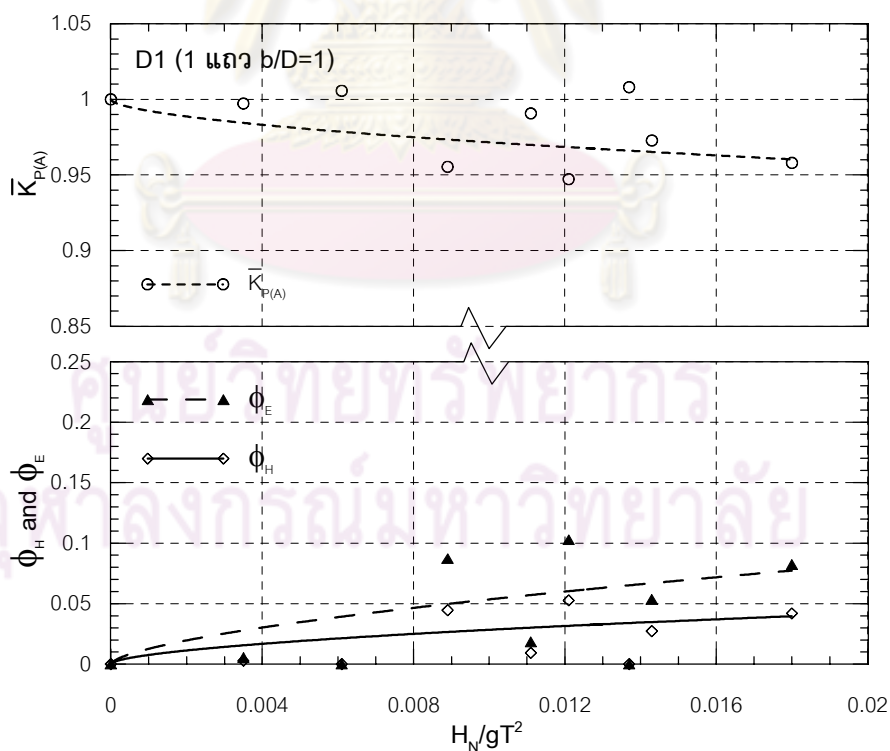
รูปที่ 4- 15 ความสัมพันธ์ของค่า  $\bar{K}_{P(A)}$ ,  $\phi_H$  และ  $\phi_E$  กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แฉกสลับที่  $B/D$  เท่ากับ 1



รูปที่ 4- 16 ความสัมพันธ์ของค่า  $\bar{K}_{P(A)}$ ,  $\phi_H$  และ  $\phi_E$  กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แฉกสลับที่  $B/D$  เท่ากับ 1.5



รูปที่ 4-17 ความสัมพันธ์ของค่า  $\bar{K}_{P(A)}$ ,  $\phi_H$  และ  $\phi_E$  กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แลวดลับที่ B/D เท่ากับ 2



รูปที่ 4-18 ความสัมพันธ์ของค่า  $\bar{K}_{P(A)}$ ,  $\phi_H$  และ  $\phi_E$  กับความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )  
กรณีจัดเรียงแบบ 1 แลวด

จากตารางที่ 4-1 และ ตารางที่ 4-2 แสดงให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ ( $a, a'$ ) และค่าเลขยกกำลัง ( $b, b'$ ) ของแต่ละกรณีศึกษามีค่าแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าจากสมการกับชุดข้อมูลของรูปแบบการจัดเรียงในบางกรณีมีความสัมพันธ์กันน้อย ( $R^2$  ต่ำ) เนื่องมาจากการเก็บข้อมูลที่น้อยและเพียงครั้งเดียว ทำให้ค่าข้อมูลที่ได้นั้นยังไม่แน่นอน

ในการวิเคราะห์นั้นแยกการวิเคราะห์ของแต่ละรูปแบบการจัดเรียงได้ต่อไปนี

1) รูปแบบ A (3 แถวสลับ) จากรูปที่ 4-7 เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) พบว่า ค่า ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) มีแนวโน้มลดลงเมื่อความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เพิ่มขึ้น โดยลักษณะของการลดลงนั้นจะมีอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) จะพบว่า การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น โดยลักษณะของการเพิ่มขึ้นจะมีอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่า ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ค่าการลดลงของความสูงคลื่น และการสลายพลังงานคลื่น มีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงที่ความชันคลื่นน้อย แต่เมื่อความชันคลื่นเพิ่มมากขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อย ดังจะเห็นได้จากกราฟจะมีความชันมากในช่วงความชันคลื่นน้อย และมีความลาดชันน้อยในช่วงความชันคลื่นมาก อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าลักษณะของเส้นกราฟมีความลาดชันเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงรูปแบบนี้ ความชันคลื่นมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น

2) รูปแบบ B (2 แถวตรง) ในรูปแบบนี้มีการจัดเรียง 5 กรณีศึกษา โดยแบ่งตามช่องว่างระหว่างแถวที่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึง 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม จากรูปที่ 4-8 ถึง 4-12 เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) พบว่า ค่า ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของแต่ละกรณีศึกษา มีแนวโน้มลดลงเมื่อความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เพิ่มขึ้น โดยลักษณะของการลดลงนั้นจะมีอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) จะพบว่า การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น โดยลักษณะของการเพิ่มขึ้นจะมีอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่า ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ค่าการลดลงของความสูงคลื่น และการสลายพลังงานคลื่น มีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงที่ความชันคลื่นน้อย และการเปลี่ยนแปลงมีอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นมาก ซึ่งในแต่ละกรณีศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4-19 และ 4-20 จะเห็นได้ว่าลักษณะของเส้นกราฟมีความลาดชันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันค่าความชันคลื่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นอย่างมีนัยสำคัญ



3) รูปแบบ C (2 แถวสลับ) ในรูปแบบนี้มีการจัดเรียง 5 กรณีศึกษา โดยแบ่งตามช่องว่างระหว่างแถวที่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึง 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม จากรูปที่ 4-13 ถึง 4-17 เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) พบว่า ค่า ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของแต่ละกรณีศึกษา มีแนวโน้มลดลงเมื่อความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เพิ่มขึ้น โดยลักษณะของการลดลงนั้นจะมีอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) จะพบว่า การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นของแต่ละกรณีศึกษา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น โดยลักษณะของการเพิ่มขึ้นจะมีอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่า ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ค่าการลดลงของความสูงคลื่น และการสลายพลังงานคลื่น มีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงที่ความชันคลื่นน้อย และการเปลี่ยนแปลงมีอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นมาก ซึ่งในแต่ละกรณีศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4-20 และ 4-21 จะเห็นได้ว่าลักษณะของเส้นกราฟมีความลาดชันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับพื้นปลาค่าความชันคลื่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นอย่างมีนัยสำคัญ

4) รูปแบบ D จากรูปที่ 4-18 เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) พบว่า ค่า ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) มีแนวโน้มลดลงเมื่อความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เพิ่มขึ้น โดยลักษณะของการลดลงนั้นจะมีอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) จะพบว่า การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นมีอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่า ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น การลดลงของความสูงคลื่น และการสลายพลังงานคลื่น มีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงที่ความชันคลื่นน้อย และมีการเปลี่ยนแปลงในอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการจัดเรียงรูปแบบนี้ มีความลาดชันของเส้นกราฟค่อนข้างน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงรูปแบบนี้ ความชันคลื่นมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น

จากการศึกษาการจัดเรียงทั้ง 4 รูปแบบ แสดงให้เห็นว่าค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น โดยลักษณะของการลดลงนั้นมีอัตราที่ลดลงกับค่าความชันคลื่นที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น พบว่ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น โดยลักษณะของการเพิ่มขึ้นนั้นมีอัตราที่ลดลงกับค่าความชันคลื่นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลของการจัดเรียงทุกรูปแบบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวได้ว่าค่าความชันคลื่นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.4 ผลของช่องว่างระหว่างแถว

ในหัวข้อนี้วิเคราะห์ถึงผลของช่องว่างระหว่างแถว (B/D) ของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถวที่มีต่อค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถว แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบแถวตรงกัน (rectangle) และแบบสลับฟันปลา (staggering) ซึ่งในแต่ละรูปแบบได้เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว 5 ค่า ตั้งแต่ 0 ถึง 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังนั้นการพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) และช่องว่างระหว่างแถว สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (4-9)

$$\bar{K}_{P(A)} = \left[ \frac{B}{D} \right] \dots\dots\dots (4-9)$$

โดยที่ค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  คือ ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่และ B/D คือ ช่องว่างระหว่างแถวต่อขนาดเสาเข็ม ด้วยเนื่องจากการจัดเรียงมี 2 รูปแบบทั้งแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลา ดังนั้นจึงแยกพิจารณาของแต่ละรูปแบบดังต่อไปนี้

##### 4.4.1 ผลของช่องว่างระหว่างแถวกรณีจัดเรียงแบบแถวตรงกัน (rectangle)

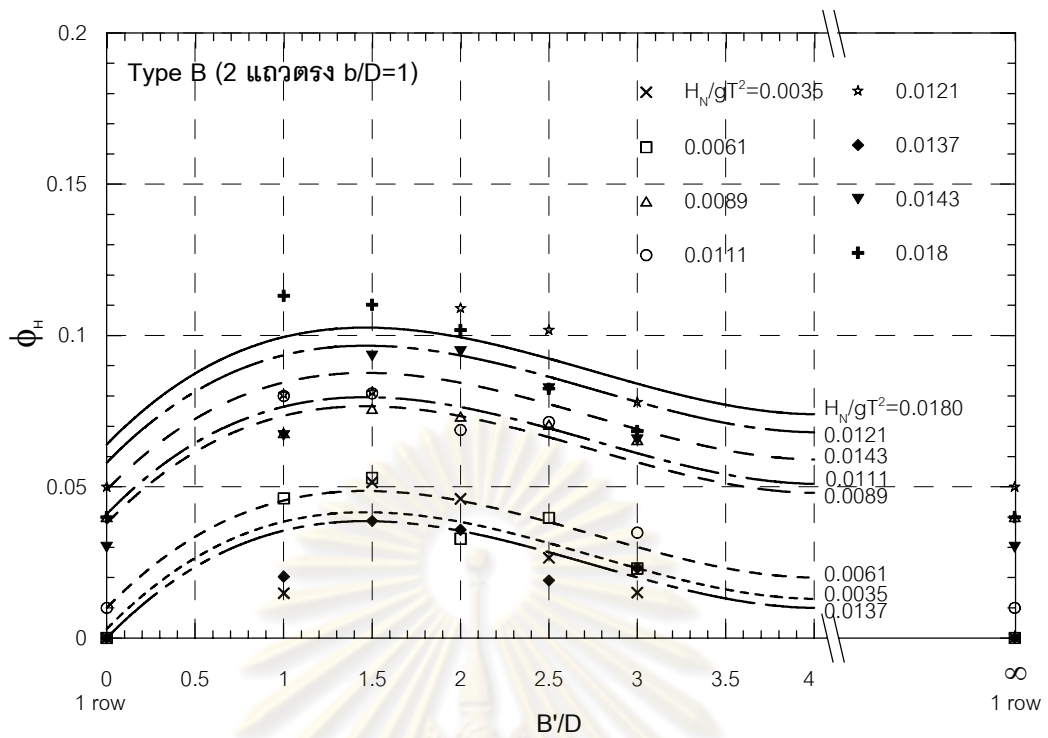
จากหัวข้อที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ได้พิจารณาอยู่ในรูปของค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และ ค่าการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) กับค่าความชันคลื่น เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกัน ดังนั้น ในการวิเคราะห์ถึงผลของช่องว่างระหว่างแถว (B/D) ในกรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันที่มีต่อค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) จึงได้พิจารณาจากความสัมพันธ์ของค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และ ค่าการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) กับช่องว่างระหว่างแถว (B/D)

ในการวิเคราะห์ถึงผลของช่องว่างระหว่างแถว (B/D) จะพิจารณาจากผลของระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) ซึ่งพบว่าในการศึกษามีช่วงของการทดลองค่อนข้างแคบ โดยมีระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) ตั้งแต่ 1 ถึง 3 (ช่องว่างระหว่างแถว (B/D) ตั้งแต่ 0 ถึง 2) จากข้อมูลดังกล่าวไม่สามารถเห็นแนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพ (physical limit) ของเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถวตรง จะเห็นได้ว่า หากเสาเข็มแถวที่ 2 สามารถเลื่อนเข้ามาซ้อนทับกับแถวที่ 1 ได้ หรือกล่าวได้ว่า ระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) เป็น 0 ลักษณะของเขื่อนกันคลื่นจะเป็นแบบ 1 แถว แต่หากจัดเรียงให้ระยะห่างระหว่างแถว (B'/D)

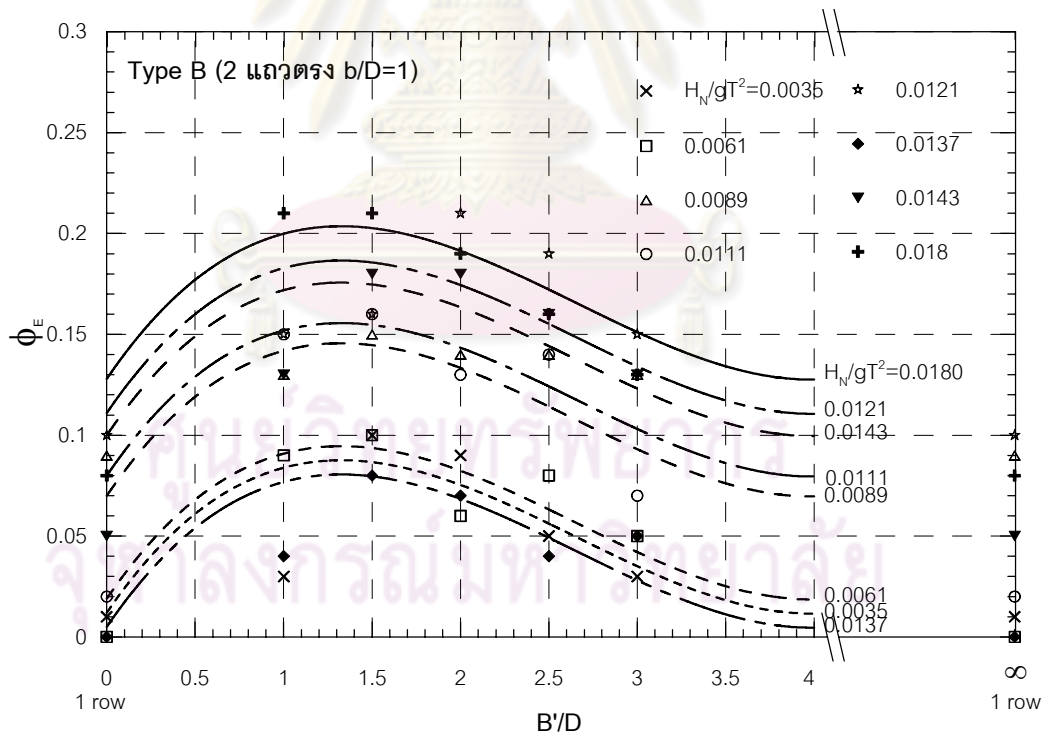
เพิ่มขึ้น จนเสาเข็มแถวที่ 1 กับแถวที่ 2 ไม่มีอิทธิพลต่อกัน ประสิทธิภาพของเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถวจะลดลงเป็นเหมือนเขื่อนกันคลื่นแบบ 1 แถวเช่นเดียวกัน นั้นหมายความว่าขอบเขตจำกัดของการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน คือการจัดเรียงแบบ 1 แถวที่มีช่องว่างระหว่างต้นที่เท่ากัน ดังนั้นการพิจารณาผลของระยะห่างระหว่างแถวในกรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถว สามารถนำข้อมูลของการจัดเรียงแบบแถวเดียวที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มที่เท่ากันแทนการจัดเรียงแบบ 2 แถวที่มีระยะห่างระหว่างแถวหลายๆกรณีที่มีระยะห่างระหว่างแถว(B'/D) เป็น 0 ซึ่งทำให้เห็นความสัมพันธ์ของข้อมูลชัดเจนขึ้น

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และ ค่าการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) กับระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) ที่ค่าความชันคลื่นต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-19 และ 4-20 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก จ) จะเห็นได้ว่า ค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และ ค่าการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้น จากค่า B'/D เท่ากับ 1 เป็น B'/D เท่ากับ 1.5 หลังจากนั้นเมื่อระยะห่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้น ค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นมีแนวโน้มลดลง โดยลักษณะการลดลงมีอัตราที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นจนถึงค่า B'/D เท่ากับ 3 และเมื่อระยะห่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นค่าการลดลงของความสูงคลื่นและ ค่าการสลายพลังงานคลื่นมีแนวโน้มลดลงในอัตราที่ลดลงเข้าสู่การจัดเรียงแบบ 1 แถว ซึ่งจากการพิจารณาทุกค่าความชันคลื่น พบว่า ความสัมพันธ์ของค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นกับระยะห่างระหว่างแถวของแต่ละความชันคลื่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-19 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) ต่อค่า  $\phi_H$  รวมทุกค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรง



รูปที่ 4-20 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) ต่อค่า  $\phi_E$  รวมทุกค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรง

#### 4.4.2 ผลของช่องว่างระหว่างแถวกรณีจัดเรียงแบบแถวสลับพื้นปลา (staggering)

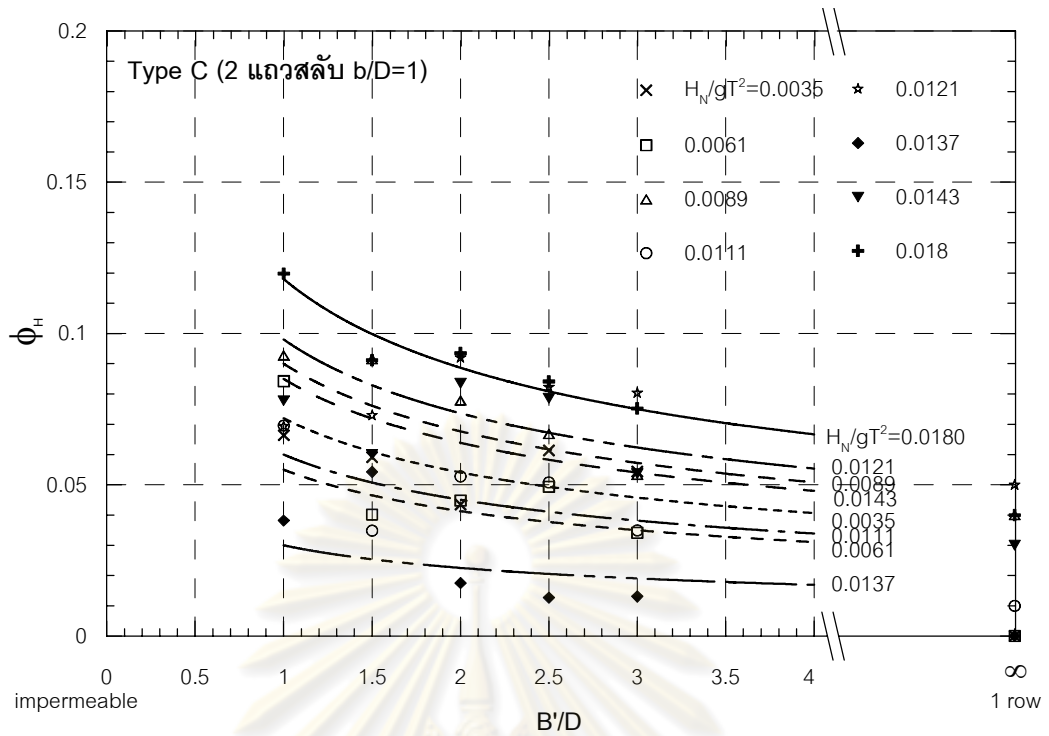
ในส่วนนี้เป็นการพิจารณาถึงผลของช่องว่างระหว่างแถวของเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถว สลับพื้นปลามีต่อค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) และเพื่อให้การพิจารณาผลของช่องว่างระหว่างแถว (B/D) ที่มีต่อค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น สอดคล้องกับหัวข้อที่ 4-3 ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลของช่องว่างระหว่างแถวในกรณีจัดเรียงแบบสลับพื้นปลา จึงได้พิจารณาถึงผลของช่องว่างระหว่างแถว (B/D) ที่มีต่อการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และ ค่าการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) เช่นเดียวกับการพิจารณาในกรณีแบบแถวตรง

ในการวิเคราะห์ผลของช่องว่างระหว่างแถว (B/D) ของการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับพื้นปลา จะพิจารณาจากผลของระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) เช่นเดียวกับการจัดเรียงแบบแถวตรง จากการศึกษาเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถวสลับพื้นปลาที่มีช่องว่างระหว่างแถว (b/D) เท่ากับ 1 พบว่าเมื่อจัดเรียงระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) เท่ากับ 0 ซึ่งเสาเข็มแถวที่ 1 กับแถวที่ 2 อยู่ในแนวเดียวกัน โดยเสาเข็มของแถวที่ 2 จะปิดช่องว่างระหว่างแถวของแถวที่ 1 ทำให้เขื่อนกันคลื่นมีความทึบน้ำ (impermeable) คลื่นไม่สามารถเคลื่อนตัวผ่านได้ นั่นหมายถึงสามารถลดความสูงคลื่นและสลายพลังงานคลื่นได้ทั้งหมดแต่หากจัดเรียงให้ระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) เพิ่มขึ้น จนเสาเข็มแถวที่ 1 กับแถวที่ 2 ไม่มีอิทธิพลต่อกัน ประสิทธิภาพของเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถวจะลดลง เป็นเหมือนเขื่อนกันคลื่นแบบ 1 แถว กล่าวได้ว่าลักษณะจำกัดทางกายภาพของการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับพื้นปลา กรณีระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) เท่ากับ 0 จะเป็นแบบทึบน้ำ และเป็นแบบ 1 แถวเมื่อระยะห่างระหว่างแถวมากๆ

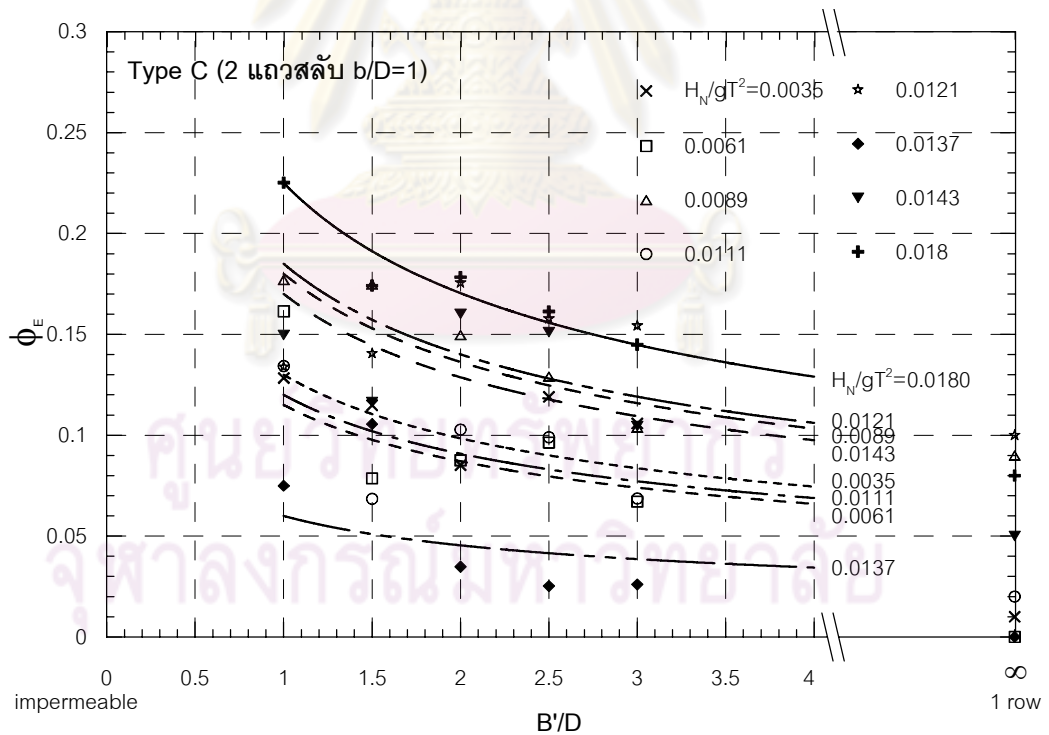
จากลักษณะจำกัดทางกายภาพของการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับพื้นปลา จึงทำให้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาร่วมกับข้อมูลของการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับพื้นปลา เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มของความสัมพันธ์ของข้อมูล

เมื่อพิจารณาค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และ ค่าการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) กับค่าระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) ดังแสดงในรูปที่ 4-21 และ 4-22 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก จ) จะเห็นได้ว่า ค่าการลดลงของความสูงคลื่น และ ค่าการสลายพลังงานคลื่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) เพิ่มขึ้น โดยลักษณะของการลดลงมีอัตราที่ลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะห่างระหว่างแถวยิ่งมากขึ้นลักษณะของการลดลงจะเข้าสู่การจัดเรียงแบบ 1 แถว ซึ่งจากการพิจารณาทุกค่าความชันคลื่น พบว่า ความสัมพันธ์ของค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นกับระยะห่างระหว่างแถวของแต่ละความชันคลื่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน





รูปที่ 4-21 ผลของระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) ต่อค่า  $\phi_H$  รวมทุกค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลั บ



รูปที่ 4-22 ผลของระยะห่างระหว่างแถว (B'/D) ต่อค่า  $\phi_E$  รวมทุกค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลั บพื้นปลา

#### 4.5 ความสัมพันธ์ร่วมของความชันคลื่นและช่องว่างระหว่างแถว

การพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) และรูปแบบของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม ในกรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถวทั้งแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลาที่มีช่องว่างระหว่างต้นเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม ( $b/D$  เท่ากับ 1) และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวตั้งแต่ 0 ถึง 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ( $B/D$  ตั้งแต่ 0 ถึง 2) ซึ่งรูปแบบของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นเปลี่ยนแปลงเนื่องจากระยะห่างระหว่างแถวที่เปลี่ยนไป ดังนั้นการพิจารณาค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) จะขึ้นอยู่กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) และช่องว่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) สามารถเขียนในรูปของสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4-10)

$$\bar{K}_{P(A)} = f \left[ \frac{H_N}{gT^2}, \frac{B}{D} \right] \quad \dots\dots\dots (4-10)$$

จากสมการที่ (4-8) สามารถใช้เป็นฟังก์ชันในการพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) กับตัวแปรคลื่น และรูปแบบของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นในกรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถว ทั้งแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลา ดังกล่าวต่อไปนี้

##### 4.5.1 การพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมกรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน

จากหัวข้อที่ 4.3 ได้แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) พบว่า มีความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 4-5 และจากหัวข้อที่ 4.4 ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) กับช่องว่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) กับช่องว่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) ในแต่ละความชันคลื่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นหมายถึงความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ของแต่ละรูปแบบการจัดเรียงมีความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกัน หรือจากความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (4-5) กล่าวได้ว่าค่าเลขยกกำลัง ( $b$  หรือ  $b'$ ) น่าจะเป็นค่าเดียวกัน แต่ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ ( $a$  หรือ  $a'$ ) แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาในหัวข้อที่ 4.3 พบว่าการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน ในแต่ละกรณีศึกษามีเลขยกกำลัง ( $b$  หรือ  $b'$ ) ที่ใกล้เคียงกัน และค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ ( $a$  หรือ  $a'$ ) แตกต่างกัน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ ( $a$  หรือ  $a'$ ) แตกต่างกัน ก็คือการยกตัวขึ้นหรือลงของชุดข้อมูล ส่วนเลขยกกำลังที่มีค่าใกล้เคียงกันนั้นแสดงถึงการเปลี่ยนแปลง

ของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของแต่ละกรณีศึกษานั้นขนานกันตามค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ )

อย่างไรก็ตามความแตกต่างของค่าเลขยกกำลัง (b หรือ b') ที่ไม่เท่ากัน น่าจะมีสาเหตุมาจากความผันผวนของข้อมูลที่มีการเก็บตัวอย่างเพียงครั้งเดียว จำนวนข้อมูลที่น้อย เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเวลา รวมถึงในขั้นตอนการทดลองที่ไม่สามารถปรับเงื่อนไขในการทดลองได้อย่างสมบูรณ์ ถ้าหากมีการเก็บข้อมูลหลายๆ ครั้ง หรือการเพิ่มจำนวนของข้อมูลให้มากขึ้น น่าจะลดความผันผวนของข้อมูลได้

ดังนั้น การวิเคราะห์จึงอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของแต่ละกรณีศึกษากับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) มีลักษณะของความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าเลขยกกำลัง (b) และ (b') เป็นค่าเดียวกันที่ได้จากการหาค่าตัวแทนจากข้อมูลของทุกกรณีศึกษาของการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) โดยมีค่าเลขยกกำลัง (b) เท่ากับ 0.695 และ ค่าเลขยกกำลัง (b') เท่ากับ 0.726 นำมาใช้ประกอบพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) โดยนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) กับค่าความชันคลื่นของแต่ละกรณีศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4-23 และ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) กับค่าความชันคลื่นของแต่ละกรณีศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4-24 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก จ)

ซึ่งจากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงสมการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และค่าการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ที่เปลี่ยนไปตามช่องว่างระหว่างแถว (B/D) มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4-5) และสมการที่ (4-6) ตามลำดับ ได้แสดงค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ในตารางที่ 4-3 และ 4-4

ตารางที่ 4-3 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ (a) และค่าเลขยกกำลัง (b) ในสมการที่ (4-5) กรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน

ค่าสัมประสิทธิ์และค่าเลขยกกำลัง	ช่องว่างระหว่างแถว (B/D)				
	0	0.5	1	1.5	2
a	1.512	1.731	1.652	1.485	1.220
b	0.695	0.695	0.695	0.695	0.695

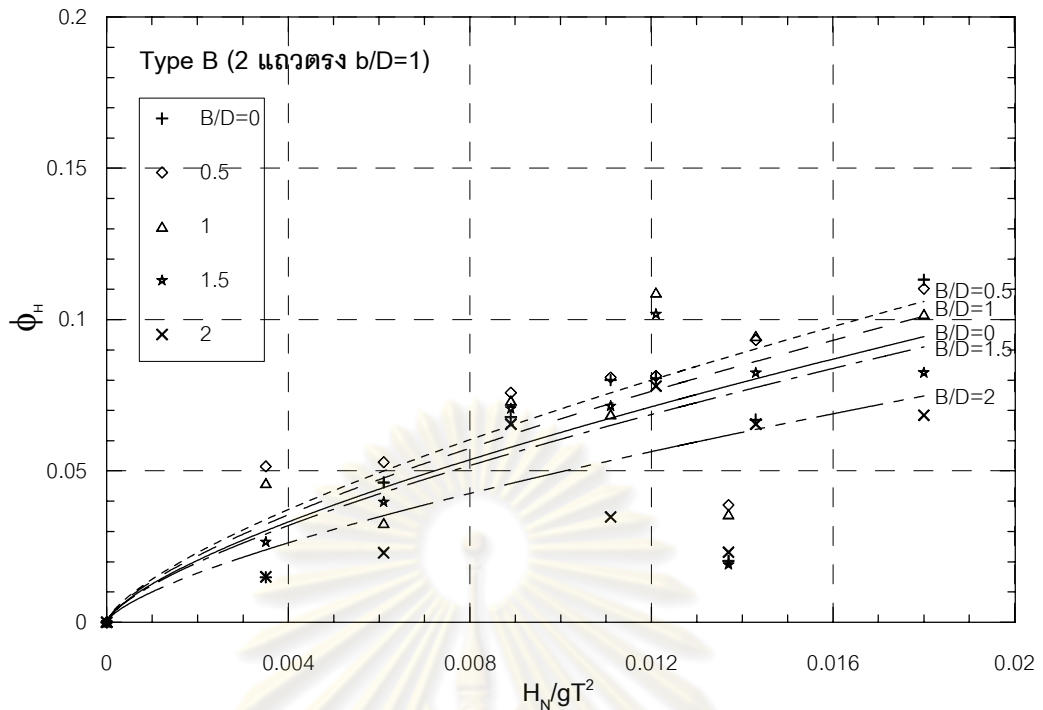
ตารางที่ 4-4 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ ( $a'$ ) และค่าเลขยกกำลัง ( $b'$ ) ในสมการที่ (4-6) กรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน

ค่าสัมประสิทธิ์และค่า เลขยกกำลัง	ช่องว่างระหว่างแถว (B/D)				
	0	0.5	1	1.5	2
$a'$	3.448	3.981	3.711	3.319	2.629
$b'$	0.726	0.726	0.726	0.726	0.726

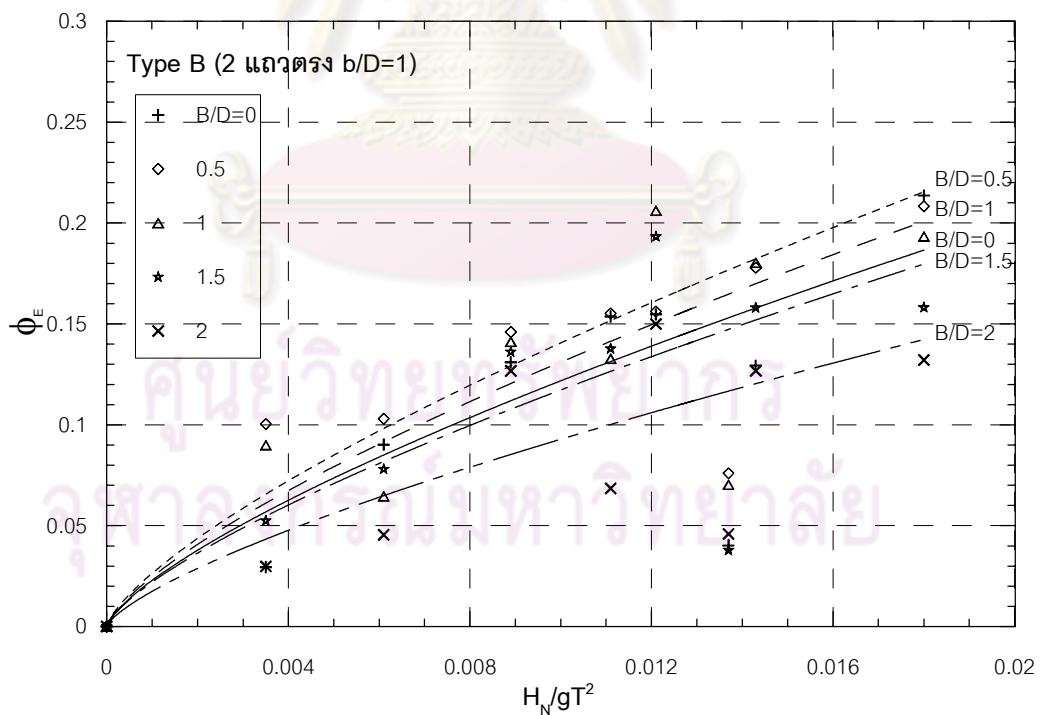
จากสมการกำหนดความสัมพันธ์ที่ได้ในแต่ละช่องว่างระหว่างแถว (B/D) โดยใช้ค่าเลขยกกำลังตัวแทนประมาณเท่ากันทุกช่องว่างระหว่างแถว จะเห็นถึงความแตกต่างเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ ( $a$ ) และ ( $a'$ ) นั้นแสดงถึงความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ ( $a$ ) และ ( $a'$ ) เกิดจากผลของการเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวของเขื่อนกันคลื่น

พิจารณาตารางที่ 4-3 และตารางที่ 4-4 แสดงให้เห็นว่า ที่ช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0.5 มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ ( $a$  และ  $a'$ ) มากที่สุด แสดงว่าการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ช่องว่างระหว่างแถวดังกล่าว สามารถลดความสูงและพลังงานคลื่นได้มากที่สุด และเมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นลดลง โดยค่าการลดลงของความสูงคลื่นลดลงจากกรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0.5 ประมาณ 4.6, 14.2, 30 เปอร์เซ็นต์ และการสลายพลังงานคลื่นลดลงประมาณ 6.7, 14.7, 34 เปอร์เซ็นต์ เมื่อช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 1, 1.5 และ 2 ตามลำดับ รวมถึงกรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 ค่าการลดลงของความสูงคลื่น และการสลายพลังงานคลื่นลดลงจากกรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 1.5 ประมาณ 12.6 และ 13.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ค่าการลดลงของความสูงคลื่นดังรูปที่ 4-23 และการสลายพลังงานคลื่นดังรูปที่ 4-24 แสดงให้เห็นว่า ค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) เพิ่มขึ้นเมื่อค่าความชันคลื่นเพิ่มขึ้น และพิจารณาถึงผลของช่องว่างระหว่างแถว จะเห็นได้ว่า เส้นกราฟของกรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0.5 อยู่เหนือเส้นกรณี (B/D) เท่ากับ 0 แสดงว่า เมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นจากกรณี (B/D) เท่ากับ 0 เป็น 0.5 การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นเส้นกราฟแต่ละเส้นลดลงตามช่องว่างระหว่างแถวที่เพิ่มขึ้น แสดงว่า เมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นลดลง



รูปที่ 4-23 ความสัมพันธ์ของค่า  $\phi_H$  กับ ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยกกำลังคงที่ ( $b$  เท่ากับ 0.695) รวมทุกช่องว่างระหว่างแถว กรณี 2 แถวตรง



รูปที่ 4-24 ความสัมพันธ์ของค่า  $\phi_E$  กับ ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยกกำลังคงที่ ( $b$  เท่ากับ 0.726) รวมทุกช่องว่างระหว่างแถว กรณี 2 แถวตรง



#### 4.5.2 การพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมกรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา

จากหัวข้อที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา ในแต่ละกรณีศึกษา มีค่าเลขยกกำลัง (b หรือ b') ใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ (a หรือ a') แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้นการวิเคราะห์จึงอยู่บนสมมติฐานเช่นเดียวกับการจัดเรียงแบบแถวตรงกัน ที่ว่า ความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) แต่ละกรณีศึกษากับค่าความชันคลื่นไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าเลขยกกำลัง (b) ที่เป็นตัวแทนของชุดข้อมูลกรณี 2 แถวสลับฟันปลาเท่ากับ 0.593 และ ค่าเลขยกกำลัง (b') ตัวแทนเท่ากับ 0.603 นำมาใช้ประกอบพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) โดยนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) กับค่าความชันคลื่นของแต่ละกรณีศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4-25 และ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) กับค่าความชันคลื่นของแต่ละกรณีศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4-26 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก จ)

ซึ่งจากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงสมการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และค่าการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะห่างระหว่างแถว (B/D) มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4-5) และสมการที่ (4-6) ตามลำดับ ได้แสดงค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ในตารางที่ 4-5 และ 4-6

ตารางที่ 4-5 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ (a) และค่าเลขยกกำลัง (b) ในสมการ (4-5) กรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา

ค่าสัมประสิทธิ์และ ค่าเลขยกกำลัง	ช่องว่างระหว่างแถว (B/D)				
	0	0.5	1	1.5	2
a	1.212	1.051	0.961	0.906	0.853
b	0.593	0.593	0.593	0.593	0.593

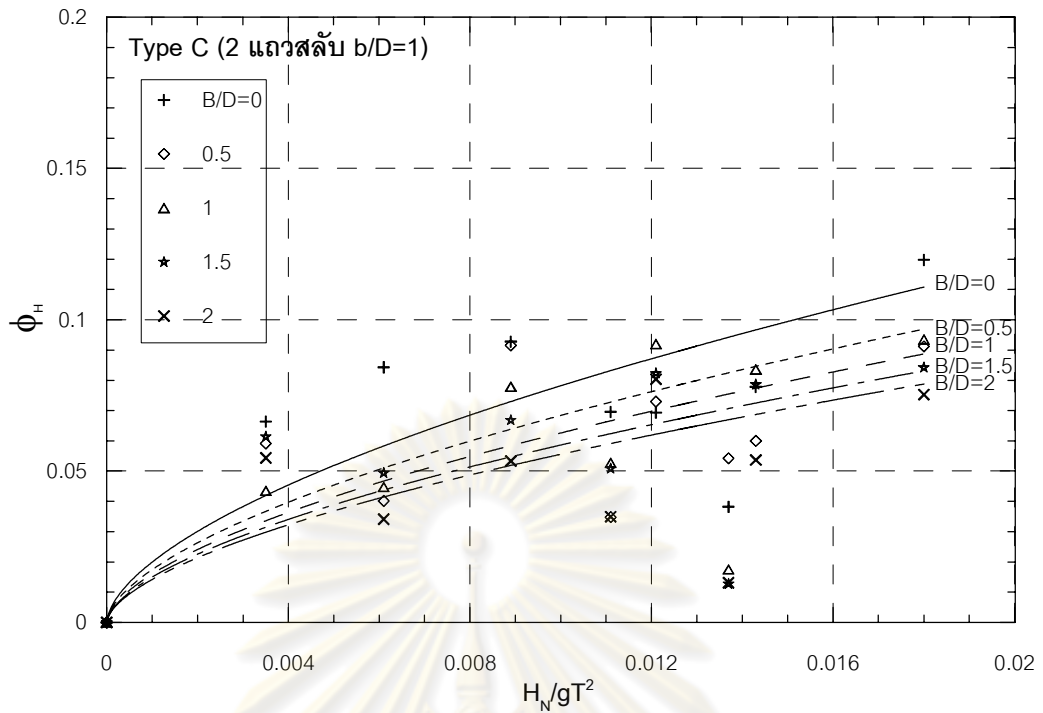
ตารางที่ 4-6 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ ( $a'$ ) และค่าเลขยกกำลัง ( $b'$ ) ในสมการ (4-6) กรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา

ค่าสัมประสิทธิ์และ ค่าเลขยกกำลัง	ช่องว่างระหว่างแถว (B/D)				
	0	0.5	1	1.5	2
$a'$	2.421	2.096	1.925	1.798	1.696
$b'$	0.603	0.603	0.603	0.603	0.603

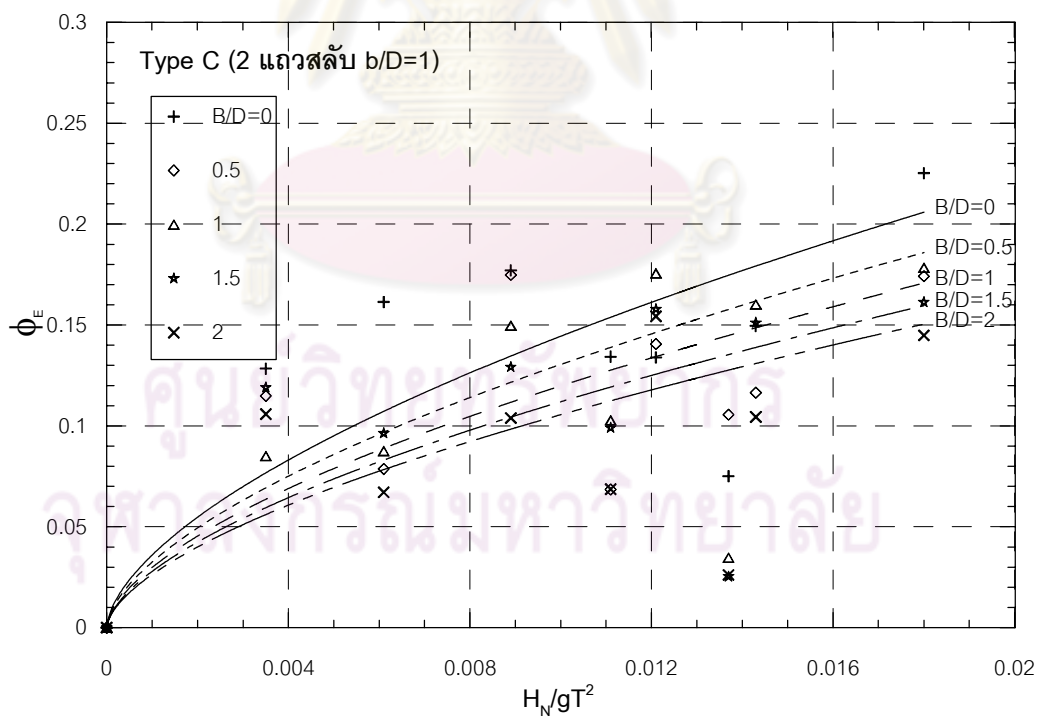
จากสมการกำหนดความสัมพันธ์ที่ได้ในแต่ละช่องว่างระหว่างแถว (B/D) โดยใช้ค่าเลขยกกำลังเฉลี่ยประมาณเท่ากันทุกระยะห่างระหว่างแถว จะเห็นถึงความแตกต่างเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ ( $a'$ ) นั้นแสดงว่าความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ ( $a'$ ) เกิดจากผลของการเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวที่เปลี่ยนแปลง

จากตารางที่ 4-5 และ 4-6 เห็นได้ว่า กรณีการจัดเรียงที่มีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ ( $a'$ ) และ ( $a'$ ) มากที่สุด แสดงถึงการจัดเรียงที่ช่องว่างระหว่างแถวดังกล่าว ลดความสูงคลื่นและสลายพลังงานคลื่นได้มากที่สุด และการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นลดลงในอัตราที่ลดลงเมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้น โดยค่าการลดลงของความสูงคลื่นลดลงจากกรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 ประมาณ 13.3, 20.7, 25.2, 29.6 เปอร์เซ็นต์ และการสลายพลังงานคลื่นลดลงประมาณ 13.4, 21.5, 25.7, 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระยะห่างระหว่าง (B/D) เท่ากับ 0.5, 1, 1.5 และ 2 ตามลำดับ

ค่าการลดลงของคลื่น ดังรูปที่ 4-25 และการสลายพลังงานคลื่น ดังรูปที่ 4-26 แสดงให้เห็นว่าค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) เพิ่มขึ้น เมื่อความถี่คลื่นเพิ่มขึ้น และพิจารณาถึงผลของช่องว่างระหว่างแถว จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของกรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 อยู่เหนือเส้นอื่นๆ แสดงถึงกรณีดังกล่าว ลดความสูงคลื่นและสลายพลังงานคลื่นได้มากที่สุด ส่วนเส้นกราฟอื่นๆ อยู่ต่ำกว่าโดยแต่ละเส้นลดระดับลงมาเมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นน้อยลง



รูปที่ 4-25 ความสัมพันธ์ของค่า ( $\Phi_H$ ) กับ ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยกกำลังคงที่ (b เท่ากับ 0.593) รวมทุกช่องว่างระหว่างแถว กรณี 2 แฉกสลั



รูปที่ 4-26 ความสัมพันธ์ของค่า ( $\Phi_E$ ) กับ ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยกกำลังคงที่ (b เท่ากับ 0.603) รวมทุกช่องว่างระหว่างแถว กรณี 2 แฉกสลั

#### 4.6 การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลา

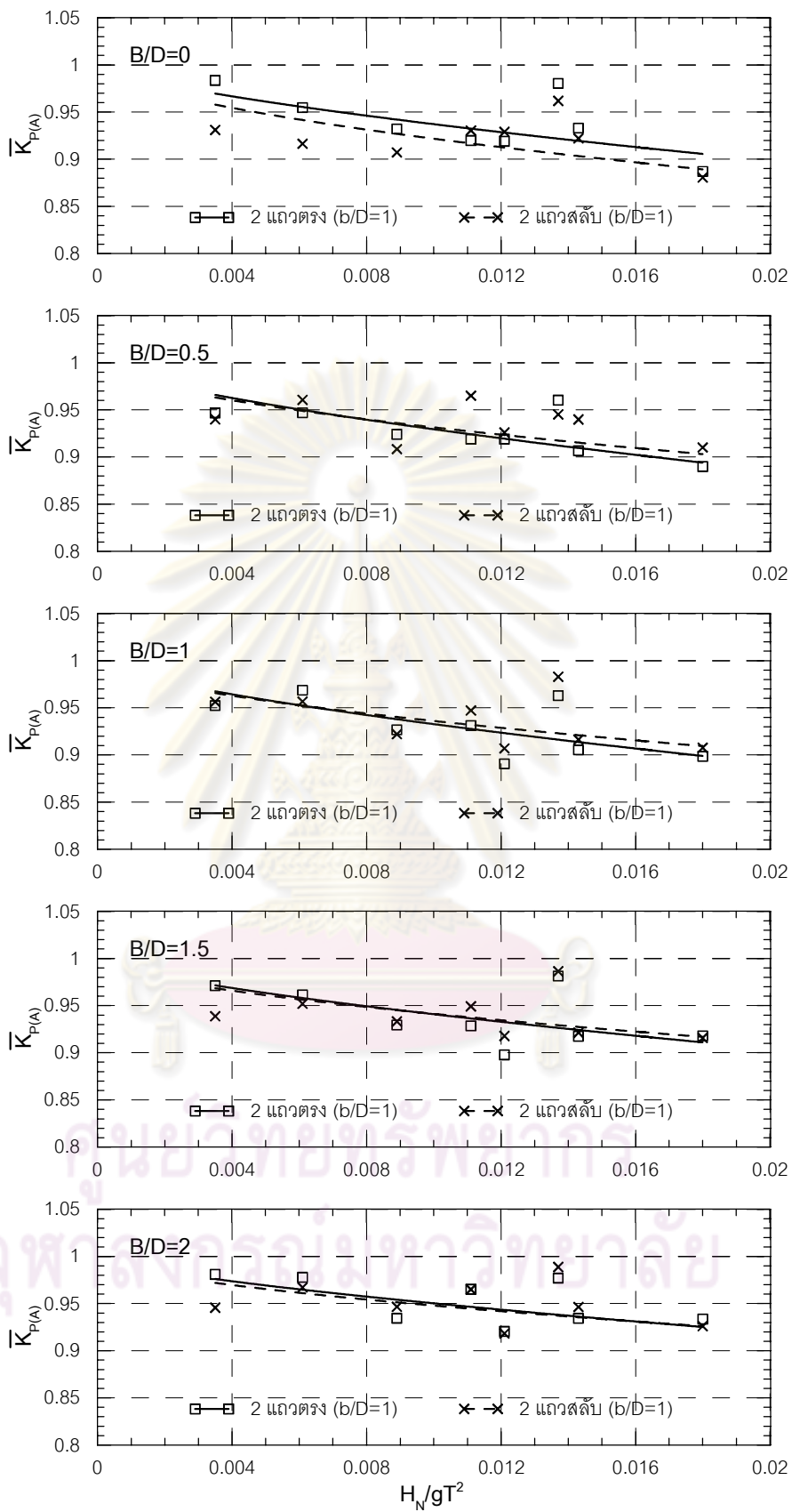
ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบแถวตรงกัน (rectangle) กับการจัดเรียงแบบสลับฟันปลา (staggering) ของกรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถว โดยการจัดเรียงทั้งแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลาได้เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B/D) 5 ค่า ได้แก่ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาการจัดเรียงทั้งแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลาที่มีช่องว่างระหว่างแถวเท่ากัน จะพบว่า การจัดเรียงทั้ง 2 แบบมีความหนาแน่นของเสาเข็มต่อพื้นที่ของเขื่อนกันคลื่นเท่ากัน

การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลาในแต่ละช่องว่างระหว่างแถว ได้พิจารณาจากค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ดังแสดงรูปที่ 4-27 ซึ่งในการวิเคราะห์จะแยกวิเคราะห์ในแต่ละช่องว่างระหว่างแถวดังต่อไปนี้

1) กรณีระยะห่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 จากรูปที่ 4-27 (B/D=0) แสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงแบบแถวสลับมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) น้อยกว่าการจัดเรียงแบบแถวตรง โดยในแต่ละความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) มีลักษณะของการลดลงที่ใกล้เคียงกัน ดังจะเห็นได้จากเส้นกราฟของการจัดเรียงทั้ง 2 รูปแบบค่อนข้างขนานกัน ซึ่งการจัดเรียงแบบแถวตรงมีค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  เฉลี่ยประมาณ 0.935 และแบบแถวสลับมีค่าเฉลี่ย 0.92 กล่าวได้ว่า กรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 การจัดเรียงแบบสลับฟันปลาลดความสูงคลื่นได้มากกว่าแบบแถวตรงกัน โดยลดลงมากกว่าประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์

2) กรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0.5 จากรูปที่ 4-27 (B/D=1.5) แสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงแบบแถวตรงมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) น้อยกว่าการจัดเรียงแบบแถวสลับเล็กน้อยในกรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) มาก ที่ความชันคลื่นเท่ากับ 0.0180 แต่กรณีที่ความชันคลื่นน้อยค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  ของการจัดเรียงทั้ง 2 รูปแบบไม่มีความแตกต่าง ใดๆก็ตามความแตกต่างที่เกิดขึ้นน้อยจนกล่าวได้ว่าไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งการจัดเรียงแบบแถวตรงมีค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  เฉลี่ยประมาณ 0.92 และแบบแถวสลับมีค่าเฉลี่ย 0.93

3) กรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 1 จากรูปที่ 4-27 (B/D=1) แสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงแบบแถวตรงมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) น้อยกว่าการจัดเรียงแบบแถวสลับเล็กน้อยในกรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) มาก ที่ความชันคลื่นเท่ากับ 0.0180 แต่กรณีที่ความชันคลื่นน้อยค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  ของการจัดเรียงทั้ง 2 รูปแบบไม่มีความแตกต่าง ใดๆก็ตามความแตกต่างที่เกิดขึ้นน้อยจนกล่าวได้ว่าไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งการจัดเรียงแบบแถวตรงมีค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  เฉลี่ยประมาณ 0.93 และแบบแถวสลับมีค่าเฉลี่ย 0.935



รูปที่ 4-27 การเปรียบเทียบค่า ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกับแบบแถวสลับ

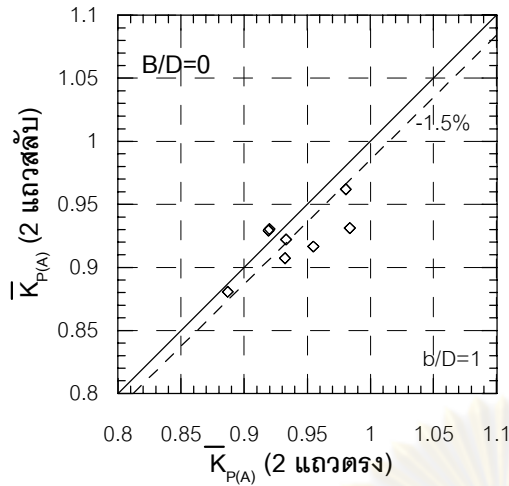


4) กรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 1.5 จากรูปที่ 4-27 (B/D=1.5) แสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงแบบแถวตรงและการจัดเรียงแบบแถวสลับมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ที่แตกต่างกันเล็กน้อยจนกล่าวได้ว่าไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งการจัดเรียงแบบแถวตรงมีค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  เฉลี่ยประมาณ 0.94 และแบบแถวสลับมีค่าเฉลี่ย 0.94

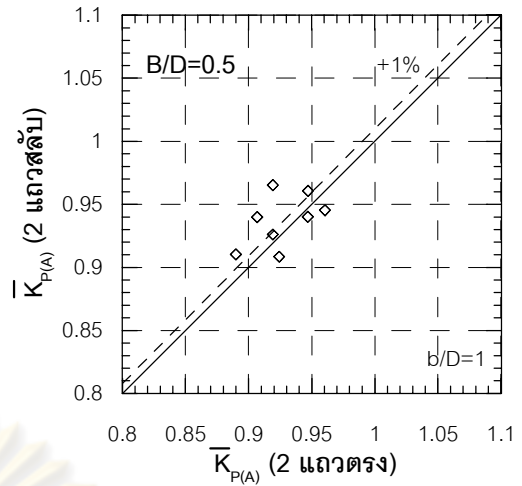
5) กรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 2 จากรูปที่ 4-27 (B/D=2) แสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงแบบแถวตรงและการจัดเรียงแบบแถวสลับมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ที่แตกต่างกันเล็กน้อยจนกล่าวได้ว่าไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งการจัดเรียงแบบแถวตรงมีค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  เฉลี่ยประมาณ 0.95 และแบบแถวสลับมีค่าเฉลี่ย 0.95

จากการเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงแบบแถวตรงกับแบบสลับดังได้กล่าวไว้ข้างต้น จะเห็นได้ว่า ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของการจัดเรียงแบบแถวสลับแตกต่างจากแบบแถวตรงในกรณีที่ช่องว่างระหว่างแถวน้อย โดยกรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 การจัดเรียงแบบแถวตรงมีค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  มากกว่าการจัดเรียงแบบแถวสลับ ประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือแบบแถวตรงลดคลื่นได้น้อยกว่าแบบสลับฟันปลา แต่กรณีที่ช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เพิ่มขึ้นเป็น 0.5 และ 1 การจัดเรียงแบบแถวตรงมีค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  น้อยกว่าการจัดเรียงแบบแถวสลับ ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ แบบแถวตรงลดคลื่นได้มากกว่าแบบแถวสลับเพียงเล็กน้อย และกรณีที่ช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เพิ่มขึ้นเป็น 1.5 และ 2 การจัดเรียงทั้ง 2 รูปแบบมีความแตกต่างกันน้อยจนไม่เห็นถึงความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

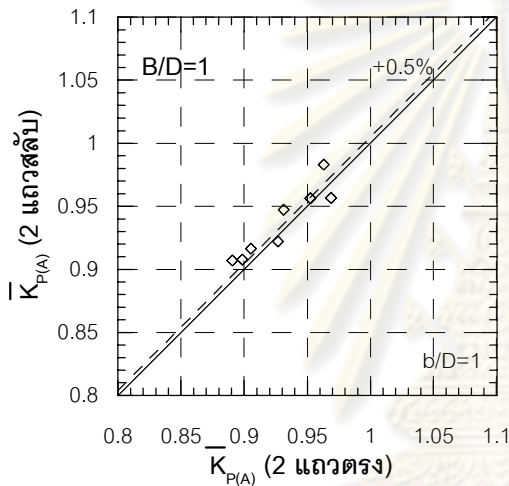
อย่างไรก็ตามความแตกต่างของการจัดเรียงทั้ง 2 แบบถือว่าน้อย ดังเห็นได้จากข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ใกล้เส้น 45 องศา (แบบแถวตรงกันเท่ากับแบบสลับฟันปลา) ดังแสดงในรูปที่ 4-28 จนสามารถกล่าวได้ว่าการจัดเรียงแบบสลับฟันปลาไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นแตกต่างจากแบบแถวตรงกันอย่างมีนัยสำคัญ



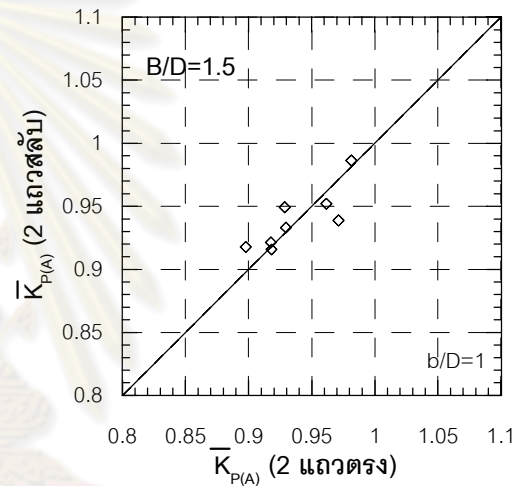
ก) ช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0



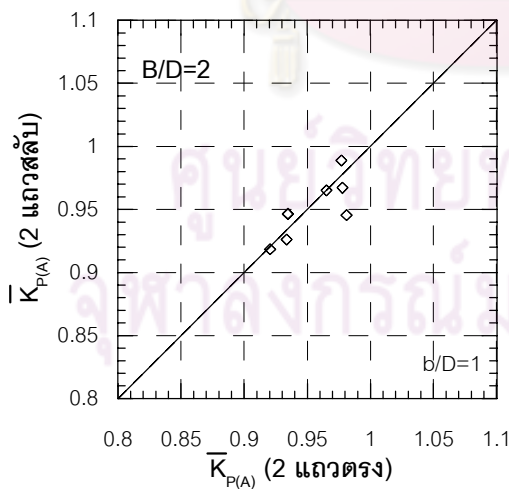
ข) ช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0.5



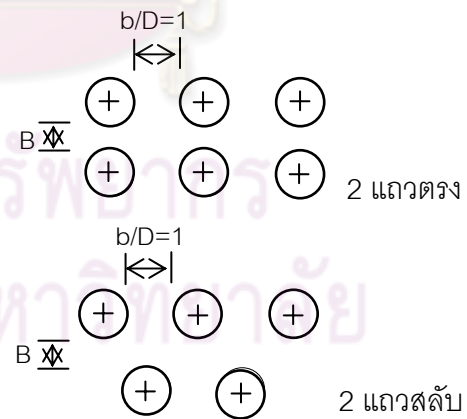
ค) ช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 1



ง) ช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 1.5



จ) ช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 2



รูปที่ 4-28 ความแตกต่างของการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงและแบบ 2 แถวสลับ

#### 4.7 การประมาณค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น

การคาดคะเนค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) โดยประมาณ สามารถพิจารณาจากตัวแปรคลื่นและรูปแบบของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น ซึ่งการทราบค่าความสูงคลื่นและพลังงานคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง หรือพลังงานของคลื่นที่เข้าสู่ชายฝั่งได้

ในกรณีของการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันและแบบสลับฟันปลาที่มีช่องว่างระหว่างต้นเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B/D) ตั้งแต่ 0 ถึง 2 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจัดเรียงเกิดจากช่องว่างระหว่างแถวที่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการประมาณค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) ในกรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถว จะขึ้นอยู่กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) และช่องว่างระหว่างแถว (B/D)

จากการวิเคราะห์โดยวิธีกราฟ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ในกรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถวทั้งแบบแถวตรงกันและสลับฟันปลา ที่สามารถนำมาสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ ดังนั้นจึงได้นำวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติมาใช้ในหาสมการความสัมพันธ์ โดยการวิเคราะห์เชิงเส้นโค้งพหุคูณ (multiple non-linear regression) อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติจะให้สมการที่สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้นจริงจำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ก่อน เนื่องจากตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์เชิงเส้นโค้งพหุคูณต้องปรับค่าให้มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear regression) จากความสัมพันธ์โดยวิธีกราฟสามารถกำหนดตัวแปรต่างๆ ให้อยู่ในรูปลอการิทึม

จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนในกรณีของการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา สามารถกำหนดเป็นสมการแสดงค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) ได้ดังสมการที่ (4-11) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) ดังสมการที่ (4-12)

- การลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) กรณี 2 แถวสลับ

$$\phi_H = 0.74 \left(1 + \frac{B}{D}\right)^{-0.31} \left(\frac{H_N}{gT^2}\right)^{0.492} \quad \dots\dots\dots (4-11)$$

- การสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) กรณี 2 แถวสลับ

$$\phi_E = 1.318 \left(1 + \frac{B}{D}\right)^{-0.299} \left(\frac{H_N}{gT^2}\right)^{0.476} \quad \dots\dots\dots (4-12)$$

จากสมการของการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา จะเห็นได้ว่าค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) มีความสัมพันธ์กับความชันคลื่นและช่องว่างระหว่างแถว โดยมีการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นที่เพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น และความสัมพันธ์กับช่องว่างระหว่างแถว พบว่า การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นมีแนวโน้มลดลงในอัตราที่ลดลงเมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้น

ส่วนกรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน เนื่องจากผลของช่องว่างระหว่างแถวมีการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ 2 ลักษณะคือ ค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) เพิ่มขึ้น ในช่วงของช่องว่างระหว่างแถว (B/D) ตั้งแต่ 0 ถึง 0.5 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อช่องว่างระหว่างแถว (B/D) มากกว่า 0.5 ดังนั้น สามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) ในช่วงของช่องว่างระหว่างแถว (B/D) ตั้งแต่ 0 ถึง 0.5 ดังสมการที่ (4-13) และกรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) มากกว่า 0.5 ได้ดังสมการที่ (4-14) ส่วนการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) แสดงดังสมการที่ (4-15) และ (4-16) ตามลำดับ

- การลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) กรณี 2 แถวตรง

$$\phi_H = 2.415 \left(1 + \frac{B}{D}\right)^{0.626} \left(\frac{H_N}{gT^2}\right)^{0.799} ; \text{กรณี } 1 \leq B/D < 1.5 \quad \dots\dots\dots (4-13)$$

$$\phi_H = 3.428 \left(1 + \frac{B}{D}\right)^{-0.748} \left(\frac{H_N}{gT^2}\right)^{0.737} ; \text{กรณี } B/D \geq 1.5 \quad \dots\dots\dots (4-14)$$

- การสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) กรณี 2 แถวตรง

$$\phi_E = 4.207 \left(1 + \frac{B}{D}\right)^{0.613} \left(\frac{H_N}{gT^2}\right)^{0.776} ; \text{กรณี } 1 \leq B/D < 1.5 \quad \dots\dots\dots (4-15)$$

$$\phi_E = 5.943 \left(1 + \frac{B}{D}\right)^{-0.728} \left(\frac{H_N}{gT^2}\right)^{0.717} ; \text{กรณี } B/D \geq 1.5 \quad \dots\dots\dots (4-16)$$

จากสมการความสัมพันธ์ในกรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน แสดงให้เห็นว่า การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น และความสัมพันธ์กับช่องว่างระหว่างแถว พบว่า การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นเพิ่มขึ้นเมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นจาก (B/D) เท่ากับ 0 เป็น 0.5 แต่เมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นมีแนวโน้มลดลง

เมื่อนำค่าจากสมการการประมาณค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) ทั้งในกรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับและแบบ 2 แถวตรงไปเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลอง พบว่าค่าอยู่ใกล้เส้น 45 องศา แสดงถึงค่าจากการคำนวณสอดคล้องกับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4-29 ถึง 4-32

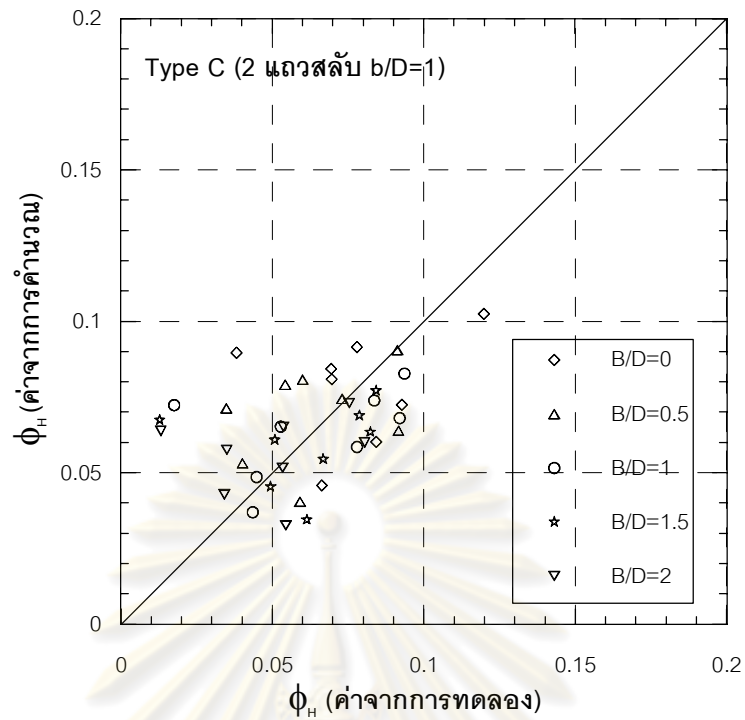
#### 4.8 การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับแบบ 1 แถว

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถวกับการจัดเรียงแบบ 1 แถว ซึ่งการจัดเรียงแบบ 2 แถวและแบบ 1 แถวนั้นมีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเท่ากัน วัตถุประสงค์ของการเปรียบเทียบเพื่อศึกษาถึง ผลของจำนวนแถว โดยการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถวมีการจัดเรียงแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลา ที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มในแถวเดียวกันเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม ( $b/D$  เท่ากับ 1) และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) 5 ค่า ได้แก่ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 ตามลำดับ ส่วนการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 1 แถว มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็มเหมือนกับการจัดเรียงแบบ 2 แถว

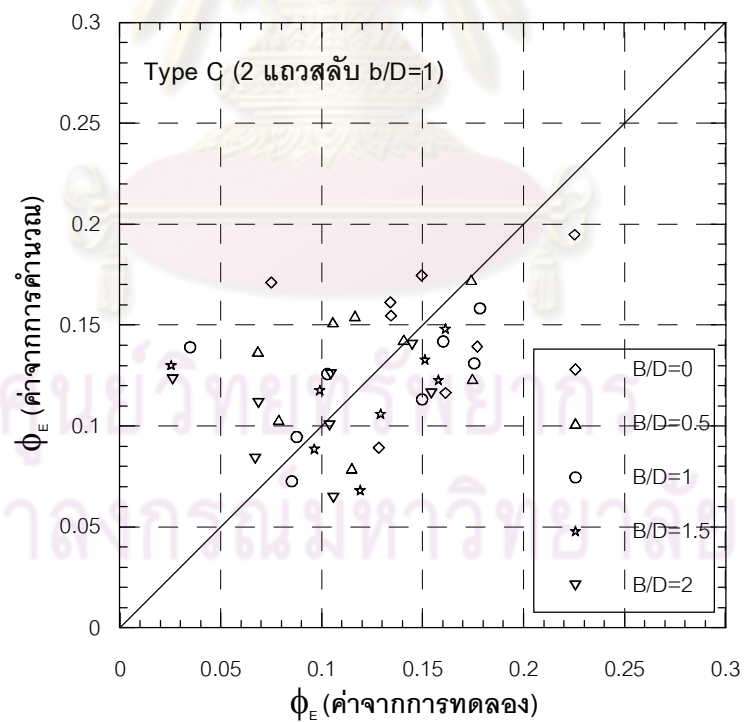
โดยการวิเคราะห์ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันกับแบบ 1 แถว และการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลากับแบบ 1 แถว ซึ่งในการเปรียบเทียบได้พิจารณาจากค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

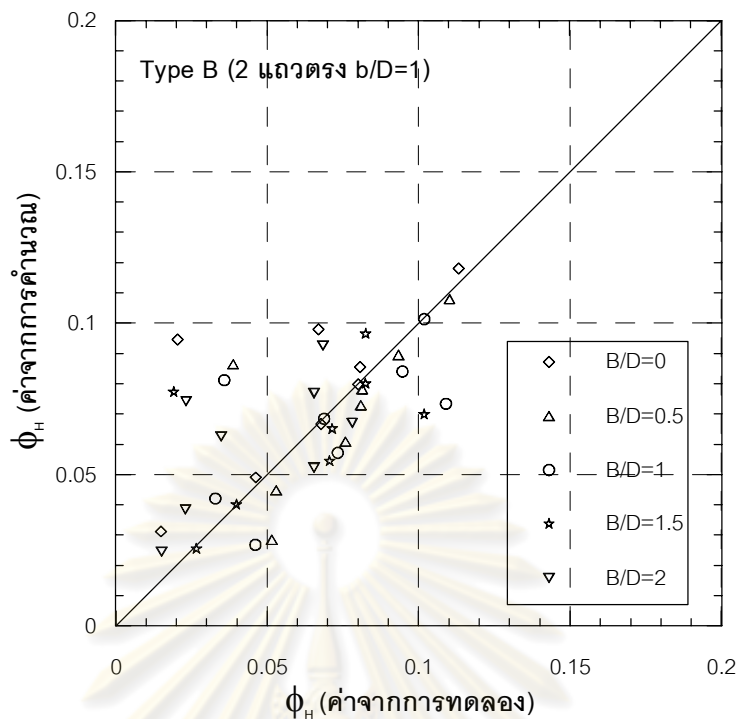




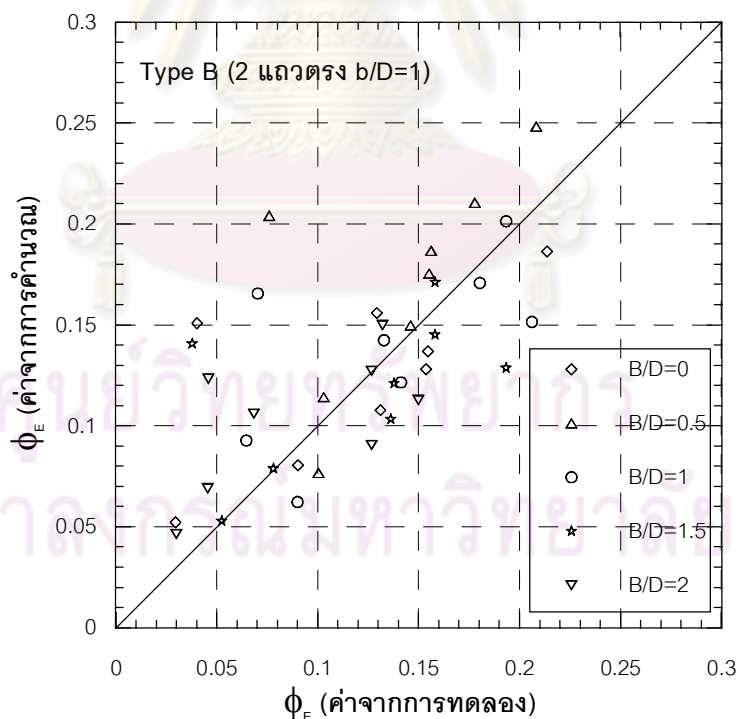
รูปที่ 4-29 เปรียบเทียบค่า  $\phi_H$  จากการคำนวณสมการที่ (4-11) กับค่าจากการทดลอง  
กรณี 2 แถวสลับ



รูปที่ 4-30 เปรียบเทียบค่า  $\phi_E$  จากการคำนวณสมการที่ (4-12) กับค่าจากการทดลอง  
กรณี 2 แถวสลับ



รูปที่ 4-31 เปรียบเทียบค่า  $\phi_H$  จากการคำนวณสมการที่ (4-13) และ (4-14) กับค่าจากการทดลอง  
กรณี 2 แถวตรง



รูปที่ 4-32 เปรียบเทียบค่า  $\phi_E$  จากการคำนวณสมการที่ (4-15) และ (4-16) กับค่าจากการทดลอง  
กรณี 2 แถวตรง

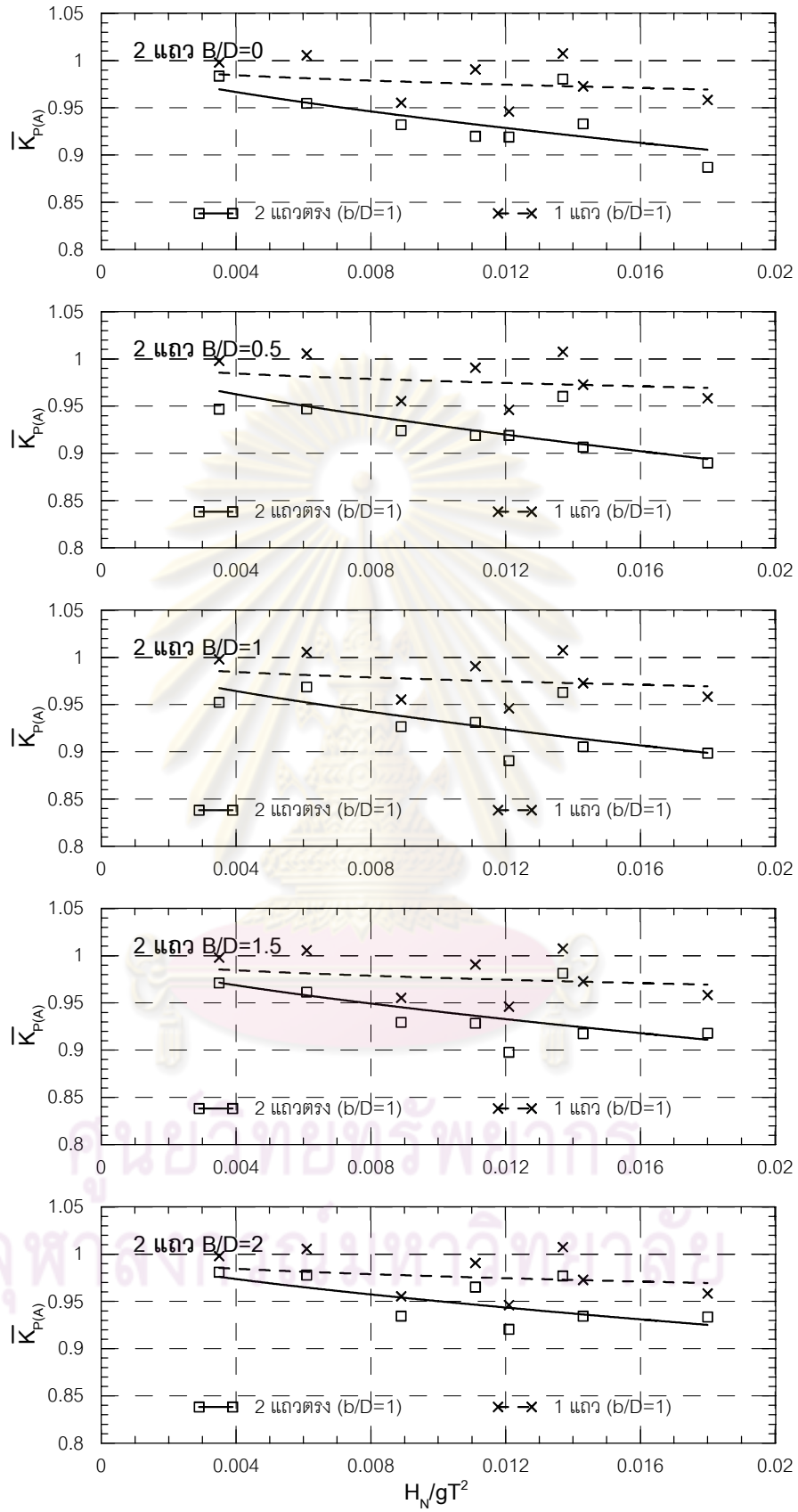
#### 4.8.1 การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันกับแบบ 1 แถว

ในการเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันกับแบบ 1 แถว เพื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน ที่มีการเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว 5 ค่า กับการจัดเรียงแบบ 1 แถว โดยการจัดเรียงแบบ 1 แถว มีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) อยู่ในช่วง 0.97 ถึง 0.99 ค่าเฉลี่ยจากทุกความชันคลื่นประมาณ 0.98 ผลการเปรียบเทียบได้แสดงดังรูปที่ 4-33

จากการเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันที่เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวกับการจัดเรียงแบบ 1 แถว จะเห็นได้ว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ลดลงจากการจัดเรียงแบบ 1 แถว ซึ่งการจัดเรียงแบบ 2 แถวมีค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  ลดลงจากการจัดเรียงแบบ 1 แถวเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เพิ่มขึ้น เฉลี่ยประมาณ 4.5, 6, 5, 4 และ 3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 ตามลำดับ โดยการจัดเรียงแบบ 2 แถวมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) เฉลี่ยจากทุกค่าความชันคลื่น ประมาณ 0.935, 0.92, 0.93, 0.94 และ 0.95 เมื่อช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 ตามลำดับ กล่าวได้ว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันลดความสูงคลื่นได้มากกว่าการจัดเรียงแบบ 1 แถว แต่ความแตกต่างในการลดความสูงคลื่นของการจัดเรียงทั้ง 2 แบบจะลดน้อยลง เมื่อช่องว่างระหว่างแถวของการจัดเรียงแบบ 2 แถวเพิ่มขึ้น

ผลจากการเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับ 1 แถว สามารถกล่าวได้ว่า การจัดเรียงที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มในแถวเดียวกันที่เท่ากัน การจัดเรียงที่มีจำนวนแถวเพิ่มขึ้นจาก 1 แถวเป็น 2 แถวตรงกัน ส่งผลต่อการลดลงของความสูงคลื่นมากกว่าการจัดเรียงแบบ 1 แถวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันที่มีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0.5 มีความสูงคลื่นลดลงจากแบบ 1 แถวมากที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-33 การเปรียบเทียบค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  ของจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกับแบบ 1 แถว

#### 4.8.2 การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา กับแบบ 1 แถว

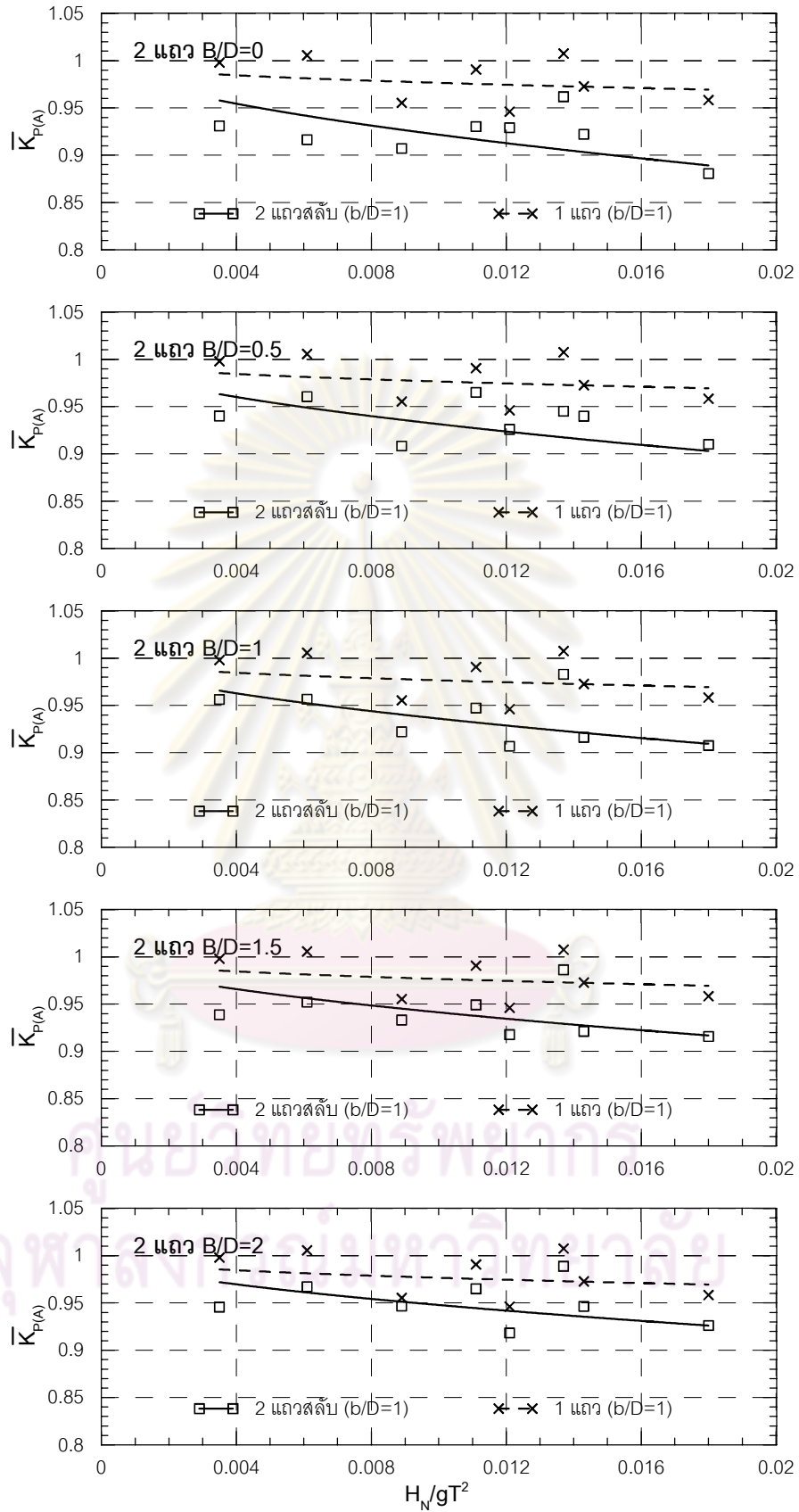
การเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา กับแบบ 1 แถว เพื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลาที่มีการเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว 5 ค่า กับการจัดเรียงแบบ 1 แถว โดยการจัดเรียงแบบ 1 แถว มีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) อยู่ในช่วง 0.97 ถึง 0.99 ค่าเฉลี่ยจากทุกความชันคลื่นประมาณ 0.98 ผลการเปรียบเทียบได้แสดง ดังรูปที่ 4-34

จากการเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา ที่เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวกับการจัดเรียงแบบ 1 แถว จะเห็นได้ว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา มีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ลดลงจากการจัดเรียงแบบ 1 แถว ซึ่งการจัดเรียงแบบ 2 แถวมีค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  ลดลงจากการจัดเรียงแบบ 1 แถวเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เพิ่มขึ้น เฉลี่ยประมาณ 6, 5, 4.5, 4 และ 3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 ตามลำดับ โดยการจัดเรียงแบบ 2 แถวมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) เฉลี่ยจากทุกค่าความชันคลื่น ประมาณ 0.92, 0.93, 0.935, 0.94 และ 0.95 เมื่อช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 ตามลำดับ กล่าวได้ว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลาลดความสูงคลื่นได้มากกว่าการจัดเรียงแบบ 1 แถว แต่ความแตกต่างในการลดความสูงคลื่นของการจัดเรียงทั้ง 2 แบบจะลดน้อยลง เมื่อช่องว่างระหว่างแถวของการจัดเรียงแบบ 2 แถวเพิ่มขึ้น

ผลจากการเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับ 1 แถว สามารถกล่าวได้ว่า การจัดเรียงที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มในแถวเดียวกันที่เท่ากัน การจัดเรียงที่มีจำนวนแถวเพิ่มขึ้นจาก 1 แถวเป็น 2 แถวสลับฟันปลา ส่งผลต่อการลดลงของความสูงคลื่นมากกว่าการจัดเรียงแบบ 1 แถว อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลาที่มีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 มีความสูงคลื่นลดลงจากแบบ 1 แถวมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4-34 การเปรียบเทียบค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  ของจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับกับแบบ 1 แถว

#### 4.9 การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับการจัดเรียงแบบ 3 แถว

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถวกับการจัดเรียงแบบ 3 แถว ซึ่งการจัดเรียงแบบ 2 แถวและแบบ 3 แถวใช้จำนวนเสาเข็มที่เท่ากัน โดยการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถวมีทั้งการจัดเรียงแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลา ที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มในแถวเดียวกันเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม ( $b/D$  เท่ากับ 1) และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) 5 ค่า ได้แก่ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 ตามลำดับ ส่วนการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 3 แถวได้จัดเรียงแบบสลับฟันปลาที่มีช่องว่างระหว่างต้นและช่องว่างระหว่างแถวเป็น 2 เท่าของขนาด ( $b/D$  และ  $B/D$  เท่ากับ 2)

สาเหตุในการเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถวกับการจัดเรียงแบบ 3 แถวที่มีรูปแบบการจัดเรียงดังกล่าวข้างต้น อันเนื่องมาจากต้องการเปรียบเทียบการจัดเรียงที่ใช้จำนวนเสาเข็มที่เท่ากัน อีกทั้งการจัดเรียงแบบแบบ 3 แถว ( $b/D$  และ  $B/D$  เท่ากับ 2) นั้น เป็นรูปแบบการจัดเรียงที่มีการศึกษาและก่อสร้างจริงในประเทศไทย แต่ใช้เสาสามเหลี่ยม (ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ, 2551)

โดยการวิเคราะห์จะแยกวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน กับแบบ 3 แถว และการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลากับแบบ 3 แถว ซึ่งในการเปรียบเทียบได้พิจารณาจากค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

##### 4.9.1 การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกับการจัดเรียงแบบ 3 แถว

ในการเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันกับแบบ 3 แถวเพื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน ที่มีการเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวกับการจัดเรียงแบบ 3 แถว โดยการจัดเรียงแบบ 3 แถวมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) อยู่ในช่วง 0.95 ถึง 0.98 ค่าเฉลี่ยประมาณ 0.96 ผลการเปรียบเทียบได้แสดงดังรูปที่ 4-35

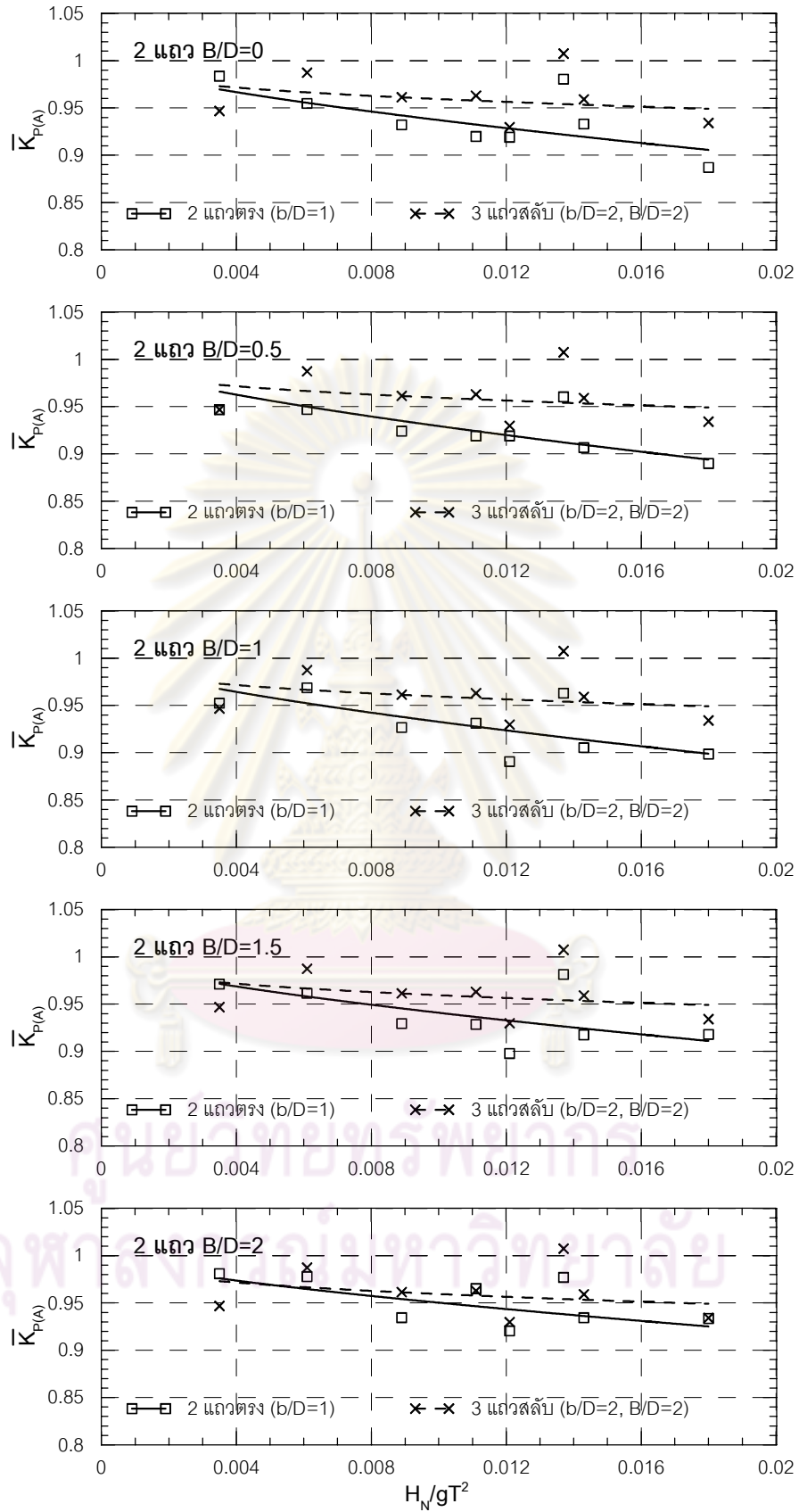
จากการเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันที่เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวกับการจัดเรียงแบบ 3 แถว จะเห็นได้ว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ลดลงจากการจัดเรียงแบบ 3 แถว โดยที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) น้อย การจัดเรียงทั้ง 2 แบบมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้นการจัดเรียงแบบ 2 แถวมีค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  ลดลงจากแบบ 3 แถวเพิ่มขึ้น ซึ่งมีลักษณะของการลดลงที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น เฉลี่ยประมาณ 2.5, 4, 3, 2 และ 1

เปอร์เซ็นต์ เมื่อระยะห่างระหว่างแถว (B/D) กรณีแบบ 2 แถว เท่ากับ 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 ตามลำดับ โดยการจัดเรียงแบบ 2 แถวมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) เฉลี่ยจากทุกค่าความชันคลื่น ประมาณ 0.935, 0.92, 0.93, 0.94 และ 0.95 เมื่อช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 ตามลำดับ กล่าวได้ว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันสามารถลดความสูงคลื่นได้มากกว่าการจัดเรียงแบบ 3 แถว แต่ความแตกต่างในการลดความสูงคลื่นของการจัดเรียงทั้ง 2 แบบจะลดน้อยลงเมื่อช่องว่างระหว่างแถวของการจัดเรียงแบบ 2 แถวเพิ่มขึ้น

ผลจากการเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับ 3 แถว สามารถกล่าวได้ว่า การจัดเรียงที่ใช้จำนวนเสาเข็มที่เท่ากัน การจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันส่งผลต่อการลดลงของความสูงคลื่นมากกว่าการจัดเรียงแบบ 3 แถว ซึ่งการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันที่มีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0.5 มีความสูงคลื่นลดลงจากแบบ 3 แถวมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการจัดเรียงทั้ง 2 แบบสามารถลดความสูงคลื่นได้เพียงเล็กน้อย จึงกล่าวได้ว่า การจัดเรียงทั้ง 2 แบบ สามารถลดความสูงคลื่นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-35 การเปรียบเทียบค่า ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกับแบบ 3 แถว

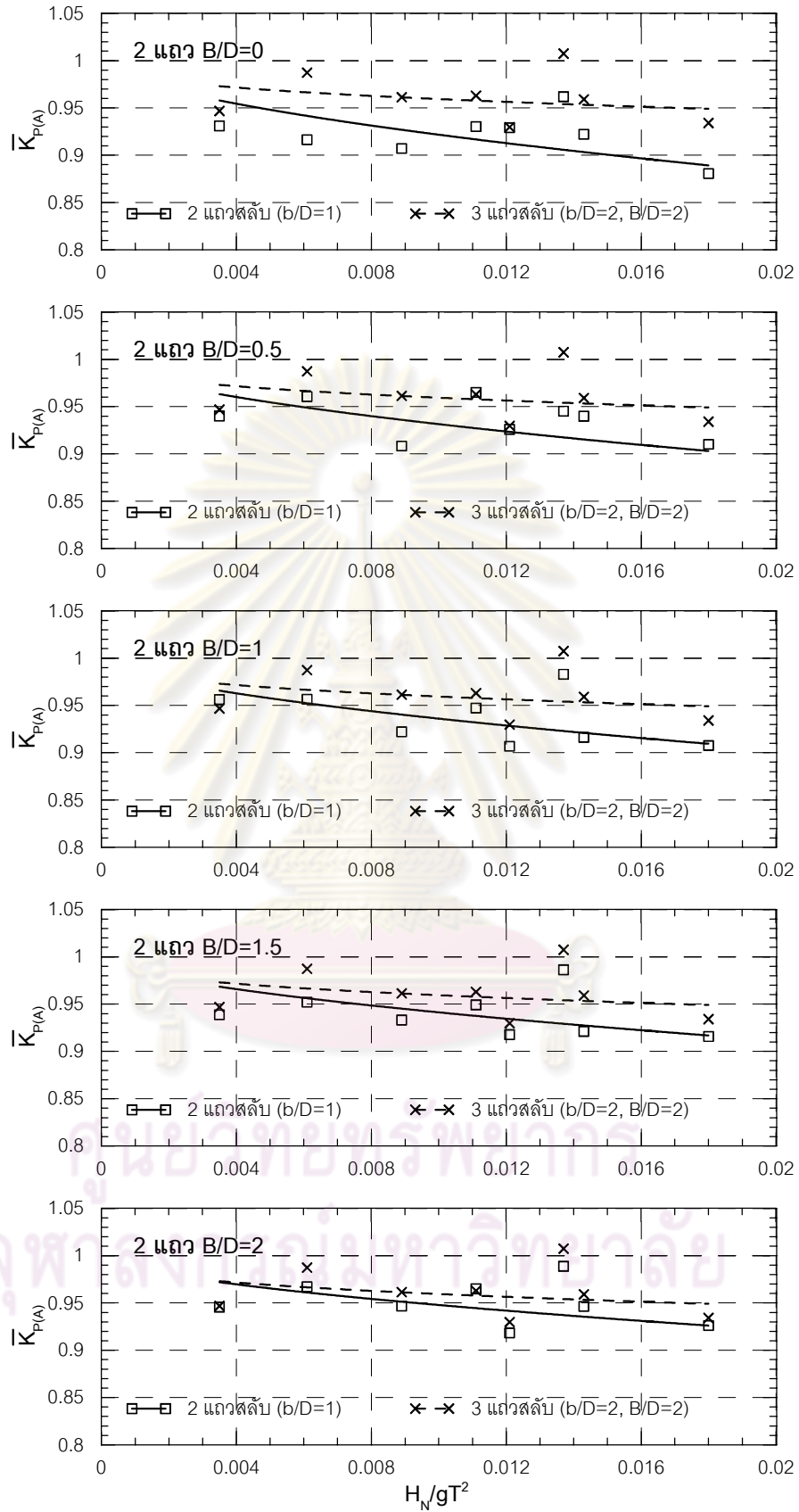
#### 4.9.2 การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลากับการจัดเรียงแบบ 3 แถว

ในการเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา กับแบบ 3 แถว เพื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา ที่มีการเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวกับการจัดเรียงแบบ 3 แถวเช่นเดียวกับการจัดเรียงแบบแถวตรงกัน โดยการ จัดเรียงแบบ 3 แถวมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) อยู่ในช่วง 0.95 ถึง 0.98 ค่าเฉลี่ยประมาณ 0.96 ผลการเปรียบเทียบได้แสดงดังรูปที่ 4-36

จากการเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลาที่เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวกับการจัดเรียงแบบ 3 แถว จะเห็นได้ว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลามีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ลดลงจากการจัดเรียงแบบ 3 แถว โดยที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) น้อย การจัดเรียงทั้ง 2 แบบมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้นการจัดเรียงแบบ 2 แถวมีค่า  $\bar{K}_{P(A)}$  ลดลงจากแบบ 3 แถวเพิ่มขึ้น ซึ่งมีลักษณะของการลดลงที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น เฉลี่ยประมาณ 4, 3, 2.5, 2 และ 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระยะห่างระหว่างแถว (B/D) กรณีแบบ 2 แถว เท่ากับ 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 ตามลำดับ โดยการจัดเรียงแบบ 2 แถวมีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) เฉลี่ยจากทุกค่าความชันคลื่น ประมาณ 0.935, 0.92, 0.93, 0.94 และ 0.95 เมื่อช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 ตามลำดับ กล่าวได้ว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลาสามารถลดความสูงคลื่นได้มากกว่าการจัดเรียงแบบ 3 แถว แต่ความแตกต่างในการลดความสูงคลื่นของการจัดเรียงทั้ง 2 แบบจะลดน้อยลงเมื่อช่องว่างระหว่างแถวของการจัดเรียงแบบ 2 แถวเพิ่มขึ้น

ผลจากการเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับ 3 แถว สามารถกล่าวได้ว่า การจัดเรียงที่ใช้จำนวนเสาเข็มที่เท่ากัน การจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลาส่งผลต่อการลดลงของความสูงคลื่นมากกว่าการจัดเรียงแบบ 3 แถว ซึ่งการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันที่มีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 มีความสูงคลื่นลดลงจากแบบ 3 แถวมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการจัดเรียงทั้ง 2 แบบ สามารถลดความสูงคลื่นได้เพียงเล็กน้อย จึงกล่าวได้ว่า การจัดเรียงทั้ง 2 แบบ สามารถลดความสูงคลื่นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ





รูปที่ 4-36 การเปรียบเทียบค่า ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา กับแบบ 3 แถว

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นบริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่น รวมถึงผลของขนาดคลื่น โดยอาศัยแบบจำลองกายภาพแอ่งคลื่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความกว้าง 10 ม. ยาว 20 ม. ลึก 0.70 ม. ที่ตั้งอยู่ ณ ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการทดลองได้จัดเรียงเขื่อนกันคลื่น 4 รูปแบบ แบ่งเป็น 12 กรณีศึกษา อันประกอบด้วย การจัดเรียงแบบ 3 แถวสลับฟันปลาที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มและช่องว่างระหว่างแถวเป็น 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม (รูปแบบ A) การจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็มและเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวตั้งแต่ 0 ถึง 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม (รูปแบบ B) การจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลาที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็มและเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวตั้งแต่ 0 ถึง 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม (รูปแบบ C) และการจัดเรียงแบบ 1 แถวที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม (รูปแบบ D) ทดลองร่วมกับคลื่น 8 ขนาด ค่าความชันคลื่นอยู่ในช่วง 0.0035 ถึง 0.0180 รวมการทดลองทั้งสิ้น 96 การทดลอง สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

##### 5.1.1 การเปลี่ยนแปลงบริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่น

เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มทำหน้าที่ลดความสูงคลื่นและสลายพลังงานคลื่นด้วยการสะท้อนและการสูญเสียพลังงานจากตัวเขื่อนกันคลื่น ส่งผลให้ความสูงคลื่นและพลังงานคลื่นบริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่นลดลง ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นจากผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น ทำโดยเปรียบเทียบความสูงคลื่นกรณีมีกับไม่มีเขื่อนกันคลื่น เรียกว่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) ซึ่งจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ( $K_{p(x,y)}$ ) บริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่น ซึ่งได้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงใน 2 ทิศทาง ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงกับระยะทางตามแนวตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_p$ ) และการเปลี่ยนแปลงกับระยะทางตามแนวขนานเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_p$ ) สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวขนานเชื่อมกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(XY)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากเชื่อมกันคลื่น ( $X/L_B$ ) พบว่า ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $\bar{K}_{P(XY)}$ ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางห่างจากเชื่อมกันคลื่นเพิ่มขึ้น โดยพบว่า ความสูงคลื่นลดลงมากที่สุด ในตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับเชื่อมกันคลื่น ในขอบเขตพื้นที่ที่มีระยะห่างจากเชื่อมกันคลื่น ( $X/L_B$ ) อยู่ในช่วง 0.25 ถึง 0.625 แต่หลังจากนั้นในตำแหน่งที่อยู่ห่างจากเชื่อมกันคลื่นระยะทาง ( $X/L_B$ ) มากกว่า 0.625 จะเห็นได้ว่า ความสูงของคลื่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $\bar{K}_{P(XY)}$ ) ใกล้เคียง 1 หรือบางตำแหน่งคลื่นสูงขึ้นจนค่ามากกว่า 1 อันเนื่องมาจาก ผลของเชื่อมกันคลื่นแบบเส้าเข็มทำให้คลื่นที่เคลื่อนตัวเข้ามาส่วนหนึ่งเกิดการสะท้อนกลับ และเกิดการสูญเสียพลังงานจากตัวเชื่อมกันคลื่นที่เกิดจากความเสียดทานจากผิวของเส้าเข็มและความปั่นป่วนของน้ำ ส่งผลให้ความสูงของคลื่นบริเวณหลังเชื่อมกันคลื่นลดลง โดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับเชื่อมกันคลื่น ความสูงคลื่นจะลดลงมากที่สุด เพราะเป็นพื้นที่กำบังของเชื่อมกันคลื่น หรือกล่าวได้ว่าเป็นพื้นที่อับคลื่น ซึ่งคลื่นจากด้านข้างสามารถกระจายเข้ามาได้น้อย แต่ในพื้นที่ที่ห่างจากเชื่อมกันคลื่นมากขึ้น มีการกระจายของคลื่นจากด้านข้างเพิ่มขึ้นทำให้ความสูงของคลื่นเพิ่มขึ้น จนถึงระยะหนึ่งที่สุดขอบเขตกำบังของเชื่อมกันคลื่นความสูงคลื่นจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับความสูงคลื่นกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น แต่ในบางตำแหน่งที่มีความสูงคลื่นเพิ่มขึ้นจนค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $\bar{K}_{P(XY)}$ ) มากกว่า 1 เกิดจากการเข้าปะทะกันของคลื่นที่กระจายเข้ามาจากด้านข้างทั้ง 2 ด้านของเชื่อมกันคลื่นร่วมกับคลื่นที่เคลื่อนตัวผ่านเชื่อมกันคลื่น ส่งผลให้เกิดการเสริมกันของคลื่น จึงทำให้ความสูงคลื่นในบางตำแหน่งเพิ่มขึ้น

2) การเปลี่ยนแปลงการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากเชื่อมกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(YX)}$ ) กับระยะทางตามแนวขนานเชื่อมกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) พบว่า ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $\bar{K}_{P(YX)}$ ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างจากกึ่งกลางของเชื่อมกันคลื่นเพิ่มขึ้น โดยพบว่า ความสูงคลื่นลดลงมากที่สุดบริเวณกึ่งกลางของเชื่อมกันคลื่นและความสูงคลื่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางห่างจากกึ่งกลางของเชื่อมกันคลื่น ( $Y/L_B$  เท่ากับ 0) ไปทางหัวของเชื่อมกันคลื่น ( $Y/L_B$  เท่ากับ 0.5) มากขึ้น อันเนื่องมาจากบริเวณตำแหน่งกึ่งกลางของเชื่อมกันคลื่นมีการกระจายของคลื่นจากด้านข้างเข้ามาน้อย จึงทำให้ความสูงคลื่นน้อยหรือมีการลดลงของความสูงคลื่นมากเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงคลื่นกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น ส่วนตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับหัวของเชื่อมกันคลื่นมีการกระจายของคลื่นจากด้านข้างเข้ามามากกว่าจึงทำให้ความสูงของคลื่นเพิ่มขึ้นหรือมีการลดความสูงคลื่นได้น้อยกว่าที่ตำแหน่งกึ่งกลางเชื่อมกันคลื่น อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $\bar{K}_{P(YX)}$ ) มีลักษณะขึ้น-ลง ซึ่งเกิดจากเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านเชื่อมกันคลื่นลักษณะของสันคลื่นหลังผ่านเชื่อมกันคลื่นจะไม่เท่ากันโดยตำแหน่งที่อยู่ตรง

กับเสาเข็มความสูงคลื่นจะน้อยกว่าตำแหน่งที่อยู่ตรงกับช่องว่าง และเมื่อระยะทางที่ห่างจากกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่นที่มากขึ้นจนเกินหัวของเขื่อนกันคลื่น ความสูงของคลื่นจะมีขนาดเท่ากับ ความสูงของคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น เนื่องจากบริเวณดังกล่าวจะไม่ได้รับอิทธิพลจากเขื่อนกันคลื่นในการกำบังคลื่น

3) เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของแต่ละรูปแบบการจัดเรียง ในแต่ละความชันคลื่นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของแต่ละรูปแบบการจัดเรียง

รูปแบบการจัดเรียง	ชื่อย่อ	อัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ )		
		ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
A	3 แถวสลับ	0.93	1.01	0.96
B	2 แถวตรง	0.88	0.99	0.94
C	2 แถวสลับ	0.88	0.99	0.94
D	1 แถว	0.96	1.01	0.98

จากตารางที่ 5-1 เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย พบว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวลดความสูงคลื่นได้มากที่สุด โดยการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันและสลับฟันปลาให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน และ การจัดเรียงแบบ 1 แถวลดความสูงคลื่นได้น้อยที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับแบบ 3 แถวที่ใช้จำนวนเสาเข็มเท่ากัน (38 ต้น) พบว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวลดความสูงคลื่นได้มากกว่าการจัดเรียงแบบ 3 แถวประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับแบบ 1 แถวที่จัดเรียงช่องว่างระหว่างต้นเท่ากัน ( $b/D$  เท่ากับ 1) พบว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวลดความสูงคลื่นได้มากกว่าการจัดเรียงแบบ 1 แถวประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์

### 5.1.2 ผลของความชันคลื่น ( $H_n/gT^2$ )

จากการพิจารณาถึงผลของความชันคลื่น ( $H_n/gT^2$ ) ที่มีต่อค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) โดยในการวิเคราะห์ที่ได้พิจารณาถึงความสัมพันธ์ของค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) กับความชันคลื่น ( $H_n/gT^2$ ) พบว่า การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นทั้ง 4 รูปแบบ (แบบ 3 สลับ แบบ 2 แถวตรง แบบ 2 แถวสลับ และแบบ 1 แถว) มี

ลักษณะความสัมพันธ์ของค่าการลดลงของความสูงคลื่น และการสลายพลังงานคลื่นกับค่าความชันคลื่นไปในทิศทางเดียวกัน โดยการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น หรือลักษณะของการเพิ่มขึ้นเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล กล่าวคือ ในกรณีที่ความชันคลื่นน้อย การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นจะแตกต่างกันมาก แม้ว่าความชันคลื่นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ในกรณีที่ความชันคลื่นมาก การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นจะแตกต่างกันน้อย แม้ว่าความชันคลื่นเพิ่มขึ้นมาก

การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความชันคลื่นส่งผลต่อความเร็วและความเร่งของอนุภาคน้ำภายใต้คลื่น (orbital velocity and acceleration) ซึ่งในทางวิศวกรรมชายฝั่ง ค่าความชันคลื่นนั้นแสดงถึงความรุนแรงหรือความแรงของคลื่น กล่าวคือความชันคลื่นน้อยคือ คลื่นที่มีความเร่งน้อยส่งผลให้ความเร็วของอนุภาคน้ำน้อย และเมื่อคลื่นมีความชันคลื่นมากขึ้นทำให้ความเร่งของคลื่นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเร็วของอนุภาคน้ำมีความเร็วเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึง เมื่อคลื่นที่มีความชันน้อยเคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่น ความเร็วของอนุภาคน้ำที่น้อยส่งผลการสูญเสียพลังงานจากตัวเขื่อนกันคลื่นส่วนใหญ่เกิดจากความเสียดทานจากผิวของเสาเข็ม ส่วนการสูญเสียจากความปั่นป่วนของน้ำนั้นเกิดขึ้นน้อย นอกจากนั้นความเร็วของอนุภาคน้ำที่น้อยเมื่อปะทะกับเขื่อนกันคลื่นเกิดการสะท้อนกลับน้อย ทำให้ที่ความชันคลื่นน้อยมีการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นน้อย แต่ความชันคลื่นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเร็วของอนุภาคน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเคลื่อนตัวปะทะเขื่อนกันคลื่น จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำอย่างกะทันหัน เกิดการสะท้อนคลื่นที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นความเร็วของอนุภาคน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อเคลื่อนตัวผ่านเสาเข็ม จะเกิดความปั่นป่วนของน้ำเพิ่มขึ้น และความเร็วของน้ำที่เพิ่มขึ้นนั้นยังส่งผลต่อแรงจุด (drag force) ที่เกิดจากเสาเข็มให้เพิ่มขึ้น เป็นเหตุให้ที่ความชันคลื่นมากมีการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นมาก

### 5.1.3 ผลของช่องว่างระหว่างแถว (B/D)

จากการวิเคราะห์ผลของช่องว่างระหว่างแถว (B/D) ที่มีต่อค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ในกรณีของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถว ทั้งแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลา ที่มีการเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวตั้งแต่ 0 ถึง 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม โดยในการวิเคราะห์นี้ได้พิจารณาถึงความสัมพันธ์ของค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\Phi_H$ ) และการ



สลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) กับช่องว่างระหว่างแถว (B/D) ซึ่งได้สรุปผลการศึกษากรณีแบบ 2 แถว ตรงกัน ดังแสดงในตารางที่ 5-2 และกรณีแบบ 2 แถวสลับฟันปลา ดังแสดงในตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-2 ค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) เฉลี่ยของการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน

พารามิเตอร์	ช่องว่างระหว่างแถว (B/D)				
	0	0.5	1	1.5	2
$\phi_H$	0.065	0.08	0.07	0.06	0.05
$\phi_E$	0.13	0.15	0.14	0.12	0.10

ตารางที่ 5-3 ค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) เฉลี่ยของการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา

พารามิเตอร์	ช่องว่างระหว่างแถว (B/D)				
	0	0.5	1	1.5	2
$\phi_H$	0.08	0.07	0.065	0.06	0.05
$\phi_E$	0.15	0.14	0.13	0.12	0.10

จะเห็นได้ว่า กรณีจัดเรียงแบบแถวตรงกัน เมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นจากกรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 เป็น 0.5 ค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) เพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นหรือมีลักษณะการเพิ่มขึ้นเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล แต่หลังจากนั้นค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น มีแนวโน้มที่ลดลงในอัตราที่ลดลงเมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นหรือมีลักษณะการลดลงเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ส่วนกรณีจัดเรียงแบบสลับฟันปลา ค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นมีแนวโน้มที่ลดลงในอัตราที่ลดลงเมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นหรือมีลักษณะการลดลงเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

ค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อช่องว่างระหว่างแถวมากขึ้น อันเนื่องมาจากเขื่อนกันคลื่นสลายพลังงานคลื่นด้วยการสะท้อนคลื่น และการสูญเสียพลังงานจากตัวเขื่อนกันคลื่นที่เกิดจากความเสียดทานจากผิวของเสาเข็มและความปั่นป่วนของอนุภาคน้ำ จากการสะท้อนของคลื่นไป-มาระหว่างแถวของเสาเข็ม เมื่อจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่มีช่องว่างระหว่างแถวของเสาเข็มน้อยเกิดผลของความเป็นกลุ่มก้อน (massiveness) หรือ

ความทึบน้ำ (impermeable) มาก ส่งผลให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นที่เพิ่มขึ้น และการจัดเรียงที่มีช่องว่างระหว่างแถวน้อยยังส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนของอนุภาคน้ำระหว่างแถวที่เกิดจากอิทธิพลของเสาเข็มแถวที่ 1 กับแถวที่ 2 ที่กระทำต่อกัน ทำให้เกิดการสะท้อนระหว่างแถวของเสาเข็มในลักษณะกลับไป-มา จึงเกิดความปั่นป่วนและนำไปสู่การสูญเสียพลังงาน แต่เมื่อช่องว่างระหว่างแถวมากขึ้นทำให้ความเป็นกลุ่มก้อนของเสาเข็มหรือความทึบน้ำของเขื่อนกันคลื่นลดลง ส่งผลให้การสะท้อนกลับของคลื่นลดลง นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนของอนุภาคน้ำระหว่างแถวลดลง เนื่องจากอิทธิพลของเสาเข็มทั้ง 2 แถวที่กระทำต่อกันส่งผลถึงกันน้อยจึงทำให้สูญเสียพลังงานน้อยลง

แต่กรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 การจัดเรียงแบบแถวตรงกันมีค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นลดลง เนื่องจากการจัดเรียงทั้งแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลาจะมีลักษณะเหมือนการจัดเรียงแบบ 1 แถว โดยการจัดเรียงแบบแถวตรงกันเป็นการจัดเรียงแบบ 1 แถวที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเท่าเดิม (1 เท่าของขนาดเสาเข็ม) แต่มีขนาดของเสาเข็มที่หนาขึ้น จากผลของเสาเข็มแถวที่ 1 กับแถวที่ 2 อยู่ติดกัน และการจัดเรียงแบบสลับฟันปลาเป็นการจัดเรียงแบบ 1 แถวแบบซิก-แซก โดยเสาเข็มแถวที่ 2 อยู่ตรงช่องว่างของแถวที่ 1 ทำให้ช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มลดลงจาก 1 เป็น 0.41 เท่าของขนาดเสาเข็ม

ดังนั้นการจัดเรียงแบบแถวตรงกันที่มีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 จึงเกิดความปั่นป่วนของอนุภาคน้ำระหว่างแถวน้อย สาเหตุมาจากไม่มีการสะท้อนกลับไป-มาระหว่างแถว ทำให้การสูญเสียพลังงานน้อย ส่งผลให้การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นลดน้อยลงกว่ากรณีการจัดเรียงแบบแถวตรงกันที่มีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0.5 แต่การจัดเรียงแบบสลับฟันปลา ถึงแม้ว่าจะเป็นลักษณะของเขื่อนกันคลื่นแบบ 1 แถว แต่เนื่องด้วยช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มที่ลดลง ส่งผลให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นมากขึ้น จึงทำให้การลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นมากกว่ากรณีที่มีช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการจัดเรียงแบบ 2 แถวทั้งแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลาที่เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B/D) ตั้งแต่ 0 ถึง 2 จะเห็นได้ว่า สามารถลดความสูงคลื่นและสลายพลังงานคลื่นได้เพียงเล็กน้อย และการจัดเรียงแต่ละรูปแบบสามารถลดความสูงคลื่นและสลายพลังงานคลื่นได้ใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณากับผลการตรวจสอบคลื่น ดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 3.5 และภาคผนวก ค ที่ได้แสดงให้เห็นถึงความผันผวนของความสูงคลื่นประมาณ  $\pm 2$  เปอร์เซ็นต์ จึงสรุปได้ว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันและแบบสลับฟันปลาที่มีช่องว่างระหว่าง

ตัน (b/D) เท่ากับ 1 การเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B/D) ตั้งแต่ 0 ถึง 2 ไม่ส่งผลต่อการลดความสูงคลื่นและสลายพลังงานคลื่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

#### 5.1.4 การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบแถวตรงกันกับแบบสลับฟันปลา

การเปรียบเทียบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถวระหว่างการจัดเรียงแบบแถวตรงกันกับแบบสลับฟันปลา ดังแสดงในตารางที่ 5-4 พบว่า การจัดเรียงแบบสลับฟันปลาให้ผลในการลดความสูงคลื่นแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยกับกรณีการจัดเรียงแบบแถวตรงกัน โดยกรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 การจัดเรียงแบบสลับฟันปลามีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) น้อยกว่าแบบแถวตรงกัน ประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้น การจัดเรียงทั้ง 2 รูปแบบให้ผลที่ไม่มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า การจัดเรียงแบบสลับฟันปลาไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นแตกต่างกับการจัดเรียงแบบแถวตรงกัน อันน่าจะเป็นเพราะการจัดเรียงทั้ง 2 รูปแบบมีการจัดเรียงที่ก่อให้เกิดผลของความเป็นกลุ่มก้อนหรือความทับน้ำที่คล้ายคลึงกัน หรือมีความแตกต่างกันน้อย จึงส่งผลให้เกิดการสะท้อนคลื่นและการสูญเสียพลังงานจากตัวเขื่อนกันคลื่นที่ใกล้เคียงกัน แต่สาเหตุที่กรณีช่องว่างระหว่างแถว (B/D) เท่ากับ 0 การจัดเรียงแบบสลับฟันปลามีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) น้อยกว่าแบบแถวตรงกัน อันเนื่องมาจาก การจัดเรียงทั้งแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลาจะมีลักษณะเสมือนการจัดเรียงแบบ 1 แถว โดยการจัดเรียงแบบแถวตรงกันเป็นการจัดเรียงแบบแถวเดียวที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มเท่าเดิม (1 เท่าของขนาดเสาเข็ม) แต่มีขนาดของเสาเข็มที่หนาขึ้น ส่วนการจัดเรียงแบบสลับฟันปลาเป็นการจัดเรียง 1 แถวแบบซิก-แซกที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มลดลงจาก 1 เป็น 0.41 เท่าของขนาดเสาเข็ม ซึ่งช่องว่างระหว่างต้นที่น้อยกว่าของการจัดเรียงแบบสลับฟันปลา ส่งผลให้เกิดการสะท้อนของคลื่นที่มากกว่าจึงลดความสูงคลื่นและพลังงานคลื่นได้มากกว่า แต่เมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้น พฤติกรรมที่เกิดขึ้นของการจัดเรียงทั้ง 2 รูปแบบ จะเปลี่ยนจากแถวเดียวเป็นลักษณะของ 2 แถว ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วว่าการจัดเรียงทั้ง 2 รูปแบบมีความหนาแน่นและความทับน้ำที่ไม่ต่างกัน จึงทำให้ไม่เกิดความแตกต่างกันเมื่อช่องว่างระหว่างแถวมากขึ้น

จากการตรวจสอบคลื่น ดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 3.5 และภาคผนวก ค แสดงให้เห็นถึงความผันผวนของความสูงคลื่นประมาณ  $\pm 2$  เปอร์เซ็นต์ กล่าวได้ว่าความแตกต่างของการจัดเรียงทั้ง 2 รูปแบบที่เกิดขึ้น อาจเกิดจากความผันผวนของข้อมูลคลื่น จึงสรุปได้ว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลาไม่ส่งผลต่อการลดลงของความสูงคลื่นแตกต่างจากแบบแถวตรงกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5-4 ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของการจัดเรียงแบบ 2 แถว

รูปแบบเขื่อน กันคลื่น	ช่องว่างระหว่างแถว (B/D)				
	0	0.5	1	1.5	2
2 แถวตรง	0.935	0.92	0.93	0.94	0.95
2 แถวสลับ	0.92	0.93	0.935	0.94	0.95

### 5.1.5 การประมาณค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น

จากผลการทดลองในการศึกษานี้สามารถสรุปการประมาณค่าการลดลงของความสูงคลื่น ( $\phi_H$ ) และการสลายพลังงานคลื่น ( $\phi_E$ ) ของการจัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกันและแบบสลับฟันปลา ที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มในแถวเดียวกันเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม (b/D เท่ากับ 1) โดยได้สมการที่อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นโค้งพหุคูณ ดังแสดงในหัวข้อที่ 4.7 พบว่า ค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นของการจัดเรียงทั้งแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของช่องว่างระหว่างแถว พบว่า การจัดเรียงแบบแถวตรงกันมีค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นเพิ่มขึ้นเมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นจาก (B/D) เท่ากับ 0 เป็น 0.5 หลังจากนั้นค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้น ส่วนการจัดเรียงแบบสลับฟันปลานั้น ค่าการลดลงของความสูงคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นลดลงเมื่อช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้น และเมื่อนำค่าจากสมการ ไปเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลอง พบว่า ค่าจากสมการมีความสอดคล้องกับค่าจากการทดลอง

### 5.1.6 การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับแบบ 1 แถว

การเปรียบเทียบการจัดเรียงระหว่างการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถวกับแบบ 1 แถว ซึ่งการจัดเรียงทั้ง 2 รูปแบบมีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มในแถวเดียวกันเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็มเท่ากัน เพื่อศึกษาถึงผลของจำนวนแถว พบว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวสามารถลดความสูงคลื่นได้มากกว่าการจัดเรียงแบบ 1 แถว ซึ่งมีลักษณะของการลดลงที่เพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น โดยค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของการจัดเรียงทั้งแบบ 2 แถวและแบบ 1 แถว แสดงดังตารางที่ 5-5

ตารางที่ 5-5 ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของการจัดเรียงแบบ 2 แถวและแบบ 1 แถว

ช่องว่างระหว่างแถว (B/D)	รูปแบบเขื่อนกันคลื่น		
	2 แถวตรง	2 แถวสลับ	1 แถว
0	0.935	0.92	0.98
0.5	0.92	0.93	
1	0.93	0.935	
1.5	0.94	0.94	
2	0.95	0.95	

จะเห็นได้ว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวทั้งแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลา มีค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) น้อยกว่าการจัดเรียงแบบ 1 แถว แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนแถวจาก 1 แถวเป็น 2 แถว ส่งผลต่อการลดลงของความสูงคลื่นอย่างมีนัยสำคัญ อันเนื่องมาจาก การเพิ่มขึ้นของจำนวนแถวในกรณีการจัดเรียงเสาเข็มที่มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มที่เท่ากัน ทำให้จำนวนของเสาเข็มเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานจากความเสียดทานจากผิวของเสาเข็มที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การจัดเรียงแบบ 2 แถวทำให้เขื่อนกันคลื่นมีความเป็นกลุ่มก้อนหรือความตึบแน่นที่มากขึ้น ส่งผลต่อการสะท้อนกลับของคลื่นได้มากกว่าแบบ 1 แถว อีกทั้งการจัดเรียงแบบ 2 แถวยังเกิดความปั่นป่วนของอนุภาคน้ำระหว่างแถวของเสาเข็มที่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเพิ่มขึ้น

การจัดเรียงแบบ 2 แถวมีความสูงคลื่นลดลงจากแบบ 1 แถวเล็กน้อยในกรณีความชันคลื่นน้อย เนื่องจากที่ความชันคลื่นน้อย ความเร็วของอนุภาคน้ำน้อย ไม่ก่อให้เกิดความปั่นป่วนของน้ำ การสูญเสียพลังงานโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากความเสียดทานจากผิวของเสาเข็ม แต่การจัดเรียงแบบแถวเดี่ยว จำนวนเสาเข็มน้อยกว่าพลังงานที่สูญเสียจึงน้อยกว่าแบบ 2 แถว และเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น ความเร็วอนุภาคน้ำเพิ่มขึ้น ผลให้เกิดความปั่นป่วนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถวที่มีการสะท้อนกลับ-ไปมาระหว่างแถวทำให้การสูญเสียเพิ่มมากขึ้นเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามการจัดเรียงแบบ 2 แถวที่มีช่องว่างระหว่างแถวมากขึ้น ทำให้ความเป็นกลุ่มก้อนเขื่อนกันคลื่นลดลง ซึ่งส่งผลให้การสะท้อนคลื่นและความปั่นป่วนของอนุภาคน้ำลดลง ทำให้การลดลงของความสูงคลื่นในกรณีการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับแบบ 1 แถวแตกต่างกันน้อยลง



### 5.1.7 การเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับแบบ 3 แถว

การเปรียบเทียบการจัดเรียงระหว่างการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบ 2 แถวกับแบบ 3 แถว ซึ่งใช้จำนวนเสาเข็มที่เท่ากัน โดยแบบ 3 แถวได้จัดเรียงช่องว่างระหว่างต้นและช่องว่างระหว่างแถวเป็น 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม (รูปแบบการจัดเรียงที่มีการศึกษาและก่อสร้างจริงในประเทศไทย แต่ใช้เสาสามเหลี่ยม โดย ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ, 2551) และแบบ 2 แถวได้จัดเรียงช่องว่างระหว่างต้นเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว ตั้งแต่ 0 ถึง 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม พบว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถวสามารถลดความสูงคลื่นได้มากกว่าการจัดเรียงแบบ 3 แถว ซึ่งมีลักษณะของการลดลงที่มีอัตราเพิ่มขึ้นเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น โดยค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของการจัดเรียงทั้งแบบ 2 แถวและแบบ 3 แถว แสดงดังตารางที่ 5-6

จะเห็นได้ว่าการจัดเรียงแบบ 2 แถวทั้งแบบแถวตรงกันและแบบสลับฟันปลา มีค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) น้อยกว่าการจัดเรียงแบบ 3 แถว แสดงถึงการจัดเรียงแบบ 2 แถวสามารถลดความสูงคลื่นได้มากกว่าการจัดเรียงแบบ 3 แถว อันเนื่องมาจากการจัดเรียงแบบ 3 แถวแม้ว่าจะมีจำนวนแถวที่มากกว่า แต่ในกรณีที่ใช้จำนวนของเสาเข็มและกำหนดความยาวของเขื่อนกันคลื่นที่เท่ากัน การเพิ่มขึ้นของจำนวนแถวในกรณีการจัดเรียงแบบ 3 แถว ส่งผลให้มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเรียงแบบ 2 แถว ทำให้ความเป็นกลุ่มก้อนของเสาเข็มหรือความตื้นเขินของเขื่อนกันคลื่นลดลง ส่งผลให้การสะท้อนคลื่นได้น้อย และความปั่นป่วนของอนุภาคน้ำระหว่างแถวเกิดขึ้นน้อยลง อันเนื่องมาจาก เมื่อช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มมาก จะส่งผลต่อพฤติกรรมที่เกิดขึ้น โดยเปลี่ยนจากพฤติกรรมของเสาเข็มกลุ่มเป็นพฤติกรรมของเสาเข็มเดี่ยว หรือกล่าวได้ว่าอิทธิพลของเสาเข็มที่กระทำต่อกันลดน้อยลง ทำให้ความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นน้อย จึงสลายพลังงานคลื่นได้น้อยกว่าการจัดเรียงแบบ 2 แถวที่สามารถจัดเรียงโดยมีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มที่น้อยกว่า

การจัดเรียงทั้งแบบ 2 แถวและ 3 แถว ให้ผลในการลดความสูงคลื่นแตกต่างกันน้อยเมื่อความชันคลื่นน้อย เนื่องจากที่ความชันคลื่นน้อย ส่งผลให้ความเร็วของอนุภาคน้ำน้อย เมื่อคลื่นที่ผ่านเสาเข็มจะไม่เกิดการแยกตัว ทำให้ความปั่นป่วนเกิดขึ้นน้อยเหมือนลักษณะของการไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) ที่เคลื่อนผ่านเสาเข็ม การสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเกิดจากความเสียดทานจากผิวของเสาเข็ม อันเป็นผลจากการจัดเรียงทั้ง 2 แบบ ใช้จำนวนเสาเข็มที่เท่ากัน จึงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเร็วของอนุภาคน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อคลื่นตัวผ่านเสาเข็มจะเกิดความปั่นป่วน ดังที่กล่าวข้างต้น

แล้วว่า การจัดเรียงแบบ 2 แถว อิทธิพลของเสาเข็มกระทำต่อกันมากกว่าแบบ 3 แถว จึงเกิดความปั่นป่วนที่มากกว่า เกิดการสูญเสียพลังงานเพิ่มขึ้นจากการจัดเรียงแบบ 3 แถว นอกจากนั้น ช่องว่างระหว่างต้นที่น้อยของการจัดเรียงแบบ 2 แถว ยังก่อให้เกิดความตึบน้ำที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการสะท้อนคลื่นที่เพิ่มขึ้น

ถึงแม้ว่าการจัดเรียงทั้ง 2 รูปแบบ จะลดความสูงคลื่นได้แตกต่างกัน แต่การจัดเรียงทั้ง 2 รูปแบบสามารถลดความสูงคลื่นได้เพียงเล็กน้อย ดังนั้นความแตกต่างในการลดความสูงคลื่นที่เกิดขึ้นนั้น จึงกล่าวได้ว่าไม่มีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5-6 ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ( $\bar{K}_{P(A)}$ ) ของการจัดเรียงแบบ 2 แถวและแบบ 3 แถว

ช่องว่างระหว่างแถว (B/D)	รูปแบบเขื่อนกันคลื่น		
	2 แถวตรง	2 แถวสลับ	3 แถว
0	0.935	0.92	0.96
0.5	0.92	0.93	
1	0.93	0.935	
1.5	0.94	0.94	
2	0.95	0.95	

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การหาคำตอบของปัญหาทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพ ถึงแม้ว่าจะมีข้อดีคือ สามารถหาคำตอบของปัญหาที่มีความสลับซับซ้อนที่ไม่สามารถหาคำตอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อด้อยในเรื่องของค่าใช้จ่ายที่สูงในการสร้างแบบจำลองและอุปกรณ์การวัดเก็บข้อมูล ต้องอาศัยแรงงาน และอาจมีปัญหารีหรืออุปสรรคที่คาดไม่ถึงระหว่างการทดลองทำให้ต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพจึงจำเป็นต้องศึกษาและวางแผนอย่างรอบคอบ

2) ขั้นตอนการทดลองในส่วนของการศึกษาอุปกรณ์ เครื่องมือ และโปรแกรมประมวลข้อมูลที่ใช้ศึกษาเป็นขั้นตอนที่ต้องอาศัยเวลา เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องมือทางไฟฟ้ารวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ในการแปลความหมายของสัญญาณนั้นมีความสลับซับซ้อน ดังนั้นควรเผื่อเวลาสำหรับการศึกษาอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ด้วย ซึ่งสามารถศึกษาได้จากคู่มือหรือจาก

การศึกษาที่ผ่านมาแต่อาจจะต้องใช้เวลา การได้รับการถ่ายทอดความรู้หรือประสบการณ์จากผู้มีประสบการณ์หรือผู้ที่เคยใช้จะทำให้สามารถเรียนรู้ได้รวดเร็วขึ้น

3) การศึกษานี้ได้ศึกษาถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นโดยจำกัดรูปแบบของการจัดเรียงในขอบเขตตามวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เท่านั้น ยังมีตัวแปรอื่นๆของการจัดเรียงอีกหลายตัวแปร อาทิเช่น ช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็ม (pile spacing) รูปแบบของแนวของเขื่อนกันคลื่น (alignment pattern) ขนาดของเสาเข็ม รูปร่างของเสาเข็ม เป็นต้น

4) การศึกษานี้ใช้ได้ทดลองในเงื่อนไขของคลื่นในช่วงน้ำลึกปานกลางเท่านั้น ซึ่งลักษณะของคลื่นในช่วงความลึกน้ำที่แตกต่างกันอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการลดความสูงคลื่นและสลายพลังงานคลื่น จึงควรศึกษาค้นคว้าในช่วงความลึกอื่นๆ

5) จากการศึกษาจะเห็นว่า การเพิ่มจำนวนแถวจากแถวเดียวเป็น 2 แถวสามารถลดความสูงคลื่นได้มากขึ้น จึงน่าจะมีการศึกษาโดยเพิ่มจำนวนแถวที่มากขึ้นเพื่อศึกษาถึงผลของจำนวนแถว

6) คลื่นที่ใช้ในการศึกษาเป็นคลื่นที่มีขนาดสม่ำเสมอ (regular wave) และมีทิศทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นเท่านั้น แต่ในธรรมชาติเป็นคลื่นแบบสุ่ม (random wave) และเข้ากระทำกับชายฝั่งหลายทิศทาง ดังนั้นควรมีการศึกษาโดยใช้คลื่นแบบอื่นๆ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทิศทางของคลื่น

7) การศึกษานี้ยังขาดการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางของอนุภาคน้ำใต้คลื่น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการประยุกต์ใช้กับปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง

8) การใช้เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มอาจเกิดปัญหาการกัดเซาะที่เสาเข็มอันเป็นปัญหาลำคัญที่ส่งผลให้เสถียรภาพของเขื่อนกันคลื่นลดลง ดังนั้นควรมีการศึกษาถึงผลของการกัดเซาะเสาเข็มเพิ่มเติม

9) ถึงแม้ว่าการศึกษาจะได้ข้อมูลมาจากแบบจำลองทางกายภาพ ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบอย่างหนึ่งทางด้านวิศวกรรมชายฝั่ง แต่ในการศึกษาก็ยังคงอยู่บนพื้นฐานและข้อสมมติฐานตามขีดจำกัดของเครื่องมือที่มีอยู่เท่านั้น ไม่สามารถจำลองพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติได้ทุกประการ เนื่องจากเหตุการณ์ในธรรมชาติล้วนแต่เป็นแบบสุ่มหรือกล่าวได้ว่าเหตุการณ์ในธรรมชาติมีความไม่แน่นอน ดังนั้นควรพึงระลึกไว้เสมอว่าข้อมูลจากแบบจำลองทางกายภาพให้คำตอบของปัญหาตามข้อกำหนดในการจำลองสภาพ

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุลและคณะ. 2551. ขุนสมุทรจีน 49A2 ต้นแบบการแก้ไขปัญหาน้ำทะเลกัดเซาะหาดโคลน. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- บุศวรรณ โพธิ์ทอง. 2542. เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนกรณีชายฝั่งสมดุลง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะ กุณาศล. 2547. การไหลลอดประตูละบายภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะฉัตร เลิศอมรพงษ์. 2545. การจำลองการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อาทิตยา เกศมาริช. 2540. เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกในงานป้องกันชายฝั่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

### ภาษาอังกฤษ

- Grune, J. and Kohlhasse, S. 1974. Wave Transmission through Vertical Slotted Walls. Proceedings of 14<sup>th</sup> Coastal Engineering Conference, Copenhagen, Denmark. ASCE, New York. 3 (September): 1906-1923.
- Hayashi, T., et al. 1966. Hydraulic Research on the Closely Spaced Pile Breakwater. Engineering in Japan. 9: 108-117.
- Hayashi, T., Hattori, M. and Shirai, M. 1968. Closely Spaced Pile Breakwater as a Protection Structure against Beach Erosion. Engineering in Japan. 11: 149-160.
- Herbich, J.B. and Douglas, B. 1988. Wave Transmission through a Double-Row Pile Breakwater. Proceedings of 21<sup>th</sup> Coastal Engineering Conference, Coata del Sol-Malaga, Spain. ASCE, New York. 3 (June): 2229-2241.

- Horikawa, K. 1978. Coastal Engineering : An Introduction to Ocean Engineering. Japan: University of Tokyo Press.
- Huang, Z. 2007. Wave Interaction with One or Two Rows of Closely Spaced Rectangular Cylinders. Ocean Engineering. 34: 1584-1591.
- Hutchinson, P.S. and Raudkivi, A.J. 1984. Case History of a Spaced Pile Breakwater at Half Moon Bay Marina Auckland, New Zealand. Proceedings of 19<sup>th</sup> Coastal Engineering conference, Houston, Texas, U.S.A. ASCE, New York. 3 (September): 2530-2535.
- Ippen, A.T. 1966. Estuary and Coastline Hydrodynamics. New York: McGraw - Hill Book.
- Isaacson, M., Premasiri, S. and Yang, G. 1998. Wave Interactions with Vertical Slotted Barrier. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. 126, 6, (May/June): 118-126.
- Mani, J.S. 2008. Experimental and Numerical Investigations on Zigzag Porous Screen Breakwater. Natural Hazards. 49, 2 (May): 401-409.
- Mani, J.S., and Jayakumar, S. 1995. Wave Transmission by Suspended Pipe Breakwater. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. 121, 6, (November/December): 335-338.
- Nagai, S. 1966. Researches on Steel-Pipe Breakwater. Proceedings of 10<sup>th</sup> Coastal Engineering Conference, Tokyo, Japan. ASCE, New York. 2 (September): 850-872.
- Rao, S., Rao, N.B.S., and Sathyanarayana, V.S. 1999. Laboratory Investigation on Wave Transmission through Two Rows of Perforated Hollow Piles. Ocean Engineering. 26: 675-699.
- Rao, S., Rao, N.B.S., Shirlal, K.G. and Reddy, G.R. 2003. Energy Dissipation at Single Row of Suspended Perforated Pipe Breakwaters. Journal of the Institution of Engineer (India). 84 (August): 77-81.
- Rao, S., Kiran, G. and Rao, N.B.S. 2002. Wave Transmission and Wave Reflection for Two Rows of Perforated Hollow Piles. Indian Journal of Marine Sciences. 31, 4 (December): 283-289.



- Sorensen, R.M. 1991. Basic Coastal Engineering. Singapore: John Wiley & Sons.
- Suh, K.D., Jung, H.Y. and Pyun, C.K. 2007. Wave reflection and Wave Transmission by Curtainwall-Pile Breakwaters using Circular Piles. Ocean Engineering. 34: 2100-2106.
- Suh, K.D., Shin, S. and Cox, D.T. 2006. Hydrodynamic Characteristics of Pile-Support Vertical Wall Breakwaters. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. 132, 2 (March/April): 83-96.
- Sundar, V. and Subbarao, B.V.V. 2003. Hydrodynamic Performance Characteristics of Quadrant Front-Face Pile-Support Breakwater. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. 129, 22 (January/February): 22-33.
- Sumer, B.M., Fredsoe, J. 2001. Wave Scour Around a Large Vertical Circular Cylinder. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. 127, 3 (May/June): 125-134.
- Truitt, C.L. and Herbich, J.B. 1986. Transmission of Random Wave through Pile Breakwaters. Proceedings of 20<sup>th</sup> Engineering Conference, Taipei, Taiwan. ASCE, New York. 3 (November): 2303-2313.
- U.S. Coastal Engineering Research Center. 1984. Shore Protection Manual 1. 2<sup>nd</sup> ed. Washington DC. Department of U.S. Army Corps. of Engineers.
- U.S. Coastal Engineering Research Center. 1984. Shore Protection Manual 2. 2<sup>nd</sup> ed. Washington DC: Department of U.S. Army Corps. of Engineers.
- Wheeler, V.J., and Herbich, J.B. 1984. Wave Reflection and Wave Transmission for Pipe Arrays. Proceedings of 13<sup>th</sup> Coastal Engineering conference, Vancouver, Canada. ASCE, New York, 3: 1935-1953.
- Yagci, O. et al. 2006. An Experimental Model Application of Wavescreen : Dynamic Pressure, Water Particle Velocity, and Wave Measurements. Ocean Engineering. 33: 1299-1321.

## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แบบจำลองกายภาพศาสตร์และอุปกรณ์การทดลอง

ภาคผนวก ข การเปรียบเทียบอุปกรณ์การทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น

ภาคผนวก ค การตรวจสอบคลื่นในอ่างคลื่น

ภาคผนวก ง ข้อมูลจากการทดลอง

ภาคผนวก จ การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น

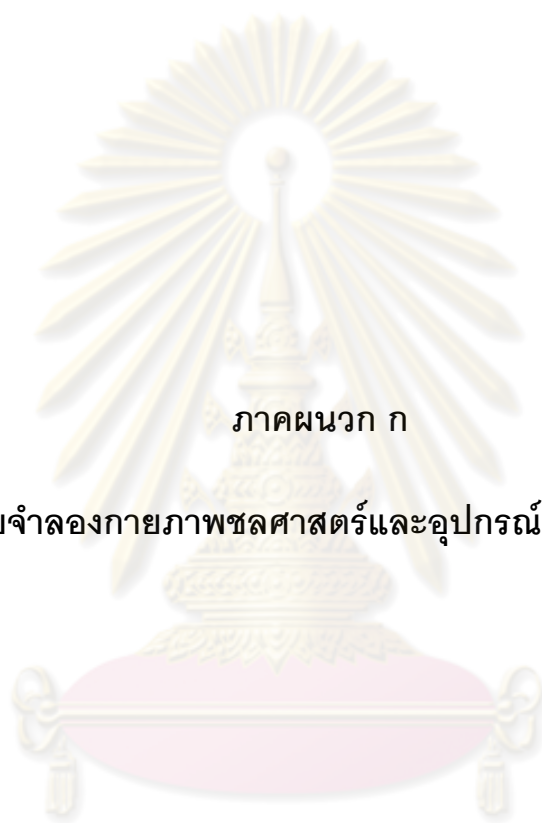
ภาคผนวก ฉ การศึกษาพื้นที่ด้านหน้าเชื่อมกันคลื่น

ภาคผนวก ช สรุปผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเชื่อมกันคลื่นแบบเส้าเข้ม

ภาคผนวก ซ สรุปสัญลักษณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

แบบจำลองกายภาพศาสตร์และอุปกรณ์การทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### แบบจำลองกายภาพพลศาสตร์และอุปกรณ์การทดลอง

#### ก-1 การจัดเตรียมแบบจำลองอ่างคลื่น

1) แบบจำลองอ่างคลื่น (wave basin) ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาดความกว้าง 10 ม. ยาว 20 ม. ลึก 0.70 ม. พื้นและผนังทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในรูป ก-1

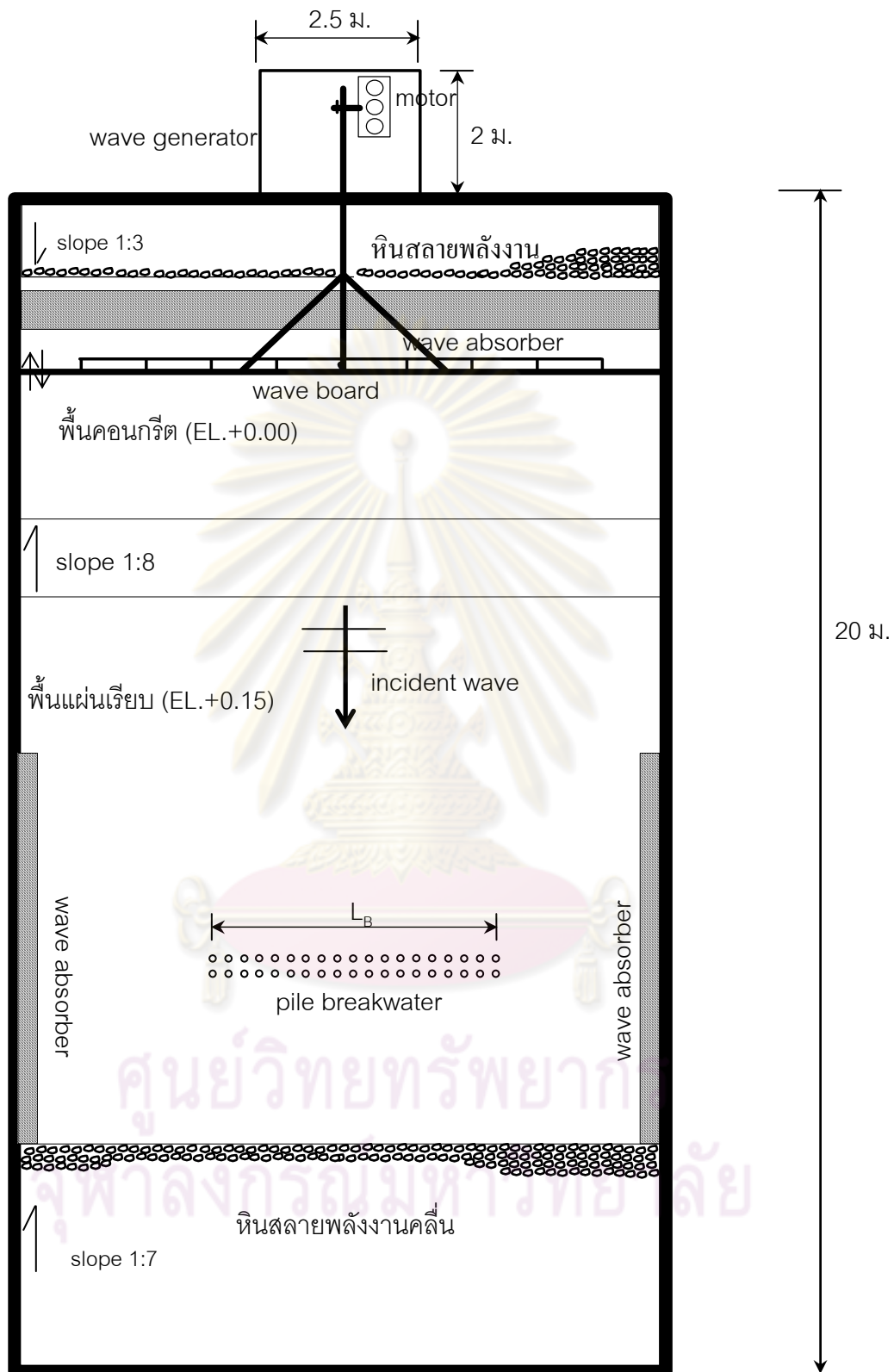
2) การปรับปรุงพื้นของอ่างคลื่น ในการทดลองมีการปรับปรุงพื้นบริเวณที่มีการติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม จากเดิมที่เป็นพื้นทรายเปลี่ยนเป็นพื้นที่เป็นวัสดุที่ไม่เปลี่ยนแปลง โดยใช้แผ่นเรียบสเมาร์ทบอร์ดปูบนโครงคร่าวไม้ ยกระดับพื้น 0.15 ม. จากระดับพื้นเดิมเท่ากันทั้งพื้นที่ขนาด  $9.6 \times 10$  ม. ดังแสดงในรูปที่ ก-2 และได้แสดงขั้นตอนการปรับปรุงอ่างคลื่น ดังรูป ก-3 และเปรียบเทียบอ่างคลื่นก่อนและหลังปรับปรุง ดังรูปที่ ก-6

3) ตะแกรงสลายคลื่นด้านข้าง (wave absorber) เป็นโครงเหล็กหุ้มด้วยลวดตะแกรงภายในบรรจุเม็ดโฟม โครงเหล็กมีขนาดกว้าง 0.15 ม. ยาว 1.00 ม. สูง 0.50 ม. วางข้างละ 6 ม. ติดตั้งเพื่อลดการสะท้อนจากผนังด้านข้างของอ่างคลื่น แสดงการประกอบและติดตั้ง ดังรูปที่ ก-4

4) หินสลายพลังงานคลื่น เพื่อลดการสะท้อนของคลื่นโดยที่ด้านต้นแอ่งและด้านท้ายแอ่งคลื่น ตัวสลายพลังงานคลื่นใช้เป็นหินก่อสร้างเบอร์ # 1 ด้านต้นแอ่งคลื่นเทเป็นแนวลาดเอียง 1 : 3 และด้านท้ายแอ่งคลื่นเทเป็นแนวลาด 1 : 7 ยาวตลอดด้านต้นและด้านท้ายแอ่งคลื่น ดังรูปที่ ก-5

5) ระบบจ่ายน้ำและระบายน้ำ น้ำที่ใส่ในอ่างคลื่นจะถูกสูบขึ้นมาจากบ่อพักน้ำ (sump) ข้างๆ อ่างคลื่น โดยใช้เครื่องสูบน้ำ และการระบายน้ำออกจะมีรูระบายอยู่ในแอ่งคลื่นระบายสูบบ่อพักน้ำ ดังรูปที่ ก-7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



10 ม.

รูปที่ ก-1 แอ่งคลื่น (wave basin)

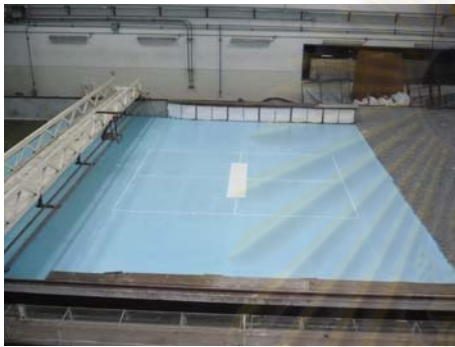




ก) มองจากต้นแอ่งคลื่น



ข) มองจากท้ายแอ่งคลื่น



ค) มองจากด้านข้างแอ่งคลื่น



ง) มองจากมุมท้ายแอ่งคลื่น

รูปที่ ก-2 แอ่งคลื่น (wave basin)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) ปรับทราย



ข) ทาหน้ายากันซึม



ค) ตีโครงคร่าวไม้



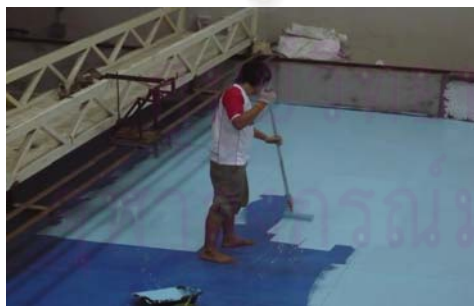
ง) ปรับระดับทรายเสมอขอบโครงคร่าวไม้



จ) ปูแผ่นเรียบสมาร์ทบอร์ด



ฉ) ทาสีพื้นที่สำหรับติดตั้งแบบจำลอง

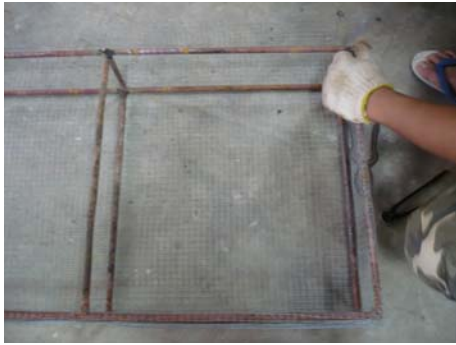


ช) ทาสีพื้นทั้งหมด



ซ) แอ่งคลื่นหลังปรับปรุงเสร็จ

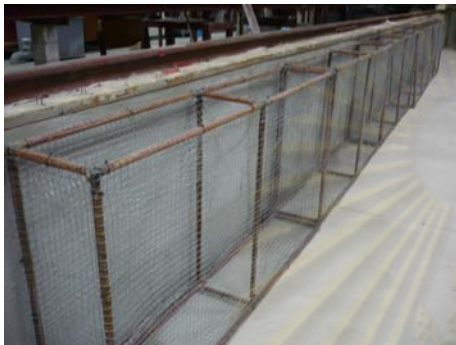
รูปที่ ก-3 ปรับปรุงแอ่งคลื่น



ก) การประกอบชิ้นงาน



ข) ประกอบชิ้นงานสมบูรณ์



ค) ติดตั้งในแอ่งคลื่น



ง) ใส่เม็ดโพน

รูปที่ ก-4 ตะแกรงสลายพลังงานคลื่น



ก) ด้านต้นแอ่งคลื่น



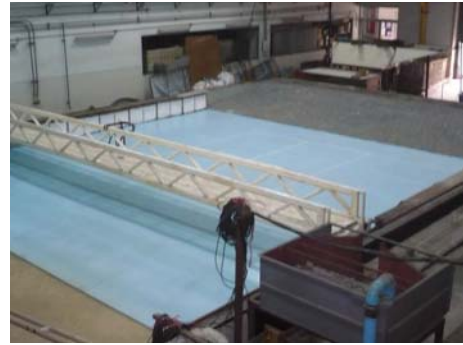
ข) ด้านท้ายแอ่งคลื่น

รูปที่ ก-5 หินสลายพลังงานคลื่น





ก) ก่อนปรับปรุง



ข) หลังปรับปรุง

รูปที่ ก-6 แอ่งคัลลินก่อน-หลังปรับปรุง



ก) ปั๊มน้ำ



ข) กระจายน้ำ

รูปที่ ก-7 ระบบจ่ายน้ำ-กระจายน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ก-2 เครื่องกำเนิดคลื่น

เครื่องกำเนิดคลื่น (wave generator) เป็นชนิดปลายยึดหมุน (hinge connection) ที่ด้านล่างของกระดานสร้างคลื่น (wave board) ส่วนด้านบนบดกับส่วนขับเคลื่อนซึ่งเคลื่อนที่กลับไป-มาได้ตามระยะช่วงชัก (stroke) โดยความเร็วเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับมอเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ จึงสามารถสร้างคลื่นที่มีความสูงและคาบคลื่นได้แตกต่างกัน องค์ประกอบของเครื่องกำเนิดคลื่นได้แสดงไว้ในรูปที่ ก-8



ก) กระดานสร้างคลื่น



ข) ก้านโยกกระดานสร้างคลื่น



ค) ชุดปรับช่วงชัก



ง) มอเตอร์



จ) ชุดปรับความเร็วมอเตอร์



ฉ) หม้อแปลงควบคุม

รูปที่ ก-8 องค์ประกอบของเครื่องกำเนิดคลื่น



### ก-3 แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม

เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (pile breakwater) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอกทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.85 ซม. จัดเรียงเป็นแถวตรงโดยมีความยาวในแต่ละแถวประมาณ 1.80 ม.(36 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม) จัดเรียง 4 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ใช้ในการศึกษามีดังต่อไปนี้

- รูปแบบ A จัดเรียงแบบ 3 แถวสลับฟันปลา มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็ม (b) และช่องว่างระหว่างแถว (B) เป็น 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ใช้เสาเข็มจำนวน 38 ต้น ดังแสดงในรูปที่ ก-9

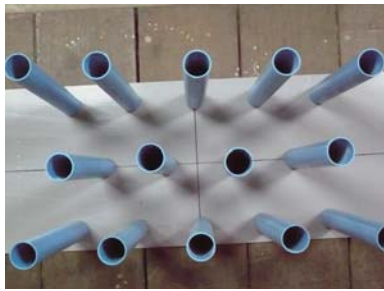
- รูปแบบ B จัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน (rectangle) มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็ม (b) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B) 5 ขนาด ได้แก่ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ใช้เสาเข็มจำนวน 38 ต้น ดังแสดงในรูปที่ ก-10 ถึง ก-14

- รูปแบบ C จัดเรียงแบบ 2 แถวสลับฟันปลา (staggering) มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็ม (b) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถว (B) 5 ขนาด ได้แก่ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ใช้เสาเข็มจำนวน 38 ต้น ดังแสดงในรูปที่ ก-15 ถึง ก-19

- รูปแบบ D จัดเรียงแบบ 1 แถว มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็ม (b) เท่ากับ เท่าของขนาดเสาเข็ม ใช้เสาเข็มจำนวน 19 ต้น ดังแสดงในรูปที่ ก-20

รวมการจัดเรียงทั้งสิ้น 12 กรณีศึกษา ประกอบด้วย รูปแบบ A มี 1 กรณีศึกษา (A1) รูปแบบ B มี 5 กรณีศึกษา (B1-B5) รูปแบบ C มี 5 กรณีศึกษา (C1-C5) และรูปแบบ D มี 1 กรณีศึกษา (D1)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ด้านบน

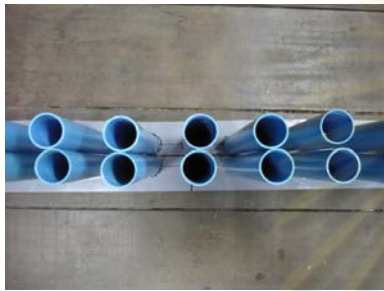


ด้านหน้า



ด้านข้าง

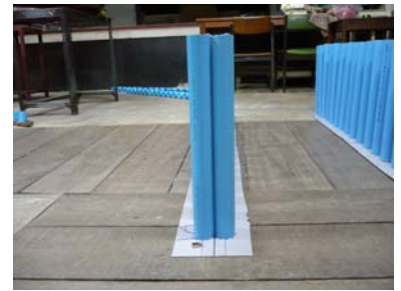
รูปที่ ก-9 การจัดเรียงรูปแบบ A1 ( $b$  และ  $B = 2D$ )



ด้านบน



ด้านหน้า



ด้านข้าง

รูปที่ ก-10 การจัดเรียงรูปแบบ B1 ( $B = 0D$ )



ด้านบน



ด้านหน้า



ด้านข้าง

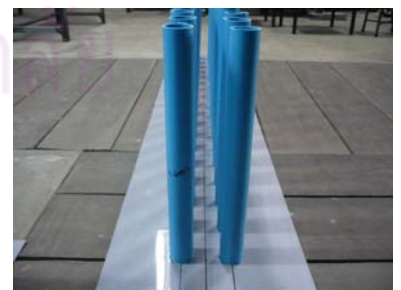
รูปที่ ก-11 การจัดเรียงรูปแบบ B2 ( $B = 0.5D$ )



ด้านบน

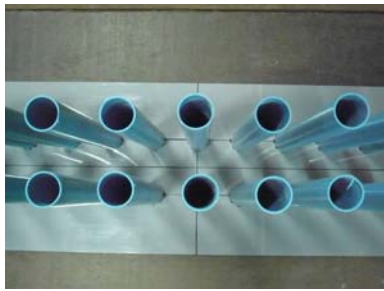


ด้านหน้า



ด้านข้าง

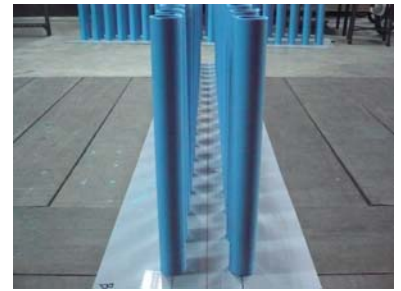
รูปที่ ก-12 การจัดเรียงรูปแบบ B3 ( $B = 1D$ )



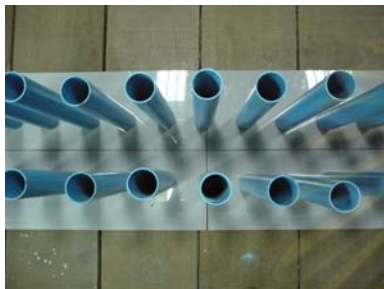
ด้านบน



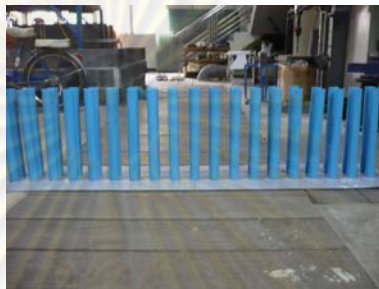
ด้านหน้า



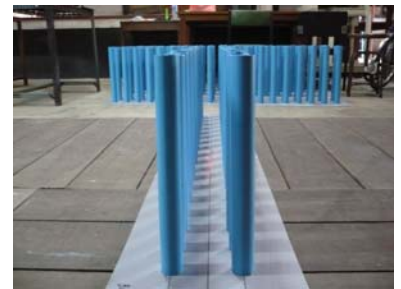
ด้านข้าง

รูปที่ ก-13 การจัดเรียงรูปแบบ B4 ( $B = 1.5D$ )

ด้านบน



ด้านหน้า



ด้านข้าง

รูปที่ ก-14 การจัดเรียงรูปแบบ B5 ( $B = 2D$ )

ด้านบน



ด้านหน้า



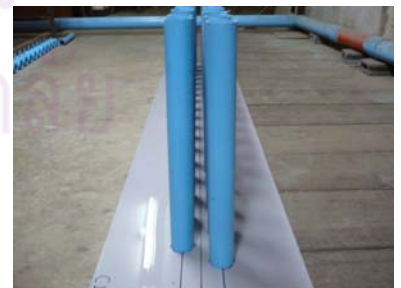
ด้านข้าง

รูปที่ ก-15 การจัดเรียงรูปแบบ C1 ( $B = 0D$ )

ด้านบน



ด้านหน้า



ด้านข้าง

รูปที่ ก-16 การจัดเรียงรูปแบบ C2 ( $B = 0.5D$ )





ด้านบน



ด้านหน้า



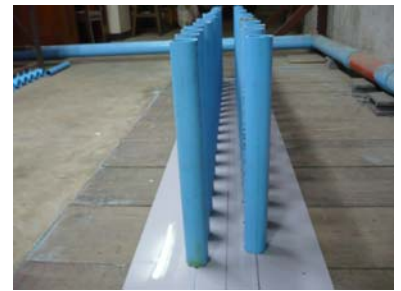
ด้านข้าง

รูปที่ ก-17 การจัดเรียงรูปแบบ C3 ( $B = 1D$ )

ด้านบน



ด้านหน้า



ด้านข้าง

รูปที่ ก-18 การจัดเรียงรูปแบบ C4 ( $B = 1.5D$ )

ด้านบน



ด้านหน้า



ด้านข้าง

รูปที่ ก-19 การจัดเรียงรูปแบบ C5 ( $B = 2D$ )

ด้านบน



ด้านหน้า



ด้านข้าง

รูปที่ ก-20 การจัดเรียงรูปแบบ D1 ( $b=1D$ )

#### ก-4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องมือวัดระดับ (point gauge) ติดตั้งในแอ่งคลื่น เพื่อใช้วัดระดับน้ำนิ่ง (still water level) ก่อนทำการทดลอง ดังรูป ก-21

2) เครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter) ใช้วัดความสูงคลื่น โดยหลักการทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้ก็คือ เป็นการวัดความจุไฟฟ้าบนเส้นลวดที่เปลี่ยนแปลงตามระยะที่จมในน้ำ โดยในที่นี่ใช้จำนวน 10 ตัว ซึ่งมี 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นเครื่องวัดความสูงคลื่น (ตัวเก่า) รุ่น Capacitance Type Wave Height Measuring System provide with precision auto-zero function Model CH-403A & CHT4-40 ของบริษัท Kennek จำนวน 4 ตัว ช่วงข้อมูลที่เครื่องทำการประมวลผลได้ อยู่ในช่วง  $\pm 2.5$  โวลต์ ดังรูปที่ ก-22 โดยรายละเอียดการใช้เครื่องมือสามารถดูได้จาก อาทิตยา เกศมาริช (2540) และแบบที่ 2 เป็นเครื่องวัดความสูงคลื่น (ตัวใหม่) รุ่น Wave Probe Monitor ของบริษัท HR Wallingford จำนวน 6 ตัว ช่วงข้อมูลที่เครื่องทำการประมวลผลได้ อยู่ในช่วง  $\pm 10$  โวลต์ ดังรูปที่ ก-23 โดยรายละเอียดการใช้เครื่องมือสามารถดูได้ทำภาคผนวกนี้

3) แผงวงจร ใช้สำหรับต่อสายที่แสดงผลจากเครื่องวัดความสูงคลื่นเข้าสู่การ์ด LabVIEW

4) การ์ด LabVIEW ใช้สำหรับแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล โดยจะใช้ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW ของบริษัท National Instrument

5) คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก รุ่น COMPAQ Presario ใช้สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลคลื่น

6) กล้องถ่ายรูป กล้องวิดีโอและเครื่องบันทึกภาพ ใช้บันทึกภาพ

7) เทอร์โมมิเตอร์ ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำขณะทำการทดลอง

8) นาฬิกา ใช้จับเวลาในการลอง





รูปที่ ก-21 เครื่องมือวัดระดับ (point gauge)



ก) เครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter)



ข) อุปกรณ์รับสัญญาณอนาล็อกเครื่องวัดความสูงคลื่น

รูปที่ ก-22 ชุดเครื่องมือวัดความสูงคลื่น (ตัวเก่า)



ก) เครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter)



ข) อุปกรณ์รับสัญญาณอนาล็อกเครื่องวัดความสูงคลื่น

รูปที่ ก-23 ชุดเครื่องมือวัดความสูงคลื่น (ตัวใหม่)



ก) แผงวงจรต่อสัญญาณ



ข) การ์ดแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล



ค) สายต่อสัญญาณเข้าการ์ดแปลงสัญญาณ



ง) คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูล

รูปที่ ก-24 ชุดเครื่องมือวัดความสูงคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Wave Probe Monitor

เครื่องวัดความสูงคลื่นนี้เป็นเครื่องมือที่ใช้งานได้ง่ายและมีความถูกต้องสำหรับการวัดระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นแท่งลวดสะแตนเลส 1 คู่ และส่วนที่เป็นเครื่องรับสัญญาณ ดังรูป ก-21 หลักการทำงานคือวัดความจุไฟฟ้าจากส่วนที่จมน้ำ ซึ่งเป็นลวดสะแตนเลสและแสดงผลออกมาเป็นโวลต์ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามระยะที่ขดลวดจม

### ข้อควรระวังในการใช้งาน

1. เครื่องมือนี้สำหรับใช้เฉพาะในน้ำจืดห้ามใช้ในน้ำเค็ม
2. เครื่องมืออาจให้ค่าที่ผิดพลาดเนื่องจากคราบสกปรกที่อยู่ในน้ำจะเกาะขดลวดทำให้ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จากการปรับเทียบ ควรใช้กระดาษทรายละเอียดขัด หรือแช่ในสารที่เป็นกรดไฮโดรคลอริกในการทำสะอาดเครื่องมือ
3. ไม่ควรใช้ในน้ำที่มีคราบน้ำมันหรือจารบี เพราะจะทำให้ขดลวดเกิดความเสียหาย
4. การนำไฟฟ้าของขดลวดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำโดยจะเปลี่ยนแปลงประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ต่อ 1 องศาเซลเซียส
5. ในกรณีแ่งคลื่นที่สร้างใหม่ทำให้สารละลายที่ผสมในน้ำอาจกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลต่อการนำไฟฟ้า ดังนั้นก่อนจะใช้เครื่องมือควรเปิดเครื่องกำเนิดคลื่นเพื่อให้สารละลายกระจายตัวให้สม่ำเสมอก่อนใช้เครื่องมือวัดข้อมูล

### การปรับความต้านทานของสายไฟฟ้า

การส่งสัญญาณจากตัววัดความสูงคลื่นที่เป็นแท่งลวดเข้าสู่เครื่องรับสัญญาณต้องอาศัยการเชื่อมต่อด้วยสายไฟฟ้า ซึ่งสายไฟฟ้าจะมีหัวต่อ 2 ด้าน ประกอบด้วยหัวต่อสีเขียว 1 คู่ ใช้สำหรับเสียบต่อกับตัววัดความสูงคลื่น และหัวต่อสีแดง 1 คู่สำหรับต่อเข้ากับเครื่องรับสัญญาณ แต่สายไฟฟ้าอาจจะมีกระแสไฟส่วนเกินจึงจำเป็นต้องขจัดออกโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ถอดหัวต่อสีเขียวที่เสียบอยู่กับตัววัดความสูงคลื่นที่เป็นแท่งลวดไปเสียบต่อในช่องสีเขียว TEST ที่เครื่องรับสัญญาณ โดยหัวต่อสีแดงยังคงเสียบอยู่ในช่องต่อสีแดง PROBE ที่เครื่องรับสัญญาณ ซึ่งช่องต่อสีแดงอาจต่อด้านหลังหรือด้านหน้าก็ได้
2. กดปุ่ม OPERATE/TEST ไปที่ตำแหน่ง TEST หมุนปรับ DATUM ADJUST ให้เข็มที่หน้าปัดของเครื่องรับสัญญาณอยู่ตำแหน่งกึ่งกลาง

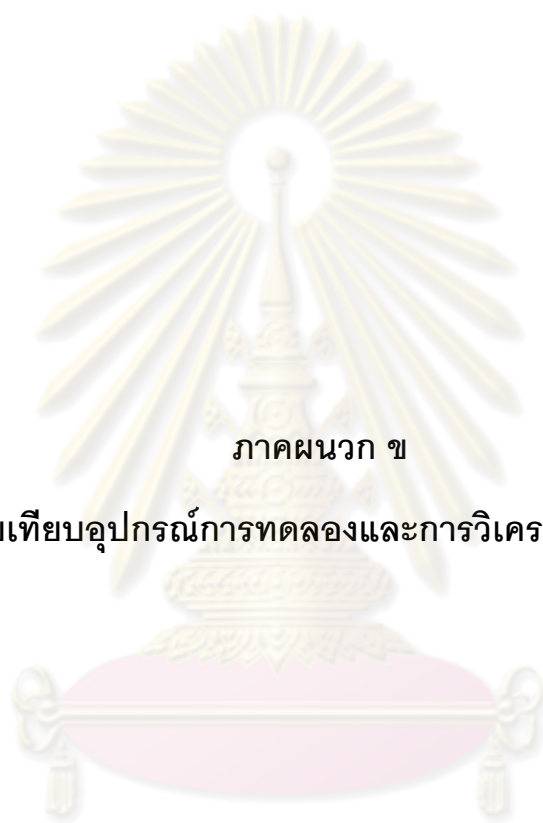
3. อาจปรับโดยใช้ไขควงหมุนปรับปุ่ม **BALANCE** ให้เข็มที่หน้าปัดของเครื่องรับสัญญาณ อยู่ตำแหน่งกึ่งกลาง
4. หากค่ายังไม่อยู่กึ่งกลาง ให้หมุนปรับ **DATUM ADJUST** จนเข็มที่หน้าปัดของเครื่องรับสัญญาณอยู่ตำแหน่งกึ่งกลาง
5. ดึงหัวต่อสี่เหลี่ยมออกจากช่อง **TEST** แล้วนำไปเสียบต่อกับตัววัดความสูงคลื่นเหมือนเดิม เสร็จแล้วกดปุ่ม **OPERATE/TEST** ไปที่ตำแหน่ง **OPERATE**

### การเตรียมการก่อนการวัด

1. ติดตั้งตัววัดความสูงคลื่นในบริเวณที่ต้องการวัดความสูงคลื่น โดยให้แท่งลวดตั้งขนานกับทิศทางการคลื่น
2. ติดตั้งเครื่องวัดให้มั่นคง
3. เสียบต่อหัวต่อสี่เหลี่ยมในช่องเสียบสี่เหลี่ยมที่เครื่องรับสัญญาณ และหัวต่อสี่เหลี่ยมที่ตัววัดความสูงคลื่น
4. ต่อปลั๊กไฟ 220V หรือ 110 VAC  $\pm 10\%$  40-60 Hz

### การวัดความสูงคลื่น

1. ในการติดตั้งตัววัดต้องแน่ใจว่าต้องลวดจะจมอยู่ในน้ำ
2. กดปุ่ม **OPERATE/TEST** ไปที่ตำแหน่ง **OPERATE**
3. ปลดลอคและหมุนปรับ **DATUM ADJUST** ให้เข็มที่หน้าปัดของเครื่องรับสัญญาณอยู่ตำแหน่งกึ่งกลาง หรือค่าเป็นศูนย์
4. ล็อคปุ่ม **DATUM ADJUST**
5. ปรับเทียบเครื่องมือโดยเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ หาความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับความจุไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง
6. กำหนดระดับน้ำให้เท่ากับตอนที่ปรับค่าให้เป็นศูนย์ หากความจุไฟฟ้าที่แสดงไม่เท่ากับศูนย์อาจหมุนหมุนปรับ **DATUM ADJUST** เพียงเล็กน้อย ห้ามหมุนปรับมากเนื่องจากค่าปรับเทียบอาจผิดพลาดได้
7. ล็อคปุ่ม **DATUM ADJUST** อีกครั้ง
8. เริ่มทำการวัดได้จนกระทั่งปิดเครื่อง และห้ามไปหมุนปรับปุ่มใดๆ ระหว่างการวัดข้อมูล



ภาคผนวก ข

การเปรียบเทียบอุปกรณ์การทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ข

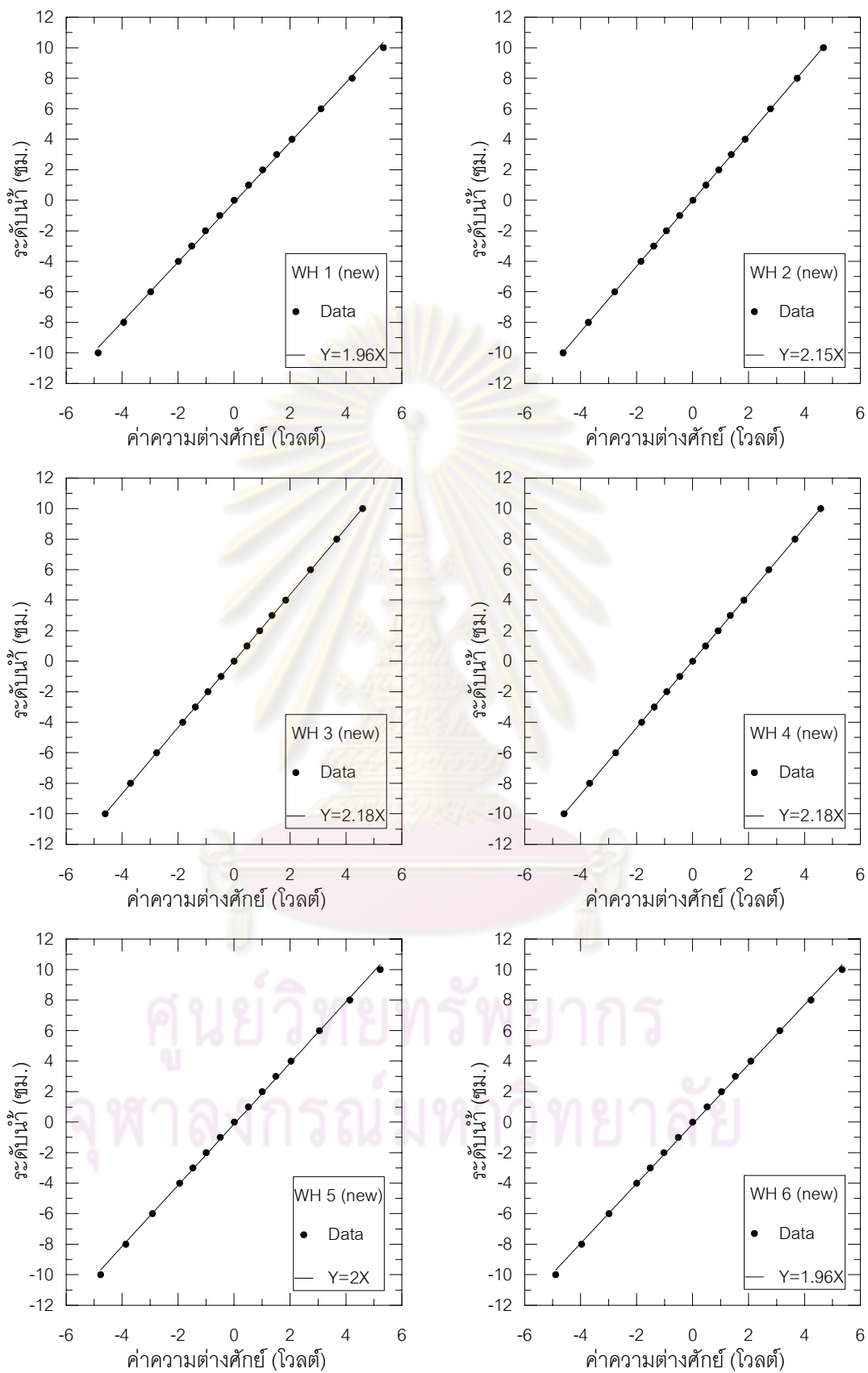
## การเปรียบเทียบอุปกรณ์การทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น

## ข-1 การเปรียบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่น

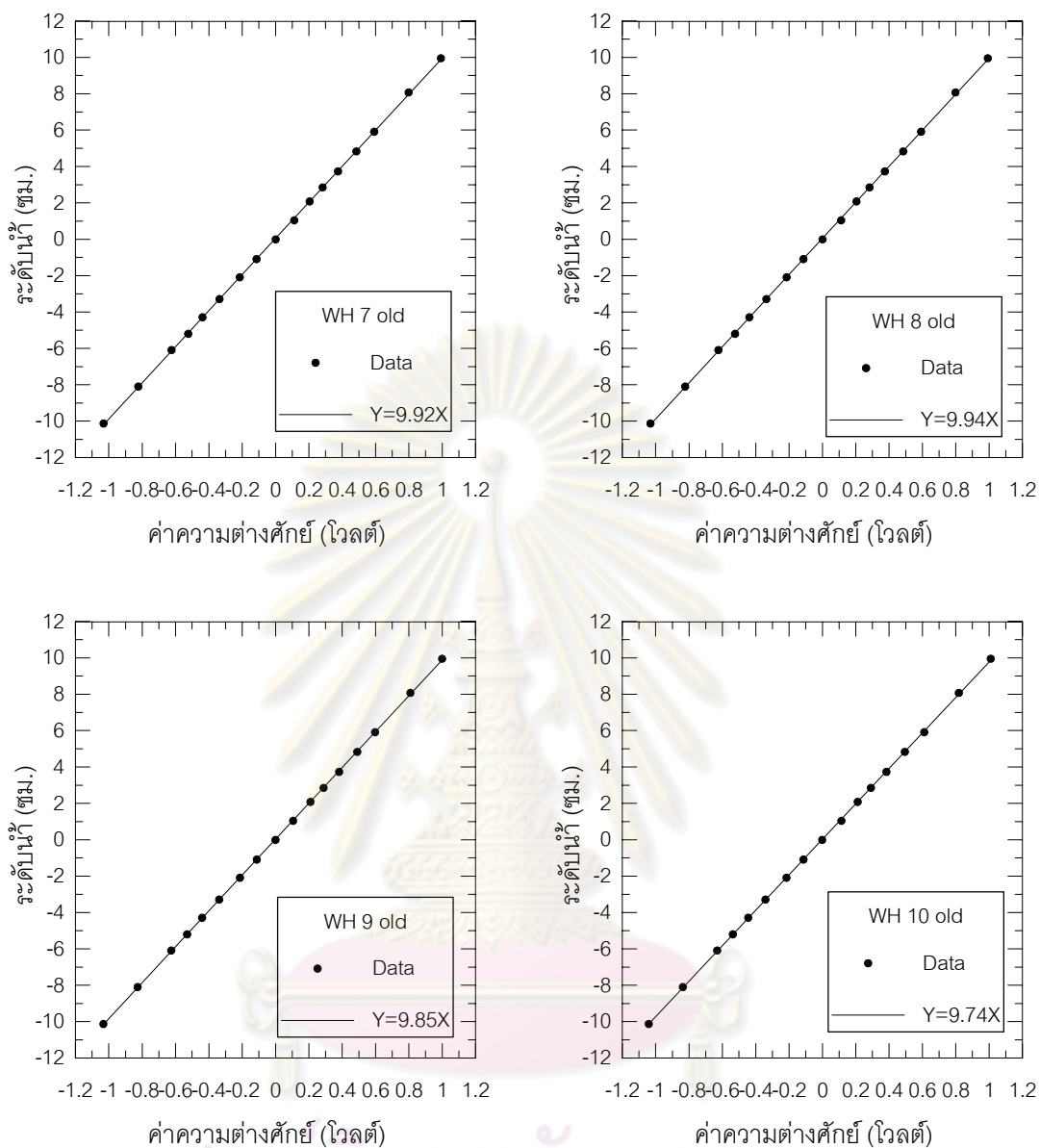
เครื่องมือวัดความสูงคลื่น (wave height meter) ใช้วัดความสูงคลื่น โดยหลักการทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้ก็คือ เป็นการวัดความจุไฟฟ้าบนเส้นลวดที่เปลี่ยนแปลงตามระยะที่จมในน้ำ โดยในการศึกษาทดลองครั้งนี้ใช้จำนวน 10 ตัว ซึ่งมี 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นเครื่องมือวัดความสูงคลื่น (ตัวใหม่) รุ่น Wave Probe Monitor ของบริษัท HR Wallingford จำนวน 6 ตัว ช่วงข้อมูลที่เครื่องทำการประมวลผลได้ อยู่ในช่วง  $\pm 10$  โวลต์ และแบบที่ 2 เป็นเครื่องมือวัดความสูงคลื่น (ตัวเก่า) รุ่น Capacitance Type Wave Height Measuring System provide with precision auto-zero function Model CH-403A & CHT4-40 ของบริษัท Kennek จำนวน 4 ตัว ช่วงข้อมูลที่เครื่องทำการประมวลผลได้ อยู่ในช่วง  $\pm 2.5$  โวลต์

ตารางที่ ข-1 การเปรียบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่น (wave height meter)

ระดับน้ำ (ซม.)	ค่าความต่างศักย์ (โวลต์)									
	ตัวใหม่						ตัวเก่า			
	WH 1	WH 2	WH 3	WH 4	WH 5	WH 6	WH 7	WH 8	WH 9	WH 10
10	5.76	5.69	5.42	5.66	5.54	6.04	0.99	1.01	1.00	1.01
8	4.55	4.49	4.28	4.47	4.38	4.77	0.80	0.82	0.81	0.82
6	3.33	3.29	3.13	3.27	3.22	3.49	0.59	0.59	0.60	0.61
5	2.78	2.75	2.62	2.74	2.68	2.92	0.49	0.48	0.49	0.49
4	2.21	2.18	2.08	2.18	2.14	2.33	0.38	0.38	0.38	0.38
3	1.63	1.62	1.54	1.61	1.59	1.72	0.28	0.28	0.29	0.29
2	1.12	1.10	1.05	1.10	1.08	1.18	0.20	0.20	0.21	0.21
1	0.52	0.51	0.48	0.51	0.50	0.55	0.11	0.10	0.11	0.11
0	-0.05	-0.05	-0.06	-0.05	-0.05	-0.05	0.00	-0.01	0.00	0.00
-1	-0.58	-0.57	-0.55	-0.57	-0.56	-0.60	-0.11	-0.12	-0.11	-0.11
-2	-1.12	-1.11	-1.08	-1.12	-1.10	-1.17	-0.21	-0.22	-0.21	-0.22
-3	-1.70	-1.67	-1.62	-1.68	-1.65	-1.77	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34
-4	-2.20	-2.16	-2.09	-2.17	-2.14	-2.29	-0.44	-0.45	-0.44	-0.45
-5	-2.74	-2.68	-2.59	-2.69	-2.66	-2.84	-0.52	-0.54	-0.53	-0.54
-6	-3.24	-3.18	-3.07	-3.19	-3.17	-3.37	-0.62	-0.63	-0.63	-0.63
-8	-4.25	-4.15	-4.04	-4.19	-4.24	-4.39	-0.82	-0.81	-0.83	-0.84
-10	-5.30	-5.15	-5.07	-5.26	-5.42	-5.43	-1.03	-0.98	-1.03	-1.04



รูปที่ ข-1 การเปรียบเทียบเครื่องวัดความสูงคลื่น (ตัวใหม่)



รูปที่ ข-2 การเปรียบเทียบเครื่องวัดความสูงคลื่น (ตัวเก่า)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

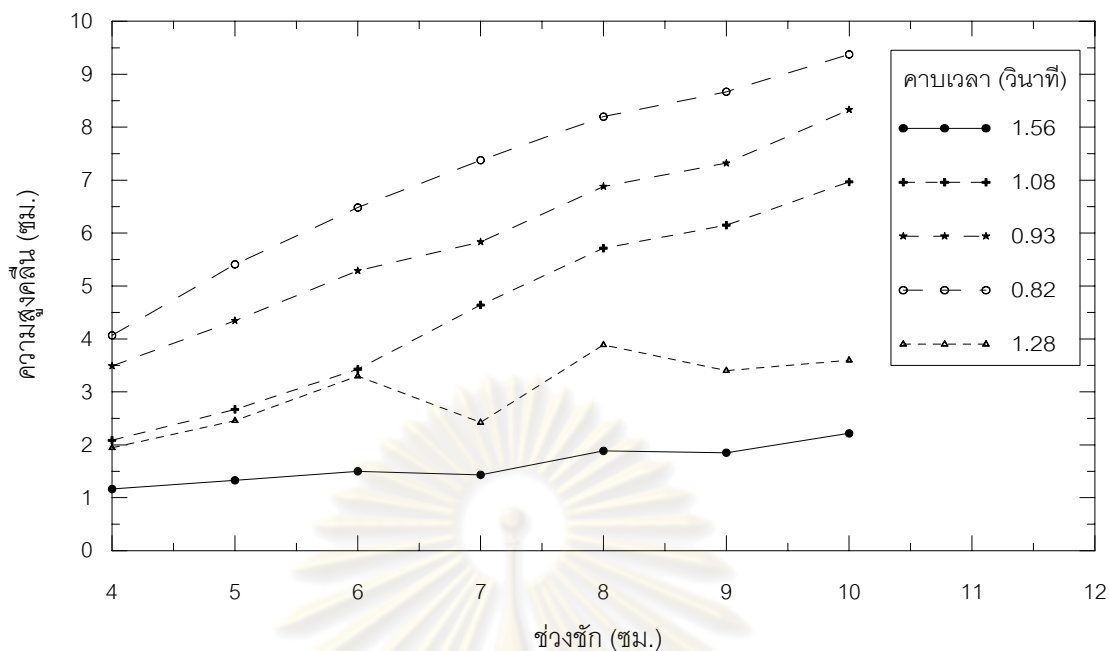
## ข-2 การเปรียบเทียบเครื่องกำเนิดคลื่น

เครื่องกำเนิดคลื่น (wave generator) มีโครงสร้างทั้งหมดทำด้วยเหล็กยกเว้นกระดานสร้างคลื่น (wave board) ทำด้วยพลาสติก ด้านล่างของกระดานสร้างคลื่นเป็นแบบ Hinge Connection ด้านบนต่อเข้ากับส่วนขับเคลื่อนสามารถโยกกลับไป-มาได้ เครื่องกำเนิดคลื่นนี้สามารถสร้างคลื่นที่มีความสูงและคาบเวลาตามต้องการ โดยคาบเวลาจะขึ้นอยู่กับความเร็วของมอเตอร์ ส่วนความสูงคลื่นนอกจากจะขึ้นอยู่กับความเร็วของมอเตอร์แล้วยังขึ้นอยู่กับระยะช่วงชักและความลึกน้ำ ดังนั้นในการทดลองจึงได้เปรียบเทียบเครื่องกำเนิดคลื่นเพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการกำหนดเงื่อนไขของคลื่นที่ใช้ในการทดลอง ความลึกของน้ำบริเวณติดตั้งเชื่อมกันคลื่นซึ่งลึก 30 ซม. ทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์และระยะช่วงชัก วัดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามเวลาด้วยเครื่องมือวัดความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งติดตั้งเชื่อมกันคลื่น คำนวณความสูงคลื่นและคาบเวลาโดยใช้โปรแกรมภาษา MATLAB (ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ ข-3) ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ ข-2 และรูปที่ ข-3

ตารางที่ ข-2 ผลการเปรียบเทียบเครื่องกำเนิดคลื่น

ความเร็ว มอเตอร์ (เฮิร์ตซ์)	คาบเวลา T (วินาที)	ระยะช่วงชัก (ซม.)				
		4	5	6	7	8
		H (ซม.)	H (ซม.)	H (ซม.)	H (ซม.)	H (ซม.)
13	1.56	1.16	1.33	1.50	1.43	1.89
16	1.28	1.94	2.46	3.30	2.42	3.89
19	1.08	2.09	2.67	3.43	4.64	5.71
22	0.93	3.49	4.35	5.29	5.83	6.88
25	0.82	4.07	5.41	6.48	7.38	8.20

H คือ ความสูงคลื่น



รูปที่ ข-3 การเปรียบเทียบเครื่องกำเนิดคลื่น

### ข-3 การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น

ลักษณะคลื่นที่ได้จากการสร้างคลื่นในแบบจำลองแอ่งคลื่น สามารถวัดข้อมูลได้ด้วยเครื่องมือวัดความสูงคลื่น ซึ่งเครื่องมือวัดความสูงคลื่นจะวัดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามเวลาแล้วส่งสัญญาณอนาล็อกเข้าสู่เครื่องรับสัญญาณ แล้วส่งต่อเข้าสู่การ์ดแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลแสดงผลทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ข้อมูลที่ได้ประกอบด้วยระดับน้ำกับเวลา

จากนั้นนำข้อมูลระดับน้ำกับเวลาไปวิเคราะห์จะได้ความสูงคลื่นและคาบเวลาของคลื่นแต่ละลูก จำนวนของลูกคลื่นจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่วัดข้อมูล จะเห็นได้ว่าในแต่ละตำแหน่งวัดข้อมูลจะมีคลื่นหลายลูก ดังนั้นเพื่อหาตัวแทนของข้อมูลคลื่นในแต่ละตำแหน่งจะนำข้อมูลความสูงคลื่นและคาบเวลาของคลื่นแต่ละลูกไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยการคำนวณหาความสูงคลื่นและคาบเวลา รวมถึงการวิเคราะห์ทางสถิติใช้โปรแกรมภาษา MATLAB ซึ่งตัวอย่างได้แสดงไว้ท้ายภาคผนวกนี้



## ตัวอย่างโปรแกรมการคำนวณคลื่น

Program wave analysis by Vanvisa Mama

```

clear all; clc;
Data = xlsread('C:\Documents and
Settings\JuneJa\Desktop\Runfront\POng\outputWF4\A1\A1WF4S3\dataA1WF4S3.xls');

[row, col] = size(Data);

MUL_VAR = [1.803, 1.844, 1.905, 1.834, 1.834, 1.740, 9.74, 9.92, 9.92, 9.92];

for kk = 1:col
    maxVar(1) = 0;
    minVar(1) = 0;
    count(kk) = 1;
    t(1) = 0;
    changeWave = 0;
    loopCount = 0;
    countChange = 30;

    Data(:,kk) = Data(:,kk) * MUL_VAR(kk);

    rmsVar(3*kk-2) = 0;
    rmsVar(3*kk-1) = 0;
    rmsVar(3*kk) = 0;

    avgVar(3*kk-2) = 0;
    avgVar(3*kk-1) = 0;
    avgVar(3*kk) = 0;

    for ii = 2:(row-5)
        data = Data(ii,kk);
        tempdata = Data(ii+5,kk);

        if (countChange <= 5)
            countChange = countChange - 1;
            t(count(kk)) = t(count(kk)) + 0.01;
            if (countChange == 0)
                countChange = 30;
            end
            continue;
        end

        if ((data < 0) && (tempdata > 0))
            changeWave = 1;
            countChange = 5;
        end

        if ((data > 0) && (tempdata < 0))
            changeWave = 2;
            countChange = 5;
        end
    end
end

```

```

end

if (changeWave == 1)
    changeWave = 0;
    loopCount = loopCount + 1;
end

if (changeWave == 2)
    changeWave = 0;
    loopCount = loopCount + 1;
end

if (loopCount == 2)
    count(kk) = count(kk) + 1;
    t(count(kk)) = 0;
    minVar(count(kk)) = 0;
    maxVar(count(kk)) = 0;
    loopCount = 0;
end

if (data < minVar(count(kk)))
    minVar(count(kk)) = data;
elseif (data > maxVar(count(kk)))
    maxVar(count(kk)) = data;
end
height(count(kk)) = maxVar(count(kk)) - minVar(count(kk));
t(count(kk)) = t(count(kk)) + 0.01;
end

for ii = 2:(count(kk)-1)
    result(ii-1,(3*kk)-2) = ii;
    result(ii-1,(3*kk)-1) = height(ii);
    result(ii-1,(3*kk)) = t(ii);

    rmsVar(3*kk-1) = rmsVar(3*kk-1) + (height(ii) ^ 2);
    rmsVar(3*kk) = rmsVar(3*kk) + (t(ii) ^ 2);

    avgVar(3*kk-1) = avgVar(3*kk-1) + height(ii);
    avgVar(3*kk) = avgVar(3*kk) + t(ii);
end

rmsVar(3*kk-1) = sqrt(rmsVar(3*kk-1)/(count(kk)-2));
rmsVar(3*kk) = sqrt(rmsVar(3*kk)/(count(kk)-2));

avgVar(3*kk-1) = avgVar(3*kk-1)/(count(kk)-2);
avgVar(3*kk) = avgVar(3*kk)/(count(kk)-2);

countSun(kk) = round((count(kk) * 0.33));

end

maxData = max(result);

```

```

[row2,col2] = size(result);
for ii = 1:col2
    minTemp = 100000;
    for jj = 1:row2
        if ((result(jj,ii) < minTemp) && (result(jj,ii) ~= 0))
            minTemp = result(jj,ii);
            minData(ii) = minTemp;
        end
    end
end

tempResult = sort(result,'descend');
for ii = 1:col
    sunHight(3*ii) = 0;
    sunHight(3*ii-1) = 0;
    sunHight(3*ii-2) = 0;
    for jj = 1:(countSun(ii))
        sunHight(3*ii-1) = sunHight(3*ii-1) + tempResult(jj,(3*ii-1));
    end
    sunHight(3*ii-1) = (sunHight(3*ii-1)/countSun(ii));
end

compareData = [maxData; minData; rmsVar; avgVar; sunHight];

compareDataSize = size(compareData);

count = 1;
for ii = 2:3:compareDataSize(2)
    sumRmsVarHeight(count) = rmsVar(ii);
    sumRmsVarPerious(count) = rmsVar(ii+1);
    count = count + 1;
end

count = count - 1;

avgRmsVarHeight = sum(sumRmsVarHeight)/count;
avgRmsVarPerious = sum(sumRmsVarPerious)/count;

tempAvgRms = [sumRmsVarHeight, avgRmsVarHeight; sumRmsVarPerious,
avgRmsVarPerious]';

for ii = 1:compareDataSize(2)
    noDataVar(ii) = -99;
    if (ii>2)
        for jj = 1:(count+1)
            tempAvgRms(jj,ii) = -99;
            tempAvgRms(jj,ii) = -99;
        end
    end
end

compareData = [compareData; noDataVar; tempAvgRms];

```

```
xlswrite('C:\Documents and  
Settings\JuneJa\Desktop\Runfront\POng\outputWF4\A1\A1WF4S3\result_A1WF4S3.xls',  
result);  
xlswrite('C:\Documents and  
Settings\JuneJa\Desktop\Runfront\POng\outputWF4\A1\A1WF4S3\compare_result_A1WF4S3.  
xls', compareData);
```



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค  
การตรวจสอบคลื่นในอ่างคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ค

### การตรวจสอบคลื่นในอ่างคลื่น

ในส่วนนี้เป็นการกล่าวถึงการตรวจสอบคลื่นในแบบจำลองอ่างคลื่น ความจำเป็นในการตรวจสอบคลื่น อันเนื่องมาจาก การศึกษาผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม ที่มีต่อลักษณะคลื่นบริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่น ได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงความสูงของคลื่นในแต่ละตำแหน่งหลังเขื่อนกันคลื่น โดยเปรียบเทียบความสูงของคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่นกับกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น ซึ่งการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นทั้ง 2 กรณี อยู่บนสมมติฐานที่ว่า ลักษณะของคลื่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา จึงทำให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลในช่วงเวลาที่แตกต่างกันได้ เหมือนเป็นช่วงเวลาเดียวกัน แต่การทดลองที่ใช้เวลานานอาจทำให้ลักษณะของคลื่นแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา จึงจำเป็นต้องตรวจสอบลักษณะของคลื่นในแต่ละช่วงเวลา นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับระยะทาง

การตรวจสอบคลื่นในแบบจำลองอ่างคลื่น จะประกอบด้วย การตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับเวลา และการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับระยะทาง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### ค-1 การตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย เครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter) และเครื่องกำเนิดคลื่น (wave generator) ซึ่งในการทดลองจำเป็นต้องตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ เพื่อทราบถึงความถูกต้องของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนนำไปใช้งาน

##### ค-1.1 เครื่องวัดความสูงคลื่น

เครื่องวัดความสูงคลื่น ถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญในการศึกษาเรื่องคลื่น เนื่องจากลักษณะคลื่นในอ่างคลื่นไม่สามารถวัดได้โดยตรง จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือวัดความสูงคลื่น ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องวัดความสูงคลื่น จะวัดระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา โดยแสดงผลเป็นค่าความจุไฟฟ้า (voltage) หากต้องการทราบค่าระดับน้ำต้องปรับค่าดังกล่าวด้วยตัวคูณปรับค่า (factor) จากค่าความจุไฟฟ้าเป็นค่าระดับน้ำ ที่ได้จากการปรับเทียบระหว่างค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงกับค่าความจุไฟฟ้า

การดำเนินการทดลองได้ใช้เครื่องวัดความสูงคลื่นพร้อมกันหลายตัว และใช้เวลาในการทดลองค่อนข้างนาน (ประมาณ 12 ถึง 14 ชั่วโมงต่อเนื่อง) อาจมีปัญหาเครื่องวัดแต่ละตัวให้ค่าของการวัดที่ไม่เท่ากัน อีกทั้งอาจเกิดปัญหาความล้าของเครื่องมือที่ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน

### ค-1.1.1 การตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องวัดความสูงคลื่น

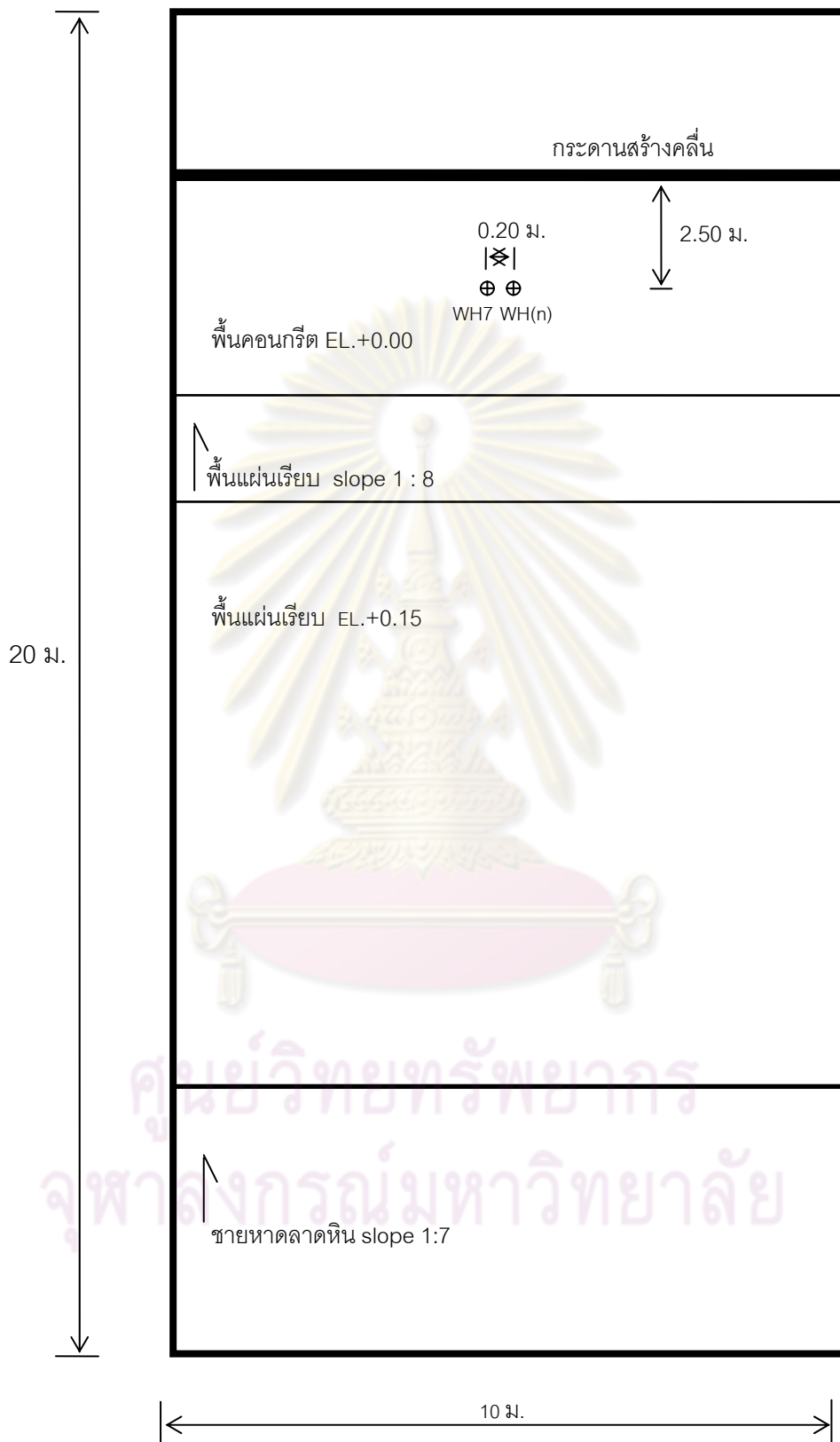
ในการทดลองได้ใช้เครื่องวัดความสูงคลื่นทั้งสิ้น 10 ตัว แบ่งออกเป็น ตัวใหม่ 6 ตัว (WH1 ถึง WH6) และตัวเก่า 4 ตัว (WH7 ถึง WH10) จึงจำเป็นต้องตรวจสอบการให้ค่าของเครื่องมือแต่ละตัว โดยเลือกตัวเปรียบเทียบขึ้นมา 1 ตัว คือ เครื่องวัดความสูงตัวเก่า (WH7) เนื่องจากมีความอ่อนไหวค่อนข้างต่ำกว่าเครื่องวัดตัวใหม่ มาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดตัวอื่นๆ อีก 9 ตัว

การทดสอบจะดำเนินการที่ละ 2 ตัว คือตัวเปรียบเทียบกับตัวทดสอบ เพื่อให้สามารถติดตั้งเครื่องวัดในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด และเครื่องวัดทั้ง 2 ไม่ส่งผลต่อกัน กำหนดระยะห่าง 0.20 ม. ดังแสดงในรูปที่ ค-1 และผลการทดสอบดังตารางที่ ค-1

ตารางที่ ค-1 การเปรียบเทียบเครื่องวัดความสูงคลื่นแต่ละตัว (WH(n)) กับตัวเปรียบเทียบ (WH7)

No.	ความสูงคลื่นของตัวทดสอบ, $H_n$ (cm)	ความสูงคลื่นของตัวเปรียบเทียบ, $H_7$ (cm)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
WH1	7.76	7.94	-2.3
WH2	7.55	7.78	-3.1
WH3	7.52	7.50	0.3
WH4	7.75	7.55	2.6
WH5	7.78	7.63	1.9
WH6	7.21	7.45	-3.3
WH7	-	-	-
WH8	7.43	7.48	-0.7
WH9	7.51	7.71	-2.7
WH10	7.44	7.34	1.3

จากตารางที่ ค-1 จะเห็นได้ว่า เครื่องวัดความสูงคลื่นแต่ละตัวให้ผลของความสูงคลื่นแตกต่างจากตัวเปรียบเทียบเล็กน้อย อันเกิดจากลักษณะของสันคลื่นในแอ่งคลื่นมีความสูงไม่เท่ากัน ในส่วนของคาบเวลาของคลื่นนั้นเท่ากัน กล่าวได้ว่า เครื่องวัดความสูงคลื่นแต่ละตัวให้ค่าในการวัดที่ไม่มีความแตกต่างกัน



รูปที่ ค-1 ตำแหน่งสำหรับการเปรียบเทียบเครื่องวัดความสูงคัลน์

### ค-1.1.2 การตรวจสอบความล้าของเครื่องวัดความสูงคลื่น

การทดลองได้ใช้เวลาค่อนข้างนาน (ประมาณ 12 ถึง 14 ชั่วโมงต่อเนื่อง) ทำให้เครื่องวัดต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง อาจก่อให้เกิดความล้าของเครื่องวัด ซึ่งส่งผลต่อการแสดงผลให้มากกว่าหรือน้อยกว่าความเป็นจริง ทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

การตรวจสอบความล้าของเครื่องมือได้พิจารณาจากตัวคูณปรับค่าความจุไฟฟ้าเป็นค่าระดับน้ำก่อนหลังการทำงานต่อเนื่อง 14 ชั่วโมง ซึ่งหากเครื่องวัดให้ค่าที่ผิดเพี้ยนไปจากก่อนการทำงานจะส่งผลให้ค่าตัวคูณปรับค่าก่อนและหลังการทดลองแตกต่างกัน จากการทดสอบเปรียบเทียบค่าตัวคูณปรับค่าก่อนและหลังการทำงานของเครื่องวัดแสดงดังตารางที่ ค-2

ตารางที่ ค-2 ค่าตัวคูณแปลงค่าความจุไฟฟ้าเป็นค่าระดับน้ำก่อนและหลังการทำงาน 14 ชั่วโมง

No.	ค่าตัวคูณแปลงค่าความจุไฟฟ้าเป็นค่าระดับน้ำ		เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	
WH1	1.780	1.782	-0.1
WH2	1.742	1.746	-0.2
WH3	1.807	1.810	-0.2
WH4	1.793	1.798	-0.3
WH5	1.692	1.684	0.5
WH6	1.756	1.758	-0.1
WH7	9.816	9.825	-0.1
WH8	9.979	10.050	-0.7
WH9	9.752	9.831	-0.8
WH10	9.752	9.832	-0.8

จากตารางที่ ค-2 จะเห็นได้ว่า ค่าตัวคูณปรับค่าก่อนและหลังการทำงานต่อเนื่อง ให้ผลที่แตกต่างกันเล็กน้อย อันน่าจะเกิดจากอุณหภูมิของน้ำที่แตกต่างกันและมีผลจากความล้า ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตได้ให้รายละเอียดในเรื่องของความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากอุณหภูมิของน้ำและความล้าอยู่ในช่วงของความถูกต้องประมาณ  $\pm 2$  เปอร์เซ็นต์

## ค-1.2 เครื่องกำเนิดคลื่น

เครื่องกำเนิดคลื่น อาจมีปัญหาในเรื่องของกระแสไฟที่ไม่สม่ำเสมอในช่วงเวลาของการทดลอง อาจส่งผลให้ลักษณะของคลื่นแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกัน ซึ่งกระแสไฟไม่คงที่จะส่งผลให้คาบเวลาของคลื่นเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน แต่จากการทดสอบ พบว่า ลักษณะคลื่นในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของคาบเวลาของคลื่น แสดงว่า กระแสไฟในการทดลองนั้นคงที่ตลอดการทดลอง

## ค-2 การเปลี่ยนแปลงคลื่นกับเวลา

การทดลองเชื่อมกันคลื่นทั้ง 12 ตัว ใช้เวลาในการทดลองแต่ละตัวประมาณ 1 ชั่วโมง รวมเวลาทั้งสิ้น 12 ถึง 14 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาในการทดลองค่อนข้างนาน อาจส่งผลให้ลักษณะของคลื่นในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกัน สาเหตุมาจากลักษณะของห้องน้ำ การสะท้อนต่างๆ เป็นต้น รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความล้าของเครื่องวัดความสูงคลื่น (ความถูกต้องประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งส่งผลต่อการเปรียบเทียบผลของแต่ละรูปแบบการจัดเรียงให้เกิดความคลาดเคลื่อน หรือแม้แต่ข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของเชื่อมกันคลื่นแต่ละตัวก็อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากเครื่องวัดความสูงคลื่นมีจำนวนจำกัดไม่เพียงพอกับตำแหน่งที่ต้องการวัด จึงทำให้ต้องหวัดหลายๆ รอบ ซึ่งช่วงเวลาต่างกัน

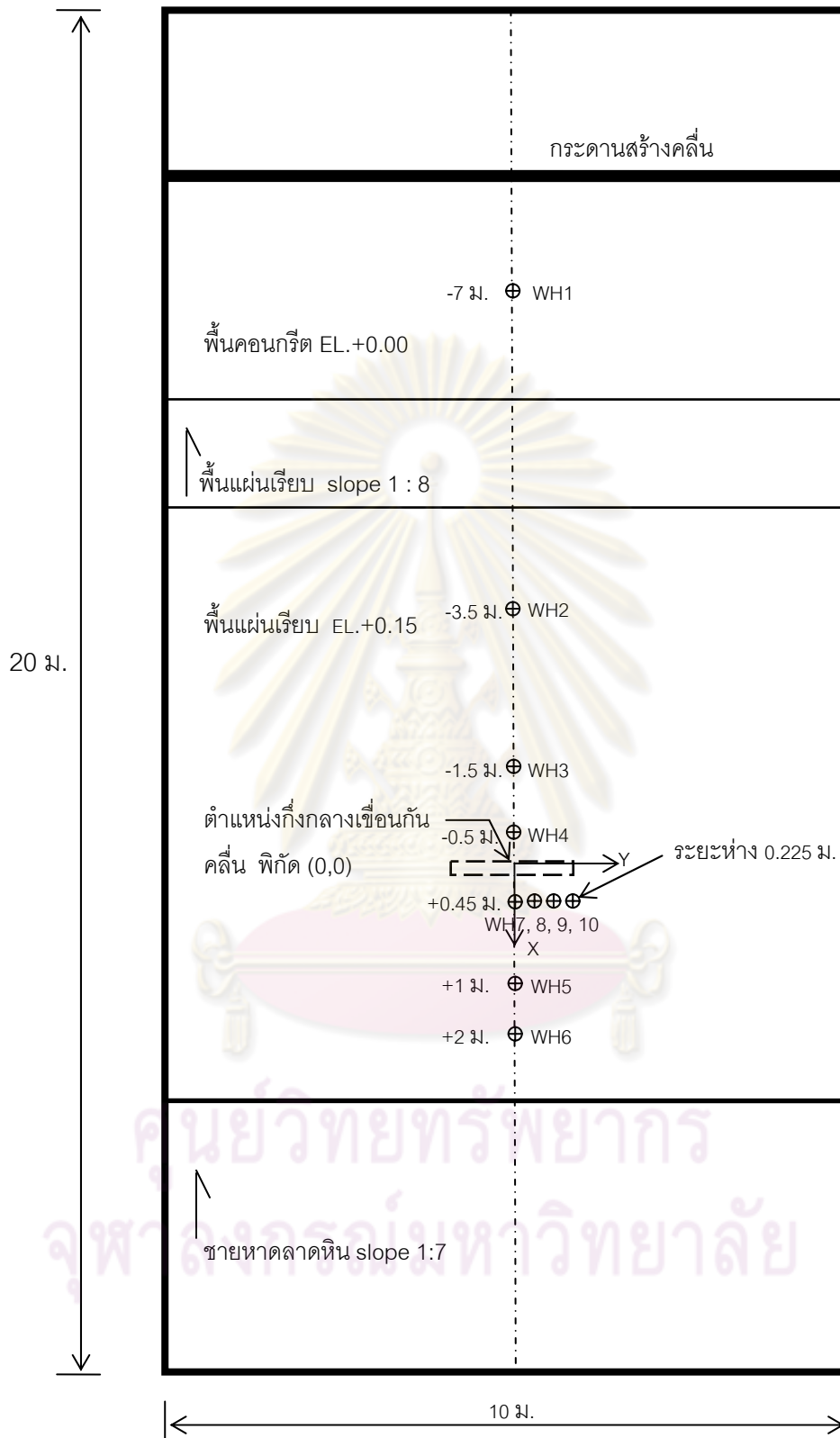
ดังนั้นในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นกับเวลา ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การเปลี่ยนแปลงคลื่นในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง และการเปลี่ยนแปลงคลื่นในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง

### ค-2.1 การเปลี่ยนแปลงคลื่นในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

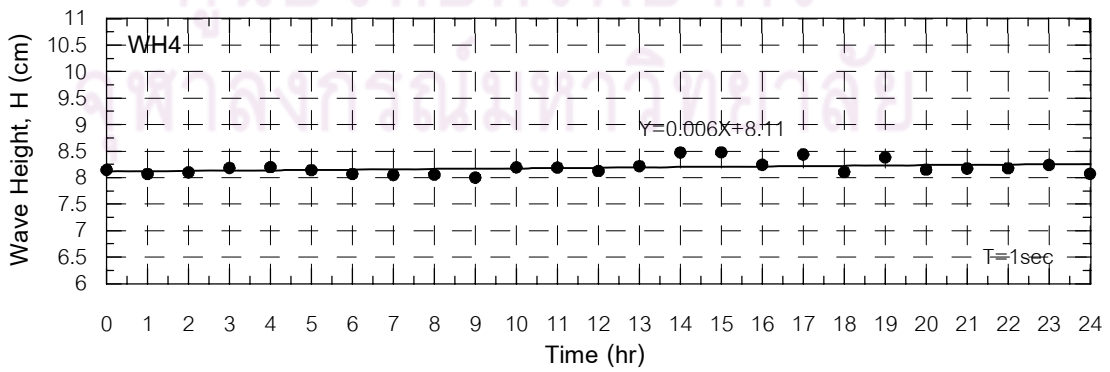
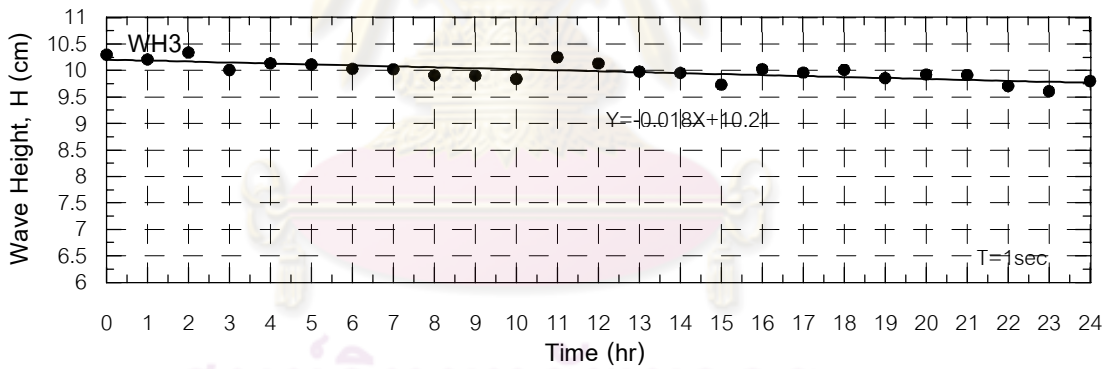
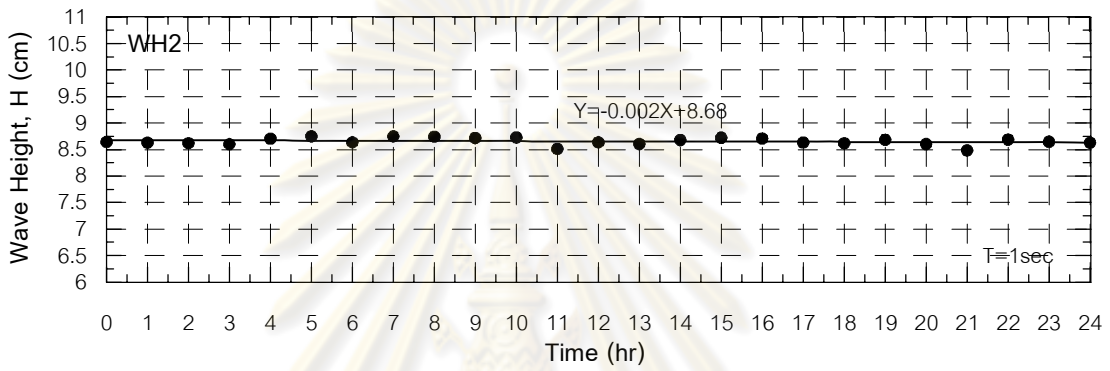
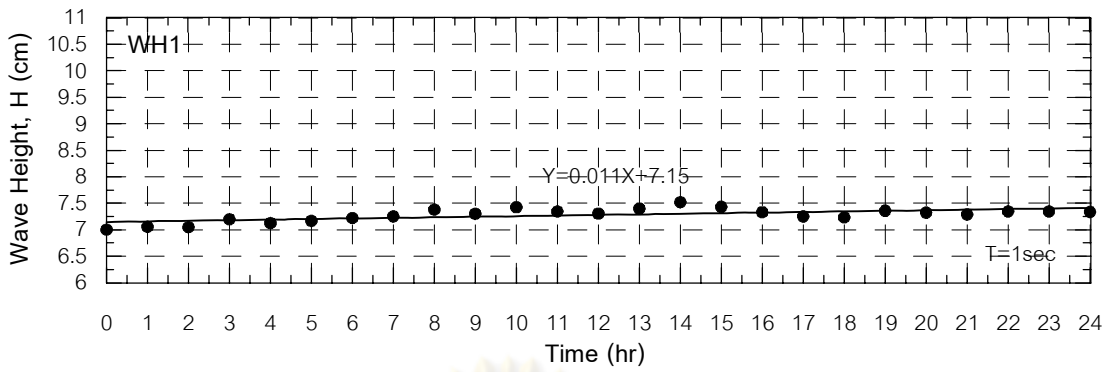
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบลักษณะของคลื่นในแต่ละชั่วโมง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของคลื่นในแต่ละชั่วโมง ส่งผลต่อการเปรียบเทียบผลของเชื่อมกันคลื่นแต่ละตัวได้

ในการตรวจสอบได้ทดลองโดยวัดความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ในอ่างคลื่น ดังแสดงในรูปที่ ค-2 โดยเก็บข้อมูลเป็นเวลา 5 นาที ทุกๆ ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์หาความสูงคลื่นเฉลี่ยด้วยวิธีสถิติ ผลของการเปลี่ยนแปลงคลื่นแสดงดังรูปที่ ค-3 และสรุปดังตารางที่ ค-3

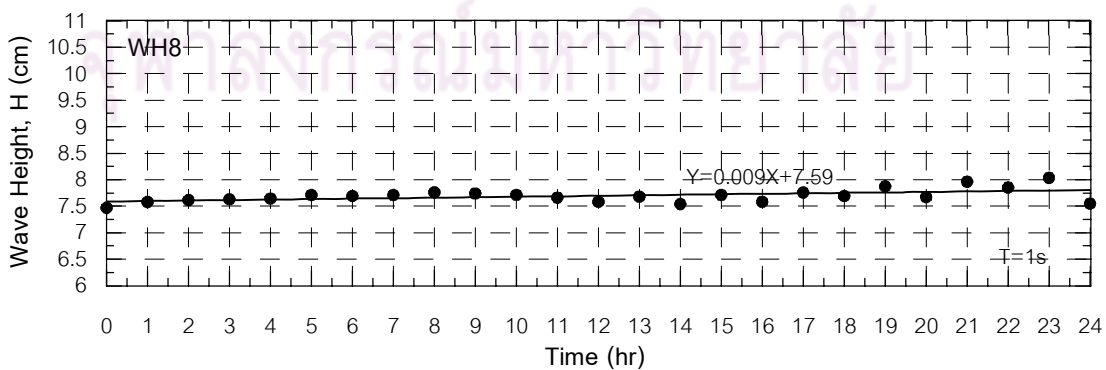
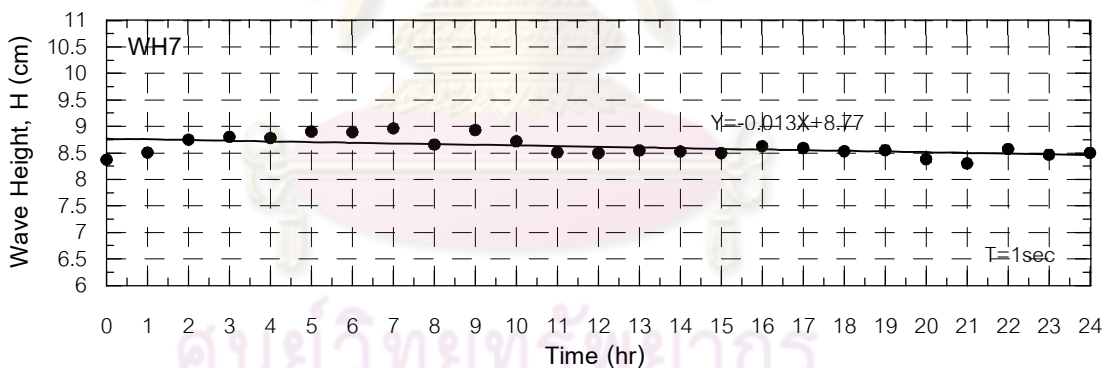
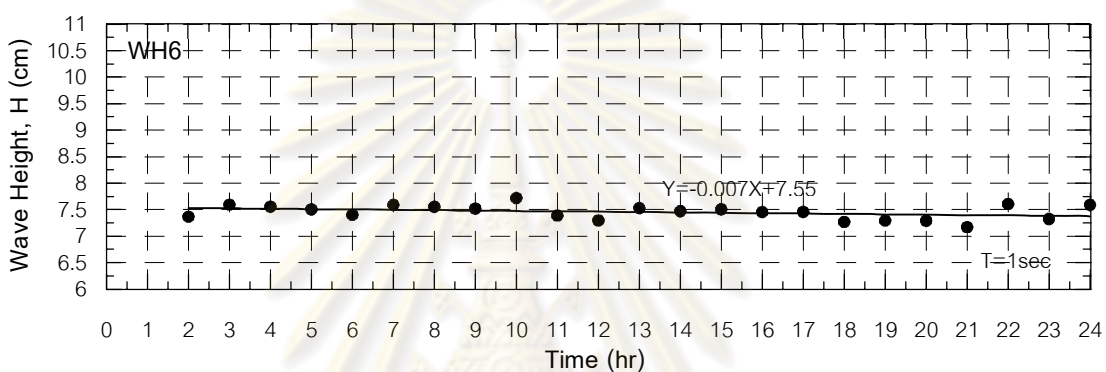
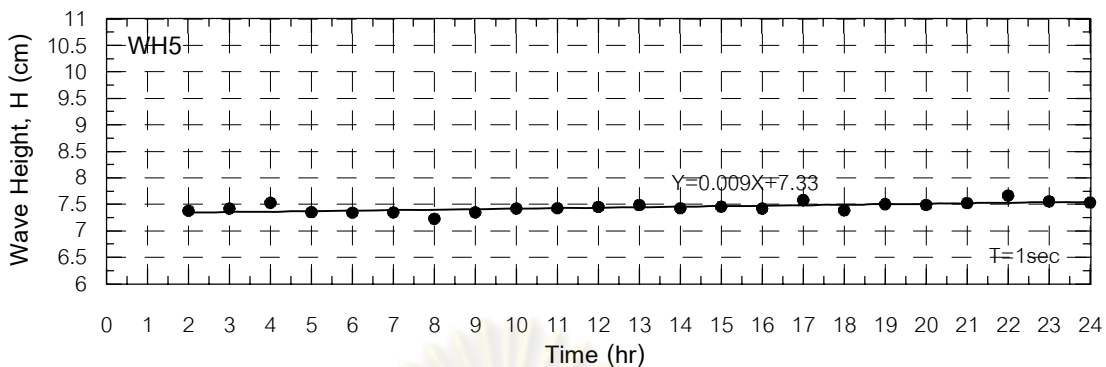




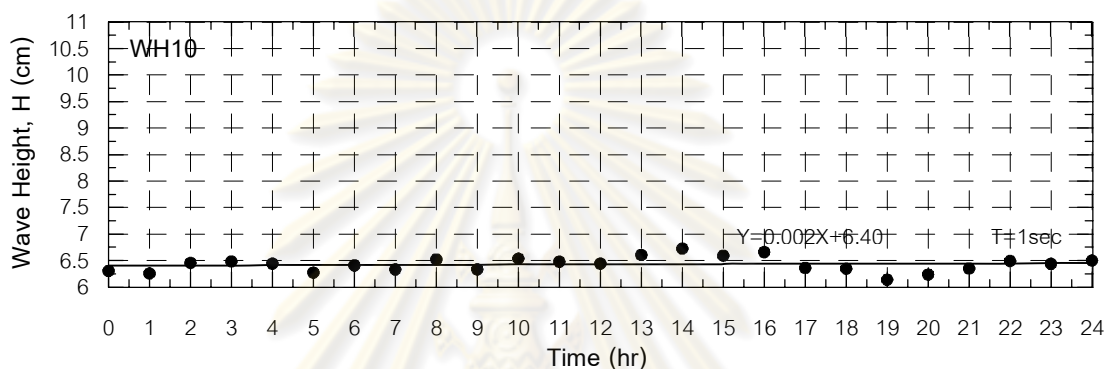
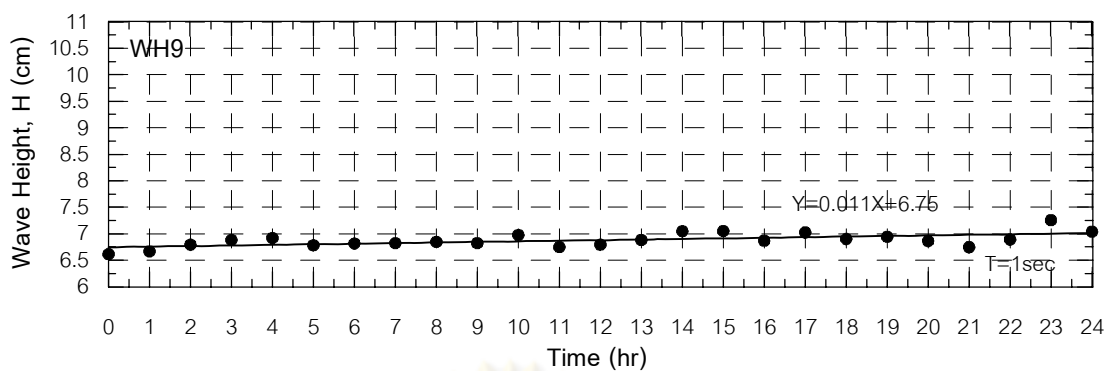
รูปที่ ค-2 ตำแหน่งเครื่องวัดความสูงคลื่นสำหรับการทดลองการเปลี่ยนแปลงคลื่น ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ ค-3 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับเวลาในช่วง 24 ชั่วโมง



รูปที่ ค-3 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับเวลาในช่วง 24 ชั่วโมง (ต่อ)



รูปที่ ค-3 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับเวลาในช่วง 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ตารางที่ ค-3 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

Wave height	Max (cm)	Min (cm)	Average (cm)	Std (cm)	(Std/Average) × 100 %
WH1	7.52	7.00	7.28	0.13	1.7
WH2	8.75	8.48	8.65	0.07	0.8
WH3	10.34	9.61	9.99	0.18	1.8
WH4	8.48	8.00	8.19	0.13	1.6
WH5	7.66	7.23	7.45	0.10	1.3
WH6	7.72	7.17	7.45	0.14	1.8
WH7	8.96	8.30	8.62	0.18	2.1
WH8	8.03	7.47	7.70	0.13	1.7
WH9	7.26	6.62	6.88	0.14	2.0
WH10	6.73	6.14	6.43	0.14	2.2
average					1.7

จากรูปที่ ค-3 พบว่า ข้อมูลความสูงคลื่นของเครื่องวัดความสูงคลื่นแต่ละตัวมีแนวโน้มของข้อมูลแตกต่างกัน โดยตัวที่ 1, 4, 5, 8, 9 และ 10 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนตัวที่ 2, 3, 6 และ 7 มีแนวโน้มลดลง ถึงแม้ว่าแนวโน้มจะแตกต่างกันแต่จะเห็นได้ว่า ความลาดชันของเส้นแนวโน้มของเครื่องวัดความสูงคลื่นแต่ละตัวมีค่อนข้างน้อย จากความลาดชันของเส้นแนวโน้มหากพิจารณาความแตกต่างของข้อมูลคลื่นชั่วโมงที่ 1 กับชั่วโมงที่ 14 (เวลาในการทดลองสูงสุดประมาณ 14 ชั่วโมง) จะมีความแตกต่างประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากข้อจำกัดของเครื่องวัดความสูงคลื่นที่มีความถูกต้อง  $\pm 2$  เปอร์เซ็นต์ จึงกล่าวได้ว่า ลักษณะของคลื่นค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดเวลา 24 ชั่วโมง

ถึงแม้ว่าจากเส้นแนวโน้มแสดงให้เห็นถึงลักษณะของคลื่นค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่เมื่อพิจารณาจุดข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา พบว่า มีลักษณะขึ้น-ลง ซึ่งแสดงค่าต่างๆ ในตารางที่ ค-3 จะเห็นได้ว่า ข้อมูลความสูงคลื่นของเครื่องวัดแต่ละตัวอยู่บนความผันผวนของข้อมูลเฉลี่ยประมาณ  $\pm 1.7$  เปอร์เซ็นต์

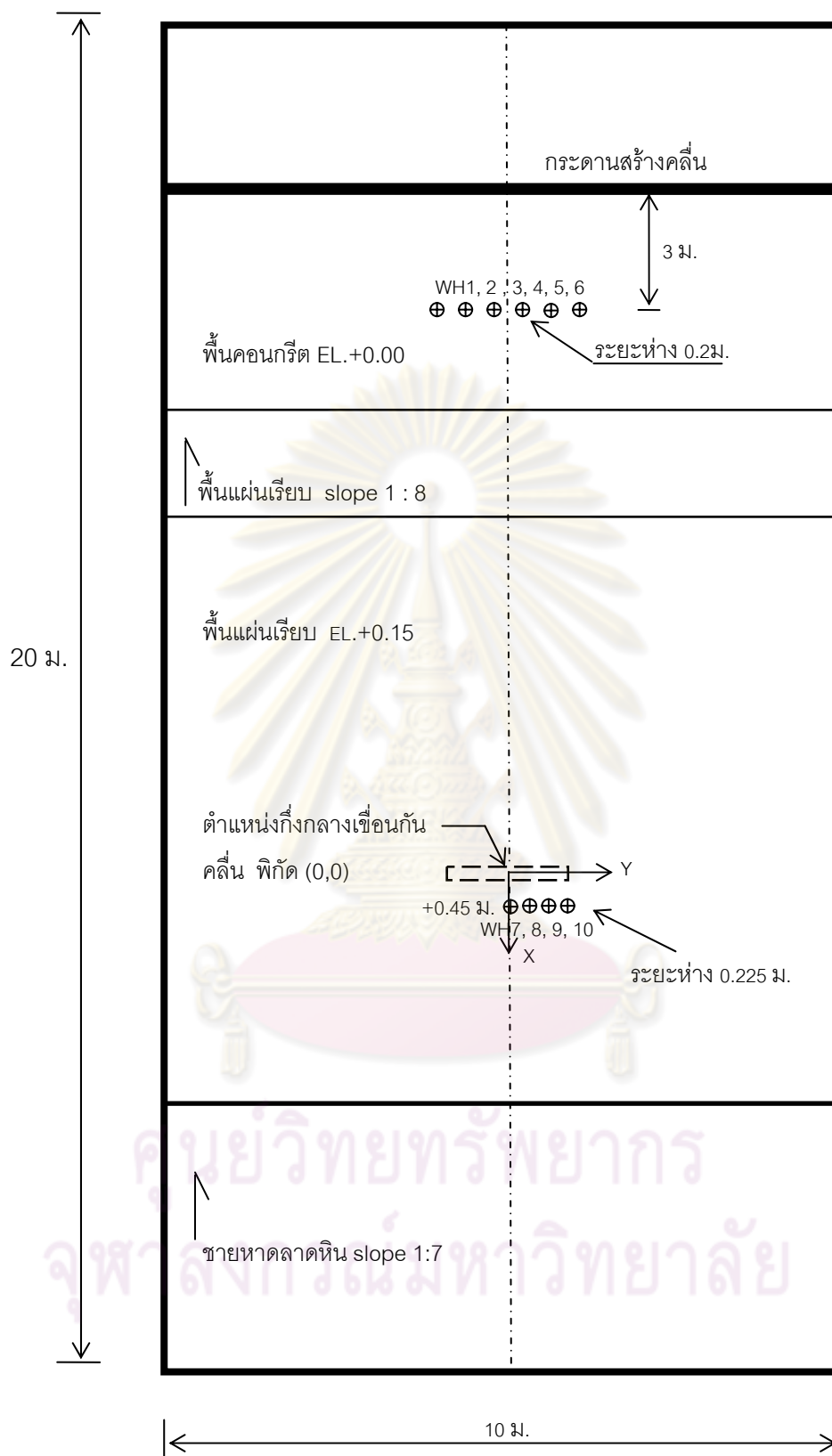
จากการตรวจสอบลักษณะของคลื่นในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลคลื่นในการทดลองมีความผันผวนประมาณ  $\pm 1.7$  เปอร์เซ็นต์ กล่าวได้ว่า ผลของการเปรียบเทียบเงื่อนไขคลื่นแต่ละรูปแบบ อยู่บนความผันผวนของข้อมูลสูงสุดประมาณ  $\pm 1.7$  เปอร์เซ็นต์

## ค-2.2 การเปลี่ยนแปลงคลื่นในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง

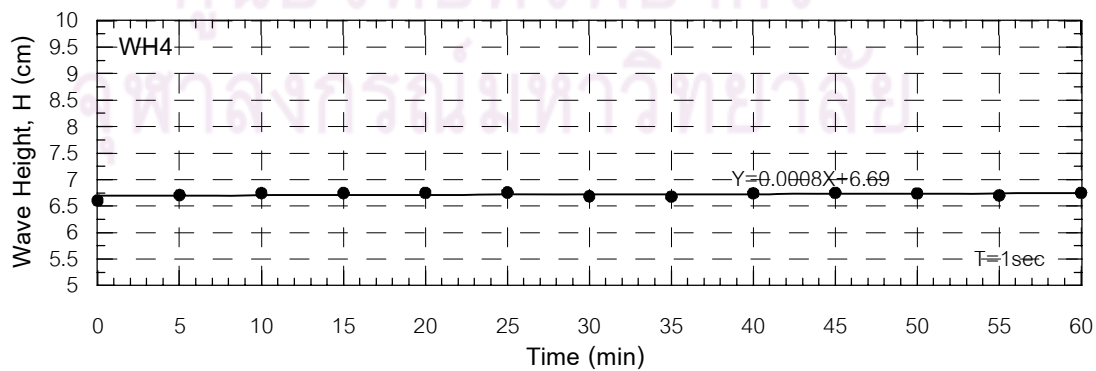
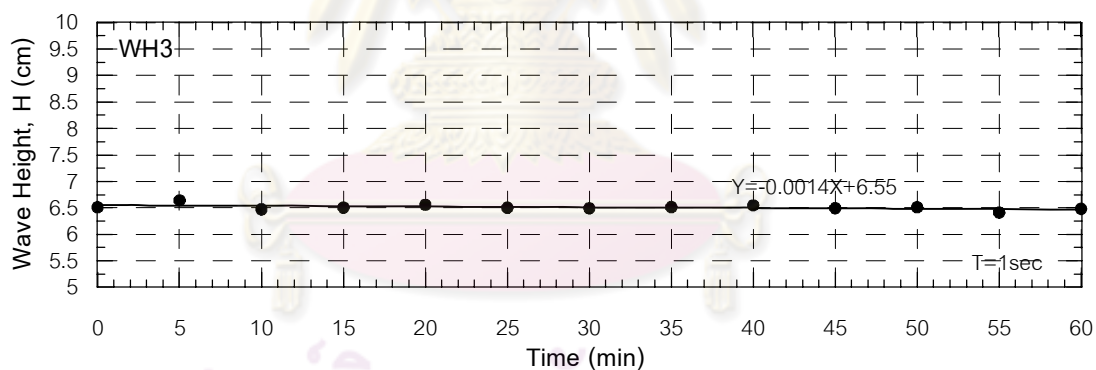
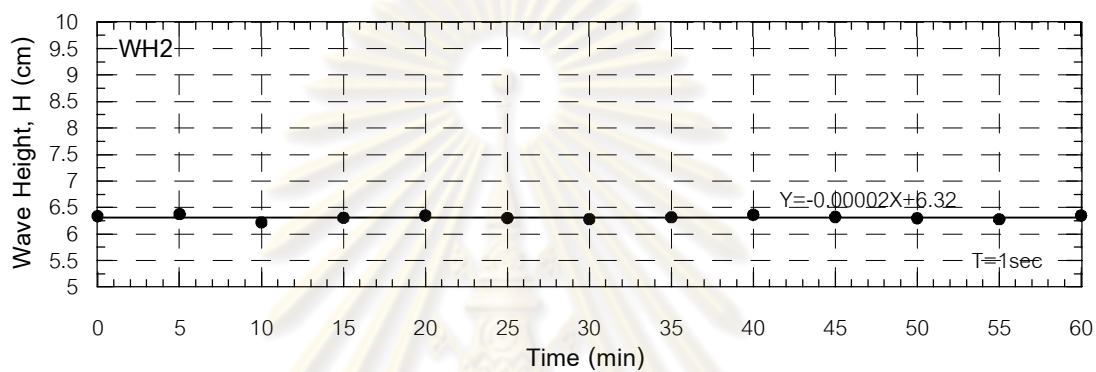
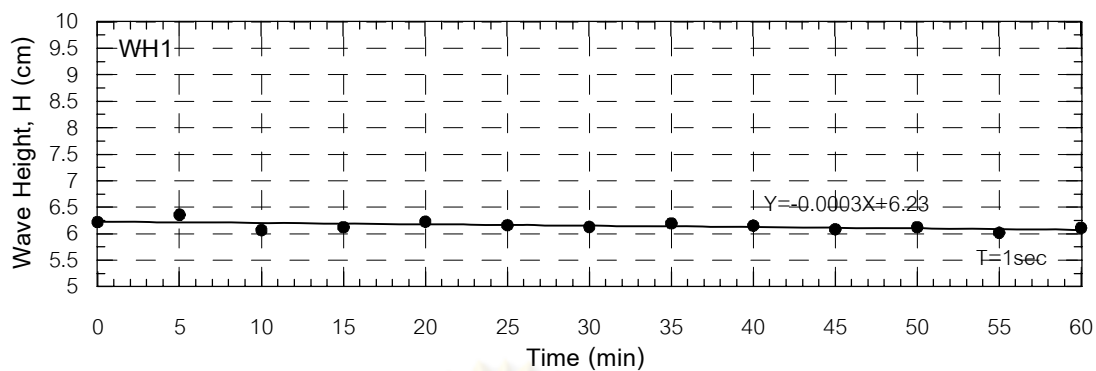
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบลักษณะของคลื่นภายในเวลา 1 ชั่วโมง เนื่องจากการทดลองเชื่อมกันคลื่นแต่ละตัวใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง และมีการวัดข้อมูลหลายรอบเนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือ ซึ่งส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่เป็นคนละเวลากัน

ในการตรวจสอบได้ทดสอบโดยวัดความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ในอ่างคลื่น ดังแสดงในรูปที่ ค-4 โดยเก็บข้อมูลเป็นเวลา 2 นาที ทุกๆ 5 นาที นำไปวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยด้วยวิธีสถิติ ผลของการเปลี่ยนแปลงคลื่นแสดงดังรูปที่ ค-5 และสรุปดังตารางที่ ค-4

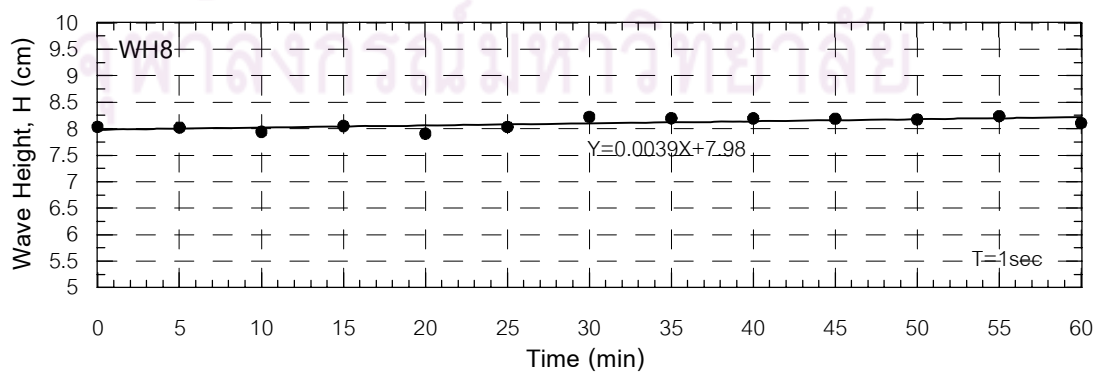
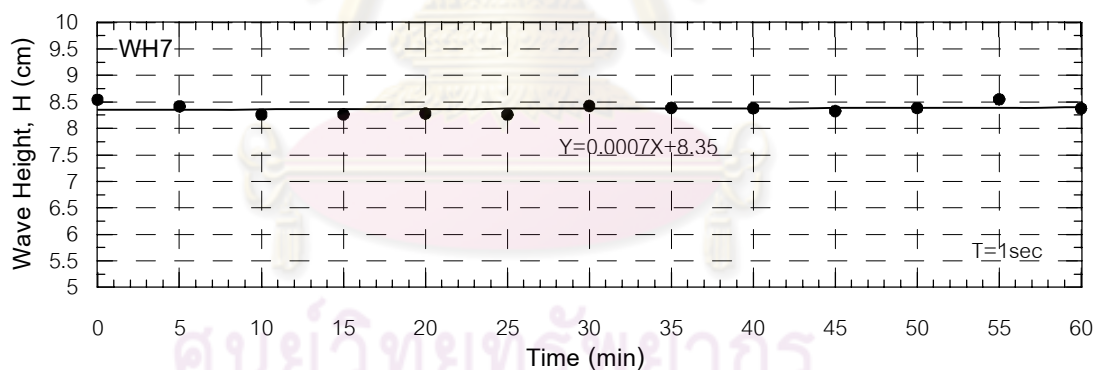
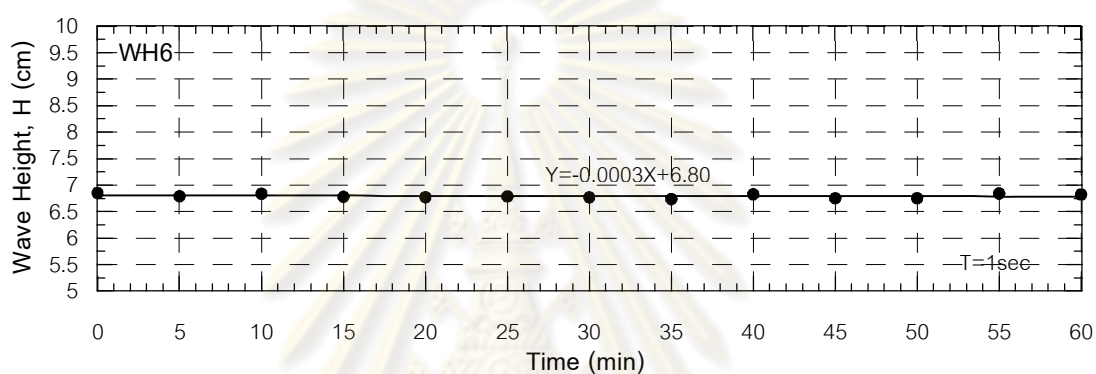
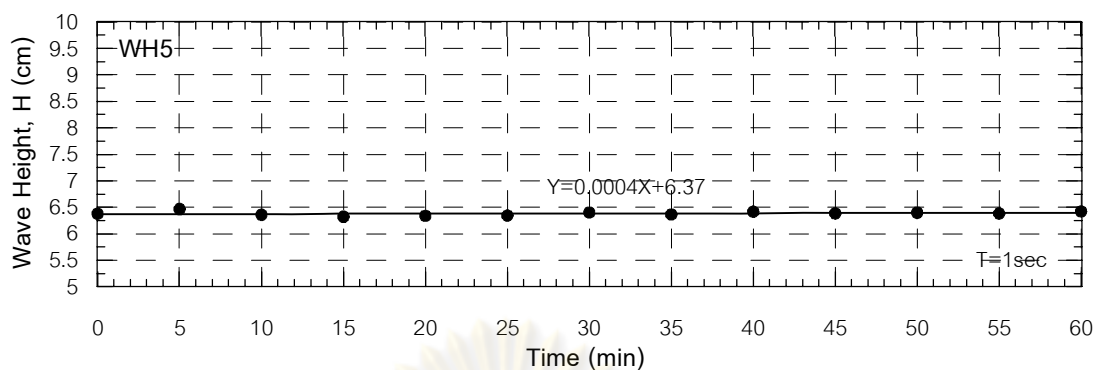




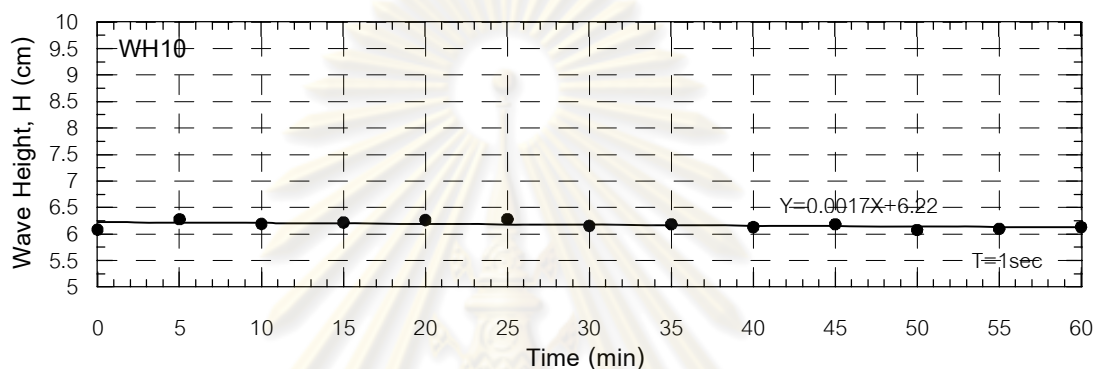
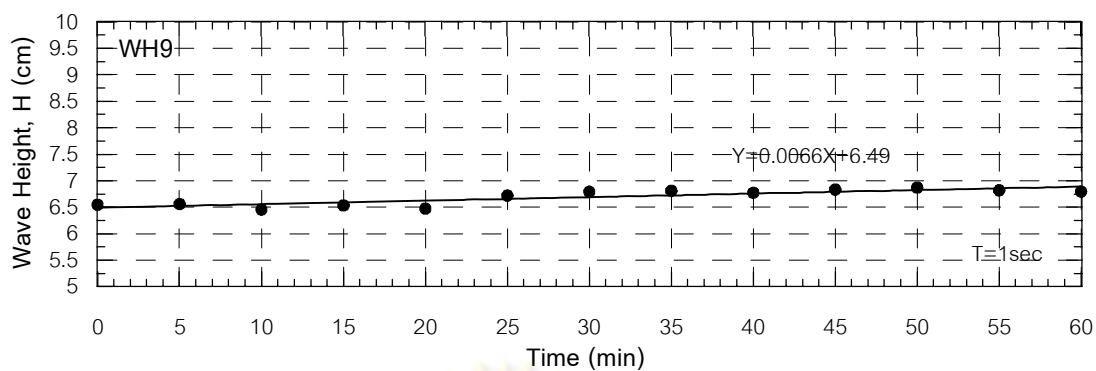
รูปที่ ค-4 ตำแหน่งเครื่องวัดความสูงคัลีนสำหรับการทดลองการเปลี่ยนแปลงคัลีน  
ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ ค-5 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับเวลาในช่วง 1 ชั่วโมง



รูปที่ ค-5 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับเวลาในช่วง 1 ชั่วโมง (ต่อ)



รูปที่ ค-5 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับเวลาในช่วง 1 ชั่วโมง (ต่อ)

ตารางที่ ค-4 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง

Wave height	Max (cm)	Min (cm)	Average (cm)	Std (cm)	(Std/Average) × 100 %
WH1	6.36	6.02	5.78	0.09	1.5
WH2	6.38	6.22	6.01	0.04	0.7
WH3	6.64	6.41	6.26	0.05	0.9
WH4	6.76	6.61	6.53	0.04	0.7
WH5	6.47	6.32	6.28	0.04	0.6
WH6	6.85	6.74	6.74	0.04	0.6
WH7	8.55	8.26	8.28	0.10	1.2
WH8	8.24	7.91	8.09	0.11	1.4
WH9	6.87	6.46	6.86	0.15	2.2
WH10	6.28	6.08	6.45	0.07	1.1
average					1.1

จากรูปที่ ค-5 พบว่า ข้อมูลความสูงคลื่นของเครื่องวัดความสูงคลื่นแต่ละตัวมีแนวโน้มของข้อมูลแตกต่างกัน บางตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและบางตัวมีแนวโน้มลดลง แต่ความลาดชันของเส้นแนวโน้มน้อยมาก แสดงว่า ข้อมูลคลื่นในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงมีความสม่ำเสมอ แต่เมื่อพิจารณาความผันผวนของข้อมูลจากตารางที่ ค-4 พบว่า มีความผันผวนเฉลี่ยประมาณ  $\pm 1.1$  เปอร์เซ็นต์

### ค-3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับระยะทางในแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นในแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น เพื่อตรวจสอบถึงลักษณะคลื่นที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละตำแหน่งกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา การเปลี่ยนแปลงในแต่ละขนาดคลื่น และการเปลี่ยนแปลงในแต่ละแนวตามระยะทางขนานกับเขื่อนกันคลื่น

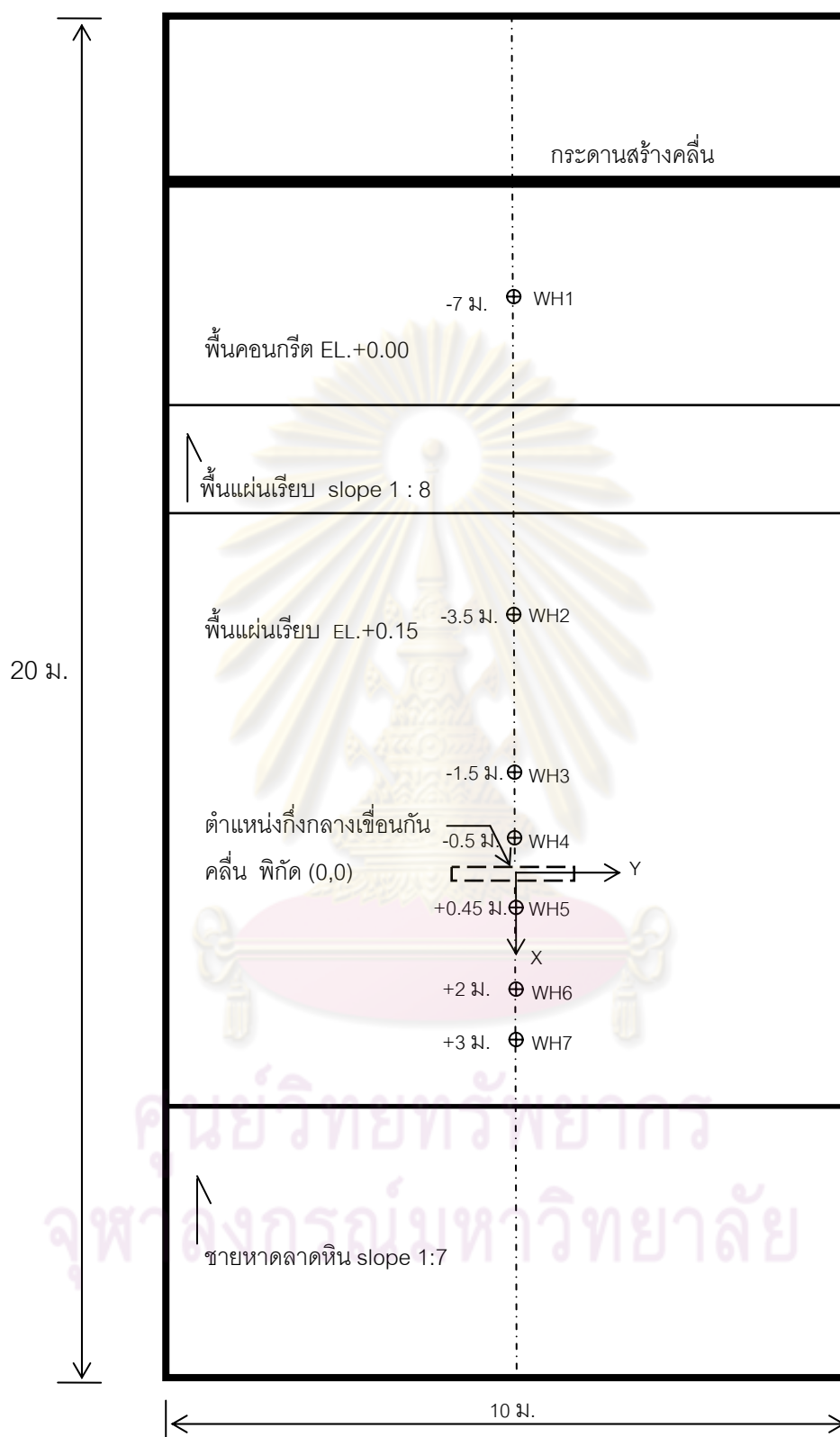
#### จ-3.1 การเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นในแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นในแต่ละช่วงเวลา เพื่อตรวจสอบลักษณะของคลื่นในแต่ละตำแหน่งที่ช่วงเวลาต่างๆ ทำการทดลองโดยวัดความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่าง ดังแสดงในรูปที่ ค-6 โดยในแต่ละตำแหน่งวัดเก็บข้อมูลประมาณ 5 นาที พิจารณาในช่วงเวลา ชั่วโมงที่ 4 ,8, 12, 16 และ 20 ดังแสดงในรูปที่ ค-7

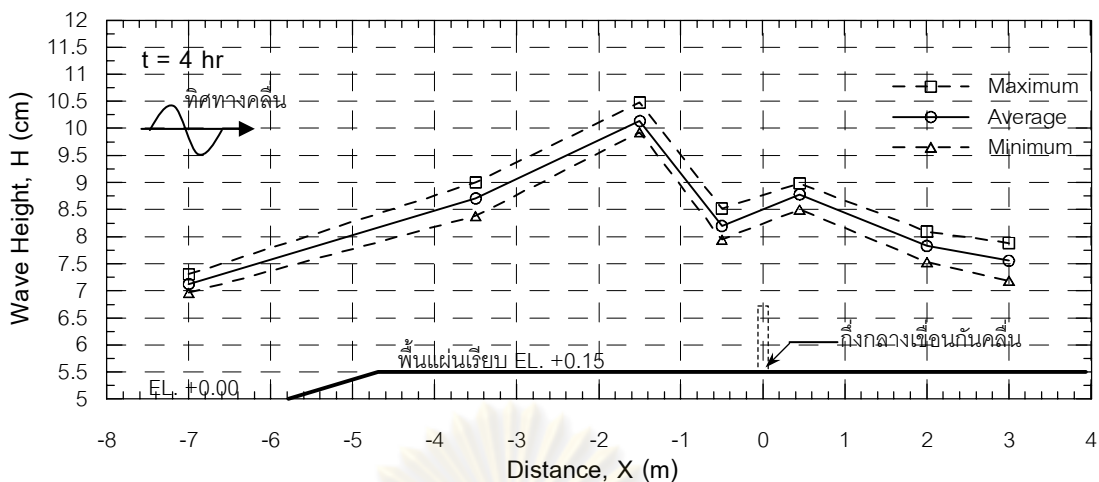
จากรูปที่ ค-7 แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน และมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนกับระยะทาง โดยในแต่ละช่วงเวลามีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าข้อมูลในแต่ละตำแหน่งค่อนข้างสม่ำเสมอ ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

เมื่อนำข้อมูลคลื่นชั่วโมงที่ 12 ดังแสดงในรูปที่ ค-8 ไปวิเคราะห์ความถี่ของพลังงาน (spectrum analysis) ดังแสดงในรูปที่ ค-9 พบว่า ข้อมูลคลื่นในแต่ละตำแหน่งมีเพียงความถี่เดียว แสดงว่า ข้อมูลคลื่นในการทดลองมีเพียงความถี่เดียว ไม่มีผลของคลื่นความถี่อื่นที่ทำให้ความสูงคลื่นในแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตาม ความสูงของคลื่นในแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน น่าจะเกิดจากลักษณะของท้องน้ำที่ไม่สม่ำเสมอ รวมถึงการสะท้อนที่เกิดขึ้นในแอ่งคลื่น

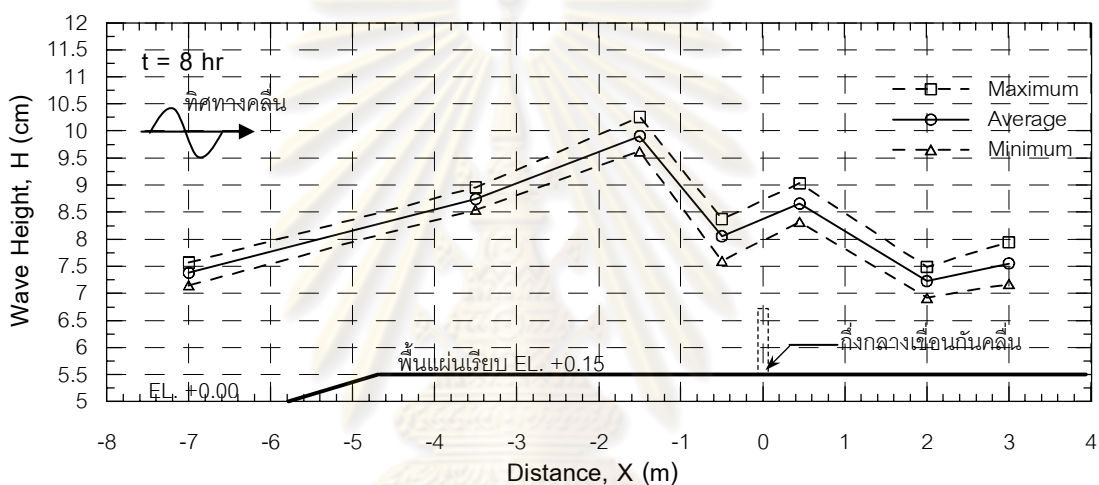




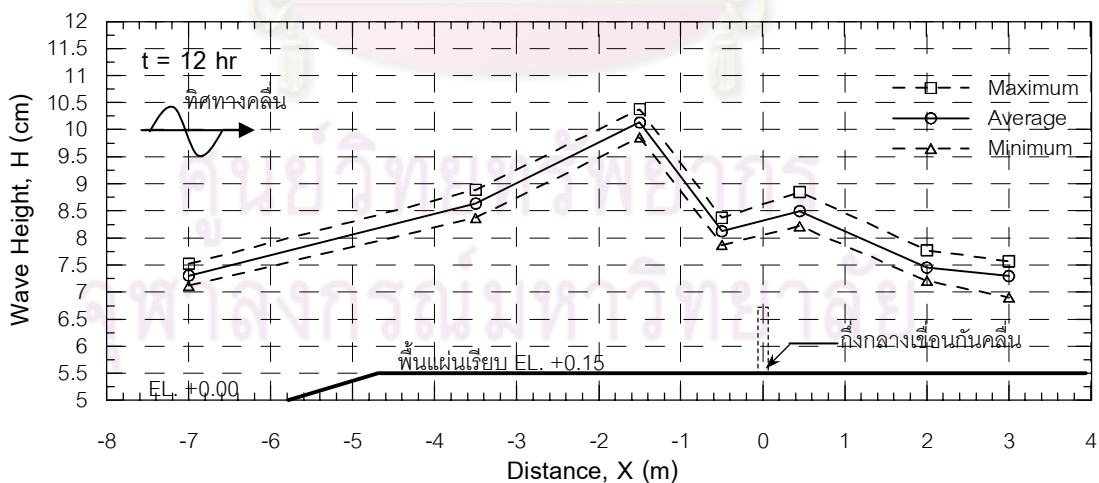
รูปที่ ค-6 ตำแหน่งเครื่องวัดความสูงคลื่นสำหรับการทดลองการเปลี่ยนแปลงคลื่น  
กับระยะทางในช่วงเวลาต่างๆ



ก) ชั่วโมงที่ 4



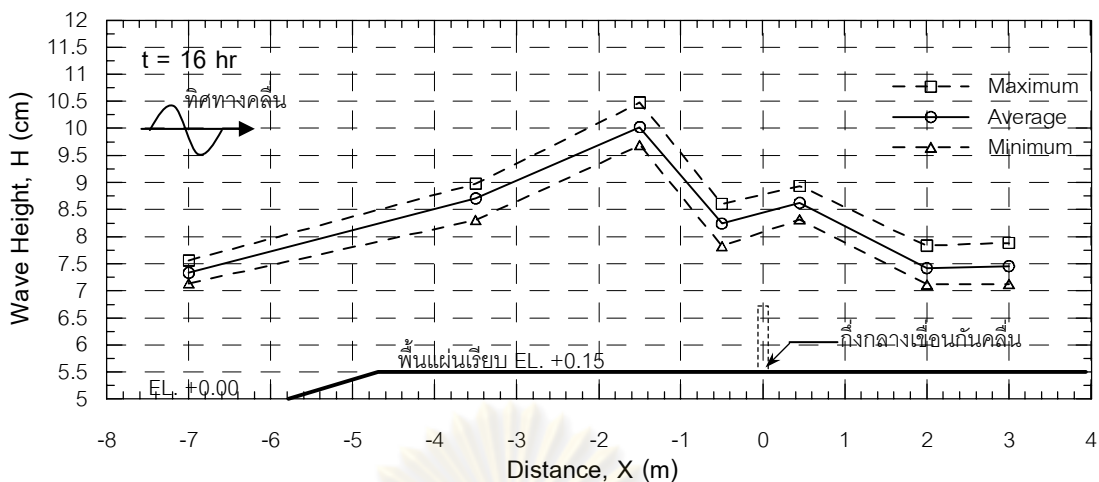
ข) ชั่วโมงที่ 8



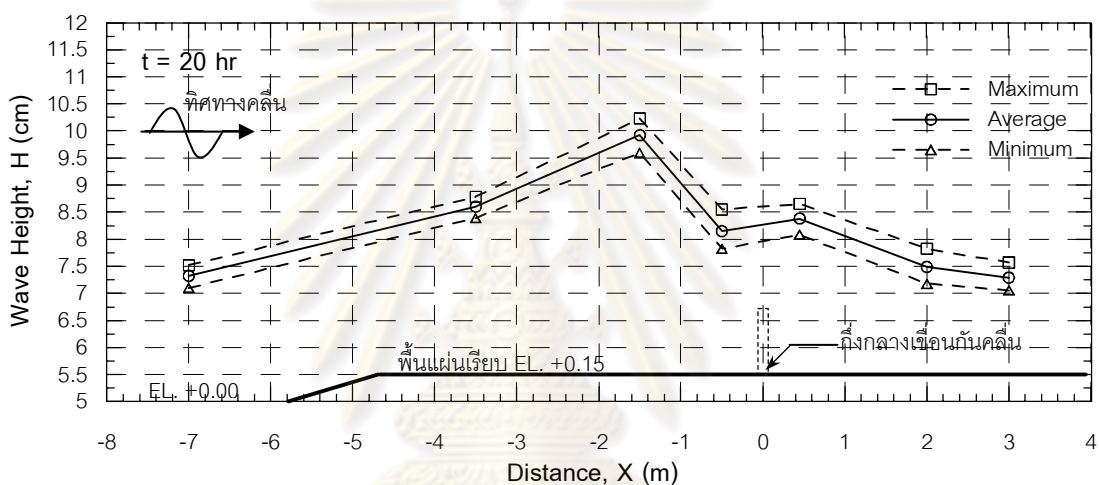
ค) ชั่วโมงที่ 12

รูปที่ ค-7 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (H) กับระยะทางในแนวตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น (X)

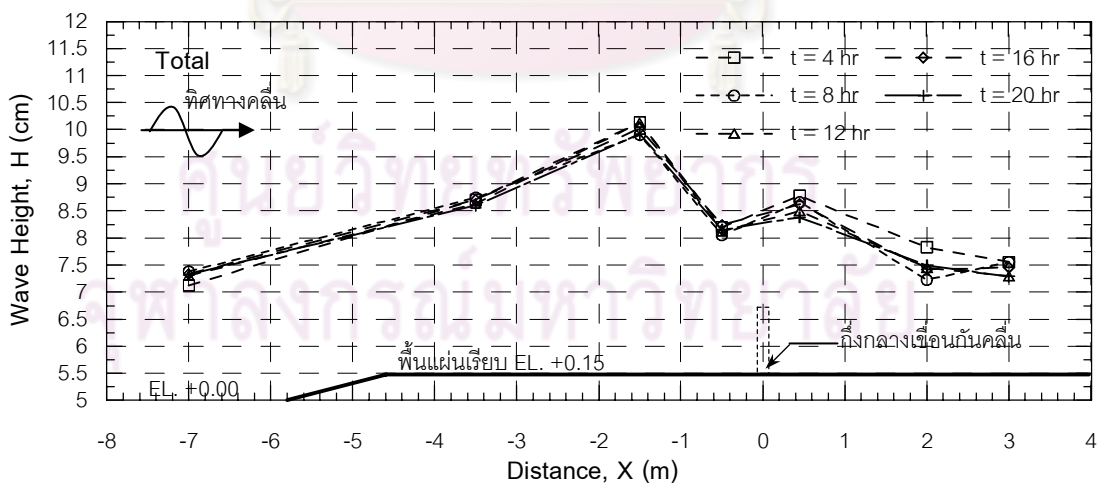
กรณีไม่มีเขื่อน (T=1 sec)



ง) ชั่วโมงที่ 16



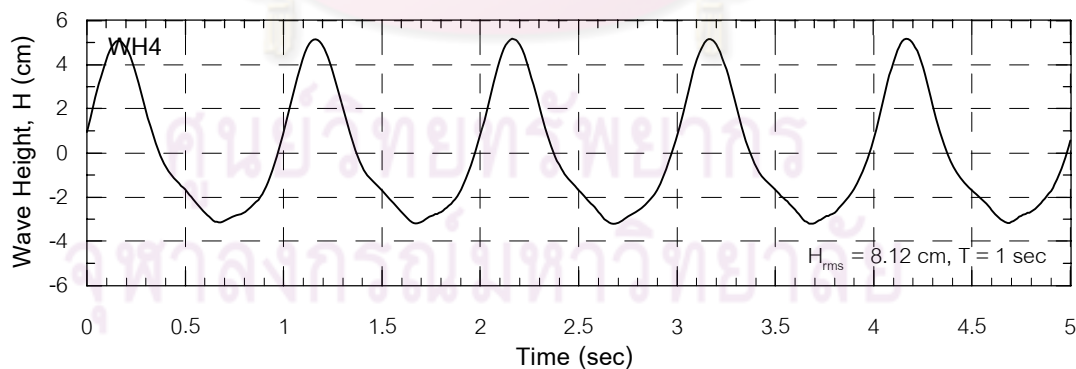
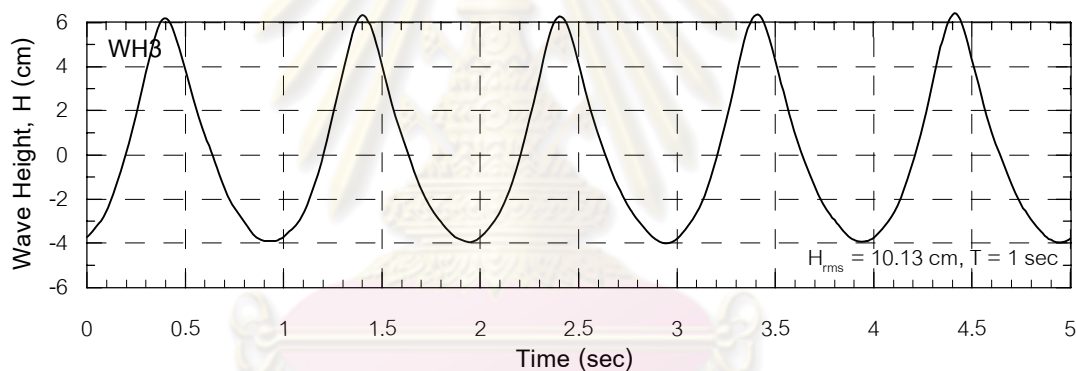
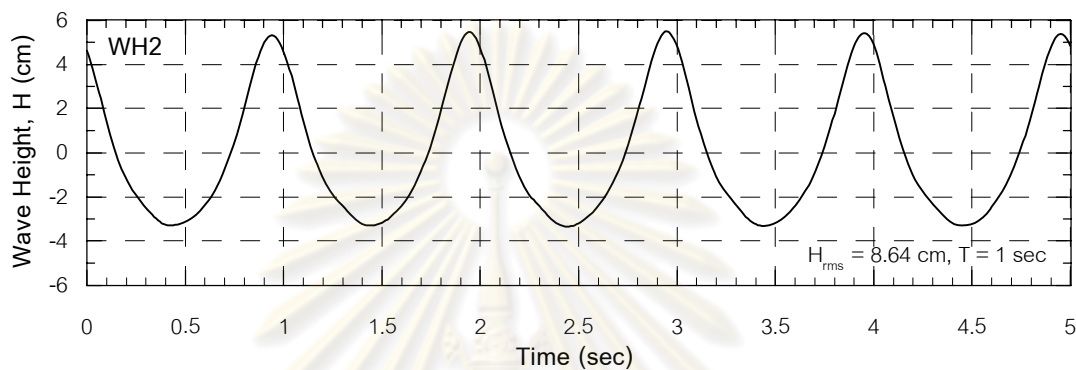
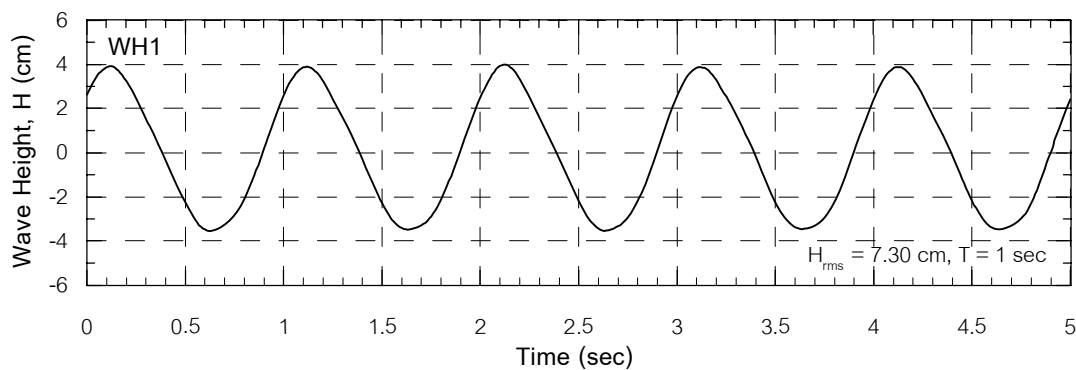
จ) ชั่วโมงที่ 20



ฉ) รวมเวลาต่างๆ

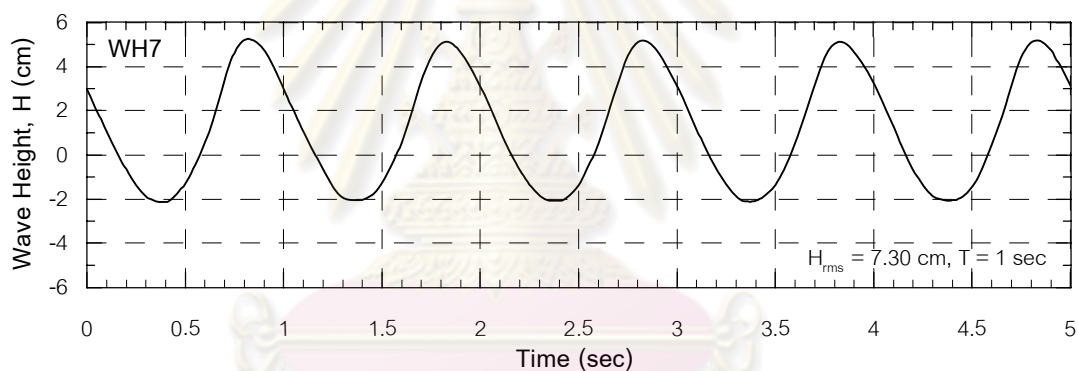
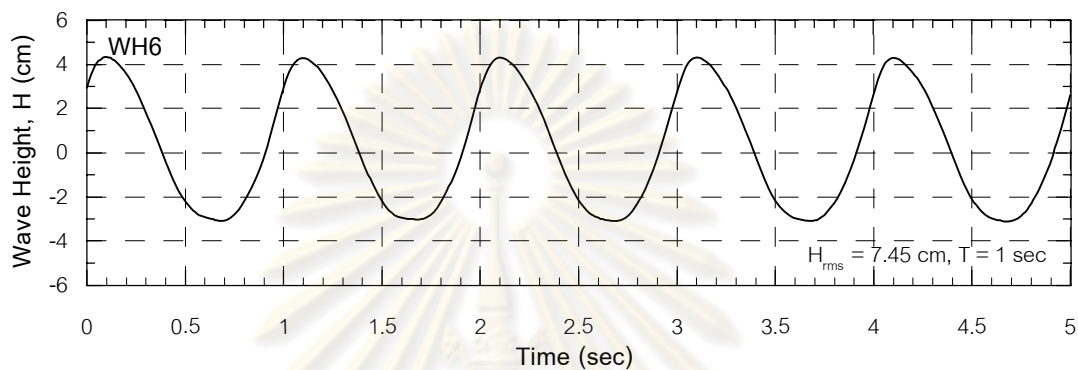
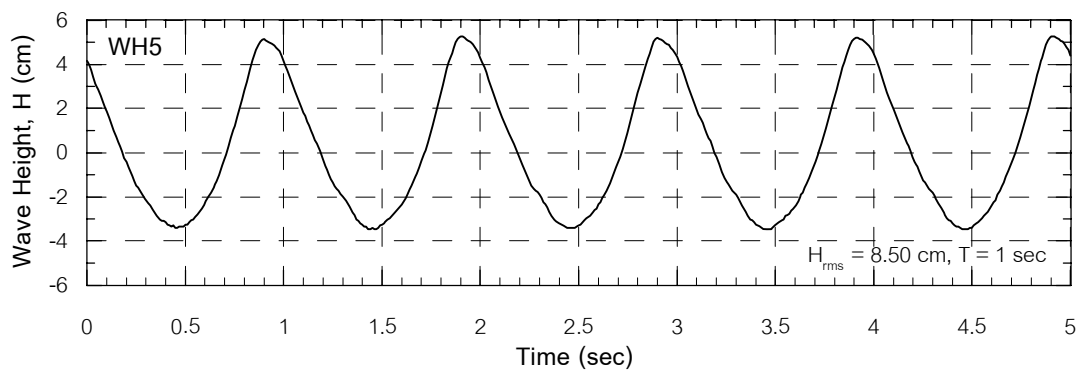
รูปที่ ค-7 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (H) กับระยะทางในแนวตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น (X)

กรณีไม่มีเขื่อน (T=1 sec) (ต่อ)



รูปที่ ค-8 ลักษณะคลื่นในแต่ละตำแหน่งตามระยะทางในแนวตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น (X)

กรณีไม่มีเขื่อน ชั่วโมงที่ 12

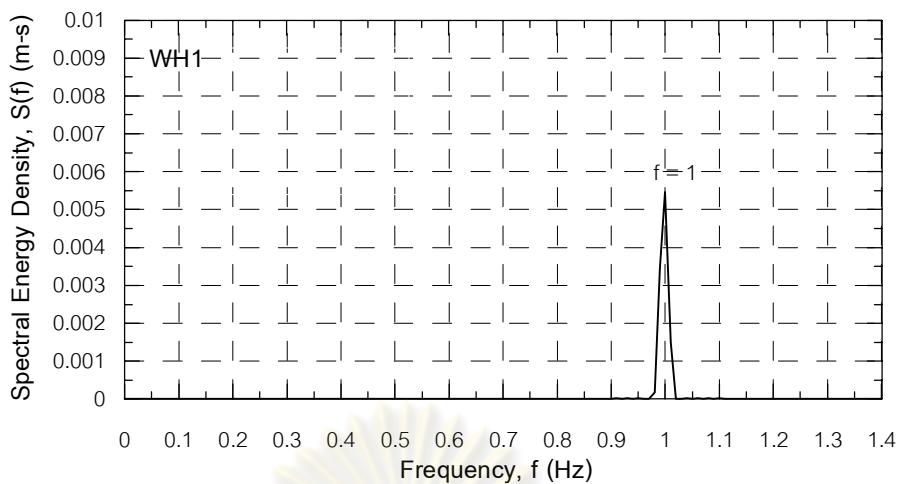


รูปที่ ค-8 ลักษณะคลื่นในแต่ละตำแหน่งตามระยะทางในแนวตั้งฉากเชื่อมกันคลื่น (X)

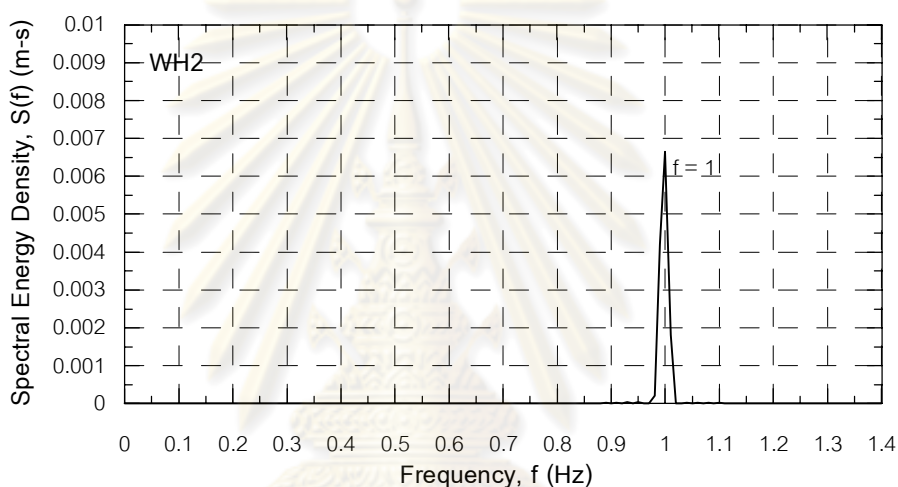
กรณีไม่มีเขื่อน ชั่วโมงที่ 12 (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

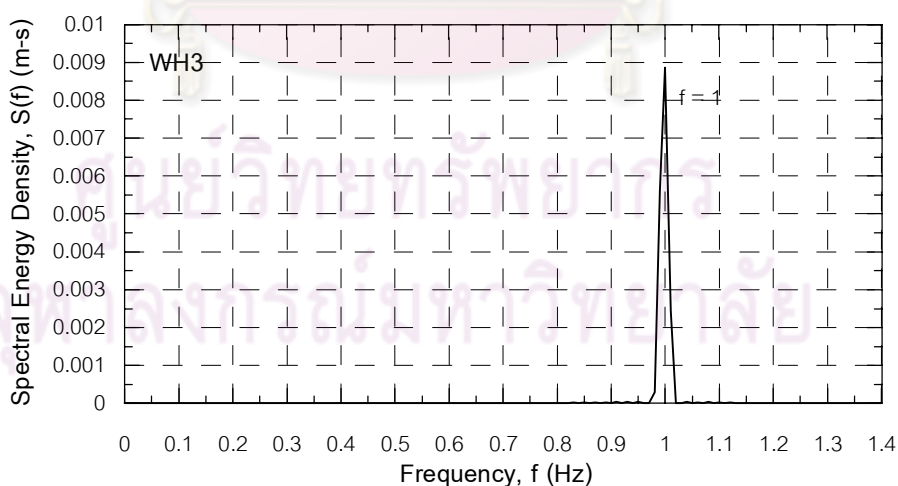




ก) ที่ระยะ X เท่ากับ -7 ม.

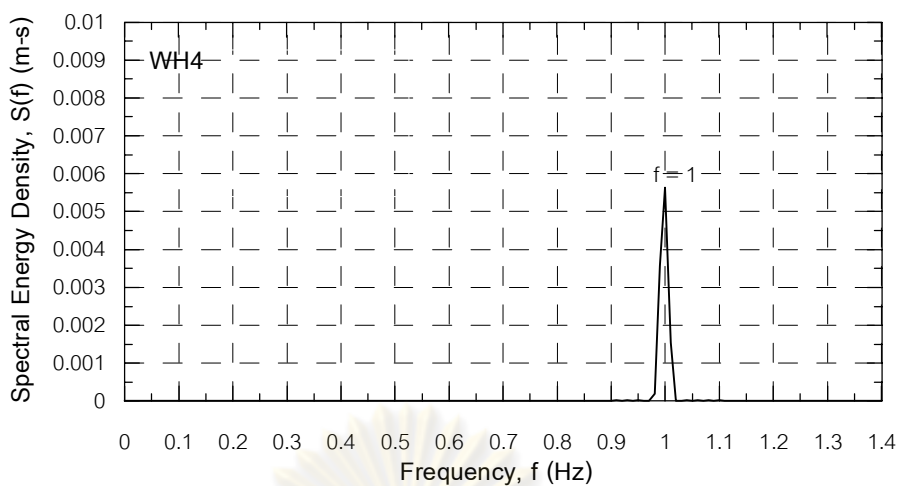


ข) ที่ระยะ X เท่ากับ -3.5 ม.

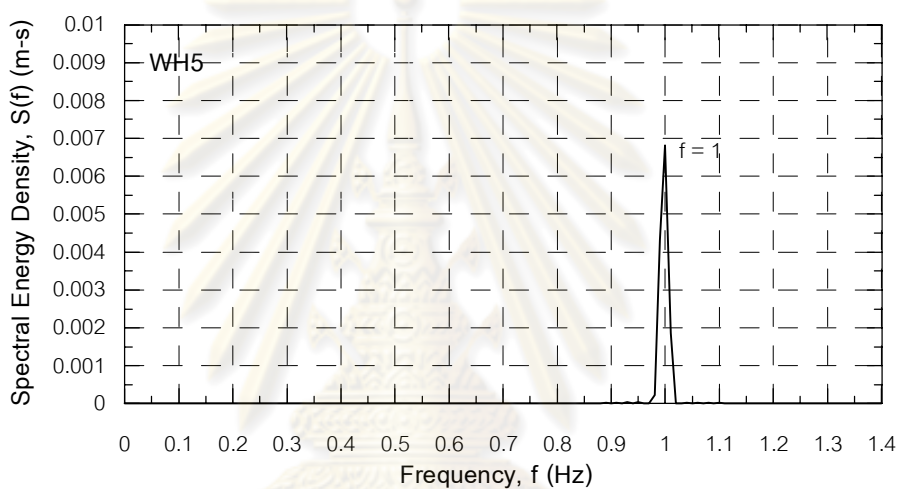


ค) ที่ระยะ X เท่ากับ -1.5 ม.

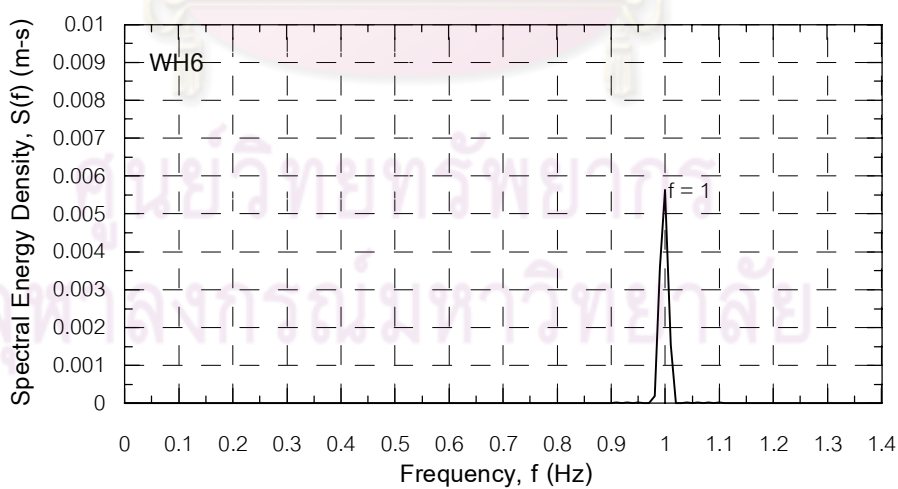
รูปที่ ค-9 พลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ ในแต่ละตำแหน่งตามระยะทางในแนวตั้งฉาก  
เขื่อนกันคลื่น (X) กรณีไม่มีเขื่อน ชั่วโมงที่ 12



ง) ที่ระยะ X เท่ากับ -0.5 ม.

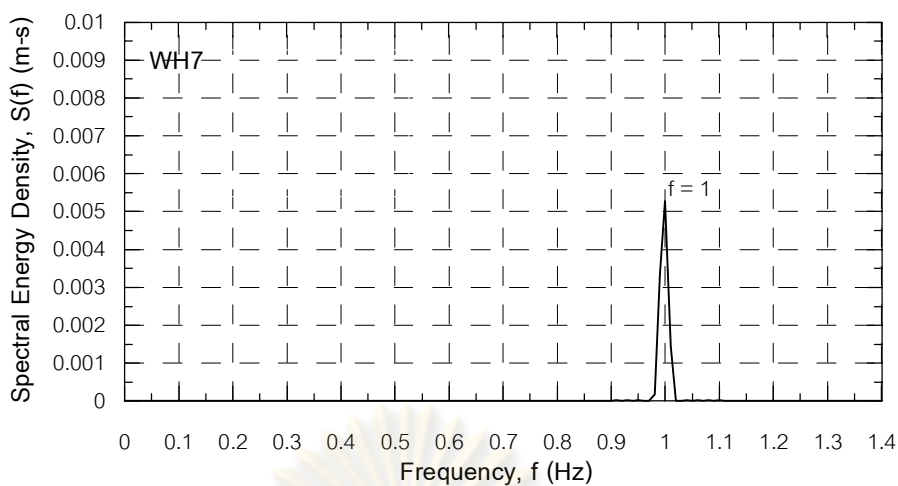


จ) ที่ระยะ X เท่ากับ 0.45 ม.



ฉ) ที่ระยะ X เท่ากับ 2 ม.

รูปที่ ค-9 พลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ ในแต่ละตำแหน่งตามระยะทางในแนวตั้งฉาก  
เชื่อมกันคลื่น (X) กรณีไม่มีเขื่อน ชั่วโมงที่ 12 (ต่อ)



ซี) ที่ระยะ X เท่ากับ 3 ม.

รูปที่ ค-9 พลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ ในแต่ละตำแหน่งตามระยะทางในแนวตั้งฉาก  
เชื่อมกันคลื่น (X) กรณีไม่มีเชื่อม ชั่วโมงที่ 12 (ต่อ)

ตารางที่ ค-5 ข้อมูลคลื่นชั่วโมงที่ 12 จากการวิเคราะห์สถิติ

	Wave Height						
	WH1	WH2	WH3	WH4	WH5	WH6	WH7
$H_{rms}$ (m)	0.073	0.086	0.101	0.081	0.085	0.074	0.073
T (sec)	1	1	1	1	1	1	1

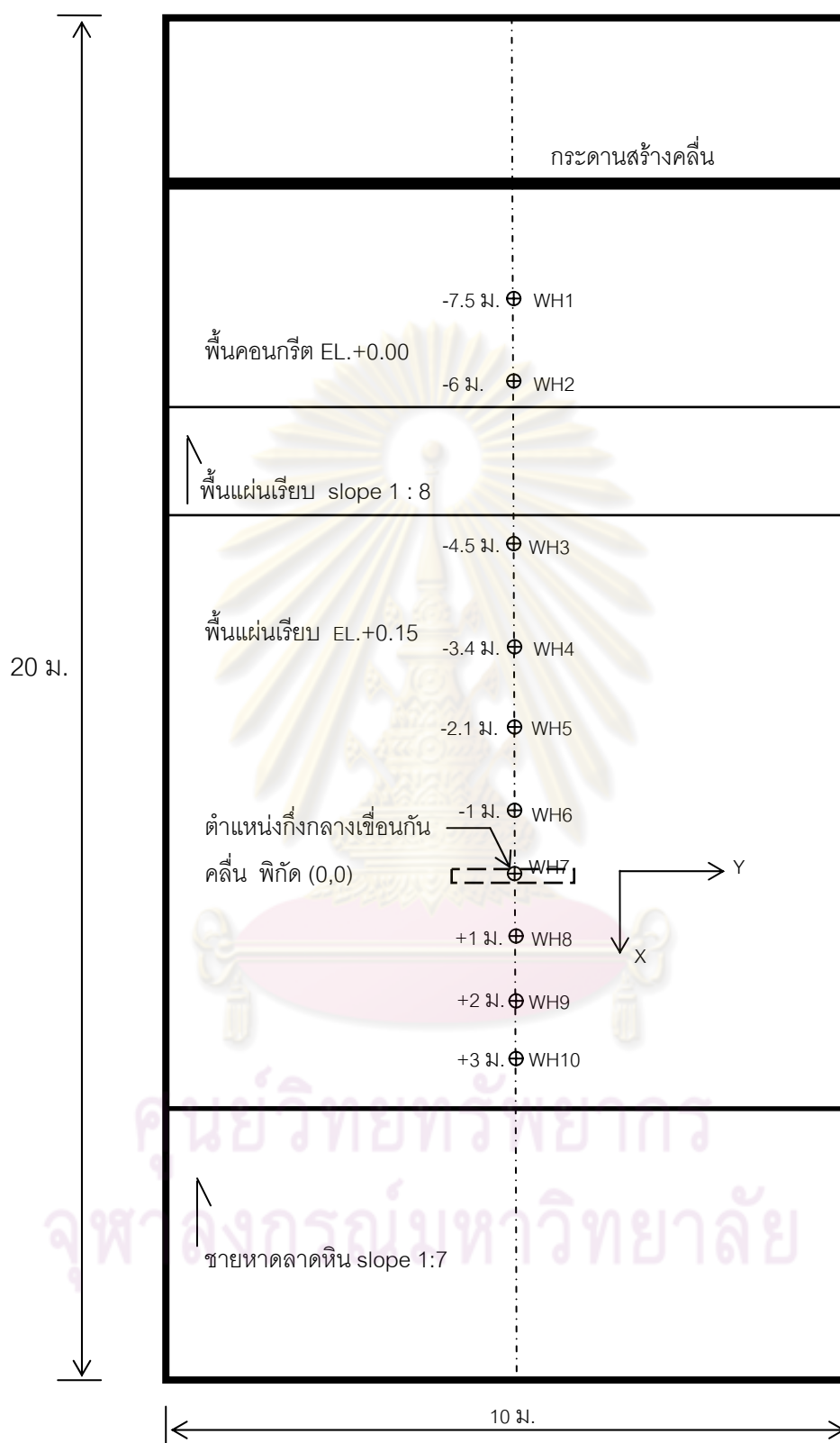
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ค-3.2 การเปลี่ยนแปลงในแต่ละขนาดคลื่น

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับระยะทางในแนวตั้งฉากเชื่อมกันคลื่น เมื่อเปลี่ยนแปลงคลื่น 5 ขนาด เพื่อตรวจสอบลักษณะของคลื่นในแต่ละตำแหน่งที่ขนาดคลื่นต่างๆ ทำการทดลองโดยวัดความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่าง ดังแสดงในรูปที่ ค-10 โดยในแต่ละตำแหน่งวัดเก็บข้อมูลประมาณ 5 นาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ ค-11

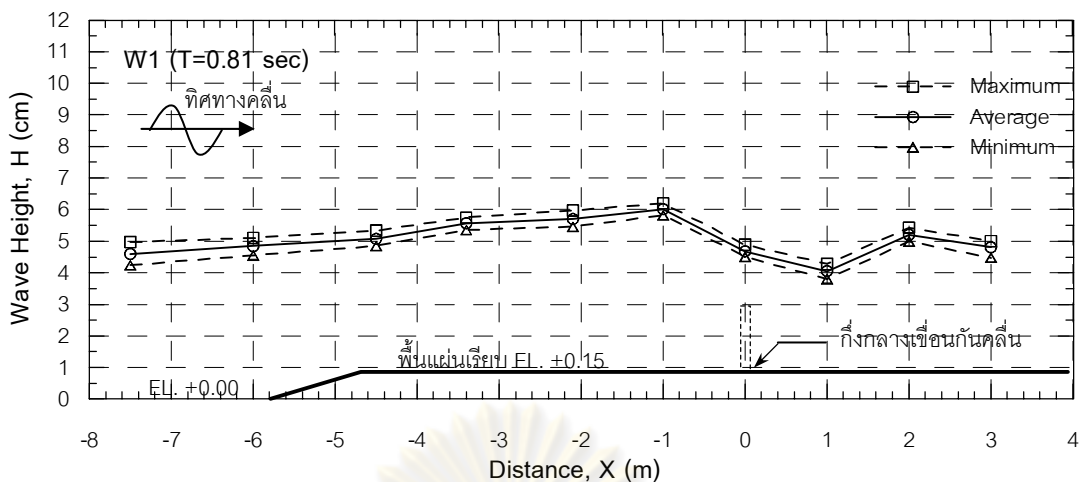
จากรูปที่ ค-11 แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน และมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนกับระยะทาง โดยในแต่ละขนาดคลื่นมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่ต่างต่างกัน แสดงว่า การเปลี่ยนแปลงของความสูงคลื่นในแต่ละตำแหน่งขึ้นอยู่กับขนาดคลื่น ซึ่งขนาดของคลื่นที่ไม่เท่ากันส่งผลต่อการสะท้อนคลื่นในอ่างคลื่นที่ต่างต่างกัน เป็นสาเหตุหนึ่ง ที่ส่งผลให้ความสูงคลื่นในแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน

เมื่อนำข้อมูลคลื่นแต่ละขนาดที่ตำแหน่งหลังเชื่อมกันคลื่น 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ ค-12 ไปวิเคราะห์ความถี่ของพลังงาน (spectrum analysis) ดังแสดงในรูปที่ ค-13 พบว่า ข้อมูลคลื่นในแต่ละขนาดมีเพียงความถี่เดียว แสดงว่า ข้อมูลคลื่นในการทดลองของแต่ละคลื่นมีเพียงความถี่เดียว ไม่มีผลของคลื่นความถี่อื่นที่ทำให้ความสูงคลื่นในแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน

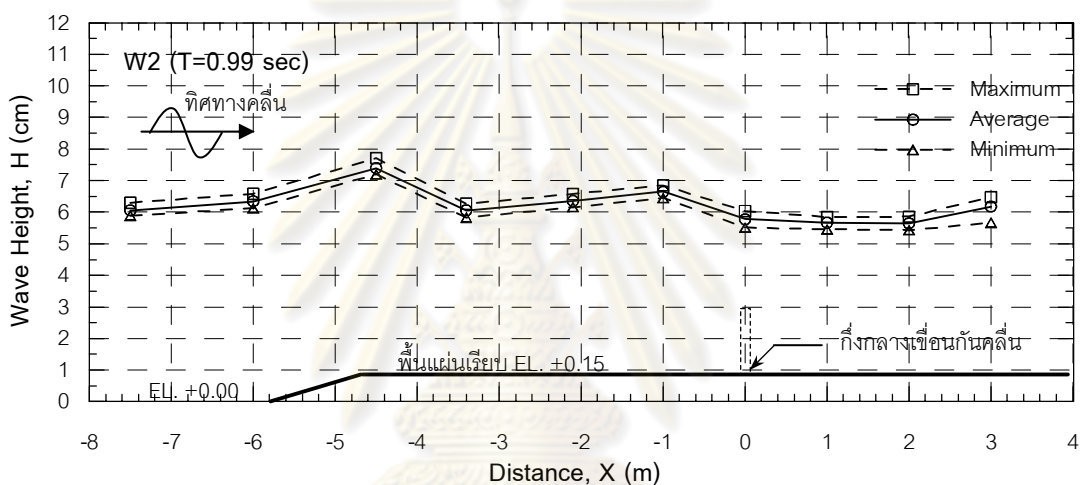


รูปที่ ค-10 ตำแหน่งเครื่องวัดความสูงคลื่นสำหรับการทดลองการเปลี่ยนแปลงคลื่น  
กับระยะทางในแต่ละขนาดคลื่น

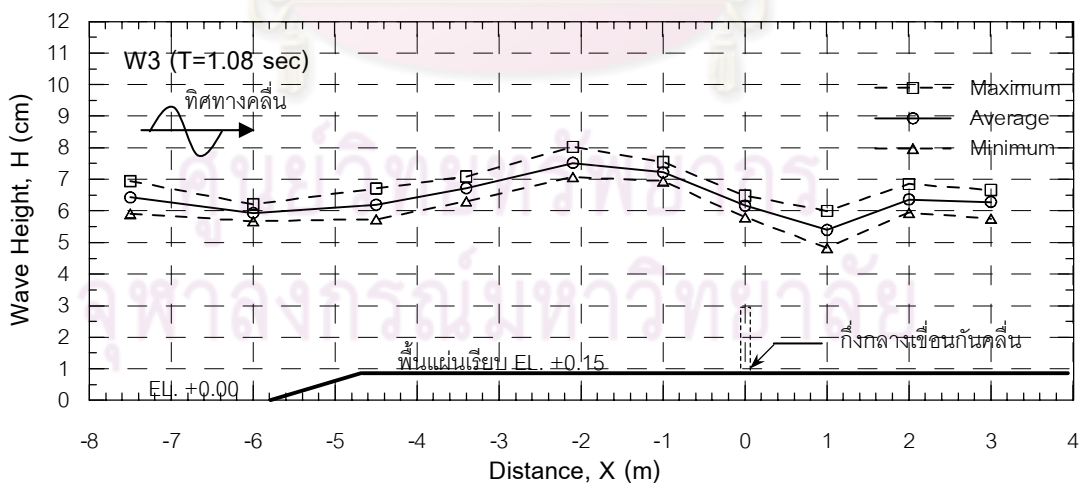




ก) คลื่นที่ 1

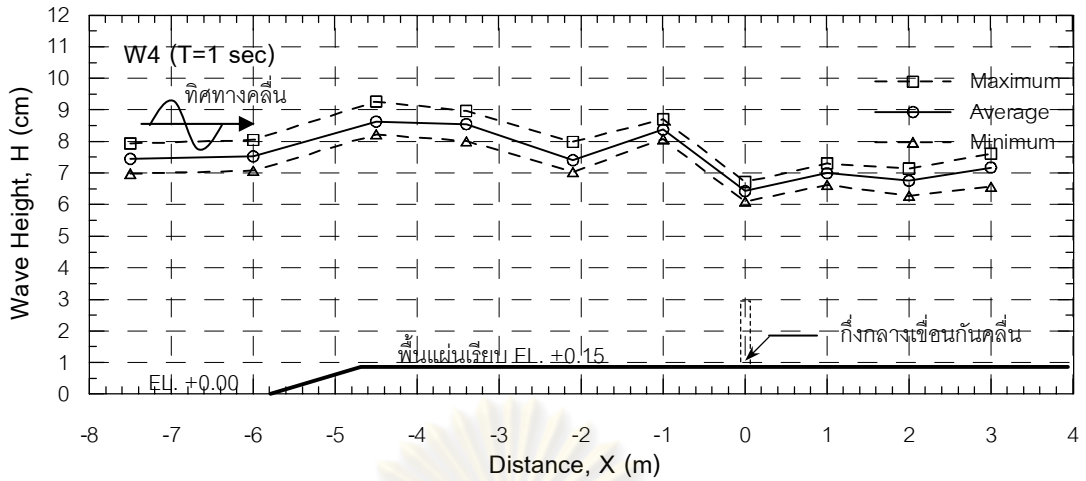


ข) คลื่นที่ 2

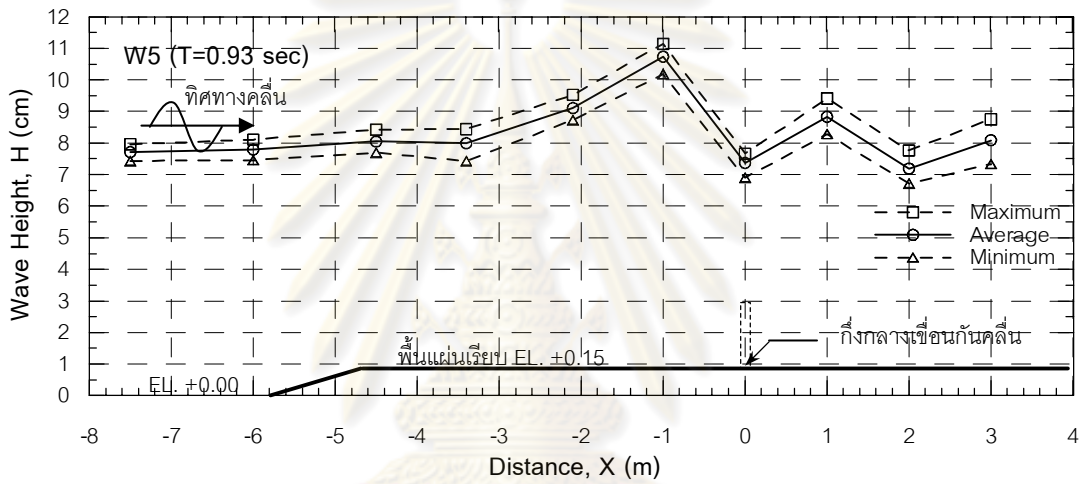


ค) คลื่นที่ 3

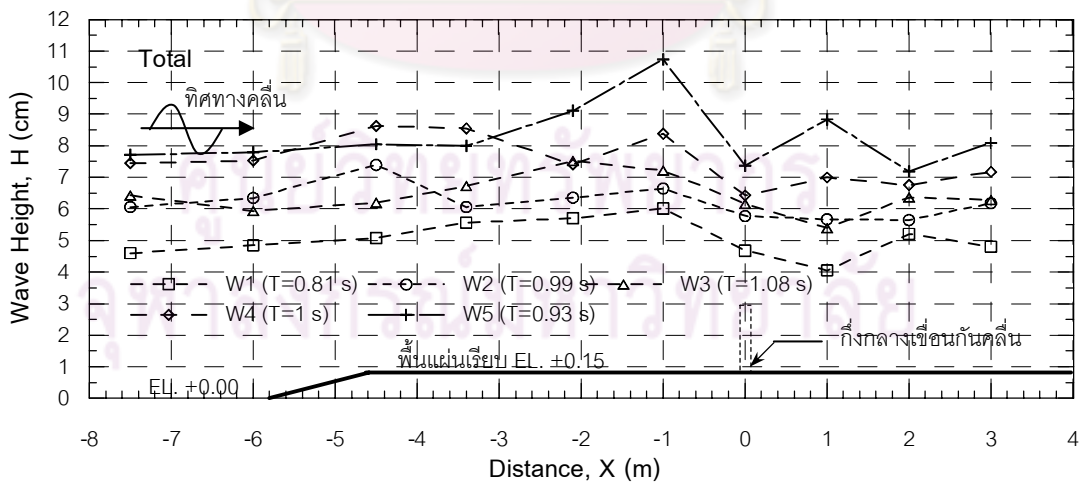
รูปที่ ค-11 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (H) กับระยะทางในแนวตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น (X)  
กรณีไม่มีเขื่อน



ง) คลื่นที่ 4



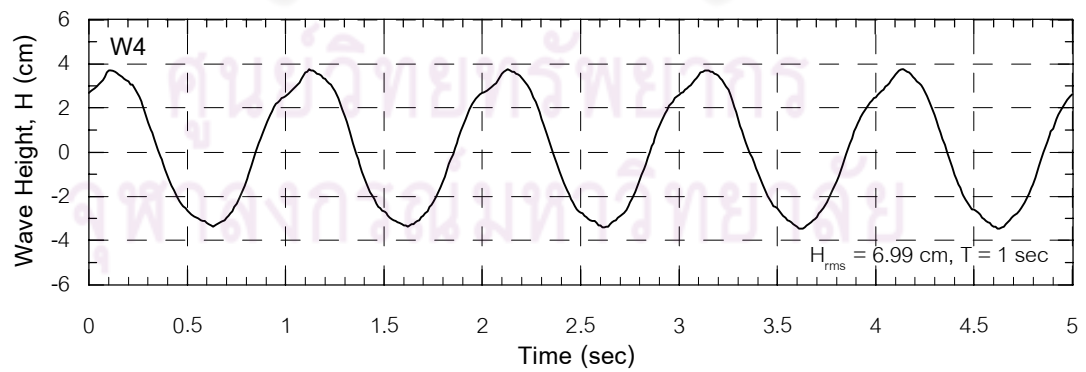
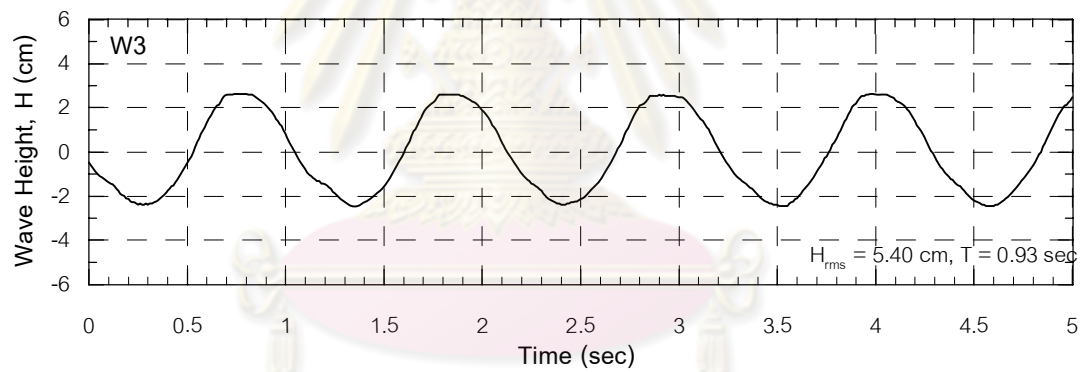
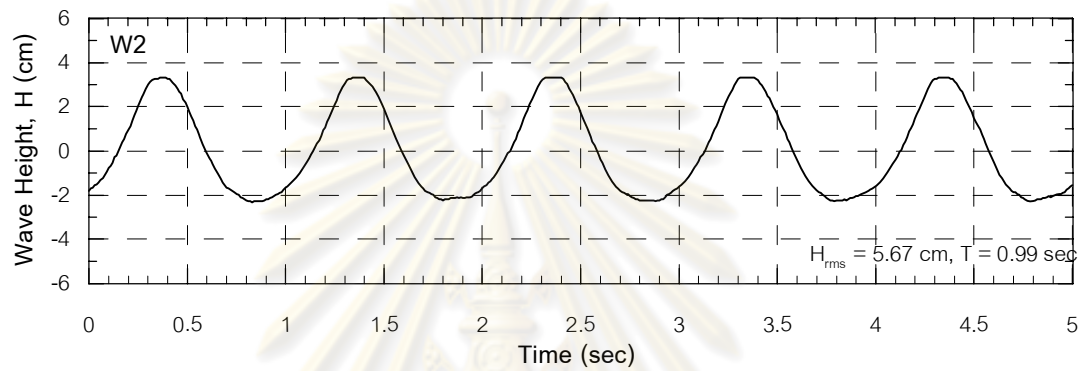
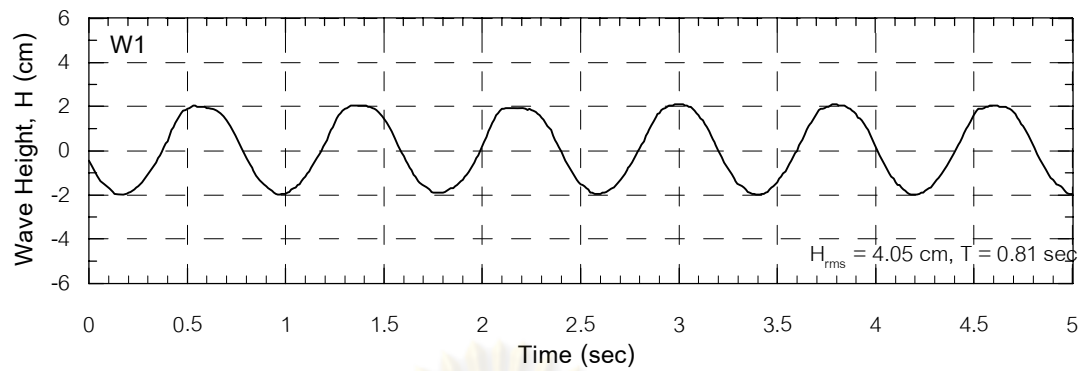
จ) คลื่นที่ 5



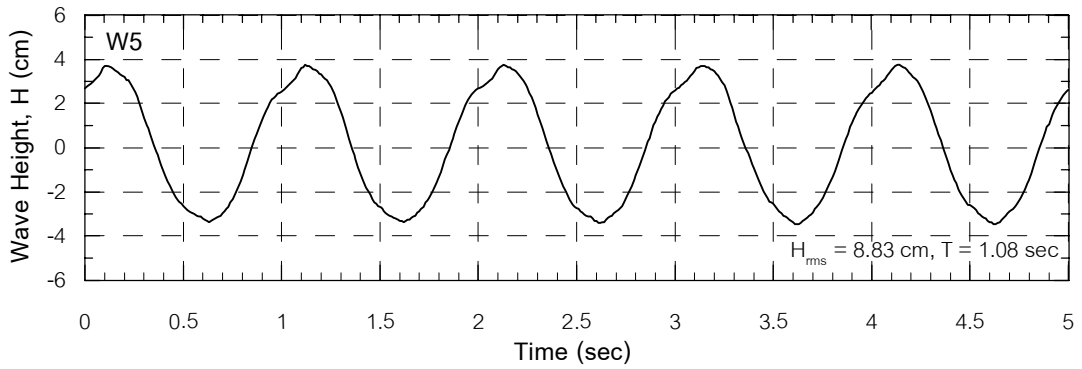
ฉ) รวมทุกขนาด

รูปที่ ค-11 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (H) กับระยะทางในแนวตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น (X)

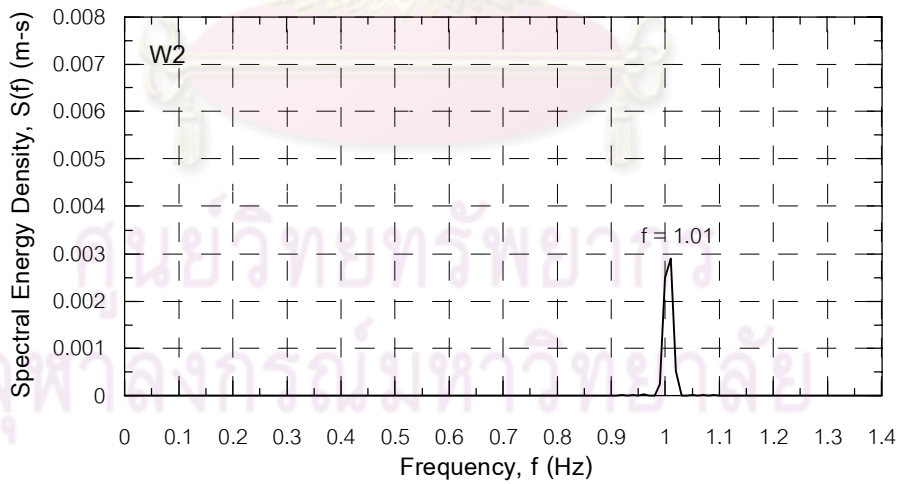
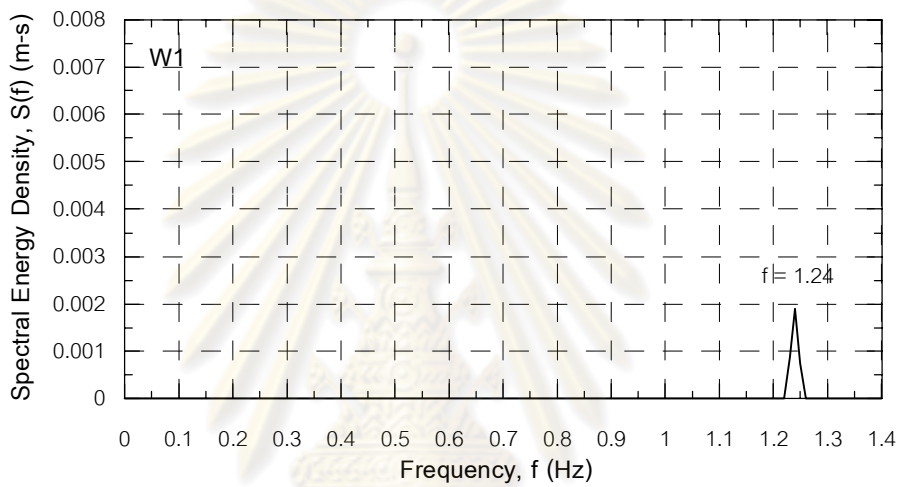
กรณีไม่มีเขื่อน (ต่อ)



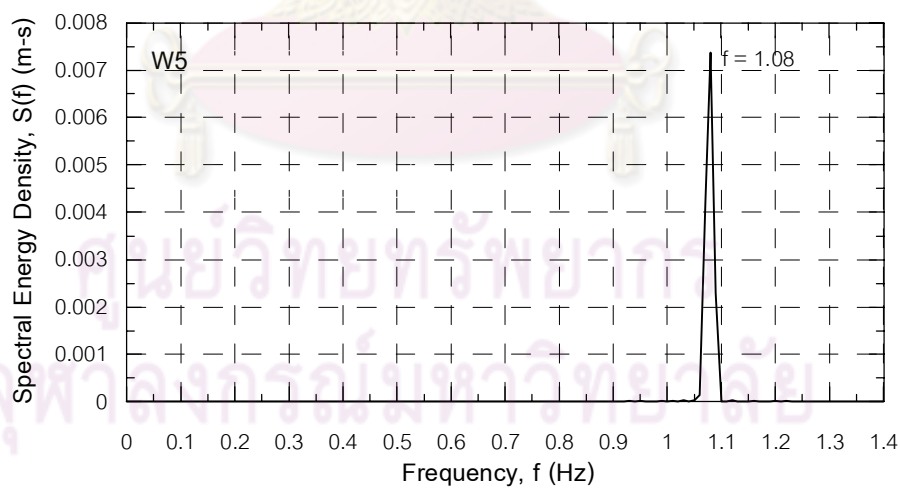
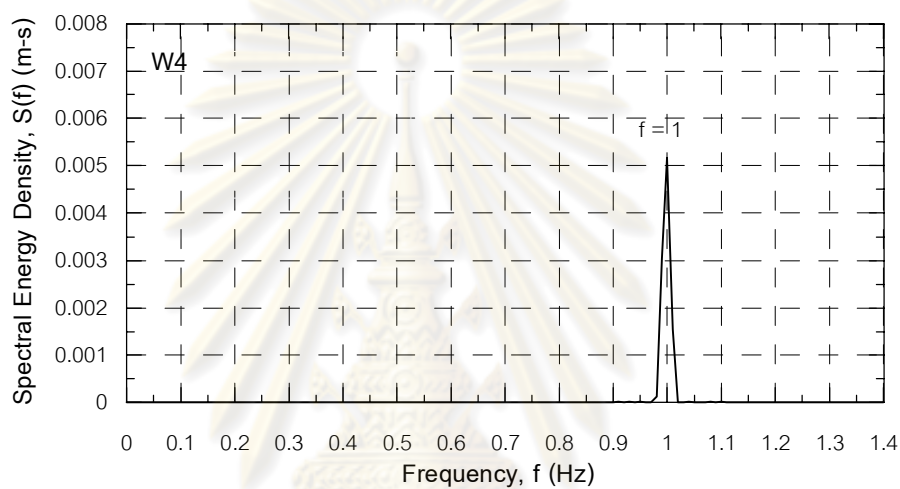
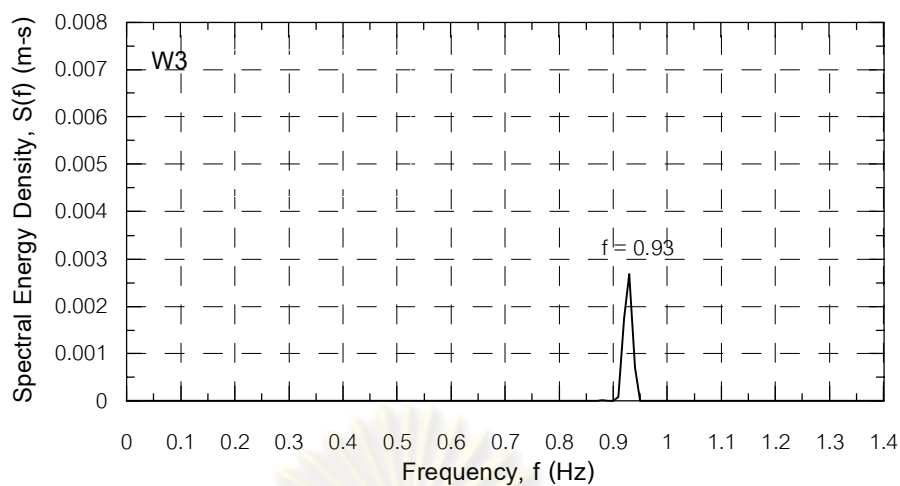
รูปที่ ค-12 ลักษณะของคลื่นแต่ละขนาด ที่ตำแหน่ง X เท่ากับ 1 ม.



รูปที่ X-12 ลักษณะของคลื่นแต่ละขนาด ที่ตำแหน่ง X เท่ากับ 1 ม. (ต่อ)



รูปที่ ค-13 พลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ของคลื่นแต่ละขนาด กรณีไม่มีเขื่อน ที่ระยะทาง X เท่ากับ 1 ม.



รูปที่ ค-13 พลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ของคลื่นแต่ละขนาด กรณีไม่มีเขื่อน  
ที่ระยะทาง X เท่ากับ 1 ม. (ต่อ)



ตารางที่ ค-6 ข้อมูลคลื่นจากการวิเคราะห์ทางสถิติ

	Wave				
	W1	W2	W3	W4	W5
$H_{rms}$ (m)	0.040	0.057	0.054	0.070	0.088
T (sec)	0.81	0.99	1.08	1	0.93

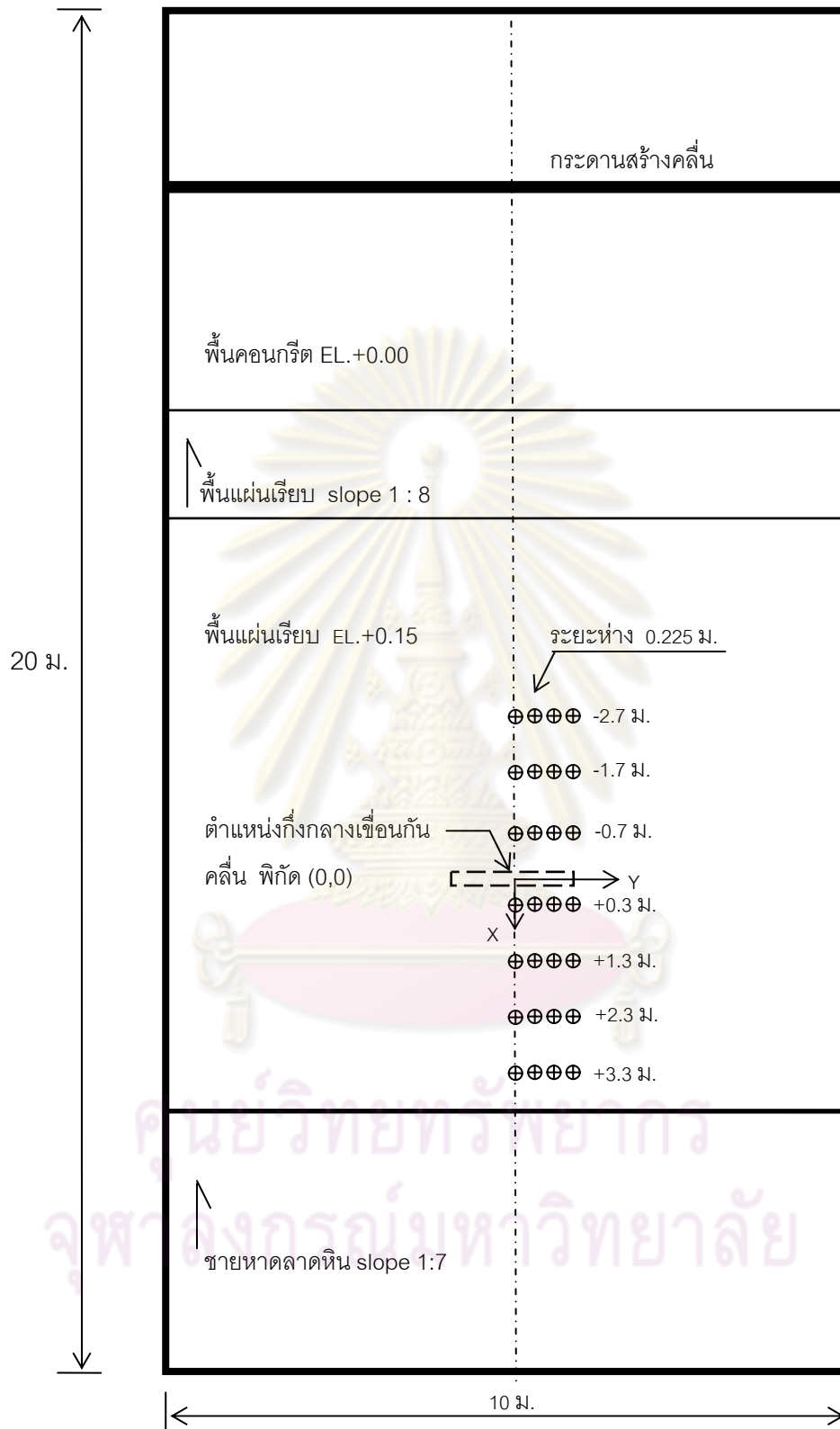
### ค-3.3 การเปลี่ยนแปลงในแต่แนวตามระยะทางขนานเขื่อนกันคลื่น

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับระยะทางตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น ทั้งการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเวลาและในแต่ละขนาดคลื่น ล้วนแต่ศึกษาในแนวกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่น เท่านั้น ในส่วนนี้จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมโดยเพิ่มแนวอีก 3 แนว รวมเป็น 4 แนว เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับระยะทางในแนวขนานเขื่อนกันคลื่น ในการทดลองได้เคลื่อนเครื่องวัดความสูงคลื่นเพื่อวัดในตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ ค-14 ใช้คลื่น 3 ขนาด โดยแต่ละตำแหน่งวัดเก็บข้อมูล 5 นาที แสดงผลในรูปที่ ค-15

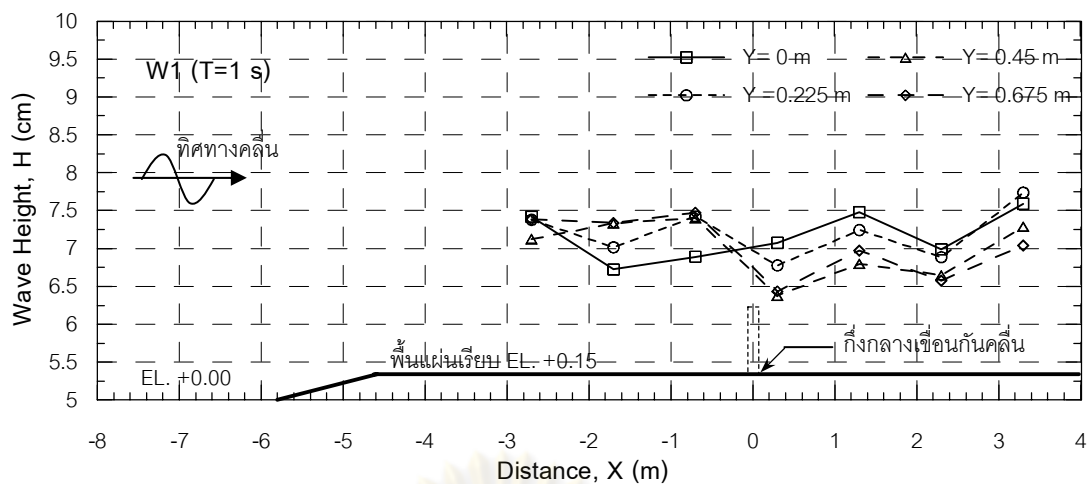
จากรูปที่ ค-15 แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน และมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนกับระยะทางในแนวตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น (X) โดยในแต่ละแนวตามตำแหน่งขนานเขื่อนกันคลื่น (Y) ของคลื่น แต่ละขนาดมีความสูงคลื่นไม่เท่ากัน ดังจะเห็นได้จากรูปที่ ค-16

กล่าวได้ว่าความสูงของคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ทั้งในแนวตั้งฉากและในแนวขนานเขื่อนกันคลื่นมีความสูงไม่เท่ากัน อันเกิดจากลักษณะของท้องน้ำที่ไม่เท่ากัน รวมถึงการสะท้อนในแอ่งคลื่น

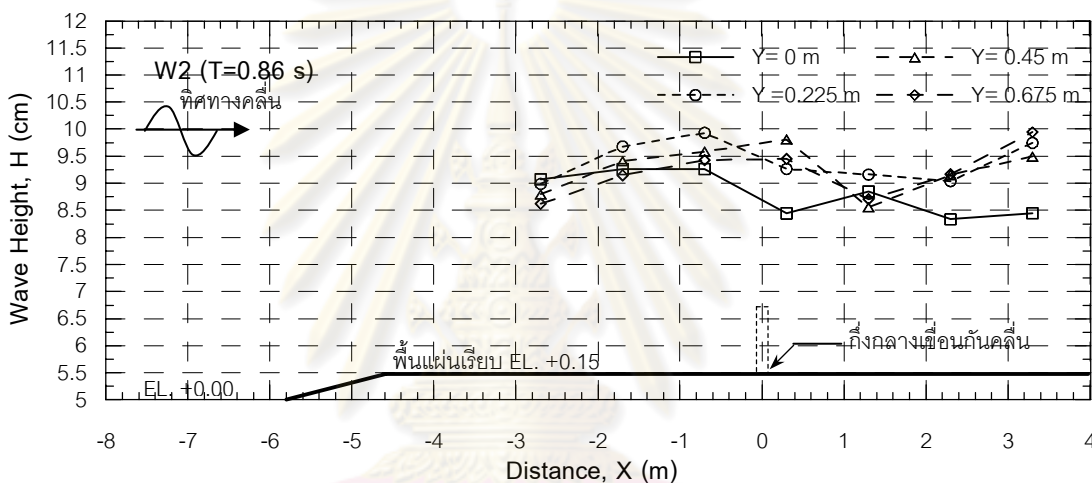
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



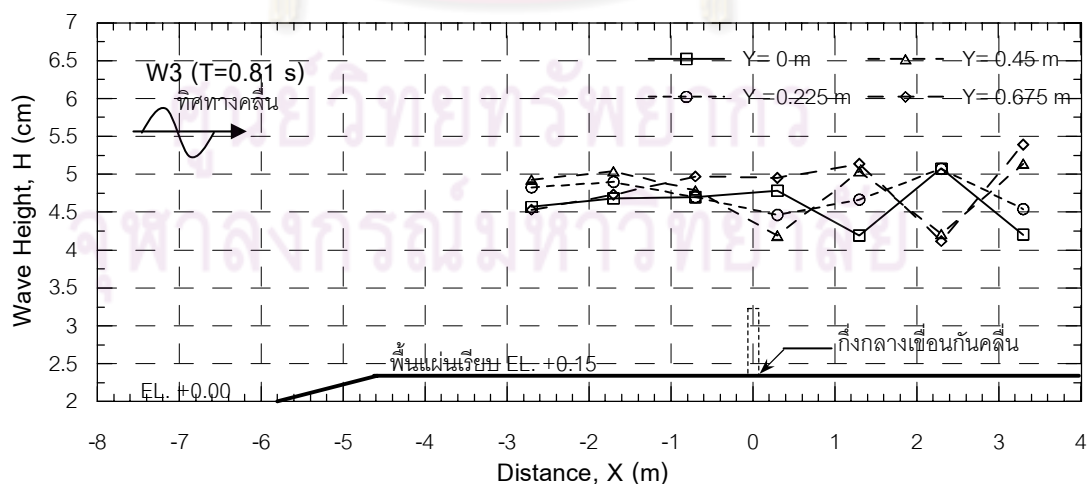
รูปที่ ค-14 ตำแหน่งเครื่องวัดความสูงค้ลนสำหรับการทดลองการเปลี่ยนแปลงค้ลน  
กับระยะทางในแต่ละแนวนานเขื่อนกันค้ลน



ก) คลื่นที่ 1



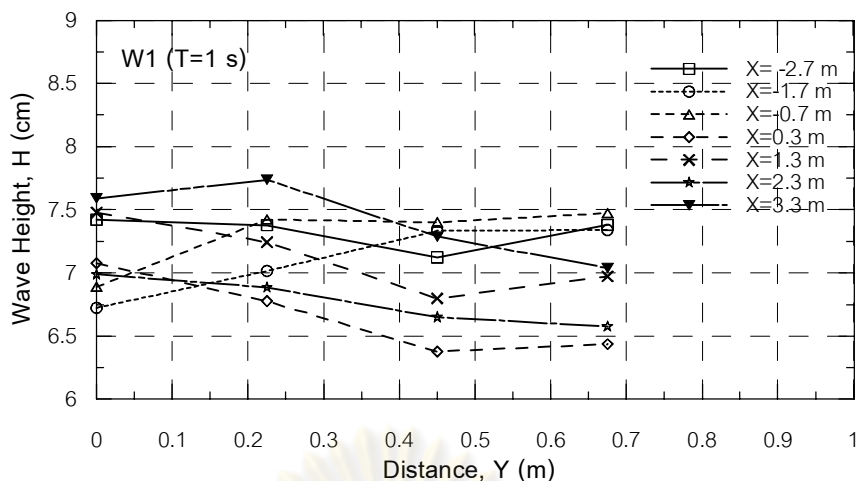
ข) คลื่นที่ 2



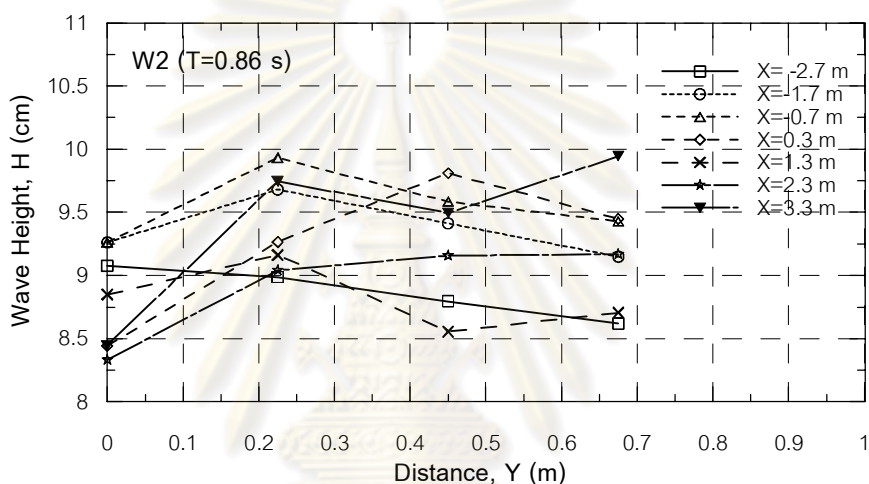
ค) คลื่นที่ 3

รูปที่ ค-15 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (H) กับระยะทางในแนวตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น (X)

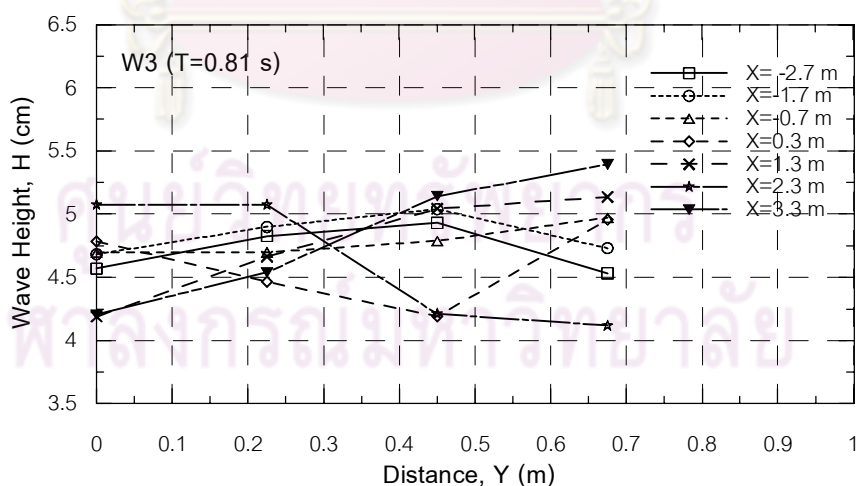
พิจารณาในแต่ละแนวขนานเขื่อนกันคลื่น (Y) กรณีไม่มีเขื่อน



ก) คลื่นที่ 1



ข) คลื่นที่ 2



ค) คลื่นที่ 3

รูปที่ ค-16 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (H) กับระยะทางในแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น (Y)

พิจารณาในแต่ละแนวตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น (X) กรณีไม่มีเขื่อน



ภาคผนวก ง  
ข้อมูลจากการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ง

### ข้อมูลจากการทดลอง

ในที่นี้ได้แสดงข้อมูลจากการทดลองในกรณีศึกษาต่างๆ จากการทดลองเขื่อนกันคลื่น 4 รูปแบบ ประกอบด้วย รูปแบบ A (3 แถวสลัป) มี 1 กรณีศึกษา รูปแบบ B (2 แถวตรง) มี 5 กรณีศึกษา รูปแบบ C (2 แถวสลัป) มี 5 กรณีศึกษา และรูปแบบ D (1 แถว) มี 1 กรณีศึกษา รวมทั้งสิ้น 12 กรณีศึกษา รายละเอียดแต่ละรูปแบบได้กล่าวมาแล้วในภาคผนวก ข-3 ในการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น ได้ทดลองโดยใช้ขนาดความชันคลื่น 8 ค่า ซึ่งข้อมูลจากการทดลอง มีประกอบด้วย

1) ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ หลังเขื่อนกันคลื่น ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติของแต่ละรูปแบบการจัดเรียงทั้งกรณีมีเขื่อนกันคลื่นและกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น รวมถึงการเปรียบเทียบความสูงคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่นกับความสูงคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น โดยแยกตามค่าความชันคลื่น ดังแสดงในตารางที่ ง-1 ถึง ง-8

2) รูปแสดงเส้นชั้นค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_r$ ) สร้างขึ้นจากข้อมูลอัตราส่วนความสูงคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่นต่อความสูงคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น จากข้อมูล ณ ตำแหน่งต่างๆ ของแต่ละรูปแบบการจัดเรียง โดยพิจารณาแยกตามค่าความชันคลื่น ซึ่งได้แสดงตัวอย่าง 6 ความชันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ ง-1 ถึง ง-6

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0035 (W1)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	6.58	5.92	0.90	6.58	6.12	0.93	6.58	5.75	0.87	6.58	5.80	0.88
2	0.42	0	6.70	6.23	0.93	6.70	6.14	0.92	6.70	6.16	0.92	6.70	6.20	0.93
3	0.58	0	6.50	5.75	0.88	6.50	6.61	1.02	6.50	6.10	0.94	6.50	6.00	0.92
4	0.75	0	4.76	4.76	1.00	4.76	4.73	0.99	4.76	4.75	1.00	4.76	4.76	1.00
5	0.92	0	3.91	3.60	0.92	3.91	3.95	1.01	3.91	3.75	0.96	3.91	3.71	0.95
6	0.33	0.06	7.03	6.45	0.92	7.03	6.92	0.98	7.03	6.25	0.89	7.03	6.50	0.92
7	0.50	0.06	6.42	5.98	0.93	6.42	6.03	0.94	6.42	6.17	0.96	6.42	6.24	0.97
8	0.66	0.06	7.56	6.77	0.90	7.56	7.68	1.02	7.56	6.74	0.89	7.56	6.75	0.89
9	0.83	0.06	4.84	4.80	0.99	4.84	4.88	1.01	4.84	5.03	1.04	4.84	5.18	1.07
10	1.00	0.06	3.73	3.46	0.93	3.73	3.78	1.01	3.73	3.94	1.06	3.73	3.84	1.03
11	0.25	0.13	5.92	5.70	0.96	5.92	6.00	1.01	5.92	5.80	0.98	5.92	5.61	0.95
12	0.42	0.13	5.93	5.78	0.97	5.93	5.87	0.99	5.93	5.35	0.90	5.93	5.49	0.92
13	0.58	0.13	5.78	5.34	0.92	5.78	5.69	0.98	5.78	5.43	0.94	5.78	5.29	0.92
14	0.75	0.13	4.28	3.98	0.93	4.28	4.48	1.05	4.28	4.24	0.99	4.28	4.28	1.00
15	0.33	0.19	6.36	5.64	0.89	6.36	5.83	0.92	6.36	5.58	0.88	6.36	5.90	0.93
16	0.50	0.19	5.54	5.13	0.93	5.54	6.20	1.12	5.54	5.68	1.03	5.54	5.67	1.02
17	0.66	0.19	6.98	6.43	0.92	6.98	6.66	0.95	6.98	6.35	0.91	6.98	6.16	0.88
18	0.83	0.19	4.74	4.74	1.00	4.74	5.16	1.09	4.74	4.95	1.04	4.74	4.94	1.04
19	1.00	0.19	3.70	3.75	1.02	3.70	4.22	1.14	3.70	3.67	0.99	3.70	3.69	1.00
20	0.25	0.25	6.58	6.06	0.92	6.58	6.06	0.92	6.58	5.62	0.85	6.58	5.86	0.89
21	0.42	0.25	6.70	6.70	1.00	6.70	6.01	0.90	6.70	6.08	0.91	6.70	6.14	0.92
22	0.58	0.25	6.50	6.11	0.94	6.50	6.24	0.96	6.50	5.89	0.91	6.50	6.00	0.92
23	0.75	0.25	4.76	4.89	1.03	4.76	4.83	1.01	4.76	4.56	0.96	4.76	4.64	0.97
24	0.92	0.25	3.91	3.62	0.93	3.91	3.66	0.94	3.91	3.61	0.92	3.91	3.59	0.92
25	0.33	0.31	7.03	6.49	0.92	7.03	6.40	0.91	7.03	6.77	0.96	7.03	6.47	0.92
26	0.50	0.31	6.42	5.93	0.92	6.42	6.40	1.00	6.42	5.91	0.92	6.42	5.97	0.93
27	0.66	0.31	7.56	7.01	0.93	7.56	6.75	0.89	7.56	7.04	0.93	7.56	6.94	0.92
28	0.83	0.31	4.84	4.55	0.94	4.84	5.30	1.10	4.84	5.04	1.04	4.84	5.16	1.07
29	1.00	0.31	3.73	3.58	0.96	3.73	3.72	1.00	3.73	3.76	1.01	3.73	3.88	1.04
30	0.25	0.38	5.92	6.10	1.03	5.92	6.03	1.02	5.92	5.55	0.94	5.92	5.72	0.97
31	0.42	0.38	5.93	5.72	0.96	5.93	5.59	0.94	5.93	5.45	0.92	5.93	5.44	0.92
32	0.58	0.38	5.78	5.64	0.98	5.78	5.53	0.96	5.78	5.11	0.88	5.78	5.09	0.88
33	0.75	0.38	4.28	4.03	0.94	4.28	4.28	1.00	4.28	4.11	0.96	4.28	4.06	0.95
34	0.33	0.44	6.36	6.08	0.96	6.36	5.78	0.91	6.36	5.86	0.92	6.36	6.00	0.94
35	0.50	0.44	5.54	4.94	0.89	5.54	5.75	1.04	5.54	5.36	0.97	5.54	5.35	0.97
36	0.66	0.44	6.98	6.50	0.93	6.98	6.30	0.90	6.98	6.59	0.94	6.98	6.61	0.95
37	0.83	0.44	4.74	4.40	0.93	4.74	5.09	1.07	4.74	4.84	1.02	4.74	4.81	1.02
38	1.00	0.44	3.70	3.59	0.97	3.70	3.86	1.04	3.70	3.60	0.97	3.70	3.68	0.99
39	0.25	0.5	6.70	6.62	0.99	6.70	6.09	0.91	6.70	6.17	0.92	6.70	6.23	0.93
40	0.42	0.5	6.50	6.25	0.96	6.50	6.17	0.95	6.50	5.96	0.92	6.50	6.05	0.93
41	0.58	0.5	4.76	4.55	0.96	4.76	4.78	1.00	4.76	4.55	0.95	4.76	4.61	0.97
42	0.75	0.5	3.91	3.53	0.90	3.91	3.42	0.87	3.91	3.46	0.88	3.91	3.48	0.89
43	0.92	0.5	5.92	5.87	0.99	5.92	5.80	0.98	5.92	5.43	0.92	5.92	5.55	0.94

wave period (T) = 1.28 sec

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0035 (W1) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	6.58	5.89	0.90	6.58	5.90	0.90	6.58	5.64	0.86	6.58	5.85	0.89
2	0.42	0	6.70	6.20	0.93	6.70	6.09	0.91	6.70	6.06	0.90	6.70	6.17	0.92
3	0.58	0	6.50	6.00	0.92	6.50	6.07	0.93	6.50	6.15	0.95	6.50	6.20	0.95
4	0.75	0	4.76	4.85	1.02	4.76	4.76	1.00	4.76	4.64	0.97	4.76	4.79	1.01
5	0.92	0	3.91	3.91	1.00	3.91	3.86	0.99	3.91	3.67	0.94	3.91	3.88	0.99
6	0.33	0.06	7.03	6.51	0.93	7.03	6.60	0.94	7.03	6.56	0.93	7.03	6.45	0.92
7	0.50	0.06	6.42	6.36	0.99	6.42	6.27	0.98	6.42	6.23	0.97	6.42	6.07	0.94
8	0.66	0.06	7.56	6.87	0.91	7.56	7.66	1.01	7.56	6.92	0.92	7.56	6.59	0.87
9	0.83	0.06	4.84	5.23	1.08	4.84	5.13	1.06	4.84	4.89	1.01	4.84	4.89	1.01
10	1.00	0.06	3.73	4.03	1.08	3.73	4.38	1.18	3.73	3.81	1.02	3.73	3.63	0.97
11	0.25	0.13	5.92	5.69	0.96	5.92	5.63	0.95	5.92	5.56	0.94	5.92	5.66	0.95
12	0.42	0.13	5.93	5.55	0.93	5.93	5.36	0.90	5.93	5.25	0.88	5.93	5.53	0.93
13	0.58	0.13	5.78	5.47	0.95	5.78	5.59	0.97	5.78	5.24	0.91	5.78	5.46	0.94
14	0.75	0.13	4.28	4.31	1.01	4.28	3.96	0.93	4.28	3.88	0.91	4.28	4.21	0.98
15	0.33	0.19	6.36	5.92	0.93	6.36	6.14	0.97	6.36	5.84	0.92	6.36	5.98	0.94
16	0.50	0.19	5.54	5.76	1.04	5.54	5.97	1.08	5.54	5.49	0.99	5.54	5.31	0.96
17	0.66	0.19	6.98	6.37	0.91	6.98	6.95	1.00	6.98	6.40	0.92	6.98	6.14	0.88
18	0.83	0.19	4.74	5.24	1.11	4.74	5.02	1.06	4.74	4.64	0.98	4.74	4.75	1.00
19	1.00	0.19	3.70	3.87	1.05	3.70	4.32	1.17	3.70	3.97	1.08	3.70	3.51	0.95
20	0.25	0.25	6.58	5.75	0.87	6.58	5.86	0.89	6.58	5.57	0.85	6.58	5.68	0.86
21	0.42	0.25	6.70	6.22	0.93	6.70	6.20	0.93	6.70	6.04	0.90	6.70	6.19	0.92
22	0.58	0.25	6.50	5.95	0.92	6.50	6.25	0.96	6.50	5.96	0.92	6.50	6.02	0.93
23	0.75	0.25	4.76	4.65	0.98	4.76	4.58	0.96	4.76	4.49	0.94	4.76	4.59	0.96
24	0.92	0.25	3.91	3.84	0.98	3.91	3.94	1.01	3.91	3.70	0.95	3.91	3.53	0.90
25	0.33	0.31	7.03	6.62	0.94	7.03	6.66	0.95	7.03	6.58	0.94	7.03	6.60	0.94
26	0.50	0.31	6.42	6.15	0.96	6.42	6.08	0.95	6.42	5.72	0.89	6.42	5.95	0.93
27	0.66	0.31	7.56	7.12	0.94	7.56	7.25	0.96	7.56	6.57	0.87	7.56	6.54	0.86
28	0.83	0.31	4.84	5.13	1.06	4.84	4.96	1.03	4.84	4.93	1.02	4.84	4.94	1.02
29	1.00	0.31	3.73	3.71	0.99	3.73	4.01	1.08	3.73	3.40	0.91	3.73	3.48	0.94
30	0.25	0.38	5.92	5.83	0.98	5.92	5.61	0.95	5.92	5.48	0.92	5.92	5.70	0.96
31	0.42	0.38	5.93	5.73	0.97	5.93	5.83	0.98	5.93	5.39	0.91	5.93	5.57	0.94
32	0.58	0.38	5.78	5.13	0.89	5.78	5.06	0.87	5.78	4.99	0.86	5.78	5.22	0.90
33	0.75	0.38	4.28	4.42	1.03	4.28	4.37	1.02	4.28	4.04	0.94	4.28	4.00	0.94
34	0.33	0.44	6.36	6.17	0.97	6.36	6.05	0.95	6.36	5.86	0.92	6.36	5.86	0.92
35	0.50	0.44	5.54	5.44	0.98	5.54	5.72	1.03	5.54	5.23	0.94	5.54	5.01	0.90
36	0.66	0.44	6.98	6.48	0.93	6.98	6.68	0.96	6.98	6.16	0.88	6.98	6.34	0.91
37	0.83	0.44	4.74	5.22	1.10	4.74	5.04	1.06	4.74	4.66	0.98	4.74	4.66	0.98
38	1.00	0.44	3.70	3.62	0.98	3.70	3.87	1.05	3.70	3.42	0.93	3.70	3.52	0.95
39	0.25	0.5	6.70	6.36	0.95	6.70	6.40	0.96	6.70	5.92	0.88	6.70	6.32	0.94
40	0.42	0.5	6.50	6.13	0.94	6.50	6.06	0.93	6.50	5.99	0.92	6.50	5.95	0.92
41	0.58	0.5	4.76	4.66	0.98	4.76	4.56	0.96	4.76	4.59	0.96	4.76	4.68	0.98
42	0.75	0.5	3.91	3.66	0.93	3.91	3.61	0.92	3.91	3.37	0.86	3.91	3.56	0.91
43	0.92	0.5	5.92	5.50	0.93	5.92	5.58	0.94	5.92	5.63	0.95	5.92	5.80	0.98

wave period (T) = 1.28 sec

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0035 (W1) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	6.58	5.69	0.87	6.58	6.00	0.91	6.58	5.77	0.88	6.58	6.37	0.97
2	0.42	0	6.70	6.42	0.96	6.70	6.15	0.92	6.70	6.34	0.95	6.70	6.48	0.97
3	0.58	0	6.50	6.09	0.94	6.50	6.19	0.95	6.50	6.45	0.99	6.50	6.58	1.01
4	0.75	0	4.76	4.86	1.02	4.76	5.03	1.05	4.76	4.67	0.98	4.76	5.22	1.10
5	0.92	0	3.91	3.87	0.99	3.91	3.96	1.01	3.91	4.16	1.06	3.91	4.01	1.03
6	0.33	0.06	7.03	6.56	0.93	7.03	6.28	0.89	7.03	6.45	0.92	7.03	6.58	0.94
7	0.50	0.06	6.42	5.82	0.91	6.42	5.56	0.87	6.42	5.79	0.90	6.42	6.46	1.01
8	0.66	0.06	7.56	6.92	0.91	7.56	6.73	0.89	7.56	6.76	0.89	7.56	7.04	0.93
9	0.83	0.06	4.84	4.70	0.97	4.84	4.43	0.91	4.84	4.74	0.98	4.84	5.10	1.05
10	1.00	0.06	3.73	3.76	1.01	3.73	3.75	1.01	3.73	3.59	0.96	3.73	3.81	1.02
11	0.25	0.13	5.92	5.68	0.96	5.92	5.77	0.97	5.92	5.40	0.91	5.92	6.11	1.03
12	0.42	0.13	5.93	5.69	0.96	5.93	5.47	0.92	5.93	5.66	0.95	5.93	5.75	0.97
13	0.58	0.13	5.78	5.33	0.92	5.78	5.56	0.96	5.78	5.34	0.92	5.78	5.79	1.00
14	0.75	0.13	4.28	4.39	1.03	4.28	4.25	0.99	4.28	4.12	0.96	4.28	4.55	1.06
15	0.33	0.19	6.36	5.86	0.92	6.36	5.61	0.88	6.36	5.95	0.93	6.36	5.68	0.89
16	0.50	0.19	5.54	5.25	0.95	5.54	5.18	0.93	5.54	4.96	0.90	5.54	5.86	1.06
17	0.66	0.19	6.98	6.07	0.87	6.98	6.09	0.87	6.98	6.21	0.89	6.98	6.43	0.92
18	0.83	0.19	4.74	4.72	1.00	4.74	4.44	0.94	4.74	4.64	0.98	4.74	5.12	1.08
19	1.00	0.19	3.70	3.60	0.98	3.70	3.53	0.95	3.70	3.19	0.86	3.70	3.86	1.04
20	0.25	0.25	6.58	5.73	0.87	6.58	5.65	0.86	6.58	5.74	0.87	6.58	5.85	0.89
21	0.42	0.25	6.70	6.39	0.95	6.70	6.39	0.95	6.70	6.73	1.00	6.70	6.62	0.99
22	0.58	0.25	6.50	6.21	0.95	6.50	6.22	0.96	6.50	6.25	0.96	6.50	6.51	1.00
23	0.75	0.25	4.76	4.88	1.02	4.76	4.67	0.98	4.76	4.90	1.03	4.76	5.03	1.06
24	0.92	0.25	3.91	3.77	0.96	3.91	3.94	1.01	3.91	3.99	1.02	3.91	3.83	0.98
25	0.33	0.31	7.03	6.64	0.94	7.03	6.30	0.90	7.03	6.52	0.93	7.03	6.98	0.99
26	0.50	0.31	6.42	5.95	0.93	6.42	5.87	0.91	6.42	5.54	0.86	6.42	6.10	0.95
27	0.66	0.31	7.56	6.82	0.90	7.56	6.60	0.87	7.56	6.66	0.88	7.56	7.49	0.99
28	0.83	0.31	4.84	5.06	1.05	4.84	4.46	0.92	4.84	4.37	0.90	4.84	5.16	1.07
29	1.00	0.31	3.73	3.63	0.97	3.73	3.74	1.01	3.73	3.72	1.00	3.73	3.67	0.99
30	0.25	0.38	5.92	5.81	0.98	5.92	5.67	0.96	5.92	6.01	1.01	5.92	5.93	1.00
31	0.42	0.38	5.93	5.64	0.95	5.93	5.72	0.96	5.93	5.83	0.98	5.93	5.76	0.97
32	0.58	0.38	5.78	5.22	0.90	5.78	5.10	0.88	5.78	5.16	0.89	5.78	5.67	0.98
33	0.75	0.38	4.28	4.29	1.00	4.28	4.19	0.98	4.28	4.40	1.03	4.28	4.24	0.99
34	0.33	0.44	6.36	6.09	0.96	6.36	5.57	0.88	6.36	5.97	0.94	6.36	6.25	0.98
35	0.50	0.44	5.54	5.22	0.94	5.54	5.20	0.94	5.54	4.84	0.87	5.54	5.45	0.98
36	0.66	0.44	6.98	6.46	0.93	6.98	6.15	0.88	6.98	6.30	0.90	6.98	6.88	0.98
37	0.83	0.44	4.74	4.60	0.97	4.74	4.46	0.94	4.74	4.44	0.94	4.74	4.93	1.04
38	1.00	0.44	3.70	3.74	1.01	3.70	3.62	0.98	3.70	3.53	0.95	3.70	3.57	0.97
39	0.25	0.5	6.70	6.45	0.96	6.70	6.31	0.94	6.70	6.57	0.98	6.70	6.68	1.00
40	0.42	0.5	6.50	6.22	0.96	6.50	6.17	0.95	6.50	6.18	0.95	6.50	6.75	1.04
41	0.58	0.5	4.76	4.83	1.01	4.76	4.73	0.99	4.76	4.85	1.02	4.76	4.93	1.03
42	0.75	0.5	3.91	3.73	0.95	3.91	3.67	0.94	3.91	3.72	0.95	3.91	3.95	1.01
43	0.92	0.5	5.92	5.66	0.96	5.92	5.53	0.93	5.92	5.62	0.95	5.92	5.68	0.96

wave period (T) = 1.28 sec

ตารางที่ ง-2 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0061 (W2)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A1			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	5.61	5.52	0.98	7.21	7.22	1.00	5.61	5.39	0.96	5.61	5.62	1.00
2	0.42	0	8.98	8.67	0.97	8.49	8.47	1.00	8.98	8.56	0.95	8.98	8.81	0.98
3	0.58	0	7.55	7.52	1.00	7.26	6.75	0.93	7.55	7.10	0.94	7.55	7.15	0.95
4	0.75	0	5.96	5.86	0.98	6.01	5.87	0.98	5.96	6.23	1.04	5.96	6.01	1.01
5	0.92	0	6.50	6.69	1.03	6.43	6.61	1.03	6.50	7.09	1.09	6.50	6.92	1.06
6	0.33	0.06	7.99	7.58	0.95	7.99	7.36	0.92	7.99	7.11	0.89	7.99	7.16	0.90
7	0.50	0.06	8.12	7.50	0.92	8.12	7.30	0.90	8.12	7.67	0.94	8.12	7.47	0.92
8	0.66	0.06	8.87	8.79	0.99	8.87	7.49	0.84	8.87	8.02	0.90	8.87	7.92	0.89
9	0.83	0.06	6.56	6.44	0.98	6.56	6.07	0.92	6.56	6.45	0.98	6.56	6.40	0.98
10	1.00	0.06	6.29	6.50	1.03	6.29	6.05	0.96	6.29	6.37	1.01	6.29	6.41	1.02
11	0.25	0.13	7.00	7.13	1.02	7.43	7.11	0.96	7.00	6.74	0.96	7.00	6.98	1.00
12	0.42	0.13	6.44	6.44	1.00	7.71	7.62	0.99	6.44	6.38	0.99	6.44	6.37	0.99
13	0.58	0.13	5.27	5.30	1.00	6.94	6.54	0.94	5.27	5.16	0.98	5.27	5.28	1.00
14	0.75	0.13	6.53	6.03	0.92	6.50	6.19	0.95	6.53	6.30	0.96	6.53	6.44	0.99
15	0.33	0.19	7.68	7.60	0.99	7.68	7.23	0.94	7.68	7.03	0.92	7.68	7.10	0.92
16	0.50	0.19	8.42	8.40	1.00	8.42	8.16	0.97	8.42	8.22	0.98	8.42	8.29	0.99
17	0.66	0.19	9.15	9.01	0.98	9.15	8.02	0.88	9.15	8.15	0.89	9.15	8.34	0.91
18	0.83	0.19	6.73	6.90	1.03	6.73	6.50	0.97	6.73	6.73	1.00	6.73	6.60	0.98
19	1.00	0.19	6.26	6.60	1.05	6.26	6.46	1.03	6.26	6.74	1.08	6.26	6.52	1.04
20	0.25	0.25	5.61	5.36	0.96	7.21	6.92	0.96	5.61	5.26	0.94	5.61	5.65	1.01
21	0.42	0.25	8.98	8.36	0.93	8.49	8.32	0.98	8.98	8.30	0.92	8.98	9.06	1.01
22	0.58	0.25	7.55	7.22	0.96	7.26	7.27	1.00	7.55	6.81	0.90	7.55	7.33	0.97
23	0.75	0.25	5.96	6.03	1.01	6.01	6.25	1.04	5.96	6.01	1.01	5.96	6.29	1.06
24	0.92	0.25	6.50	6.84	1.05	6.43	6.73	1.05	6.50	6.61	1.02	6.50	6.88	1.06
25	0.33	0.31	7.99	7.63	0.95	7.99	7.29	0.91	7.99	6.78	0.85	7.99	7.27	0.91
26	0.50	0.31	8.12	7.93	0.98	8.12	7.18	0.88	8.12	6.93	0.85	8.12	7.14	0.88
27	0.66	0.31	8.87	8.77	0.99	8.87	7.84	0.88	8.87	7.63	0.86	8.87	7.78	0.88
28	0.83	0.31	6.56	6.62	1.01	6.56	6.01	0.92	6.56	5.78	0.88	6.56	6.02	0.92
29	1.00	0.31	6.29	6.43	1.02	6.29	5.97	0.95	6.29	5.86	0.93	6.29	6.15	0.98
30	0.25	0.38	7.00	6.74	0.96	7.43	6.50	0.87	7.00	6.37	0.91	7.00	6.85	0.98
31	0.42	0.38	6.44	6.39	0.99	7.71	7.23	0.94	6.44	6.19	0.96	6.44	6.30	0.98
32	0.58	0.38	5.27	5.37	1.02	6.94	6.80	0.98	5.27	5.13	0.97	5.27	5.33	1.01
33	0.75	0.38	6.53	6.28	0.96	6.50	6.18	0.95	6.53	6.20	0.95	6.53	6.34	0.97
34	0.33	0.44	7.68	7.07	0.92	7.68	6.61	0.86	7.68	6.33	0.82	7.68	6.60	0.86
35	0.50	0.44	8.42	8.08	0.96	8.42	7.90	0.94	8.42	7.47	0.89	8.42	7.68	0.91
36	0.66	0.44	9.15	8.97	0.98	9.15	8.43	0.92	9.15	7.98	0.87	9.15	8.19	0.89
37	0.83	0.44	6.73	6.48	0.96	6.73	6.59	0.98	6.73	6.19	0.92	6.73	6.32	0.94
38	1.00	0.44	6.26	6.20	0.99	6.26	6.01	0.96	6.26	5.95	0.95	6.26	6.06	0.97
39	0.25	0.5	8.98	8.39	0.93	8.49	8.38	0.99	8.98	8.14	0.91	8.98	8.29	0.92
40	0.42	0.5	7.55	7.36	0.97	7.26	7.28	1.00	7.55	7.12	0.94	7.55	7.43	0.98
41	0.58	0.5	5.96	6.26	1.05	6.01	6.21	1.03	5.96	6.20	1.04	5.96	6.33	1.06
42	0.75	0.5	6.50	6.89	1.06	6.43	6.57	1.02	6.50	6.67	1.03	6.50	6.77	1.04
43	0.92	0.5	7.00	7.04	1.01	7.43	6.85	0.92	7.00	6.39	0.91	7.00	6.63	0.95

wave period (T) = 1.08 sec



ตารางที่ ง-2 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0061 (W2) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	5.61	5.80	1.03	5.61	5.81	1.04	7.21	6.24	0.87	5.64	5.40	0.96
2	0.42	0	8.98	8.65	0.96	8.98	8.55	0.95	8.49	7.65	0.90	8.73	8.33	0.95
3	0.58	0	7.55	7.17	0.95	7.55	7.22	0.96	7.26	6.51	0.90	7.27	6.92	0.95
4	0.75	0	5.96	5.89	0.99	5.96	5.92	0.99	6.01	6.09	1.01	6.15	6.36	1.03
5	0.92	0	6.50	6.83	1.05	6.50	6.85	1.05	6.43	6.52	1.02	6.31	6.90	1.09
6	0.33	0.06	7.99	7.14	0.89	7.99	7.42	0.93	7.99	7.18	0.90	7.99	7.05	0.88
7	0.50	0.06	8.12	7.51	0.92	8.12	7.87	0.97	8.12	6.67	0.82	8.12	7.17	0.88
8	0.66	0.06	8.87	7.95	0.90	8.87	8.30	0.94	8.87	7.31	0.82	8.87	7.58	0.85
9	0.83	0.06	6.56	6.11	0.93	6.56	6.33	0.96	6.56	5.76	0.88	6.56	6.37	0.97
10	1.00	0.06	6.29	6.20	0.99	6.29	6.62	1.05	6.29	5.76	0.92	6.29	6.35	1.01
11	0.25	0.13	7.00	7.15	1.02	7.00	7.21	1.03	7.43	6.36	0.86	7.00	6.73	0.96
12	0.42	0.13	6.44	6.31	0.98	6.44	6.27	0.97	7.71	7.46	0.97	6.47	6.19	0.96
13	0.58	0.13	5.27	5.31	1.01	5.27	5.36	1.02	6.94	6.15	0.89	5.47	5.13	0.94
14	0.75	0.13	6.53	6.20	0.95	6.53	6.22	0.95	6.50	5.91	0.91	6.40	6.60	1.03
15	0.33	0.19	7.68	6.96	0.91	7.68	7.40	0.96	7.68	7.28	0.95	7.68	7.15	0.93
16	0.50	0.19	8.42	7.95	0.94	8.42	8.30	0.99	8.42	7.66	0.91	8.42	7.98	0.95
17	0.66	0.19	9.15	8.15	0.89	9.15	8.66	0.95	9.15	8.02	0.88	9.15	7.95	0.87
18	0.83	0.19	6.73	6.63	0.99	6.73	6.65	0.99	6.73	6.36	0.95	6.73	6.47	0.96
19	1.00	0.19	6.26	6.45	1.03	6.26	6.48	1.03	6.26	5.84	0.93	6.26	6.31	1.01
20	0.25	0.25	5.61	5.54	0.99	5.61	5.73	1.02	7.21	6.87	0.95	5.64	5.71	1.01
21	0.42	0.25	8.98	8.70	0.97	8.98	8.78	0.98	8.49	8.42	0.99	8.73	8.85	1.01
22	0.58	0.25	7.55	7.16	0.95	7.55	7.24	0.96	7.26	6.88	0.95	7.27	7.32	1.01
23	0.75	0.25	5.96	6.00	1.01	5.96	6.17	1.04	6.01	5.83	0.97	6.15	6.47	1.05
24	0.92	0.25	6.50	6.53	1.01	6.50	6.59	1.01	6.43	6.41	1.00	6.31	6.74	1.07
25	0.33	0.31	7.99	7.34	0.92	7.99	7.33	0.92	7.99	6.69	0.84	7.99	7.19	0.90
26	0.50	0.31	8.12	7.29	0.90	8.12	7.45	0.92	8.12	6.57	0.81	8.12	7.04	0.87
27	0.66	0.31	8.87	8.10	0.91	8.87	8.19	0.92	8.87	7.83	0.88	8.87	7.59	0.86
28	0.83	0.31	6.56	6.07	0.93	6.56	6.24	0.95	6.56	6.01	0.92	6.56	6.07	0.93
29	1.00	0.31	6.29	6.13	0.97	6.29	6.20	0.99	6.29	5.88	0.93	6.29	6.12	0.97
30	0.25	0.38	7.00	6.87	0.98	7.00	6.95	0.99	7.43	6.75	0.91	7.00	6.87	0.98
31	0.42	0.38	6.44	6.33	0.98	6.44	6.40	0.99	7.71	7.36	0.95	6.47	6.27	0.97
32	0.58	0.38	5.27	5.17	0.98	5.27	5.24	0.99	6.94	6.28	0.91	5.47	5.25	0.96
33	0.75	0.38	6.53	6.16	0.94	6.53	6.11	0.94	6.50	6.00	0.92	6.40	6.31	0.99
34	0.33	0.44	7.68	6.50	0.85	7.68	6.79	0.88	7.68	6.49	0.85	7.68	6.50	0.85
35	0.50	0.44	8.42	7.87	0.93	8.42	7.71	0.92	8.42	7.42	0.88	8.42	7.58	0.90
36	0.66	0.44	9.15	8.43	0.92	9.15	8.45	0.92	9.15	8.25	0.90	9.15	8.04	0.88
37	0.83	0.44	6.73	6.56	0.98	6.73	6.63	0.99	6.73	6.21	0.92	6.73	6.24	0.93
38	1.00	0.44	6.26	6.31	1.01	6.26	6.26	1.00	6.26	5.72	0.91	6.26	6.13	0.98
39	0.25	0.5	8.98	8.22	0.91	8.98	8.54	0.95	8.49	7.96	0.94	8.73	8.44	0.97
40	0.42	0.5	7.55	7.38	0.98	7.55	7.61	1.01	7.26	6.79	0.94	7.27	7.31	1.00
41	0.58	0.5	5.96	6.27	1.05	5.96	6.25	1.05	6.01	5.94	0.99	6.15	6.38	1.04
42	0.75	0.5	6.50	6.47	1.00	6.50	6.54	1.01	6.43	6.35	0.99	6.31	6.67	1.06
43	0.92	0.5	7.00	6.68	0.95	7.00	6.80	0.97	7.43	6.76	0.91	7.00	6.65	0.95

wave period (T) = 1.08 sec

ตารางที่ ง-2 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0061 (W2) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D1		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	5.64	5.61	1.00	5.64	5.52	0.98	5.64	5.78	1.03	5.64	6.15	1.09
2	0.42	0	8.73	8.69	1.00	8.73	8.63	0.99	8.73	8.69	1.00	8.73	9.17	1.05
3	0.58	0	7.27	6.91	0.95	7.27	6.98	0.96	7.27	7.13	0.98	7.27	7.07	0.97
4	0.75	0	6.15	6.38	1.04	6.15	6.01	0.98	6.15	5.90	0.96	6.15	6.12	0.99
5	0.92	0	6.31	6.99	1.11	6.31	6.73	1.07	6.31	6.73	1.07	6.31	6.94	1.10
6	0.33	0.06	7.99	6.94	0.87	7.99	7.11	0.89	7.99	7.31	0.92	7.99	7.89	0.99
7	0.50	0.06	8.12	7.32	0.90	8.12	7.39	0.91	8.12	7.50	0.92	8.12	8.31	1.02
8	0.66	0.06	8.87	7.80	0.88	8.87	7.72	0.87	8.87	8.01	0.90	8.87	8.25	0.93
9	0.83	0.06	6.56	6.09	0.93	6.56	6.19	0.94	6.56	6.19	0.94	6.56	6.77	1.03
10	1.00	0.06	6.29	6.09	0.97	6.29	6.31	1.00	6.29	6.34	1.01	6.29	6.64	1.05
11	0.25	0.13	7.00	6.98	1.00	7.00	7.02	1.00	7.00	7.20	1.03	7.00	7.22	1.03
12	0.42	0.13	6.47	6.19	0.96	6.47	6.16	0.95	6.47	6.27	0.97	6.47	6.57	1.02
13	0.58	0.13	5.47	5.26	0.96	5.47	5.21	0.95	5.47	5.19	0.95	5.47	5.11	0.93
14	0.75	0.13	6.40	6.53	1.02	6.40	6.51	1.02	6.40	6.26	0.98	6.40	6.26	0.98
15	0.33	0.19	7.68	7.15	0.93	7.68	7.17	0.93	7.68	7.25	0.94	7.68	7.46	0.97
16	0.50	0.19	8.42	8.03	0.95	8.42	8.01	0.95	8.42	8.05	0.96	8.42	8.55	1.02
17	0.66	0.19	9.15	8.22	0.90	9.15	8.11	0.89	9.15	8.25	0.90	9.15	8.54	0.93
18	0.83	0.19	6.73	6.40	0.95	6.73	6.39	0.95	6.73	6.58	0.98	6.73	6.94	1.03
19	1.00	0.19	6.26	6.12	0.98	6.26	6.34	1.01	6.26	6.53	1.04	6.26	6.72	1.07
20	0.25	0.25	5.64	5.58	0.99	5.64	5.60	0.99	5.64	5.68	1.01	5.64	5.70	1.01
21	0.42	0.25	8.73	8.86	1.02	8.73	8.79	1.01	8.73	9.04	1.04	8.73	9.28	1.06
22	0.58	0.25	7.27	7.08	0.97	7.27	7.19	0.99	7.27	7.22	0.99	7.27	7.29	1.00
23	0.75	0.25	6.15	6.08	0.99	6.15	5.86	0.95	6.15	5.89	0.96	6.15	6.39	1.04
24	0.92	0.25	6.31	6.42	1.02	6.31	6.30	1.00	6.31	6.37	1.01	6.31	6.89	1.09
25	0.33	0.31	7.99	7.15	0.89	7.99	6.84	0.86	7.99	7.09	0.89	7.99	7.53	0.94
26	0.50	0.31	8.12	7.04	0.87	8.12	7.09	0.87	8.12	7.30	0.90	8.12	7.68	0.95
27	0.66	0.31	8.87	7.63	0.86	8.87	7.56	0.85	8.87	7.82	0.88	8.87	8.42	0.95
28	0.83	0.31	6.56	5.98	0.91	6.56	5.92	0.90	6.56	5.87	0.89	6.56	6.14	0.94
29	1.00	0.31	6.29	6.00	0.95	6.29	6.11	0.97	6.29	5.98	0.95	6.29	6.27	1.00
30	0.25	0.38	7.00	6.67	0.95	7.00	6.75	0.96	7.00	6.88	0.98	7.00	6.77	0.97
31	0.42	0.38	6.47	6.33	0.98	6.47	6.28	0.97	6.47	6.37	0.99	6.47	6.53	1.01
32	0.58	0.38	5.47	4.96	0.91	5.47	5.04	0.92	5.47	5.11	0.93	5.47	5.28	0.96
33	0.75	0.38	6.40	6.19	0.97	6.40	6.04	0.94	6.40	6.19	0.97	6.40	6.53	1.02
34	0.33	0.44	7.68	6.61	0.86	7.68	6.35	0.83	7.68	6.63	0.86	7.68	6.94	0.90
35	0.50	0.44	8.42	7.69	0.91	8.42	7.53	0.89	8.42	7.79	0.92	8.42	8.01	0.95
36	0.66	0.44	9.15	8.14	0.89	9.15	8.07	0.88	9.15	8.11	0.89	9.15	8.79	0.96
37	0.83	0.44	6.73	6.22	0.92	6.73	6.25	0.93	6.73	6.48	0.96	6.73	6.85	1.02
38	1.00	0.44	6.26	6.00	0.96	6.26	6.01	0.96	6.26	6.04	0.96	6.26	6.38	1.02
39	0.25	0.5	8.73	8.66	0.99	8.73	8.57	0.98	8.73	8.90	1.02	8.73	9.14	1.05
40	0.42	0.5	7.27	7.29	1.00	7.27	7.11	0.98	7.27	7.46	1.03	7.27	7.55	1.04
41	0.58	0.5	6.15	6.29	1.02	6.15	6.42	1.04	6.15	6.37	1.04	6.15	6.50	1.06
42	0.75	0.5	6.31	6.60	1.05	6.31	6.55	1.04	6.31	6.82	1.08	6.31	6.99	1.11
43	0.92	0.5	7.00	6.81	0.97	7.00	6.77	0.97	7.00	6.83	0.97	7.00	6.93	0.99

wave period (T) = 1.08 sec

ตารางที่ 3-3 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0089 (W3)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A1			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	13.03	12.38	0.95	13.03	11.80	0.91	13.03	11.26	0.86	13.03	10.93	0.84
2	0.42	0	9.03	8.75	0.97	9.03	8.87	0.98	9.03	8.07	0.89	9.03	8.24	0.91
3	0.58	0	9.84	9.04	0.92	9.84	8.91	0.91	9.84	8.13	0.83	9.84	8.40	0.85
4	0.75	0	7.21	7.14	0.99	7.21	6.43	0.89	7.21	6.40	0.89	7.21	6.76	0.94
5	0.92	0	6.29	6.22	0.99	6.29	5.83	0.93	6.29	6.06	0.96	6.29	5.76	0.92
6	0.33	0.06	11.26	10.34	0.92	11.26	10.20	0.91	11.26	10.15	0.90	11.26	10.36	0.92
7	0.50	0.06	8.20	7.03	0.86	8.20	7.46	0.91	8.20	7.12	0.87	8.20	7.33	0.89
8	0.66	0.06	10.31	9.69	0.94	10.31	9.20	0.89	10.31	9.17	0.89	10.31	9.38	0.91
9	0.83	0.06	5.77	5.75	1.00	5.77	5.57	0.96	5.77	5.62	0.97	5.77	5.86	1.01
10	1.00	0.06	7.14	6.60	0.92	7.14	6.87	0.96	7.14	6.75	0.95	7.14	6.99	0.98
11	0.25	0.13	11.02	10.25	0.93	11.02	10.01	0.91	11.02	9.21	0.84	11.02	9.24	0.84
12	0.42	0.13	9.11	8.67	0.95	9.11	8.61	0.95	9.11	8.09	0.89	9.11	7.88	0.87
13	0.58	0.13	10.38	9.54	0.92	10.38	9.30	0.90	10.38	8.91	0.86	10.38	9.40	0.91
14	0.75	0.13	6.65	6.37	0.96	6.65	6.07	0.91	6.65	5.87	0.88	6.65	6.08	0.91
15	0.92	0.13	6.69	6.56	0.98	6.69	6.37	0.95	6.69	6.46	0.96	6.69	6.15	0.92
16	0.33	0.19	9.18	8.69	0.95	9.18	8.75	0.95	9.18	8.07	0.88	9.18	8.26	0.90
17	0.50	0.19	8.53	8.53	1.00	8.53	8.24	0.97	8.53	7.95	0.93	8.53	8.39	0.98
18	0.66	0.19	10.79	10.00	0.93	10.79	10.35	0.96	10.79	9.80	0.91	10.79	9.87	0.91
19	0.83	0.19	6.19	5.79	0.94	6.19	6.22	1.00	6.19	6.03	0.97	6.19	5.92	0.96
20	1.00	0.19	7.66	7.18	0.94	7.66	7.10	0.93	7.66	7.04	0.92	7.66	7.17	0.94
21	0.25	0.25	13.03	12.38	0.95	13.03	11.55	0.89	13.03	11.50	0.88	13.03	11.45	0.88
22	0.42	0.25	9.03	9.14	1.01	9.03	8.36	0.93	9.03	8.69	0.96	9.03	8.58	0.95
23	0.58	0.25	9.84	9.20	0.93	9.84	8.52	0.87	9.84	8.43	0.86	9.84	8.46	0.86
24	0.75	0.25	7.21	7.16	0.99	7.21	6.52	0.91	7.21	6.64	0.92	7.21	6.58	0.91
25	0.92	0.25	6.29	6.20	0.99	6.29	5.80	0.92	6.29	5.84	0.93	6.29	5.79	0.92
26	0.33	0.31	11.26	10.72	0.95	11.26	10.49	0.93	11.26	10.71	0.95	11.26	10.54	0.94
27	0.50	0.31	8.20	7.37	0.90	8.20	7.91	0.97	8.20	7.83	0.95	8.20	7.86	0.96
28	0.66	0.31	10.31	9.99	0.97	10.31	9.75	0.95	10.31	9.42	0.91	10.31	9.55	0.93
29	0.83	0.31	5.77	5.93	1.03	5.77	5.90	1.02	5.77	5.94	1.03	5.77	6.05	1.05
30	1.00	0.31	7.14	7.05	0.99	7.14	6.73	0.94	7.14	7.15	1.00	7.14	7.21	1.01
31	0.25	0.38	11.02	10.39	0.94	11.02	9.79	0.89	11.02	9.59	0.87	11.02	9.64	0.87
32	0.42	0.38	9.11	9.00	0.99	9.11	8.30	0.91	9.11	8.76	0.96	9.11	8.54	0.94
33	0.58	0.38	10.38	10.38	1.00	10.38	9.61	0.93	10.38	9.74	0.94	10.38	9.74	0.94
34	0.75	0.38	6.65	6.96	1.05	6.65	6.20	0.93	6.65	6.20	0.93	6.65	6.32	0.95
35	0.92	0.38	6.69	6.98	1.04	6.69	6.64	0.99	6.69	6.59	0.99	6.69	6.41	0.96
36	0.33	0.44	9.18	8.71	0.95	9.18	8.65	0.94	9.18	8.87	0.97	9.18	8.80	0.96
37	0.50	0.44	8.53	8.26	0.97	8.53	8.93	1.05	8.53	8.86	1.04	8.53	8.70	1.02
38	0.66	0.44	10.79	10.64	0.99	10.79	10.27	0.95	10.79	10.30	0.95	10.79	10.11	0.94
39	0.83	0.44	6.19	6.03	0.97	6.19	5.96	0.96	6.19	6.19	1.00	6.19	6.02	0.97
40	1.00	0.44	7.66	7.49	0.98	7.66	7.44	0.97	7.66	7.40	0.97	7.66	7.49	0.98
41	0.25	0.5	9.03	8.52	0.94	9.03	8.54	0.95	9.03	8.67	0.96	9.03	8.50	0.94
42	0.42	0.5	9.84	8.95	0.91	9.84	8.72	0.89	9.84	8.73	0.89	9.84	8.55	0.87
43	0.58	0.5	7.21	7.20	1.00	7.21	6.26	0.87	7.21	6.58	0.91	7.21	6.43	0.89
44	0.75	0.5	6.29	5.87	0.93	6.29	5.37	0.85	6.29	5.58	0.89	6.29	5.51	0.88
45	0.92	0.5	11.02	10.57	0.96	11.02	9.80	0.89	11.02	9.64	0.87	11	9.83	0.89

wave period (T) = 1 sec

ตารางที่ 3-3 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0089 (W3) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	13.03	11.23	0.86	13.03	11.18	0.86	13.03	10.59	0.81	13.03	10.46	0.80
2	0.42	0	9.03	8.49	0.94	9.03	8.74	0.97	9.03	8.28	0.92	9.03	8.08	0.90
3	0.58	0	9.84	8.52	0.87	9.84	8.66	0.88	9.84	8.48	0.86	9.84	8.03	0.82
4	0.75	0	7.21	6.48	0.90	7.21	6.20	0.86	7.21	6.72	0.93	7.21	6.47	0.90
5	0.92	0	6.29	5.58	0.89	6.29	5.30	0.84	6.29	5.49	0.87	6.29	5.42	0.86
6	0.33	0.06	11.26	9.98	0.89	11.26	10.05	0.89	11.26	10.12	0.90	11.26	10.08	0.90
7	0.50	0.06	8.20	7.33	0.89	8.20	7.47	0.91	8.20	7.57	0.92	8.20	7.49	0.91
8	0.66	0.06	10.31	9.16	0.89	10.31	9.56	0.93	10.31	9.13	0.89	10.31	8.89	0.86
9	0.83	0.06	5.77	5.94	1.03	5.77	6.09	1.05	5.77	5.69	0.99	5.77	5.29	0.92
10	1.00	0.06	7.14	7.05	0.99	7.14	7.16	1.00	7.14	7.05	0.99	7.14	6.90	0.97
11	0.25	0.13	11.02	9.41	0.85	11.02	9.53	0.86	11.02	8.77	0.80	11.02	8.84	0.80
12	0.42	0.13	9.11	8.28	0.91	9.11	8.33	0.91	9.11	7.87	0.86	9.11	7.82	0.86
13	0.58	0.13	10.38	9.48	0.91	10.38	9.81	0.94	10.38	9.16	0.88	10.38	8.69	0.84
14	0.75	0.13	6.65	6.31	0.95	6.65	6.27	0.94	6.65	6.43	0.97	6.65	6.01	0.90
15	0.92	0.13	6.69	6.17	0.92	6.69	6.45	0.96	6.69	6.30	0.94	6.69	6.18	0.92
16	0.33	0.19	9.18	8.03	0.87	9.18	8.12	0.88	9.18	8.52	0.93	9.18	8.24	0.90
17	0.50	0.19	8.53	8.24	0.97	8.53	8.19	0.96	8.53	8.23	0.96	8.53	8.11	0.95
18	0.66	0.19	10.79	9.77	0.91	10.79	9.90	0.92	10.79	9.85	0.91	10.79	9.62	0.89
19	0.83	0.19	6.19	6.22	1.00	6.19	6.04	0.98	6.19	5.74	0.93	6.19	5.73	0.92
20	1.00	0.19	7.66	7.35	0.96	7.66	7.71	1.01	7.66	6.90	0.90	7.66	7.06	0.92
21	0.25	0.25	13.03	11.53	0.88	13.03	11.69	0.90	13.03	10.93	0.84	13.03	11.31	0.87
22	0.42	0.25	9.03	8.73	0.97	9.03	8.76	0.97	9.03	8.02	0.89	9.03	8.69	0.96
23	0.58	0.25	9.84	8.63	0.88	9.84	8.77	0.89	9.84	8.32	0.84	9.84	8.26	0.84
24	0.75	0.25	7.21	6.62	0.92	7.21	6.82	0.95	7.21	6.68	0.93	7.21	6.66	0.92
25	0.92	0.25	6.29	5.60	0.89	6.29	5.63	0.89	6.29	5.32	0.85	6.29	5.55	0.88
26	0.33	0.31	11.26	10.31	0.92	11.26	10.42	0.93	11.26	10.58	0.94	11.26	10.34	0.92
27	0.50	0.31	8.20	7.89	0.96	8.20	7.99	0.97	8.20	7.85	0.96	8.20	7.80	0.95
28	0.66	0.31	10.31	9.49	0.92	10.31	9.85	0.96	10.31	9.52	0.92	10.31	9.10	0.88
29	0.83	0.31	5.77	5.58	0.97	5.77	5.89	1.02	5.77	5.87	1.02	5.77	5.61	0.97
30	1.00	0.31	7.14	6.95	0.97	7.14	6.69	0.94	7.14	6.65	0.93	7.14	7.05	0.99
31	0.25	0.38	11.02	9.89	0.90	11.02	9.92	0.90	11.02	9.34	0.85	11.02	9.54	0.87
32	0.42	0.38	9.11	8.85	0.97	9.11	8.93	0.98	9.11	8.00	0.88	9.11	8.79	0.97
33	0.58	0.38	10.38	10.14	0.98	10.38	9.92	0.96	10.38	9.07	0.87	10.38	9.73	0.94
34	0.75	0.38	6.65	6.63	1.00	6.65	6.46	0.97	6.65	6.08	0.91	6.65	6.49	0.98
35	0.92	0.38	6.69	6.43	0.96	6.69	6.20	0.93	6.69	5.90	0.88	6.69	6.34	0.95
36	0.33	0.44	9.18	8.34	0.91	9.18	8.25	0.90	9.18	8.48	0.92	9.18	8.44	0.92
37	0.50	0.44	8.53	8.76	1.03	8.53	8.96	1.05	8.53	8.34	0.98	8.53	8.69	1.02
38	0.66	0.44	10.79	10.48	0.97	10.79	10.79	1.00	10.79	9.97	0.92	10.79	9.89	0.92
39	0.83	0.44	6.19	6.19	1.00	6.19	6.45	1.04	6.19	6.55	1.06	6.19	5.99	0.97
40	1.00	0.44	7.66	7.64	1.00	7.66	7.50	0.98	7.66	7.06	0.92	7.66	7.45	0.97
41	0.25	0.5	9.03	8.45	0.94	9.03	8.17	0.91	9.03	8.23	0.91	9.03	8.88	0.98
42	0.42	0.5	9.84	8.36	0.85	9.84	8.24	0.84	9.84	8.39	0.85	9.84	8.59	0.87
43	0.58	0.5	7.21	6.54	0.91	7.21	6.26	0.87	7.21	6.81	0.94	7.21	6.58	0.91
44	0.75	0.5	6.29	5.65	0.9	6.29	5.47	0.87	6.29	4.75	0.76	6.29	5.24	0.83
45	0.92	0.5	11	9.49	0.86	11	9.84	0.89	11.02	9.77	0.89	11	9.55	0.87

wave period (T) = 1 sec



ตารางที่ 3-3 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0089 (W3) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D1		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	13.03	10.88	0.83	13.03	11.14	0.85	13.03	11.25	0.86	13.03	11.43	0.88
2	0.42	0	9.03	8.46	0.94	9.03	8.73	0.97	9.03	8.89	0.99	9.03	9.34	1.04
3	0.58	0	9.84	8.13	0.83	9.84	8.35	0.85	9.84	8.59	0.87	9.84	8.64	0.88
4	0.75	0	7.21	6.41	0.89	7.21	6.66	0.92	7.21	6.69	0.93	7.21	6.90	0.96
5	0.92	0	6.29	5.69	0.90	6.29	5.78	0.92	6.29	5.65	0.90	6.29	5.86	0.93
6	0.33	0.06	11.26	10.26	0.91	11.26	9.91	0.88	11.26	9.72	0.86	11.26	10.89	0.97
7	0.50	0.06	8.20	7.20	0.88	8.20	7.46	0.91	8.20	7.53	0.92	8.20	8.05	0.98
8	0.66	0.06	10.31	8.93	0.87	10.31	9.15	0.89	10.31	9.15	0.89	10.31	9.71	0.94
9	0.83	0.06	5.77	5.71	0.99	5.77	5.68	0.98	5.77	6.09	1.06	5.77	5.89	1.02
10	1.00	0.06	7.14	6.97	0.98	7.14	7.08	0.99	7.14	7.54	1.06	7.14	6.97	0.98
11	0.25	0.13	11.02	9.30	0.84	11.02	9.65	0.87	11.02	9.72	0.88	11.02	9.70	0.88
12	0.42	0.13	9.11	8.27	0.91	9.11	8.56	0.94	9.11	8.77	0.96	9.11	8.74	0.96
13	0.58	0.13	10.38	8.88	0.86	10.38	9.46	0.91	10.38	9.69	0.93	10.38	9.26	0.89
14	0.75	0.13	6.65	6.05	0.91	6.65	6.27	0.94	6.65	6.63	1.00	6.65	6.18	0.93
15	0.92	0.13	6.69	5.93	0.89	6.69	6.10	0.91	6.69	6.48	0.97	6.69	6.04	0.90
16	0.33	0.19	9.18	7.86	0.86	9.18	8.38	0.91	9.18	8.00	0.87	9.18	8.59	0.94
17	0.50	0.19	8.53	7.98	0.94	8.53	8.21	0.96	8.53	8.39	0.98	8.53	8.63	1.01
18	0.66	0.19	10.79	9.35	0.87	10.79	9.74	0.90	10.79	9.76	0.90	10.79	9.80	0.91
19	0.83	0.19	6.19	5.84	0.94	6.19	5.84	0.94	6.19	5.86	0.95	6.19	6.03	0.97
20	1.00	0.19	7.66	7.01	0.91	7.66	7.48	0.98	7.66	7.47	0.98	7.66	7.39	0.97
21	0.25	0.25	13.03	11.30	0.87	13.03	11.53	0.88	13.03	11.64	0.89	13.03	11.39	0.87
22	0.42	0.25	9.03	8.94	0.99	9.03	9.01	1.00	9.03	9.01	1.00	9.03	9.36	1.04
23	0.58	0.25	9.84	8.44	0.86	9.84	8.54	0.87	9.84	8.77	0.89	9.84	8.53	0.87
24	0.75	0.25	7.21	6.67	0.92	7.21	6.50	0.90	7.21	6.45	0.89	7.21	6.98	0.97
25	0.92	0.25	6.29	5.71	0.91	6.29	5.48	0.87	6.29	5.60	0.89	6.29	5.91	0.94
26	0.33	0.31	11.26	10.58	0.94	11.26	10.22	0.91	11.26	10.38	0.92	11.26	10.91	0.97
27	0.50	0.31	8.20	7.94	0.97	8.20	7.89	0.96	8.20	7.79	0.95	8.20	8.13	0.99
28	0.66	0.31	10.31	9.48	0.92	10.31	9.49	0.92	10.31	9.82	0.95	10.31	9.85	0.96
29	0.83	0.31	5.77	5.83	1.01	5.77	6.15	1.07	5.77	6.19	1.07	5.77	6.14	1.06
30	1.00	0.31	7.14	7.18	1.01	7.14	7.18	1.01	7.14	7.48	1.05	7.14	7.44	1.04
31	0.25	0.38	11.02	9.75	0.88	11.02	9.60	0.87	11.02	9.99	0.91	11.02	9.74	0.88
32	0.42	0.38	9.11	9.04	0.99	9.11	8.95	0.98	9.11	8.94	0.98	9.11	9.13	1.00
33	0.58	0.38	10.38	9.79	0.94	10.38	9.82	0.95	10.38	10.11	0.97	10.38	9.69	0.93
34	0.75	0.38	6.65	6.41	0.96	6.65	6.38	0.96	6.65	6.57	0.99	6.65	6.37	0.96
35	0.92	0.38	6.69	6.46	0.97	6.69	6.01	0.90	6.69	6.12	0.91	6.69	6.32	0.94
36	0.33	0.44	9.18	8.77	0.96	9.18	8.78	0.96	9.18	8.54	0.93	9.18	9.03	0.98
37	0.50	0.44	8.53	9.02	1.06	8.53	8.92	1.05	8.53	8.80	1.03	8.53	9.02	1.06
38	0.66	0.44	10.79	10.15	0.94	10.79	10.60	0.98	10.79	10.90	1.01	10.79	10.74	1.00
39	0.83	0.44	6.19	5.84	0.94	6.19	6.37	1.03	6.19	6.39	1.03	6.19	6.31	1.02
40	1.00	0.44	7.66	7.41	0.97	7.66	7.74	1.01	7.66	8.07	1.05	7.66	7.56	0.99
41	0.25	0.5	9.03	9.08	1.01	9.03	8.74	0.97	9.03	8.58	0.95	9.03	9.06	1.00
42	0.42	0.5	9.84	8.63	0.88	9.84	8.44	0.86	9.84	8.44	0.86	9.84	8.85	0.90
43	0.58	0.5	7.21	6.68	0.93	7.21	6.59	0.91	7.21	6.54	0.91	7.21	6.67	0.93
44	0.75	0.5	6.29	5.5	0.87	6.29	5.44	0.86	6.29	5.67	0.90	6.29	5.52	0.88
45	0.92	0.5	11	9.66	0.88	11	9.73	0.88	11.02	9.89	0.90	11.02	9.85	0.89

wave period (T) = 1 sec



ตารางที่ ง-4 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0111 (W4)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A1			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	8.56	8.31	0.97	11.76	10.83	0.92	8.56	8.38	0.98	8.56	8.39	0.98
2	0.42	0	11.49	10.83	0.94	11.31	9.59	0.85	11.49	9.26	0.81	11.49	9.48	0.83
3	0.58	0	11.82	10.64	0.90	13.22	11.60	0.88	11.82	10.49	0.89	11.82	10.34	0.87
4	0.75	0	7.82	7.91	1.01	7.98	7.41	0.93	7.82	6.95	0.89	7.82	7.01	0.90
5	0.92	0	7.63	6.99	0.92	8.20	8.52	1.04	7.63	7.65	1.00	7.63	7.28	0.95
6	0.33	0.06	11.97	11.24	0.94	11.97	10.44	0.87	11.97	10.17	0.85	11.97	10.82	0.90
7	0.50	0.06	12.70	10.71	0.84	12.70	10.55	0.83	12.70	10.05	0.79	12.70	10.16	0.80
8	0.66	0.06	12.55	11.69	0.93	12.55	11.36	0.91	12.55	10.26	0.82	12.55	10.74	0.86
9	0.83	0.06	8.67	8.45	0.98	8.67	8.27	0.95	8.67	7.72	0.89	8.67	8.29	0.96
10	1.00	0.06	8.03	7.53	0.94	8.03	7.70	0.96	8.03	7.19	0.90	8.03	7.25	0.90
11	0.25	0.13	10.50	9.94	0.95	11.79	9.82	0.83	10.50	8.86	0.84	10.50	9.39	0.89
12	0.42	0.13	7.48	7.41	0.99	10.26	8.94	0.87	7.48	6.17	0.82	7.48	6.60	0.88
13	0.58	0.13	7.63	7.31	0.96	11.01	9.74	0.88	7.63	7.29	0.96	7.63	7.23	0.95
14	0.75	0.13	7.37	7.75	1.05	8.16	7.36	0.90	7.37	7.18	0.98	7.37	7.37	1.00
15	0.33	0.19	10.29	9.78	0.95	10.29	9.16	0.89	10.29	8.37	0.81	10.29	8.61	0.84
16	0.50	0.19	11.11	10.36	0.93	11.11	9.83	0.89	11.11	9.20	0.83	11.11	9.35	0.84
17	0.66	0.19	11.64	11.38	0.98	11.64	11.35	0.98	11.64	10.98	0.94	11.64	11.23	0.96
18	0.83	0.19	8.37	8.23	0.98	8.37	8.04	0.96	8.37	8.04	0.96	8.37	7.89	0.94
19	1.00	0.19	7.85	7.19	0.92	7.85	7.11	0.91	7.85	6.91	0.88	7.85	6.81	0.87
20	0.25	0.25	8.56	8.35	0.98	11.76	10.95	0.93	8.56	8.32	0.97	8.56	8.18	0.96
21	0.42	0.25	11.49	10.98	0.96	11.31	10.22	0.90	11.49	10.46	0.91	11.49	10.42	0.91
22	0.58	0.25	11.82	10.93	0.93	13.22	11.56	0.87	11.82	10.93	0.92	11.82	11.20	0.95
23	0.75	0.25	7.82	8.21	1.05	7.98	7.01	0.88	7.82	7.58	0.97	7.82	7.75	0.99
24	0.92	0.25	7.63	7.77	1.02	8.20	8.05	0.98	7.63	7.44	0.97	7.63	7.70	1.01
25	0.33	0.31	11.97	11.16	0.93	11.97	10.60	0.89	11.97	10.14	0.85	11.97	10.12	0.85
26	0.50	0.31	12.70	11.40	0.90	12.70	10.82	0.85	12.70	10.39	0.82	12.70	10.22	0.80
27	0.66	0.31	12.55	11.70	0.93	12.55	11.50	0.92	12.55	11.42	0.91	12.55	11.16	0.89
28	0.83	0.31	8.67	8.78	1.01	8.67	8.45	0.97	8.67	8.16	0.94	8.67	7.92	0.91
29	1.00	0.31	8.03	7.82	0.97	8.03	7.51	0.94	8.03	7.51	0.94	8.03	7.71	0.96
30	0.25	0.38	10.50	10.12	0.96	11.79	10.35	0.88	10.50	9.73	0.93	10.50	9.74	0.93
31	0.42	0.38	7.48	7.43	0.99	10.26	9.45	0.92	7.48	7.47	1.00	7.48	7.34	0.98
32	0.58	0.38	7.63	7.72	1.01	11.01	10.25	0.93	7.63	7.58	0.99	7.63	7.55	0.99
33	0.75	0.38	7.37	8.10	1.10	8.16	7.53	0.92	7.37	7.69	1.04	7.37	7.82	1.06
34	0.33	0.44	10.29	9.39	0.91	10.29	9.12	0.89	10.29	8.84	0.86	10.29	8.81	0.86
35	0.50	0.44	11.11	10.50	0.95	11.11	10.55	0.95	11.11	9.91	0.89	11.11	9.89	0.89
36	0.66	0.44	11.64	10.80	0.93	11.64	11.21	0.96	11.64	11.10	0.95	11.64	11.17	0.96
37	0.83	0.44	8.37	8.19	0.98	8.37	8.26	0.99	8.37	8.21	0.98	8.37	8.19	0.98
38	1.00	0.44	7.85	7.65	0.97	7.85	7.82	1.00	7.85	7.59	0.97	7.85	7.66	0.98
39	0.25	0.5	11.49	11.46	1.00	11.31	10.58	0.94	11.49	10.51	0.92	11.49	10.85	0.94
40	0.42	0.5	11.82	10.83	0.92	13.22	12.20	0.92	11.82	11.60	0.98	11.82	11.91	1.01
41	0.58	0.5	7.82	7.43	0.95	7.98	7.65	0.96	7.82	7.65	0.98	7.82	7.99	1.02
42	0.75	0.5	7.63	7.51	0.98	8.20	8.13	0.99	7.63	7.14	0.94	7.63	7.95	1.04
43	0.92	0.5	10.50	10.57	1.01	11.79	11.04	0.94	10.50	11.07	1.05	10.50	11.10	1.06

wave period (T) = 0.93 sec

ตารางที่ ง-4 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0111 (W4) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	8.56	8.45	0.99	8.56	8.72	1.02	11.76	10.85	0.92	8.56	8.82	1.03
2	0.42	0	11.49	9.99	0.87	11.49	10.33	0.90	11.31	10.58	0.94	11.49	10.41	0.91
3	0.58	0	11.82	10.59	0.90	11.82	10.92	0.92	13.22	12.26	0.93	11.82	11.44	0.97
4	0.75	0	7.82	6.67	0.85	7.82	7.77	0.99	7.98	7.47	0.94	7.82	7.93	1.01
5	0.92	0	7.63	7.59	1.00	7.63	7.66	1.00	8.20	8.52	1.04	7.63	7.27	0.95
6	0.33	0.06	11.97	10.93	0.91	11.97	11.06	0.92	11.97	11.02	0.92	11.97	10.71	0.89
7	0.50	0.06	12.70	10.36	0.82	12.70	10.67	0.84	12.70	11.40	0.90	12.70	10.29	0.81
8	0.66	0.06	12.55	10.77	0.86	12.55	10.86	0.87	12.55	12.09	0.96	12.55	11.52	0.92
9	0.83	0.06	8.67	7.79	0.90	8.67	8.48	0.98	8.67	8.38	0.97	8.67	8.31	0.96
10	1.00	0.06	8.03	7.48	0.93	8.03	7.28	0.91	8.03	7.82	0.97	8.03	7.83	0.98
11	0.25	0.13	10.50	9.45	0.90	10.50	10.16	0.97	11.79	9.71	0.82	10.50	9.97	0.95
12	0.42	0.13	7.48	6.95	0.93	7.48	7.02	0.94	10.26	8.49	0.83	7.48	7.17	0.96
13	0.58	0.13	7.63	7.56	0.99	7.63	7.73	1.01	11.01	9.96	0.90	7.63	7.54	0.99
14	0.75	0.13	7.37	6.96	0.94	7.37	7.51	1.02	8.16	7.32	0.90	7.37	7.31	0.99
15	0.33	0.19	10.29	8.81	0.86	10.29	8.81	0.86	10.29	9.35	0.91	10.29	9.13	0.89
16	0.50	0.19	11.11	9.81	0.88	11.11	9.67	0.87	11.11	10.08	0.91	11.11	9.66	0.87
17	0.66	0.19	11.64	11.41	0.98	11.64	11.17	0.96	11.64	11.45	0.98	11.64	11.38	0.98
18	0.83	0.19	8.37	7.83	0.94	8.37	7.74	0.92	8.37	8.06	0.96	8.37	8.14	0.97
19	1.00	0.19	7.85	6.83	0.87	7.85	7.37	0.94	7.85	7.01	0.89	7.85	7.14	0.91
20	0.25	0.25	8.56	8.43	0.99	8.56	8.67	1.01	11.76	10.82	0.92	8.56	8.72	1.02
21	0.42	0.25	11.49	10.18	0.89	11.49	10.65	0.93	11.31	10.11	0.89	11.49	10.99	0.96
22	0.58	0.25	11.82	11.09	0.94	11.82	11.36	0.96	13.22	11.35	0.86	11.82	11.37	0.96
23	0.75	0.25	7.82	7.42	0.95	7.82	8.07	1.03	7.98	6.86	0.86	7.82	8.03	1.03
24	0.92	0.25	7.63	7.55	0.99	7.63	7.62	1.00	8.20	8.21	1.00	7.63	7.55	0.99
25	0.33	0.31	11.97	10.14	0.85	11.97	11.09	0.93	11.97	11.16	0.93	11.97	11.62	0.97
26	0.50	0.31	12.70	10.36	0.82	12.70	10.85	0.85	12.70	11.20	0.88	12.70	11.09	0.87
27	0.66	0.31	12.55	11.14	0.89	12.55	11.92	0.95	12.55	11.91	0.95	12.55	12.07	0.96
28	0.83	0.31	8.67	8.31	0.96	8.67	8.93	1.03	8.67	8.32	0.96	8.67	8.57	0.99
29	1.00	0.31	8.03	7.76	0.97	8.03	7.61	0.95	8.03	7.38	0.92	8.03	7.49	0.93
30	0.25	0.38	10.50	9.84	0.94	10.50	10.28	0.98	11.79	10.09	0.86	10.50	10.30	0.98
31	0.42	0.38	7.48	7.11	0.95	7.48	7.49	1.00	10.26	9.48	0.92	7.48	7.63	1.02
32	0.58	0.38	7.63	7.64	1.00	7.63	7.91	1.04	11.01	10.56	0.96	7.63	8.02	1.05
33	0.75	0.38	7.37	7.48	1.02	7.37	8.24	1.12	8.16	7.60	0.93	7.37	7.85	1.07
34	0.33	0.44	10.29	8.89	0.86	10.29	9.53	0.93	10.29	9.53	0.93	10.29	10.07	0.98
35	0.50	0.44	11.11	10.04	0.90	11.11	10.93	0.98	11.11	10.59	0.95	11.11	10.86	0.98
36	0.66	0.44	11.64	11.38	0.98	11.64	11.96	1.03	11.64	11.72	1.01	11.64	12.17	1.05
37	0.83	0.44	8.37	8.37	1.00	8.37	8.62	1.03	8.37	7.92	0.95	8.37	8.07	0.96
38	1.00	0.44	7.85	7.32	0.93	7.85	7.77	0.99	7.85	7.43	0.95	7.85	7.50	0.96
39	0.25	0.5	11.49	10.16	0.88	11.49	10.62	0.92	11.31	11.13	0.98	11.49	10.26	0.89
40	0.42	0.5	11.82	11.19	0.95	11.82	11.45	0.97	13.22	12.36	0.93	11.82	11.52	0.97
41	0.58	0.5	7.82	7.66	0.98	7.82	7.75	0.99	7.98	7.40	0.93	7.82	7.62	0.98
42	0.75	0.5	7.63	7.41	0.97	7.63	7.42	0.97	8.20	8.29	1.01	7.63	7.27	0.95
43	0.92	0.5	10.50	10.84	1.03	10.50	11.26	1.07	11.79	10.99	0.93	10.50	11.07	1.05

wave period (T) = 0.93 sec

ตารางที่ ง-4 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0111 (W4) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D1		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	8.56	8.47	0.99	8.56	8.53	1.00	8.56	9.07	1.06	8.56	9.50	1.11
2	0.42	0	11.49	9.21	0.80	11.49	9.80	0.85	11.49	10.37	0.90	11.49	11.25	0.98
3	0.58	0	11.82	10.81	0.91	11.82	10.69	0.90	11.82	11.09	0.94	11.82	12.46	1.05
4	0.75	0	7.82	7.13	0.91	7.82	7.03	0.90	7.82	8.01	1.02	7.82	7.91	1.01
5	0.92	0	7.63	7.54	0.99	7.63	7.92	1.04	7.63	7.50	0.98	7.63	8.33	1.09
6	0.33	0.06	11.97	10.83	0.90	11.97	11.49	0.96	11.97	10.91	0.91	11.97	11.49	0.96
7	0.50	0.06	12.70	10.43	0.82	12.70	10.15	0.80	12.70	10.28	0.81	12.70	10.99	0.87
8	0.66	0.06	12.55	10.65	0.85	12.55	11.25	0.90	12.55	10.82	0.86	12.55	11.34	0.90
9	0.83	0.06	8.67	8.50	0.98	8.67	8.35	0.96	8.67	7.91	0.91	8.67	8.48	0.98
10	1.00	0.06	8.03	7.28	0.91	8.03	7.07	0.88	8.03	7.04	0.88	8.03	7.48	0.93
11	0.25	0.13	10.50	9.56	0.91	10.50	9.74	0.93	10.50	10.06	0.96	10.50	10.90	1.04
12	0.42	0.13	7.48	6.71	0.90	7.48	6.73	0.90	7.48	7.33	0.98	7.48	7.50	1.00
13	0.58	0.13	7.63	7.34	0.96	7.63	7.44	0.98	7.63	7.64	1.00	7.63	8.06	1.06
14	0.75	0.13	7.37	7.14	0.97	7.37	7.06	0.96	7.37	7.91	1.07	7.37	7.68	1.04
15	0.33	0.19	10.29	8.50	0.83	10.29	9.11	0.89	10.29	9.20	0.89	10.29	9.44	0.92
16	0.50	0.19	11.11	9.42	0.85	11.11	9.82	0.88	11.11	9.43	0.85	11.11	10.04	0.90
17	0.66	0.19	11.64	10.94	0.94	11.64	11.12	0.96	11.64	10.61	0.91	11.64	11.33	0.97
18	0.83	0.19	8.37	8.05	0.96	8.37	7.74	0.92	8.37	7.54	0.90	8.37	8.30	0.99
19	1.00	0.19	7.85	7.10	0.90	7.85	7.07	0.90	7.85	7.55	0.96	7.85	7.19	0.92
20	0.25	0.25	8.56	8.46	0.99	8.56	8.50	0.99	8.56	8.69	1.01	8.56	8.72	1.02
21	0.42	0.25	11.49	10.40	0.90	11.49	10.68	0.93	11.49	10.66	0.93	11.49	10.57	0.92
22	0.58	0.25	11.82	11.39	0.96	11.82	11.38	0.96	11.82	11.44	0.97	11.82	11.84	1.00
23	0.75	0.25	7.82	7.74	0.99	7.82	7.93	1.01	7.82	8.14	1.04	7.82	7.62	0.97
24	0.92	0.25	7.63	7.97	1.04	7.63	7.71	1.01	7.63	7.82	1.03	7.63	7.82	1.02
25	0.33	0.31	11.97	10.97	0.92	11.97	10.62	0.89	11.97	10.89	0.91	11.97	11.15	0.93
26	0.50	0.31	12.70	10.84	0.85	12.70	10.56	0.83	12.70	10.66	0.84	12.70	11.19	0.88
27	0.66	0.31	12.55	11.65	0.93	12.55	11.42	0.91	12.55	11.71	0.93	12.55	12.41	0.99
28	0.83	0.31	8.67	8.28	0.96	8.67	8.29	0.96	8.67	8.72	1.01	8.67	8.86	1.02
29	1.00	0.31	8.03	7.72	0.96	8.03	7.73	0.96	8.03	7.60	0.95	8.03	7.79	0.97
30	0.25	0.38	10.50	10.22	0.97	10.50	10.20	0.97	10.50	10.28	0.98	10.50	10.32	0.98
31	0.42	0.38	7.48	7.44	1.00	7.48	7.53	1.01	7.48	7.67	1.02	7.48	7.61	1.02
32	0.58	0.38	7.63	7.77	1.02	7.63	7.92	1.04	7.63	7.99	1.05	7.63	8.09	1.06
33	0.75	0.38	7.37	7.84	1.06	7.37	7.99	1.08	7.37	8.31	1.13	7.37	8.03	1.09
34	0.33	0.44	10.29	9.30	0.90	10.29	9.09	0.88	10.29	9.61	0.93	10.29	9.74	0.95
35	0.50	0.44	11.11	10.63	0.96	11.11	10.29	0.93	11.11	10.65	0.96	11.11	10.84	0.98
36	0.66	0.44	11.64	11.68	1.00	11.64	11.53	0.99	11.64	11.64	1.00	11.64	11.42	0.98
37	0.83	0.44	8.37	8.49	1.01	8.37	8.63	1.03	8.37	8.40	1.00	8.37	8.19	0.98
38	1.00	0.44	7.85	7.56	0.96	7.85	7.56	0.96	7.85	7.56	0.96	7.85	7.90	1.01
39	0.25	0.5	11.49	10.78	0.94	11.49	10.47	0.91	11.49	10.81	0.94	11.49	11.31	0.98
40	0.42	0.5	11.82	11.90	1.01	11.82	11.85	1.00	11.82	11.89	1.01	11.82	11.96	1.01
41	0.58	0.5	7.82	7.92	1.01	7.82	7.89	1.01	7.82	7.90	1.01	7.82	7.73	0.99
42	0.75	0.5	7.63	8.06	1.06	7.63	7.73	1.01	7.63	7.79	1.02	7.63	7.83	1.03
43	0.92	0.5	10.50	10.78	1.03	10.50	10.76	1.02	10.50	11.09	1.06	10.50	11.43	1.09

wave period (T) = 0.93 sec

ตารางที่ 5-5 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0121 (W5)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A1			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	12.26	10.73	0.88	12.26	11.56	0.94	8.56	8.38	0.98	12.26	10.30	0.84
2	0.42	0	11.78	10.47	0.89	11.78	10.20	0.87	11.49	9.26	0.81	11.78	9.44	0.80
3	0.58	0	13.01	11.40	0.88	13.01	11.45	0.88	11.82	10.49	0.89	13.01	10.92	0.84
4	0.75	0	8.25	7.23	0.88	8.25	7.49	0.91	7.82	6.95	0.89	8.25	7.21	0.87
5	0.92	0	8.21	8.08	0.98	8.21	7.70	0.94	7.63	7.65	1.00	8.21	7.55	0.92
6	0.33	0.06	11.97	11.24	0.94	11.97	10.44	0.87	11.97	10.17	0.85	11.97	10.82	0.90
7	0.50	0.06	12.70	10.71	0.84	12.70	10.55	0.83	12.70	10.05	0.79	12.70	10.16	0.80
8	0.66	0.06	12.55	11.69	0.93	12.55	11.36	0.91	12.55	10.26	0.82	12.55	10.74	0.86
9	0.83	0.06	8.67	8.45	0.98	8.67	8.27	0.95	8.67	7.72	0.89	8.67	8.29	0.96
10	1.00	0.06	8.03	7.53	0.94	8.03	7.70	0.96	8.03	7.19	0.90	8.03	7.25	0.90
11	0.25	0.13	11.62	10.91	0.94	11.62	10.15	0.87	10.50	8.86	0.84	11.62	9.93	0.85
12	0.42	0.13	10.65	9.57	0.90	10.65	9.14	0.86	7.48	6.17	0.82	10.65	9.35	0.88
13	0.58	0.13	10.87	10.33	0.95	10.87	9.65	0.89	7.63	7.29	0.96	10.87	9.29	0.85
14	0.75	0.13	8.11	7.62	0.94	8.11	7.38	0.91	7.37	7.18	0.98	8.11	6.98	0.86
15	0.33	0.19	10.29	9.78	0.95	10.29	9.16	0.89	10.29	8.37	0.81	10.29	8.61	0.84
16	0.50	0.19	11.11	10.36	0.93	11.11	9.83	0.89	11.11	9.20	0.83	11.11	9.35	0.84
17	0.66	0.19	11.64	11.38	0.98	11.64	11.35	0.98	11.64	10.98	0.94	11.64	11.23	0.96
18	0.83	0.19	8.37	8.23	0.98	8.37	8.04	0.96	8.37	8.04	0.96	8.37	7.89	0.94
19	1.00	0.19	7.85	7.19	0.92	7.85	7.11	0.91	7.85	6.91	0.88	7.85	6.81	0.87
20	0.25	0.25	12.26	10.54	0.86	12.26	10.99	0.90	8.56	8.32	0.97	12.26	10.55	0.86
21	0.42	0.25	11.78	10.59	0.90	11.78	10.74	0.91	11.49	10.46	0.91	11.78	10.36	0.88
22	0.58	0.25	13.01	11.74	0.90	13.01	11.25	0.86	11.82	10.93	0.92	13.01	11.03	0.85
23	0.75	0.25	8.25	7.15	0.87	8.25	7.47	0.91	7.82	7.58	0.97	8.25	7.49	0.91
24	0.92	0.25	8.21	8.13	0.99	8.21	7.88	0.96	7.63	7.44	0.97	8.21	7.69	0.94
25	0.33	0.31	11.97	11.16	0.93	11.97	10.60	0.89	11.97	10.14	0.85	11.97	10.12	0.85
26	0.50	0.31	12.70	11.40	0.90	12.70	10.82	0.85	12.70	10.39	0.82	12.70	10.22	0.80
27	0.66	0.31	12.55	11.70	0.93	12.55	11.50	0.92	12.55	11.42	0.91	12.55	11.16	0.89
28	0.83	0.31	8.67	8.78	1.01	8.67	8.45	0.97	8.67	8.16	0.94	8.67	7.92	0.91
29	1.00	0.31	8.03	7.82	0.97	8.03	7.51	0.94	8.03	7.51	0.94	8.03	7.71	0.96
30	0.25	0.38	11.62	11.00	0.95	11.62	10.43	0.90	10.50	9.73	0.93	11.62	9.77	0.84
31	0.42	0.38	10.65	9.51	0.89	10.65	9.96	0.94	7.48	7.47	1.00	10.65	9.24	0.87
32	0.58	0.38	10.87	10.29	0.95	10.87	10.52	0.97	7.63	7.58	0.99	10.87	9.71	0.89
33	0.75	0.38	8.11	7.56	0.93	8.11	8.04	0.99	7.37	7.69	1.04	8.11	7.48	0.92
34	0.33	0.44	10.29	9.39	0.91	10.29	9.12	0.89	10.29	8.84	0.86	10.29	8.81	0.86
35	0.50	0.44	11.11	10.50	0.95	11.11	10.55	0.95	11.11	9.91	0.89	11.11	9.89	0.89
36	0.66	0.44	11.64	10.80	0.93	11.64	11.21	0.96	11.64	11.10	0.95	11.64	11.17	0.96
37	0.83	0.44	8.37	8.19	0.98	8.37	8.26	0.99	8.37	8.21	0.98	8.37	8.19	0.98
38	1.00	0.44	7.85	7.65	0.97	7.85	7.82	1.00	7.85	7.59	0.97	7.85	7.66	0.98
39	0.25	0.5	11.78	11.13	0.94	11.78	11.01	0.93	11.49	10.51	0.92	11.78	10.83	0.92
40	0.42	0.5	13.01	11.50	0.88	13.01	11.56	0.89	11.82	11.60	0.98	13.01	11.49	0.88
41	0.58	0.5	8.25	7.30	0.89	8.25	7.52	0.91	7.82	7.65	0.98	8.25	8.00	0.97
42	0.75	0.5	8.21	7.97	0.97	8.21	8.12	0.99	7.63	7.14	0.94	8.21	7.78	0.95
43	0.92	0.5	11.62	11.10	0.96	11.62	10.68	0.92	10.50	11.07	1.05	11.62	11.02	0.95

wave period (T) = 0.93 sec



ตารางที่ 5-5 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0121 (W5) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	12.26	10.47	0.85	12.26	11.02	0.90	12.26	11.00	0.90	12.26	11.06	0.90
2	0.42	0	11.78	9.92	0.84	11.78	10.32	0.88	11.78	10.61	0.90	11.78	10.33	0.88
3	0.58	0	13.01	11.18	0.86	13.01	11.65	0.90	13.01	11.48	0.88	13.01	11.63	0.89
4	0.75	0	8.25	7.75	0.94	8.25	7.85	0.95	8.25	7.74	0.94	8.25	7.78	0.94
5	0.92	0	8.21	7.65	0.93	8.21	7.25	0.88	8.21	8.39	1.02	8.21	7.70	0.94
6	0.33	0.06	11.97	10.93	0.91	11.97	11.06	0.92	11.97	11.02	0.92	11.97	10.71	0.89
7	0.50	0.06	12.70	10.36	0.82	12.70	10.67	0.84	12.70	11.40	0.90	12.70	10.29	0.81
8	0.66	0.06	12.55	10.77	0.86	12.55	10.86	0.87	12.55	12.09	0.96	12.55	11.52	0.92
9	0.83	0.06	8.67	7.79	0.90	8.67	8.48	0.98	8.67	8.38	0.97	8.67	8.31	0.96
10	1.00	0.06	8.03	7.48	0.93	8.03	7.28	0.91	8.03	7.82	0.97	8.03	7.83	0.98
11	0.25	0.13	11.62	10.24	0.88	11.62	10.40	0.90	11.62	9.92	0.85	11.62	10.20	0.88
12	0.42	0.13	10.65	9.63	0.90	10.65	9.80	0.92	10.65	9.37	0.88	10.65	9.67	0.91
13	0.58	0.13	10.87	9.46	0.87	10.87	9.31	0.86	10.87	10.12	0.93	10.87	9.45	0.87
14	0.75	0.13	8.11	6.99	0.86	8.11	7.60	0.94	8.11	7.81	0.96	8.11	7.21	0.89
15	0.33	0.19	10.29	8.81	0.86	10.29	8.81	0.86	10.29	9.35	0.91	10.29	9.13	0.89
16	0.50	0.19	11.11	9.81	0.88	11.11	9.67	0.87	11.11	10.08	0.91	11.11	9.66	0.87
17	0.66	0.19	11.64	11.41	0.98	11.64	11.17	0.96	11.64	11.45	0.98	11.64	11.38	0.98
18	0.83	0.19	8.37	7.83	0.94	8.37	7.74	0.92	8.37	8.06	0.96	8.37	8.14	0.97
19	1.00	0.19	7.85	6.83	0.87	7.85	7.37	0.94	7.85	7.01	0.89	7.85	7.14	0.91
20	0.25	0.25	12.26	10.70	0.87	12.26	10.51	0.86	12.26	10.79	0.88	12.26	10.79	0.88
21	0.42	0.25	11.78	10.21	0.87	11.78	10.52	0.89	11.78	10.89	0.92	11.78	10.82	0.92
22	0.58	0.25	13.01	11.02	0.85	13.01	10.93	0.84	13.01	11.25	0.86	13.01	10.99	0.84
23	0.75	0.25	8.25	7.27	0.88	8.25	7.47	0.91	8.25	7.43	0.90	8.25	7.71	0.93
24	0.92	0.25	8.21	7.71	0.94	8.21	7.71	0.94	8.21	7.78	0.95	8.21	7.68	0.94
25	0.33	0.31	11.97	10.14	0.85	11.97	11.09	0.93	11.97	11.16	0.93	11.97	11.62	0.97
26	0.50	0.31	12.70	10.36	0.82	12.70	10.85	0.85	12.70	11.20	0.88	12.70	11.09	0.87
27	0.66	0.31	12.55	11.14	0.89	12.55	11.92	0.95	12.55	11.91	0.95	12.55	12.07	0.96
28	0.83	0.31	8.67	8.31	0.96	8.67	8.93	1.03	8.67	8.32	0.96	8.67	8.57	0.99
29	1.00	0.31	8.03	7.76	0.97	8.03	7.61	0.95	8.03	7.38	0.92	8.03	7.49	0.93
30	0.25	0.38	11.62	10.10	0.87	11.62	10.22	0.88	11.62	9.91	0.85	11.62	10.34	0.89
31	0.42	0.38	10.65	9.70	0.91	10.65	9.72	0.91	10.65	9.79	0.92	10.65	10.17	0.96
32	0.58	0.38	10.87	9.70	0.89	10.87	9.89	0.91	10.87	10.62	0.98	10.87	10.09	0.93
33	0.75	0.38	8.11	7.63	0.94	8.11	7.81	0.96	8.11	8.03	0.99	8.11	7.92	0.98
34	0.33	0.44	10.29	8.89	0.86	10.29	9.53	0.93	10.29	9.53	0.93	10.29	10.07	0.98
35	0.50	0.44	11.11	10.04	0.90	11.11	10.93	0.98	11.11	10.59	0.95	11.11	10.86	0.98
36	0.66	0.44	11.64	11.38	0.98	11.64	11.96	1.03	11.64	11.72	1.01	11.64	12.17	1.05
37	0.83	0.44	8.37	8.37	1.00	8.37	8.62	1.03	8.37	7.92	0.95	8.37	8.07	0.96
38	1.00	0.44	7.85	7.32	0.93	7.85	7.77	0.99	7.85	7.43	0.95	7.85	7.50	0.96
39	0.25	0.5	11.78	9.88	0.84	11.78	11.04	0.94	11.78	10.98	0.93	11.78	10.81	0.92
40	0.42	0.5	13.01	11.57	0.89	13.01	11.38	0.87	13.01	11.54	0.89	13.01	11.40	0.88
41	0.58	0.5	8.25	7.69	0.93	8.25	7.59	0.92	8.25	7.74	0.94	8.25	7.97	0.97
42	0.75	0.5	8.21	7.78	0.95	8.21	8.00	0.97	8.21	8.04	0.98	8.21	7.96	0.97
43	0.92	0.5	11.62	10.83	0.93	11.62	10.81	0.93	11.62	10.36	0.89	11.62	10.55	0.91

wave period (T) = 0.93 sec



ตารางที่ 5-5 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0121 (W5) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D1		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	12.26	11.20	0.91	12.26	10.16	0.83	12.26	11.35	0.93	12.26	11.16	0.91
2	0.42	0	11.78	9.84	0.84	11.78	9.87	0.84	11.78	10.50	0.89	11.78	10.58	0.90
3	0.58	0	13.01	11.46	0.88	13.01	11.52	0.89	13.01	11.70	0.90	13.01	12.14	0.93
4	0.75	0	8.25	7.68	0.93	8.25	8.08	0.98	8.25	7.97	0.97	8.25	7.97	0.97
5	0.92	0	8.21	7.51	0.91	8.21	7.95	0.97	8.21	7.60	0.93	8.21	8.25	1.00
6	0.33	0.06	11.97	10.83	0.90	11.97	11.49	0.96	11.97	10.91	0.91	11.97	11.49	0.96
7	0.50	0.06	12.70	10.43	0.82	12.70	10.15	0.80	12.70	10.28	0.81	12.70	10.99	0.87
8	0.66	0.06	12.55	10.65	0.85	12.55	11.25	0.90	12.55	10.82	0.86	12.55	11.34	0.90
9	0.83	0.06	8.67	8.50	0.98	8.67	8.35	0.96	8.67	7.91	0.91	8.67	8.48	0.98
10	1.00	0.06	8.03	7.28	0.91	8.03	7.07	0.88	8.03	7.04	0.88	8.03	7.48	0.93
11	0.25	0.13	11.62	10.18	0.88	11.62	10.43	0.90	11.62	10.11	0.87	11.62	10.66	0.92
12	0.42	0.13	10.65	9.48	0.89	10.65	9.84	0.92	10.65	9.89	0.93	10.65	9.98	0.94
13	0.58	0.13	10.87	9.39	0.86	10.87	9.82	0.90	10.87	9.63	0.89	10.87	10.27	0.94
14	0.75	0.13	8.11	7.06	0.87	8.11	7.38	0.91	8.11	7.91	0.97	8.11	7.96	0.98
15	0.33	0.19	10.29	8.50	0.83	10.29	9.11	0.89	10.29	9.20	0.89	10.29	9.44	0.92
16	0.50	0.19	11.11	9.42	0.85	11.11	9.82	0.88	11.11	9.43	0.85	11.11	10.04	0.90
17	0.66	0.19	11.64	10.94	0.94	11.64	11.12	0.96	11.64	10.61	0.91	11.64	11.33	0.97
18	0.83	0.19	8.37	8.05	0.96	8.37	7.74	0.92	8.37	7.54	0.90	8.37	8.30	0.99
19	1.00	0.19	7.85	7.10	0.90	7.85	7.07	0.90	7.85	7.55	0.96	7.85	7.19	0.92
20	0.25	0.25	12.26	10.34	0.84	12.26	10.80	0.88	12.26	10.71	0.87	12.26	10.57	0.86
21	0.42	0.25	11.78	10.22	0.87	11.78	10.64	0.90	11.78	10.86	0.92	11.78	10.89	0.92
22	0.58	0.25	13.01	11.01	0.85	13.01	11.41	0.88	13.01	11.30	0.87	13.01	11.47	0.88
23	0.75	0.25	8.25	7.61	0.92	8.25	7.85	0.95	8.25	7.71	0.93	8.25	7.64	0.93
24	0.92	0.25	8.21	7.63	0.93	8.21	7.76	0.95	8.21	7.89	0.96	8.21	7.83	0.95
25	0.33	0.31	11.97	10.97	0.92	11.97	10.62	0.89	11.97	10.89	0.91	11.97	11.15	0.93
26	0.50	0.31	12.70	10.84	0.85	12.70	10.56	0.83	12.70	10.66	0.84	12.70	11.19	0.88
27	0.66	0.31	12.55	11.65	0.93	12.55	11.42	0.91	12.55	11.71	0.93	12.55	12.41	0.99
28	0.83	0.31	8.67	8.28	0.96	8.67	8.29	0.96	8.67	8.72	1.01	8.67	8.86	1.02
29	1.00	0.31	8.03	7.72	0.96	8.03	7.73	0.96	8.03	7.60	0.95	8.03	7.79	0.97
30	0.25	0.38	11.62	9.67	0.83	11.62	10.22	0.88	11.62	10.19	0.88	11.62	10.25	0.88
31	0.42	0.38	10.65	9.60	0.90	10.65	10.11	0.95	10.65	9.89	0.93	10.65	10.13	0.95
32	0.58	0.38	10.87	9.61	0.88	10.87	9.80	0.90	10.87	10.06	0.93	10.87	10.19	0.94
33	0.75	0.38	8.11	8.09	1.00	8.11	8.24	1.02	8.11	8.00	0.99	8.11	8.01	0.99
34	0.33	0.44	10.29	9.30	0.90	10.29	9.09	0.88	10.29	9.61	0.93	10.29	9.74	0.95
35	0.50	0.44	11.11	10.63	0.96	11.11	10.29	0.93	11.11	10.65	0.96	11.11	10.84	0.98
36	0.66	0.44	11.64	11.68	1.00	11.64	11.53	0.99	11.64	11.64	1.00	11.64	11.42	0.98
37	0.83	0.44	8.37	8.49	1.01	8.37	8.63	1.03	8.37	8.40	1.00	8.37	8.19	0.98
38	1.00	0.44	7.85	7.56	0.96	7.85	7.56	0.96	7.85	7.56	0.96	7.85	7.90	1.01
39	0.25	0.5	11.78	10.55	0.90	11.78	10.51	0.89	11.78	11.11	0.94	11.78	11.49	0.98
40	0.42	0.5	13.01	11.52	0.89	13.01	11.45	0.88	13.01	10.98	0.84	13.01	11.97	0.92
41	0.58	0.5	8.25	7.77	0.94	8.25	8.11	0.98	8.25	7.55	0.92	8.25	8.18	0.99
42	0.75	0.5	8.21	7.75	0.94	8.21	7.83	0.95	8.21	7.86	0.96	8.21	8.66	1.05
43	0.92	0.5	11.62	10.82	0.93	11.62	10.69	0.92	11.62	10.47	0.90	11.62	10.69	0.92

wave period (T) = 0.93 sec

ตารางที่ ง-6 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0137 (W6)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A1			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	9.15	8.66	0.95	9.15	9.45	1.03	9.15	9.05	0.99	9.15	9.28	1.01
2	0.42	0	9.20	9.48	1.03	9.20	9.86	1.07	9.20	9.23	1.00	9.20	9.34	1.01
3	0.58	0	10.61	10.71	1.01	10.61	11.17	1.05	10.61	10.38	0.98	10.61	10.49	0.99
4	0.75	0	7.01	7.33	1.05	7.01	7.19	1.03	7.01	6.89	0.98	7.01	6.88	0.98
5	0.92	0	8.33	8.06	0.97	8.33	7.07	0.85	8.33	7.35	0.88	8.33	7.42	0.89
6	0.33	0.06	9.39	9.31	0.99	9.39	9.19	0.98	9.39	8.90	0.95	9.39	8.77	0.93
7	0.50	0.06	10.10	9.82	0.97	10.10	9.79	0.97	10.10	9.42	0.93	10.10	9.68	0.96
8	0.66	0.06	10.75	10.83	1.01	10.75	11.17	1.04	10.75	10.83	1.01	10.75	10.63	0.99
9	0.83	0.06	8.34	7.87	0.94	8.34	7.82	0.94	8.34	7.47	0.90	8.34	7.76	0.93
10	1.00	0.06	7.86	7.71	0.98	7.86	7.87	1.00	7.86	7.68	0.98	7.86	7.87	1.00
11	0.25	0.13	9.09	8.89	0.98	9.09	8.14	0.90	9.09	8.09	0.89	9.09	8.22	0.90
12	0.42	0.13	9.59	9.52	0.99	9.59	9.05	0.94	9.59	8.90	0.93	9.59	8.96	0.93
13	0.58	0.13	10.04	9.95	0.99	10.04	10.27	1.02	10.04	9.79	0.97	10.04	9.88	0.98
14	0.75	0.13	7.55	7.66	1.01	7.55	7.96	1.05	7.55	7.52	1.00	7.55	7.50	0.99
15	0.33	0.19	9.49	9.33	0.98	9.49	8.60	0.91	9.49	8.71	0.92	9.49	9.00	0.95
16	0.50	0.19	11.00	10.50	0.95	11.00	10.48	0.95	11.00	10.15	0.92	11.00	10.48	0.95
17	0.66	0.19	10.89	10.97	1.01	10.89	10.97	1.01	10.89	10.85	1.00	10.89	10.76	0.99
18	0.83	0.19	8.15	7.98	0.98	8.15	8.43	1.03	8.15	8.20	1.01	8.15	8.00	0.98
19	1.00	0.19	7.12	6.96	0.98	7.12	7.81	1.10	7.12	7.60	1.07	7.12	7.64	1.07
20	0.25	0.25	9.15	8.50	0.93	9.15	8.15	0.89	9.15	7.87	0.86	9.15	7.82	0.86
21	0.42	0.25	9.20	9.40	1.02	9.20	8.67	0.94	9.20	8.47	0.92	9.20	8.33	0.91
22	0.58	0.25	10.61	11.08	1.04	10.61	10.36	0.98	10.61	9.88	0.93	10.61	9.91	0.93
23	0.75	0.25	7.01	7.42	1.06	7.01	7.31	1.04	7.01	6.77	0.97	7.01	6.91	0.99
24	0.92	0.25	8.33	8.55	1.03	8.33	7.50	0.90	8.33	7.49	0.90	8.33	7.63	0.92
25	0.33	0.31	9.39	9.81	1.04	9.39	9.26	0.99	9.39	8.92	0.95	9.39	9.49	1.01
26	0.50	0.31	10.10	10.45	1.03	10.10	10.33	1.02	10.10	9.83	0.97	10.10	9.75	0.97
27	0.66	0.31	10.75	11.68	1.09	10.75	11.05	1.03	10.75	10.65	0.99	10.75	10.63	0.99
28	0.83	0.31	8.34	8.30	0.99	8.34	8.39	1.01	8.34	7.90	0.95	8.34	8.30	1.00
29	1.00	0.31	7.86	8.22	1.05	7.86	8.13	1.03	7.86	8.58	1.09	7.86	8.24	1.05
30	0.25	0.38	9.09	8.67	0.95	9.09	8.41	0.93	9.09	8.51	0.94	9.09	8.25	0.91
31	0.42	0.38	9.59	9.52	0.99	9.59	9.05	0.94	9.59	9.06	0.94	9.59	9.03	0.94
32	0.58	0.38	10.04	9.80	0.98	10.04	9.51	0.95	10.04	9.27	0.92	10.04	9.19	0.92
33	0.75	0.38	7.55	7.83	1.04	7.55	7.66	1.02	7.55	7.31	0.97	7.55	7.32	0.97
34	0.33	0.44	9.49	10.27	1.08	9.49	9.51	1.00	9.49	10.03	1.06	9.49	9.74	1.03
35	0.50	0.44	11.00	11.01	1.00	11.00	10.80	0.98	11.00	10.68	0.97	11.00	10.77	0.98
36	0.66	0.44	10.89	11.23	1.03	10.89	10.83	0.99	10.89	10.83	0.99	10.89	10.89	1.00
37	0.83	0.44	8.15	8.47	1.04	8.15	9.16	1.12	8.15	8.78	1.08	8.15	8.68	1.06
38	1.00	0.44	7.12	7.27	1.02	7.12	7.88	1.11	7.12	7.98	1.12	7.12	7.46	1.05
39	0.25	0.5	9.20	9.28	1.01	9.20	7.86	0.85	9.20	8.13	0.88	9.20	8.21	0.89
40	0.42	0.5	10.61	10.81	1.02	10.61	9.00	0.85	10.61	9.21	0.87	10.61	9.35	0.88
41	0.58	0.5	7.01	7.57	1.08	7.01	6.48	0.92	7.01	6.64	0.95	7.01	6.51	0.93
42	0.75	0.5	8.33	8.47	1.02	8.33	7.57	0.91	8.33	7.26	0.87	8.33	7.25	0.87
43	0.92	0.5	9.09	9.07	1.00	9.09	8.01	0.88	9.09	8.29	0.91	9.09	8.30	0.91

wave period (T) = 0.82 sec

ตารางที่ ง-6 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0137 (W6) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	9.15	9.29	1.02	9.15	8.69	0.95	9.15	8.49	0.93	9.15	9.21	1.01
2	0.42	0	9.20	9.29	1.01	9.20	8.87	0.96	9.20	8.78	0.95	9.20	9.12	0.99
3	0.58	0	10.61	10.56	1.00	10.61	10.03	0.94	10.61	9.95	0.94	10.61	10.02	0.94
4	0.75	0	7.01	7.07	1.01	7.01	7.04	1.00	7.01	7.10	1.01	7.01	6.82	0.97
5	0.92	0	8.33	7.47	0.90	8.33	7.02	0.84	8.33	6.93	0.83	8.33	7.33	0.88
6	0.33	0.06	9.39	8.91	0.95	9.39	9.16	0.98	9.39	8.49	0.90	9.39	8.88	0.94
7	0.50	0.06	10.10	9.14	0.91	10.10	9.70	0.96	10.10	9.43	0.93	10.10	9.49	0.94
8	0.66	0.06	10.75	10.64	0.99	10.75	10.80	1.00	10.75	10.51	0.98	10.75	10.62	0.99
9	0.83	0.06	8.34	7.44	0.89	8.34	7.61	0.91	8.34	7.92	0.95	8.34	7.43	0.89
10	1.00	0.06	7.86	7.66	0.97	7.86	7.77	0.99	7.86	7.80	0.99	7.86	7.66	0.97
11	0.25	0.13	9.09	8.56	0.94	9.09	8.25	0.91	9.09	7.57	0.83	9.09	8.05	0.89
12	0.42	0.13	9.59	9.00	0.94	9.59	8.68	0.90	9.59	8.41	0.88	9.59	8.75	0.91
13	0.58	0.13	10.04	9.71	0.97	10.04	9.18	0.91	10.04	9.07	0.90	10.04	9.62	0.96
14	0.75	0.13	7.55	7.61	1.01	7.55	7.41	0.98	7.55	7.44	0.98	7.55	7.37	0.98
15	0.33	0.19	9.49	8.66	0.91	9.49	8.74	0.92	9.49	8.41	0.89	9.49	8.39	0.88
16	0.50	0.19	11.00	9.78	0.89	11.00	10.44	0.95	11.00	10.09	0.92	11.00	10.09	0.92
17	0.66	0.19	10.89	10.42	0.96	10.89	10.67	0.98	10.89	10.39	0.95	10.89	10.54	0.97
18	0.83	0.19	8.15	7.87	0.97	8.15	8.11	0.99	8.15	8.29	1.02	8.15	8.07	0.99
19	1.00	0.19	7.12	7.24	1.02	7.12	7.29	1.02	7.12	7.67	1.08	7.12	7.72	1.08
20	0.25	0.25	9.15	7.92	0.87	9.15	8.03	0.88	9.15	8.42	0.92	9.15	8.24	0.90
21	0.42	0.25	9.20	8.68	0.94	9.20	8.56	0.93	9.20	8.99	0.98	9.20	8.62	0.94
22	0.58	0.25	10.61	10.86	1.02	10.61	10.23	0.96	10.61	10.53	0.99	10.61	9.99	0.94
23	0.75	0.25	7.01	7.43	1.06	7.01	7.31	1.04	7.01	7.18	1.02	7.01	6.59	0.94
24	0.92	0.25	8.33	8.09	0.97	8.33	7.70	0.92	8.33	7.33	0.88	8.33	7.71	0.93
25	0.33	0.31	9.39	9.83	1.05	9.39	9.50	1.01	9.39	9.67	1.03	9.39	9.20	0.98
26	0.50	0.31	10.10	10.04	0.99	10.10	10.09	1.00	10.10	10.50	1.04	10.10	9.63	0.95
27	0.66	0.31	10.75	11.27	1.05	10.75	11.37	1.06	10.75	11.17	1.04	10.75	10.47	0.97
28	0.83	0.31	8.34	8.04	0.96	8.34	8.17	0.98	8.34	8.09	0.97	8.34	7.88	0.95
29	1.00	0.31	7.86	8.39	1.07	7.86	8.36	1.06	7.86	8.13	1.03	7.86	8.06	1.02
30	0.25	0.38	9.09	8.52	0.94	9.09	8.47	0.93	9.09	8.20	0.90	9.09	8.69	0.96
31	0.42	0.38	9.59	9.05	0.94	9.59	9.22	0.96	9.59	9.03	0.94	9.59	8.76	0.91
32	0.58	0.38	10.04	9.33	0.93	10.04	9.41	0.94	10.04	9.54	0.95	10.04	9.23	0.92
33	0.75	0.38	7.55	7.73	1.02	7.55	7.69	1.02	7.55	7.69	1.02	7.55	7.18	0.95
34	0.33	0.44	9.49	9.94	1.05	9.49	9.99	1.05	9.49	9.78	1.03	9.49	9.36	0.99
35	0.50	0.44	11.00	10.93	0.99	11.00	11.14	1.01	11.00	10.92	0.99	11.00	10.40	0.95
36	0.66	0.44	10.89	11.08	1.02	10.89	11.23	1.03	10.89	10.85	1.00	10.89	10.33	0.95
37	0.83	0.44	8.15	8.75	1.07	8.15	8.72	1.07	8.15	8.95	1.10	8.15	8.89	1.09
38	1.00	0.44	7.12	7.89	1.11	7.12	8.04	1.13	7.12	7.92	1.11	7.12	7.48	1.05
39	0.25	0.5	9.20	8.86	0.96	9.20	8.81	0.96	9.20	8.06	0.88	9.20	7.68	0.83
40	0.42	0.5	10.61	10.44	0.98	10.61	10.06	0.95	10.61	9.43	0.89	10.61	8.55	0.81
41	0.58	0.5	7.01	7.28	1.04	7.01	7.39	1.05	7.01	7.02	1.00	7.01	6.21	0.89
42	0.75	0.5	8.33	8.19	0.98	8.33	8.29	1.00	8.33	7.27	0.87	8.33	7.12	0.85
43	0.92	0.5	9.09	8.55	0.94	9.09	8.51	0.94	9.09	8.17	0.90	9.09	7.96	0.88

wave period (T) = 0.82 sec

ตารางที่ ง-6 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0137 (W6) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D1		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	9.15	9.40	1.03	9.15	9.29	1.02	9.15	8.98	0.98	9.15	9.66	1.06
2	0.42	0	9.20	9.46	1.03	9.20	9.17	1.00	9.20	9.14	0.99	9.20	9.86	1.07
3	0.58	0	10.61	10.45	0.99	10.61	10.59	1.00	10.61	10.10	0.95	10.61	10.50	0.99
4	0.75	0	7.01	7.18	1.02	7.01	7.10	1.01	7.01	7.22	1.03	7.01	7.44	1.06
5	0.92	0	8.33	7.31	0.88	8.33	7.66	0.92	8.33	7.07	0.85	8.33	7.32	0.88
6	0.33	0.06	9.39	9.48	1.01	9.39	9.12	0.97	9.39	9.33	0.99	9.39	10.07	1.07
7	0.50	0.06	10.10	10.26	1.02	10.10	9.48	0.94	10.10	9.69	0.96	10.10	10.73	1.06
8	0.66	0.06	10.75	11.50	1.07	10.75	11.16	1.04	10.75	10.93	1.02	10.75	11.74	1.09
9	0.83	0.06	8.34	7.98	0.96	8.34	7.76	0.93	8.34	7.65	0.92	8.34	8.21	0.98
10	1.00	0.06	7.86	8.06	1.03	7.86	7.82	0.99	7.86	7.66	0.97	7.86	8.23	1.05
11	0.25	0.13	9.09	8.52	0.94	9.09	8.46	0.93	9.09	8.58	0.94	9.09	8.88	0.98
12	0.42	0.13	9.59	9.38	0.98	9.59	8.95	0.93	9.59	9.15	0.95	9.59	9.42	0.98
13	0.58	0.13	10.04	9.97	0.99	10.04	9.98	0.99	10.04	9.57	0.95	10.04	9.80	0.98
14	0.75	0.13	7.55	7.69	1.02	7.55	7.57	1.00	7.55	7.76	1.03	7.55	7.93	1.05
15	0.33	0.19	9.49	9.14	0.96	9.49	8.96	0.94	9.49	8.81	0.93	9.49	9.62	1.01
16	0.50	0.19	11.00	10.88	0.99	11.00	9.98	0.91	11.00	10.58	0.96	11.00	11.41	1.04
17	0.66	0.19	10.89	11.30	1.04	10.89	10.82	0.99	10.89	10.85	1.00	10.89	11.89	1.09
18	0.83	0.19	8.15	8.45	1.04	8.15	8.12	1.00	8.15	8.09	0.99	8.15	8.81	1.08
19	1.00	0.19	7.12	7.83	1.10	7.12	7.46	1.05	7.12	7.21	1.01	7.12	7.90	1.11
20	0.25	0.25	9.15	8.17	0.89	9.15	8.11	0.89	9.15	8.34	0.91	9.15	8.27	0.90
21	0.42	0.25	9.20	8.70	0.95	9.20	8.50	0.92	9.20	8.89	0.97	9.20	9.15	0.99
22	0.58	0.25	10.61	10.57	1.00	10.61	10.56	1.00	10.61	10.60	1.00	10.61	10.33	0.97
23	0.75	0.25	7.01	7.00	1.00	7.01	7.10	1.01	7.01	7.49	1.07	7.01	7.02	1.00
24	0.92	0.25	8.33	7.69	0.92	8.33	7.97	0.96	8.33	7.94	0.95	8.33	8.14	0.98
25	0.33	0.31	9.39	9.00	0.96	9.39	10.05	1.07	9.39	9.20	0.98	9.39	9.26	0.99
26	0.50	0.31	10.10	9.84	0.97	10.10	10.12	1.00	10.10	9.80	0.97	10.10	10.29	1.02
27	0.66	0.31	10.75	10.51	0.98	10.75	11.44	1.06	10.75	11.05	1.03	10.75	11.29	1.05
28	0.83	0.31	8.34	8.23	0.99	8.34	8.20	0.98	8.34	8.07	0.97	8.34	8.30	1.00
29	1.00	0.31	7.86	7.95	1.01	7.86	8.32	1.06	7.86	8.21	1.04	7.86	8.44	1.07
30	0.25	0.38	9.09	8.62	0.95	9.09	8.73	0.96	9.09	8.87	0.98	9.09	8.46	0.93
31	0.42	0.38	9.59	9.39	0.98	9.59	9.18	0.96	9.59	9.50	0.99	9.59	9.10	0.95
32	0.58	0.38	10.04	9.77	0.97	10.04	9.41	0.94	10.04	9.88	0.98	10.04	9.45	0.94
33	0.75	0.38	7.55	7.49	0.99	7.55	7.61	1.01	7.55	7.91	1.05	7.55	7.58	1.00
34	0.33	0.44	9.49	9.84	1.04	9.49	10.10	1.06	9.49	9.79	1.03	9.49	9.78	1.03
35	0.50	0.44	11.00	10.99	1.00	11.00	11.04	1.00	11.00	10.91	0.99	11.00	10.83	0.98
36	0.66	0.44	10.89	10.83	0.99	10.89	11.37	1.04	10.89	10.89	1.00	10.89	11.09	1.02
37	0.83	0.44	8.15	8.66	1.06	8.15	8.63	1.06	8.15	8.58	1.05	8.15	8.65	1.06
38	1.00	0.44	7.12	7.39	1.04	7.12	7.92	1.11	7.12	7.86	1.10	7.12	7.77	1.09
39	0.25	0.5	9.20	8.05	0.88	9.20	8.34	0.91	9.20	8.92	0.97	9.20	8.41	0.91
40	0.42	0.5	10.61	9.38	0.88	10.61	9.70	0.91	10.61	10.34	0.97	10.61	9.61	0.91
41	0.58	0.5	7.01	6.48	0.92	7.01	7.08	1.01	7.01	7.58	1.08	7.01	6.92	0.99
42	0.75	0.5	8.33	7.60	0.91	8.33	8.20	0.98	8.33	8.61	1.03	8.33	7.97	0.96
43	0.92	0.5	9.09	8.26	0.91	9.09	8.46	0.93	9.09	8.66	0.95	9.09	8.59	0.95

wave period (T) = 0.82 sec



ตารางที่ ง-7 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0143 (W7)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A1			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	11.21	11.25	1.00	11.21	10.20	0.91	11.21	9.84	0.88	11.21	9.84	0.88
2	0.42	0	12.06	11.34	0.94	12.06	11.55	0.96	12.06	10.94	0.91	12.06	11.35	0.94
3	0.58	0	11.80	10.83	0.92	11.80	10.80	0.92	11.80	10.06	0.85	11.80	10.03	0.85
4	0.75	0	10.04	9.69	0.97	10.04	9.66	0.96	10.04	8.79	0.88	10.04	9.18	0.91
5	0.92	0	9.21	7.91	0.86	9.21	7.85	0.85	9.21	7.29	0.79	9.21	7.15	0.78
6	0.33	0.06	11.85	10.85	0.92	11.85	10.24	0.86	11.85	10.28	0.87	11.85	9.91	0.84
7	0.50	0.06	12.47	11.25	0.90	12.47	10.96	0.88	12.47	10.56	0.85	12.47	10.64	0.85
8	0.66	0.06	11.32	11.26	0.99	11.32	10.27	0.91	11.32	9.72	0.86	11.32	9.63	0.85
9	0.83	0.06	8.87	8.36	0.94	8.87	8.00	0.90	8.87	7.96	0.90	8.87	7.88	0.89
10	1.00	0.06	8.58	8.34	0.97	8.58	7.61	0.89	8.58	7.26	0.85	8.58	6.93	0.81
11	0.25	0.13	11.56	10.61	0.92	11.56	10.72	0.93	11.56	10.17	0.88	11.56	9.73	0.84
12	0.42	0.13	12.78	11.90	0.93	12.78	11.70	0.92	12.78	11.17	0.87	12.78	10.89	0.85
13	0.58	0.13	12.35	10.73	0.87	12.35	10.71	0.87	12.35	9.76	0.79	12.35	10.33	0.84
14	0.75	0.13	8.93	8.42	0.94	8.93	8.57	0.96	8.93	8.07	0.90	8.93	8.35	0.93
15	0.92	0.13	8.23	7.46	0.91	8.23	7.28	0.88	8.23	6.75	0.82	8.23	7.17	0.87
16	0.33	0.19	11.33	10.32	0.91	11.33	9.70	0.86	11.33	9.26	0.82	11.33	9.50	0.84
17	0.50	0.19	12.74	11.23	0.88	12.74	10.22	0.80	12.74	9.90	0.78	12.74	9.60	0.75
18	0.66	0.19	11.68	11.12	0.95	11.68	10.03	0.86	11.68	9.94	0.85	11.68	9.88	0.85
19	0.83	0.19	7.42	7.33	0.99	7.42	7.14	0.96	7.42	6.90	0.93	7.42	6.66	0.90
20	1.00	0.19	8.73	8.62	0.99	8.73	7.73	0.89	8.73	7.60	0.87	8.73	7.52	0.86
21	0.25	0.25	11.21	11.32	1.01	11.21	9.77	0.87	11.21	9.83	0.88	11.21	9.66	0.86
22	0.42	0.25	12.06	12.02	1.00	12.06	11.70	0.97	12.06	11.29	0.94	12.06	11.30	0.94
23	0.58	0.25	11.80	11.54	0.98	11.80	10.77	0.91	11.80	10.88	0.92	11.80	10.60	0.90
24	0.75	0.25	10.04	10.15	1.01	10.04	9.86	0.98	10.04	9.95	0.99	10.04	9.55	0.95
25	0.92	0.25	9.21	8.42	0.91	9.21	8.19	0.89	9.21	8.07	0.88	9.21	8.05	0.87
26	0.33	0.31	11.85	11.13	0.94	11.85	10.57	0.89	11.85	10.20	0.86	11.85	10.26	0.87
27	0.50	0.31	12.47	11.91	0.95	12.47	11.83	0.95	12.47	11.66	0.93	12.47	11.51	0.92
28	0.66	0.31	11.32	11.50	1.02	11.32	11.69	1.03	11.32	11.40	1.01	11.32	11.30	1.00
29	0.83	0.31	8.87	8.87	1.00	8.87	9.36	1.06	8.87	8.66	0.98	8.87	8.77	0.99
30	1.00	0.31	8.58	8.46	0.99	8.58	8.86	1.03	8.58	8.77	1.02	8.58	9.02	1.05
31	0.25	0.38	11.56	11.23	0.97	11.56	9.92	0.86	11.56	10.14	0.88	11.56	9.92	0.86
32	0.42	0.38	12.78	12.09	0.95	12.78	11.74	0.92	12.78	11.71	0.92	12.78	11.23	0.88
33	0.58	0.38	12.35	11.50	0.93	12.35	11.20	0.91	12.35	10.98	0.89	12.35	10.93	0.89
34	0.75	0.38	8.93	8.80	0.99	8.93	9.31	1.04	8.93	8.96	1.00	8.93	8.73	0.98
35	0.92	0.38	8.23	8.03	0.98	8.23	8.23	1.00	8.23	8.20	1.00	8.23	8.32	1.01
36	0.33	0.44	11.33	10.65	0.94	11.33	9.99	0.88	11.33	9.83	0.87	11.33	9.82	0.87
37	0.50	0.44	12.74	11.68	0.92	12.74	11.04	0.87	12.74	10.71	0.84	12.74	11.39	0.89
38	0.66	0.44	11.68	11.54	0.99	11.68	11.51	0.99	11.68	11.32	0.97	11.68	11.41	0.98
39	0.83	0.44	7.42	7.67	1.03	7.42	8.24	1.11	7.42	8.12	1.09	7.42	7.70	1.04
40	1.00	0.44	8.73	9.06	1.04	8.73	9.11	1.04	8.73	9.24	1.06	8.73	9.25	1.06
41	0.25	0.5	12.06	12.29	1.02	12.06	12.42	1.03	12.06	12.02	1.00	12.06	12.13	1.01
42	0.42	0.5	11.80	11.80	1.00	11.80	11.31	0.96	11.80	11.35	0.96	11.80	11.77	1.00
43	0.58	0.5	10.04	9.94	0.99	10.04	9.81	0.98	10.04	9.86	0.98	10.04	10.07	1.00
44	0.75	0.5	9.21	8.60	0.93	9.21	8.52	0.93	9.21	8.00	0.87	9.21	7.97	0.87
45	0.92	0.5	11.56	11.60	1.00	11.56	11.22	0.97	11.56	11.70	1.01	11.56	11.80	1.02

wave period (T) = 0.87 sec



ตารางที่ ง-7 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0143 (W7) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	11.21	10.02	0.89	11.21	10.67	0.95	11.21	9.36	0.84	11.21	10.18	0.91
2	0.42	0	12.06	11.41	0.95	12.06	11.56	0.96	12.06	11.24	0.93	12.06	11.16	0.93
3	0.58	0	11.80	10.05	0.85	11.80	10.66	0.90	11.80	10.43	0.88	11.80	10.69	0.91
4	0.75	0	10.04	9.03	0.90	10.04	9.40	0.94	10.04	9.31	0.93	10.04	9.17	0.91
5	0.92	0	9.21	7.41	0.80	9.21	7.56	0.82	9.21	7.85	0.85	9.21	7.81	0.85
6	0.33	0.06	11.85	10.12	0.85	11.85	10.45	0.88	11.85	9.97	0.84	11.85	10.46	0.88
7	0.50	0.06	12.47	10.64	0.85	12.47	10.67	0.86	12.47	11.27	0.90	12.47	10.95	0.88
8	0.66	0.06	11.32	9.91	0.88	11.32	10.20	0.90	11.32	10.66	0.94	11.32	10.38	0.92
9	0.83	0.06	8.87	7.95	0.90	8.87	7.98	0.90	8.87	7.86	0.89	8.87	7.74	0.87
10	1.00	0.06	8.58	7.40	0.86	8.58	7.46	0.87	8.58	8.19	0.95	8.58	7.88	0.92
11	0.25	0.13	11.56	9.98	0.86	11.56	10.42	0.90	11.56	10.07	0.87	11.56	10.46	0.90
12	0.42	0.13	12.78	11.11	0.87	12.78	11.34	0.89	12.78	11.12	0.87	12.78	12.02	0.94
13	0.58	0.13	12.35	10.43	0.84	12.35	10.57	0.86	12.35	10.65	0.86	12.35	10.65	0.86
14	0.75	0.13	8.93	8.34	0.93	8.93	8.32	0.93	8.93	8.41	0.94	8.93	8.27	0.93
15	0.92	0.13	8.23	6.93	0.84	8.23	7.38	0.90	8.23	7.17	0.87	8.23	7.33	0.89
16	0.33	0.19	11.33	9.50	0.84	11.33	9.61	0.85	11.33	9.63	0.85	11.33	10.23	0.90
17	0.50	0.19	12.74	10.14	0.80	12.74	10.02	0.79	12.74	10.40	0.82	12.74	10.44	0.82
18	0.66	0.19	11.68	10.20	0.87	11.68	10.12	0.87	11.68	10.14	0.87	11.68	10.45	0.89
19	0.83	0.19	7.42	6.79	0.91	7.42	6.99	0.94	7.42	6.98	0.94	7.42	7.09	0.96
20	1.00	0.19	8.73	7.76	0.89	8.73	7.89	0.90	8.73	7.57	0.87	8.73	8.04	0.92
21	0.25	0.25	11.21	10.05	0.90	11.21	10.57	0.94	11.21	9.85	0.88	11.21	10.45	0.93
22	0.42	0.25	12.06	11.75	0.97	12.06	12.02	1.00	12.06	11.22	0.93	12.06	11.14	0.92
23	0.58	0.25	11.80	11.07	0.94	11.80	11.45	0.97	11.80	10.96	0.93	11.80	10.93	0.93
24	0.75	0.25	10.04	9.83	0.98	10.04	10.14	1.01	10.04	9.84	0.98	10.04	10.28	1.02
25	0.92	0.25	9.21	8.13	0.88	9.21	8.31	0.90	9.21	8.24	0.89	9.21	8.26	0.90
26	0.33	0.31	11.85	10.79	0.91	11.85	10.49	0.89	11.85	10.62	0.90	11.85	10.93	0.92
27	0.50	0.31	12.47	11.66	0.93	12.47	11.50	0.92	12.47	11.57	0.93	12.47	11.91	0.95
28	0.66	0.31	11.32	11.57	1.02	11.32	11.33	1.00	11.32	11.62	1.03	11.32	11.81	1.04
29	0.83	0.31	8.87	8.81	0.99	8.87	9.06	1.02	8.87	9.02	1.02	8.87	8.86	1.00
30	1.00	0.31	8.58	8.91	1.04	8.58	8.58	1.00	8.58	8.82	1.03	8.58	9.01	1.05
31	0.25	0.38	11.56	10.03	0.87	11.56	10.09	0.87	11.56	9.61	0.83	11.56	10.52	0.91
32	0.42	0.38	12.78	11.71	0.92	12.78	12.04	0.94	12.78	11.44	0.90	12.78	12.25	0.96
33	0.58	0.38	12.35	11.06	0.90	12.35	11.17	0.90	12.35	11.25	0.91	12.35	11.67	0.95
34	0.75	0.38	8.93	8.81	0.99	8.93	8.99	1.01	8.93	9.25	1.04	8.93	9.25	1.04
35	0.92	0.38	8.23	8.38	1.02	8.23	8.36	1.01	8.23	8.45	1.03	8.23	8.45	1.03
36	0.33	0.44	11.33	9.96	0.88	11.33	9.98	0.88	11.33	9.99	0.88	11.33	10.76	0.95
37	0.50	0.44	12.74	11.39	0.89	12.74	11.40	0.89	12.74	10.75	0.84	12.74	11.46	0.90
38	0.66	0.44	11.68	11.53	0.99	11.68	11.68	1.00	11.68	11.47	0.98	11.68	11.82	1.01
39	0.83	0.44	7.42	7.84	1.06	7.42	8.04	1.08	7.42	8.18	1.10	7.42	8.38	1.13
40	1.00	0.44	8.73	9.26	1.06	8.73	9.38	1.07	8.73	9.17	1.05	8.73	9.13	1.05
41	0.25	0.5	12.06	12.27	1.02	12.06	12.92	1.07	12.06	11.74	0.97	12.06	11.24	0.93
42	0.42	0.5	11.80	11.30	0.96	11.80	11.56	0.98	11.80	11.10	0.94	11.80	11.38	0.96
43	0.58	0.5	10.04	9.51	0.95	10.04	10.09	1.00	10.04	9.54	0.95	10.04	9.55	0.95
44	0.75	0.5	9.21	8.48	0.92	9.21	8.43	0.91	9.21	8.01	0.87	9.21	8.25	0.90
45	0.92	0.5	11.56	10.95	0.95	11.56	11.03	0.95	11.56	10.58	0.92	11.56	11.79	1.02

wave period (T) = 0.87 sec

ตารางที่ ง-7 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0143 (W7) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D1		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	11.21	10.02	0.89	11.21	9.99	0.89	11.21	10.55	0.94	11.21	11.04	0.98
2	0.42	0	12.06	10.93	0.91	12.06	10.81	0.90	12.06	11.00	0.91	12.06	11.75	0.97
3	0.58	0	11.80	10.55	0.89	11.80	10.02	0.85	11.80	10.67	0.90	11.80	11.40	0.97
4	0.75	0	10.04	8.99	0.90	10.04	8.82	0.88	10.04	9.58	0.95	10.04	9.84	0.98
5	0.92	0	9.21	7.74	0.84	9.21	7.24	0.79	9.21	7.71	0.84	9.21	8.08	0.88
6	0.33	0.06	11.85	9.89	0.83	11.85	9.91	0.84	11.85	10.74	0.91	11.85	11.19	0.94
7	0.50	0.06	12.47	11.08	0.89	12.47	10.92	0.88	12.47	10.94	0.88	12.47	11.75	0.94
8	0.66	0.06	11.32	10.20	0.90	11.32	10.33	0.91	11.32	10.76	0.95	11.32	11.10	0.98
9	0.83	0.06	8.87	7.82	0.88	8.87	7.97	0.90	8.87	8.33	0.94	8.87	8.28	0.93
10	1.00	0.06	8.58	7.36	0.86	8.58	7.60	0.89	8.58	7.64	0.89	8.58	7.70	0.90
11	0.25	0.13	11.56	9.72	0.84	11.56	9.74	0.84	11.56	10.41	0.90	11.56	11.36	0.98
12	0.42	0.13	12.78	10.84	0.85	12.78	10.93	0.85	12.78	11.31	0.88	12.78	11.96	0.94
13	0.58	0.13	12.35	10.72	0.87	12.35	10.48	0.85	12.35	10.75	0.87	12.35	11.31	0.92
14	0.75	0.13	8.93	8.46	0.95	8.93	8.32	0.93	8.93	8.40	0.94	8.93	8.86	0.99
15	0.92	0.13	8.23	7.14	0.87	8.23	6.90	0.84	8.23	7.28	0.88	8.23	7.56	0.92
16	0.33	0.19	11.33	9.56	0.84	11.33	9.56	0.84	11.33	9.71	0.86	11.33	10.02	0.88
17	0.50	0.19	12.74	9.86	0.77	12.74	10.03	0.79	12.74	10.25	0.80	12.74	10.68	0.84
18	0.66	0.19	11.68	9.83	0.84	11.68	10.09	0.86	11.68	10.18	0.87	11.68	10.84	0.93
19	0.83	0.19	7.42	6.67	0.90	7.42	6.76	0.91	7.42	7.21	0.97	7.42	7.39	1.00
20	1.00	0.19	8.73	7.73	0.89	8.73	7.99	0.92	8.73	8.23	0.94	8.73	8.26	0.95
21	0.25	0.25	11.21	10.17	0.91	11.21	10.03	0.90	11.21	11.08	0.99	11.21	10.59	0.94
22	0.42	0.25	12.06	11.10	0.92	12.06	11.10	0.92	12.06	11.91	0.99	12.06	11.63	0.96
23	0.58	0.25	11.80	11.10	0.94	11.80	11.09	0.94	11.80	11.58	0.98	11.80	11.92	1.01
24	0.75	0.25	10.04	9.70	0.97	10.04	9.73	0.97	10.04	10.29	1.02	10.04	10.43	1.04
25	0.92	0.25	9.21	8.11	0.88	9.21	8.10	0.88	9.21	8.66	0.94	9.21	8.61	0.93
26	0.33	0.31	11.85	10.63	0.90	11.85	11.08	0.94	11.85	10.70	0.90	11.85	11.06	0.93
27	0.50	0.31	12.47	11.72	0.94	12.47	11.91	0.95	12.47	11.36	0.91	12.47	12.27	0.98
28	0.66	0.31	11.32	11.64	1.03	11.32	11.98	1.06	11.32	11.19	0.99	11.32	11.96	1.06
29	0.83	0.31	8.87	8.76	0.99	8.87	8.92	1.01	8.87	8.99	1.01	8.87	9.28	1.05
30	1.00	0.31	8.58	8.99	1.05	8.58	9.15	1.07	8.58	8.81	1.03	8.58	8.86	1.03
31	0.25	0.38	11.56	10.18	0.88	11.56	10.30	0.89	11.56	10.87	0.94	11.56	10.69	0.92
32	0.42	0.38	12.78	11.50	0.90	12.78	11.54	0.90	12.78	12.51	0.98	12.78	12.42	0.97
33	0.58	0.38	12.35	11.56	0.94	12.35	11.38	0.92	12.35	11.79	0.96	12.35	11.83	0.96
34	0.75	0.38	8.93	9.03	1.01	8.93	8.96	1.00	8.93	9.31	1.04	8.93	9.40	1.05
35	0.92	0.38	8.23	8.16	0.99	8.23	8.08	0.98	8.23	8.36	1.02	8.23	8.75	1.06
36	0.33	0.44	11.33	10.03	0.89	11.33	10.05	0.89	11.33	10.14	0.90	11.33	10.70	0.94
37	0.50	0.44	12.74	11.30	0.89	12.74	11.15	0.88	12.74	11.63	0.91	12.74	11.79	0.93
38	0.66	0.44	11.68	11.58	0.99	11.68	11.78	1.01	11.68	11.76	1.01	11.68	12.29	1.05
39	0.83	0.44	7.42	7.82	1.05	7.42	8.24	1.11	7.42	8.06	1.09	7.42	8.30	1.12
40	1.00	0.44	8.73	9.28	1.06	8.73	9.20	1.05	8.73	9.48	1.09	8.73	9.27	1.06
41	0.25	0.5	12.06	11.92	0.99	12.06	12.09	1.00	12.06	12.05	1.00	12.06	11.70	0.97
42	0.42	0.5	11.80	11.25	0.95	11.80	11.90	1.01	11.80	11.47	0.97	11.80	11.83	1.00
43	0.58	0.5	10.04	9.43	0.94	10.04	10.03	1.00	10.04	10.00	1.00	10.04	10.23	1.02
44	0.75	0.5	9.21	8.48	0.92	9.21	8.41	0.91	9.21	8.50	0.92	9.21	9.03	0.98
45	0.92	0.5	11.56	10.94	0.95	11.56	11.18	0.97	11.56	10.66	0.92	11.56	11.40	0.99

wave period (T) = 0.87 sec

ตารางที่ ง-8 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0180 (W8)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A1			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	12.03	11.23	0.93	12.03	10.35	0.86	12.03	10.33	0.86	12.03	10.23	0.85
2	0.42	0	11.90	11.20	0.94	11.90	10.41	0.88	11.90	10.48	0.88	11.90	10.45	0.88
3	0.58	0	13.40	12.75	0.95	13.40	11.44	0.85	13.40	11.27	0.84	13.40	11.34	0.85
4	0.75	0	9.76	9.33	0.96	9.76	8.26	0.85	9.76	8.16	0.84	9.76	8.12	0.83
5	0.92	0	10.49	9.21	0.88	10.49	8.28	0.79	10.49	8.29	0.79	10.49	8.45	0.81
6	0.33	0.06	13.14	11.90	0.91	13.14	11.22	0.85	13.14	11.38	0.87	13.14	11.39	0.87
7	0.50	0.06	12.67	11.00	0.87	12.67	10.36	0.82	12.67	10.29	0.81	12.67	10.43	0.82
8	0.66	0.06	14.44	13.22	0.92	14.44	11.43	0.79	14.44	11.90	0.82	14.44	12.11	0.84
9	0.83	0.06	9.21	8.52	0.93	9.21	8.59	0.93	9.21	8.80	0.95	9.21	8.77	0.95
10	1.00	0.06	9.34	8.07	0.86	9.34	7.64	0.82	9.34	7.73	0.83	9.34	7.53	0.81
11	0.25	0.13	12.79	11.60	0.91	12.79	10.27	0.80	12.79	10.26	0.80	12.79	10.39	0.81
12	0.42	0.13	13.14	11.75	0.89	13.14	10.97	0.84	13.14	10.77	0.82	13.14	10.81	0.82
13	0.58	0.13	11.84	11.09	0.94	11.84	10.78	0.91	11.84	10.62	0.90	11.84	10.73	0.91
14	0.75	0.13	9.62	9.28	0.96	9.62	8.72	0.91	9.62	8.51	0.89	9.62	8.57	0.89
15	0.33	0.19	13.78	12.06	0.88	13.78	11.03	0.80	13.78	11.23	0.81	13.78	11.12	0.81
16	0.50	0.19	14.32	12.48	0.87	14.32	11.55	0.81	14.32	11.82	0.83	14.32	11.60	0.81
17	0.66	0.19	14.46	13.09	0.91	14.46	11.74	0.81	14.46	12.00	0.83	14.46	11.89	0.82
18	0.83	0.19	8.97	8.47	0.94	8.97	8.80	0.98	8.97	8.99	1.00	8.97	9.13	1.02
19	1.00	0.19	8.00	7.11	0.89	8.00	7.55	0.94	8.00	7.23	0.90	8.00	7.32	0.91
20	0.25	0.25	12.03	11.09	0.92	12.03	9.42	0.78	12.03	9.64	0.80	12.03	10.14	0.84
21	0.42	0.25	11.90	10.91	0.92	11.90	10.12	0.85	11.90	10.55	0.89	11.90	10.74	0.90
22	0.58	0.25	13.40	12.75	0.95	13.40	11.61	0.87	13.40	11.91	0.89	13.40	11.99	0.89
23	0.75	0.25	9.76	9.89	1.01	9.76	9.05	0.93	9.76	8.92	0.91	9.76	9.04	0.93
24	0.92	0.25	10.49	9.65	0.92	10.49	9.09	0.87	10.49	9.24	0.88	10.49	9.25	0.88
25	0.33	0.31	13.14	11.95	0.91	13.14	11.73	0.89	13.14	11.63	0.89	13.14	11.80	0.90
26	0.50	0.31	12.67	11.09	0.88	12.67	11.50	0.91	12.67	11.16	0.88	12.67	11.37	0.90
27	0.66	0.31	14.44	13.51	0.94	14.44	13.30	0.92	14.44	13.18	0.91	14.44	13.56	0.94
28	0.83	0.31	9.21	9.52	1.03	9.21	9.73	1.06	9.21	9.45	1.03	9.21	10.06	1.09
29	1.00	0.31	9.34	8.98	0.96	9.34	8.64	0.93	9.34	8.57	0.92	9.34	8.78	0.94
30	0.25	0.38	12.79	11.96	0.93	12.79	9.94	0.78	12.79	10.15	0.79	12.79	10.16	0.79
31	0.42	0.38	13.14	11.97	0.91	13.14	11.12	0.85	13.14	11.30	0.86	13.14	11.44	0.87
32	0.58	0.38	11.84	11.20	0.95	11.84	11.19	0.95	11.84	11.28	0.95	11.84	11.29	0.95
33	0.75	0.38	9.62	9.30	0.97	9.62	8.70	0.90	9.62	8.66	0.90	9.62	8.79	0.91
34	0.33	0.44	13.78	13.18	0.96	13.78	11.98	0.87	13.78	11.79	0.86	13.78	12.03	0.87
35	0.50	0.44	14.32	13.26	0.93	14.32	12.54	0.88	14.32	12.49	0.87	14.32	12.52	0.87
36	0.66	0.44	14.46	13.34	0.92	14.46	12.54	0.87	14.46	12.69	0.88	14.46	12.66	0.88
37	0.83	0.44	8.97	8.82	0.98	8.97	8.93	1.00	8.97	8.76	0.98	8.97	9.11	1.02
38	1.00	0.44	8.00	8.07	1.01	8.00	8.29	1.04	8.00	8.49	1.06	8.00	8.45	1.06
39	0.25	0.5	11.90	11.12	0.93	11.90	11.49	0.97	11.90	11.85	1.00	11.90	11.98	1.01
40	0.42	0.5	13.40	13.13	0.98	13.40	12.79	0.95	13.40	13.06	0.97	13.40	13.10	0.98
41	0.58	0.5	9.76	9.61	0.98	9.76	9.55	0.98	9.76	9.55	0.98	9.76	9.70	0.99
42	0.75	0.5	10.49	10.00	0.95	10.49	10.22	0.97	10.49	10.15	0.97	10.49	10.43	0.99
43	0.92	0.5	12.79	12.76	1.00	12.79	11.82	0.92	12.79	12.01	0.94	12.79	11.81	0.92

wave period (T) = 0.81 sec

ตารางที่ ง-8 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0180 (W8) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	12.03	10.64	0.88	12.03	11.09	0.92	12.03	9.93	0.83	12.03	10.30	0.86
2	0.42	0	11.90	10.84	0.91	11.90	11.03	0.93	11.90	10.33	0.87	11.90	10.39	0.87
3	0.58	0	13.40	11.74	0.88	13.40	11.76	0.88	13.40	11.47	0.86	13.40	11.42	0.85
4	0.75	0	9.76	8.52	0.87	9.76	8.81	0.90	9.76	8.17	0.84	9.76	8.14	0.83
5	0.92	0	10.49	9.13	0.87	10.49	8.85	0.84	10.49	8.70	0.83	10.49	8.49	0.81
6	0.33	0.06	13.14	11.49	0.87	13.14	11.94	0.91	13.14	10.90	0.83	13.14	11.36	0.87
7	0.50	0.06	12.67	10.63	0.84	12.67	10.47	0.83	12.67	10.29	0.81	12.67	10.54	0.83
8	0.66	0.06	14.44	12.10	0.84	14.44	11.90	0.82	14.44	11.55	0.80	14.44	11.94	0.83
9	0.83	0.06	9.21	9.03	0.98	9.21	9.20	1.00	9.21	8.73	0.95	9.21	8.87	0.96
10	1.00	0.06	9.34	7.88	0.84	9.34	7.71	0.82	9.34	7.69	0.82	9.34	7.76	0.83
11	0.25	0.13	12.79	10.74	0.84	12.79	11.03	0.86	12.79	10.15	0.79	12.79	10.38	0.81
12	0.42	0.13	13.14	11.51	0.88	13.14	11.67	0.89	13.14	10.60	0.81	13.14	10.73	0.82
13	0.58	0.13	11.84	10.83	0.91	11.84	10.86	0.92	11.84	10.55	0.89	11.84	10.87	0.92
14	0.75	0.13	9.62	9.06	0.94	9.62	9.14	0.95	9.62	8.21	0.85	9.62	8.46	0.88
15	0.33	0.19	13.78	11.51	0.84	13.78	11.71	0.85	13.78	10.88	0.79	13.78	11.29	0.82
16	0.50	0.19	14.32	12.13	0.85	14.32	12.30	0.86	14.32	11.36	0.79	14.32	11.86	0.83
17	0.66	0.19	14.46	12.22	0.85	14.46	12.62	0.87	14.46	11.58	0.80	14.46	11.97	0.83
18	0.83	0.19	8.97	9.26	1.03	8.97	9.02	1.01	8.97	8.58	0.96	8.97	8.91	0.99
19	1.00	0.19	8.00	7.30	0.91	8.00	6.99	0.87	8.00	7.36	0.92	8.00	7.38	0.92
20	0.25	0.25	12.03	10.32	0.86	12.03	10.42	0.87	12.03	9.90	0.82	12.03	10.28	0.85
21	0.42	0.25	11.90	10.93	0.92	11.90	11.16	0.94	11.90	10.87	0.91	11.90	11.84	1.00
22	0.58	0.25	13.40	12.53	0.93	13.40	13.25	0.99	13.40	12.54	0.94	13.40	13.16	0.98
23	0.75	0.25	9.76	9.54	0.98	9.76	9.90	1.01	9.76	9.25	0.95	9.76	9.64	0.99
24	0.92	0.25	10.49	9.79	0.93	10.49	10.07	0.96	10.49	9.44	0.90	10.49	9.56	0.91
25	0.33	0.31	13.14	11.79	0.90	13.14	11.99	0.91	13.14	11.42	0.87	13.14	11.78	0.90
26	0.50	0.31	12.67	10.79	0.85	12.67	10.82	0.85	12.67	11.11	0.88	12.67	11.42	0.90
27	0.66	0.31	14.44	13.92	0.96	14.44	14.02	0.97	14.44	13.09	0.91	14.44	13.95	0.97
28	0.83	0.31	9.21	9.95	1.08	9.21	10.14	1.10	9.21	9.53	1.03	9.21	10.07	1.09
29	1.00	0.31	9.34	8.82	0.94	9.34	9.03	0.97	9.34	8.39	0.90	9.34	8.75	0.94
30	0.25	0.38	12.79	10.41	0.81	12.79	11.27	0.88	12.79	9.98	0.78	12.79	10.52	0.82
31	0.42	0.38	13.14	11.81	0.90	13.14	12.56	0.96	13.14	11.35	0.86	13.14	11.98	0.91
32	0.58	0.38	11.84	11.23	0.95	11.84	11.65	0.98	11.84	11.24	0.95	11.84	11.77	0.99
33	0.75	0.38	9.62	9.20	0.96	9.62	9.54	0.99	9.62	8.69	0.90	9.62	8.90	0.92
34	0.33	0.44	13.78	12.29	0.89	13.78	12.86	0.93	13.78	11.52	0.84	13.78	11.77	0.85
35	0.50	0.44	14.32	12.50	0.87	14.32	13.03	0.91	14.32	12.23	0.85	14.32	12.66	0.88
36	0.66	0.44	14.46	13.00	0.90	14.46	13.26	0.92	14.46	12.30	0.85	14.46	13.04	0.90
37	0.83	0.44	8.97	9.21	1.03	8.97	9.40	1.05	8.97	8.72	0.97	8.97	9.14	1.02
38	1.00	0.44	8.00	8.38	1.05	8.00	8.23	1.03	8.00	7.73	0.97	8.00	8.18	1.02
39	0.25	0.5	11.90	12.14	1.02	11.90	11.99	1.01	11.90	11.23	0.94	11.90	11.91	1.00
40	0.42	0.5	13.40	13.46	1.00	13.40	13.55	1.01	13.40	12.83	0.96	13.40	13.31	0.99
41	0.58	0.5	9.76	9.70	0.99	9.76	9.84	1.01	9.76	9.48	0.97	9.76	9.88	1.01
42	0.75	0.5	10.49	10.34	0.99	10.49	10.82	1.03	10.49	10.23	0.97	10.49	10.41	0.99
43	0.92	0.5	12.79	11.85	0.93	12.79	11.93	0.93	12.79	11.64	0.91	12.79	11.84	0.93

wave period (T) = 0.81 sec

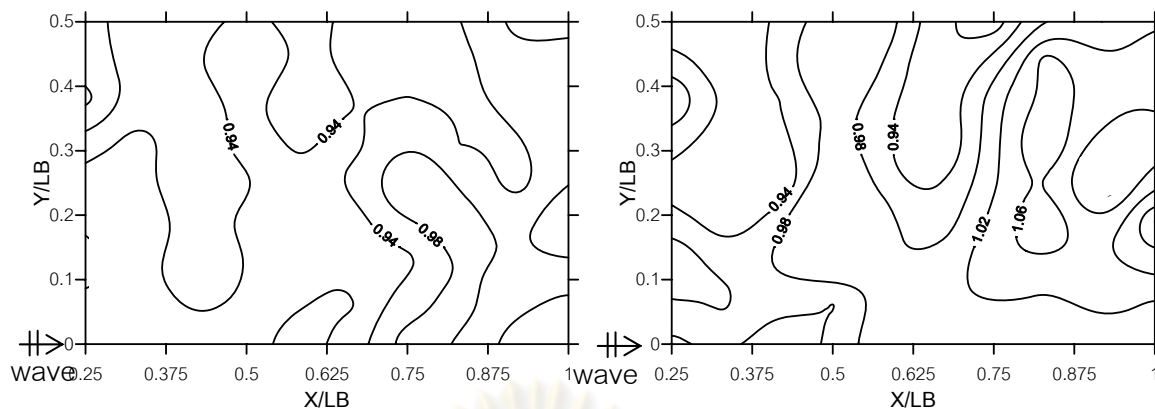


ตารางที่ ง-8 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0180 (W8) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D1		
			H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>P</sub>	K <sub>P</sub>
1	0.25	0	12.03	10.20	0.85	12.03	10.40	0.86	12.03	10.55	0.88	12.03	11.10	0.92
2	0.42	0	11.90	10.54	0.89	11.90	10.86	0.91	11.90	11.10	0.93	11.90	11.48	0.96
3	0.58	0	13.40	11.37	0.85	13.40	11.80	0.88	13.40	12.14	0.91	13.40	12.13	0.90
4	0.75	0	9.76	8.06	0.83	9.76	8.41	0.86	9.76	8.77	0.90	9.76	8.93	0.92
5	0.92	0	10.49	8.76	0.83	10.49	9.19	0.88	10.49	9.04	0.86	10.49	9.06	0.86
6	0.33	0.06	13.14	11.39	0.87	13.14	11.41	0.87	13.14	11.45	0.87	13.14	12.45	0.95
7	0.50	0.06	12.67	10.47	0.83	12.67	10.38	0.82	12.67	10.31	0.81	12.67	11.71	0.92
8	0.66	0.06	14.44	11.80	0.82	14.44	11.92	0.83	14.44	11.75	0.81	14.44	13.35	0.92
9	0.83	0.06	9.21	8.94	0.97	9.21	9.17	1.00	9.21	9.15	0.99	9.21	9.48	1.03
10	1.00	0.06	9.34	7.67	0.82	9.34	7.83	0.84	9.34	7.56	0.81	9.34	8.55	0.92
11	0.25	0.13	12.79	10.34	0.81	12.79	10.59	0.83	12.79	11.16	0.87	12.79	11.41	0.89
12	0.42	0.13	13.14	10.98	0.84	13.14	11.47	0.87	13.14	11.77	0.90	13.14	12.36	0.94
13	0.58	0.13	11.84	11.04	0.93	11.84	10.80	0.91	11.84	10.84	0.92	11.84	11.63	0.98
14	0.75	0.13	9.62	8.58	0.89	9.62	8.75	0.91	9.62	9.15	0.95	9.62	9.60	1.00
15	0.33	0.19	13.78	11.28	0.82	13.78	11.62	0.84	13.78	11.55	0.84	13.78	12.37	0.90
16	0.50	0.19	14.32	11.88	0.83	14.32	12.17	0.85	14.32	11.95	0.83	14.32	13.20	0.92
17	0.66	0.19	14.46	11.86	0.82	14.46	12.15	0.84	14.46	12.23	0.85	14.46	13.29	0.92
18	0.83	0.19	8.97	9.04	1.01	8.97	9.00	1.00	8.97	9.03	1.01	8.97	9.15	1.02
19	1.00	0.19	8.00	7.18	0.90	8.00	7.37	0.92	8.00	7.10	0.89	8.00	7.61	0.95
20	0.25	0.25	12.03	10.41	0.87	12.03	9.98	0.83	12.03	10.34	0.86	12.03	10.44	0.87
21	0.42	0.25	11.90	11.50	0.97	11.90	11.17	0.94	11.90	11.23	0.94	11.90	11.40	0.96
22	0.58	0.25	13.40	12.70	0.95	13.40	12.51	0.93	13.40	13.18	0.98	13.40	13.16	0.98
23	0.75	0.25	9.76	9.24	0.95	9.76	9.56	0.98	9.76	9.84	1.01	9.76	10.05	1.03
24	0.92	0.25	10.49	9.64	0.92	10.49	9.94	0.95	10.49	10.06	0.96	10.49	10.22	0.97
25	0.33	0.31	13.14	11.66	0.89	13.14	11.78	0.90	13.14	11.60	0.88	13.14	12.53	0.95
26	0.50	0.31	12.67	11.23	0.89	12.67	11.00	0.87	12.67	10.71	0.85	12.67	11.40	0.90
27	0.66	0.31	14.44	13.53	0.94	14.44	13.97	0.97	14.44	13.83	0.96	14.44	14.20	0.98
28	0.83	0.31	9.21	9.96	1.08	9.21	10.15	1.10	9.21	10.20	1.11	9.21	10.03	1.09
29	1.00	0.31	9.34	8.76	0.94	9.34	8.94	0.96	9.34	9.17	0.98	9.34	9.37	1.00
30	0.25	0.38	12.79	10.50	0.82	12.79	10.27	0.80	12.79	11.04	0.86	12.79	10.81	0.84
31	0.42	0.38	13.14	12.23	0.93	13.14	11.77	0.90	13.14	12.16	0.93	13.14	12.20	0.93
32	0.58	0.38	11.84	12.01	1.01	11.84	11.41	0.96	11.84	11.38	0.96	11.84	11.63	0.98
33	0.75	0.38	9.62	8.95	0.93	9.62	9.27	0.96	9.62	9.53	0.99	9.62	9.41	0.98
34	0.33	0.44	13.78	11.91	0.86	13.78	12.21	0.89	13.78	12.62	0.92	13.78	13.46	0.98
35	0.50	0.44	14.32	12.52	0.87	14.32	12.92	0.90	14.32	13.03	0.91	14.32	12.99	0.91
36	0.66	0.44	14.46	12.71	0.88	14.46	13.15	0.91	14.46	13.16	0.91	14.46	13.46	0.93
37	0.83	0.44	8.97	8.98	1.00	8.97	9.40	1.05	8.97	9.40	1.05	8.97	9.40	1.05
38	1.00	0.44	8.00	8.26	1.03	8.00	8.30	1.04	8.00	8.21	1.03	8.00	8.51	1.06
39	0.25	0.5	11.90	11.82	0.99	11.90	11.49	0.97	11.90	11.75	0.99	11.90	11.99	1.01
40	0.42	0.5	13.40	13.37	1.00	13.40	13.10	0.98	13.40	13.09	0.98	13.40	13.24	0.99
41	0.58	0.5	9.76	9.73	1.00	9.76	9.63	0.99	9.76	9.85	1.01	9.76	9.78	1.00
42	0.75	0.5	10.49	10.66	1.02	10.49	10.46	1.00	10.49	10.57	1.01	10.49	10.81	1.03
43	0.92	0.5	12.79	11.76	0.92	12.79	11.60	0.91	12.79	12.05	0.94	12.79	12.19	0.95

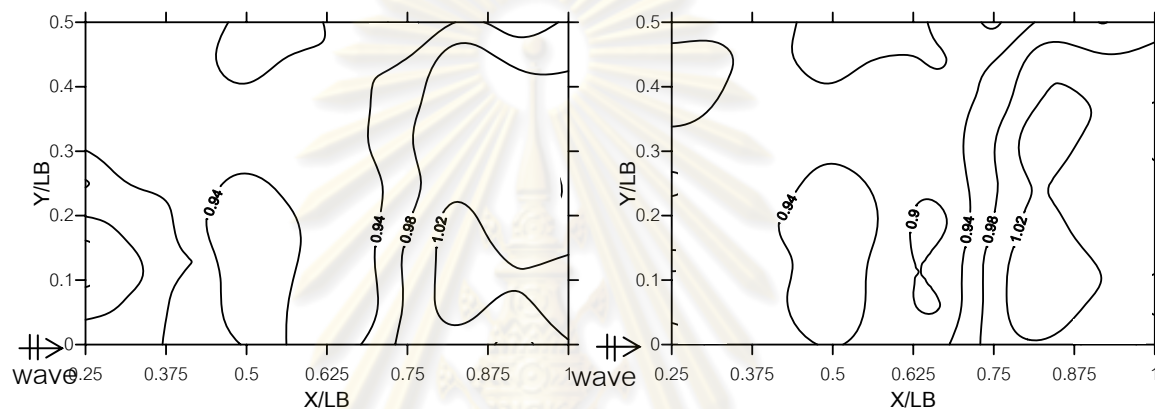
wave period (T) = 0.81 sec





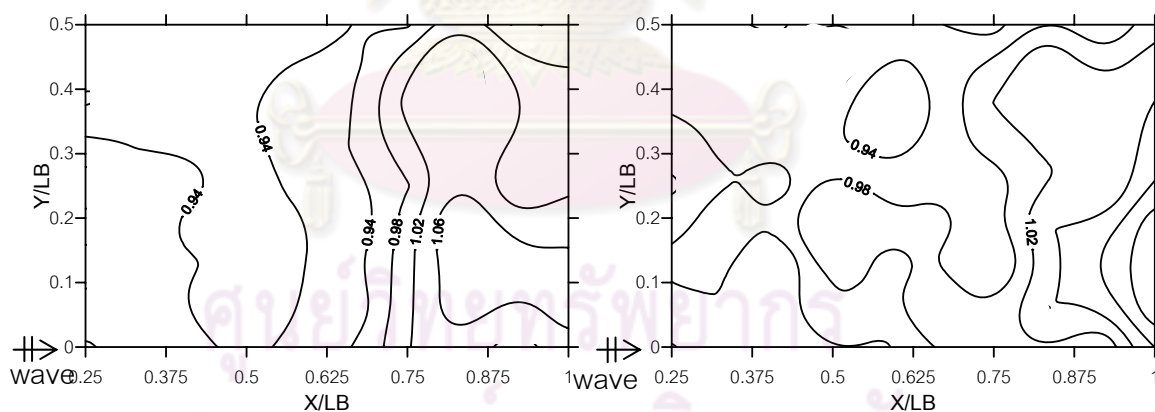
A1 (3 แถวสลับ)

B1 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0)



B2 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0.5)

B3 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1)

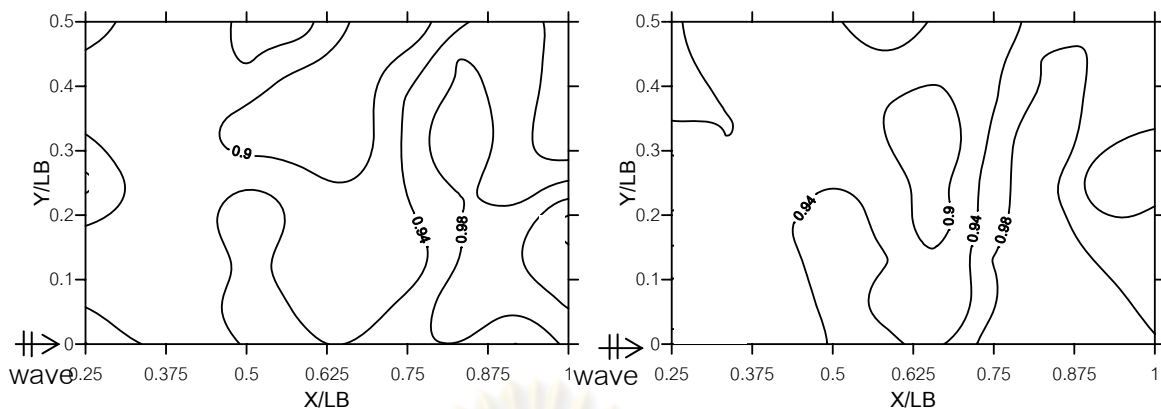


B4 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1.5)

B5 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 2)

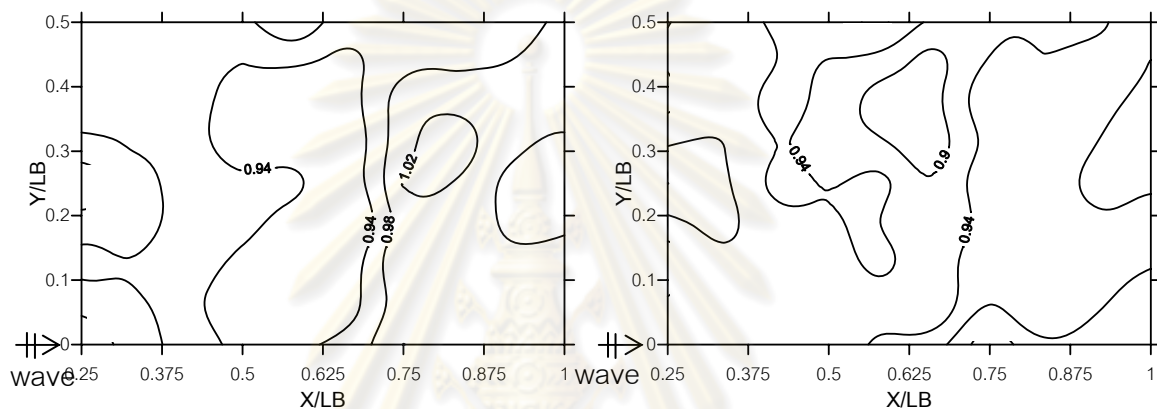
รูปที่ ง-1 เส้นชั้นค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0035



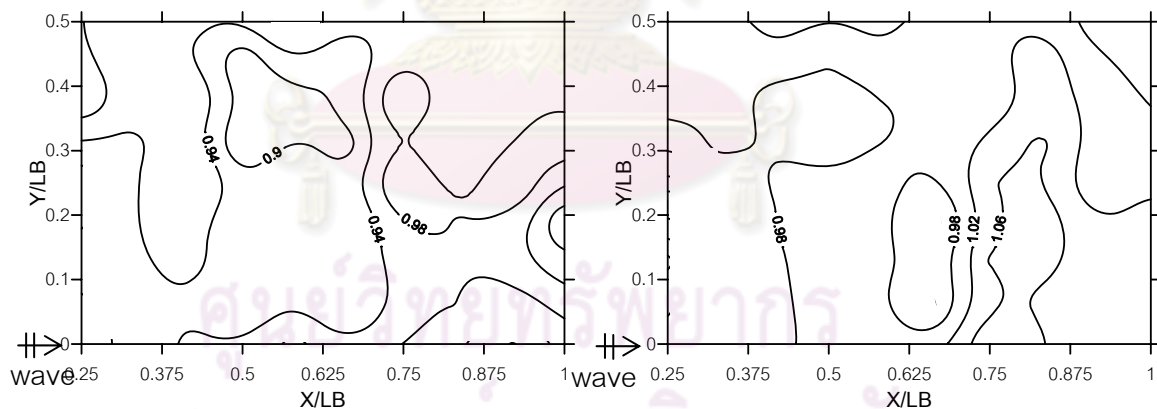
C1 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 0)

C2 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 0.5)



C3 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 1)

C4 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 1.5)

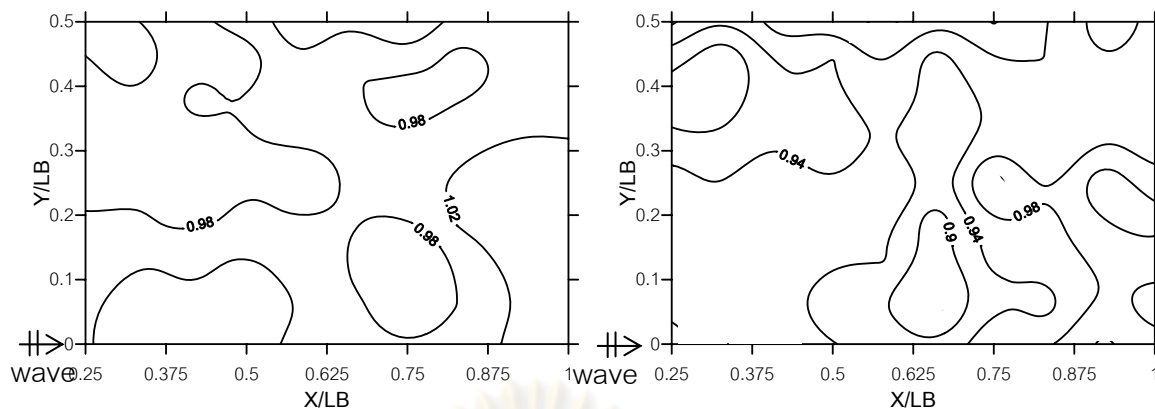


C5 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 2)

D1 (1 แถว)

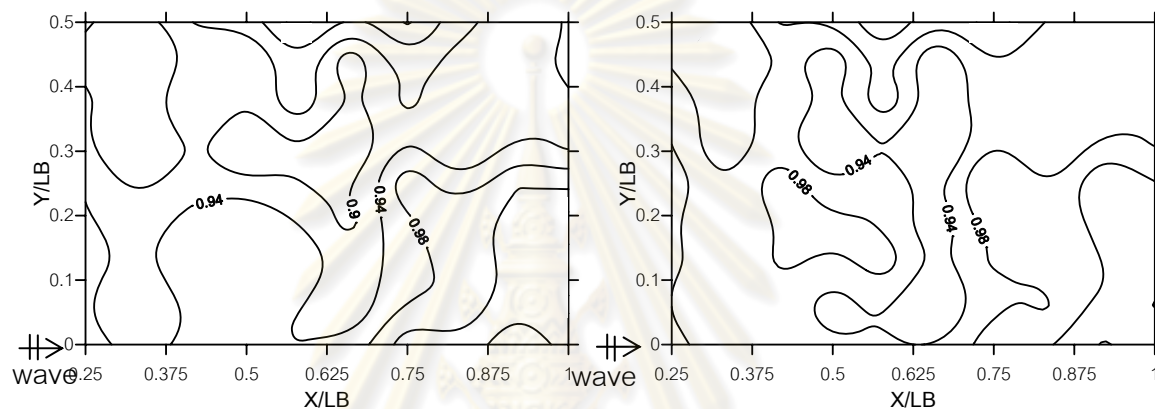
รูปที่ ง-1 เส้นชั้นค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0035 (ต่อ)



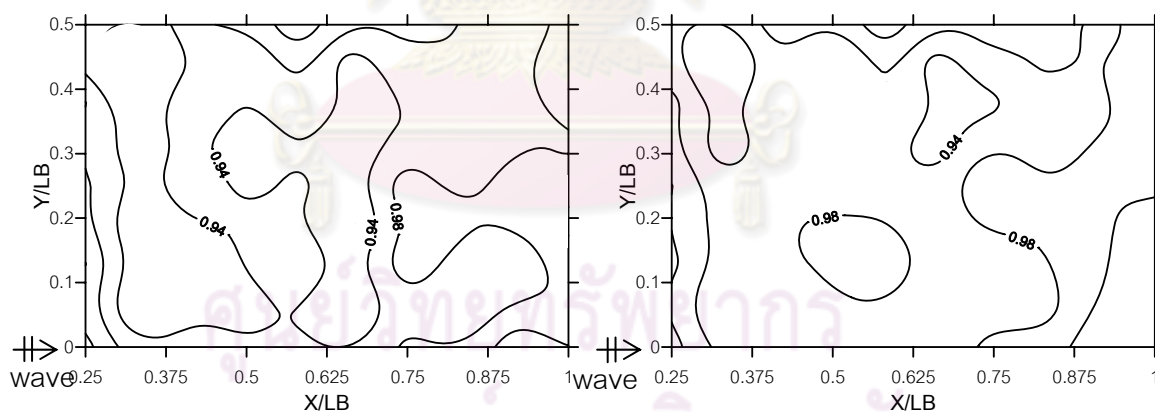
A1 (3 แถวสลับ)

B1 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0)



B2 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0.5)

B3 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1)

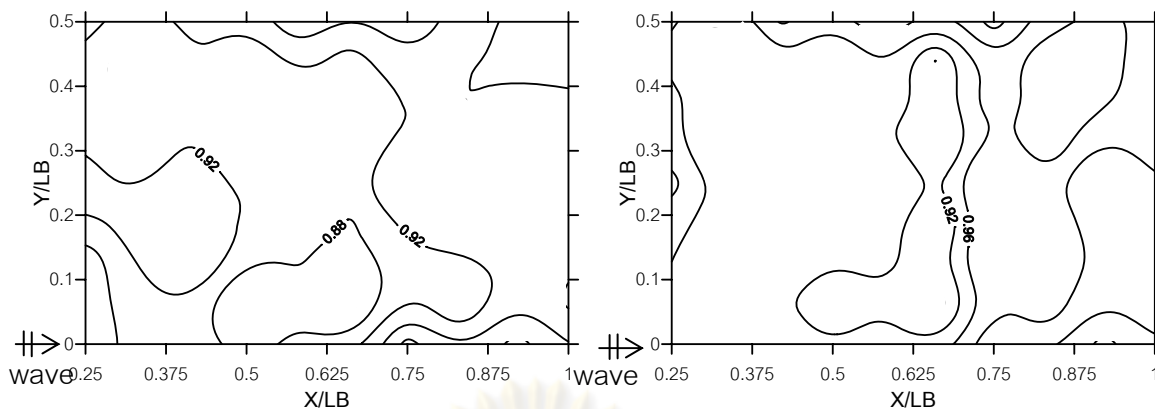


B4 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1.5)

B5 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 2)

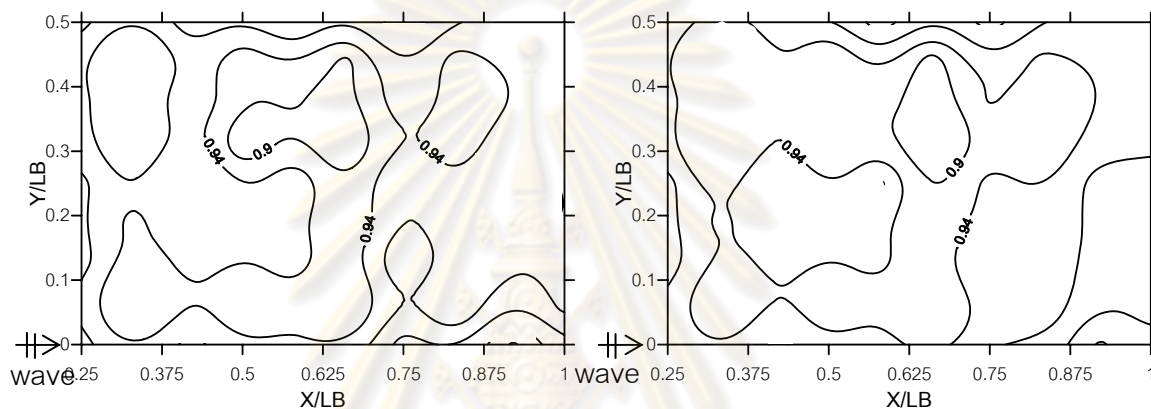
รูปที่ ง-2 เส้นชั้นค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0061



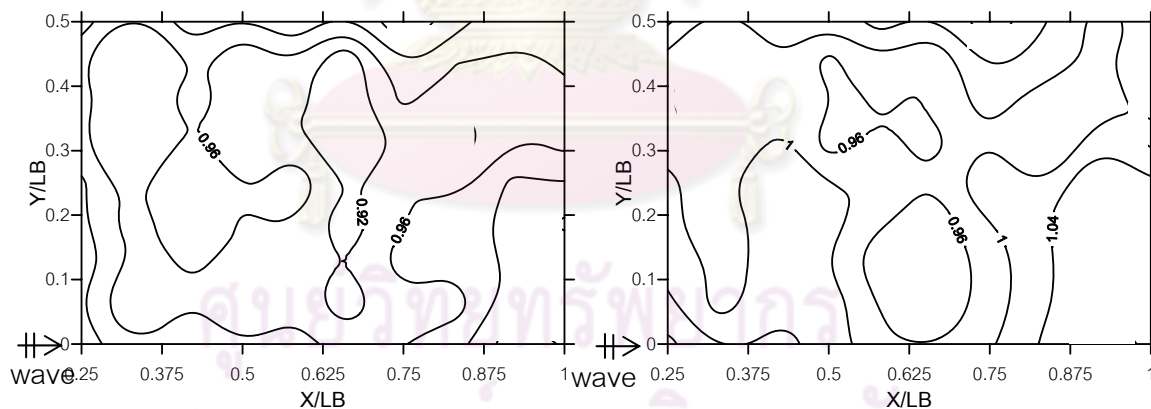
C1 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 0)

C2 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 0.5)



C3 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 1)

C4 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 1.5)

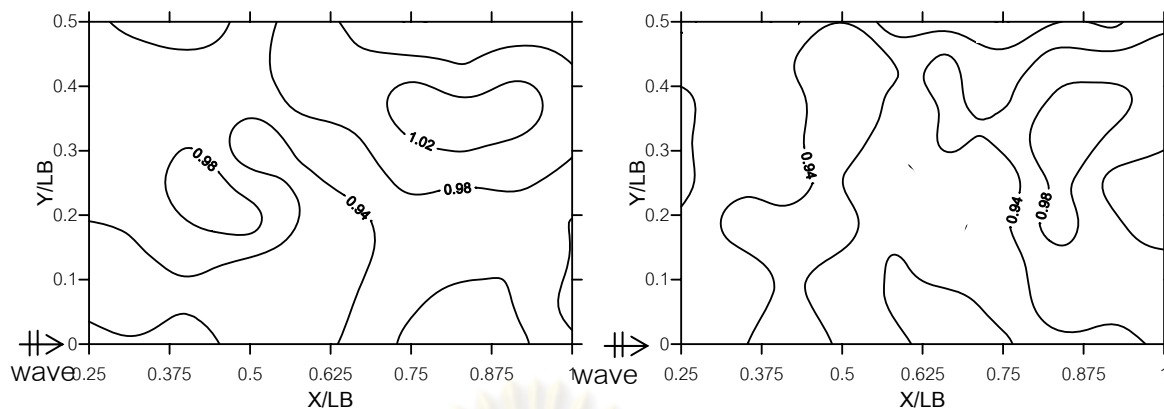


C5 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 2)

D1 (1 แถว)

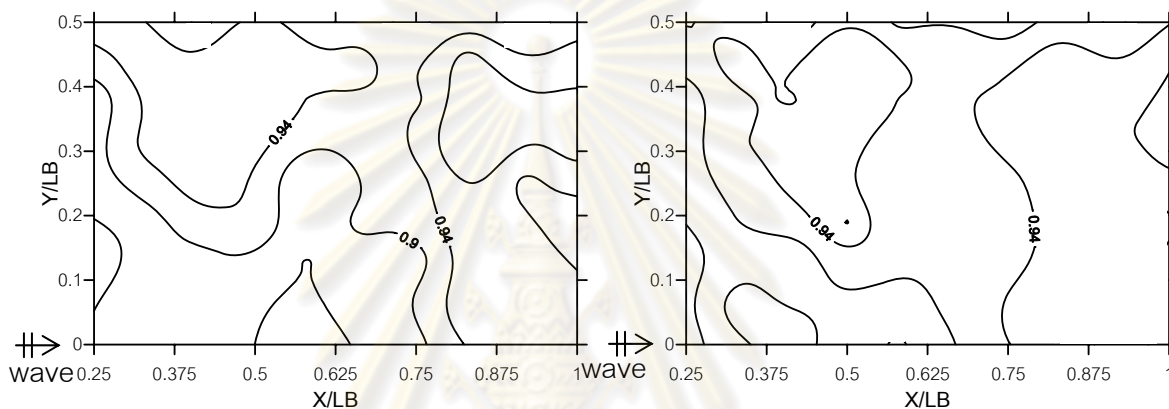
รูปที่ ง-2 เส้นชั้นค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0061 (ต่อ)



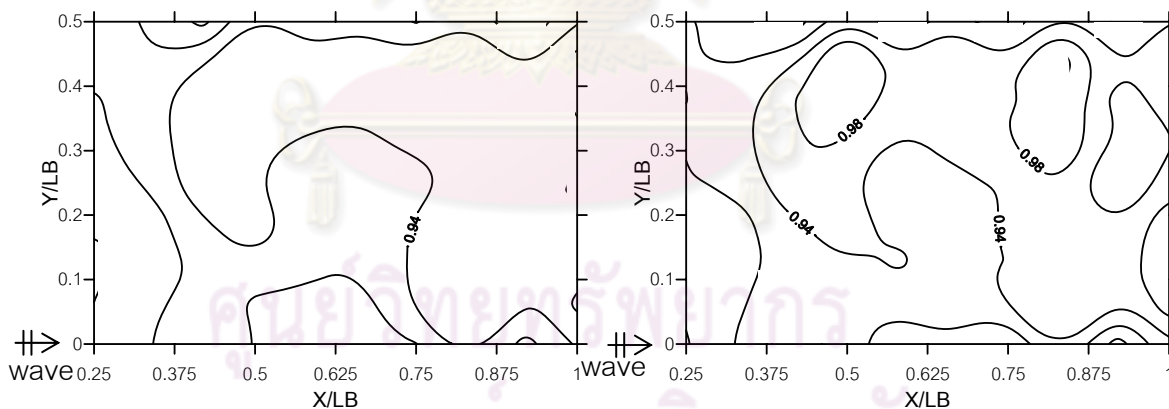
A1 (3 แถวสลับ)

B1 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0)



B2 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0.5)

B3 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1)



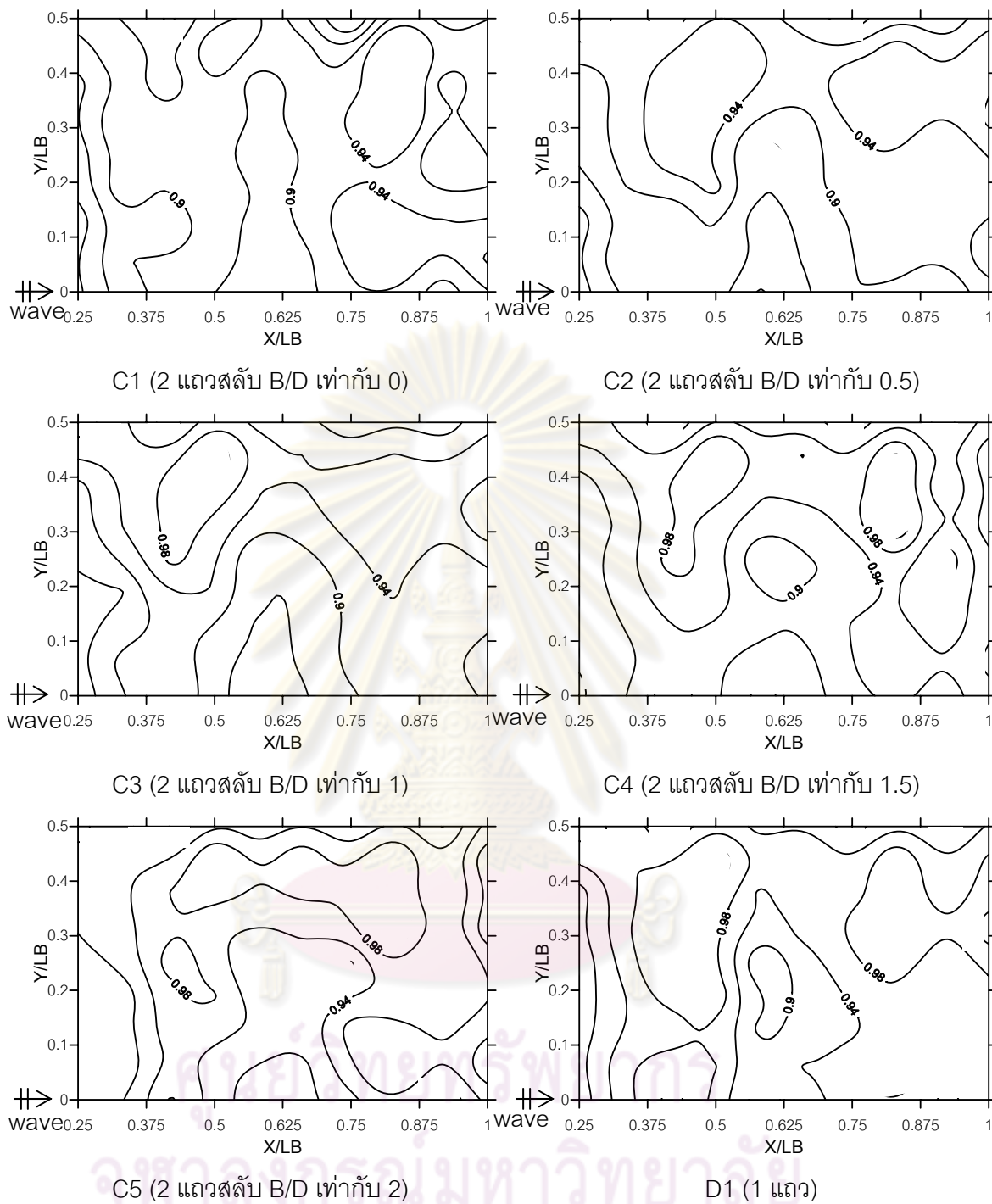
B4 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1.5)

B5 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 2)

รูปที่ 3-3 เส้นชั้นค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ( $K_p$ )

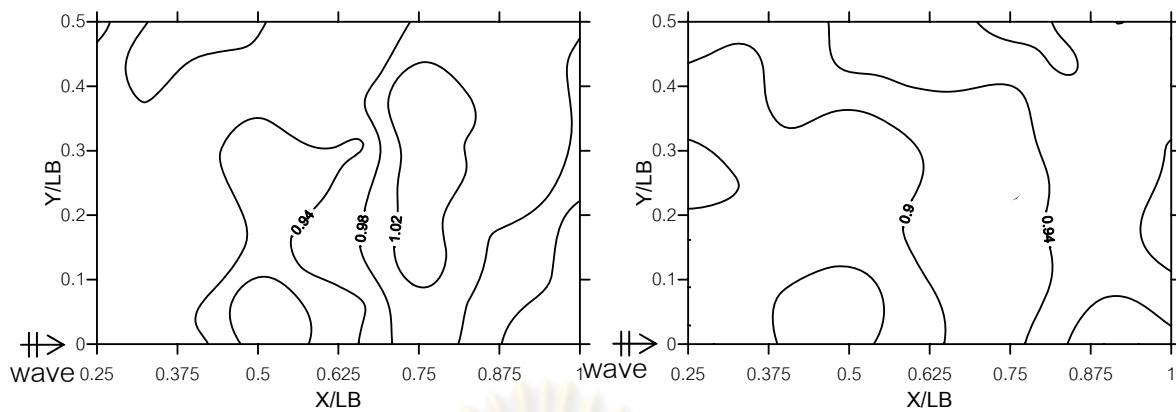
กรณี  $H_w/gT^2$  เท่ากับ 0.0089





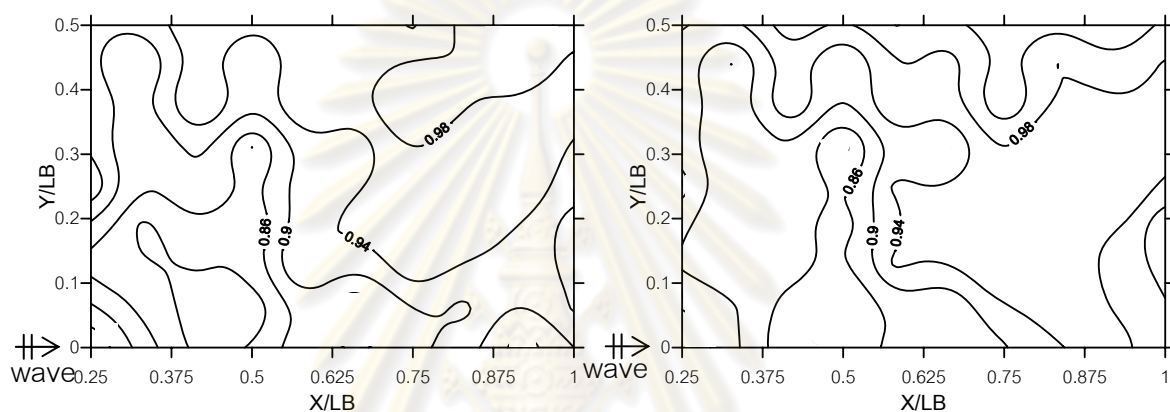
รูปที่ ง-3 เส้นชั้นค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_w/gT^2$  เท่ากับ 0.0089 (ต่อ)



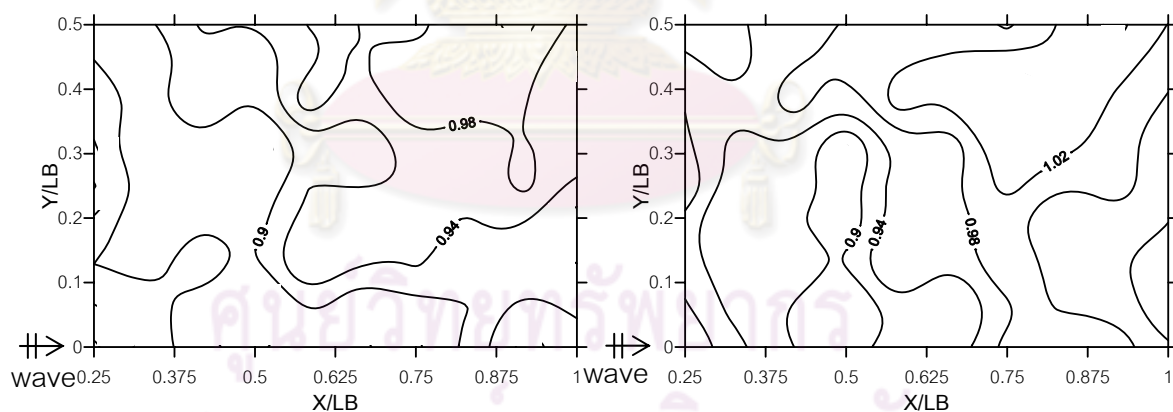
A1 (3 แถวสลับ)

B1 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0)



B2 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0.5)

B3 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1)

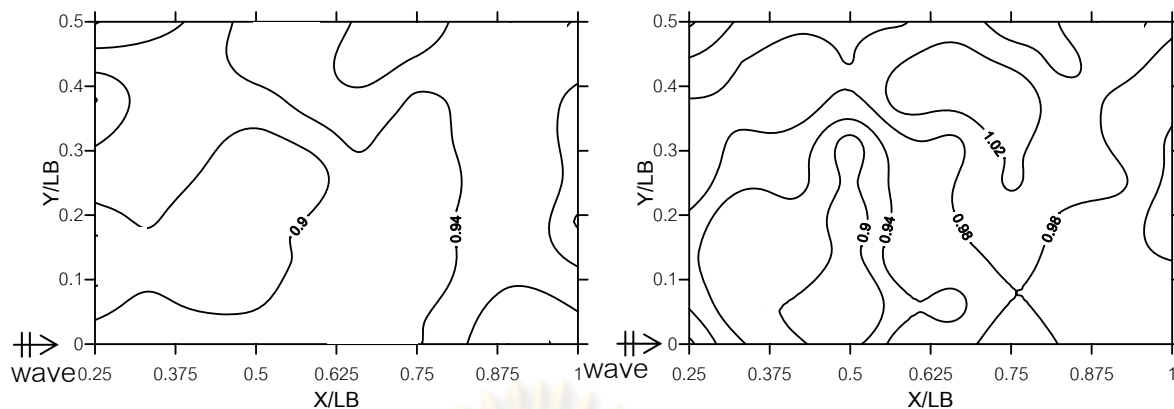


B4 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1.5)

B5 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 2)

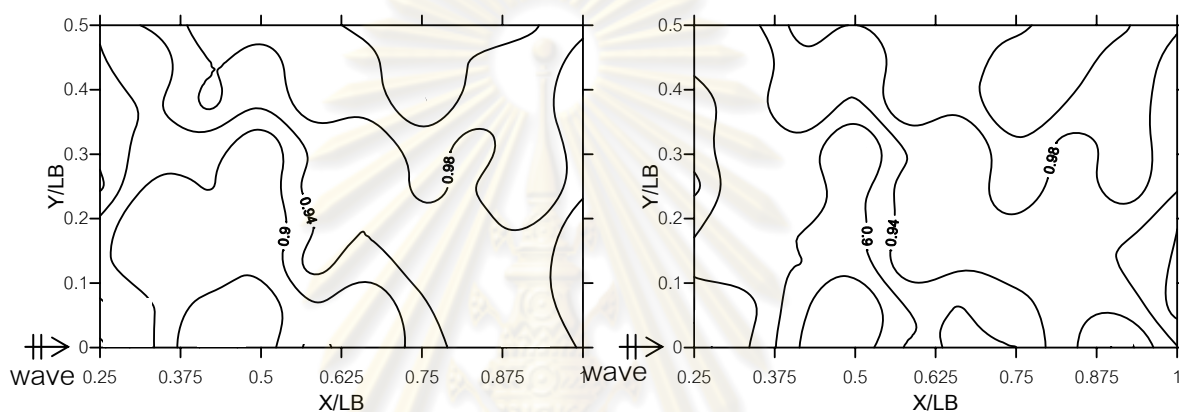
รูปที่ ง-4 เส้นชั้นค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0111



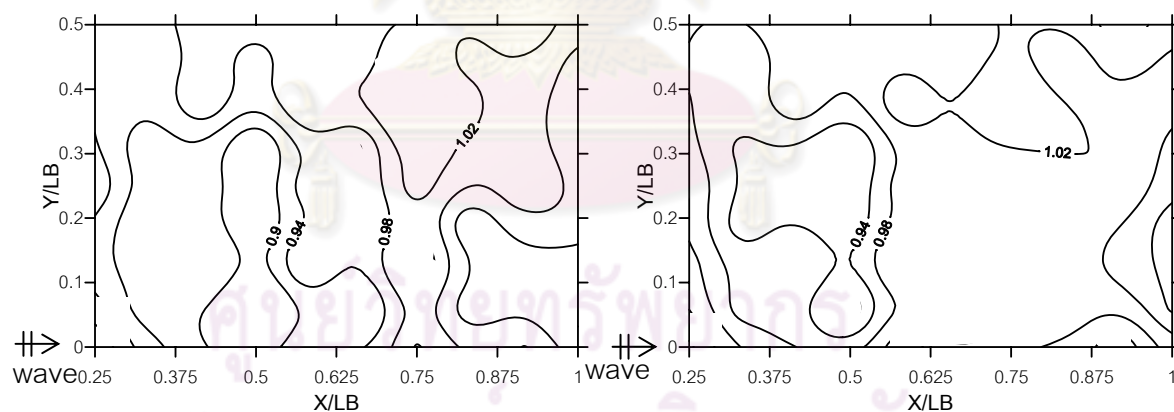
C1 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 0)

C2 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 0.5)



C3 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 1)

C4 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 1.5)

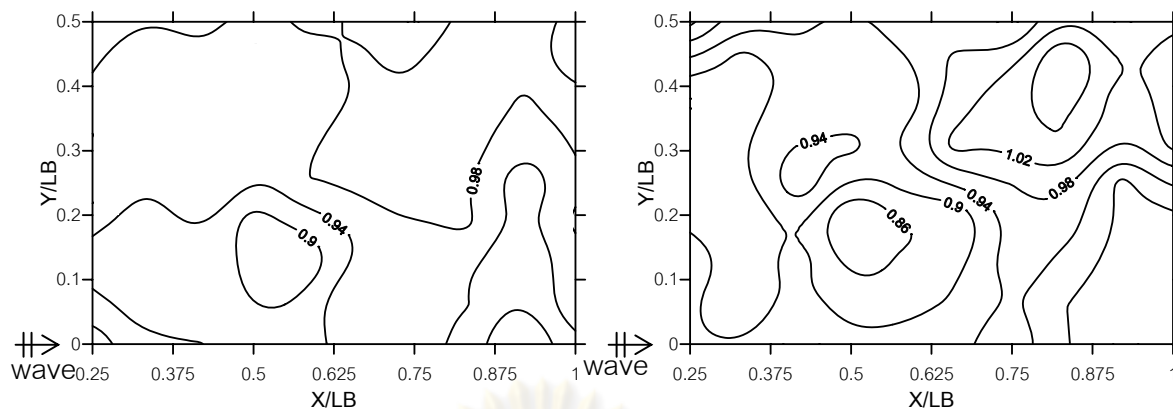


C5 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 2)

D1 (1 แถว)

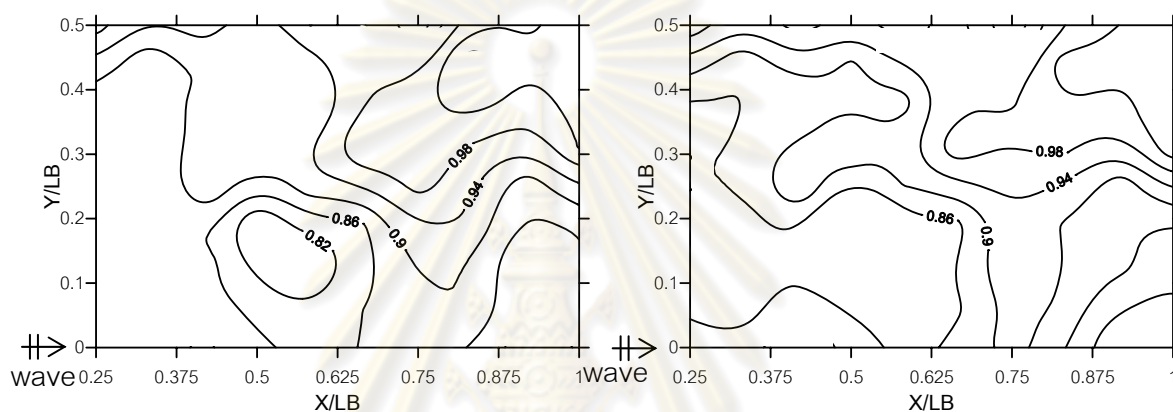
รูปที่ ง-4 เส้นชั้นค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0111 (ต่อ)



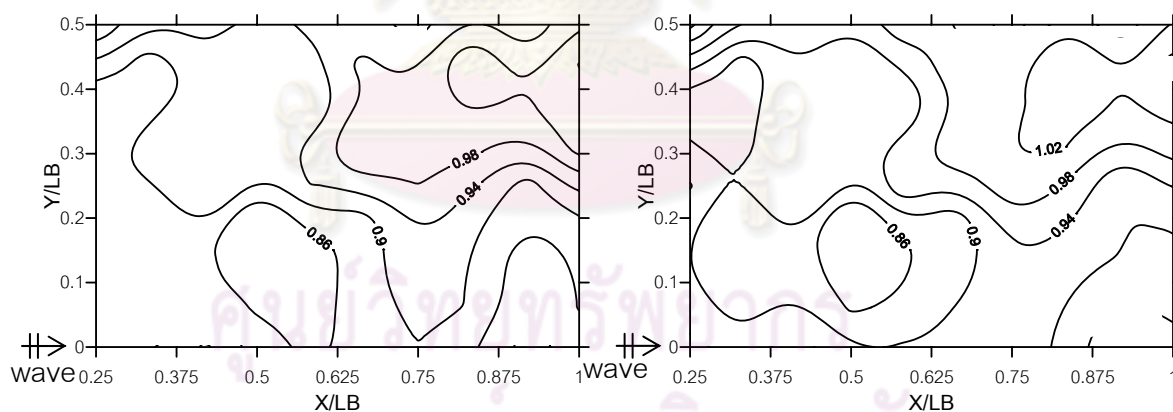
A1 (3 แถวสลับ)

B1 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0)



B2 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 0.5)

B3 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1)

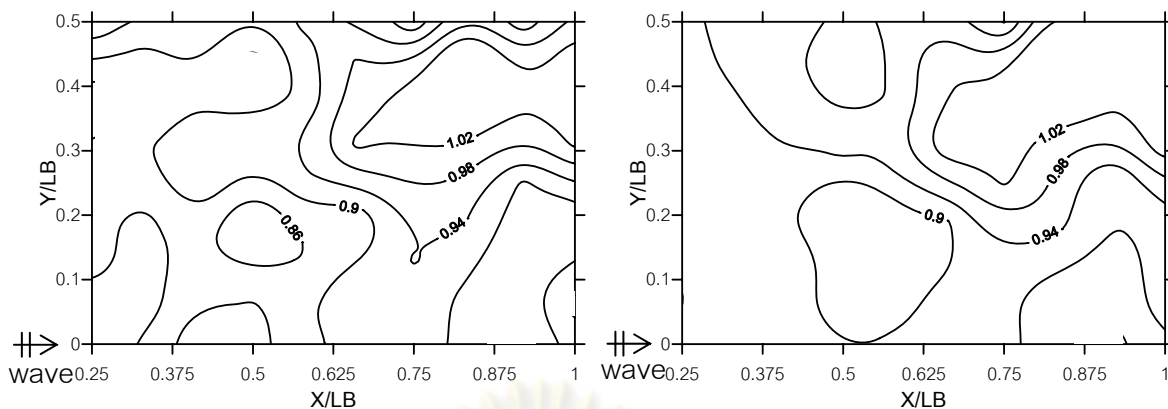


B4 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 1.5)

B5 (2 แถวตรง B/D เท่ากับ 2)

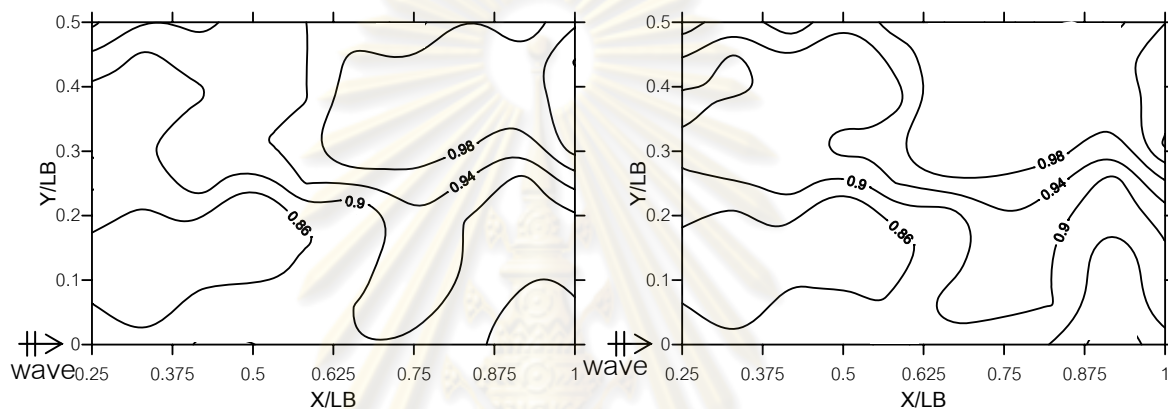
รูปที่ ง-5 เส้นชั้นค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0143



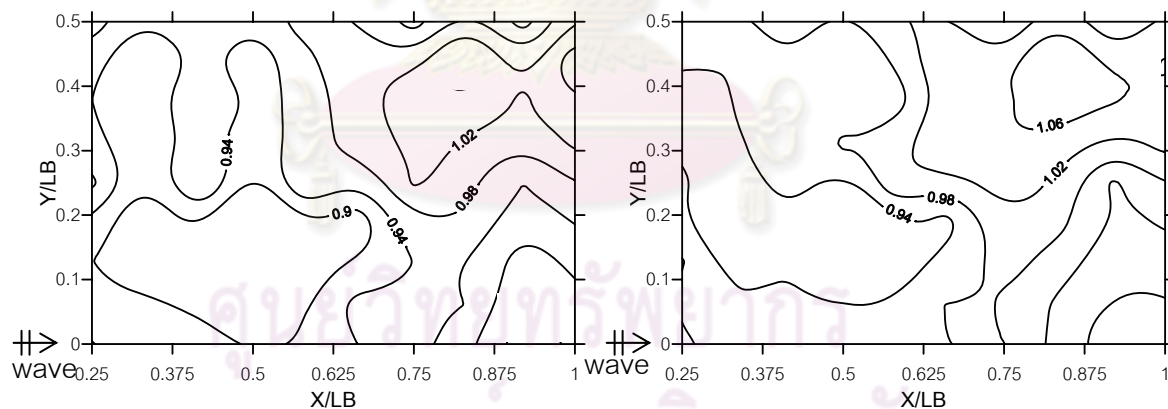
C1 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 0)

C2 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 0.5)



C3 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 1)

C4 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 1.5)



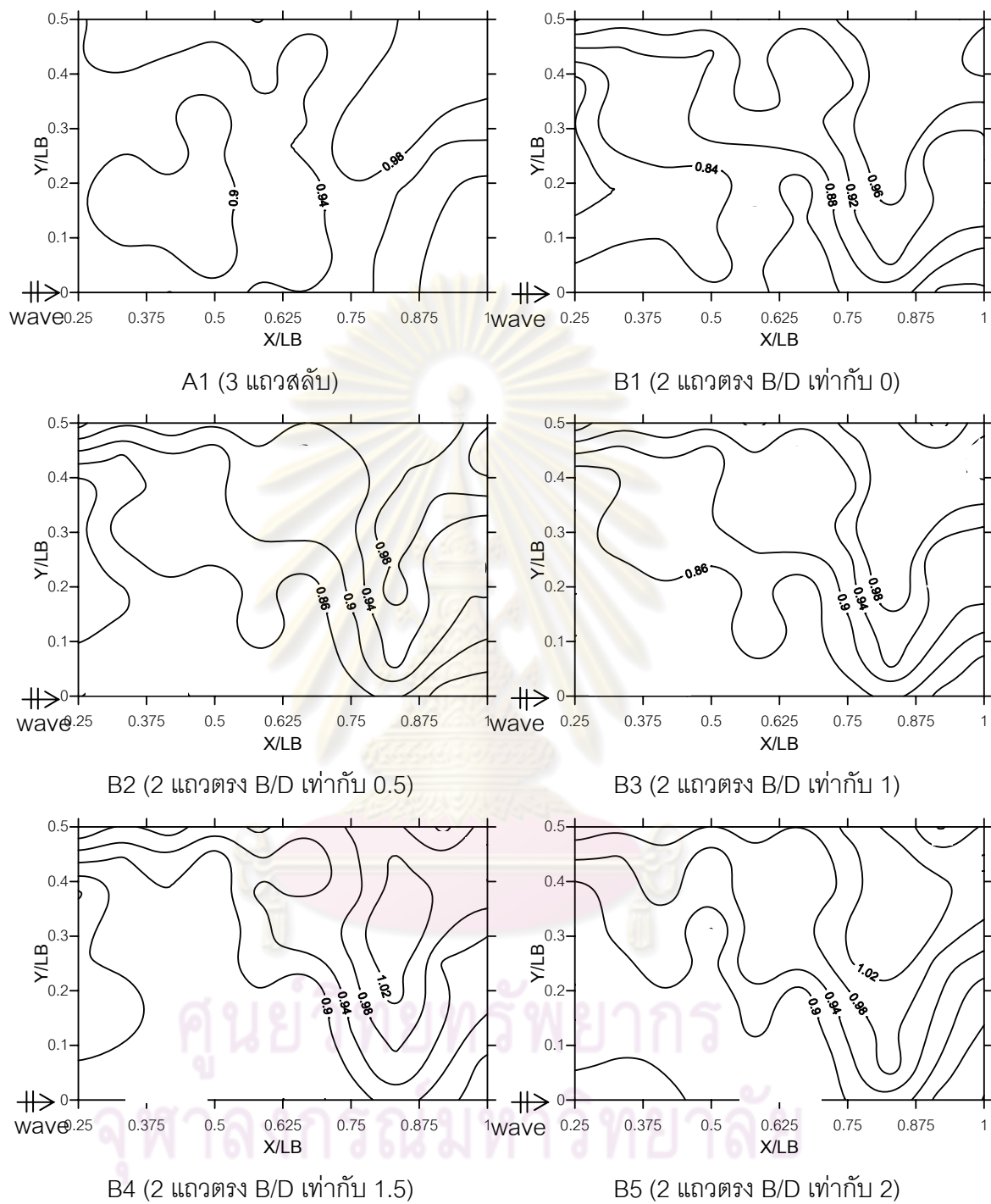
C5 (2 แถวสลับ B/D เท่ากับ 2)

D1 (1 แถว)

รูปที่ ง-5 เส้นชั้นค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ( $K_p$ )

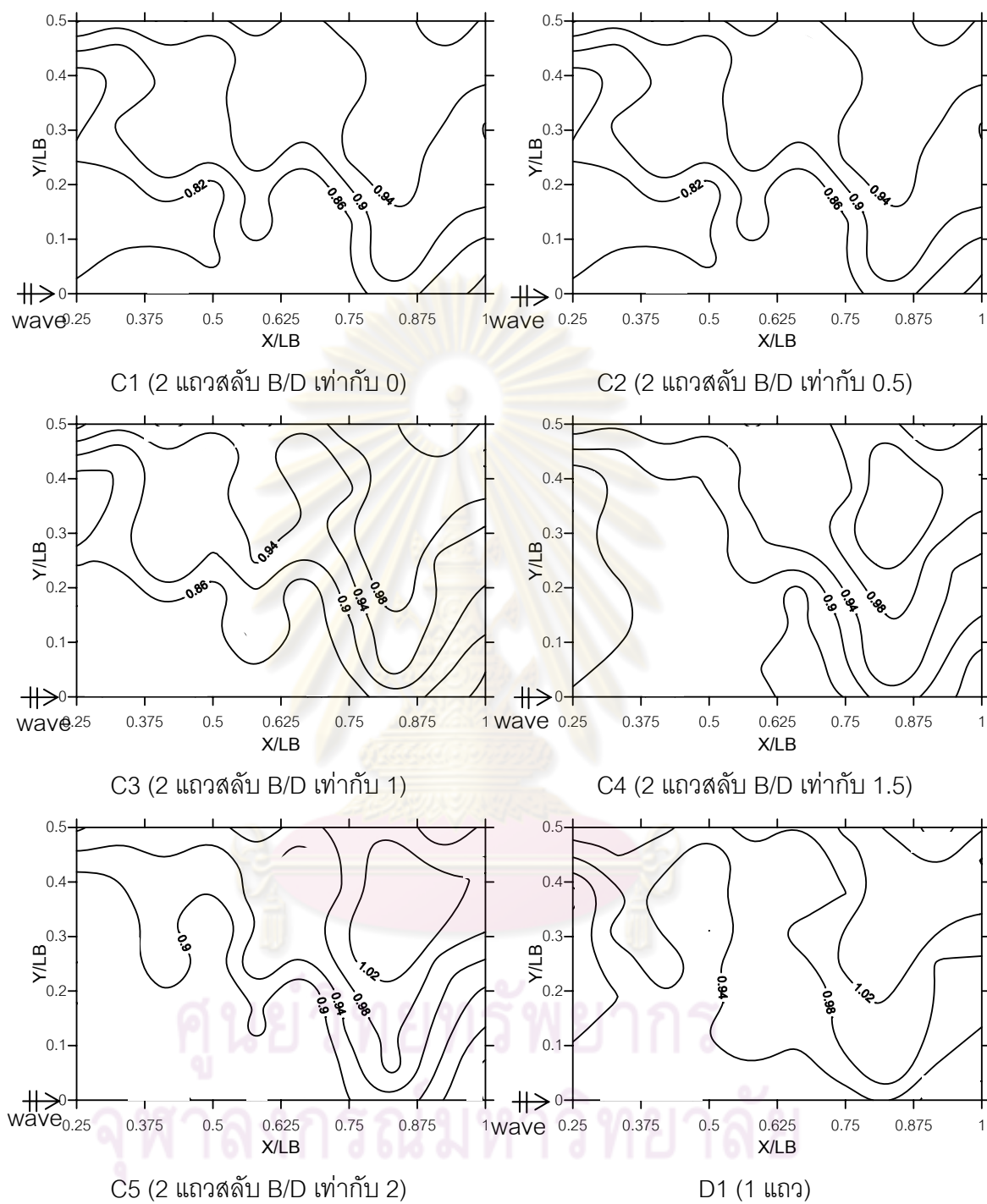
กรณี  $H_w/gT^2$  เท่ากับ 0.0143 (ต่อ)





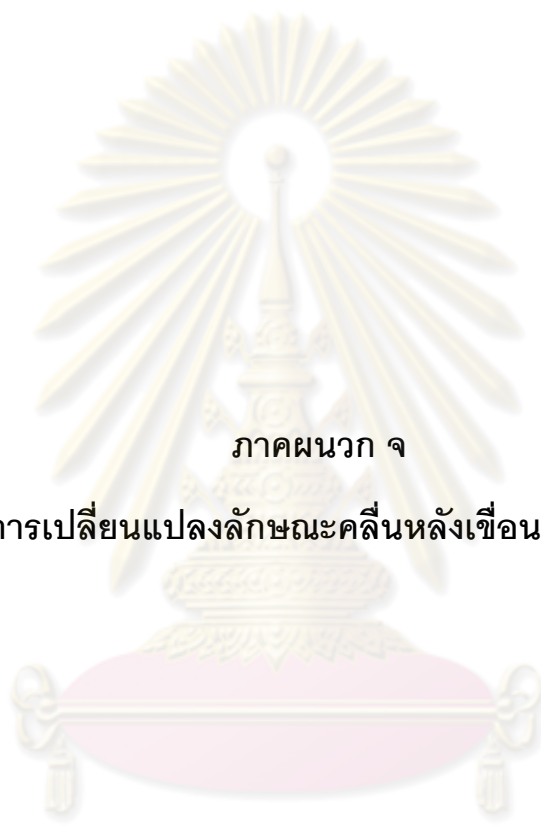
รูปที่ ง-6 ตัวอย่างเส้นชั้นค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0180



รูปที่ ง-6 ตัวอย่างเส้นชั้นค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ( $K_p$ )

กรณี  $H_w/gT^2$  เท่ากับ 0.0180 (ต่อ)



ภาคผนวก จ  
การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

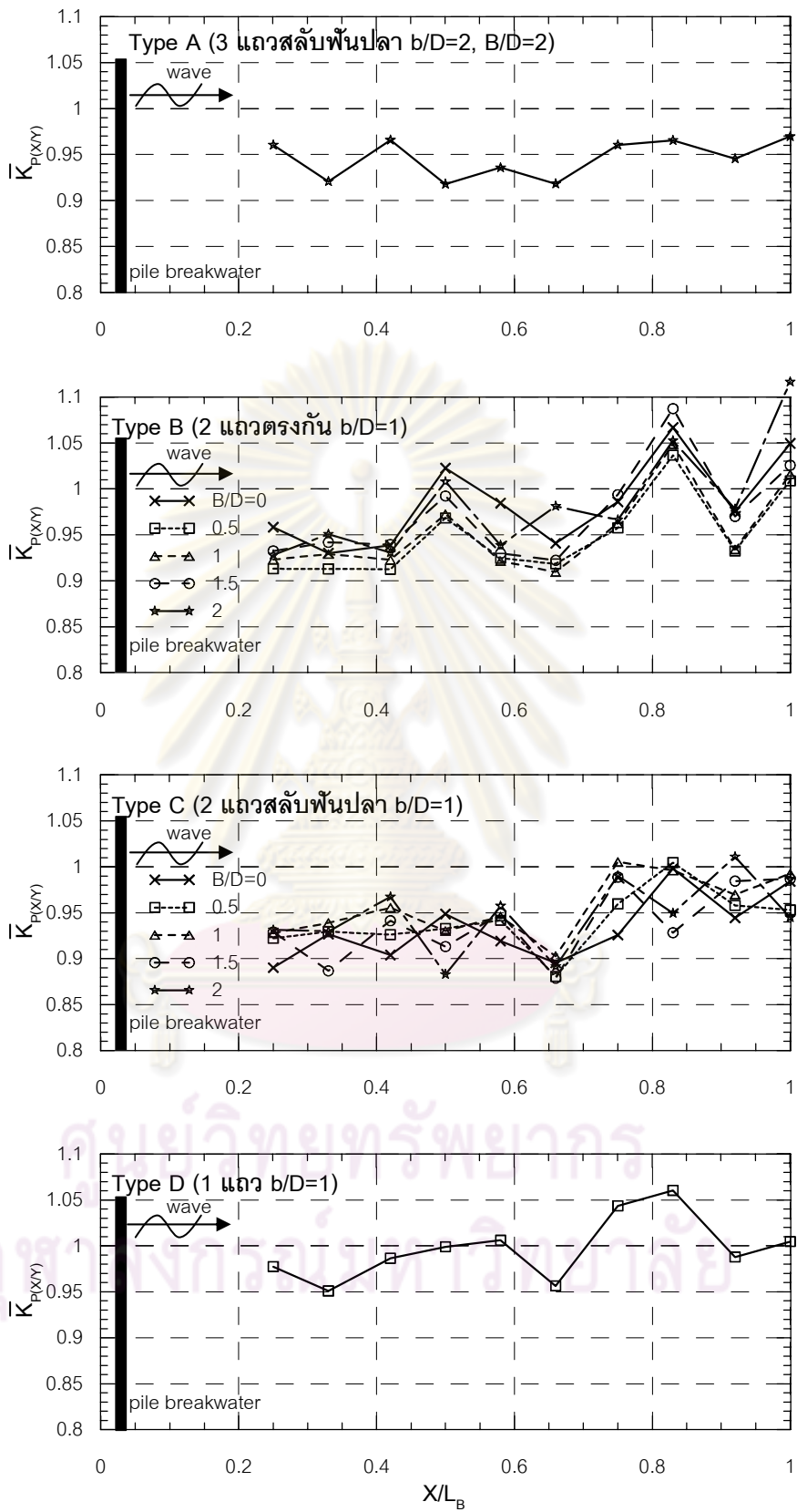
## ภาคผนวก จ

### การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น

เชื่อมกันคลื่นแบบเสถียรทำหน้าที่ป้องกันคลื่นที่จะเข้าสู่พื้นที่ด้านหลังเชื่อมกันคลื่น ด้วยการสะท้อนและการสูญเสียพลังงานจากตัวเชื่อมกันคลื่นส่งผลให้ความสูงคลื่นบริเวณด้านหลังเชื่อมกันคลื่นลดลง แต่การลดลงในแต่ละตำแหน่งจะไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษา เพื่อดูการกระจายตัวของ การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ศึกษาในรูปของอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ( $K_p$ ) (อัตราส่วนระหว่างความสูงคลื่นกรณีมีเชื่อมกันคลื่นกับความสูงคลื่นกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น,  $H_p/H_{p0}$ ) โดยพิจารณา 2 ทิศทาง ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น ( $X/L_B$ ) และการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับระยะทางตามแนวขนานกับเชื่อมกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงผลของช่องว่างระหว่างแถว และพิจารณาถึงผลของช่องว่างระหว่างแถวร่วมกับความชันคลื่น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

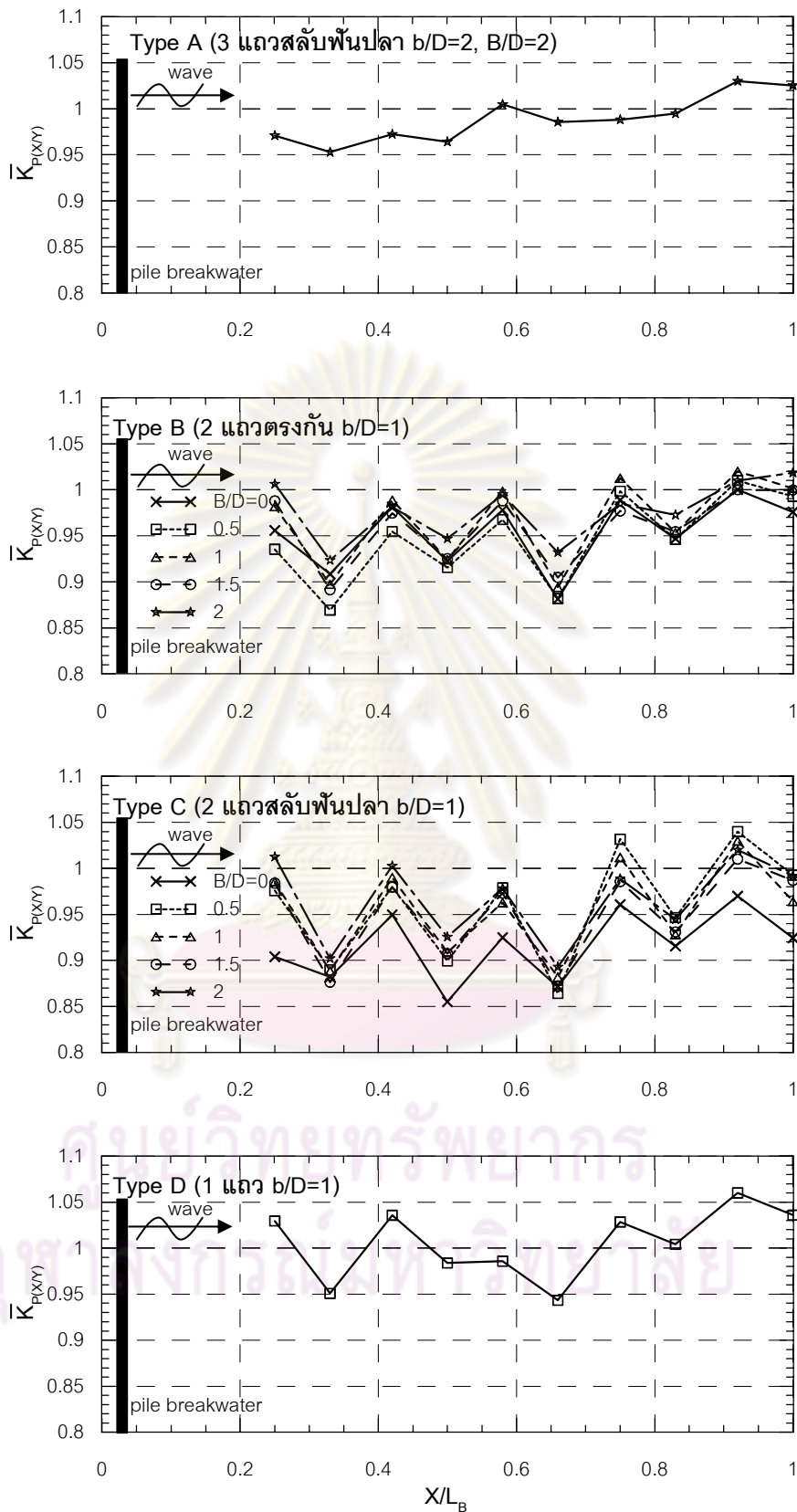
- 1) การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น ( $X/L_B$ ) ซึ่งแสดงในรูปที่ จ-1 ถึง จ-8
- 2) การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับระยะทางตามแนวขนานกับเชื่อมกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) แสดงในรูปที่ จ-9 ถึง จ-16
- 3) ผลของช่องว่างระหว่างแถว แสดงในรูปที่ จ-17 ถึง จ-20
- 4) ผลของช่องว่างระหว่างแถวร่วมกับความชันคลื่น แสดงในรูปที่ จ-21 ถึง จ-24

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

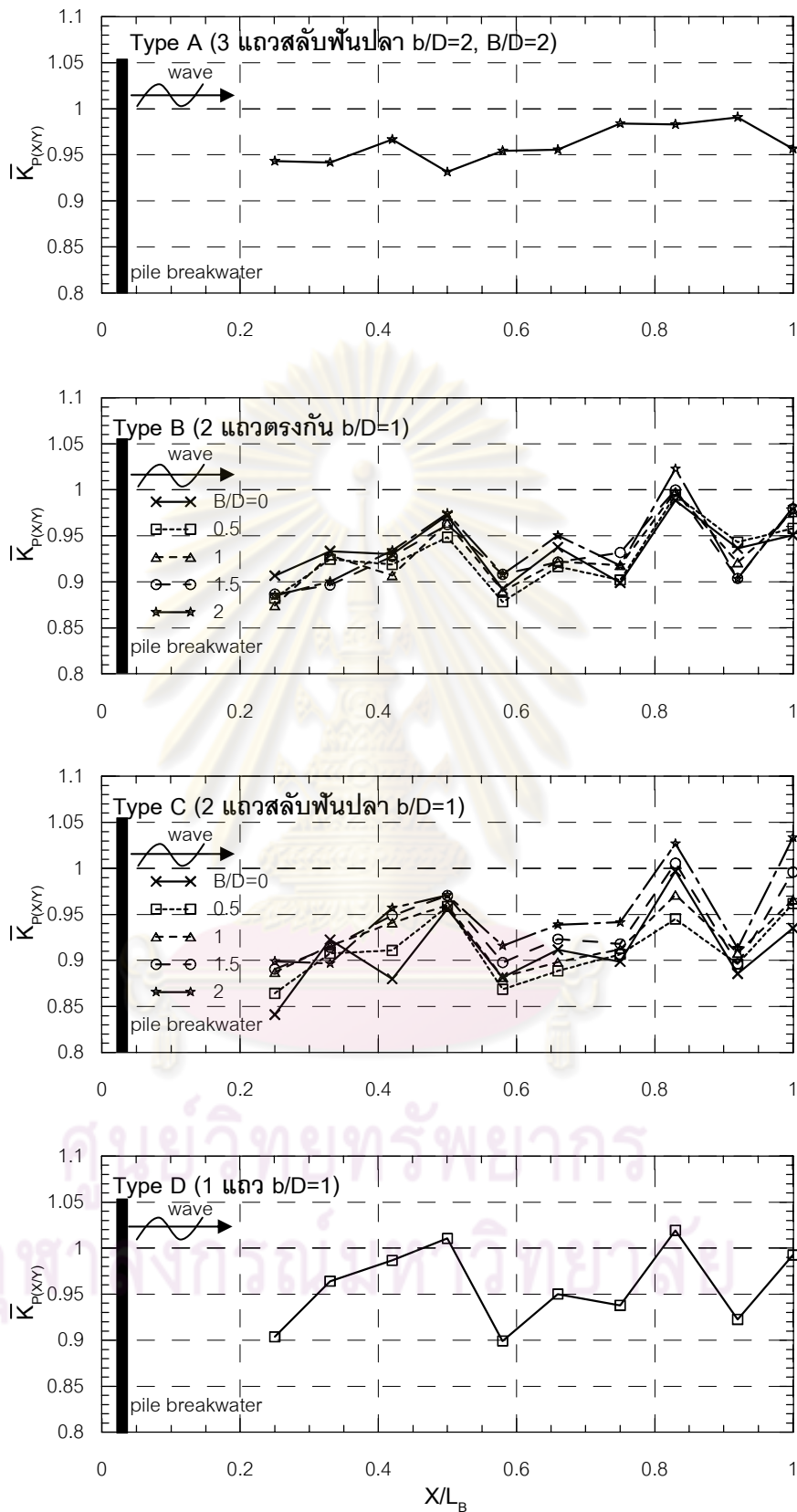


รูปที่ ๑-1 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(X,Y)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0035

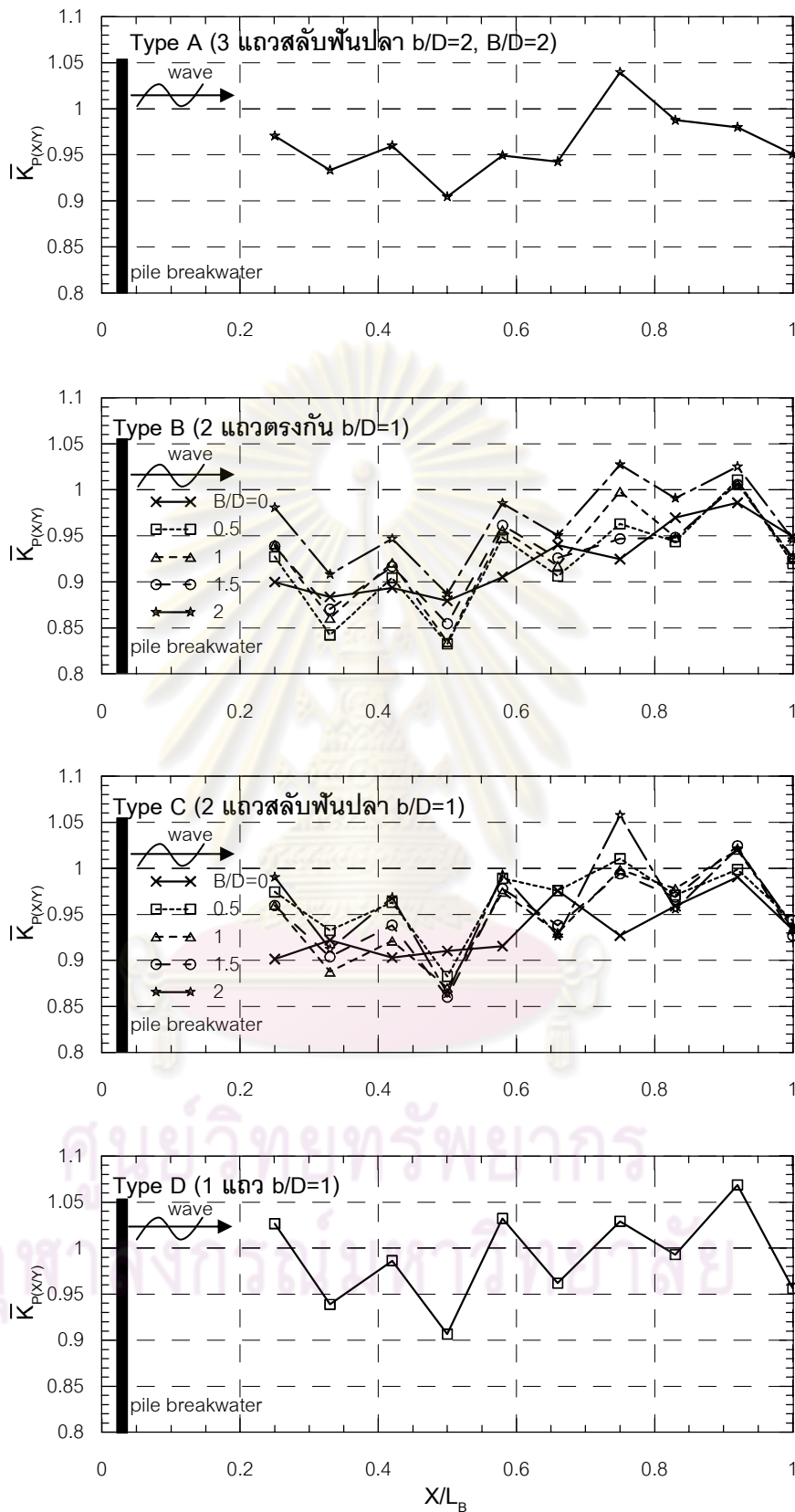




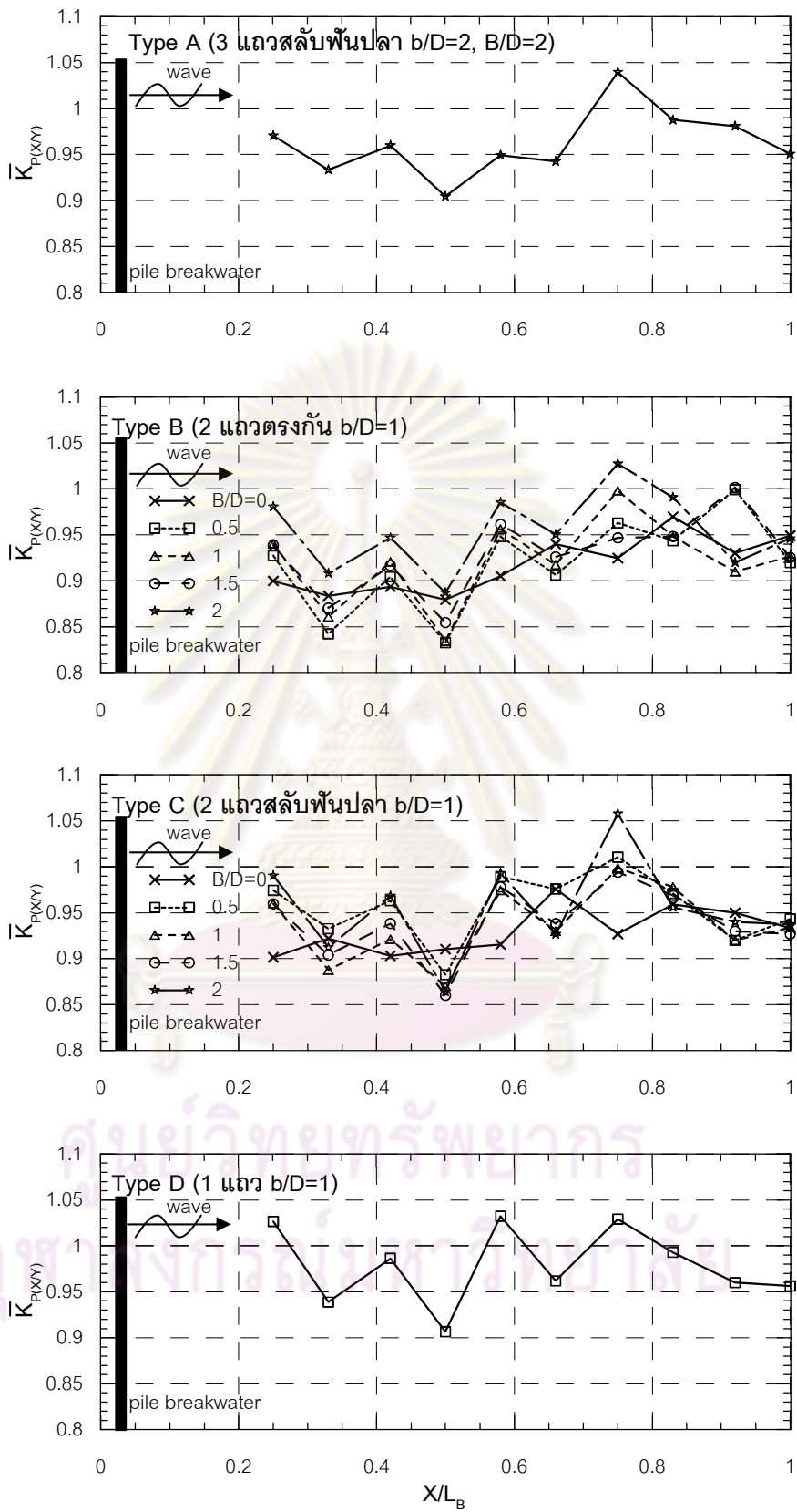
รูปที่ ๑-2 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(X/Y)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0061



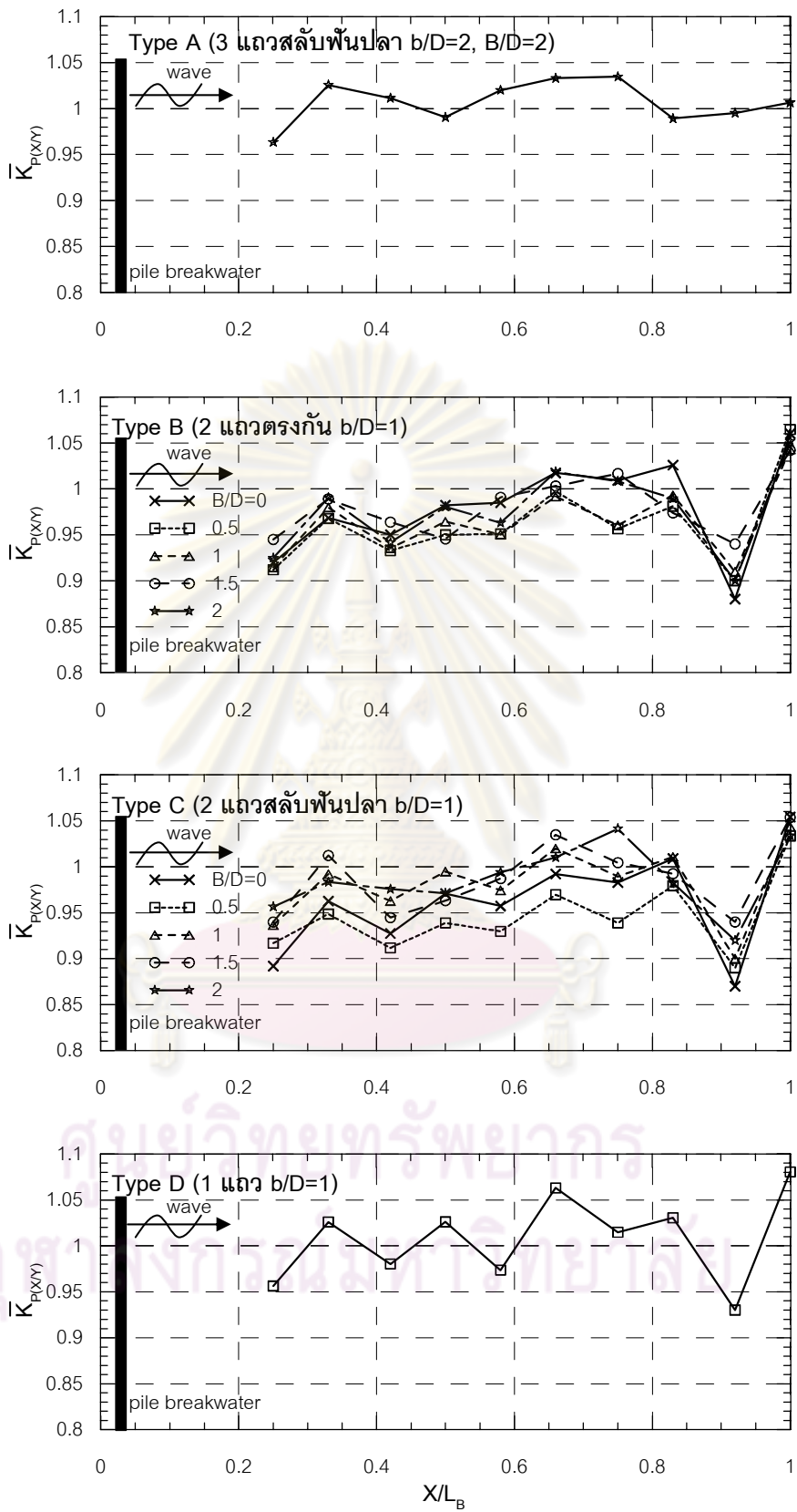
รูปที่ ๑-3 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(X,Y)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0089



รูปที่ ๑-4 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(X,Y)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0111

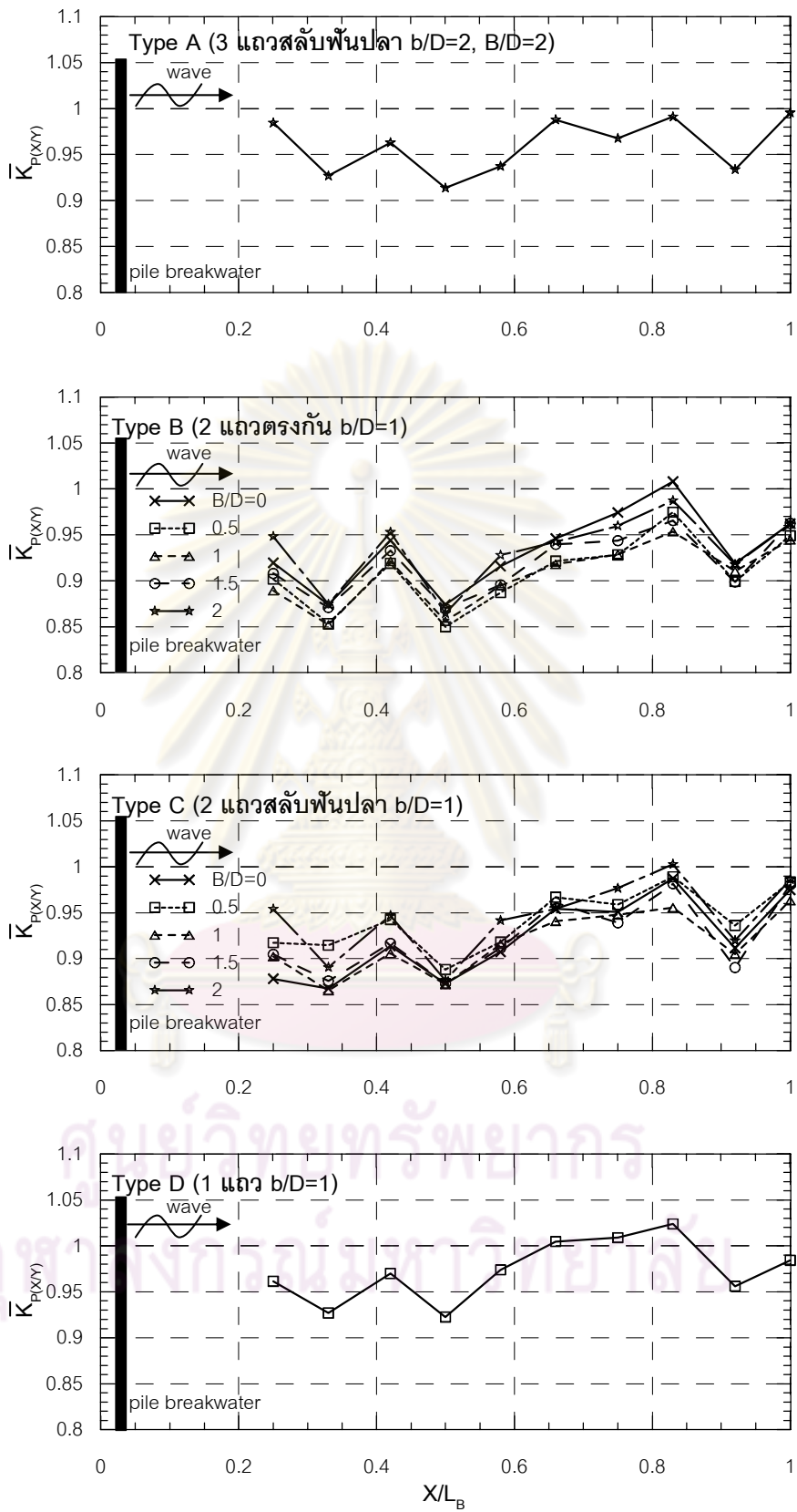


รูปที่ ๑-5 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(X/Y)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0121

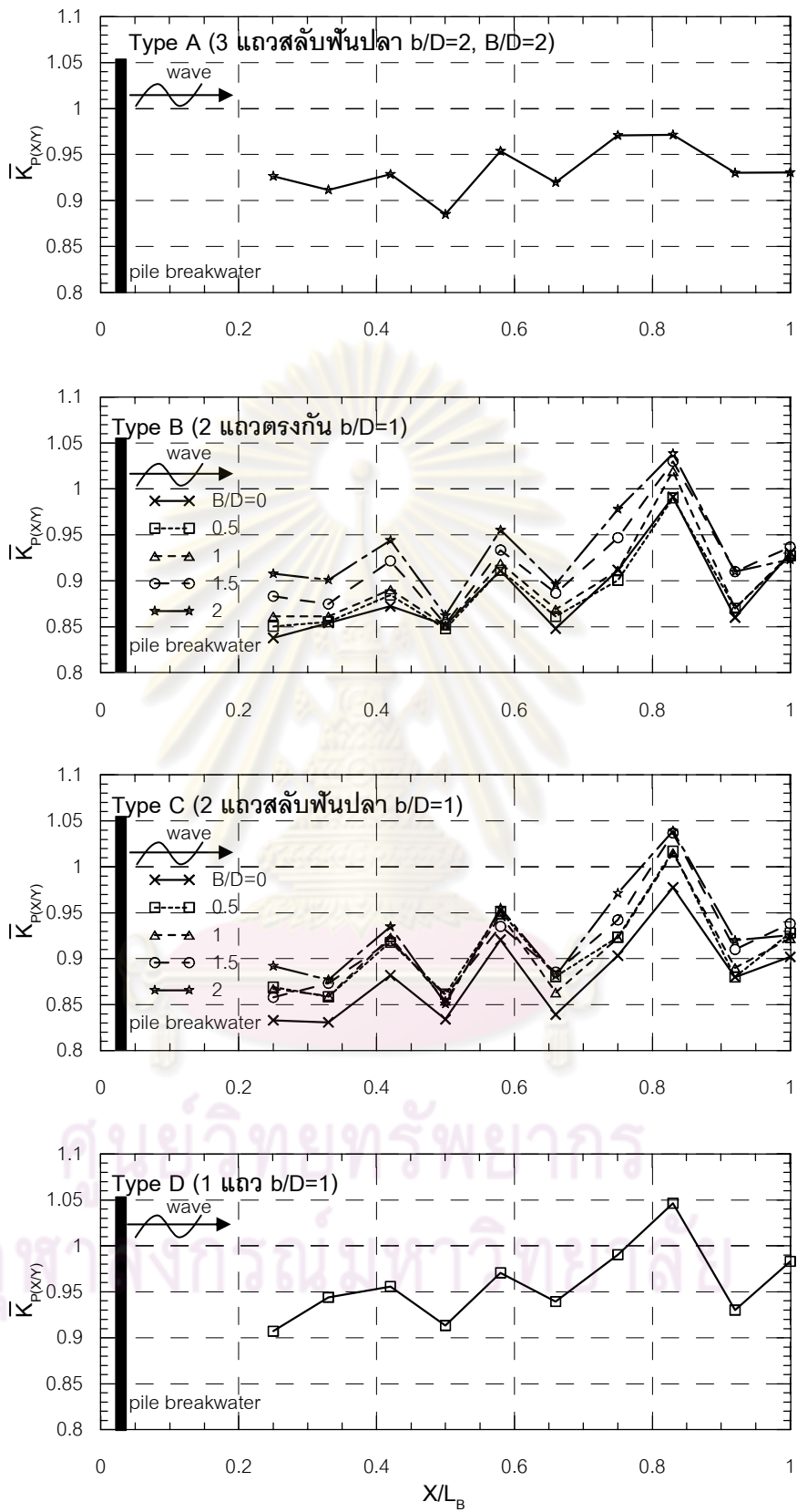


รูปที่ ๑-6 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(X/Y)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0137

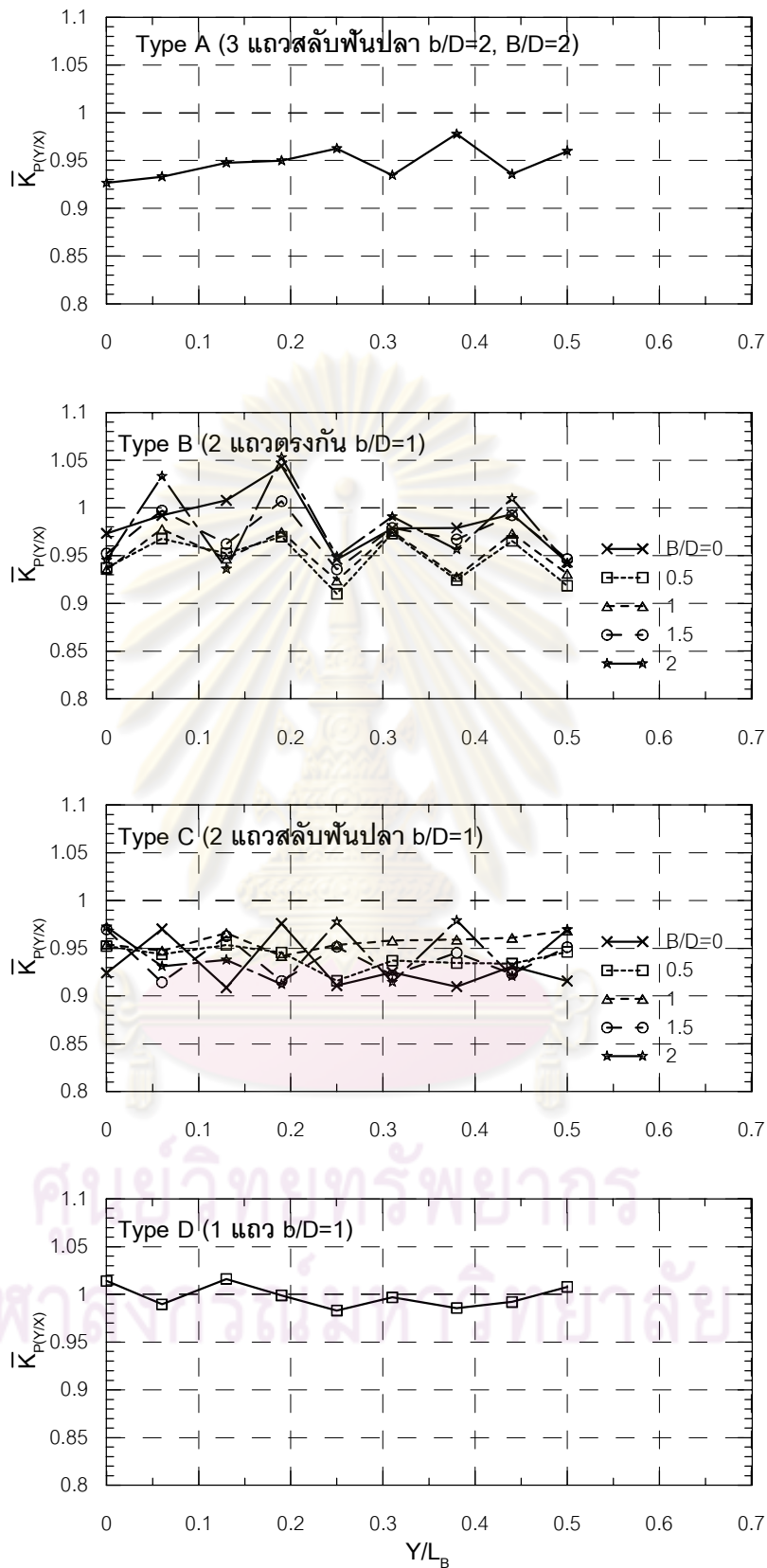




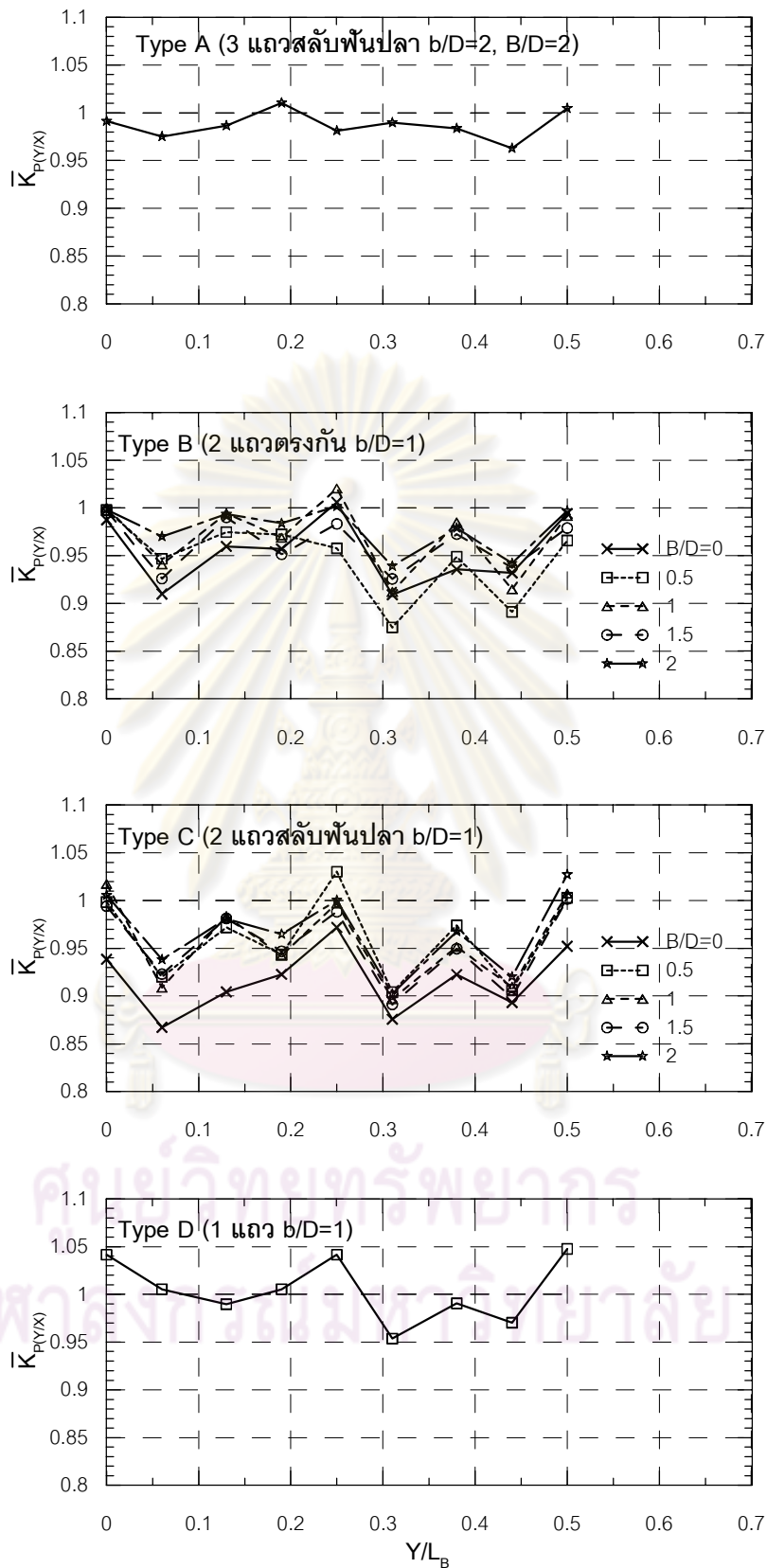
รูปที่ ๑-7 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(X,Y)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0143



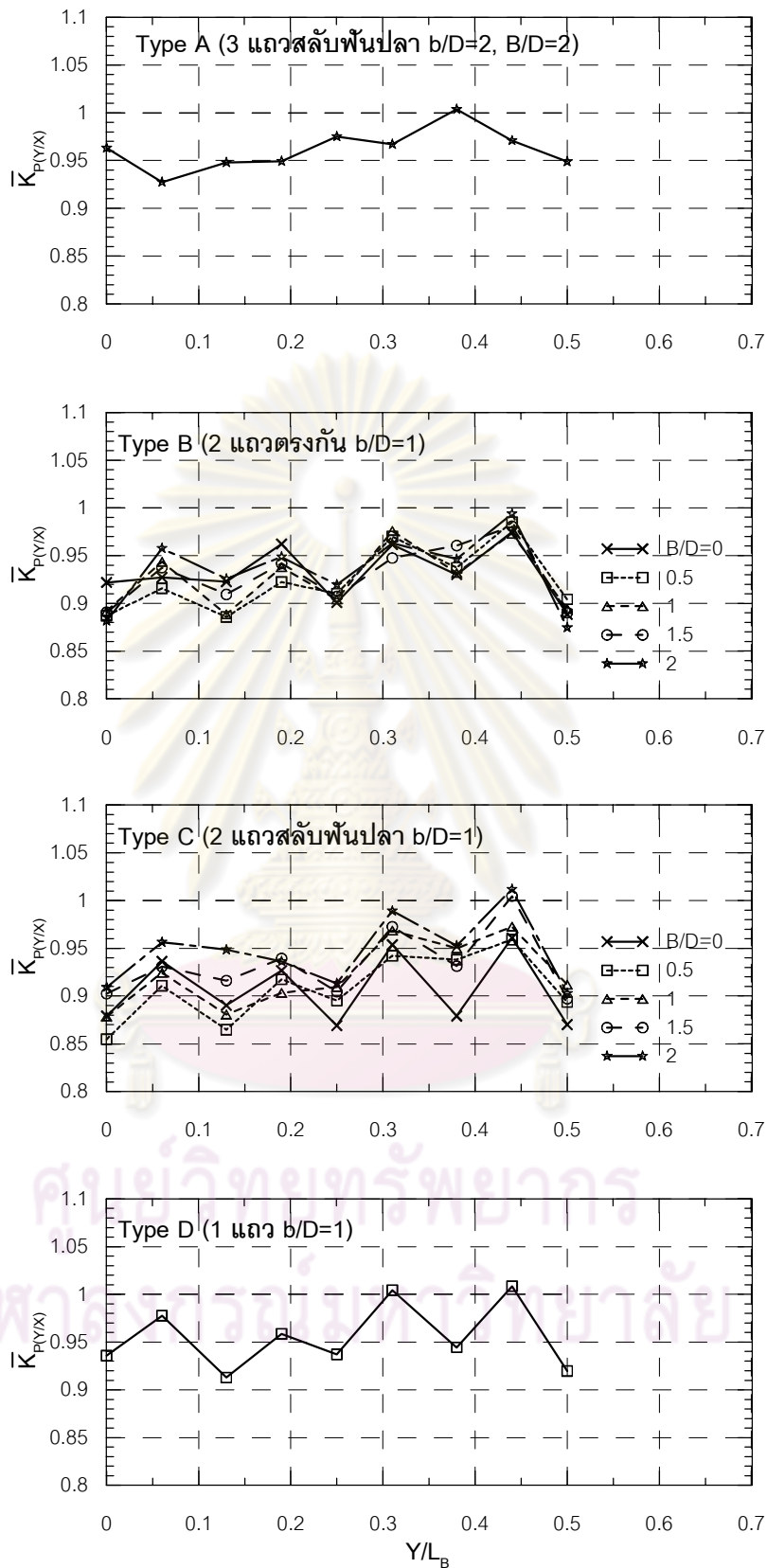
รูปที่ ๑-8 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(X,Y)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0180



รูปที่ ๑-๙ การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) กับระยะทางตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0035

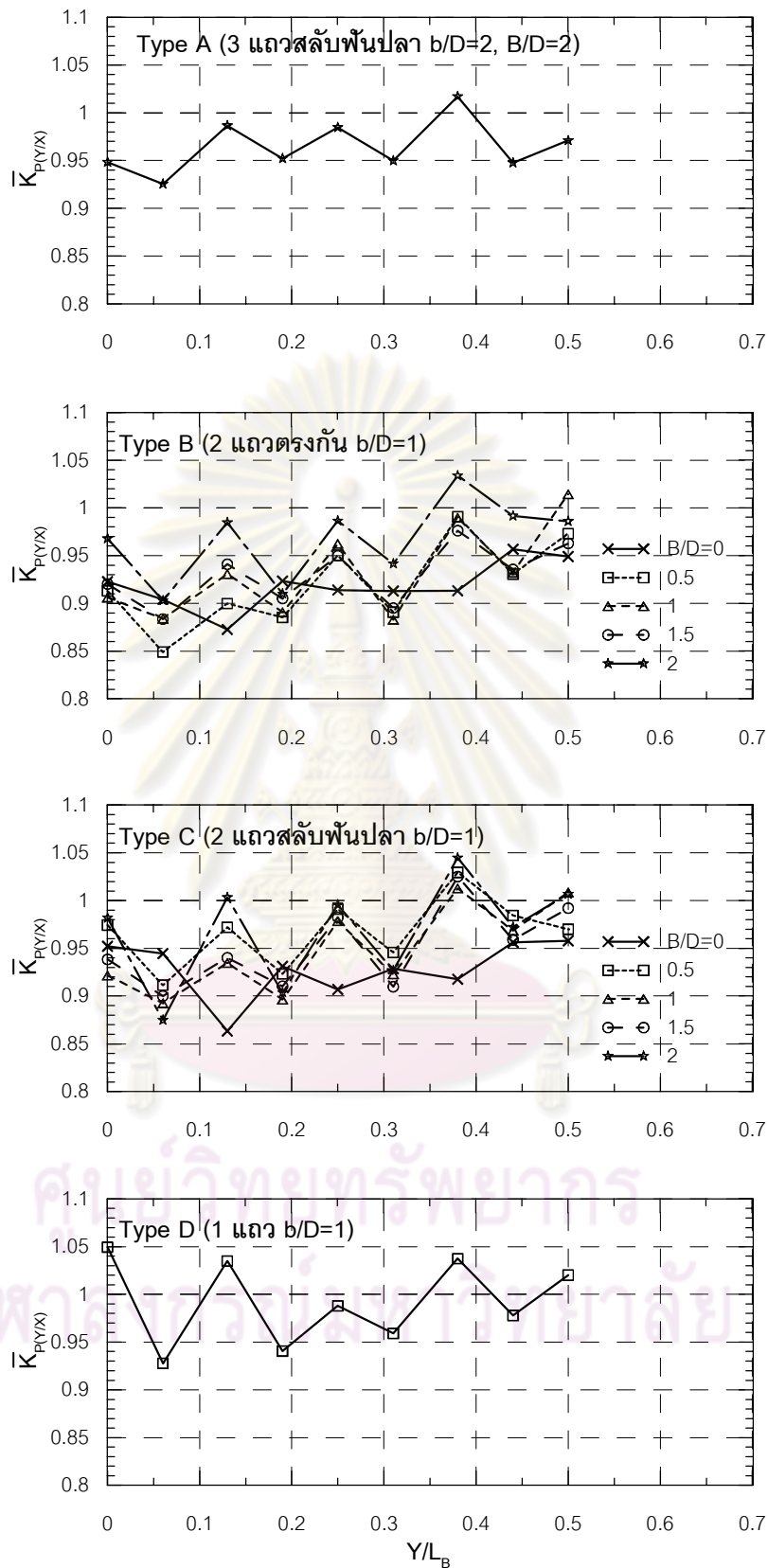


รูปที่ ๑-10 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) กับระยะทางตามแนวขนานกับเชื่อมกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0061

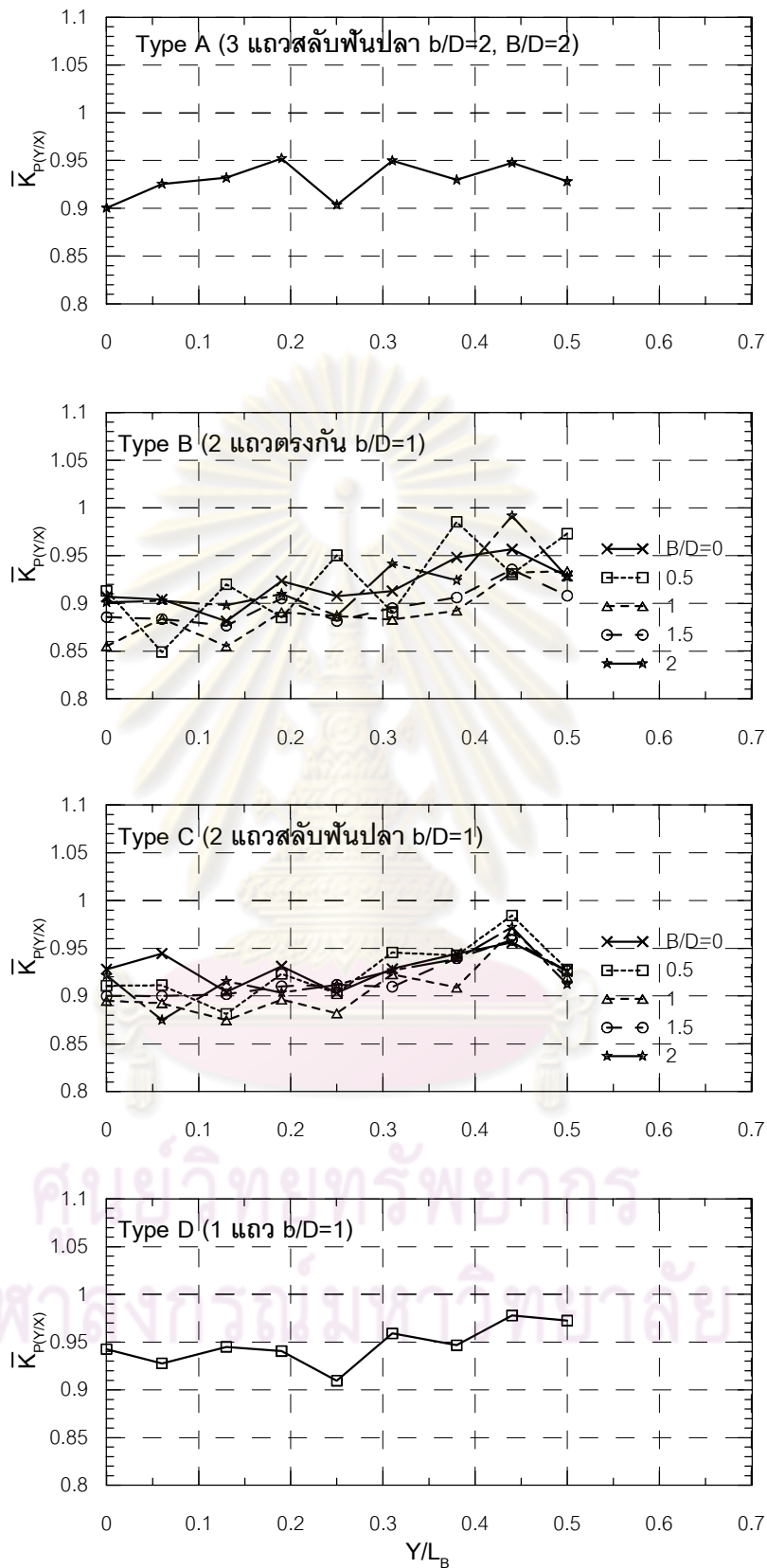


รูปที่ ๑-11 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) กับระยะทางตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0089

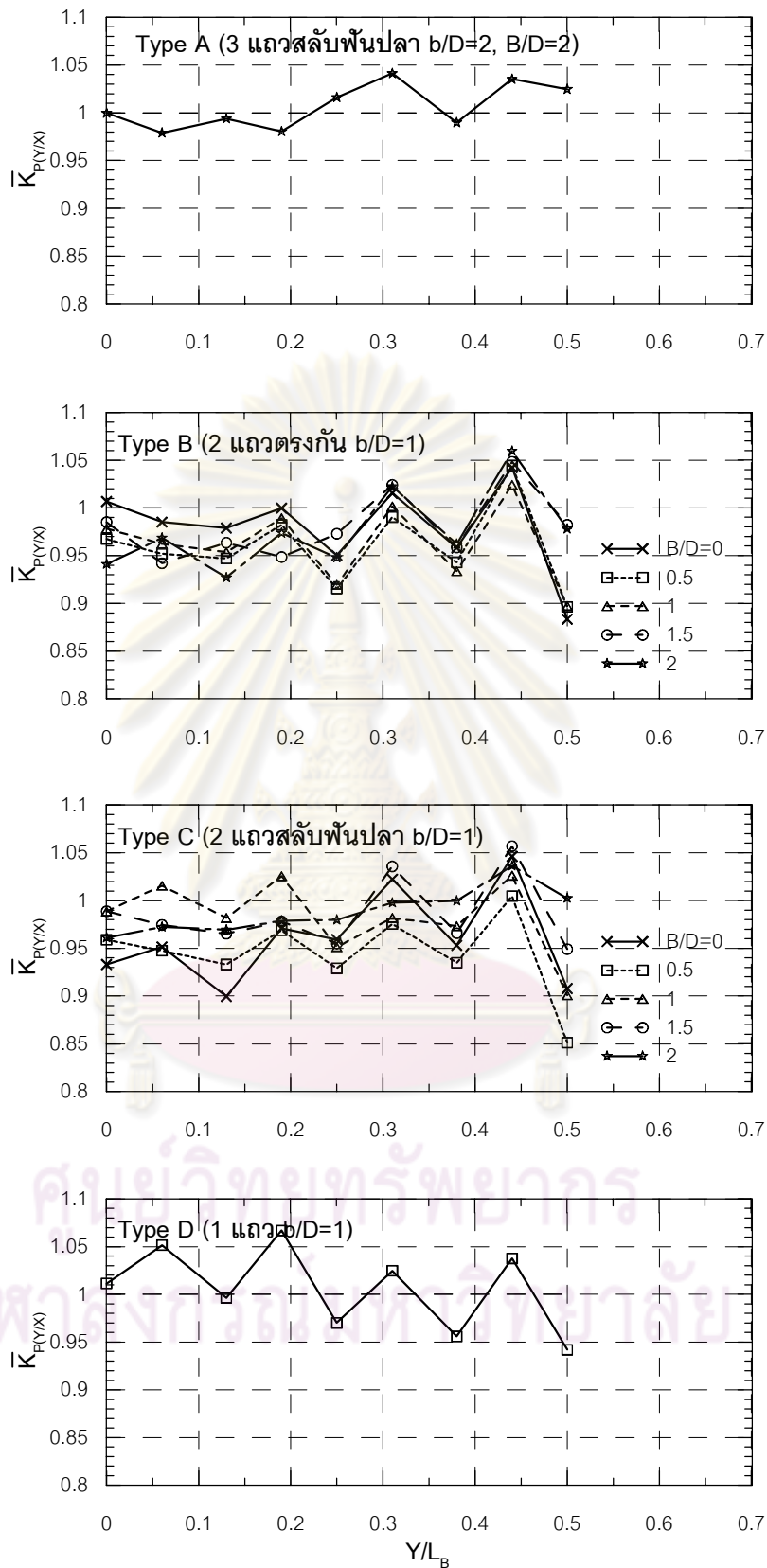




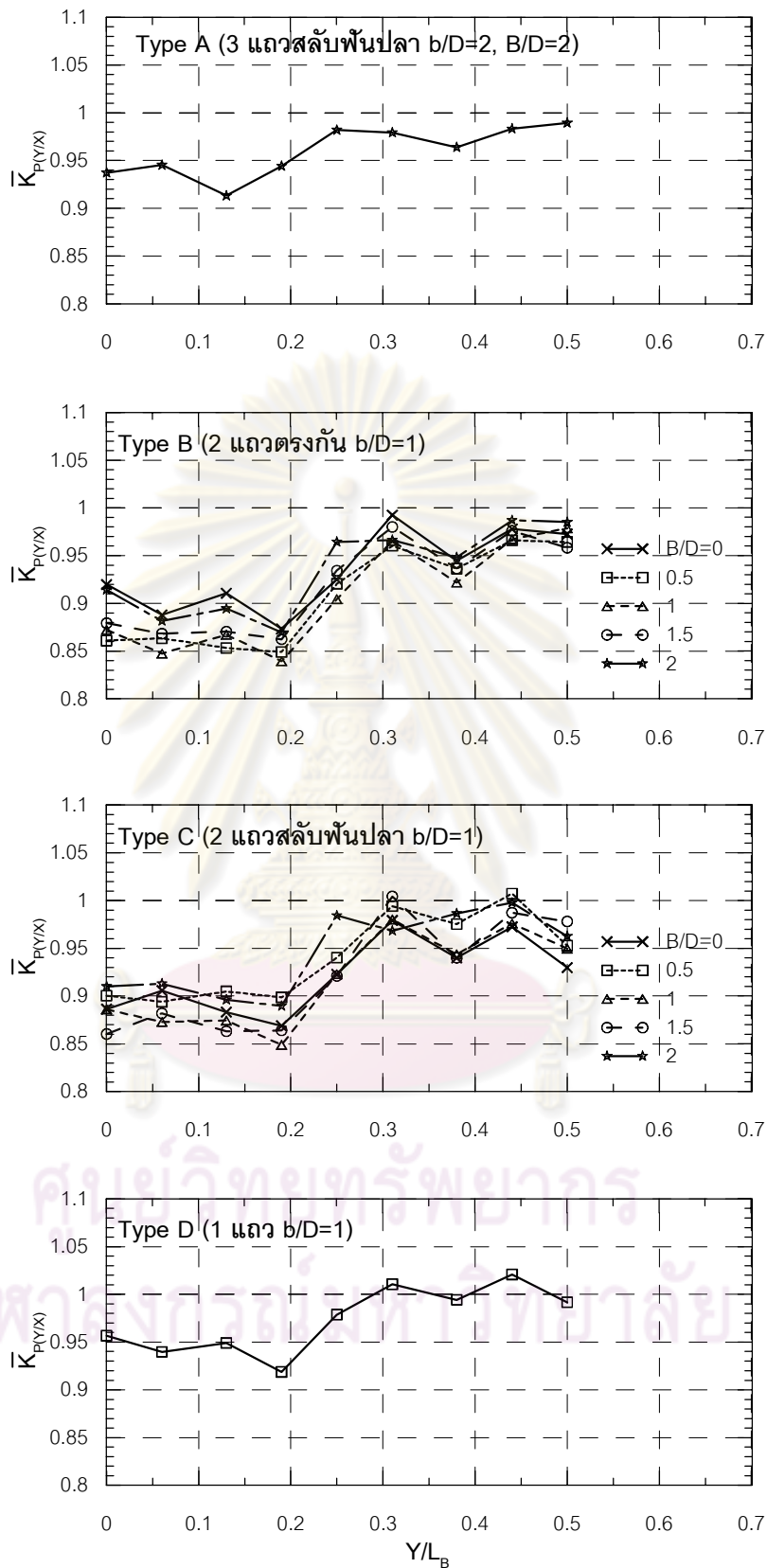
รูปที่ ๑-12 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) กับระยะทางตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0111



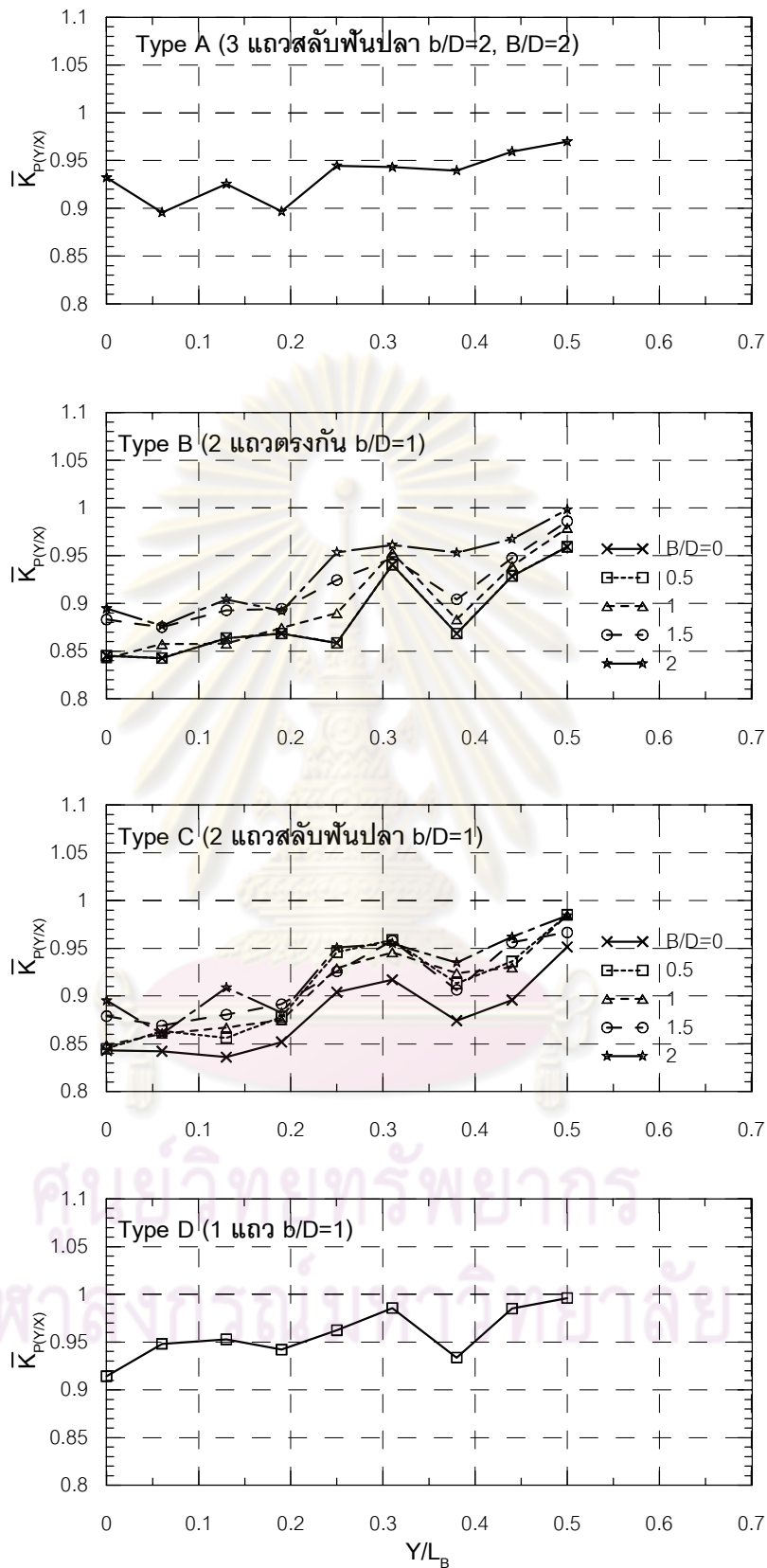
รูปที่ ๑-13 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) กับระยะทางตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0121



รูปที่ ๑-14 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) กับระยะทางตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0137

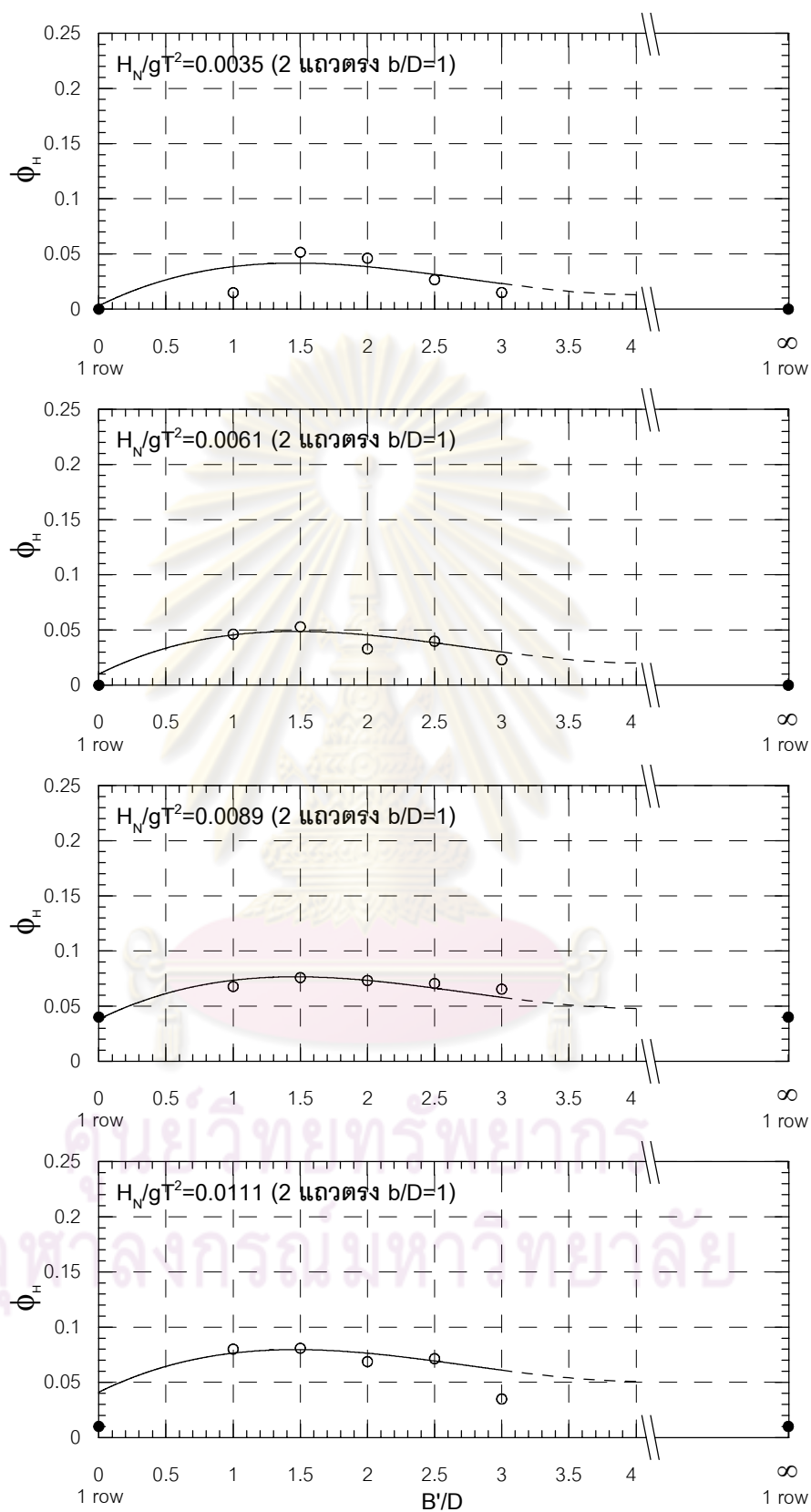


รูปที่ ๑-15 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) กับระยะทางตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0143

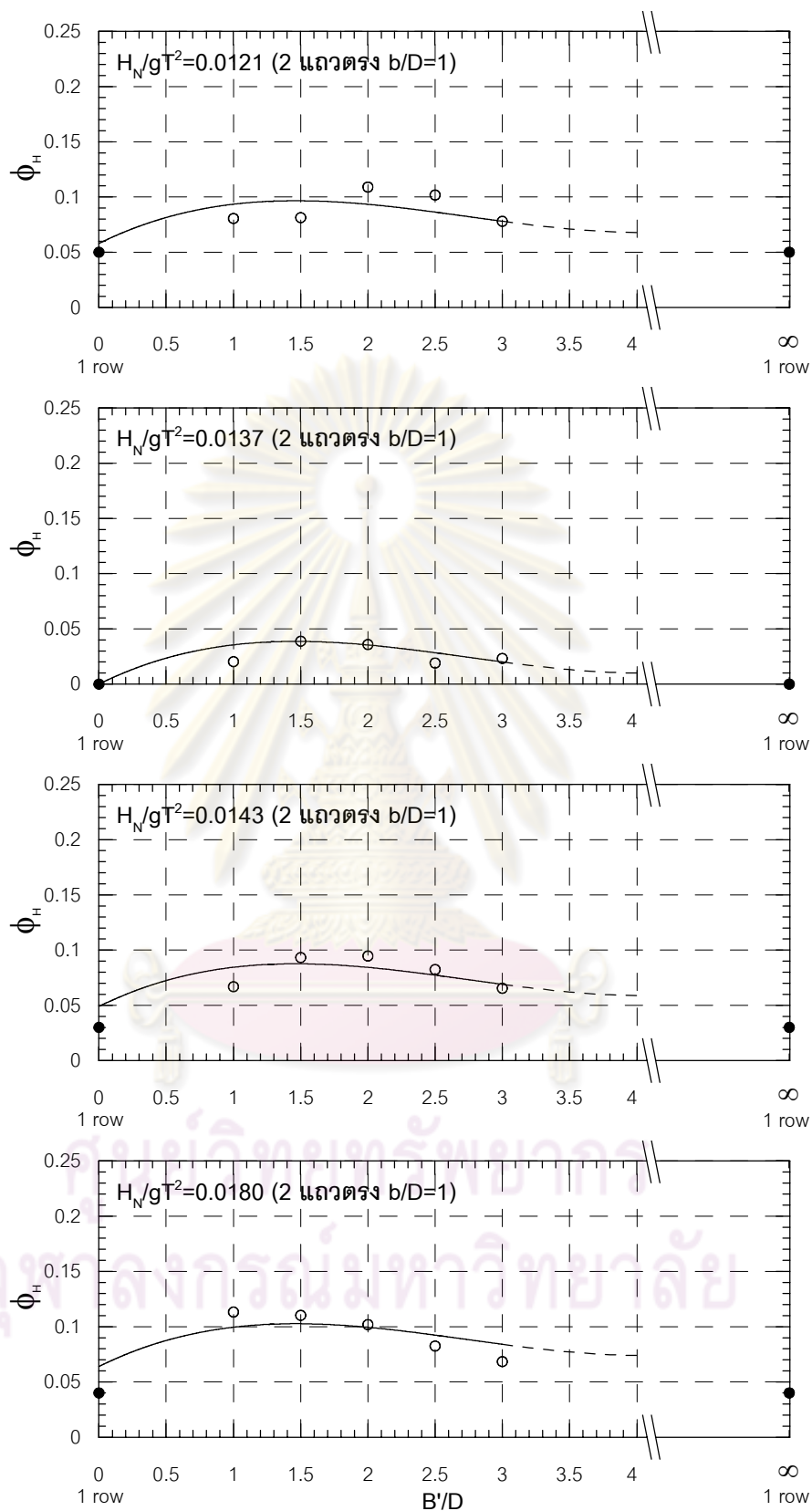


รูปที่ ๑-16 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ) กับระยะทางตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ( $Y/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0180

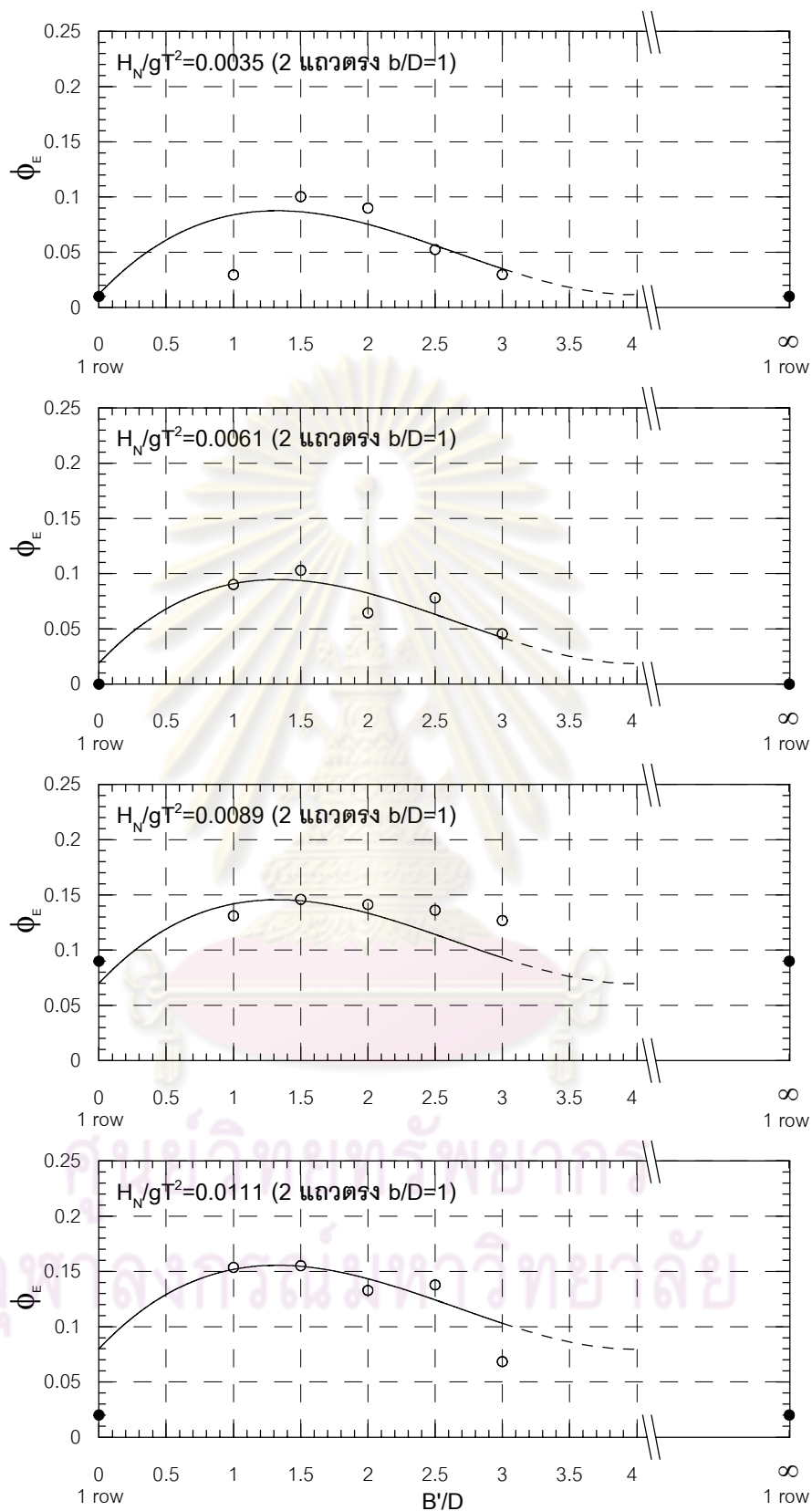




รูปที่ ๑-17 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) ต่อค่า  $\phi_H$  ที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ต่างๆ  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรง

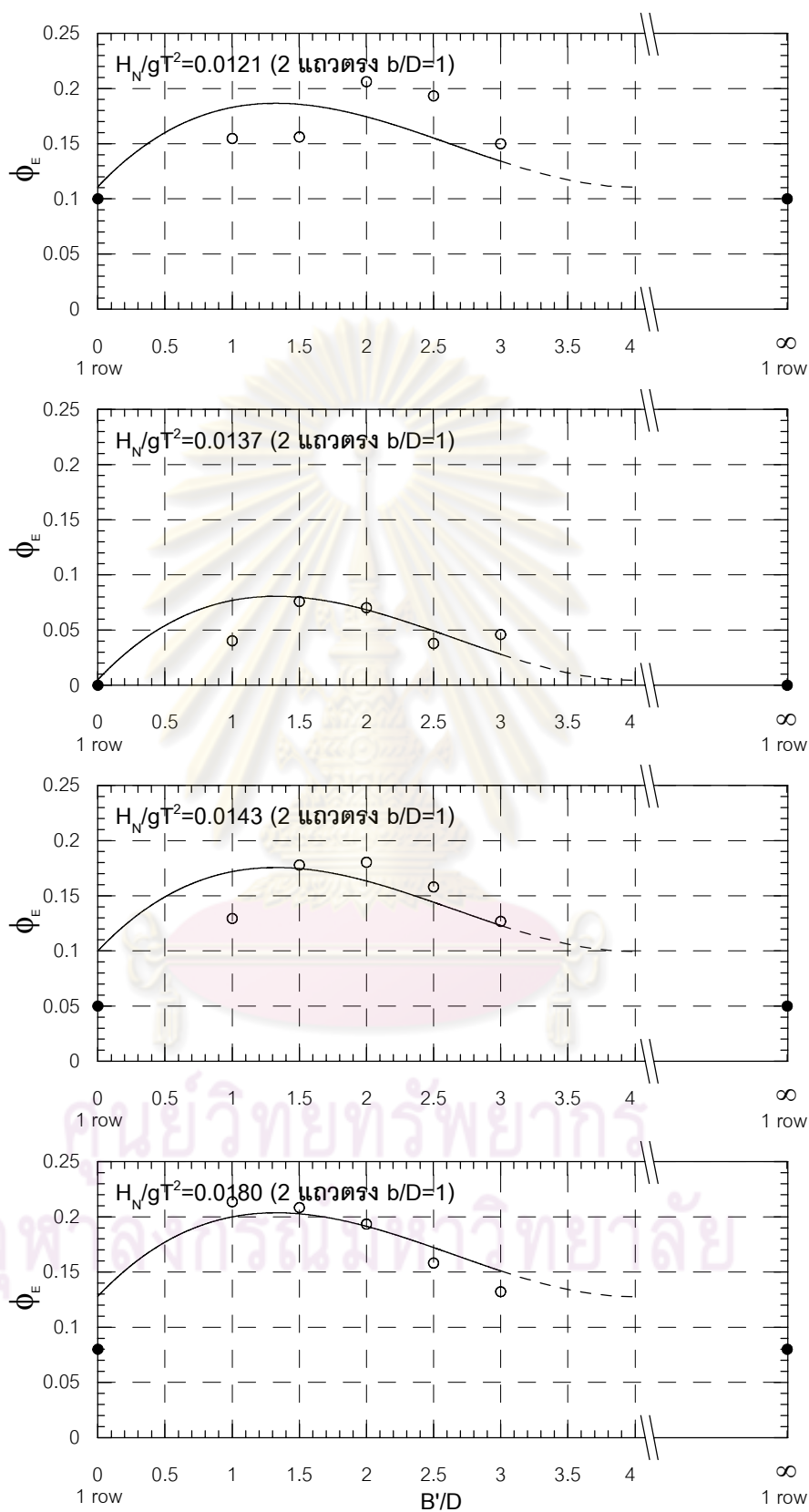


รูปที่ ๑-17 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B'/D$ ) ต่อค่า  $\phi_H$  ที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ต่างๆ  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรง (ต่อ)



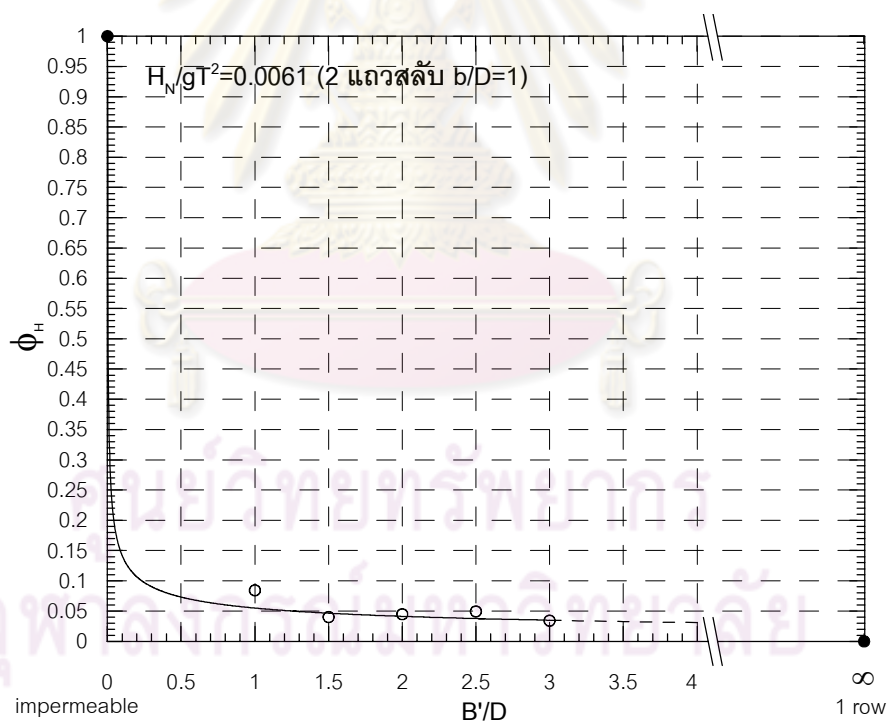
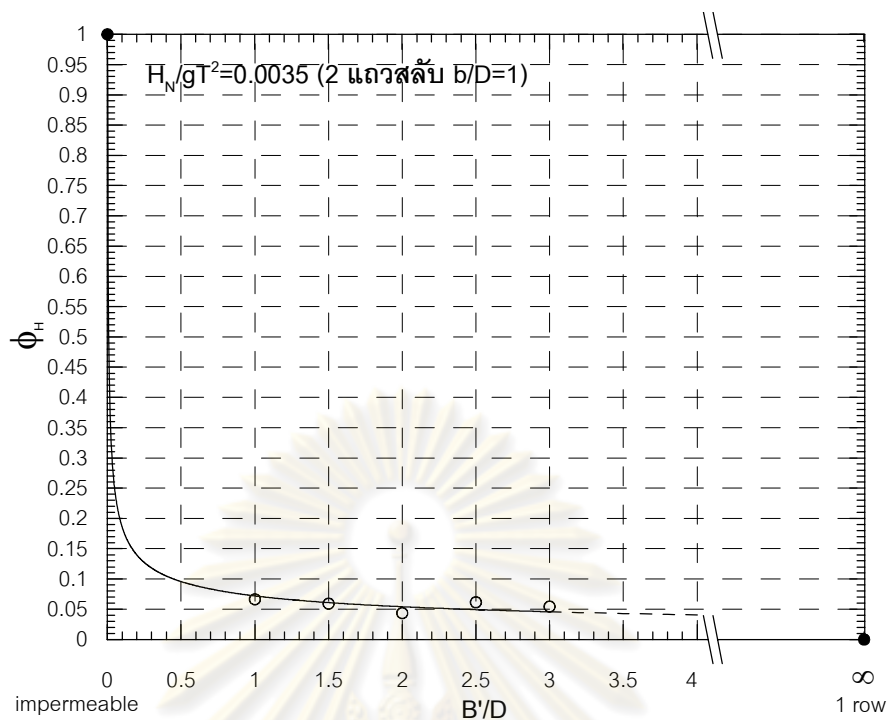
รูปที่ จ-18 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B'/D$ ) ต่อค่า  $\phi_E$  ที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ต่างๆ

กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรง



รูปที่ ๑-18 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) ต่อค่า  $\phi_E$  ที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ต่างๆ

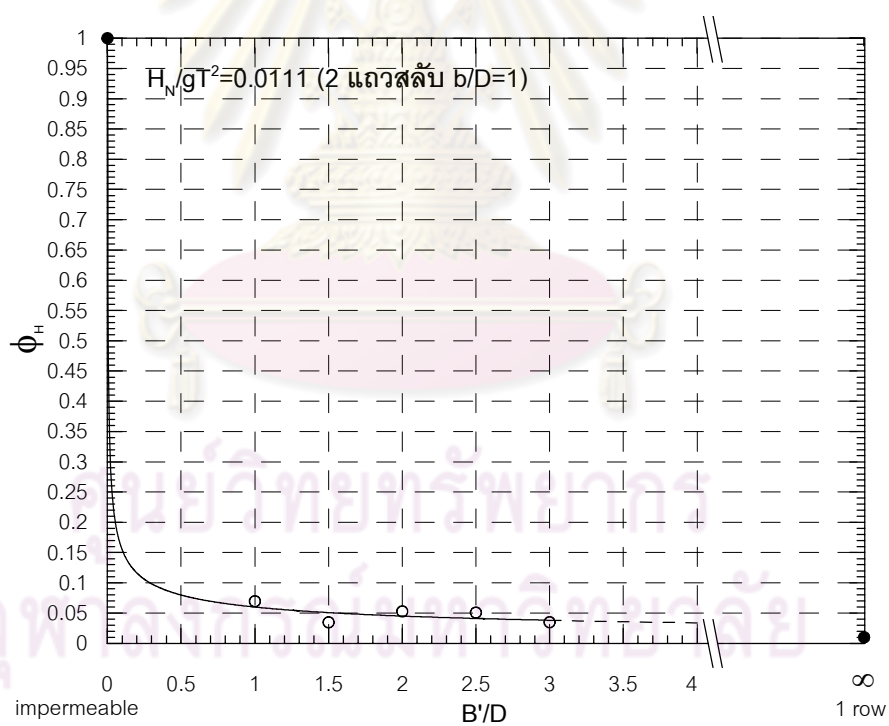
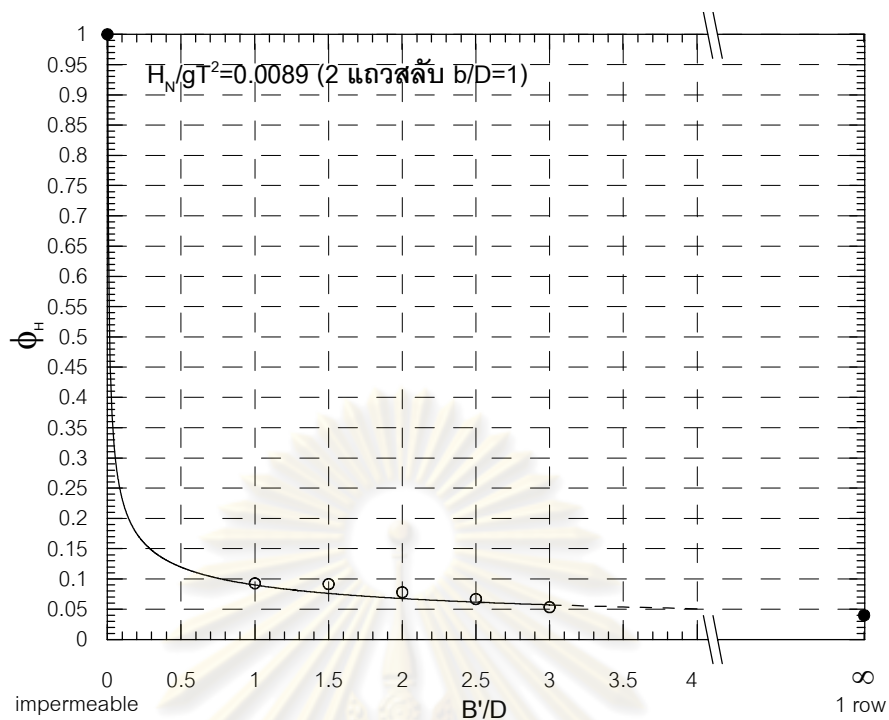
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรง (ต่อ)



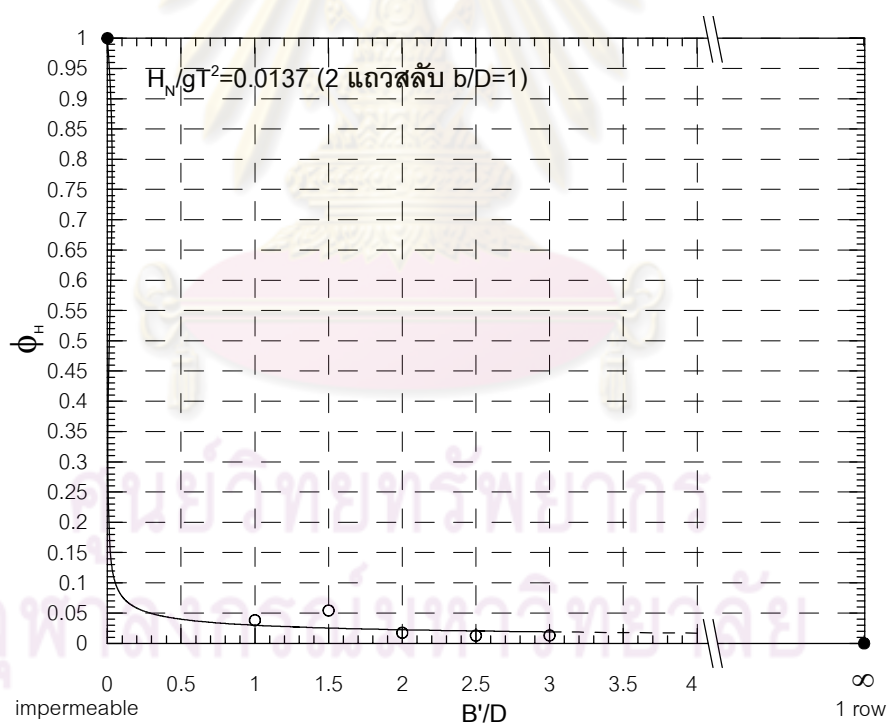
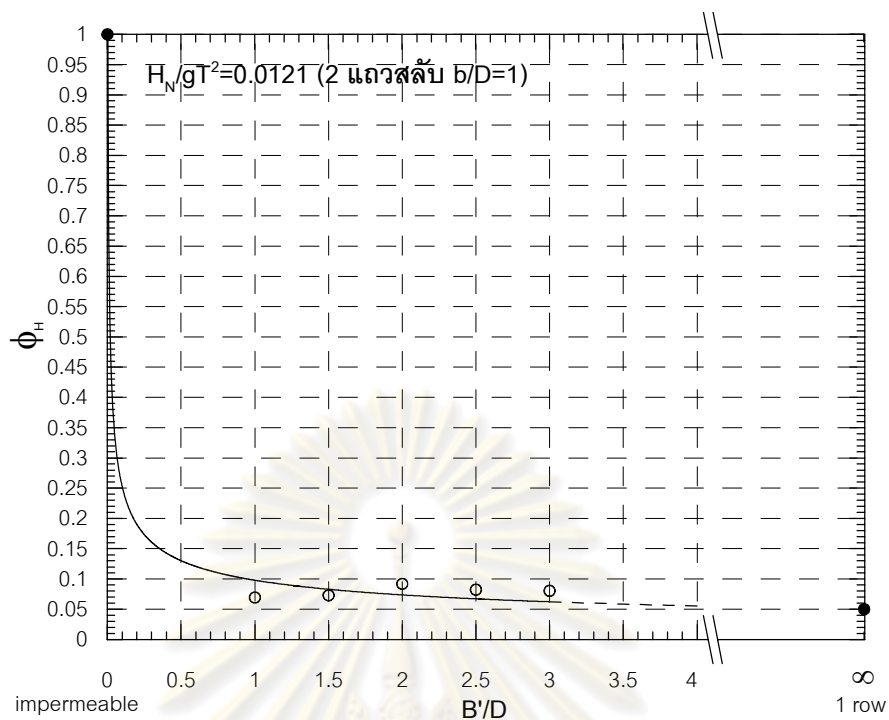
รูปที่ จ-19 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) ต่อค่า  $\phi_H$  ที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ต่างๆ

กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลั บ

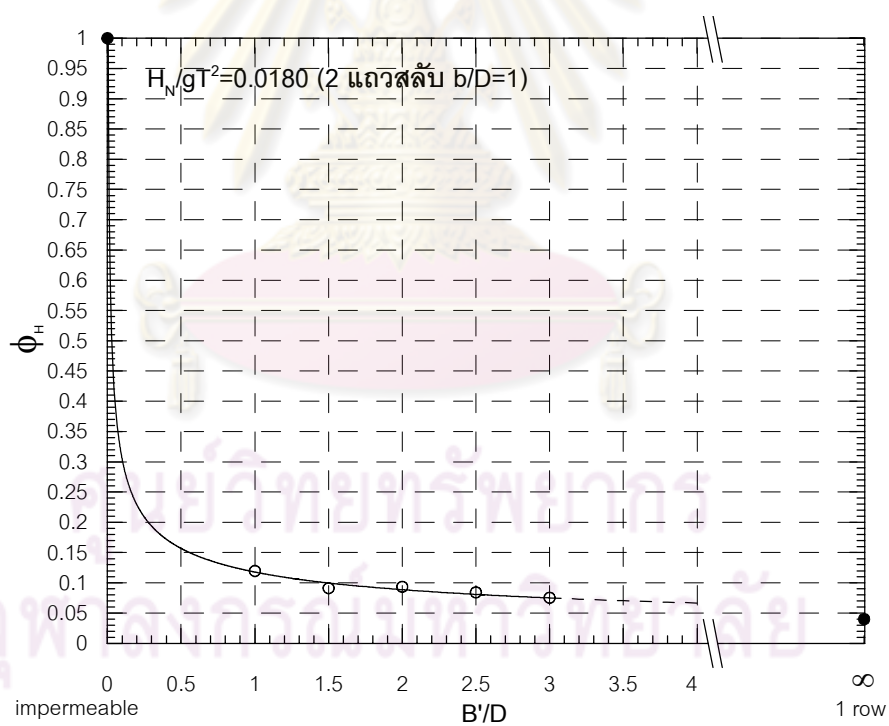
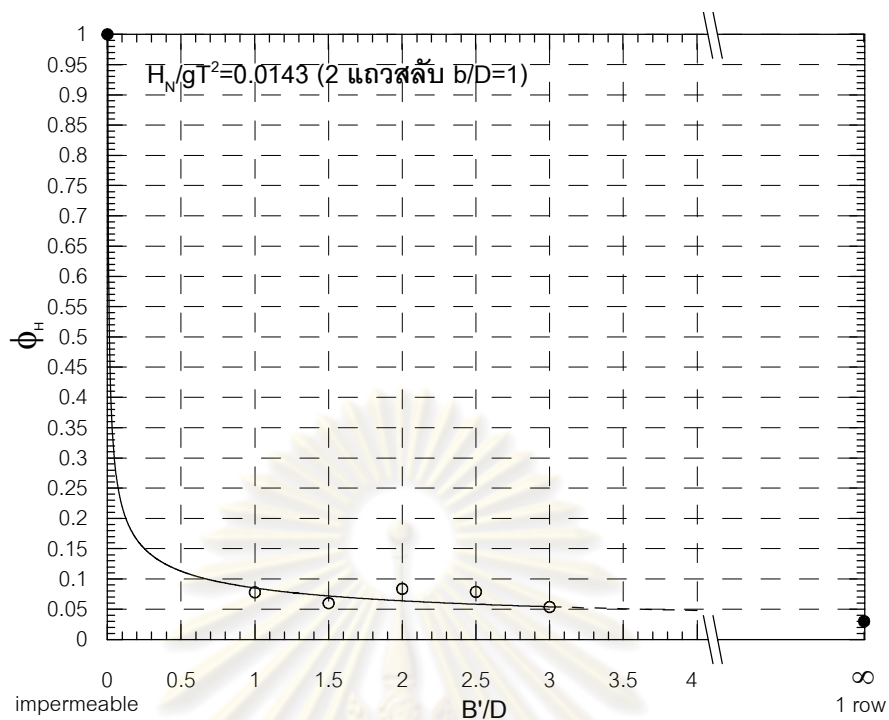




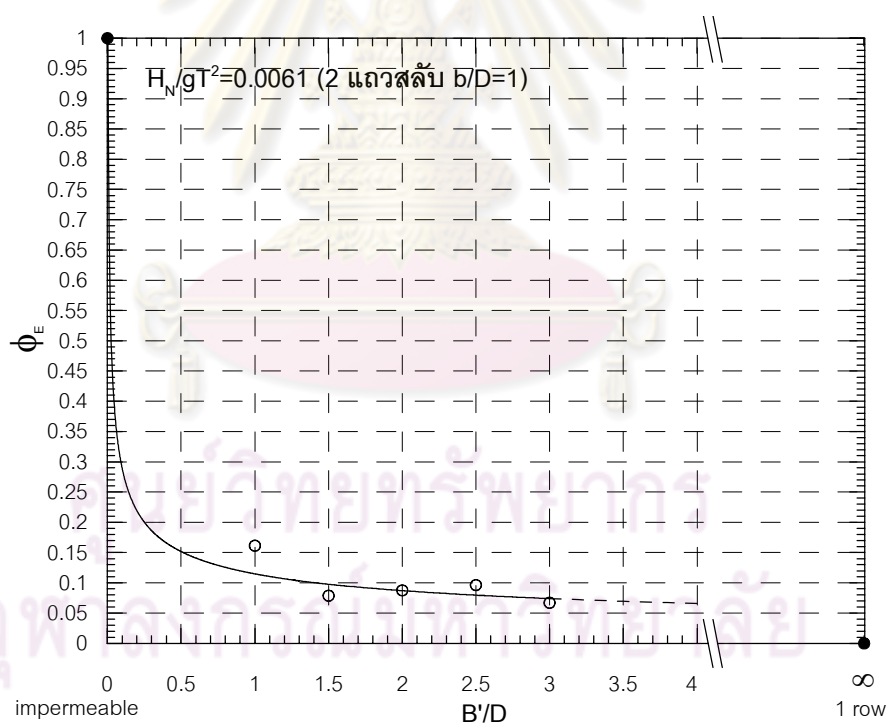
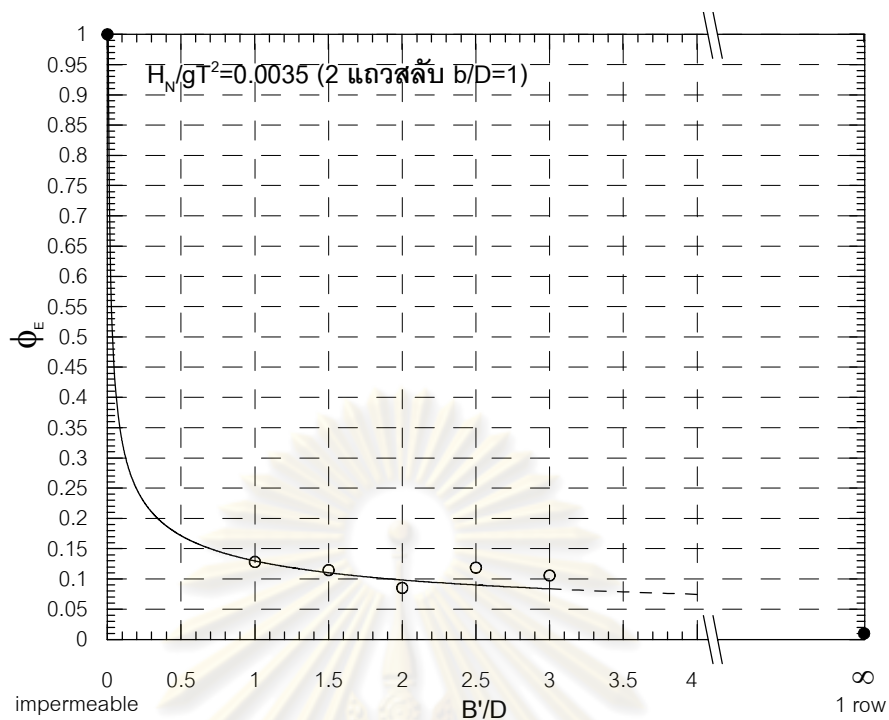
รูปที่ จ-19 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) ต่อค่า  $\phi_H$  ที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ต่างๆ  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับ (ต่อ)



รูปที่ จ-19 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) ต่อค่า  $\phi_H$  ที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ต่างๆ  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลั บ (ต่อ)

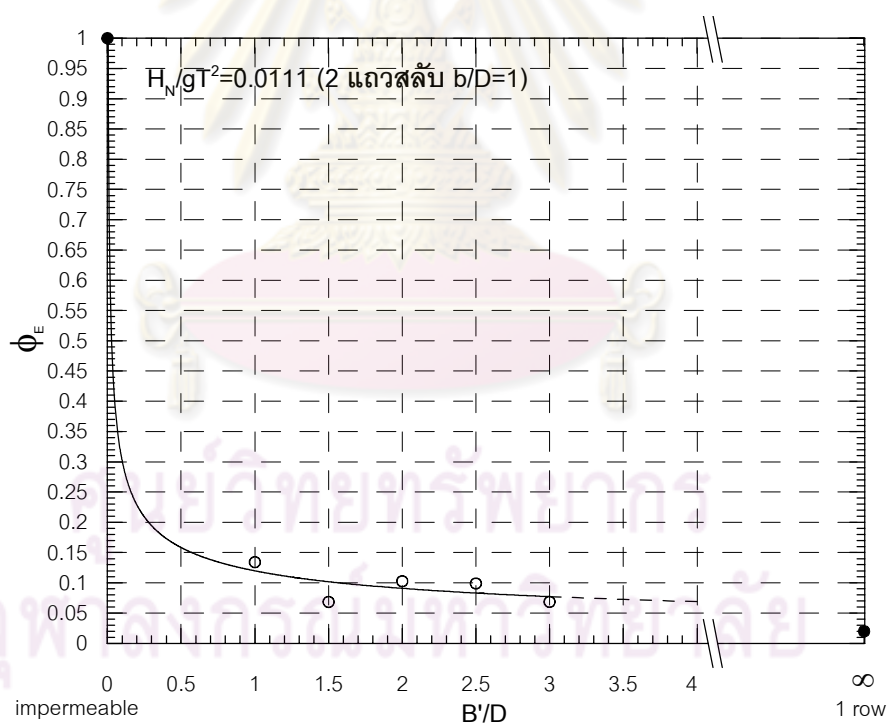
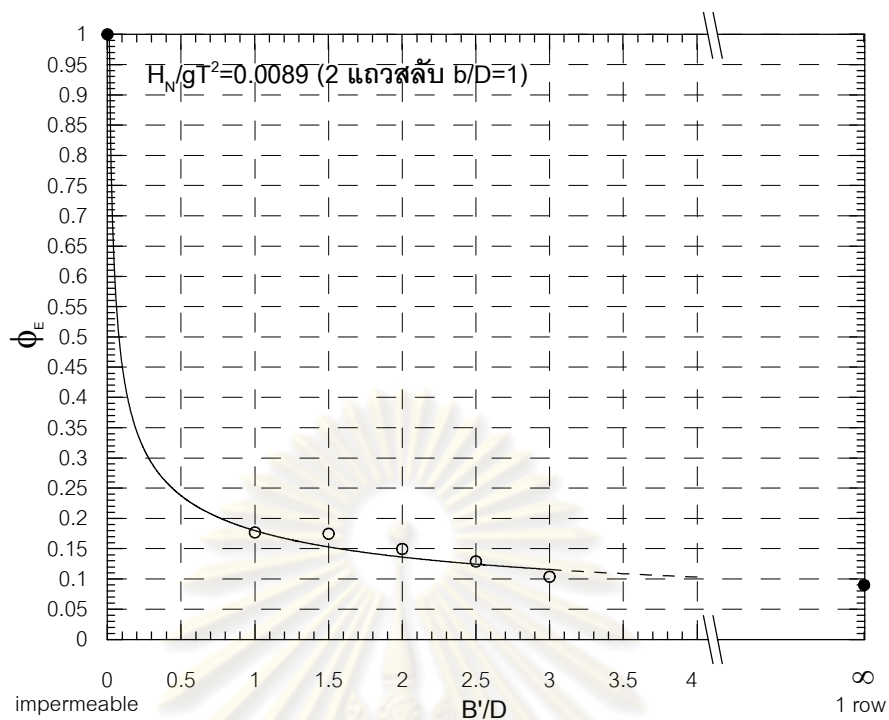


รูปที่ จ-19 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) ต่อค่า  $\phi_H$  ที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ต่างๆ  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลั บ (ต่อ)



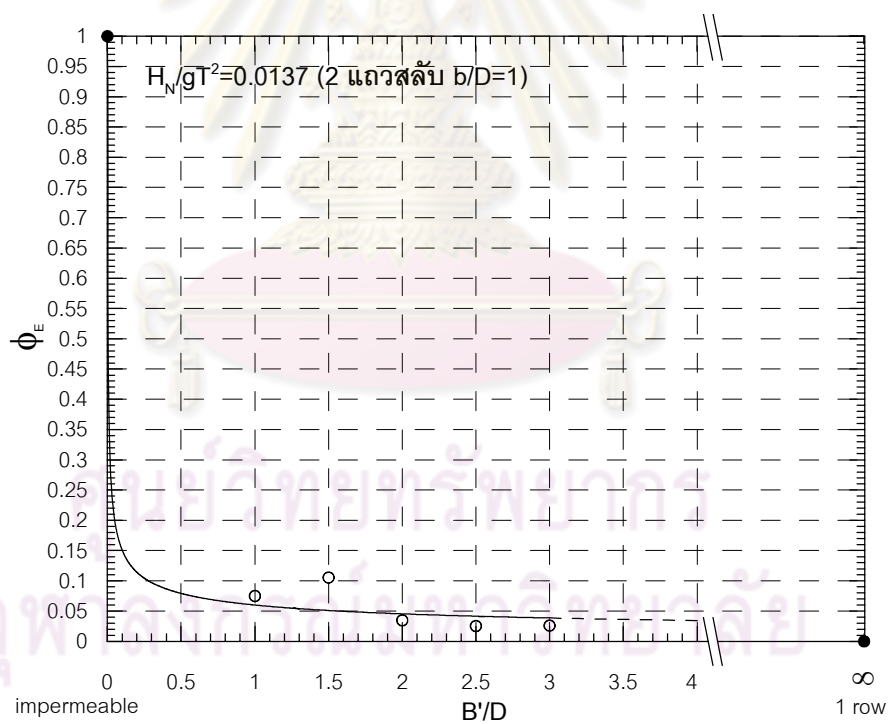
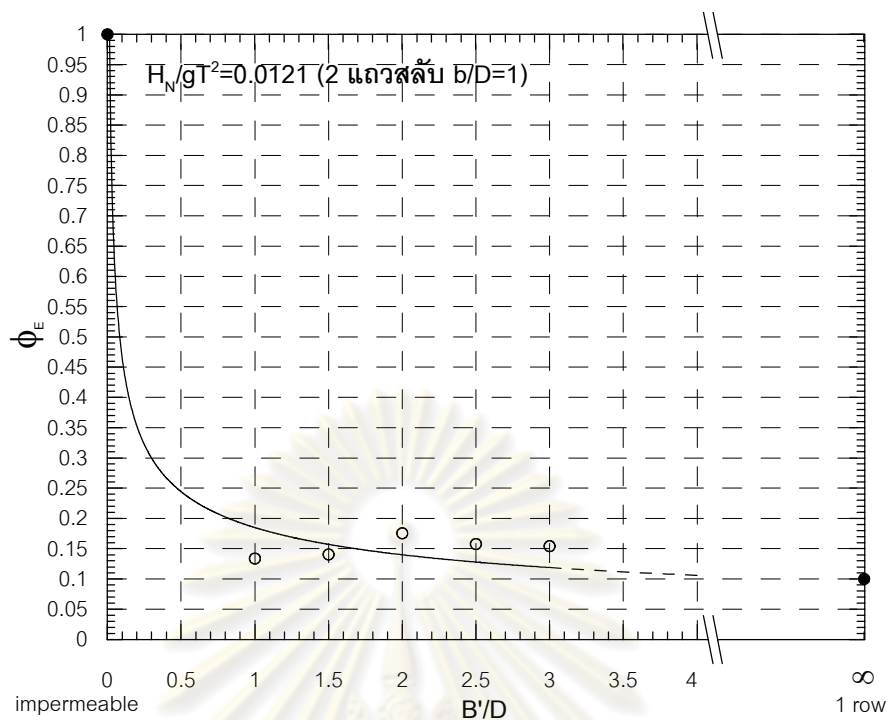
รูปที่ จ-20 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) ต่อค่า  $\phi_E$  ที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ต่างๆ

กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลั บ

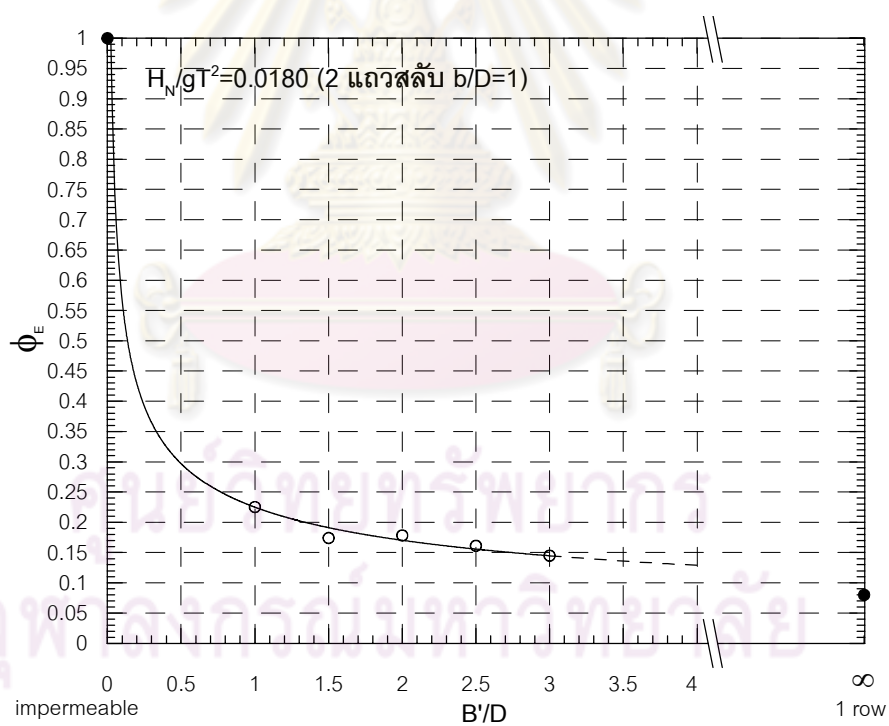
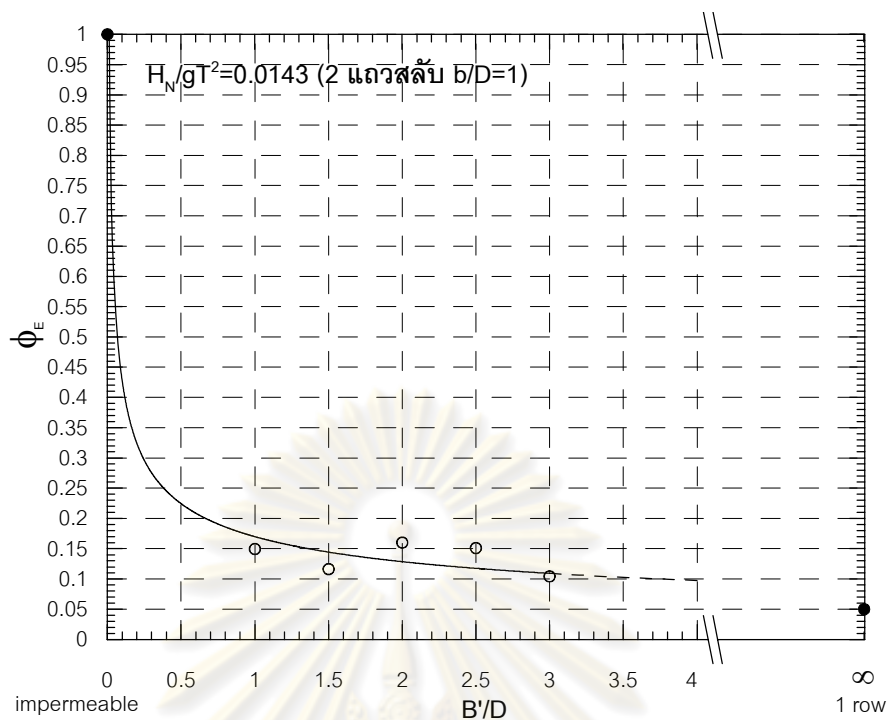


รูปที่ จ-20 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) ต่อค่า  $\phi_E$  ที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ต่างๆ  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลั บ (ต่อ)

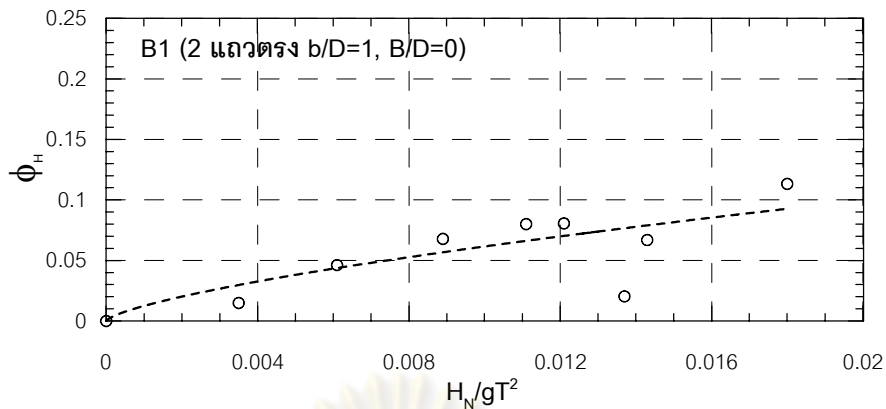




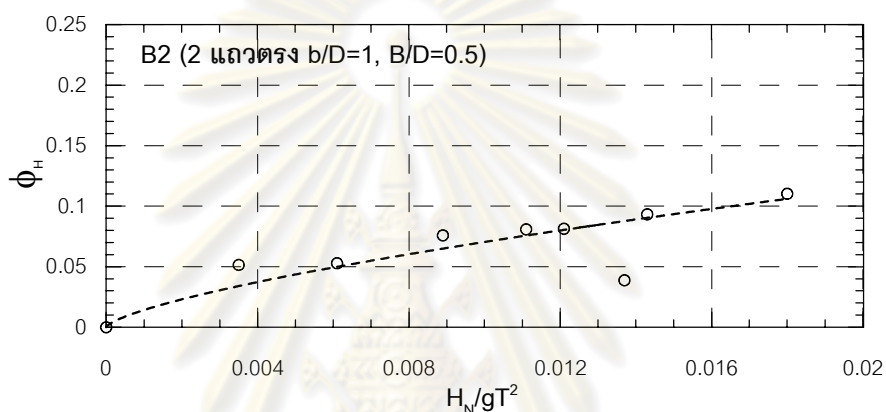
รูปที่ จ-20 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) ต่อค่า  $\phi_E$  ที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ต่างๆ  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลั บ (ต่อ)



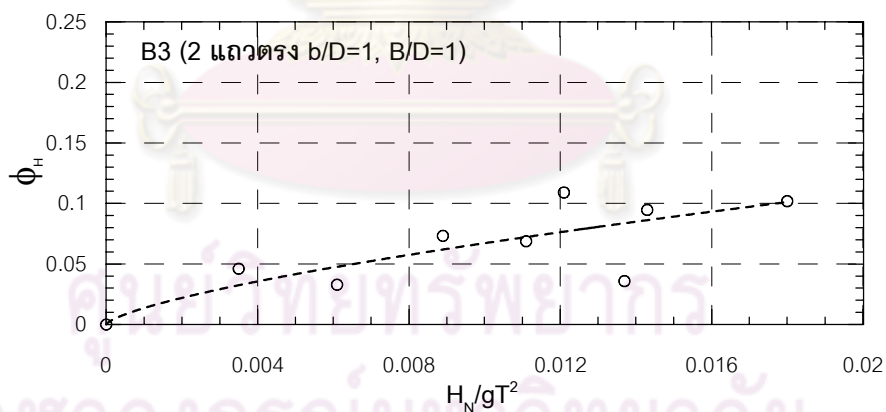
รูปที่ จ-20 ผลของระยะห่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) ต่อค่า  $\phi_E$  ที่ค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) ต่างๆ  
กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลั บ (ต่อ)



ก) กรณีศึกษา B/D เท่ากับ 0

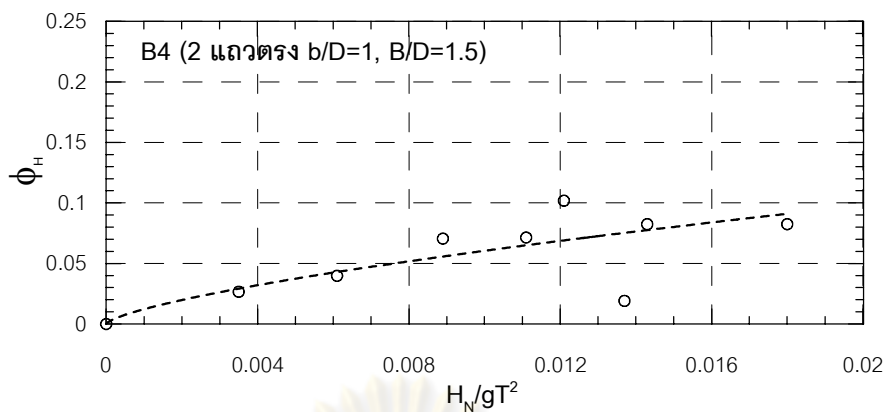
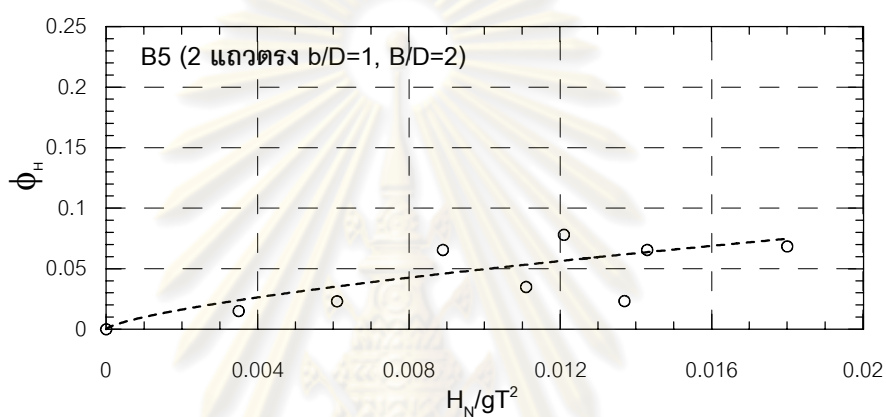


ข) กรณีศึกษา B/D เท่ากับ 0.5



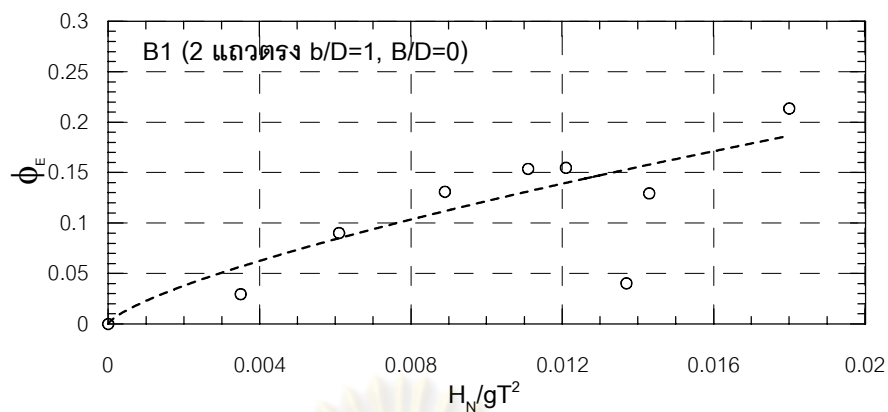
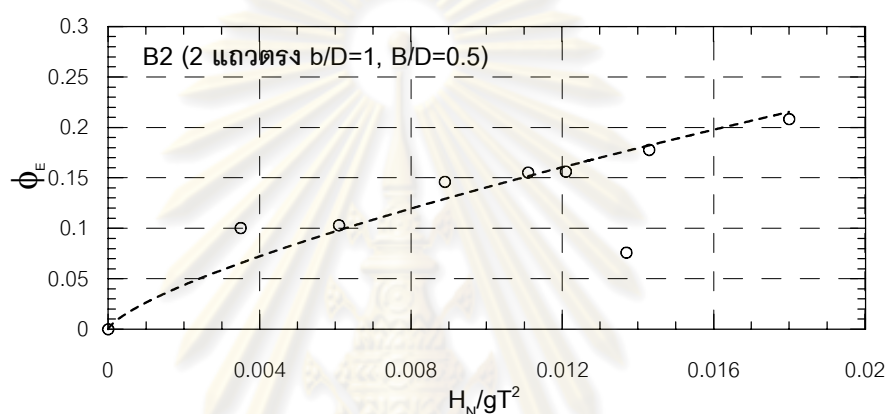
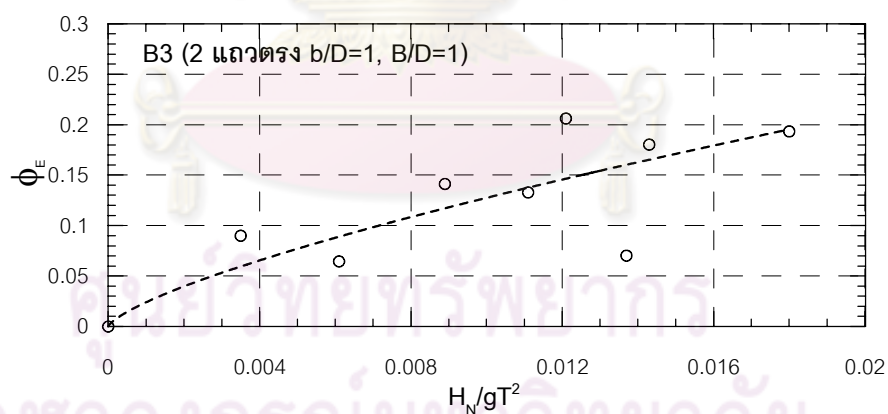
ค) กรณีศึกษา B/D เท่ากับ 1

รูปที่ ๑-21 ความสัมพันธ์ของค่า  $\phi_H$  กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยกกำลัง คงที่ ( $b=0.695$ ) กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรง

ง) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 1.5จ) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 2

รูปที่ จ-21 ความสัมพันธ์ของค่า  $\phi_H$  กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยกกำลัง คงที่ ( $b=0.695$ ) กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรง(ต่อ)

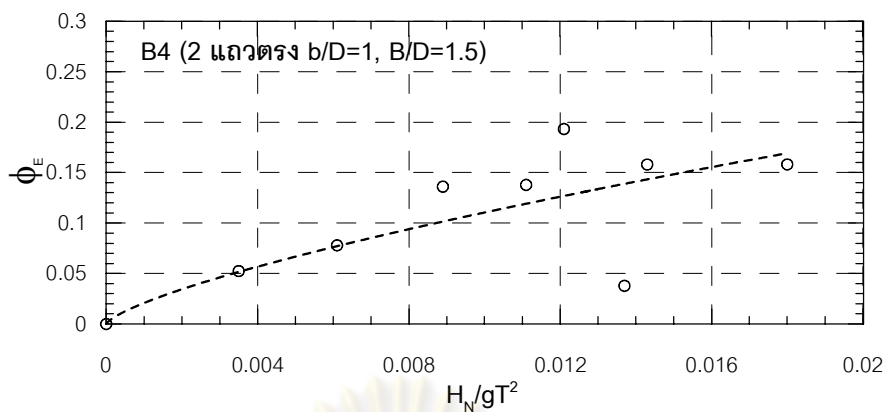
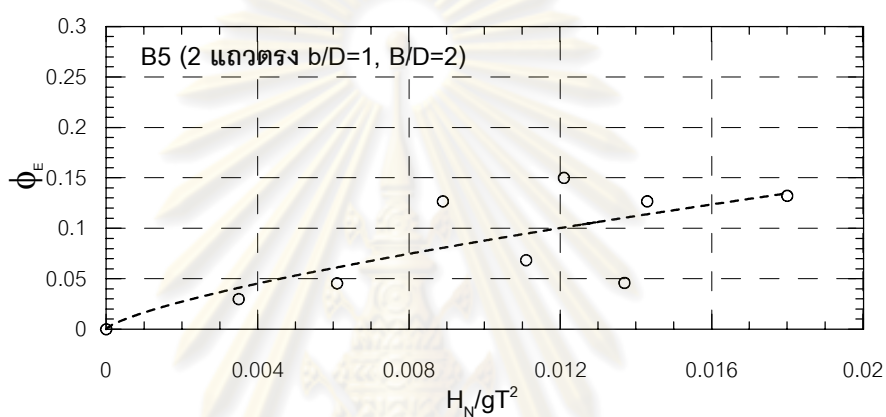
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 0ข) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 0.5ค) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 1

รูปที่ จ-22 ความสัมพันธ์ของค่า  $\phi_E$  กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยกกำลัง คงที่

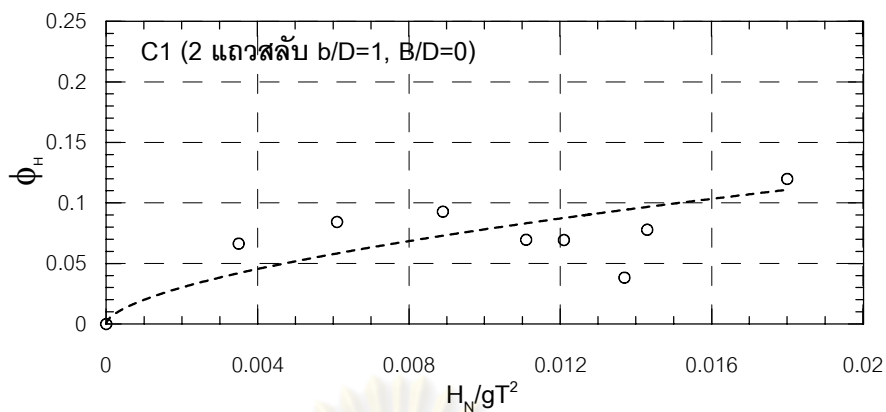
( $b=0.726$ ) กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรง



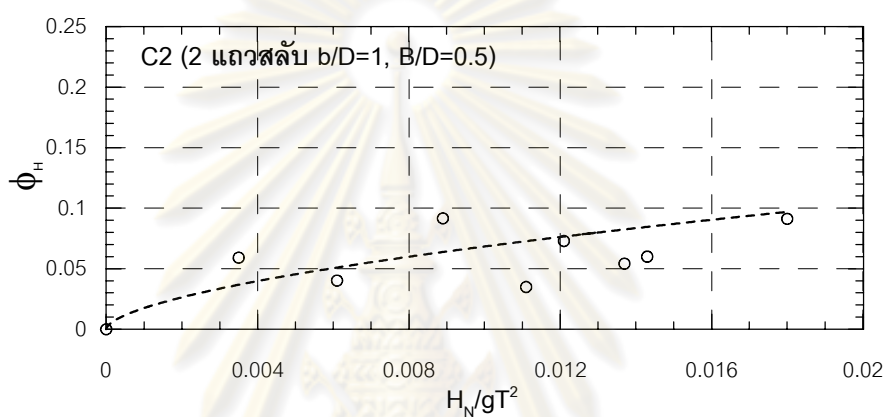
ง) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 1.5จ) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 2

รูปที่ จ-22 ความสัมพันธ์ของค่า  $\phi_E$  กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยกกำลัง คงที่ ( $b=0.726$ ) กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวตรง (ต่อ)

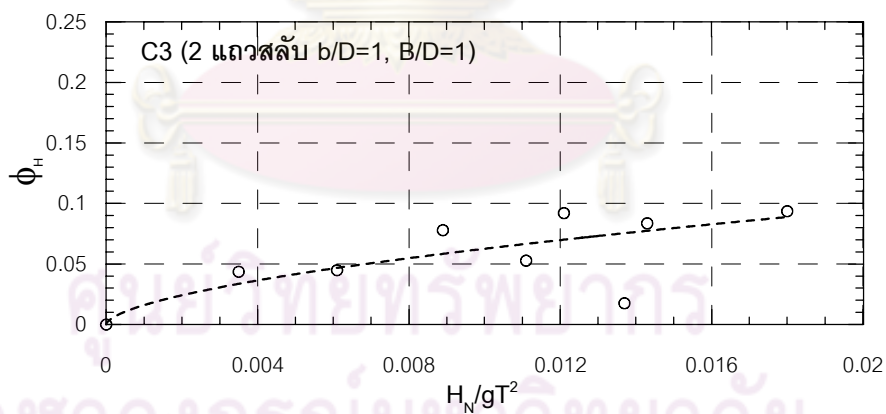
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) กรณีศึกษา B/D เท่ากับ 0



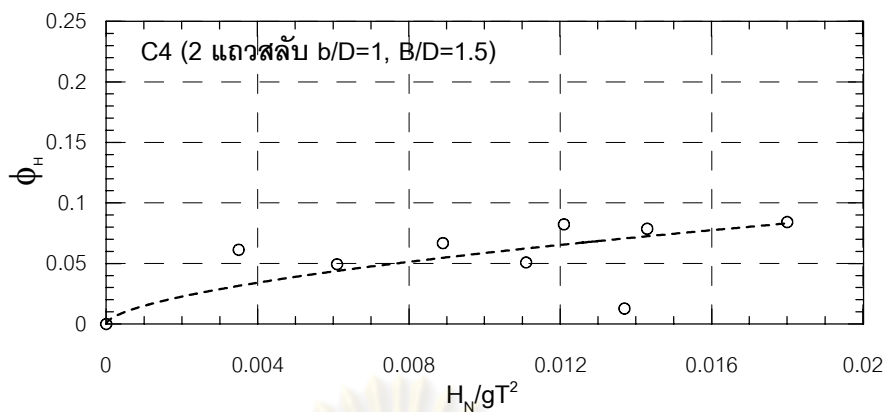
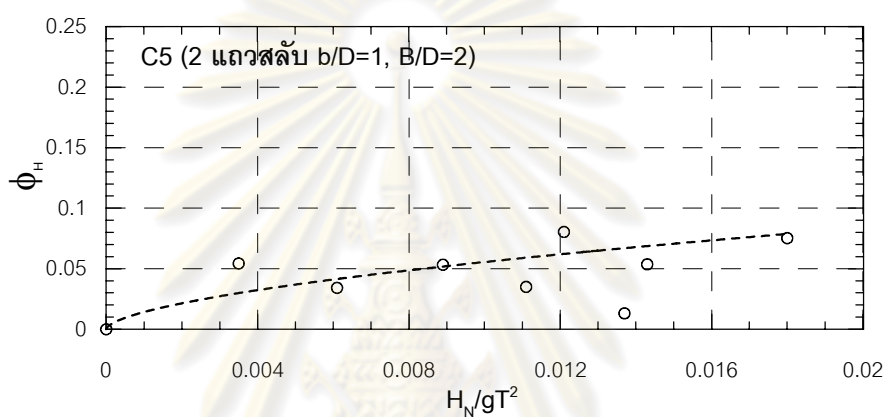
ข) กรณีศึกษา B/D เท่ากับ 0.5



ค) กรณีศึกษา B/D เท่ากับ 1

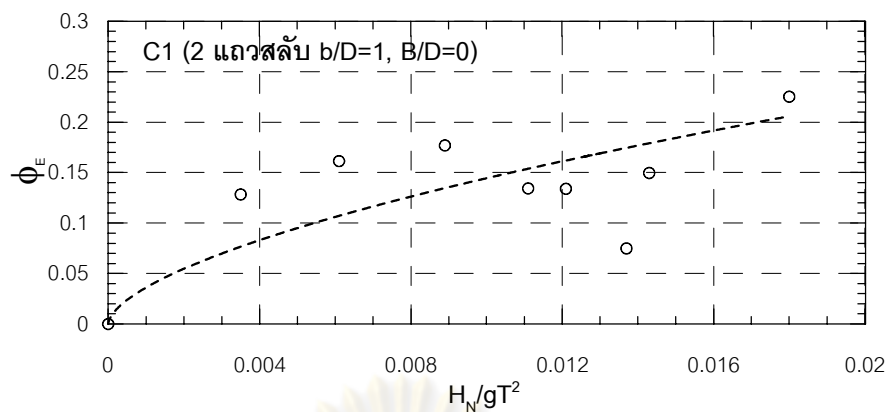
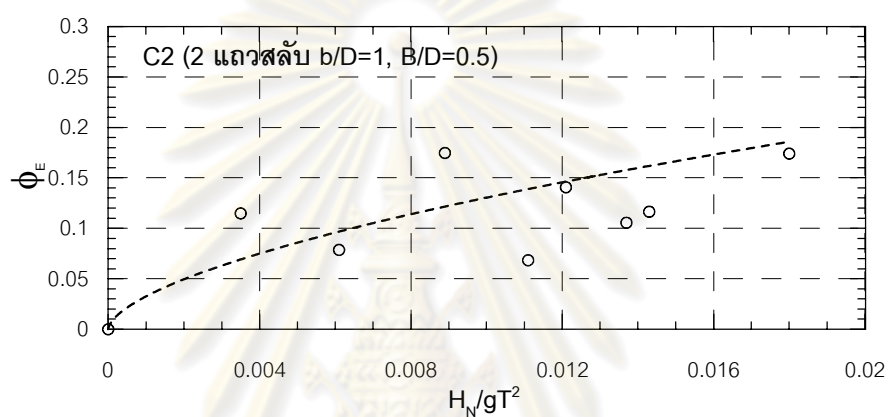
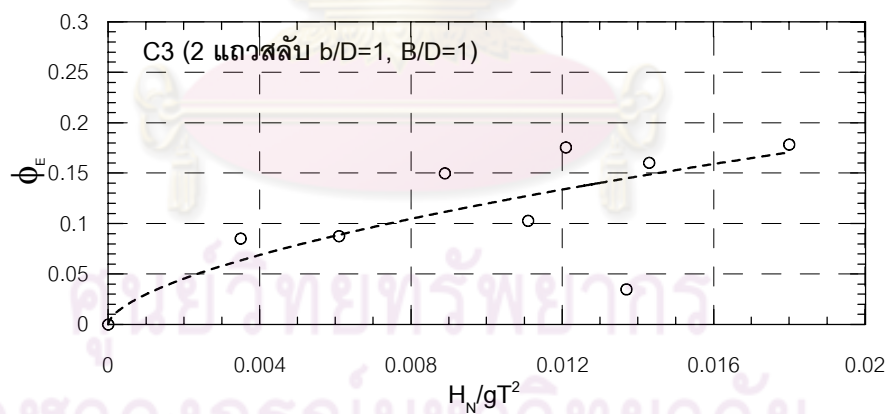
รูปที่ จ-23 ความสัมพันธ์ของค่า  $\phi_H$  กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยกกำลัง คงที่

( $b=0.593$ ) กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับ

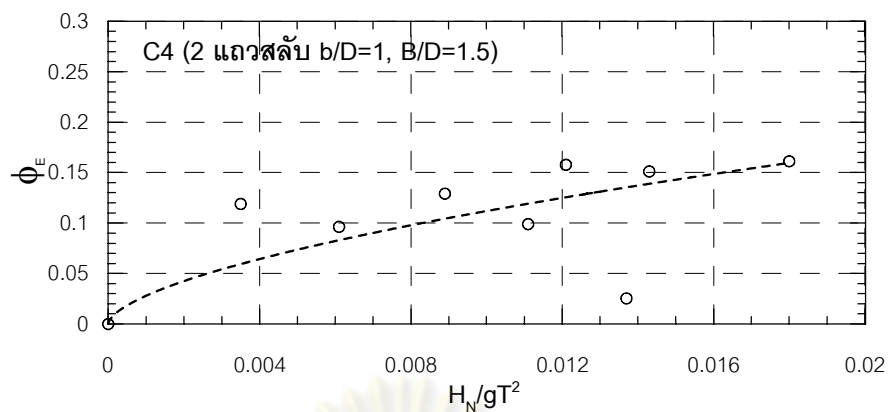
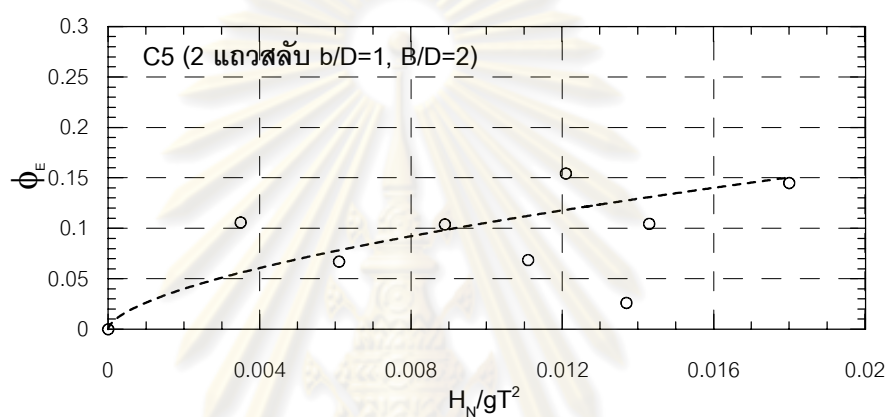
ง) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 1.5จ) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 2

รูปที่ ๑-23 ความสัมพันธ์ของค่า  $\phi_H$  กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยกกำลัง คงที่ ( $b=0.593$ ) กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับ (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 0ข) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 0.5ค) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 1

รูปที่ จ-24 ความสัมพันธ์ของค่า  $\phi_E$  กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยกกำลัง คงที่ ( $b=0.603$ ) กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลัป

ง) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 1.5จ) กรณีศึกษา  $B/D$  เท่ากับ 2

รูปที่ จ-24 ความสัมพันธ์ของค่า  $\phi_E$  กับค่าความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เมื่อกำหนดค่าเลขยกกำลัง คงที่ ( $b=0.603$ ) กรณีจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับ (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก จ  
การศึกษาพื้นที่ด้านหน้าเขื่อนกันคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก จ

### การศึกษาพื้นที่ด้านหน้าเชื่อมกันคลื่น

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นด้านหน้าเชื่อมกันคลื่น ซึ่งไม่ได้กล่าวไว้ในส่วนเนื้อหาของการศึกษานี้ อันเนื่องมาจากวัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้ต้องการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่นบริเวณพื้นที่ด้านหลังเชื่อมกันคลื่นเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นด้านหน้าเชื่อมกันคลื่นก็มีความสำคัญที่ควรจะศึกษา ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นด้านหน้าเชื่อมกันคลื่น แต่ไม่ได้เจาะลึกในส่วนของการวิเคราะห์ การศึกษาได้ทดลองเชื่อมกันคลื่นทั้ง 12 กรณีศึกษา (รูปแบบ A มี 1 กรณี รูปแบบ B มี 5 กรณี รูปแบบ C มี 5 กรณี และรูปแบบ D มี 1 กรณี) โดยใช้ขนาดคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) 5 ขนาด ประกอบด้วย 0.0030 ( $H_N=4.85$  cm,  $T=1.28$  s), 0.0062 ( $H_N=7.12$  cm,  $T=1.08$  s), 0.0110 ( $H_N=9.32$  cm,  $T=0.93$  s), 0.0138 ( $H_N=10.26$  cm,  $T=0.87$  s) และ 0.0164 ( $H_N=10.80$  cm,  $T=0.82$  s) วัดข้อมูลคลื่นด้านหน้าเชื่อมกันคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ในขอบเขตพื้นที่ความกว้างเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวเชื่อมกันคลื่นและความยาวของพื้นที่เท่ากับความยาวของเชื่อมกันคลื่น ขั้นตอนการทดลองเหมือนกับกรณีศึกษาพื้นที่หลังเชื่อมกันคลื่น ผลการทดลองได้แสดงความสูงคลื่นกรณีที่มีเชื่อมกันคลื่น ( $H_F$ ) และความสูงคลื่นกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น ( $H_N$ ) รวมถึงการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างความสูงคลื่นกรณีที่มีเชื่อมกันคลื่นกับความสูงคลื่นกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น ( $K_F$  เท่ากับ  $H_F/H_N$ ) ดังตารางที่ จ-1 ถึง จ-5

เชื่อมกันคลื่นแบบเส้าเข็มทำหน้าที่ป้องกันคลื่นที่จะเข้าสู่พื้นที่หลังเชื่อมกันคลื่นด้วยการสะท้อนและการสูญเสียพลังงานจากตัวเชื่อมกันคลื่น คลื่นที่สะท้อนกลับส่งผลให้ความสูงคลื่นสูงขึ้นในตำแหน่งที่คลื่นเสริมกัน และความสูงคลื่นลดลงในตำแหน่งที่คลื่นหักล้างกัน จากรูปที่ จ-1 ถึง จ-5 เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (อัตราส่วนลดความสูงคลื่นด้านหน้าเชื่อมกันคลื่นเฉลี่ยตามทิศทางขนานกับเชื่อมกันคลื่น,  $\overline{K_{F(XN)}}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น ( $X/L_B$ ) จะพบว่าในบางตำแหน่งความสูงคลื่นสูงขึ้นและบางตำแหน่งความสูงคลื่นลดลงเป็นผลจากคลื่นที่สะท้อนก่อให้เกิดการหักล้างและการเสริมกันของคลื่น และจะเห็นได้ว่าในแต่ละความชันคลื่นตำแหน่งที่สะท้อนจะแตกต่างกันอันเนื่องมาจากการศึกษากรณีความชันคลื่นต่างๆ ได้ใช้คาบเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งคาบเวลาที่มีผลต่อตำแหน่งที่เกิดการเสริมกันและการหักล้างกันของคลื่น

ตารางที่ ๑-1 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0030 (WF1)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A1			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	5.22	5.37	1.03	5.22	5.66	1.08	5.22	5.18	0.99	5.22	5.37	1.03
2	-0.42	0	4.88	4.17	0.86	4.88	4.09	0.84	4.88	3.84	0.79	4.88	4.01	0.82
3	-0.58	0	5.97	6.42	1.08	5.97	6.47	1.08	5.97	6.24	1.05	5.97	6.23	1.04
4	-0.75	0	4.05	4.13	1.02	4.05	4.00	0.99	4.05	3.75	0.93	4.05	4.01	0.99
5	-0.92	0	3.94	3.07	0.78	3.94	3.69	0.94	3.94	3.49	0.89	3.94	3.63	0.92
6	-0.33	0.06	5.22	4.16	0.80	5.22	3.61	0.69	5.22	3.50	0.67	5.22	3.49	0.67
7	-0.50	0.06	4.88	4.56	0.94	4.88	4.96	1.02	4.88	4.75	0.97	4.88	4.95	1.01
8	-0.66	0.06	5.97	6.59	1.10	5.97	6.38	1.07	5.97	6.44	1.08	5.97	6.28	1.05
9	-0.83	0.06	4.05	3.25	0.80	4.05	3.45	0.85	4.05	3.63	0.90	4.05	3.58	0.88
10	-1.00	0.06	3.94	4.01	1.02	3.94	3.73	0.95	3.94	3.78	0.96	3.94	4.05	1.03
11	-0.25	0.13	5.63	5.62	1.00	5.63	5.91	1.05	5.63	5.86	1.04	5.63	5.59	0.99
12	-0.42	0.13	5.20	4.65	0.89	5.20	4.31	0.83	5.20	4.06	0.78	5.20	4.13	0.79
13	-0.58	0.13	5.98	6.55	1.10	5.98	6.56	1.10	5.98	6.38	1.07	5.98	6.60	1.10
14	-0.75	0.13	3.60	3.70	1.03	3.60	3.71	1.03	3.60	3.20	0.89	3.60	3.64	1.01
15	-0.92	0.13	3.98	3.09	0.78	3.98	3.52	0.89	3.98	3.79	0.95	3.98	3.64	0.92
16	-0.33	0.19	5.63	4.82	0.85	5.63	4.18	0.74	5.63	4.07	0.72	5.63	4.26	0.76
17	-0.50	0.19	5.20	4.69	0.90	5.20	5.14	0.99	5.20	5.00	0.96	5.20	5.07	0.97
18	-0.66	0.19	5.98	6.38	1.07	5.98	6.61	1.11	5.98	6.45	1.08	5.98	6.47	1.08
19	-0.83	0.19	3.60	3.08	0.85	3.60	3.14	0.87	3.60	3.02	0.84	3.60	3.17	0.88
20	-1.00	0.19	3.98	4.21	1.06	3.98	3.86	0.97	3.98	3.77	0.95	3.98	3.58	0.90
21	-0.25	0.25	5.22	5.15	0.99	5.22	5.28	1.01	5.22	5.18	0.99	5.22	5.31	1.02
22	-0.42	0.25	4.88	4.59	0.94	4.88	4.18	0.86	4.88	4.20	0.86	4.88	4.62	0.95
23	-0.58	0.25	5.97	6.24	1.05	5.97	6.35	1.06	5.97	6.46	1.08	5.97	6.41	1.07
24	-0.75	0.25	4.05	4.10	1.01	4.05	3.78	0.93	4.05	3.85	0.95	4.05	4.19	1.04
25	-0.92	0.25	3.94	3.30	0.84	3.94	4.00	1.02	3.94	3.86	0.98	3.94	3.94	1.00
26	-0.33	0.31	5.22	4.37	0.84	5.22	4.19	0.80	5.22	3.95	0.76	5.22	3.82	0.73
27	-0.50	0.31	4.88	4.57	0.94	4.88	4.88	1.00	4.88	4.98	1.02	4.88	5.25	1.08
28	-0.66	0.31	5.97	6.28	1.05	5.97	6.04	1.01	5.97	6.05	1.01	5.97	6.05	1.01
29	-0.83	0.31	4.05	3.19	0.79	4.05	3.45	0.85	4.05	3.29	0.81	4.05	3.36	0.83
30	-1.00	0.31	3.94	4.15	1.05	3.94	3.90	0.99	3.94	3.80	0.96	3.94	4.32	1.10
31	-0.25	0.38	5.63	5.50	0.98	5.63	5.48	0.97	5.63	5.50	0.98	5.63	5.71	1.01
32	-0.42	0.38	5.20	4.97	0.96	5.20	4.31	0.83	5.20	4.38	0.84	5.20	4.66	0.90
33	-0.58	0.38	5.98	6.37	1.07	5.98	6.40	1.07	5.98	6.34	1.06	5.98	6.32	1.06
34	-0.75	0.38	3.60	3.56	0.99	3.60	3.70	1.03	3.60	3.66	1.01	3.60	3.85	1.07
35	-0.92	0.38	3.98	3.41	0.86	3.98	4.37	1.10	3.98	4.33	1.09	3.98	4.23	1.06
36	-0.33	0.44	5.63	4.74	0.84	5.63	4.72	0.84	5.63	4.34	0.77	5.63	4.42	0.78
37	-0.50	0.44	5.20	4.76	0.92	5.20	4.98	0.96	5.20	4.87	0.94	5.20	5.00	0.96
38	-0.66	0.44	5.98	6.15	1.03	5.98	5.80	0.97	5.98	5.84	0.98	5.98	5.94	0.99
39	-0.83	0.44	3.60	3.07	0.85	3.60	3.21	0.89	3.60	2.84	0.79	3.60	3.06	0.85
40	-1.00	0.44	3.98	4.28	1.08	3.98	3.79	0.95	3.98	4.19	1.05	3.98	4.17	1.05
41	-0.25	0.5	5.22	4.90	0.94	5.22	5.29	1.01	5.22	4.99	0.96	5.22	4.93	0.94
42	-0.42	0.5	4.88	4.77	0.98	4.88	4.44	0.91	4.88	4.74	0.97	4.88	4.84	0.99
43	-0.58	0.5	5.97	6.04	1.01	5.97	6.31	1.06	5.97	6.23	1.04	5.97	6.21	1.04
44	-0.75	0.5	4.05	3.75	0.93	4.05	3.88	0.96	4.05	3.86	0.95	4.05	3.87	0.96
45	-0.92	0.5	3.94	3.87	0.98	3.94	4.10	1.04	3.94	4.05	1.03	3.94	4.15	1.05

wave period (T) = 1.28 sec

ตารางที่ ๑-1 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0030 (WF1) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	5.22	5.14	0.98	5.22	5.13	0.98	5.22	5.96	1.14	5.22	5.30	1.01
2	-0.42	0	4.88	4.07	0.83	4.88	4.30	0.88	4.88	4.05	0.83	4.88	4.11	0.84
3	-0.58	0	5.97	6.31	1.06	5.97	6.39	1.07	5.97	6.64	1.11	5.97	6.27	1.05
4	-0.75	0	4.05	4.09	1.01	4.05	4.30	1.06	4.05	4.21	1.04	4.05	4.10	1.01
5	-0.92	0	3.94	3.47	0.88	3.94	3.66	0.93	3.94	4.27	1.08	3.94	3.94	1.00
6	-0.33	0.06	5.22	3.51	0.67	5.22	4.05	0.77	5.22	3.34	0.64	5.22	3.46	0.66
7	-0.50	0.06	4.88	4.98	1.02	4.88	5.21	1.07	4.88	5.42	1.11	4.88	4.94	1.01
8	-0.66	0.06	5.97	6.14	1.03	5.97	6.03	1.01	5.97	6.84	1.15	5.97	6.71	1.13
9	-0.83	0.06	4.05	3.46	0.86	4.05	3.66	0.90	4.05	3.37	0.83	4.05	3.64	0.90
10	-1.00	0.06	3.94	4.02	1.02	3.94	3.99	1.01	3.94	4.22	1.07	3.94	3.99	1.01
11	-0.25	0.13	5.63	5.42	0.96	5.63	5.49	0.97	5.63	6.04	1.07	5.63	5.67	1.01
12	-0.42	0.13	5.20	4.11	0.79	5.20	4.32	0.83	5.20	4.38	0.84	5.20	4.09	0.79
13	-0.58	0.13	5.98	6.50	1.09	5.98	6.61	1.11	5.98	6.99	1.17	5.98	6.48	1.08
14	-0.75	0.13	3.60	3.57	0.99	3.60	4.04	1.12	3.60	4.01	1.11	3.60	3.90	1.08
15	-0.92	0.13	3.98	3.60	0.91	3.98	3.49	0.88	3.98	3.05	0.77	3.98	4.00	1.01
16	-0.33	0.19	5.63	4.23	0.75	5.63	4.27	0.76	5.63	3.85	0.68	5.63	4.03	0.71
17	-0.50	0.19	5.20	4.87	0.94	5.20	5.16	0.99	5.20	5.24	1.01	5.20	5.15	0.99
18	-0.66	0.19	5.98	6.53	1.09	5.98	6.51	1.09	5.98	6.93	1.16	5.98	6.72	1.12
19	-0.83	0.19	3.60	3.17	0.88	3.60	3.65	1.01	3.60	3.38	0.94	3.60	3.24	0.90
20	-1.00	0.19	3.98	3.65	0.92	3.98	3.80	0.95	3.98	4.14	1.04	3.98	3.60	0.90
21	-0.25	0.25	5.22	5.08	0.97	5.22	4.91	0.94	5.22	5.41	1.04	5.22	5.39	1.03
22	-0.42	0.25	4.88	4.45	0.91	4.88	4.57	0.94	4.88	4.49	0.92	4.88	4.53	0.93
23	-0.58	0.25	5.97	6.19	1.04	5.97	6.24	1.05	5.97	6.56	1.10	5.97	6.59	1.10
24	-0.75	0.25	4.05	4.18	1.03	4.05	4.38	1.08	4.05	4.13	1.02	4.05	4.27	1.05
25	-0.92	0.25	3.94	3.75	0.95	3.94	4.08	1.04	3.94	4.36	1.11	3.94	4.13	1.05
26	-0.33	0.31	5.22	3.77	0.72	5.22	4.07	0.78	5.22	3.89	0.74	5.22	3.80	0.73
27	-0.50	0.31	4.88	5.26	1.08	4.88	5.32	1.09	4.88	4.81	0.99	4.88	5.09	1.04
28	-0.66	0.31	5.97	5.84	0.98	5.97	5.94	0.99	5.97	6.53	1.09	5.97	6.33	1.06
29	-0.83	0.31	4.05	3.39	0.84	4.05	4.12	1.02	4.05	3.07	0.76	4.05	3.62	0.90
30	-1.00	0.31	3.94	4.27	1.08	3.94	3.87	0.98	3.94	4.18	1.06	3.94	4.03	1.02
31	-0.25	0.38	5.63	5.34	0.95	5.63	5.13	0.91	5.63	5.39	0.96	5.63	5.58	0.99
32	-0.42	0.38	5.20	4.71	0.91	5.20	4.84	0.93	5.20	4.36	0.84	5.20	4.55	0.87
33	-0.58	0.38	5.98	6.26	1.05	5.98	6.22	1.04	5.98	6.60	1.10	5.98	6.56	1.10
34	-0.75	0.38	3.60	3.65	1.01	3.60	3.63	1.01	3.60	3.89	1.08	3.60	3.89	1.08
35	-0.92	0.38	3.98	3.99	1.00	3.98	3.96	1.00	3.98	4.51	1.13	3.98	4.55	1.14
36	-0.33	0.44	5.63	4.41	0.78	5.63	4.55	0.81	5.63	4.20	0.75	5.63	4.22	0.75
37	-0.50	0.44	5.20	5.12	0.98	5.20	5.23	1.01	5.20	4.83	0.93	5.20	5.07	0.98
38	-0.66	0.44	5.98	5.90	0.99	5.98	6.01	1.01	5.98	6.16	1.03	5.98	6.14	1.03
39	-0.83	0.44	3.60	3.13	0.87	3.60	3.42	0.95	3.60	3.09	0.86	3.60	3.13	0.87
40	-1.00	0.44	3.98	4.39	1.10	3.98	4.04	1.01	3.98	3.78	0.95	3.98	4.13	1.04
41	-0.25	0.5	5.22	4.83	0.93	5.22	4.83	0.92	5.22	5.27	1.01	5.22	5.46	1.04
42	-0.42	0.5	4.88	4.82	0.99	4.88	5.15	1.06	4.88	4.99	1.02	4.88	5.11	1.05
43	-0.58	0.5	5.97	6.21	1.04	5.97	6.08	1.02	5.97	6.29	1.05	5.97	6.50	1.09
44	-0.75	0.5	4.05	3.76	0.93	4.05	4.25	1.05	4.05	4.00	0.99	4.05	4.38	1.08
45	-0.92	0.5	3.94	4.24	1.08	3.94	4.41	1.12	3.94	4.57	1.16	3.94	4.05	1.03

wave period (T) = 1.28 sec

ตารางที่ ๑-1 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0030 (WF1) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D1		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	5.22	5.22	1.00	5.22	5.20	0.99	5.22	4.99	0.96	5.22	4.91	0.94
2	-0.42	0	4.88	3.94	0.81	4.88	3.98	0.82	4.88	4.20	0.86	4.88	4.57	0.94
3	-0.58	0	5.97	6.27	1.05	5.97	6.39	1.07	5.97	6.44	1.08	5.97	6.34	1.06
4	-0.75	0	4.05	3.97	0.98	4.05	4.28	1.06	4.05	4.26	1.05	4.05	3.84	0.95
5	-0.92	0	3.94	3.62	0.92	3.94	3.62	0.92	3.94	3.89	0.99	3.94	4.40	1.12
6	-0.33	0.06	5.22	3.60	0.69	5.22	3.58	0.69	5.22	3.68	0.70	5.22	3.86	0.74
7	-0.50	0.06	4.88	5.12	1.05	4.88	5.13	1.05	4.88	4.91	1.01	4.88	4.77	0.98
8	-0.66	0.06	5.97	6.74	1.13	5.97	6.37	1.07	5.97	5.99	1.00	5.97	6.35	1.06
9	-0.83	0.06	4.05	3.82	0.94	4.05	3.35	0.83	4.05	3.87	0.96	4.05	3.38	0.84
10	-1.00	0.06	3.94	3.81	0.97	3.94	4.00	1.02	3.94	4.37	1.11	3.94	4.37	1.11
11	-0.25	0.13	5.63	5.63	1.00	5.63	5.60	0.99	5.63	5.47	0.97	5.63	5.43	0.96
12	-0.42	0.13	5.20	4.14	0.80	5.20	4.23	0.81	5.20	4.36	0.84	5.20	4.29	0.83
13	-0.58	0.13	5.98	6.63	1.11	5.98	6.60	1.10	5.98	6.56	1.10	5.98	6.71	1.12
14	-0.75	0.13	3.60	3.76	1.04	3.60	3.74	1.04	3.60	3.97	1.10	3.60	3.90	1.08
15	-0.92	0.13	3.98	3.51	0.88	3.98	3.69	0.93	3.98	3.59	0.90	3.98	4.58	1.15
16	-0.33	0.19	5.63	4.16	0.74	5.63	4.30	0.76	5.63	4.19	0.74	5.63	4.33	0.77
17	-0.50	0.19	5.20	5.07	0.98	5.20	5.07	0.98	5.20	4.94	0.95	5.20	4.84	0.93
18	-0.66	0.19	5.98	6.69	1.12	5.98	6.52	1.09	5.98	6.32	1.06	5.98	6.52	1.09
19	-0.83	0.19	3.60	2.83	0.78	3.60	3.01	0.84	3.60	3.56	0.99	3.60	3.28	0.91
20	-1.00	0.19	3.98	3.95	0.99	3.98	3.91	0.98	3.98	3.74	0.94	3.98	4.19	1.05
21	-0.25	0.25	5.22	4.97	0.95	5.22	4.93	0.94	5.22	4.98	0.95	5.22	4.76	0.91
22	-0.42	0.25	4.88	4.42	0.91	4.88	4.48	0.92	4.88	4.57	0.94	4.88	4.59	0.94
23	-0.58	0.25	5.97	6.38	1.07	5.97	6.30	1.06	5.97	6.30	1.06	5.97	6.09	1.02
24	-0.75	0.25	4.05	4.00	0.99	4.05	4.43	1.09	4.05	4.31	1.07	4.05	3.92	0.97
25	-0.92	0.25	3.94	4.04	1.02	3.94	4.00	1.02	3.94	3.86	0.98	3.94	4.73	1.20
26	-0.33	0.31	5.22	3.70	0.71	5.22	3.90	0.75	5.22	4.07	0.78	5.22	4.31	0.82
27	-0.50	0.31	4.88	5.09	1.04	4.88	5.07	1.04	4.88	5.13	1.05	4.88	4.83	0.99
28	-0.66	0.31	5.97	6.23	1.04	5.97	6.15	1.03	5.97	6.01	1.01	5.97	5.98	1.00
29	-0.83	0.31	4.05	3.30	0.81	4.05	3.38	0.84	4.05	3.37	0.83	4.05	3.80	0.94
30	-1.00	0.31	3.94	4.13	1.05	3.94	4.19	1.06	3.94	4.38	1.11	3.94	4.30	1.09
31	-0.25	0.38	5.63	5.33	0.95	5.63	5.42	0.96	5.63	5.13	0.91	5.63	5.19	0.92
32	-0.42	0.38	5.20	4.39	0.84	5.20	4.73	0.91	5.20	4.72	0.91	5.20	4.54	0.87
33	-0.58	0.38	5.98	6.40	1.07	5.98	6.48	1.08	5.98	6.34	1.06	5.98	6.35	1.06
34	-0.75	0.38	3.60	3.62	1.00	3.60	3.73	1.03	3.60	3.55	0.98	3.60	3.81	1.06
35	-0.92	0.38	3.98	4.23	1.06	3.98	4.44	1.12	3.98	4.26	1.07	3.98	4.77	1.20
36	-0.33	0.44	5.63	4.20	0.75	5.63	4.36	0.77	5.63	4.34	0.77	5.63	4.45	0.79
37	-0.50	0.44	5.20	5.14	0.99	5.20	5.05	0.97	5.20	5.10	0.98	5.20	5.05	0.97
38	-0.66	0.44	5.98	5.91	0.99	5.98	6.03	1.01	5.98	5.90	0.99	5.98	5.91	0.99
39	-0.83	0.44	3.60	3.03	0.84	3.60	3.24	0.90	3.60	3.34	0.93	3.60	3.46	0.96
40	-1.00	0.44	3.98	4.17	1.05	3.98	4.14	1.04	3.98	4.49	1.13	3.98	4.34	1.09
41	-0.25	0.5	5.22	5.29	1.01	5.22	4.92	0.94	5.22	4.76	0.91	5.22	4.90	0.94
42	-0.42	0.5	4.88	4.95	1.01	4.88	4.76	0.98	4.88	5.04	1.03	4.88	4.79	0.98
43	-0.58	0.5	5.97	6.38	1.07	5.97	6.47	1.08	5.97	6.24	1.05	5.97	6.11	1.02
44	-0.75	0.5	4.05	4.16	1.03	4.05	4.12	1.02	4.05	4.07	1.01	4.05	4.09	1.01
45	-0.92	0.5	3.94	4.12	1.05	3.94	4.16	1.06	3.94	4.24	1.08	3.94	4.22	1.07

wave period (T) = 1.28 sec



ตารางที่ ๑-2 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0062 (WF2)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A1			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	6.77	7.13	1.05	6.77	5.79	0.85	6.77	5.43	0.80	6.77	5.62	0.83
2	-0.42	0	7.15	8.10	1.13	7.15	8.20	1.15	7.15	7.99	1.12	7.15	7.94	1.11
3	-0.58	0	7.19	7.98	1.11	7.19	8.52	1.18	7.19	8.03	1.12	7.19	7.99	1.11
4	-0.75	0	5.67	5.30	0.93	5.67	4.43	0.78	5.67	4.24	0.75	5.67	4.21	0.74
5	-0.92	0	7.12	7.17	1.01	7.12	9.04	1.27	7.12	8.71	1.22	7.12	8.39	1.18
6	-0.33	0.06	6.77	6.91	1.02	6.77	6.60	0.97	6.77	6.37	0.94	6.77	6.22	0.92
7	-0.50	0.06	7.15	8.98	1.26	7.15	10.21	1.43	7.15	9.72	1.36	7.15	9.52	1.33
8	-0.66	0.06	7.19	7.03	0.98	7.19	6.21	0.86	7.19	6.18	0.86	7.19	6.05	0.84
9	-0.83	0.06	5.67	6.32	1.12	5.67	7.04	1.24	5.67	6.87	1.21	5.67	6.66	1.17
10	-1.00	0.06	7.12	7.30	1.03	7.12	6.94	0.97	7.12	6.89	0.97	7.12	7.00	0.98
11	-0.25	0.13	7.10	6.34	0.89	7.10	5.72	0.81	7.10	5.45	0.77	7.10	5.76	0.81
12	-0.42	0.13	7.73	9.27	1.20	7.73	8.43	1.09	7.73	8.65	1.12	7.73	8.30	1.07
13	-0.58	0.13	8.88	9.88	1.11	8.88	9.57	1.08	8.88	9.64	1.09	8.88	9.26	1.04
14	-0.75	0.13	6.47	5.56	0.86	6.47	5.57	0.86	6.47	5.03	0.78	6.47	4.91	0.76
15	-0.92	0.13	7.14	7.24	1.01	7.14	9.32	1.31	7.14	8.50	1.19	7.14	8.11	1.14
16	-0.33	0.19	7.10	6.81	0.96	7.10	6.65	0.94	7.10	6.14	0.86	7.10	5.95	0.84
17	-0.50	0.19	7.73	9.31	1.20	7.73	10.63	1.38	7.73	10.15	1.31	7.73	9.97	1.29
18	-0.66	0.19	8.88	8.47	0.95	8.88	8.25	0.93	8.88	7.71	0.87	8.88	7.42	0.84
19	-0.83	0.19	6.47	6.76	1.05	6.47	7.60	1.17	6.47	7.56	1.17	6.47	7.39	1.14
20	-1.00	0.19	7.14	7.18	1.01	7.14	6.80	0.95	7.14	6.75	0.95	7.14	6.78	0.95
21	-0.25	0.25	6.77	7.55	1.11	6.77	6.14	0.91	6.77	5.90	0.87	6.77	5.85	0.86
22	-0.42	0.25	7.15	8.02	1.12	7.15	8.15	1.14	7.15	8.02	1.12	7.15	7.66	1.07
23	-0.58	0.25	7.19	7.95	1.11	7.19	8.17	1.14	7.19	7.83	1.09	7.19	7.20	1.00
24	-0.75	0.25	5.67	5.67	1.00	5.67	4.91	0.87	5.67	4.79	0.84	5.67	4.44	0.78
25	-0.92	0.25	7.12	6.91	0.97	7.12	8.24	1.16	7.12	7.73	1.09	7.12	7.42	1.04
26	-0.33	0.31	6.77	7.25	1.07	6.77	7.04	1.04	6.77	6.70	0.99	6.77	6.55	0.97
27	-0.50	0.31	7.15	8.65	1.21	7.15	9.14	1.28	7.15	8.96	1.25	7.15	8.73	1.22
28	-0.66	0.31	7.19	7.10	0.99	7.19	6.59	0.92	7.19	6.35	0.88	7.19	6.08	0.85
29	-0.83	0.31	5.67	6.27	1.11	5.67	7.43	1.31	5.67	6.98	1.23	5.67	6.85	1.21
30	-1.00	0.31	7.12	6.63	0.93	7.12	6.81	0.96	7.12	6.93	0.97	7.12	6.87	0.97
31	-0.25	0.38	7.10	7.46	1.05	7.10	6.05	0.85	7.10	6.12	0.86	7.10	6.46	0.91
32	-0.42	0.38	7.73	8.78	1.14	7.73	7.85	1.02	7.73	7.81	1.01	7.73	7.88	1.02
33	-0.58	0.38	8.88	9.39	1.06	8.88	8.70	0.98	8.88	8.52	0.96	8.88	8.40	0.95
34	-0.75	0.38	6.47	6.42	0.99	6.47	6.04	0.93	6.47	5.64	0.87	6.47	5.89	0.91
35	-0.92	0.38	7.14	7.36	1.03	7.14	8.18	1.15	7.14	7.57	1.06	7.14	7.36	1.03
36	-0.33	0.44	7.10	6.99	0.98	7.10	6.78	0.95	7.10	6.59	0.93	7.10	6.27	0.88
37	-0.50	0.44	7.73	8.68	1.12	7.73	8.90	1.15	7.73	8.69	1.12	7.73	8.45	1.09
38	-0.66	0.44	8.88	8.90	1.00	8.88	8.53	0.96	8.88	8.07	0.91	8.88	7.87	0.89
39	-0.83	0.44	6.47	6.73	1.04	6.47	7.82	1.21	6.47	7.69	1.19	6.47	8.03	1.24
40	-1.00	0.44	7.14	6.83	0.96	7.14	6.62	0.93	7.14	6.78	0.95	7.14	7.03	0.98
41	-0.25	0.5	6.77	7.21	1.07	6.77	6.33	0.93	6.77	6.09	0.90	6.77	6.39	0.94
42	-0.42	0.5	7.15	7.98	1.12	7.15	8.22	1.15	7.15	7.82	1.09	7.15	7.10	0.99
43	-0.58	0.5	7.19	7.17	1.00	7.19	7.68	1.07	7.19	7.04	0.98	7.19	6.98	0.97
44	-0.75	0.5	5.67	5.61	0.99	5.67	5.43	0.96	5.67	5.15	0.91	5.67	5.37	0.95
45	-0.92	0.5	7.12	6.98	0.98	7.12	7.95	1.12	7.12	7.57	1.06	7.12	7.89	1.11

wave period (T) = 1.08 sec



ตารางที่ ๑-2 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0062 (WF2) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	6.77	6.15	0.91	6.77	6.44	0.95	6.77	4.67	0.69	6.77	5.37	0.79
2	-0.42	0	7.15	7.55	1.06	7.15	7.83	1.09	7.15	7.90	1.10	7.15	7.89	1.10
3	-0.58	0	7.19	7.98	1.11	7.19	7.14	0.99	7.19	8.33	1.16	7.19	8.30	1.15
4	-0.75	0	5.67	4.20	0.74	5.67	4.43	0.78	5.67	5.11	0.90	5.67	4.28	0.75
5	-0.92	0	7.12	8.21	1.15	7.12	8.03	1.13	7.12	9.22	1.29	7.12	8.59	1.21
6	-0.33	0.06	6.77	6.06	0.89	6.77	5.59	0.82	6.77	6.26	0.92	6.77	5.97	0.88
7	-0.50	0.06	7.15	9.32	1.30	7.15	8.62	1.21	7.15	10.05	1.41	7.15	9.66	1.35
8	-0.66	0.06	7.19	6.01	0.84	7.19	6.09	0.85	7.19	5.51	0.77	7.19	5.85	0.81
9	-0.83	0.06	5.67	6.56	1.16	5.67	6.68	1.18	5.67	7.07	1.25	5.67	6.91	1.22
10	-1.00	0.06	7.12	7.15	1.00	7.12	7.66	1.08	7.12	6.43	0.90	7.12	6.58	0.92
11	-0.25	0.13	7.10	5.94	0.84	7.10	6.34	0.89	7.10	4.84	0.68	7.10	5.59	0.79
12	-0.42	0.13	7.73	7.51	0.97	7.73	7.90	1.02	7.73	8.37	1.08	7.73	8.07	1.04
13	-0.58	0.13	8.88	9.26	1.04	8.88	8.93	1.01	8.88	9.74	1.10	8.88	9.20	1.04
14	-0.75	0.13	6.47	4.84	0.75	6.47	5.53	0.85	6.47	5.18	0.80	6.47	4.94	0.76
15	-0.92	0.13	7.14	8.04	1.13	7.14	8.44	1.18	7.14	8.36	1.17	7.14	8.57	1.20
16	-0.33	0.19	7.10	6.29	0.89	7.10	5.90	0.83	7.10	6.33	0.89	7.10	6.03	0.85
17	-0.50	0.19	7.73	9.64	1.25	7.73	8.82	1.14	7.73	10.65	1.38	7.73	10.39	1.34
18	-0.66	0.19	8.88	7.32	0.82	8.88	7.55	0.85	8.88	7.65	0.86	8.88	7.56	0.85
19	-0.83	0.19	6.47	7.30	1.13	6.47	7.26	1.12	6.47	7.36	1.14	6.47	7.37	1.14
20	-1.00	0.19	7.14	7.32	1.03	7.14	7.73	1.08	7.14	6.33	0.89	7.14	6.58	0.92
21	-0.25	0.25	6.77	6.32	0.93	6.77	6.51	0.96	6.77	5.70	0.84	6.77	6.04	0.89
22	-0.42	0.25	7.15	7.33	1.03	7.15	7.29	1.02	7.15	7.89	1.10	7.15	7.90	1.10
23	-0.58	0.25	7.19	6.85	0.95	7.19	6.95	0.97	7.19	7.87	1.09	7.19	7.29	1.01
24	-0.75	0.25	5.67	5.32	0.94	5.67	5.42	0.96	5.67	4.81	0.85	5.67	4.55	0.80
25	-0.92	0.25	7.12	8.59	1.21	7.12	8.41	1.18	7.12	7.84	1.10	7.12	7.56	1.06
26	-0.33	0.31	6.77	6.89	1.02	6.77	6.51	0.96	6.77	6.91	1.02	6.77	6.54	0.97
27	-0.50	0.31	7.15	8.60	1.20	7.15	7.91	1.11	7.15	9.07	1.27	7.15	8.78	1.23
28	-0.66	0.31	7.19	6.21	0.86	7.19	6.30	0.88	7.19	6.43	0.89	7.19	6.31	0.88
29	-0.83	0.31	5.67	6.44	1.14	5.67	6.23	1.10	5.67	7.38	1.30	5.67	6.97	1.23
30	-1.00	0.31	7.12	6.94	0.97	7.12	7.13	1.00	7.12	6.40	0.90	7.12	6.42	0.90
31	-0.25	0.38	7.10	6.45	0.91	7.10	6.67	0.94	7.10	5.91	0.83	7.10	5.82	0.82
32	-0.42	0.38	7.73	7.78	1.01	7.73	7.44	0.96	7.73	7.80	1.01	7.73	7.60	0.98
33	-0.58	0.38	8.88	7.96	0.90	8.88	8.30	0.93	8.88	9.48	1.07	8.88	8.40	0.95
34	-0.75	0.38	6.47	5.68	0.88	6.47	5.67	0.88	6.47	6.15	0.95	6.47	5.74	0.89
35	-0.92	0.38	7.14	8.06	1.13	7.14	7.70	1.08	7.14	7.60	1.06	7.14	7.90	1.11
36	-0.33	0.44	7.10	6.48	0.91	7.10	6.26	0.88	7.10	6.79	0.96	7.10	6.58	0.93
37	-0.50	0.44	7.73	7.86	1.02	7.73	7.53	0.97	7.73	8.76	1.13	7.73	8.69	1.12
38	-0.66	0.44	8.88	8.04	0.90	8.88	8.00	0.90	8.88	8.30	0.93	8.88	8.24	0.93
39	-0.83	0.44	6.47	8.06	1.25	6.47	7.65	1.18	6.47	7.46	1.15	6.47	7.34	1.13
40	-1.00	0.44	7.14	7.41	1.04	7.14	7.34	1.03	7.14	6.64	0.93	7.14	6.43	0.90
41	-0.25	0.5	6.77	6.53	0.96	6.77	6.56	0.97	6.77	6.17	0.91	6.77	6.24	0.92
42	-0.42	0.5	7.15	7.23	1.01	7.15	7.30	1.02	7.15	7.60	1.06	7.15	7.31	1.02
43	-0.58	0.5	7.19	7.24	1.01	7.19	7.24	1.01	7.19	7.82	1.09	7.19	6.92	0.96
44	-0.75	0.5	5.67	5.94	1.05	5.67	5.71	1.01	5.67	5.75	1.01	5.67	5.63	0.99
45	-0.92	0.5	7.12	7.98	1.12	7.12	7.79	1.09	7.12	7.62	1.07	7.12	7.89	1.11

wave period (T) = 1.08 sec

ตารางที่ ๑-2 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0062 (WF2) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D1		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	6.77	5.90	0.87	6.77	6.26	0.92	6.77	6.05	0.89	6.77	6.50	0.96
2	-0.42	0	7.15	7.91	1.11	7.15	7.77	1.09	7.15	7.41	1.04	7.15	8.14	1.14
3	-0.58	0	7.19	7.90	1.10	7.19	7.33	1.02	7.19	7.20	1.00	7.19	8.10	1.13
4	-0.75	0	5.67	4.38	0.77	5.67	4.41	0.78	5.67	4.69	0.83	5.67	5.32	0.94
5	-0.92	0	7.12	8.38	1.18	7.12	8.69	1.22	7.12	8.60	1.21	7.12	8.28	1.16
6	-0.33	0.06	6.77	6.27	0.93	6.77	5.80	0.86	6.77	5.90	0.87	6.77	6.85	1.01
7	-0.50	0.06	7.15	9.65	1.35	7.15	8.96	1.25	7.15	8.76	1.22	7.15	8.97	1.25
8	-0.66	0.06	7.19	6.06	0.84	7.19	6.01	0.84	7.19	6.03	0.84	7.19	6.70	0.93
9	-0.83	0.06	5.67	6.74	1.19	5.67	6.69	1.18	5.67	6.45	1.14	5.67	6.53	1.15
10	-1.00	0.06	7.12	6.90	0.97	7.12	7.13	1.00	7.12	7.48	1.05	7.12	6.70	0.94
11	-0.25	0.13	7.10	6.02	0.85	7.10	6.40	0.90	7.10	5.88	0.83	7.10	6.48	0.91
12	-0.42	0.13	7.73	8.04	1.04	7.73	7.89	1.02	7.73	7.87	1.02	7.73	8.57	1.11
13	-0.58	0.13	8.88	9.22	1.04	8.88	8.95	1.01	8.88	8.55	0.96	8.88	9.39	1.06
14	-0.75	0.13	6.47	4.99	0.77	6.47	5.09	0.79	6.47	5.65	0.87	6.47	6.59	1.02
15	-0.92	0.13	7.14	7.82	1.10	7.14	7.94	1.11	7.14	8.84	1.24	7.14	8.61	1.21
16	-0.33	0.19	7.10	6.17	0.87	7.10	6.21	0.87	7.10	6.03	0.85	7.10	6.92	0.97
17	-0.50	0.19	7.73	10.19	1.32	7.73	9.58	1.24	7.73	8.90	1.15	7.73	9.69	1.25
18	-0.66	0.19	8.88	7.75	0.87	8.88	7.43	0.84	8.88	7.49	0.84	8.88	8.50	0.96
19	-0.83	0.19	6.47	7.50	1.16	6.47	7.07	1.09	6.47	7.14	1.10	6.47	7.57	1.17
20	-1.00	0.19	7.14	7.09	0.99	7.14	7.12	1.00	7.14	7.50	1.05	7.14	6.96	0.97
21	-0.25	0.25	6.77	6.46	0.95	6.77	6.55	0.97	6.77	6.92	1.02	6.77	6.83	1.01
22	-0.42	0.25	7.15	7.58	1.06	7.15	7.44	1.04	7.15	7.39	1.03	7.15	7.93	1.11
23	-0.58	0.25	7.19	7.72	1.07	7.19	7.18	1.00	7.19	7.02	0.98	7.19	7.44	1.03
24	-0.75	0.25	5.67	4.90	0.86	5.67	5.26	0.93	5.67	5.11	0.90	5.67	5.69	1.00
25	-0.92	0.25	7.12	7.68	1.08	7.12	8.00	1.12	7.12	8.39	1.18	7.12	7.55	1.06
26	-0.33	0.31	6.77	6.64	0.98	6.77	6.93	1.02	6.77	6.79	1.00	6.77	7.37	1.09
27	-0.50	0.31	7.15	8.73	1.22	7.15	8.63	1.21	7.15	8.35	1.17	7.15	8.64	1.21
28	-0.66	0.31	7.19	6.19	0.86	7.19	6.29	0.87	7.19	6.37	0.89	7.19	6.54	0.91
29	-0.83	0.31	5.67	6.77	1.19	5.67	6.31	1.11	5.67	6.22	1.10	5.67	6.42	1.13
30	-1.00	0.31	7.12	6.87	0.96	7.12	6.75	0.95	7.12	6.98	0.98	7.12	6.38	0.90
31	-0.25	0.38	7.10	6.51	0.92	7.10	6.58	0.93	7.10	7.15	1.01	7.10	6.63	0.93
32	-0.42	0.38	7.73	7.42	0.96	7.73	7.34	0.95	7.73	7.78	1.01	7.73	8.03	1.04
33	-0.58	0.38	8.88	8.63	0.97	8.88	8.37	0.94	8.88	8.51	0.96	8.88	8.62	0.97
34	-0.75	0.38	6.47	5.71	0.88	6.47	5.78	0.89	6.47	5.73	0.89	6.47	5.92	0.91
35	-0.92	0.38	7.14	7.72	1.08	7.14	8.01	1.12	7.14	7.85	1.10	7.14	7.70	1.08
36	-0.33	0.44	7.10	6.37	0.90	7.10	6.57	0.92	7.10	6.41	0.90	7.10	6.91	0.97
37	-0.50	0.44	7.73	8.31	1.08	7.73	8.01	1.04	7.73	7.88	1.02	7.73	8.04	1.04
38	-0.66	0.44	8.88	7.84	0.88	8.88	7.95	0.90	8.88	7.93	0.89	8.88	8.30	0.93
39	-0.83	0.44	6.47	8.04	1.24	6.47	7.88	1.22	6.47	7.88	1.22	6.47	7.13	1.10
40	-1.00	0.44	7.14	7.26	1.02	7.14	7.30	1.02	7.14	7.49	1.05	7.14	6.65	0.93
41	-0.25	0.5	6.77	6.53	0.96	6.77	6.69	0.99	6.77	6.81	1.00	6.77	6.67	0.98
42	-0.42	0.5	7.15	7.35	1.03	7.15	7.26	1.02	7.15	7.37	1.03	7.15	7.58	1.06
43	-0.58	0.5	7.19	7.01	0.97	7.19	7.06	0.98	7.19	6.96	0.97	7.19	7.47	1.04
44	-0.75	0.5	5.67	5.31	0.94	5.67	5.72	1.01	5.67	5.95	1.05	5.67	5.20	0.92
45	-0.92	0.5	7.12	7.52	1.06	7.12	7.80	1.10	7.12	7.43	1.04	7.12	6.96	0.98

wave period (T) = 1.08 sec

ตารางที่ ๑-3 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0110 (WF3)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A1			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	10.60	9.70	0.91	10.60	8.38	0.79	10.60	9.12	0.86	10.60	8.63	0.81
2	-0.42	0	10.84	13.06	1.20	10.84	15.72	1.45	10.84	15.93	1.47	10.84	15.58	1.44
3	-0.58	0	10.39	10.22	0.98	10.39	9.81	0.94	10.39	8.78	0.84	10.39	9.00	0.87
4	-0.75	0	7.25	7.90	1.09	7.25	10.60	1.46	7.25	9.69	1.34	7.25	9.54	1.32
5	-0.92	0	7.40	7.05	0.95	7.40	5.66	0.76	7.40	5.62	0.76	7.40	6.32	0.85
6	-0.33	0.06	10.60	10.34	0.97	10.60	10.02	0.95	10.60	10.87	1.02	10.60	10.72	1.01
7	-0.50	0.06	10.84	11.06	1.02	10.84	9.70	0.89	10.84	9.08	0.84	10.84	9.08	0.84
8	-0.66	0.06	10.39	10.93	1.05	10.39	10.38	1.00	10.39	10.52	1.01	10.39	10.73	1.03
9	-0.83	0.06	7.25	6.90	0.95	7.25	5.59	0.77	7.25	5.99	0.83	7.25	5.40	0.75
10	-1.00	0.06	7.40	7.42	1.00	7.40	7.58	1.02	7.40	7.40	1.00	7.40	7.93	1.07
11	-0.25	0.13	9.78	9.72	0.99	9.78	8.55	0.87	9.78	8.42	0.86	9.78	8.58	0.88
12	-0.42	0.13	10.25	12.61	1.23	10.25	15.43	1.51	10.25	15.46	1.51	10.25	15.10	1.47
13	-0.58	0.13	10.62	9.65	0.91	10.62	9.49	0.89	10.62	9.40	0.89	10.62	8.01	0.75
14	-0.75	0.13	7.79	8.22	1.06	7.79	11.11	1.43	7.79	9.35	1.20	7.79	9.21	1.18
15	-0.92	0.13	8.24	7.60	0.92	8.24	7.46	0.90	8.24	6.97	0.85	8.24	7.13	0.87
16	-0.33	0.19	9.78	9.58	0.98	9.78	9.81	1.00	9.78	9.74	1.00	9.78	9.89	1.01
17	-0.50	0.19	10.25	11.10	1.08	10.25	11.04	1.08	10.25	9.91	0.97	10.25	9.19	0.90
18	-0.66	0.19	10.62	10.38	0.98	10.62	10.87	1.02	10.62	11.19	1.05	10.62	10.96	1.03
19	-0.83	0.19	7.79	7.50	0.96	7.79	6.80	0.87	7.79	6.53	0.84	7.79	6.06	0.78
20	-1.00	0.19	8.24	8.62	1.05	8.24	8.51	1.03	8.24	8.48	1.03	8.24	8.88	1.08
21	-0.25	0.25	10.60	9.96	0.94	10.60	9.74	0.92	10.60	8.16	0.77	10.60	8.57	0.81
22	-0.42	0.25	10.84	12.19	1.12	10.84	14.56	1.34	10.84	13.94	1.29	10.84	13.35	1.23
23	-0.58	0.25	10.39	10.44	1.00	10.39	10.11	0.97	10.39	9.48	0.91	10.39	9.38	0.90
24	-0.75	0.25	7.25	7.21	0.99	7.25	9.40	1.30	7.25	9.65	1.33	7.25	9.24	1.28
25	-0.92	0.25	7.40	7.27	0.98	7.40	5.21	0.70	7.40	6.26	0.85	7.40	6.40	0.87
26	-0.33	0.31	10.60	9.66	0.91	10.60	9.04	0.85	10.60	9.45	0.89	10.60	9.55	0.90
27	-0.50	0.31	10.84	11.18	1.03	10.84	10.34	0.95	10.84	9.80	0.90	10.84	10.06	0.93
28	-0.66	0.31	10.39	11.12	1.07	10.39	10.93	1.05	10.39	11.91	1.15	10.39	11.87	1.14
29	-0.83	0.31	7.25	6.85	0.95	7.25	6.90	0.95	7.25	6.11	0.84	7.25	5.65	0.78
30	-1.00	0.31	7.40	7.70	1.04	7.40	7.88	1.06	7.40	7.87	1.06	7.40	7.87	1.06
31	-0.25	0.38	9.78	10.00	1.02	9.78	9.51	0.97	9.78	8.97	0.92	9.78	9.84	1.01
32	-0.42	0.38	10.25	11.89	1.16	10.25	14.27	1.39	10.25	14.17	1.38	10.25	13.70	1.34
33	-0.58	0.38	10.62	10.03	0.94	10.62	10.79	1.02	10.62	10.06	0.95	10.62	10.55	0.99
34	-0.75	0.38	7.79	8.05	1.03	7.79	9.41	1.21	7.79	9.38	1.20	7.79	8.47	1.09
35	-0.92	0.38	8.24	7.83	0.95	8.24	7.19	0.87	8.24	7.82	0.95	8.24	7.92	0.96
36	-0.33	0.44	9.78	9.48	0.97	9.78	9.73	1.00	9.78	9.18	0.94	9.78	9.18	0.94
37	-0.50	0.44	10.25	10.73	1.05	10.25	10.31	1.01	10.25	9.99	0.97	10.25	9.65	0.94
38	-0.66	0.44	10.62	10.67	1.01	10.62	11.36	1.07	10.62	11.27	1.06	10.62	10.97	1.03
39	-0.83	0.44	7.79	7.13	0.92	7.79	6.10	0.78	7.79	6.08	0.78	7.79	6.02	0.77
40	-1.00	0.44	8.24	8.53	1.04	8.24	8.86	1.08	8.24	8.60	1.04	8.24	8.60	1.04
41	-0.25	0.5	10.60	9.81	0.93	10.60	8.33	0.79	10.60	8.88	0.84	10.60	8.96	0.84
42	-0.42	0.5	10.84	11.10	1.02	10.84	12.17	1.12	10.84	12.18	1.12	10.84	12.09	1.12
43	-0.58	0.5	10.39	9.76	0.94	10.39	9.98	0.96	10.39	10.25	0.99	10.39	10.35	1.00
44	-0.75	0.5	7.25	7.17	0.99	7.25	8.07	1.11	7.25	7.22	1.00	7.25	7.29	1.01
45	-0.92	0.5	7.40	7.45	1.01	7.40	6.88	0.93	7.40	7.61	1.03	7.40	7.57	1.02

wave period (T) = 0.93 sec

ตารางที่ ๑-3 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0110 (WF3) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	10.60	8.22	0.78	10.60	8.84	0.83	10.60	9.88	0.93	10.60	8.87	0.84
2	-0.42	0	10.84	14.37	1.33	10.84	14.49	1.34	10.84	15.50	1.43	10.84	15.80	1.46
3	-0.58	0	10.39	8.90	0.86	10.39	9.49	0.91	10.39	9.55	0.92	10.39	9.00	0.87
4	-0.75	0	7.25	9.67	1.33	7.25	10.14	1.40	7.25	9.83	1.36	7.25	9.46	1.30
5	-0.92	0	7.40	6.86	0.93	7.40	7.76	1.05	7.40	7.65	1.03	7.40	5.75	0.78
6	-0.33	0.06	10.60	11.71	1.10	10.60	12.13	1.14	10.60	13.49	1.27	10.60	10.72	1.01
7	-0.50	0.06	10.84	9.07	0.84	10.84	9.34	0.86	10.84	7.06	0.65	10.84	9.41	0.87
8	-0.66	0.06	10.39	10.88	1.05	10.39	11.65	1.12	10.39	12.79	1.23	10.39	10.19	0.98
9	-0.83	0.06	7.25	4.97	0.69	7.25	5.86	0.81	7.25	4.87	0.67	7.25	7.13	0.98
10	-1.00	0.06	7.40	7.39	1.00	7.40	8.34	1.13	7.40	9.96	1.35	7.40	7.25	0.98
11	-0.25	0.13	9.78	8.26	0.84	9.78	8.91	0.91	9.78	8.94	0.91	9.78	8.43	0.86
12	-0.42	0.13	10.25	14.31	1.40	10.25	14.44	1.41	10.25	15.74	1.54	10.25	15.15	1.48
13	-0.58	0.13	10.62	9.14	0.86	10.62	9.95	0.94	10.62	10.11	0.95	10.62	9.17	0.86
14	-0.75	0.13	7.79	9.21	1.18	7.79	10.17	1.31	7.79	10.06	1.29	7.79	9.97	1.28
15	-0.92	0.13	8.24	8.27	1.00	8.24	8.20	1.00	8.24	7.85	0.95	8.24	6.49	0.79
16	-0.33	0.19	9.78	10.95	1.12	9.78	11.27	1.15	9.78	12.56	1.28	9.78	10.06	1.03
17	-0.50	0.19	10.25	9.41	0.92	10.25	9.44	0.92	10.25	8.32	0.81	10.25	10.54	1.03
18	-0.66	0.19	10.62	10.75	1.01	10.62	11.11	1.05	10.62	12.88	1.21	10.62	11.14	1.05
19	-0.83	0.19	7.79	5.34	0.69	7.79	5.22	0.67	7.79	5.09	0.65	7.79	6.45	0.83
20	-1.00	0.19	8.24	8.55	1.04	8.24	9.93	1.20	8.24	10.26	1.25	8.24	8.60	1.04
21	-0.25	0.25	10.60	8.76	0.83	10.60	9.09	0.86	10.60	9.54	0.90	10.60	8.14	0.77
22	-0.42	0.25	10.84	13.20	1.22	10.84	13.28	1.23	10.84	14.23	1.31	10.84	14.15	1.30
23	-0.58	0.25	10.39	9.89	0.95	10.39	10.14	0.98	10.39	10.84	1.04	10.39	9.93	0.96
24	-0.75	0.25	7.25	9.12	1.26	7.25	9.40	1.30	7.25	9.55	1.32	7.25	9.27	1.28
25	-0.92	0.25	7.40	7.10	0.96	7.40	7.68	1.04	7.40	7.23	0.98	7.40	6.19	0.84
26	-0.33	0.31	10.60	9.97	0.94	10.60	11.25	1.06	10.60	9.52	0.90	10.60	9.94	0.94
27	-0.50	0.31	10.84	9.76	0.90	10.84	9.94	0.92	10.84	9.72	0.90	10.84	9.79	0.90
28	-0.66	0.31	10.39	11.56	1.11	10.39	11.91	1.15	10.39	12.04	1.16	10.39	11.36	1.09
29	-0.83	0.31	7.25	5.23	0.72	7.25	5.33	0.74	7.25	5.69	0.78	7.25	5.96	0.82
30	-1.00	0.31	7.40	7.44	1.01	7.40	7.86	1.06	7.40	7.43	1.00	7.40	8.37	1.13
31	-0.25	0.38	9.78	9.67	0.99	9.78	9.66	0.99	9.78	9.17	0.94	9.78	9.13	0.93
32	-0.42	0.38	10.25	13.06	1.27	10.25	12.97	1.27	10.25	14.07	1.37	10.25	13.89	1.35
33	-0.58	0.38	10.62	10.94	1.03	10.62	11.49	1.08	10.62	11.09	1.04	10.62	10.95	1.03
34	-0.75	0.38	7.79	8.49	1.09	7.79	9.02	1.16	7.79	9.01	1.16	7.79	9.67	1.24
35	-0.92	0.38	8.24	9.41	1.14	8.24	9.26	1.12	8.24	9.23	1.12	8.24	7.87	0.95
36	-0.33	0.44	9.78	9.45	0.97	9.78	9.91	1.01	9.78	9.31	0.95	9.78	9.46	0.97
37	-0.50	0.44	10.25	9.72	0.95	10.25	9.95	0.97	10.25	9.53	0.93	10.25	10.01	0.98
38	-0.66	0.44	10.62	10.75	1.01	10.62	11.66	1.10	10.62	10.90	1.03	10.62	12.00	1.13
39	-0.83	0.44	7.79	5.70	0.73	7.79	5.59	0.72	7.79	5.45	0.70	7.79	6.30	0.81
40	-1.00	0.44	8.24	8.47	1.03	8.24	8.74	1.06	8.24	8.76	1.06	8.24	9.29	1.13
41	-0.25	0.5	10.60	8.76	0.83	10.60	9.17	0.87	10.60	8.52	0.80	10.60	8.57	0.81
42	-0.42	0.5	10.84	11.88	1.10	10.84	11.67	1.08	10.84	11.61	1.07	10.84	11.73	1.08
43	-0.58	0.5	10.39	10.58	1.02	10.39	10.46	1.01	10.39	9.93	0.96	10.39	10.03	0.97
44	-0.75	0.5	7.25	7.58	1.05	7.25	7.81	1.08	7.25	7.73	1.07	7.25	7.50	1.03
45	-0.92	0.5	7.40	7.81	1.06	7.40	7.80	1.05	7.40	7.44	1.01	7.40	7.62	1.03

wave period (T) = 0.93 sec



ตารางที่ ๑-3 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0110 (WF3) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D1		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	10.60	7.98	0.75	10.60	7.87	0.74	10.60	8.72	0.82	10.60	9.70	0.91
2	-0.42	0	10.84	15.06	1.39	10.84	14.65	1.35	10.84	14.51	1.34	10.84	12.87	1.19
3	-0.58	0	10.39	8.37	0.81	10.39	8.98	0.86	10.39	9.27	0.89	10.39	10.27	0.99
4	-0.75	0	7.25	9.17	1.27	7.25	9.46	1.31	7.25	10.53	1.45	7.25	8.91	1.23
5	-0.92	0	7.40	6.43	0.87	7.40	7.32	0.99	7.40	7.10	0.96	7.40	5.53	0.75
6	-0.33	0.06	10.60	10.72	1.01	10.60	11.87	1.12	10.60	12.31	1.16	10.60	10.53	0.99
7	-0.50	0.06	10.84	9.10	0.84	10.84	9.09	0.84	10.84	9.35	0.86	10.84	9.46	0.87
8	-0.66	0.06	10.39	10.90	1.05	10.39	11.23	1.08	10.39	11.40	1.10	10.39	10.08	0.97
9	-0.83	0.06	7.25	5.60	0.77	7.25	5.15	0.71	7.25	5.04	0.70	7.25	6.51	0.90
10	-1.00	0.06	7.40	7.68	1.04	7.40	7.85	1.06	7.40	8.83	1.19	7.40	7.87	1.06
11	-0.25	0.13	9.78	8.06	0.82	9.78	8.22	0.84	9.78	8.97	0.92	9.78	9.89	1.01
12	-0.42	0.13	10.25	14.76	1.44	10.25	14.03	1.37	10.25	14.43	1.41	10.25	13.15	1.28
13	-0.58	0.13	10.62	8.00	0.75	10.62	9.08	0.86	10.62	10.11	0.95	10.62	9.49	0.89
14	-0.75	0.13	7.79	9.45	1.21	7.79	9.45	1.21	7.79	9.68	1.24	7.79	8.11	1.04
15	-0.92	0.13	8.24	6.99	0.85	8.24	8.26	1.00	8.24	8.26	1.00	8.24	6.65	0.81
16	-0.33	0.19	9.78	10.18	1.04	9.78	11.35	1.16	9.78	11.48	1.17	9.78	10.65	1.09
17	-0.50	0.19	10.25	9.30	0.91	10.25	9.42	0.92	10.25	9.47	0.92	10.25	10.37	1.01
18	-0.66	0.19	10.62	11.11	1.05	10.62	10.82	1.02	10.62	11.06	1.04	10.62	11.10	1.05
19	-0.83	0.19	7.79	6.20	0.80	7.79	5.44	0.70	7.79	5.34	0.69	7.79	6.81	0.87
20	-1.00	0.19	8.24	8.73	1.06	8.24	9.01	1.09	8.24	8.99	1.09	8.24	8.55	1.04
21	-0.25	0.25	10.60	8.53	0.80	10.60	8.66	0.82	10.60	9.23	0.87	10.60	10.16	0.96
22	-0.42	0.25	10.84	13.80	1.27	10.84	13.08	1.21	10.84	13.15	1.21	10.84	12.00	1.11
23	-0.58	0.25	10.39	9.63	0.93	10.39	9.85	0.95	10.39	10.10	0.97	10.39	10.77	1.04
24	-0.75	0.25	7.25	8.79	1.21	7.25	8.93	1.23	7.25	9.30	1.28	7.25	8.40	1.16
25	-0.92	0.25	7.40	6.62	0.89	7.40	7.01	0.95	7.40	7.33	0.99	7.40	6.30	0.85
26	-0.33	0.31	10.60	9.32	0.88	10.60	10.34	0.98	10.60	11.03	1.04	10.60	10.19	0.96
27	-0.50	0.31	10.84	9.97	0.92	10.84	10.01	0.92	10.84	9.91	0.91	10.84	11.15	1.03
28	-0.66	0.31	10.39	11.80	1.14	10.39	11.64	1.12	10.39	11.95	1.15	10.39	11.06	1.06
29	-0.83	0.31	7.25	5.89	0.81	7.25	5.51	0.76	7.25	5.36	0.74	7.25	6.96	0.96
30	-1.00	0.31	7.40	7.67	1.04	7.40	7.53	1.02	7.40	7.58	1.03	7.40	8.14	1.10
31	-0.25	0.38	9.78	9.90	1.01	9.78	9.71	0.99	9.78	9.76	1.00	9.78	9.51	0.97
32	-0.42	0.38	10.25	13.56	1.32	10.25	12.25	1.19	10.25	12.41	1.21	10.25	12.77	1.25
33	-0.58	0.38	10.62	10.55	0.99	10.62	10.51	0.99	10.62	11.49	1.08	10.62	11.48	1.08
34	-0.75	0.38	7.79	8.24	1.06	7.79	8.54	1.10	7.79	8.64	1.11	7.79	7.94	1.02
35	-0.92	0.38	8.24	7.91	0.96	8.24	8.82	1.07	8.24	9.00	1.09	8.24	9.05	1.10
36	-0.33	0.44	9.78	9.09	0.93	9.78	9.87	1.01	9.78	9.97	1.02	9.78	10.62	1.09
37	-0.50	0.44	10.25	9.80	0.96	10.25	9.54	0.93	10.25	10.08	0.98	10.25	10.46	1.02
38	-0.66	0.44	10.62	11.30	1.06	10.62	11.15	1.05	10.62	11.50	1.08	10.62	11.50	1.08
39	-0.83	0.44	7.79	6.09	0.78	7.79	5.73	0.74	7.79	5.88	0.75	7.79	6.50	0.83
40	-1.00	0.44	8.24	9.00	1.09	8.24	8.73	1.06	8.24	8.59	1.04	8.24	8.83	1.07
41	-0.25	0.5	10.60	9.22	0.87	10.60	9.04	0.85	10.60	9.37	0.88	10.60	9.76	0.92
42	-0.42	0.5	10.84	12.01	1.11	10.84	11.87	1.09	10.84	11.66	1.08	10.84	11.32	1.04
43	-0.58	0.5	10.39	10.94	1.05	10.39	10.48	1.01	10.39	10.46	1.01	10.39	10.55	1.02
44	-0.75	0.5	7.25	7.70	1.06	7.25	7.38	1.02	7.25	8.01	1.11	7.25	7.52	1.04
45	-0.92	0.5	7.40	7.57	1.02	7.40	7.99	1.08	7.40	8.06	1.09	7.40	7.44	1.01

wave period (T) = 0.93 sec

ตารางที่ ๑-4 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0138 (WF4)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A1			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	13.11	13.85	1.06	13.11	13.02	0.99	13.11	12.83	0.98	13.11	11.96	0.91
2	-0.42	0	10.90	12.99	1.19	10.90	14.88	1.37	10.90	14.79	1.36	10.90	13.67	1.25
3	-0.58	0	11.10	10.66	0.96	11.10	12.44	1.12	11.10	12.65	1.14	11.10	12.51	1.13
4	-0.75	0	7.74	8.80	1.14	7.74	5.94	0.77	7.74	6.87	0.89	7.74	6.55	0.85
5	-0.92	0	8.23	8.64	1.05	8.23	11.58	1.41	8.23	11.36	1.38	8.23	10.64	1.29
6	-0.33	0.06	13.11	14.17	1.08	13.11	17.07	1.30	13.11	16.66	1.27	13.11	16.09	1.23
7	-0.50	0.06	10.90	10.91	1.00	10.90	7.73	0.71	10.90	7.83	0.72	10.90	8.33	0.76
8	-0.66	0.06	11.10	11.97	1.08	11.10	14.21	1.28	11.10	14.00	1.26	11.10	13.34	1.20
9	-0.83	0.06	7.74	7.91	1.02	7.74	6.85	0.89	7.74	5.94	0.77	7.74	5.38	0.70
10	-1.00	0.06	8.23	8.49	1.03	8.23	8.89	1.08	8.23	8.10	0.99	8.23	8.38	1.02
11	-0.25	0.13	10.46	10.57	1.01	10.46	8.07	0.77	10.46	7.87	0.75	10.46	6.96	0.67
12	-0.42	0.13	11.56	12.68	1.10	11.56	13.97	1.21	11.56	13.61	1.18	11.56	12.77	1.10
13	-0.58	0.13	12.26	11.89	0.97	12.26	13.53	1.10	12.26	14.23	1.16	12.26	14.54	1.19
14	-0.75	0.13	8.37	9.70	1.16	8.37	7.18	0.86	8.37	8.06	0.96	8.37	7.51	0.90
15	-0.92	0.13	8.92	10.59	1.19	8.92	11.72	1.31	8.92	11.63	1.30	8.92	10.82	1.21
16	-0.33	0.19	10.46	11.25	1.08	10.46	11.85	1.13	10.46	11.31	1.08	10.46	10.98	1.05
17	-0.50	0.19	11.56	10.74	0.93	11.56	7.20	0.62	11.56	6.90	0.60	11.56	8.01	0.69
18	-0.66	0.19	12.26	13.38	1.09	12.26	14.65	1.20	12.26	15.13	1.23	12.26	14.70	1.20
19	-0.83	0.19	8.37	9.78	1.17	8.37	7.40	0.88	8.37	7.01	0.84	8.37	6.39	0.76
20	-1.00	0.19	8.92	9.33	1.05	8.92	8.33	0.93	8.92	8.64	0.97	8.92	8.64	0.97
21	-0.25	0.25	13.11	13.14	1.00	13.11	11.33	0.86	13.11	10.08	0.77	13.11	9.85	0.75
22	-0.42	0.25	10.90	12.21	1.12	10.90	14.10	1.29	10.90	12.90	1.18	10.90	12.29	1.13
23	-0.58	0.25	11.10	10.42	0.94	11.10	11.84	1.07	11.10	12.16	1.10	11.10	12.12	1.09
24	-0.75	0.25	7.74	9.40	1.22	7.74	7.24	0.94	7.74	8.22	1.06	7.74	7.30	0.94
25	-0.92	0.25	8.23	9.37	1.14	8.23	10.92	1.33	8.23	10.49	1.28	8.23	10.75	1.31
26	-0.33	0.31	13.11	12.87	0.98	13.11	12.43	0.95	13.11	12.18	0.93	13.11	11.94	0.91
27	-0.50	0.31	10.90	10.52	0.96	10.90	8.20	0.75	10.90	8.12	0.74	10.90	8.97	0.82
28	-0.66	0.31	11.10	11.35	1.02	11.10	12.51	1.13	11.10	12.66	1.14	11.10	12.03	1.08
29	-0.83	0.31	7.74	8.98	1.16	7.74	8.09	1.05	7.74	7.91	1.02	7.74	8.09	1.05
30	-1.00	0.31	8.23	8.39	1.02	8.23	7.49	0.91	8.23	7.95	0.97	8.23	8.07	0.98
31	-0.25	0.38	10.46	9.88	0.94	10.46	9.00	0.86	10.46	7.05	0.67	10.46	6.86	0.66
32	-0.42	0.38	11.56	12.05	1.04	11.56	14.37	1.24	11.56	13.57	1.17	11.56	13.51	1.17
33	-0.58	0.38	12.26	12.02	0.98	12.26	15.23	1.24	12.26	14.28	1.16	12.26	14.51	1.18
34	-0.75	0.38	8.37	9.52	1.14	8.37	8.08	0.97	8.37	8.95	1.07	8.37	8.44	1.01
35	-0.92	0.38	8.92	10.15	1.14	8.92	10.65	1.19	8.92	11.10	1.24	8.92	10.30	1.15
36	-0.33	0.44	10.46	9.87	0.94	10.46	9.70	0.93	10.46	10.30	0.98	10.46	9.98	0.95
37	-0.50	0.44	11.56	11.15	0.96	11.56	9.38	0.81	11.56	9.55	0.83	11.56	10.49	0.91
38	-0.66	0.44	12.26	12.38	1.01	12.26	12.38	1.01	12.26	12.83	1.05	12.26	12.52	1.02
39	-0.83	0.44	8.37	9.46	1.13	8.37	8.59	1.03	8.37	8.93	1.07	8.37	8.10	0.97
40	-1.00	0.44	8.92	8.79	0.98	8.92	7.06	0.79	8.92	7.29	0.82	8.92	7.22	0.81
41	-0.25	0.5	13.11	12.92	0.99	13.11	12.29	0.94	13.11	11.45	0.87	13.11	11.98	0.91
42	-0.42	0.5	10.90	10.93	1.00	10.90	12.84	1.18	10.90	11.59	1.06	10.90	11.53	1.06
43	-0.58	0.5	11.10	10.90	0.98	11.10	12.00	1.08	11.10	11.57	1.04	11.10	12.12	1.09
44	-0.75	0.5	7.74	8.33	1.08	7.74	7.55	0.98	7.74	7.52	0.97	7.74	6.89	0.89
45	-0.92	0.5	8.23	8.66	1.05	8.23	9.87	1.20	8.23	9.38	1.14	8.23	9.72	1.18

wave period (T) = 0.87 sec



ตารางที่ ๑-4 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0138 (WF4) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	13.11	11.82	0.90	13.11	12.63	0.96	13.11	11.51	0.88	13.11	12.57	0.96
2	-0.42	0	10.90	13.50	1.24	10.90	12.78	1.17	10.90	16.52	1.52	10.90	14.71	1.35
3	-0.58	0	11.10	12.43	1.12	11.10	13.81	1.24	11.10	11.90	1.07	11.10	12.38	1.12
4	-0.75	0	7.74	6.80	0.88	7.74	8.21	1.06	7.74	6.83	0.88	7.74	6.79	0.88
5	-0.92	0	8.23	11.02	1.34	8.23	10.14	1.23	8.23	12.85	1.56	8.23	11.01	1.34
6	-0.33	0.06	13.11	15.55	1.19	13.11	15.54	1.19	13.11	18.83	1.44	13.11	17.72	1.35
7	-0.50	0.06	10.90	9.01	0.83	10.90	9.60	0.88	10.90	7.71	0.71	10.90	7.83	0.72
8	-0.66	0.06	11.10	13.03	1.17	11.10	13.34	1.20	11.10	14.38	1.30	11.10	14.64	1.32
9	-0.83	0.06	7.74	5.60	0.72	7.74	5.26	0.68	7.74	5.84	0.75	7.74	6.28	0.81
10	-1.00	0.06	8.23	9.18	1.12	8.23	9.77	1.19	8.23	9.87	1.20	8.23	8.76	1.07
11	-0.25	0.13	10.46	7.06	0.67	10.46	8.40	0.80	10.46	7.97	0.76	10.46	7.99	0.76
12	-0.42	0.13	11.56	12.55	1.09	11.56	11.69	1.01	11.56	15.15	1.31	11.56	13.90	1.20
13	-0.58	0.13	12.26	14.57	1.19	12.26	15.72	1.28	12.26	13.70	1.12	12.26	13.91	1.13
14	-0.75	0.13	8.37	8.24	0.99	8.37	9.68	1.16	8.37	9.22	1.10	8.37	8.09	0.97
15	-0.92	0.13	8.92	11.31	1.27	8.92	10.59	1.19	8.92	11.29	1.26	8.92	11.96	1.34
16	-0.33	0.19	10.46	10.44	1.00	10.46	10.15	0.97	10.46	13.77	1.32	10.46	11.20	1.07
17	-0.50	0.19	11.56	9.53	0.82	11.56	10.95	0.95	11.56	7.08	0.61	11.56	6.82	0.59
18	-0.66	0.19	12.26	13.99	1.14	12.26	14.22	1.16	12.26	14.23	1.16	12.26	15.11	1.23
19	-0.83	0.19	8.37	7.10	0.85	8.37	7.36	0.88	8.37	7.89	0.94	8.37	6.98	0.83
20	-1.00	0.19	8.92	9.05	1.01	8.92	9.97	1.12	8.92	8.79	0.99	8.92	8.94	1.00
21	-0.25	0.25	13.11	9.72	0.74	13.11	10.65	0.81	13.11	10.69	0.82	13.11	10.16	0.78
22	-0.42	0.25	10.90	11.44	1.05	10.90	11.80	1.08	10.90	14.06	1.29	10.90	13.13	1.20
23	-0.58	0.25	11.10	12.00	1.08	11.10	13.71	1.24	11.10	12.30	1.11	11.10	12.22	1.10
24	-0.75	0.25	7.74	6.98	0.90	7.74	8.31	1.07	7.74	6.78	0.88	7.74	7.81	1.01
25	-0.92	0.25	8.23	10.74	1.31	8.23	10.52	1.28	8.23	11.87	1.44	8.23	11.32	1.38
26	-0.33	0.31	13.11	12.17	0.93	13.11	12.63	0.96	13.11	14.57	1.11	13.11	12.92	0.99
27	-0.50	0.31	10.90	9.47	0.87	10.90	10.36	0.95	10.90	8.57	0.79	10.90	7.84	0.72
28	-0.66	0.31	11.10	11.90	1.07	11.10	12.24	1.10	11.10	11.71	1.05	11.10	13.28	1.20
29	-0.83	0.31	7.74	8.38	1.08	7.74	8.13	1.05	7.74	9.02	1.17	7.74	7.73	1.00
30	-1.00	0.31	8.23	9.02	1.10	8.23	9.49	1.15	8.23	9.06	1.10	8.23	8.57	1.04
31	-0.25	0.38	10.46	6.70	0.64	10.46	7.55	0.72	10.46	8.48	0.81	10.46	7.50	0.72
32	-0.42	0.38	11.56	13.40	1.16	11.56	12.59	1.09	11.56	14.05	1.22	11.56	13.74	1.19
33	-0.58	0.38	12.26	14.63	1.19	12.26	14.30	1.17	12.26	15.46	1.26	12.26	14.58	1.19
34	-0.75	0.38	8.37	8.58	1.03	8.37	9.45	1.13	8.37	8.18	0.98	8.37	8.99	1.07
35	-0.92	0.38	8.92	10.43	1.17	8.92	9.91	1.11	8.92	11.09	1.24	8.92	11.07	1.24
36	-0.33	0.44	10.46	10.06	0.96	10.46	10.14	0.97	10.46	11.00	1.05	10.46	10.04	0.96
37	-0.50	0.44	11.56	10.25	0.89	11.56	11.29	0.98	11.56	8.98	0.78	11.56	9.56	0.83
38	-0.66	0.44	12.26	11.75	0.96	12.26	12.76	1.04	12.26	11.25	0.92	12.26	13.48	1.10
39	-0.83	0.44	8.37	8.26	0.99	8.37	8.12	0.97	8.37	9.16	1.10	8.37	8.37	1.00
40	-1.00	0.44	8.92	7.54	0.84	8.92	8.85	0.99	8.92	7.11	0.80	8.92	7.73	0.87
41	-0.25	0.5	13.11	11.64	0.89	13.11	11.74	0.90	13.11	12.67	0.97	13.11	11.67	0.89
42	-0.42	0.5	10.90	11.53	1.06	10.90	11.32	1.04	10.90	12.16	1.12	10.90	11.74	1.08
43	-0.58	0.5	11.10	11.58	1.04	11.10	12.15	1.09	11.10	12.33	1.11	11.10	11.08	1.00
44	-0.75	0.5	7.74	7.30	0.94	7.74	7.81	1.01	7.74	7.44	0.96	7.74	7.53	0.97
45	-0.92	0.5	8.23	9.71	1.18	8.23	9.32	1.13	8.23	9.97	1.21	8.23	9.15	1.11

wave period (T) = 0.87 sec

ตารางที่ ๑-4 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0138 (WF4) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D1		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	13.11	11.79	0.90	13.11	11.94	0.91	13.11	12.03	0.92	13.11	13.41	1.02
2	-0.42	0	10.90	13.62	1.25	10.90	13.21	1.21	10.90	13.24	1.21	10.90	13.61	1.25
3	-0.58	0	11.10	12.79	1.15	11.10	13.03	1.17	11.10	13.28	1.20	11.10	11.60	1.05
4	-0.75	0	7.74	6.46	0.84	7.74	7.09	0.92	7.74	7.70	1.00	7.74	6.89	0.89
5	-0.92	0	8.23	10.93	1.33	8.23	10.94	1.33	8.23	10.52	1.28	8.23	10.60	1.29
6	-0.33	0.06	13.11	15.49	1.18	13.11	15.48	1.18	13.11	15.88	1.21	13.11	15.79	1.20
7	-0.50	0.06	10.90	7.85	0.72	10.90	9.22	0.85	10.90	9.96	0.91	10.90	9.16	0.84
8	-0.66	0.06	11.10	13.00	1.17	11.10	13.19	1.19	11.10	13.14	1.18	11.10	12.38	1.12
9	-0.83	0.06	7.74	5.74	0.74	7.74	5.61	0.73	7.74	5.67	0.73	7.74	7.55	0.98
10	-1.00	0.06	8.23	8.55	1.04	8.23	9.33	1.13	8.23	9.82	1.19	8.23	9.03	1.10
11	-0.25	0.13	10.46	7.38	0.71	10.46	7.56	0.72	10.46	8.13	0.78	10.46	9.27	0.89
12	-0.42	0.13	11.56	12.68	1.10	11.56	12.19	1.06	11.56	12.31	1.06	11.56	13.12	1.14
13	-0.58	0.13	12.26	14.90	1.22	12.26	14.17	1.16	12.26	15.57	1.27	12.26	13.21	1.08
14	-0.75	0.13	8.37	7.73	0.92	8.37	8.31	0.99	8.37	9.25	1.11	8.37	8.03	0.96
15	-0.92	0.13	8.92	11.40	1.28	8.92	11.29	1.27	8.92	10.64	1.19	8.92	11.20	1.26
16	-0.33	0.19	10.46	10.39	0.99	10.46	10.19	0.97	10.46	10.43	1.00	10.46	11.86	1.13
17	-0.50	0.19	11.56	8.18	0.71	11.56	9.59	0.83	11.56	11.05	0.96	11.56	9.04	0.78
18	-0.66	0.19	12.26	14.15	1.15	12.26	14.02	1.14	12.26	14.49	1.18	12.26	14.09	1.15
19	-0.83	0.19	8.37	6.81	0.81	8.37	7.01	0.84	8.37	7.40	0.89	8.37	8.46	1.01
20	-1.00	0.19	8.92	8.82	0.99	8.92	9.24	1.04	8.92	9.90	1.11	8.92	9.17	1.03
21	-0.25	0.25	13.11	9.84	0.75	13.11	10.12	0.77	13.11	10.60	0.81	13.11	13.41	1.02
22	-0.42	0.25	10.90	12.06	1.11	10.90	11.27	1.03	10.90	12.15	1.11	10.90	13.61	1.25
23	-0.58	0.25	11.10	12.64	1.14	11.10	12.19	1.10	11.10	13.97	1.26	11.10	11.60	1.05
24	-0.75	0.25	7.74	7.09	0.92	7.74	7.18	0.93	7.74	8.15	1.05	7.74	6.89	0.89
25	-0.92	0.25	8.23	10.86	1.32	8.23	10.91	1.33	8.23	10.85	1.32	8.23	10.60	1.29
26	-0.33	0.31	13.11	12.52	0.96	13.11	12.50	0.95	13.11	12.35	0.94	13.11	14.43	1.10
27	-0.50	0.31	10.90	8.73	0.80	10.90	9.72	0.89	10.90	10.56	0.97	10.90	9.75	0.89
28	-0.66	0.31	11.10	12.35	1.11	11.10	11.93	1.07	11.10	11.53	1.04	11.10	12.02	1.08
29	-0.83	0.31	7.74	8.16	1.05	7.74	8.30	1.07	7.74	8.17	1.06	7.74	8.76	1.13
30	-1.00	0.31	8.23	8.67	1.05	8.23	9.04	1.10	8.23	9.67	1.18	8.23	8.17	0.99
31	-0.25	0.38	10.46	6.92	0.66	10.46	7.14	0.68	10.46	7.79	0.74	10.46	9.27	0.89
32	-0.42	0.38	11.56	13.45	1.16	11.56	13.08	1.13	11.56	13.03	1.13	11.56	13.12	1.14
33	-0.58	0.38	12.26	15.08	1.23	12.26	14.55	1.19	12.26	14.72	1.20	12.26	13.21	1.08
34	-0.75	0.38	8.37	8.82	1.05	8.37	8.59	1.03	8.37	9.45	1.13	8.37	8.03	0.96
35	-0.92	0.38	8.92	10.32	1.16	8.92	10.61	1.19	8.92	10.14	1.14	8.92	11.20	1.26
36	-0.33	0.44	10.46	10.34	0.99	10.46	9.90	0.95	10.46	9.70	0.93	10.46	10.83	1.04
37	-0.50	0.44	11.56	10.43	0.90	11.56	10.48	0.91	11.56	11.32	0.98	11.56	10.21	0.88
38	-0.66	0.44	12.26	12.53	1.02	12.26	12.23	1.00	12.26	11.85	0.97	12.26	12.41	1.01
39	-0.83	0.44	8.37	8.27	0.99	8.37	8.28	0.99	8.37	8.19	0.98	8.37	9.15	1.09
40	-1.00	0.44	8.92	7.70	0.86	8.92	7.94	0.89	8.92	8.17	0.92	8.92	7.98	0.89
41	-0.25	0.5	13.11	10.99	0.84	13.11	11.45	0.87	13.11	11.85	0.90	13.11	12.49	0.95
42	-0.42	0.5	10.90	11.41	1.05	10.90	11.70	1.07	10.90	11.25	1.03	10.90	12.02	1.10
43	-0.58	0.5	11.10	11.45	1.03	11.10	11.38	1.03	11.10	11.63	1.05	11.10	11.31	1.02
44	-0.75	0.5	7.74	7.33	0.95	7.74	7.60	0.98	7.74	7.65	0.99	7.74	7.12	0.92
45	-0.92	0.5	8.23	9.61	1.17	8.23	9.97	1.21	8.23	9.40	1.14	8.23	9.56	1.16

wave period (T) = 0.87 sec

ตารางที่ ๕-5 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0164 (WF5)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	A1			B1			B2			B3		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	11.85	11.84	1.00	11.85	10.85	0.92	11.85	12.29	1.04	11.85	12.70	1.07
2	-0.42	0	11.14	10.45	0.94	11.14	7.46	0.67	11.14	7.51	0.67	11.14	8.48	0.76
3	-0.58	0	11.36	11.50	1.01	11.36	16.59	1.46	11.36	16.72	1.47	11.36	16.18	1.42
4	-0.75	0	9.32	8.80	0.94	9.32	7.66	0.82	9.32	8.16	0.88	9.32	9.33	1.00
5	-0.92	0	9.22	9.43	1.02	9.22	6.92	0.75	9.22	7.62	0.83	9.22	8.68	0.94
6	-0.33	0.06	11.85	11.69	0.99	11.85	15.78	1.33	11.85	16.19	1.37	11.85	16.26	1.37
7	-0.50	0.06	11.14	10.24	0.92	11.14	11.26	1.01	11.14	11.55	1.04	11.14	10.88	0.98
8	-0.66	0.06	11.36	11.14	0.98	11.36	9.43	0.83	11.36	9.39	0.83	11.36	10.21	0.90
9	-0.83	0.06	9.32	8.89	0.95	9.32	11.83	1.27	9.32	12.22	1.31	9.32	11.87	1.27
10	-1.00	0.06	9.22	9.17	0.99	9.22	9.73	1.06	9.22	9.39	1.02	9.22	9.13	0.99
11	-0.25	0.13	12.98	11.95	0.92	12.98	10.65	0.82	12.98	11.94	0.92	12.98	12.91	0.99
12	-0.42	0.13	12.01	11.33	0.94	12.01	8.92	0.74	12.01	9.22	0.77	12.01	10.06	0.84
13	-0.58	0.13	11.98	12.25	1.02	11.98	15.76	1.32	11.98	15.73	1.31	11.98	15.76	1.32
14	-0.75	0.13	9.18	8.96	0.98	9.18	7.96	0.87	9.18	7.34	0.80	9.18	8.12	0.88
15	-0.92	0.13	9.00	9.69	1.08	9.00	8.32	0.93	9.00	8.17	0.91	9.00	9.00	1.00
16	-0.33	0.19	12.98	11.97	0.92	12.98	15.88	1.22	12.98	16.24	1.25	12.98	16.16	1.24
17	-0.50	0.19	12.01	11.80	0.98	12.01	11.44	0.95	12.01	11.84	0.99	12.01	11.33	0.94
18	-0.66	0.19	11.98	12.41	1.04	11.98	10.90	0.91	11.98	10.41	0.87	11.98	11.57	0.97
19	-0.83	0.19	9.18	8.92	0.97	9.18	12.97	1.41	9.18	12.66	1.38	9.18	12.41	1.35
20	-1.00	0.19	9.00	9.17	1.02	9.00	10.08	1.12	9.00	9.84	1.09	9.00	9.71	1.08
21	-0.25	0.25	11.85	11.88	1.00	11.85	8.90	0.75	11.85	8.68	0.73	11.85	9.99	0.84
22	-0.42	0.25	11.14	10.69	0.96	11.14	7.85	0.70	11.14	8.17	0.73	11.14	9.34	0.84
23	-0.58	0.25	11.36	11.20	0.99	11.36	12.43	1.09	11.36	12.76	1.12	11.36	12.65	1.11
24	-0.75	0.25	9.32	9.08	0.97	9.32	9.01	0.97	9.32	8.75	0.94	9.32	9.40	1.01
25	-0.92	0.25	9.22	9.27	1.01	9.22	6.78	0.73	9.22	6.60	0.72	9.22	7.58	0.82
26	-0.33	0.31	11.85	11.49	0.97	11.85	13.61	1.15	11.85	14.14	1.19	11.85	13.91	1.17
27	-0.50	0.31	11.14	10.67	0.96	11.14	10.19	0.92	11.14	10.38	0.93	11.14	10.52	0.94
28	-0.66	0.31	11.36	11.16	0.98	11.36	10.49	0.92	11.36	9.96	0.88	11.36	10.44	0.92
29	-0.83	0.31	9.32	8.87	0.95	9.32	11.31	1.21	9.32	10.96	1.18	9.32	10.79	1.16
30	-1.00	0.31	9.22	9.19	1.00	9.22	9.40	1.02	9.22	9.83	1.07	9.22	9.57	1.04
31	-0.25	0.38	12.98	11.98	0.92	12.98	11.45	0.88	12.98	12.05	0.93	12.98	11.43	0.88
32	-0.42	0.38	12.01	11.97	1.00	12.01	11.38	0.95	12.01	11.53	0.96	12.01	11.82	0.98
33	-0.58	0.38	11.98	12.06	1.01	11.98	14.35	1.20	11.98	13.70	1.14	11.98	14.32	1.20
34	-0.75	0.38	9.18	9.17	1.00	9.18	9.18	1.00	9.18	9.26	1.01	9.18	9.55	1.04
35	-0.92	0.38	9.00	9.39	1.04	9.00	8.60	0.96	9.00	7.98	0.89	9.00	8.16	0.91
36	-0.33	0.44	12.98	11.84	0.91	12.98	15.00	1.16	12.98	15.05	1.16	12.98	14.74	1.14
37	-0.50	0.44	12.01	12.00	1.00	12.01	10.89	0.91	12.01	11.23	0.94	12.01	11.95	1.00
38	-0.66	0.44	11.98	12.28	1.02	11.98	11.23	0.94	11.98	10.90	0.91	11.98	11.38	0.95
39	-0.83	0.44	9.18	8.59	0.94	9.18	10.89	1.19	9.18	10.50	1.14	9.18	10.23	1.11
40	-1.00	0.44	9.00	9.26	1.03	9.00	9.77	1.09	9.00	9.33	1.04	9.00	9.59	1.07
41	-0.25	0.5	11.85	11.94	1.01	11.85	10.86	0.92	11.85	11.77	0.99	11.85	11.75	0.99
42	-0.42	0.5	11.14	10.74	0.96	11.14	7.80	0.70	11.14	8.25	0.74	11.14	8.49	0.76
43	-0.58	0.5	11.36	11.21	0.99	11.36	11.72	1.03	11.36	11.74	1.03	11.36	11.83	1.04
44	-0.75	0.5	9.32	9.09	0.98	9.32	9.11	0.98	9.32	9.66	1.04	9.32	10.02	1.08
45	-0.92	0.5	9.22	9.15	0.99	9.22	7.17	0.78	9.22	7.52	0.82	9.22	7.65	0.83

wave period (T) = 0.82 sec

ตารางที่ ๕-5 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0164 (WF5) (ต่อ)

No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	B4			B5			C1			C2		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	11.85	14.13	1.19	11.85	13.21	1.11	11.85	11.34	0.96	11.85	11.82	1.00
2	-0.42	0	11.14	10.09	0.91	11.14	9.00	0.81	11.14	7.29	0.65	11.14	7.69	0.69
3	-0.58	0	11.36	15.75	1.39	11.36	15.05	1.33	11.36	17.53	1.54	11.36	16.19	1.43
4	-0.75	0	9.32	9.46	1.02	9.32	9.66	1.04	9.32	8.63	0.93	9.32	8.65	0.93
5	-0.92	0	9.22	9.38	1.02	9.22	8.54	0.93	9.22	6.80	0.74	9.22	8.34	0.90
6	-0.33	0.06	11.85	16.33	1.38	11.85	14.52	1.23	11.85	17.71	1.49	11.85	16.52	1.39
7	-0.50	0.06	11.14	11.65	1.05	11.14	11.83	1.06	11.14	11.47	1.03	11.14	11.45	1.03
8	-0.66	0.06	11.36	10.71	0.94	11.36	10.77	0.95	11.36	9.59	0.84	11.36	9.47	0.83
9	-0.83	0.06	9.32	11.75	1.26	9.32	11.53	1.24	9.32	12.57	1.35	9.32	12.44	1.34
10	-1.00	0.06	9.22	8.15	0.88	9.22	9.27	1.01	9.22	9.39	1.02	9.22	9.72	1.05
11	-0.25	0.13	12.98	13.48	1.04	12.98	13.12	1.01	12.98	11.14	0.86	12.98	11.48	0.88
12	-0.42	0.13	12.01	11.33	0.94	12.01	10.16	0.85	12.01	8.68	0.72	12.01	9.44	0.79
13	-0.58	0.13	11.98	16.38	1.37	11.98	15.57	1.30	11.98	16.46	1.37	11.98	16.52	1.38
14	-0.75	0.13	9.18	9.37	1.02	9.18	9.17	1.00	9.18	8.36	0.91	9.18	7.21	0.79
15	-0.92	0.13	9.00	9.52	1.06	9.00	9.08	1.01	9.00	8.29	0.92	9.00	8.24	0.92
16	-0.33	0.19	12.98	15.77	1.21	12.98	14.55	1.12	12.98	17.12	1.32	12.98	15.99	1.23
17	-0.50	0.19	12.01	12.97	1.08	12.01	12.13	1.01	12.01	11.87	0.99	12.01	11.12	0.93
18	-0.66	0.19	11.98	12.22	1.02	11.98	11.66	0.97	11.98	10.85	0.91	11.98	10.60	0.88
19	-0.83	0.19	9.18	13.11	1.43	9.18	11.75	1.28	9.18	13.23	1.44	9.18	13.21	1.44
20	-1.00	0.19	9.00	9.95	1.11	9.00	10.16	1.13	9.00	10.27	1.14	9.00	9.78	1.09
21	-0.25	0.25	11.85	10.72	0.91	11.85	11.44	0.97	11.85	7.64	0.64	11.85	9.04	0.76
22	-0.42	0.25	11.14	10.46	0.94	11.14	10.70	0.96	11.14	8.68	0.78	11.14	8.13	0.73
23	-0.58	0.25	11.36	12.68	1.12	11.36	13.38	1.18	11.36	11.95	1.05	11.36	12.33	1.09
24	-0.75	0.25	9.32	9.47	1.02	9.32	10.20	1.09	9.32	8.84	0.95	9.32	9.54	1.02
25	-0.92	0.25	9.22	7.80	0.85	9.22	8.90	0.96	9.22	7.12	0.77	9.22	7.16	0.78
26	-0.33	0.31	11.85	14.11	1.19	11.85	14.26	1.20	11.85	13.09	1.10	11.85	12.76	1.08
27	-0.50	0.31	11.14	10.78	0.97	11.14	11.41	1.02	11.14	10.26	0.92	11.14	10.41	0.93
28	-0.66	0.31	11.36	10.46	0.92	11.36	11.36	1.00	11.36	10.29	0.91	11.36	10.54	0.93
29	-0.83	0.31	9.32	10.99	1.18	9.32	11.22	1.20	9.32	10.77	1.16	9.32	11.12	1.19
30	-1.00	0.31	9.22	8.36	0.91	9.22	9.99	1.08	9.22	9.68	1.05	9.22	9.56	1.04
31	-0.25	0.38	12.98	10.96	0.84	12.98	12.00	0.92	12.98	11.28	0.87	12.98	11.46	0.88
32	-0.42	0.38	12.01	11.95	0.99	12.01	12.04	1.00	12.01	12.30	1.02	12.01	12.12	1.01
33	-0.58	0.38	11.98	13.78	1.15	11.98	13.97	1.17	11.98	14.01	1.17	11.98	14.77	1.23
34	-0.75	0.38	9.18	9.32	1.01	9.18	9.06	0.99	9.18	8.76	0.95	9.18	9.50	1.03
35	-0.92	0.38	9.00	9.54	1.06	9.00	9.31	1.04	9.00	8.93	0.99	9.00	8.15	0.91
36	-0.33	0.44	12.98	14.96	1.15	12.98	14.70	1.13	12.98	14.53	1.12	12.98	14.46	1.11
37	-0.50	0.44	12.01	12.06	1.00	12.01	11.57	0.96	12.01	10.02	0.83	12.01	10.48	0.87
38	-0.66	0.44	11.98	12.09	1.01	11.98	11.52	0.96	11.98	10.82	0.90	11.98	11.13	0.93
39	-0.83	0.44	9.18	11.13	1.21	9.18	10.69	1.16	9.18	9.96	1.08	9.18	10.16	1.11
40	-1.00	0.44	9.00	9.97	1.11	9.00	10.08	1.12	9.00	9.93	1.10	9.00	9.66	1.07
41	-0.25	0.5	11.85	11.95	1.01	11.85	11.99	1.01	11.85	10.26	0.87	11.85	11.23	0.95
42	-0.42	0.5	11.14	9.17	0.82	11.14	9.81	0.88	11.14	7.23	0.65	11.14	8.21	0.74
43	-0.58	0.5	11.36	12.25	1.08	11.36	12.35	1.09	11.36	10.98	0.97	11.36	11.48	1.01
44	-0.75	0.5	9.32	10.07	1.08	9.32	9.57	1.03	9.32	9.16	0.98	9.32	9.59	1.03
45	-0.92	0.5	9.22	7.93	0.86	9.22	9.19	1.00	9.22	6.83	0.74	9.22	7.59	0.82

wave period (T) = 0.82 sec

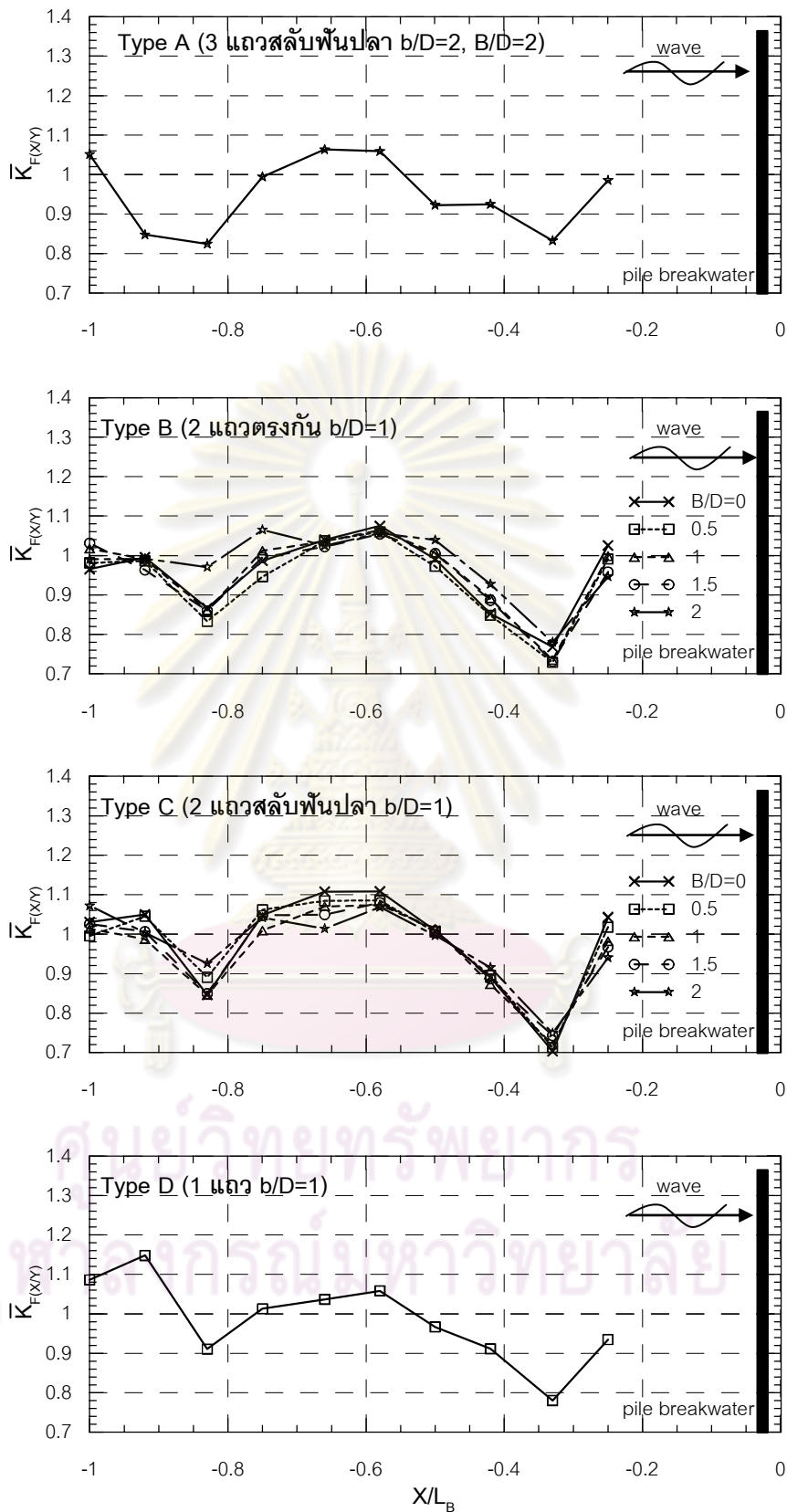


ตารางที่ ๕-5 ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ กรณี  $H_N/gT^2$  เท่ากับ 0.0164 (WF5) (ต่อ)

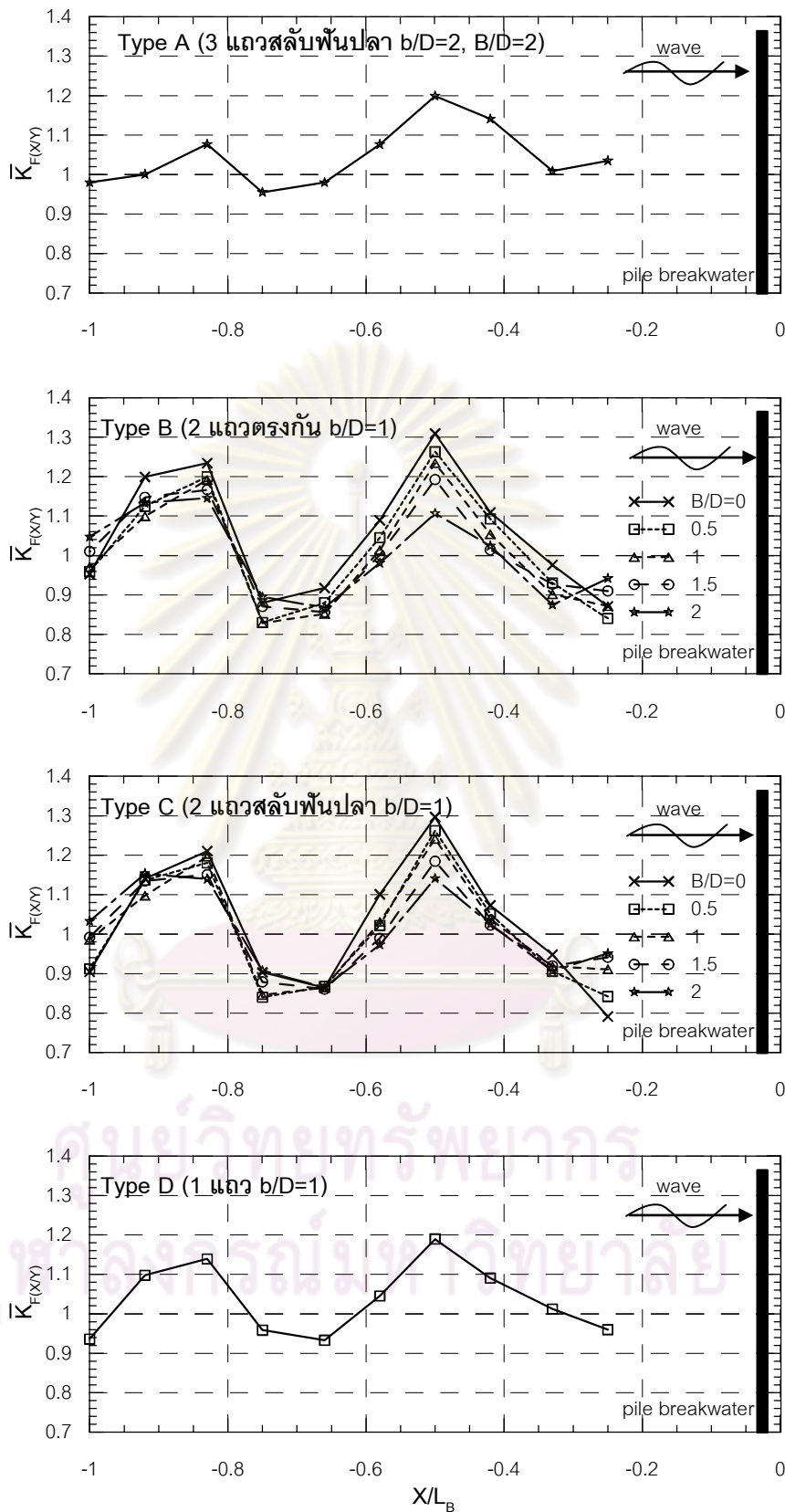
No.	Positions		Type of pile breakwater											
	X/L <sub>B</sub>	Y/L <sub>B</sub>	C3			C4			C5			D1		
			H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>	H <sub>N</sub>	H <sub>F</sub>	K <sub>F</sub>
1	-0.25	0	11.85	13.13	1.11	11.85	14.40	1.22	11.85	12.94	1.09	11.85	11.65	0.98
2	-0.42	0	11.14	8.78	0.79	11.14	9.90	0.89	11.14	8.81	0.79	11.14	8.06	0.72
3	-0.58	0	11.36	16.25	1.43	11.36	15.54	1.37	11.36	15.06	1.33	11.36	14.20	1.25
4	-0.75	0	9.32	10.07	1.08	9.32	9.49	1.02	9.32	10.42	1.12	9.32	9.53	1.02
5	-0.92	0	9.22	9.41	1.02	9.22	9.60	1.04	9.22	8.80	0.95	9.22	8.28	0.90
6	-0.33	0.06	11.85	16.61	1.40	11.85	16.45	1.39	11.85	14.50	1.22	11.85	13.51	1.14
7	-0.50	0.06	11.14	11.66	1.05	11.14	11.11	1.00	11.14	11.96	1.07	11.14	11.05	0.99
8	-0.66	0.06	11.36	10.64	0.94	11.36	10.94	0.96	11.36	10.98	0.97	11.36	9.53	0.84
9	-0.83	0.06	9.32	12.63	1.36	9.32	12.25	1.32	9.32	12.13	1.30	9.32	11.18	1.20
10	-1.00	0.06	9.22	9.62	1.04	9.22	8.19	0.89	9.22	9.45	1.02	9.22	8.97	0.97
11	-0.25	0.13	12.98	12.00	0.92	12.98	13.20	1.02	12.98	12.53	0.97	12.98	12.43	0.96
12	-0.42	0.13	12.01	10.09	0.84	12.01	11.60	0.97	12.01	10.79	0.90	12.01	9.46	0.79
13	-0.58	0.13	11.98	16.23	1.35	11.98	16.43	1.37	11.98	15.54	1.30	11.98	15.07	1.26
14	-0.75	0.13	9.18	7.57	0.82	9.18	8.53	0.93	9.18	9.39	1.02	9.18	8.25	0.90
15	-0.92	0.13	9.00	8.44	0.94	9.00	10.02	1.11	9.00	8.91	0.99	9.00	8.54	0.95
16	-0.33	0.19	12.98	16.49	1.27	12.98	15.66	1.21	12.98	14.61	1.12	12.98	14.56	1.12
17	-0.50	0.19	12.01	11.93	0.99	12.01	12.38	1.03	12.01	12.19	1.02	12.01	11.56	0.96
18	-0.66	0.19	11.98	11.48	0.96	11.98	12.50	1.04	11.98	11.77	0.98	11.98	11.08	0.92
19	-0.83	0.19	9.18	13.03	1.42	9.18	13.31	1.45	9.18	12.16	1.32	9.18	11.30	1.23
20	-1.00	0.19	9.00	10.30	1.15	9.00	9.82	1.09	9.00	10.32	1.15	9.00	9.50	1.06
21	-0.25	0.25	11.85	9.25	0.78	11.85	10.06	0.85	11.85	11.46	0.97	11.85	9.65	0.81
22	-0.42	0.25	11.14	9.28	0.83	11.14	10.18	0.91	11.14	10.41	0.93	11.14	8.54	0.77
23	-0.58	0.25	11.36	12.60	1.11	11.36	12.42	1.09	11.36	13.52	1.19	11.36	12.59	1.11
24	-0.75	0.25	9.32	9.46	1.02	9.32	9.62	1.03	9.32	10.59	1.14	9.32	9.54	1.02
25	-0.92	0.25	9.22	8.22	0.89	9.22	7.99	0.87	9.22	8.80	0.95	9.22	8.36	0.91
26	-0.33	0.31	11.85	13.16	1.11	11.85	13.59	1.15	11.85	13.41	1.13	11.85	12.32	1.04
27	-0.50	0.31	11.14	10.73	0.96	11.14	10.78	0.97	11.14	11.55	1.04	11.14	10.21	0.92
28	-0.66	0.31	11.36	10.80	0.95	11.36	11.07	0.98	11.36	11.91	1.05	11.36	10.76	0.95
29	-0.83	0.31	9.32	11.40	1.22	9.32	11.24	1.21	9.32	11.69	1.25	9.32	10.40	1.12
30	-1.00	0.31	9.22	9.40	1.02	9.22	9.28	1.01	9.22	10.14	1.10	9.22	8.71	0.94
31	-0.25	0.38	12.98	11.44	0.88	12.98	11.67	0.90	12.98	12.05	0.93	12.98	11.55	0.89
32	-0.42	0.38	12.01	12.30	1.02	12.01	12.45	1.04	12.01	12.25	1.02	12.01	11.28	0.94
33	-0.58	0.38	11.98	14.14	1.18	11.98	13.79	1.15	11.98	13.63	1.14	11.98	13.36	1.12
34	-0.75	0.38	9.18	9.08	0.99	9.18	9.45	1.03	9.18	9.28	1.01	9.18	8.52	0.93
35	-0.92	0.38	9.00	8.98	1.00	9.00	9.69	1.08	9.00	9.41	1.05	9.00	8.95	0.99
36	-0.33	0.44	12.98	14.70	1.13	12.98	14.66	1.13	12.98	14.10	1.09	12.98	13.78	1.06
37	-0.50	0.44	12.01	11.01	0.92	12.01	11.54	0.96	12.01	11.37	0.95	12.01	10.51	0.88
38	-0.66	0.44	11.98	11.61	0.97	11.98	11.94	1.00	11.98	11.80	0.98	11.98	11.47	0.96
39	-0.83	0.44	9.18	10.49	1.14	9.18	10.28	1.12	9.18	10.67	1.16	9.18	9.68	1.05
40	-1.00	0.44	9.00	9.69	1.08	9.00	10.07	1.12	9.00	10.12	1.13	9.00	9.52	1.06
41	-0.25	0.5	11.85	11.02	0.93	11.85	11.62	0.98	11.85	11.55	0.97	11.85	10.58	0.89
42	-0.42	0.5	11.14	8.90	0.80	11.14	8.94	0.80	11.14	9.56	0.86	11.14	9.26	0.83
43	-0.58	0.5	11.36	12.21	1.08	11.36	12.04	1.06	11.36	12.60	1.11	11.36	12.32	1.08
44	-0.75	0.5	9.32	9.98	1.07	9.32	10.26	1.10	9.32	9.76	1.05	9.32	9.67	1.04
45	-0.92	0.5	9.22	8.26	0.90	9.22	7.82	0.85	9.22	8.89	0.96	9.22	8.63	0.94

wave period (T) = 0.82 sec

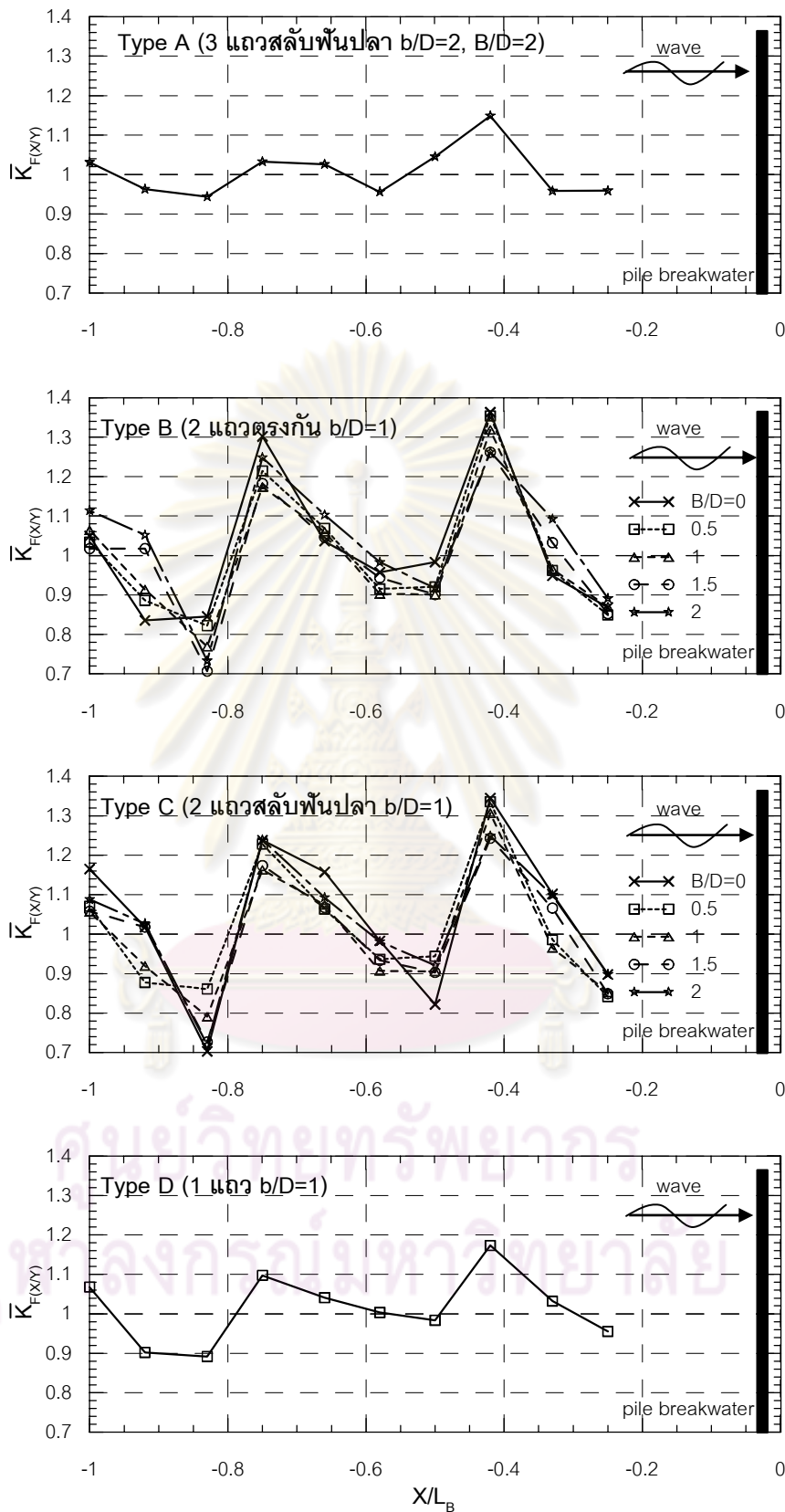




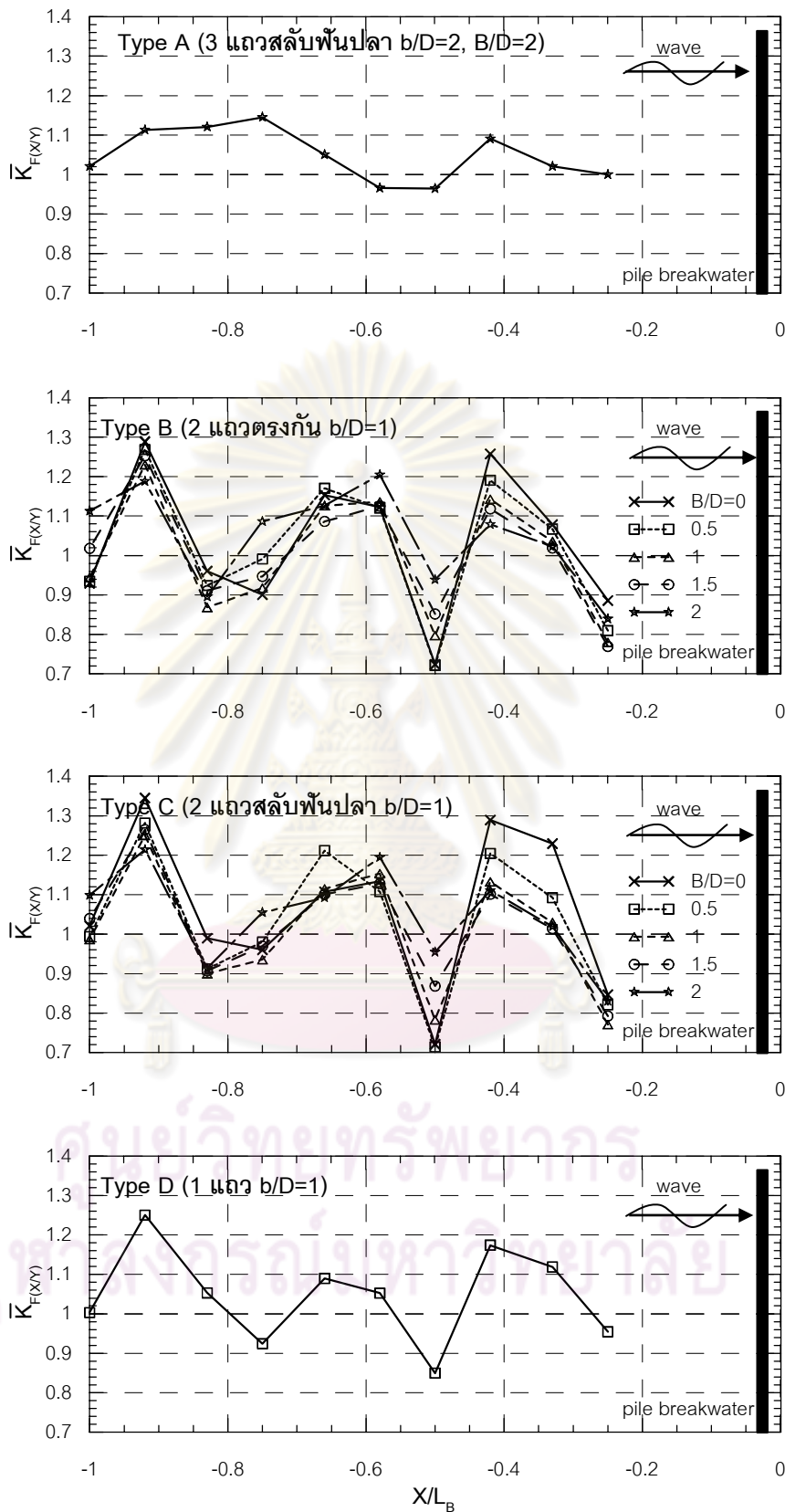
รูปที่ ๑-1 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความสูงคลื่นด้านหน้าเชื่อมกันคลื่น ( $\bar{K}_{F(X,Y)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น ( $X/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0030



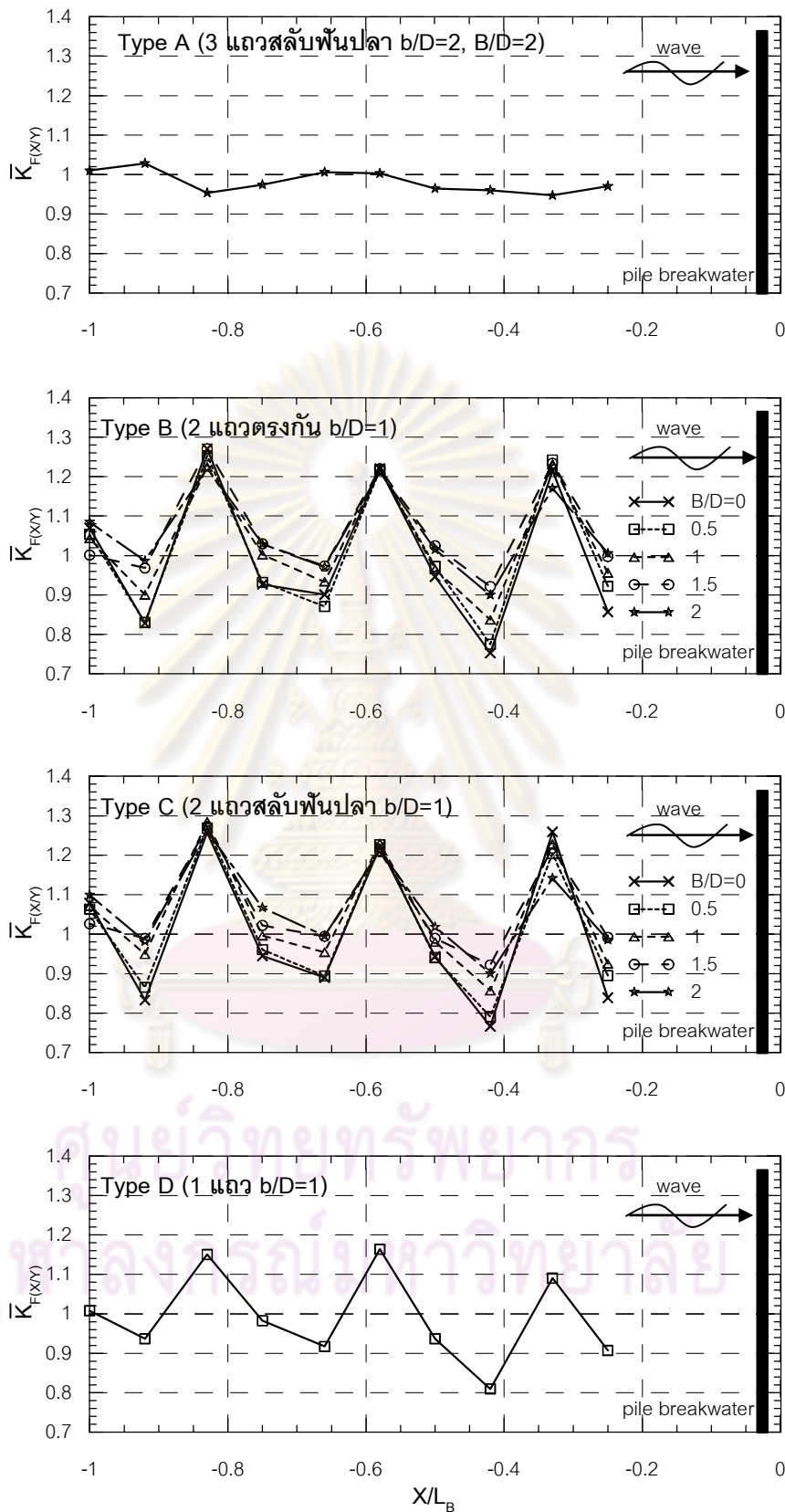
รูปที่ ๑-2 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความสูงคลื่นด้านหน้าเชื่อมกันคลื่น ( $\bar{K}_{F(x,y)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น ( $X/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0062



รูปที่ ๓-3 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความสูงคลื่นด้านหน้าเขื่อนกันคลื่น ( $\bar{K}_{F(X,Y)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $X/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0110




รูปที่ ๔-4 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความสูงคลื่นด้านหน้าเชื่อมกันคลื่น ( $\bar{K}_{F(X,Y)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น ( $X/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0138



รูปที่ ๕-5 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความสูงคลื่นด้านหน้าเชื่อมกันคลื่น ( $\bar{K}_{F(X,Y)}$ ) กับระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น ( $X/L_B$ ) กรณีความชันคลื่น ( $H_N/gT^2$ ) เท่ากับ 0.0164





ภาคผนวก ช  
สรุปผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเชือกกันคลื่นแบบเสาเข็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข

### สรุปผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม

เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (pile breakwater) หรือแนวกันคลื่นที่ใช้เสาเข็มเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมชายฝั่งที่ทำหน้าที่สลายพลังงานและลดความรุนแรงของคลื่น โดยการสลายพลังงานคลื่นเกิดจากการสะท้อนและการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่น ดังเป็นที่ทราบแน่ชัดแล้วว่าการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและการสลายพลังงานคลื่น ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นนั้นมีความสลับซับซ้อน ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะคลื่นกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องในทางทฤษฎีล้วนได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นในการหาคำตอบจากปัญหาดังกล่าวจึงมุ่งไปที่การอธิบายและการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองกายภาพ (physical model) ประกอบกับเทคนิคการวิเคราะห์มิติ (dimensional analysis) ในการรวมตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่างๆ เป็นกลุ่มตัวแปร แล้วหาความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรที่ได้ในรูปของสมการหรือกราฟความสัมพันธ์เพื่อใช้ในการประเมินหรือคาดคะเนพฤติกรรมที่เกิดขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของเขื่อนกันคลื่นในการลดและสลายพลังงานคลื่น โดยศึกษาถึงผลของการจัดเรียง รูปแบบของเขื่อนกันคลื่น รูปร่างเสาเข็ม ขนาดคลื่น เป็นต้น การศึกษาเริ่มต้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1966 จนถึงปัจจุบัน (2008) รายละเอียดสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ ข-1

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-1 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม

ผู้ศึกษา, ปีที่ศึกษา	เรื่องการศึกษา	รูปแบบและวิธีที่ศึกษา	ผลการศึกษา สรุป และหมายเหตุ
Hayashi, Hattori, Kano and Shirai, 1966	เขื่อนกันคลื่นแบบ เสาเข็มที่มี ระยะห่างน้อย	ใช้เสาเข็มรูปทรงกระบอก จัดเรียงแถวเดี่ยว ช่องว่าง ระหว่างต้นต่อขนาดของ เสาเข็ม (b/D) เท่ากับ 0.058 ถึง 0.222 ทดลอง ในรางน้ำ โดย เปลี่ยนแปลงความสูง คลื่น (H) แต่คาบเวลา (T) คงที่	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) เพิ่มขึ้น และสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น ( $K_R$ ) ลดลง เมื่อ b/D เพิ่มขึ้น และความสูงคลื่น เพิ่มขึ้น โดยค่า $K_T$ อยู่ในช่วง 0.22 ถึง 0.7 และค่า $K_R$ อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.6
Nagai, 1966	เขื่อนกันคลื่นที่ทำ จากท่อเหล็ก	ใช้ท่อรูปทรงกระบอก จัดเรียงแถวเดี่ยว ที่มี b/D เท่ากับ 0.05 ทดลองใน อ่างคลื่นเปลี่ยนแปลงทั้ง ความสูงและคาบคลื่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) อยู่ในช่วง 0.28 ถึง 0.42 และในกรณีที่น้ำสามารถ ข้ามเขื่อนกันคลื่นได้ ค่า $K_T$ เพิ่มขึ้น ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์
Hayashi, Hattori and Shirai, 1968	เขื่อนกันคลื่นแบบ เสาเข็มที่มี ระยะห่างน้อย	ใช้เสาเข็มรูปทรงกระบอก จัดเรียงแถวเดี่ยว ที่มี b/D เท่ากับ 0.04 ถึง 0.2 ทดลองในรางน้ำ โดย เปลี่ยนแปลงทั้งความสูง คลื่นและความยาวคลื่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) เพิ่มขึ้น และสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น ( $K_R$ ) ลดลง เมื่อ b/D เพิ่มขึ้น และความชันคลื่น (H/L) เพิ่มขึ้น โดยค่า $K_T$ อยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.6 และค่า $K_R$ อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.6
Weele and Herbich , 1972	การสะท้อนและ การส่งผ่านคลื่น ของเสาเข็มกลุ่ม	ใช้เสาเข็มรูปทรงกระบอก จัดเรียงแบบแถวตรงกัน (rectangle) ขนาด 4 × 4 ต้น ที่มี ช่องว่างระหว่าง ต้น (b/D) และช่องว่าง ระหว่างแถว (B/D) ตั้งแต่ 1 ถึง 4 และได้จัดเรียง แบบสลับฟันปลา (staggering) โดยมี b/D และ B/D เท่ากับ 2 ทดลองในรางน้ำ ใช้ความ ชันคลื่น 3 ขนาด	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) เพิ่มขึ้น และสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น ( $K_R$ ) ลดลง เมื่อ b/D เพิ่มขึ้น B/D เพิ่มขึ้น และความชันคลื่นเพิ่มขึ้น ส่วนการจัดเรียง แบบสลับฟันปลาไม่ส่งผลต่อค่า $K_R$ แต่ ส่งผลต่อการลดลงของค่า $K_T$ เพียงเล็กน้อย จากกรณีแถวตรงกัน

ผู้ศึกษา, ปีที่ศึกษา	เรื่องที่ศึกษา	รูปแบบและวิธีที่ศึกษา	ผลการศึกษา สรุป และหมายเหตุ
Grune and Kohlhase, 1974	การส่งผ่านคลื่นของกำแพงที่เป็นช่อง	ใช้เสาเข็มสี่เหลี่ยมจัดเรียงเป็นแถวเดียว มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มต่อความกว้างของเสาเข็ม ตั้งแต่ 0 ถึง 1 และเปลี่ยนแปลงความหนาของเสาเข็ม ทดลองในอ่างคลื่น เปลี่ยนแปลงความชันคลื่นและทิศทางของคลื่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) เพิ่มขึ้นเมื่อช่องว่างระหว่างต้นเพิ่มขึ้น ความหนาของเสาเข็มลดลง และความชันคลื่นลดลง และการส่งผ่านคลื่นลดลงเมื่อคลื่นกระทำไม่ตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ( $\beta$ เท่ากับ 0) โดยลดลงเมื่อมุมที่กระทำมากขึ้น ( $\beta$ มากกว่า 0)
Hutchinson and Raudkivi, 1984	ศึกษาเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่ทำเรือ Half Moon Bay ประเทศนิวซีแลนด์	ใช้เสาเข็มรูปทรงกระบอกจัดเรียงแบบ 2 แถว โดยแถวหน้าตั้งตรงและแถวหลังเอียง ทดลองในรางน้ำ	สามารถลดคลื่นได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อระดับน้ำลดลง จะสามารถลดคลื่นได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้น
Truitt and Herbich, 1986	การส่งผ่านของคลื่นแบบสุ่ม (random wave) ที่ผ่านเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม	ใช้เสาเข็มรูปทรงกระบอกจัดเรียงแบบแถวเดียว ที่มี $b/D$ เท่ากับ 0.05 ถึง 0.2 ทดลองในรางน้ำโดยใช้คลื่นแบบสุ่ม โดยคำนวณค่า $K_T$ จากคลื่น $H_{rms}$ , $\bar{H}$ และ $H_s$	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) เพิ่มขึ้นเมื่อ $b/D$ เพิ่มขึ้น และจากการคำนวณค่า $K_T$ จากคลื่น $H_{rms}$ , $\bar{H}$ และ $H_s$ พบว่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย จากการทดลองค่า $K_T$ อยู่ในช่วง 0.27 ถึง 0.88
Herbich and Douglas, 1988	การส่งผ่านของคลื่นผ่านเขื่อนกันคลื่นที่มี 2 แถว	ใช้เสาเข็มรูปทรงกระบอกจัดเรียงแบบ 2 แถว ที่มีช่องว่างระหว่างต้น ( $b/D$ ) เท่ากับ 0.1 และ 0.2 และมีช่องว่างระหว่างแถว ( $B/D$ ) เท่ากับ 1 ทดลองในรางน้ำโดยใช้คลื่นที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ (irregular wave)	การจัดเรียงที่มีช่องว่างระหว่างต้นน้อยมีค่า $K_T$ น้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบการจัดเรียงแบบ 2 แถวกับแถวเดียว พบว่าแบบ 2 แถวลดคลื่นได้มากกว่าแถวเดียว โดยการจัดเรียงแบบ 2 แถวลดลงจากการจัดเรียงแบบแถวเดียวประมาณ 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ในกรณี $b/D$ เท่ากับ 0.1 และลดลงประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ในกรณี $b/D$ เท่ากับ 0.2 และยังพบว่า ค่า $K_T$ ลดลงเมื่อความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น คาบเวลาลดลง และความชันคลื่นเพิ่มขึ้น

ผู้ศึกษา, ปีที่ศึกษา	เรื่องที่ศึกษา	รูปแบบและวิธีที่ศึกษา	ผลการศึกษา สรุป และหมายเหตุ
Mani and Jayakuma, 1995	การส่งผ่านเขื่อนของเขื่อนกันคลื่นแบบเข็มแขวนลอย (Suspended pipe breakwater)	ใช้เสาเข็มรูปทรงกระบอกจัดเรียงเป็นแถวเดี่ยว ที่มี $b/D$ ตั้งแต่ 0.11 ถึง 1 และเปลี่ยนแปลงระยะจุมของเสาเข็มจากผิวน้ำต่อความลึกน้ำ ( $y/h$ ) ตั้งแต่ 0.26 ถึง 0.56 ทดลองในรางน้ำ โดยเปลี่ยนแปลงความชันคลื่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) เพิ่มขึ้นเมื่อ $b/D$ เพิ่มขึ้น $y/h$ ลดลง และความชันคลื่นลดลง จากการทดลองยังพบว่า เมื่อ $y/h$ มากกว่า 0.46 การลดคลื่นไม่แตกต่างกัน โดยเสนอความเหมาะสมในการใช้งานที่ $b/D$ เท่ากับ 0.22 และ $y/h$ เท่ากับ 0.46 ซึ่งสามารถลดคลื่นได้ 50 เปอร์เซ็นต์
Isaacson, Premasiri and Yang, 1998	คลื่นที่กระทำกับแนวกันคลื่น	ใช้เสาเข็มสี่เหลี่ยมผืนผ้าจัดเรียงเป็นแถวเดี่ยว ค่าความพรุนอยู่ในช่วง 5 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และเปลี่ยนแปลงระยะจุมของเสาเข็มจากผิวน้ำต่อความลึกน้ำ ( $y/h$ ) เท่ากับ 0.5 และ 1 ทดลองในรางน้ำ เปลี่ยนแปลงความชันคลื่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) เพิ่มขึ้น และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_R$ ) เมื่อความพรุนเพิ่มขึ้น จากการทดลองยังพบว่าค่า $K_T$ ลดลงและค่า $K_R$ เพิ่มขึ้นเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น
Rao, N.B.S. Rao and Sathyanarayana, 1999	การส่งผ่านคลื่นของการจัดเรียงเสาเข็มแบบ 2 แถวที่มีการเจาะรู	ใช้เสาเข็มรูปทรงกระบอกที่มีการเจาะรู จัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน (rectangle) ที่มี $b/D$ ตั้งแต่ 0.5 ถึง 1 และ $B/D$ ตั้งแต่ 0.5 ถึง 2 นอกจากนั้นได้จัดเรียงแบบสลับฟันปลา (staggering) ที่มี $b/D$ และ $B/D$ เท่ากับ 1 ทดลองในรางน้ำโดยเปลี่ยนแปลงทั้งความสูงและคาบเวลาของคลื่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) ลดลงเมื่อความชันคลื่น เพิ่มขึ้น $b/D$ ลดลง และ $B/D$ ลดลง จากการทดลองยังพบว่าการจัดเรียงแบบ 2 แถวลดคลื่นได้มากกว่าแบบแถวเดี่ยวเพียงเล็กน้อย ส่วนการจัดเรียงแบบสลับฟันปลานั้นให้ผลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยกับกรณีแถวตรงกัน โดยค่า $K_T$ อยู่ในช่วง 0.7 ถึง 0.9



ผู้ศึกษา, ปีที่ศึกษา	เรื่องที่ศึกษา	รูปแบบและวิธีที่ศึกษา	ผลการศึกษา สรุป และหมายเหตุ
Rao, Shirlal and N.B.S. Rao, 2002	การส่งผ่านและการสะท้อนคลื่นคลื่นของการจัดเรียงเสาเข็มแบบ 2 แถวที่มีการเจาะรู	ใช้เสาเข็มรูปทรงกระบอกที่มีการเจาะรู จัดเรียงแบบ 2 แถวตรงกัน (rectangle) ที่มี $b/D$ ตั้งแต่ 0.5 ถึง 1 และ $B/D$ ตั้งแต่ 0.5 ถึง 2 นอกจากนั้นได้จัดเรียงแบบสลับฟันปลา (staggering) ที่มี $b/D$ และ $B/D$ เท่ากับ 1 ทดลองในรางน้ำโดยเปลี่ยนแปลงทั้งความสูงและคาบเวลาของคลื่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) ลดลงและสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_R$ ) เพิ่มขึ้น เมื่อความชันคลื่น และ $B/D$ ลดลง แต่เมื่อ $b/D$ ลดลง ค่า $K_T$ ลดลงและค่า $K_R$ เปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน จากการทดลองยังพบว่าการจัดเรียงแบบสลับฟันปลานั้นสะท้อนคลื่นได้มากกว่าแบบแถวตรงกันส่วนการส่งผ่านคลื่นให้ผลที่แตกต่างกันของเพียงเล็กน้อยกับกรณีแถวตรงกัน โดยค่า $K_T$ อยู่ในช่วง 0.7 ถึง 0.9 และ ค่า $K_R$ อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.3
Rao, N.B.S. Rao, Shirlal and Reddy, 2003	การสลายพลังงานของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มแขวนลอยที่เจาะรู (Suspended perforated pipe breakwater)	ใช้เสาเข็มรูปทรงกระบอกจัดเรียงเป็นแถวเดียว ที่มี $b/D$ เท่ากับ 0.15 และเปลี่ยนแปลงระยะจมนของเสาเข็มจากผิวน้ำต่อความลึกน้ำ ( $y/h$ ) ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.6 ทดลองในรางน้ำ โดยเปลี่ยนแปลงความชันคลื่น	พลังงานคลื่นลดลงเพิ่มขึ้น เมื่อความชันคลื่นและระยะจมนเพิ่มขึ้น จากการทดลองยังพบว่าที่ความพรุนของเสาเข็มเท่ากันขนาดของรูไม่มีผลต่อการสลายพลังงานคลื่น
Sundar and Subbarao, 2003	คุณลักษณะของเขื่อนกันคลื่นแบบผสมที่มีลักษณะ $1/4$ ของวงกลมและรองรับด้วยเสาเข็มรูปทรงกระบอก	เป็นเขื่อนกันคลื่นแบบผสมที่มีส่วนที่บิบน้ำบริเวณด้านบนเป็น $1/4$ ของวงกลมและรองรับด้วยเสาเข็มรูปทรงกระบอก ทดลองโดยเปลี่ยนแปลงระยะจมนของส่วนที่บิบน้ำและช่องว่างของเสาเข็มในรางน้ำ เปลี่ยนแปลงความสูงและคาบเวลาของคลื่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) ลดลงและสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_R$ ) เพิ่มขึ้น เมื่อระยะจมนของส่วนที่บิบน้ำมากขึ้น ส่วนช่องว่างของเสาเข็มไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า $K_T$ ลดลงและค่า $K_R$ อย่างมีนัยสำคัญ

ผู้ศึกษา, ปีที่ศึกษา	เรื่องที่ศึกษา	รูปแบบและวิธีที่ศึกษา	ผลการศึกษา สรุป และหมายเหตุ
Suh, Shin and Cox, 2006	คุณลักษณะของ เชื้อกันคลิ่นแบบ ผสมที่มีลักษณะ เป็นกำแพงและ รองรับด้วยเสาเข็ม สี่เหลี่ยมจัตุรัส	เป็นเชื้อกันคลิ่นแบบ ผสมที่มีส่วนที่บ้น้ำบริเวณ ด้านบนเป็นกำแพงและ รองรับด้วยเสาเข็ม สี่เหลี่ยมจัตุรัส ทดลอง โดยเปลี่ยนแปลงระยะจุม ของส่วนที่บ้น้ำอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.6 และใช้ ช่องว่างของเสาเข็ม เท่ากับความกว้างของ เสาเข็มวางน้ำ เปลี่ยนแปลงความสูงและ คาบเวลาของคลิ่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลิ่น ( $K_T$ ) ลดลง และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลิ่น ( $K_R$ ) เพิ่มขึ้น เมื่อระยะจุมของส่วนที่บ้น้ำมาก ขึ้น
Yagci, Kirca, Kabdasli, Celik, Unal and Aydingakko, 2006	การส่งผ่านคลิ่น และการวัด ความเร็วหลังแนว กันคลิ่น	ใช้เสาเข็มรูปทรงกระบอก จัดเรียงแถวเดียว ที่มี $b/D$ เท่ากับ 0.17 ทดลองใน รางน้ำ เปลี่ยนแปลงความ สูงและคาบเวลาของคลิ่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลิ่น ( $K_T$ ) เพิ่มขึ้น เมื่อความยาวคลิ่นเพิ่มขึ้น โดยค่า $K_T$ อยู่ใน ช่วง 0.3 ถึง 0.75 และยังพบว่าความเร็ว ของอนุภาคน้ำใต้คลิ่นลดลงมากบริเวณ ใกล้กับผิวหน้าแต่บริเวณใกล้กับท้องน้ำ ความสูงคลิ่นลดลงเล็กน้อย
Huang, 2007	การกระทำของ คลิ่นกับเสาเข็ม สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ จัดเรียงแถวเดียว หรือ 2 แถว	ใช้เสาเข็มสี่เหลี่ยมผืนผ้า จัดเรียงเป็นแถวเดียวและ 2 แถว กรณีแถวเดียวใช้ ความพรุนตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.29 และกรณี 2 แถว ความพรุนเท่ากับ 0.21 ทดลองในรางน้ำใช้คาบ คลิ่นเท่ากับ 1.1 วินาที และเปลี่ยนแปลงความสูง คลิ่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลิ่น ( $K_T$ ) ลดลง และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลิ่น ( $K_R$ ) เพิ่มขึ้น เมื่อความพรุนลดลง และยังพบว่า ค่า $K_T$ ลดลงและค่า $K_R$ เพิ่มขึ้น เมื่อความ สูงของคลิ่นเพิ่มขึ้น

ผู้ศึกษา, ปีที่ศึกษา	เรื่องที่ศึกษา	รูปแบบและวิธีที่ศึกษา	ผลการศึกษา สรุป และหมายเหตุ
Suh, Jung and Pyun, 2007	การสะท้อนและการส่งผ่านคลื่นของเชือกกันคลื่นแบบผสมที่มีลักษณะเป็นกำแพงและรองรับด้วยเสาเข็มรูปทรงกระบอก	เป็นเชือกกันคลื่นแบบผสมที่มีส่วนที่บนน้ำบริเวณด้านบนเป็นกำแพงและรองรับด้วยเสาเข็มรูปทรงกระบอก ทดลองโดยเปลี่ยนแปลงระยะจุมของส่วนที่บนน้ำ และเปลี่ยนแปลงระยะห่างของเสาเข็ม รวมถึงเปลี่ยนแปลงความสูงและคาบเวลาของคลื่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) ลดลง และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_R$ ) เพิ่มขึ้น เมื่อระยะจุมของส่วนที่บนน้ำมากขึ้น และยังพบว่าค่า $K_T$ ลดลงและค่า $K_R$ เพิ่มขึ้น เมื่อความลึกน้ำและความสูงของคลื่นเพิ่มขึ้น
Mani, 2008	การทดลองเชือกกันคลื่นแบบผสมที่มีลักษณะซิกแซก	เป็นเชือกกันคลื่นแบบผสมที่มีด้านบนเป็นแผ่นกรงคลื่นที่มีความพรุนและรองรับด้วยเสาเข็มรูปทรงกระบอกที่จัดเรียงแบบซิกแซก ทดลองโดยเปลี่ยนแปลงระยะจุมของแผ่นกรงคลื่น และเปลี่ยนแปลงความชันคลื่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_T$ ) ลดลง เมื่อระยะจุมของแผ่นกรงคลื่นเพิ่มขึ้น และความชันคลื่นเพิ่มขึ้น ส่วนสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $K_R$ ) มีการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน
ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และ คณะ, 2551	ศึกษาการส่งผ่านคลื่นของเชือกกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปสามเหลี่ยม	ใช้เสาเข็มรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าจัดเรียงแบบ 3 แถวสลับฟันปลา มีช่องว่างระหว่างต้นและช่องว่างระหว่างแถวเป็น 2 เท่าของความกว้างเสาเข็ม ซึ่งมีการสร้างจริงบริเวณบ้านขุนสมุทรจีน จ.สมุทรปราการ ศึกษาโดยวัดข้อมูลภาคสนาม	ความสูงคลื่นลดลงเฉลี่ยประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์



ภาคผนวก ซ

สรุปลัญลักษณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ภาคผนวก ซ**  
**สรุปสัญลักษณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์**

ตารางที่ ซ-1 สัญลักษณ์และคำอธิบายที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

a	แอมพลิจูดของคลื่น
b	ช่องว่างระหว่างต้นในแถวเดียวกัน
B	ช่องว่างระหว่างแถว
C	ความเร็วของคลื่น
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม
d or h	ความลึกน้ำ
$d_{50}$	ขนาดเฉลี่ยของเม็ดวัสดุท้องน้ำ
E	พลังงานคลื่นรวม
$\bar{E}$	พลังงานคลื่นจำเพาะ (E/L)
$E_i$	พลังงานคลื่นที่เข้ามา หรือพลังงานคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น
$E_{loss}$	พลังงานคลื่นที่สูญเสียจากตัวเขื่อนกันคลื่น
$E_R$	พลังงานคลื่นสะท้อน
$E_N$	พลังงานคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่น
$\Delta E$	พลังงานคลื่นที่เขื่อนกันคลื่นสลาย
g	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก
H	ความสูงของคลื่น
$H_i$	ความสูงคลื่นที่เข้ากระทบ
$H_N$	ความสูงคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น
$H_r$	ความสูงคลื่นสะท้อน
$\bar{H}$	ความสูงคลื่นเฉลี่ย
$H_{rms}$	ความสูงคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสอง
$H_s$ or $H_{1/3}$	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ
$H_p$	ความสูงคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่น
$H_t$	ความสูงคลื่นที่ส่งผ่าน
$K_E$	พลังงานจลน์รวมของคลื่น
$K_p$	อัตราส่วนลดความสูงคลื่น
$K_{p(x,y)}$	ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งใดๆ



ตารางที่ ข-1 สัญลักษณ์และคำอธิบายที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

$\bar{K}_{P(X/Y)}$	ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวขนานเชื่อมกันคลื่น
$\bar{K}_{P(Y/X)}$	ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากเชื่อมกันคลื่น
$\bar{K}_{P(A)}$	ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่
$K_R$	สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น ( $H_i/H_r$ )
$K_T$	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ( $H_t/H_i$ )
$L$	ความยาวของคลื่น
$L_B$	ความยาวของเชื่อมกันคลื่น
$m$	ความลาดชันของท้องน้ำ
$p$	เปอร์เซ็นต์ความพรุนของเสาเข็ม
$P_E$	พลังงานศักย์รวมของคลื่น
$P_{E1}$	พลังงานศักย์ที่คิดจากท้องน้ำถึงระดับผิวน้ำอิสระ
$P_{E2}$	พลังงานศักย์ที่คิดจากท้องน้ำถึงระดับน้ำนิ่ง
$T$	คาบเวลาของคลื่น
$u$	ความเร็วของอนุภาคน้ำภายใต้คลื่นในแนวราบ
$w$	ความเร็วของอนุภาคน้ำภายใต้คลื่นในแนวตั้ง
$X$	ระยะทางตามแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่นจากกึ่งกลางของเชื่อมกันคลื่น
$Y$	ระยะทางตามแนวขนานกับเชื่อมกันคลื่นจากกึ่งกลางของเชื่อมกันคลื่น
$\alpha_0$	ทิศทางของคลื่น
$\eta$	ระดับผิวน้ำอิสระของคลื่น
$\rho$	ความหนาแน่นของน้ำ
$\nu$	ค่าความหนืด (kinematics viscosity) ของน้ำ
$\phi_H$	ค่าการลดลงของความสูงคลื่น
$\phi_E$	การสลายพลังงานคลื่น
$b/D$	อัตราส่วนช่องว่างระหว่างต้นตอขนาดเสาเข็ม
$B/D$	อัตราส่วนระหว่างช่องว่างระหว่างแถวต่อขนาดเสาเข็ม
$B'/D$	อัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างแถวต่อขนาดเสาเข็ม
$\Delta E/E_i$	อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่สลายต่อพลังงานที่เข้ากระทบ
$H/gT^2$	ความชันคลื่นกระทบแบบไร้มิติ
$H_N/gT^2$	ความชันคลื่นกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่นแบบไร้มิติ

ตารางที่ ซ-1 สัญลักษณ์และคำอธิบายที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

X/L <sub>B</sub>	อัตราส่วนระหว่างระยะทางตามแนวตั้งฉากต่อความยาวของเข็อนกันคลื่น
Y/L <sub>B</sub>	อัตราส่วนระหว่างระยะทางตามแนวขนานต่อความยาวของเข็อนกันคลื่น



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

- ชื่อ นายเมธาฤทธิ์ แนมสัย
- เกิด 17 สิงหาคม 2526 จังหวัด สงขลา
- การศึกษา ปีการศึกษา 2548 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.โยธา)  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- ปีการศึกษา 2548 สำเร็จการศึกษารัฐศาสตรบัณฑิต (ร.บ.)  
แขนงวิชาทฤษฎีและเทคนิคทางรัฐศาสตร์ สาขารัฐศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
- ปีการศึกษา 2549 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.)  
ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ประสบการณ์ 2549-2550 ได้รับทุนโครงการจัดการศึกษาสาขาวิศวกรรมศาสตร์ ของ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 2550-2551 ได้รับทุนผู้ช่วยสอน ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 2551-2552 ได้รับทุนวิจัย ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิจัยทรัพยากรน้ำ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย