

ลักษณะคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างของเสาเข็มไม่เท่ากัน



นางสาววันวิสา มะมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

WAVE CHARACTERISTICS OF UN-EQUALLY SPACED PILE BREAKWATER



Miss Vanvisa Mama

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 2010

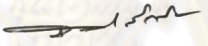
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ลักษณะคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างของ
เสาเข็มไม่เท่ากัน
โดย นางสาววันวิสา มะมา
สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


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


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธา)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.สมปรรธนา ฤทธิพิริ้ง)

วันวิสา มะมา : ลักษณะคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างของเสาเข็มไม่เท่ากัน
(WAVE CHARACTERISTICS OF UN-EQUALLY SPACED PILE BREAKWATER)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.เสวี จันทรโยธา, 250 หน้า.

การศึกษาผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอก ที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น บริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่น ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองกายภาพ ณ ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีรูปแบบของการจัดเรียงเสาเข็มรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.85 ซม. จำนวน 22 ต้น โดยให้ระยะห่างแถวเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างต้นไม่เท่ากัน โดยกำหนดให้อยู่ในรูปแบบฟังก์ชันอนุกรมทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย เพื่อให้การจัดวางมีรูปแบบที่เป็นระบบ โดยแถวที่สองจัดเรียงเหมือนแถวที่หนึ่งแต่สลับตำแหน่งจากหัวไปท้ายเขื่อนกันคลื่น แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา คือ V0, V2, V4, V6, V8 และ V10 ซึ่งมาจากอัตราส่วนของช่องว่างระหว่างเสาต้นที่ 1 ต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (S_p/D) โดยเรียงลำดับจากค่าน้อยไปหามาก ดังนั้น แบบจำลอง V0 จึงมี (S_p/D) น้อยที่สุด เท่ากับ 0 และ แบบจำลอง V10 มี (S_p/D) มากที่สุด เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม ทดลองในแบบจำลองแอ่งคลื่นที่มีท้องน้ำไม่เปลี่ยนแปลง คลื่นที่ศึกษาเป็นคลื่นที่มีขนาดสม่ำเสมอสร้างด้วยเครื่องกำเนิดคลื่น มีความชันคลื่น (H_w/gT^2) อยู่ในช่วง 0.001 ถึง 0.008

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างของเสาเข็มเท่ากัน และไม่เท่ากัน ทั้ง 2 รูปแบบ ส่งผล ให้ความสูงคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่นเพิ่มขึ้น เมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้นจนถึง 0.005 หลังจากนั้น ความสูงคลื่นลดลง เมื่อความชันคลื่นเพิ่มมากขึ้น จากการเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่ผ่านเขื่อนกันคลื่นของการจัดเรียงที่ระยะห่างของเสาเข็มไม่เท่ากัน พบว่า มีความแตกต่าง กับความสูงคลื่นที่จัดเรียงระยะห่างของเสาเข็มเท่ากัน อย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดลองพบว่า ความเร็วอนุภาคน้ำเฉลี่ย สูงสุดภายใต้วงโคจรคลื่น เพิ่มขึ้น ตามความชันคลื่นที่เพิ่มขึ้นทั้ง 2 รูปแบบการจัดเรียง อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า คลื่นบริเวณด้านหลังเขื่อนกันคลื่นที่จัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน มีการกระจายตัวของความสูงคลื่นไม่สม่ำเสมอ โดยความสูงคลื่นบริเวณด้านหลังเขื่อนกันคลื่น ในส่วนที่แถวที่สองวางเสาชิดกว่าจะมีความสูงคลื่นน้อยกว่าอีกส่วนหนึ่งที่วางเสามากกว่า นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเฉลี่ยเมื่อมี และไม่มีเขื่อนกันคลื่น ไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้อย่างชัดเจนกับความชันคลื่น และรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น (S_p/D)

ภาควิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ..... ลายมือชื่อนิสิต.....วันวิสา มะมา.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2553.....

5070441021 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS : EXPERIMENTAL INVESTIGATION / HYDRAULIC MODEL / UN-EQUALLY SPACED / PILE
BREAKWATER / HYDRAULIC CHARACTERISTICS

VANVISA MAMA : WAVE CHARACTERISTICS OF UN-EQUALLY SPACED PILE
BREAKWATER. ADVISOR : ASST.PROF.SEREE CHANYOTHA, Ph.D., 250 pp.

Effects of the unequally-spaced arrangement of circular piles breakwater on wave characteristics behind the breakwater were experimentally investigated at the Hydraulic and Coastal Model Laboratory, Department of Water Resources Engineering, Chulalongkorn University. Twenty-two circular piles of 4.85 cm. in diameter arranged in two rows with a constant row clear spacing of 1 time pile diameter and different side-by-side clear spacings were used in this study. By using a simple mathematic series function, 6-different pile breakwater models of unequal side-by-side spacings were set systematically. Each of two pile rows was arranged in the same unequal spacing pattern set previously, however, two pile rows were laid out in a parallel and opposite direction. Types of the models under this investigation, namely models V0, V2, V4, V6, V8 and V10 were defined by the ratio of the side-by-side spacing of the first two piles in the first pile row to the pile diameter (S_1/D) and were set from the least S_1/D ratio to the highest. Consequently, model V0 would have the least S_1/D ratio of zero and model V10 would have the highest S_1/D ratio of a pile diameter. The experiment was carried out on 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 0.001 to 0.008

The experiment results indicated that both equally spaced and un-equally spaced pile breakwater models resulted in increasing observed wave heights behind the breakwaters for wave steepnesses up to 0.005 and then decreasing for higher wave steepnesses. The wave height through unequally-spaced pile breakwater in comparison with the equally-spaced one yielded significantly different amounts. The experiment results showed the average of maximum orbital velocity decreased as the wave steepness increased for all pile breakwater models. The result of the study also showed the more non-uniformity of the wave height distribution behind the unequally spaced pile breakwater model. In addition, the observed wave heights behind the breakwater of the closer space portion of the second row yielded lower wave heights than the other half portion. Apparently, observed mean water levels for both with and without pile breakwaters show unobvious change with neither wave steepness nor the S_1/D ratio.

Department : Water Resources Engineering

Field of Study : Water Resources Engineering

Academic Year : 2010

Student's Signature... Vanvisa Mama

Advisor's Signature... ..

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ท่านรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รัถวิชัย รองศาสตราจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี และท่านอาจารย์ ดร.สมปรารถนา ฤทธิ์พริ้ง ที่ได้กรุณาสละเวลาในการให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธาทิ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ทั้งในด้านหลักวิชาการและหลักการปฏิบัติ ตลอดถึงปรัชญาการใช้ชีวิตอันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าอย่างเอาใจใส่มาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ทั้งนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา และอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการศึกษา

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

ขอขอบคุณ อาจารย์บุศวรรณ บิดร และอาจารย์อนุรักษ ศรีอริยวัฒน์ สำหรับความช่วยเหลือในทุกเรื่องและความเอาใจใส่ในตัวข้าพเจ้าเสมอมา ขอขอบคุณ คุณเมธาฤทธิ์ แนนสัย ที่ช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ขอขอบคุณ คุณอารักษ์ เขี้ยวแก้ว คุณรัชพล พิพิธสมบัติ ท็อป เติ้ล นัน พี่เอ พี่ต่อ พี่บอย พี่โต้ง พี่ปิยะ น้องพิณ น้องใจ น้องยุ่น น้องแมน ตลอดจนถึง พี่น้องชาวแหล่งน้ำ และบุคคลท่านอื่นๆ ที่มีได้กล่าวนาม ณ ที่นี้ซึ่งได้มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานด้านต่างๆ และคอยเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้าในขณะทำวิทยานิพนธ์

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

สารบัญ

ช

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบข่ายการศึกษา.....	2
1.4 การดำเนินงานศึกษา.....	7
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	7
บทที่ 2 หลักการและการศึกษาที่ผ่านมา.....	8
2.1 กลศาสตร์ของคลื่น.....	8
2.2 การเปลี่ยนแปลงคลื่น.....	11
2.3 ลักษณะคลื่นเคลื่อนที่ผ่านเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม.....	13
2.4 พลังงานของคลื่น.....	16
2.5 การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ.....	19
2.6 การศึกษาที่ผ่านมา.....	22
บทที่ 3 แบบจำลองชลศาสตร์และการทดลอง.....	28
3.1 แบบจำลองชลศาสตร์.....	28
3.2 การวัดข้อมูลคลื่นและความเร็วของอนุภาคน้ำ.....	41
3.3 การออกแบบการทดลอง.....	44
3.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	46
3.5 ผลการทดลอง.....	50

	หน้า
บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์.....	58
4.1 พฤติกรรมและกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นในแบบจำลอง.....	59
4.2 การเปลี่ยนแปลงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น.....	60
4.3 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น.....	79
4.4 ผลของความชันคลื่น.....	86
4.5 ผลการเปรียบเทียบการจัดเรียงคลื่น.....	100
4.6 การประมาณค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น.....	107
บทที่ 5 สรุปและเสนอแนะ.....	113
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	113
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	121
รายการอ้างอิง.....	123
ภาคผนวก.....	127
ภาคผนวก ก แบบจำลองกายภาพพลศาสตร์และอุปกรณ์การทดลอง.....	128
ภาคผนวก ข การปรับเทียบอุปกรณ์การทดลอง.....	143
ภาคผนวก ค ข้อมูลจากการทดลอง.....	152
ภาคผนวก ง การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น.....	184
ภาคผนวก จ สรุปผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเชื่อมกันคลื่นแบบเส้าเข็ม.....	237
ภาคผนวก ฉ สรุปสัญลักษณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....	246
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	250

สารบัญตาราง

ณ

	หน้า
ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติคลื่นในช่วงความถี่ต่างๆ.....	10
ตารางที่ 2-2 สรุปผลการศึกษาที่ผ่านมา.....	28
ตารางที่ 3-1 พหาวมีเตอร์คลื่นที่ใช้ในงานวิศวกรรมชายฝั่ง.....	42
ตารางที่ 3-2 แบบจำลองเชื่อมกันคลื่นแบบเสาเข็มในกรณีศึกษาทั้งหมด 6 รูปแบบ.....	45
ตารางที่ 3-3 ลักษณะคลื่นที่ใช้ในการศึกษา.....	46
ตารางที่ 3-4 รายละเอียดกรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นด้านหลังเชื่อมกันคลื่น....	48
ตารางที่ 3-5 ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูล กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0013.....	55
ตารางที่ 4-1 เปอร์เซ็นต์ ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดหลังเชื่อมกันคลื่น (ΔU).....	75
ตารางที่ 4-2 ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำหลังเชื่อมกันคลื่น (K_{WA}).....	78
ตารางที่ 4-3 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำหลังเชื่อมกันคลื่น	78
ตารางที่ 4-4 ผลวิเคราะห์ทางสถิติ t-test เปรียบเทียบการจัดเรียงเชื่อมกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่าง เสาเข็มเท่ากันกับการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10)	104
ตารางที่ 4-5 ตารางสรุปผลการทดลอง.....	106

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1-1 รูปแบบของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม.....	5
รูปที่ 2-1 นิยามพารามิเตอร์คลื่น.....	10
รูปที่ 2-2 การเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าสู่หน้าตื้น.....	11
รูปที่ 2-3 การกระจายของคลื่น.....	12
รูปที่ 2-4 ลักษณะของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม.....	15
รูปที่ 2-5 รูปสำหรับใช้อธิบายการหาพลังงานศักย์.....	17
รูปที่ 2-6 รูปสำหรับใช้อธิบายการหาพลังงานจลน์.....	18
รูปที่ 3-1 แบบจำลองแอ่งคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม.....	31
รูปที่ 3-2 รูปตัดแบบจำลองแอ่งคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม A-A	32
รูปที่ 3-3 องค์ประกอบของเครื่องกำเนิดคลื่น.....	33
รูปที่ 3-4 เครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter).....	34
รูปที่ 3-5 เครื่องมือวัดระดับน้ำ (point gauge).....	35
รูปที่ 3-6 เครื่องมือวัดความเร็วการไหลแบบ 3 ทิศทางของ OSK รุ่น ACM 300-D.....	35
รูปที่ 3-7 ชุดอุปกรณ์ช่วยเก็บข้อมูล.....	36
รูปที่ 3-8 รูปที่ 3-8 เขื่อนกันคลื่นแบบจำลอง V0.....	38
รูปที่ 3-9 รูปที่ 3-8 เขื่อนกันคลื่นแบบจำลอง V2.....	38
รูปที่ 3-10 รูปที่ 3-8 เขื่อนกันคลื่นแบบจำลอง V4.....	39
รูปที่ 3-11 รูปที่ 3-8 เขื่อนกันคลื่นแบบจำลอง V6.....	39
รูปที่ 3-12 รูปที่ 3-8 เขื่อนกันคลื่นแบบจำลอง V8.....	40
รูปที่ 3-13 รูปที่ 3-8 เขื่อนกันคลื่นแบบจำลอง V10.....	40
รูปที่ 3-14 ตำแหน่งวัดข้อมูลคลื่นในแบบจำลองทุกกรณีศึกษา.....	43
รูปที่ 3-15 ตำแหน่งวัดข้อมูลคลื่นและความเร็วของอนุภาคน้ำหลังเขื่อนกันคลื่น.....	44
รูปที่ 3-16 แผนผังขั้นตอนการทดลอง.....	49
รูปที่ 3-17 ตัวอย่างข้อมูลคลื่น.....	51
รูปที่ 3-18 ตัวอย่างความเร็วของอนุภาคน้ำภายใต้วงโคจรตามทิศทางคลื่น (u).....	51
รูปที่ 3-19 ตัวอย่างพื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น.....	52
รูปที่ 3-20 ตัวอย่างเวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยภายใต้วงโคจรคลื่นตามทิศทางคลื่น (u).....	53

รูปที่ 4-1 พื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นด้านหลังเชื่อมกันคลื่นรูปแบบ V0 กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078	61
รูปที่ 4-2 พื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นด้านหลังเชื่อมกันคลื่นรูปแบบ V2 กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078	62
รูปที่ 4-3 พื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นด้านหลังเชื่อมกันคลื่นรูปแบบ V4 กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078	63
รูปที่ 4-4 พื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นด้านหลังเชื่อมกันคลื่นรูปแบบ V6 กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078	64
รูปที่ 4-5 พื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นด้านหลังเชื่อมกันคลื่นรูปแบบ V8 กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078	65
รูปที่ 4-6 พื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสา เท่ากันด้านหลังเชื่อมกันคลื่นรูปแบบ V10 กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078	66
รูปที่ 4-7 เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด กรณีเชื่อมกันคลื่น V0 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0078.....	68
รูปที่ 4-8 ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางตามคลื่น เมื่อมีและไม่มีเชื่อมกันคลื่น กรณีความชันคลื่น เท่ากับ 0.0013.....	70
รูปที่ 4-9 ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางตามคลื่น เมื่อมีและไม่มีเชื่อมกันคลื่น กรณีความชันคลื่น เท่ากับ 0.0031.....	71
รูปที่ 4-10 ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางตามคลื่น เมื่อมีและไม่มีเชื่อมกัน คลื่น กรณีความชันคลื่น เท่ากับ 0.0078.....	72
รูปที่ 4-11 การเปลี่ยนแปลงค่า \bar{K}_p (y/x) ขนานกับเชื่อมกันคลื่นตามความชันคลื่น.....	80
รูปที่ 4-12 การเปลี่ยนแปลงค่า \bar{K}_p (y/x) กับ ระยะตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น ตามความชันคลื่น	84
รูปที่ 4-13 ผลของความชันคลื่นต่อการเปลี่ยนแปลงค่า \bar{K}_p (x/y) ตามแนวขนานกับเชื่อมกัน คลื่น.....	88
รูปที่ 4-14 การเปลี่ยนแปลงค่า \bar{K}_p (y/x) กับระยะตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น.....	93
รูปที่ 4-15 ผลของความชันคลื่น.....	97
รูปที่ 4-16 การเปลี่ยนแปลงค่า \bar{K}_p (x/y) กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078.....	101
รูปที่ 4-17 ผลของการจัดเรียงเชื่อมกันคลื่น.....	105
รูปที่ 4-18 การพิจารณาผลความชันคลื่นกับ \bar{K}_p (A).....	108



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงบริเวณชายฝั่งทะเลโดยเฉพาะการกัดเซาะชายฝั่ง ก่อให้เกิดผลกระทบในเชิงลบอย่างมากมายมหาศาล ไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียพื้นที่ดินชายฝั่งที่มักจะมีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูง ตลอดจนความเสียหายต่อระบบนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ชายฝั่งทะเลอีกด้วย ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีแนวชายฝั่งยาวกว่า 2,600 กิโลเมตร และในหลายพื้นที่ประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งที่รุนแรง จึงได้มีความพยายามจะหาทางป้องกันหรือลดความรุนแรงของการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งทะเลดังกล่าวด้วยวิธีการต่างๆ โดยเฉพาะการใช้โครงสร้างทางวิศวกรรมชนิดและรูปแบบต่างๆ เช่น โครงสร้างเขื่อนกันคลื่น (breakwater) เพื่อสลายพลังงานคลื่น (wave energy) อันเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการกัดเซาะชายฝั่งทะเล

เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (pile breakwater) เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นที่ใช้ลดพลังงานคลื่นลงเมื่อผ่านแนวเขื่อนกันคลื่นที่มักจะวางเป็นแนวตรงขนานกับแนวชายฝั่ง ในต่างประเทศได้ใช้เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มเพื่อลดความรุนแรงของคลื่นในพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่นลงในระดับที่สามารถใช้ประโยชน์ในพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่นได้ตามวัตถุประสงค์ เช่น ใช้เป็นพื้นที่สันหนาทหารทางน้ำ พื้นที่จอดเรือ เป็นต้น ในประเทศไทยได้มีการทดลองใช้โครงสร้างเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มในการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งทะเล ดังปรากฏตามรายงานการศึกษาของ ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ (2551) และอัปสรสุดา ศิริพงศ์ และคณะ (2553) เป็นต้น

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น (wave characteristics) และการสลายพลังงานคลื่นอันเนื่องมาจากเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มโดยส่วนใหญ่ใช้แบบจำลองทางกายภาพ แต่เนื่องจากลักษณะเฉพาะทางชลศาสตร์ (hydraulic characteristics) ของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มมีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปร่าง (size and shape) รูปแบบการจัดเรียง (arrangement pattern) ของเขื่อนกันคลื่น ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของคลื่น (wave characteristics) พลังงานคลื่น (wave energy) กระแสน้ำ (current) และระดับน้ำ (water level) แตกต่างกันไป ดังปรากฏในการศึกษาของ Hayashi et al. (1966), Nagai (1966) Hayashi et al. (1968), Hutchison and Raudkivi (1984), Truitt and Herbich (1986), Subba et al. (1999), Subba et al. (2002) และ เมธาฤทธิ์ แนมสัย (2552) เป็นต้น

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียง 2 แถว โดยในแต่ละแถวมีการจัดเรียงระยะห่างของเสาเข็มแต่ละต้นไม่เท่ากัน เพื่อศึกษาถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น อีกทั้งการศึกษายังครอบคลุมถึงผลของขนาดคลื่น ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายหลักคือ การศึกษาถึงลักษณะทางชลศาสตร์ (hydraulic characteristics) ของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอกที่มีการจัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน โดยการศึกษาจะประกอบด้วย

- 1) การศึกษาถึงอิทธิพลของการจัดเรียงแนวเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น อันได้แก่ ความสูงคลื่น ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยภายใต้วงโคจรคลื่นตามทิศทางคลื่น และระดับน้ำ
- 2) การศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของคลื่น ที่ความชันคลื่นขนาดต่างๆ จากผลของการจัดเรียงเสาเข็มที่มีระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากันในรูปแบบต่างๆ
- 3) วิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะทางชลศาสตร์ของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีการจัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากันและไม่เท่ากัน
- 4) ศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น และขนาดคลื่นกับรูปแบบของจัดเรียงเสาเข็มที่มีระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากันในรูปแบบต่างๆ

1.3 ขอบข่ายการศึกษา

การศึกษานี้ เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้แบบจำลองกายภาพ (physical model) เพื่อศึกษาถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น อันได้แก่ ความสูงคลื่น ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยภายใต้วงโคจรคลื่นตามทิศทางคลื่น และระดับน้ำ บริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่น จำลองในแอ่งคลื่น (wave basin) ขนาดกว้าง 10 ม. ยาว 20 ม. ลึก 0.70 ม. ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ศึกษาลักษณะคลื่น (wave characteristic) ที่สำคัญและสัมพันธ์กับพลังงานคลื่นอัน ได้แก่ ความสูงคลื่น ความชันคลื่น และความเร็วของอนุภาคน้ำภายใต้คลื่นบริเวณพื้นที่หลังเขื่อนกันคลื่น

2) เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาคือ มุ่งเน้นที่ผลของการจัดเรียงเสาเข็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยตามทิศทางคลื่น และระดับน้ำ บริเวณพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นเป็นหลัก ดังนั้นเพื่อลดผลจากการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำต่อลักษณะคลื่น จึงใช้แอ่งคลื่นมีลักษณะท้องน้ำเป็นแบบไม่เปลี่ยนแปลง ไม่มีความลาดเอียง และเป็นระบบปิดไม่มีการไหลเวียนของน้ำ ความลึกของน้ำในแอ่งคลื่นบริเวณติดตั้งเขื่อนกันคลื่น 35 ซม.

3) คลื่นที่ใช้ในการทดลอง สร้างด้วยเครื่องกำเนิดคลื่น (wave generator) เป็นคลื่นที่มีขนาดสม่ำเสมอ (regular wave) ทิศทางตั้งฉากกับโครงสร้าง โดยมีขนาดความชัน (H_w/gT^2) ตามความสามารถของเครื่องกำเนิดคลื่น (wave generator) อยู่ในช่วง 0.0013 ถึง 0.0078

4) เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่ใช้ในการศึกษาจะเป็นเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอกกลมแบบแนวตรง (linear alignment) โดยตัวเขื่อนเป็นโครงสร้างที่ยอมให้น้ำผ่านได้ (permeable) เสาเข็มทรงกระบอกทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.85 ซม. จัดเรียง 2 แถว จำนวนเสาเข็มแถวละ 11 ต้น มีช่องว่างระหว่างแถวเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม (B/D เท่ากับ 1) และเขื่อนกันคลื่นมีความยาวประมาณ 1 ม. (21 เท่าของขนาดเสาเข็ม) เท่ากันทุกรูปแบบ แต่การจัดเรียงในแต่ละแถวมีระยะห่างระหว่างเสาเข็มของที่ไม่เท่ากัน

5) รูปแบบของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงแบบ 2 แถวที่มีระยะห่างระหว่างเสาเข็มในแถวเดียวกันไม่เท่ากัน จะพิจารณาจากช่องว่างของเสาเข็มที่ไม่เท่ากัน โดยการเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มกับรูปแบบของฟังก์ชันอนุกรมทางคณิตศาสตร์แบบง่าย ๆ เพื่อให้การจัดเรียงเป็นระบบ และคำนึงถึงรูปแบบการจัดเรียงที่จะก่อให้เกิดความเป็นกลุ่มก้อน (massiveness) ซึ่งพฤติกรรมทางชลศาสตร์ (Hydraulic behavior) ของกลุ่มเสาเข็มมากที่สุดบนสมมติฐานที่ว่า ความเป็นกลุ่มก้อนของกลุ่มเสาเข็มเชิงชลศาสตร์ที่มีมากขึ้นน่าจะลดความสามารถการส่งผ่านของคลื่น (wave transmissivity) และเพิ่มความสะท้อนกลับของคลื่น (wave reflectivity) อันน่าจะเป็นผลของการลดลงหรือสลายพลังงานคลื่น (wave energy dissipation) หลังเขื่อนกันคลื่นโดยรวม โดยการหาลำดับที่ของช่องว่างระหว่างเสาที่มีการเพิ่ม/ลดขนาดช่องว่างระหว่างเสาตามลำดับตำแหน่งเสาที่เพิ่ม/ลด เป็นสัดส่วนที่เท่ากันในรูปแบบสมการอนุกรมเชิงเส้นแบบง่าย หาได้จากสมการ (1-1)

$$S_{i+1} = S_i + \Delta \quad (1-1)$$

เมื่อ S_{i+1} คือ ช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ $i+1$

S_i คือ ช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ i

Δ คือ ผลต่างช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน

โดยที่ Δ เท่ากับ $\frac{S_n - S_1}{n-1}$ เมื่อแทน ในสมการ (1-1) จะได้

$$S_{i+1} = S_i + \frac{S_n - S_1}{n-1} \quad (1-2)$$

S_1 คือ ช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1

S_n คือ ช่องว่างระหว่างเสาลำดับสุดท้าย

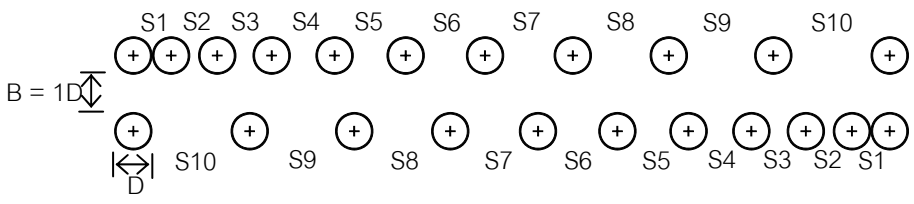
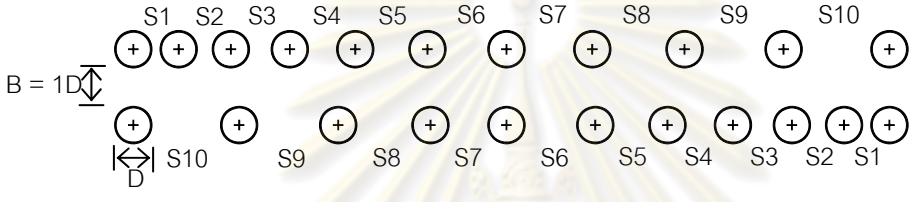
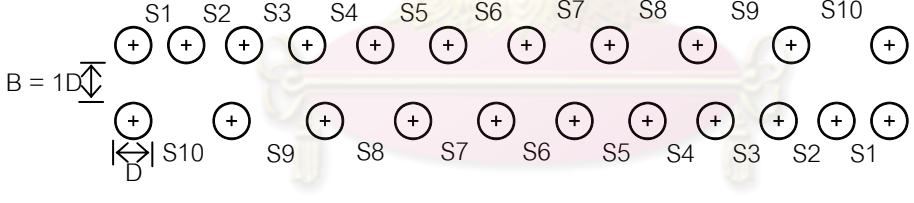
n คือ จำนวนช่องว่างระหว่างเสาทั้งหมดในแต่ละแถว (ในการศึกษา $n = 10$)

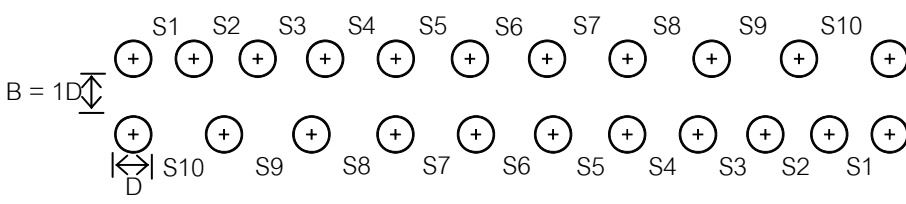
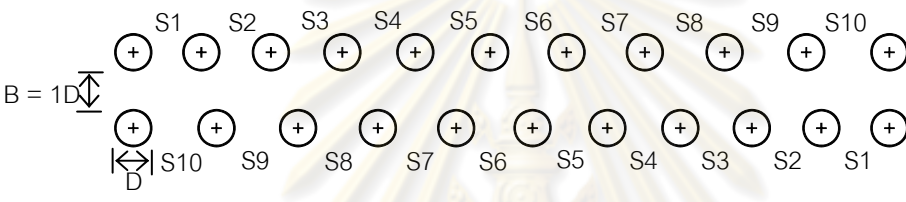
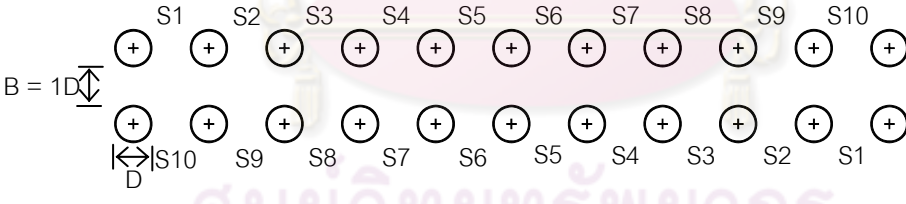
การหาค่าช่องว่างระหว่างเสาลำดับสุดท้าย (S_n) หาได้จากสมการ (1-3) ซึ่งต้องกำหนดค่าช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) ก่อน โดยการศึกษาครั้งนี้กำหนดค่าช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) ตั้งแต่ค่า 0 ถึง 1 เท่าของช่องว่างระหว่างเสาของการจัดเรียงแบบระยะห่างเท่ากัน (0 ถึง 1b) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้ช่องว่างระหว่างเสาของการจัดเรียงแบบช่องว่างระหว่างเสาเท่ากันเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม ($b = 1D$ เมื่อ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม) ดังนั้นช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) จะเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึง 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม (0 ถึง $1D$) และเมื่อเพิ่มช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) ที่ละ 0.2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ($0.2D$) จะได้รูปแบบของการจัดเรียงทั้งหมด 6 รูปแบบ โดยรูปแบบการจัดเรียงที่กำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม จะเป็นการจัดเรียงที่มีช่องว่างระหว่างเสาเท่ากัน

$$S_1 + S_n = 2b \quad (1-3)$$

เมื่อ b คือ ช่องว่างระหว่างเสาของการจัดเรียงแบบระยะห่างเท่ากัน

การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีช่องว่างระหว่างเสาไม่เท่ากันทั้ง 6 รูปแบบ การจัดเรียงในแถวที่ 1 จะมีการจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาจากลำดับน้อยไปมาก (S_1 ถึง S_{10}) และแถวที่ 2 มีการจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาจากลำดับมากไปน้อย (S_{10} ถึง S_1)

 <table border="1" data-bbox="347 492 1193 582"> <thead> <tr> <th>S1</th><th>S2</th><th>S3</th><th>S4</th><th>S5</th><th>S6</th><th>S7</th><th>S8</th><th>S9</th><th>S10</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0D</td><td>0.22D</td><td>0.44D</td><td>0.67D</td><td>0.89D</td><td>1.11D</td><td>1.33D</td><td>1.56D</td><td>1.78D</td><td>2D</td></tr> </tbody> </table>	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	0D	0.22D	0.44D	0.67D	0.89D	1.11D	1.33D	1.56D	1.78D	2D	<p>แบบจำลอง V0</p> <p>$S1=0D$</p> <p>$\Delta=0.222D$</p>
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10												
0D	0.22D	0.44D	0.67D	0.89D	1.11D	1.33D	1.56D	1.78D	2D												
 <table border="1" data-bbox="338 958 1193 1048"> <thead> <tr> <th>S1</th><th>S2</th><th>S3</th><th>S4</th><th>S5</th><th>S6</th><th>S7</th><th>S8</th><th>S9</th><th>S10</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.20D</td><td>0.38D</td><td>0.56D</td><td>0.73D</td><td>0.91D</td><td>1.09D</td><td>1.27D</td><td>1.44D</td><td>1.62D</td><td>1.80D</td></tr> </tbody> </table>	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	0.20D	0.38D	0.56D	0.73D	0.91D	1.09D	1.27D	1.44D	1.62D	1.80D	<p>แบบจำลอง V2</p> <p>$S1=0.2D$</p> <p>$\Delta=0.177D$</p>
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10												
0.20D	0.38D	0.56D	0.73D	0.91D	1.09D	1.27D	1.44D	1.62D	1.80D												
 <table border="1" data-bbox="338 1422 1193 1512"> <thead> <tr> <th>S1</th><th>S2</th><th>S3</th><th>S4</th><th>S5</th><th>S6</th><th>S7</th><th>S8</th><th>S9</th><th>S10</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.40D</td><td>0.56D</td><td>0.67D</td><td>0.80D</td><td>0.93D</td><td>1.07D</td><td>1.20D</td><td>1.33D</td><td>1.47D</td><td>1.60D</td></tr> </tbody> </table>	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	0.40D	0.56D	0.67D	0.80D	0.93D	1.07D	1.20D	1.33D	1.47D	1.60D	<p>แบบจำลอง V4</p> <p>$S1=0.4D$</p> <p>$\Delta=0.133D$</p>
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10												
0.40D	0.56D	0.67D	0.80D	0.93D	1.07D	1.20D	1.33D	1.47D	1.60D												
<p>รูปที่ 1-1 การจัดเรียงแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม</p>																					

 <p>$B = 1D$</p> <table border="1" data-bbox="336 548 1189 638"> <thead> <tr> <th>S1</th><th>S2</th><th>S3</th><th>S4</th><th>S5</th><th>S6</th><th>S7</th><th>S8</th><th>S9</th><th>S10</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.60D</td><td>0.69D</td><td>0.78D</td><td>0.87D</td><td>0.96D</td><td>1.04D</td><td>1.13D</td><td>1.22D</td><td>1.31D</td><td>1.40D</td></tr> </tbody> </table>	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	0.60D	0.69D	0.78D	0.87D	0.96D	1.04D	1.13D	1.22D	1.31D	1.40D	<p>แบบจำลอง V6</p> <p>$S1=0.6D$</p> <p>$\Delta=0.089D$</p>
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10												
0.60D	0.69D	0.78D	0.87D	0.96D	1.04D	1.13D	1.22D	1.31D	1.40D												
 <p>$B = 1D$</p> <table border="1" data-bbox="336 1019 1189 1108"> <thead> <tr> <th>S1</th><th>S2</th><th>S3</th><th>S4</th><th>S5</th><th>S6</th><th>S7</th><th>S8</th><th>S9</th><th>S10</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.80D</td><td>0.84D</td><td>0.89D</td><td>0.93D</td><td>0.98D</td><td>1.02D</td><td>1.07D</td><td>1.11D</td><td>1.16D</td><td>1.20D</td></tr> </tbody> </table>	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	0.80D	0.84D	0.89D	0.93D	0.98D	1.02D	1.07D	1.11D	1.16D	1.20D	<p>แบบจำลอง V8</p> <p>$S1=0.8D$</p> <p>$\Delta=0.044D$</p>
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10												
0.80D	0.84D	0.89D	0.93D	0.98D	1.02D	1.07D	1.11D	1.16D	1.20D												
 <p>$B = 1D$</p> <table border="1" data-bbox="391 1489 1189 1579"> <thead> <tr> <th>S1</th><th>S2</th><th>S3</th><th>S4</th><th>S5</th><th>S6</th><th>S7</th><th>S8</th><th>S9</th><th>S10</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1D</td><td>1D</td><td>1D</td><td>1D</td><td>1D</td><td>1D</td><td>1D</td><td>1D</td><td>1D</td><td>1D</td></tr> </tbody> </table>	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	<p>แบบจำลอง V10</p> <p>(equal spacing)</p> <p>$S1=1D$</p> <p>$\Delta=0D$</p>
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10												
1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D												
<p>รูปที่ 1-1 การจัดเรียงแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (ต่อ)</p>																					

1.4. การดำเนินการศึกษา

การศึกษานี้ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ เพื่อให้ครอบคลุมขอบข่ายและวัตถุประสงค์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

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

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) ทราบถึงผลของการจัดเรียงแนวเชื่อมกันคลื่นแบบเส้าเข็มรูปแบบต่างๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น อันได้แก่ ความสูงคลื่น ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยภายใต้วงโคจรคลื่นตามทิศทางคลื่น และระดับน้ำ

2) ทราบถึงอิทธิพลของความชื้นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น อันได้แก่ ความสูงคลื่น ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยภายใต้วงโคจรคลื่นตามทิศทางคลื่น และระดับน้ำ

3) ได้รับประสบการณ์และแนวทางในการดำเนินงานวิจัย โดยใช้แบบจำลองทางกายภาพในการหาคำตอบของปัญหาทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งที่ตั้งขึ้นอย่างเป็นระบบได้

4) เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้เชื่อมกันคลื่นแบบเสาเข็มในงานชายฝั่งทะเล และเป็นแนวทางสำหรับการศึกษา วิจัยขั้นต่อไปของผู้สนใจในด้านวิศวกรรมชายฝั่งทะเล



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการและการศึกษาที่ผ่านมา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทบทวนทฤษฎีและการศึกษาที่ผ่านมา รายละเอียดประกอบด้วย กลศาสตร์ของคลื่น การเปลี่ยนแปลงของคลื่น ลักษณะคลื่นที่เชื่อมกันคลื่นแบบเสาเข็ม พลังงานคลื่น 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 มีลักษณะวงโคจรเป็นรูปวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางของวงโคจรที่ผิวหน้าอิสระเท่ากับความสูงคลื่น และเส้นผ่านศูนย์กลางของวงโคจรจะลดลงตามกำลังฐาน e (exponentially) จนกระทั่งถึงความลึกประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น หลังจากความลึกดังกล่าวถือว่าไม่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอนลึกลับเป็นศูนย์กลางของน้ำใต้คลื่นจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมารอบจุดเฉลี่ยเท่านั้น

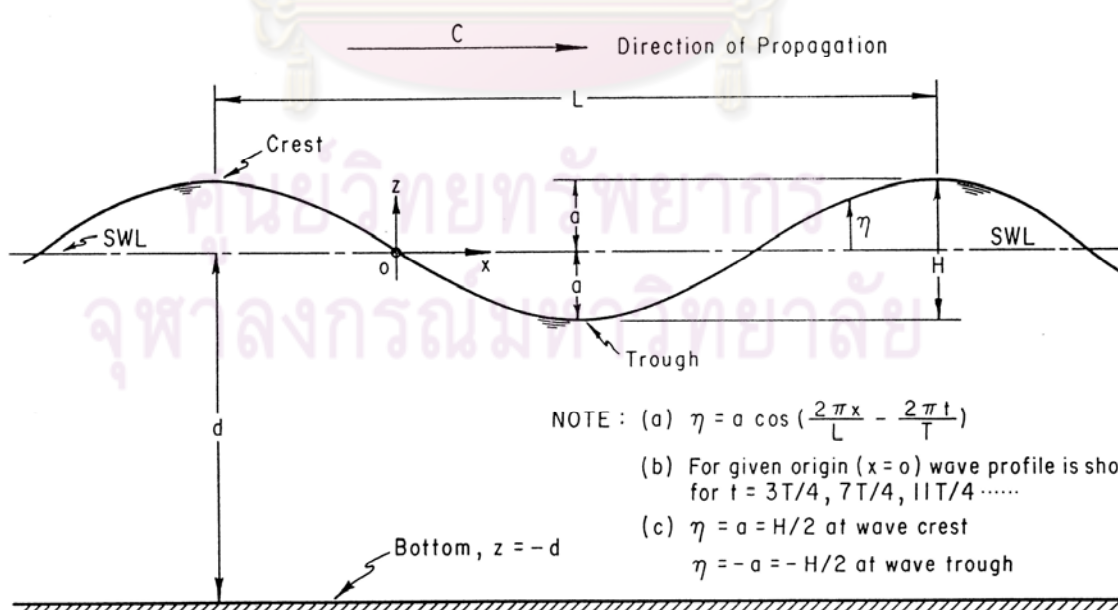
เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณน้ำตื้นปานกลาง (transition depth, $0.04 < d/L < 0.5$) ลักษณะต่างๆ ของคลื่นจะเปลี่ยนไป เนื่องจากอิทธิพลของน้ำตื้น (shoaling effect) ซึ่งส่งผลให้ความยาวคลื่นสั้นลง ความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น และความเร็วคลื่นลดลง แต่คาบคลื่น (wave period, T) ไม่เปลี่ยนแปลง การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำจะถูกอิทธิพลของน้ำตื้น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

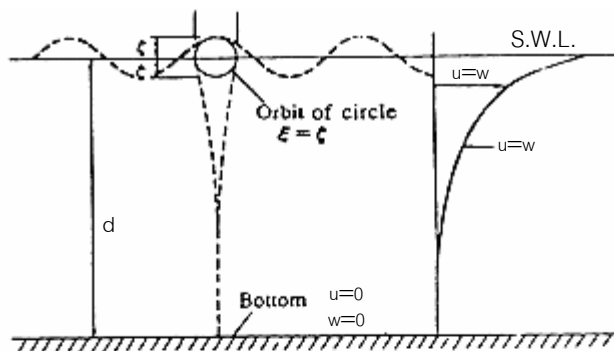
ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติคลื่นในช่วงความลึกต่างๆ

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

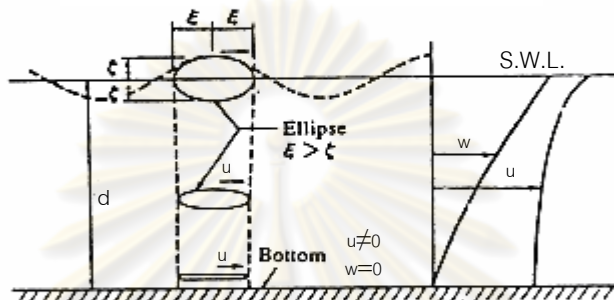


จาก U.S. CERC. 1984

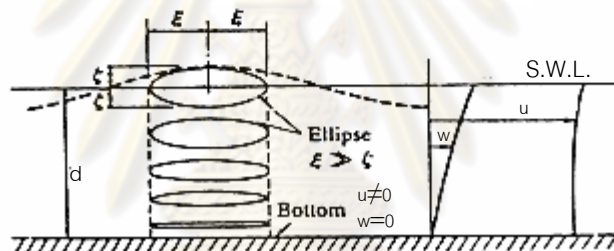
รูปที่ 2-1 นิยามพารามิเตอร์คลื่น



(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 การเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าสู่หน้าดิน

2.2 การเปลี่ยนแปลงของคลื่น

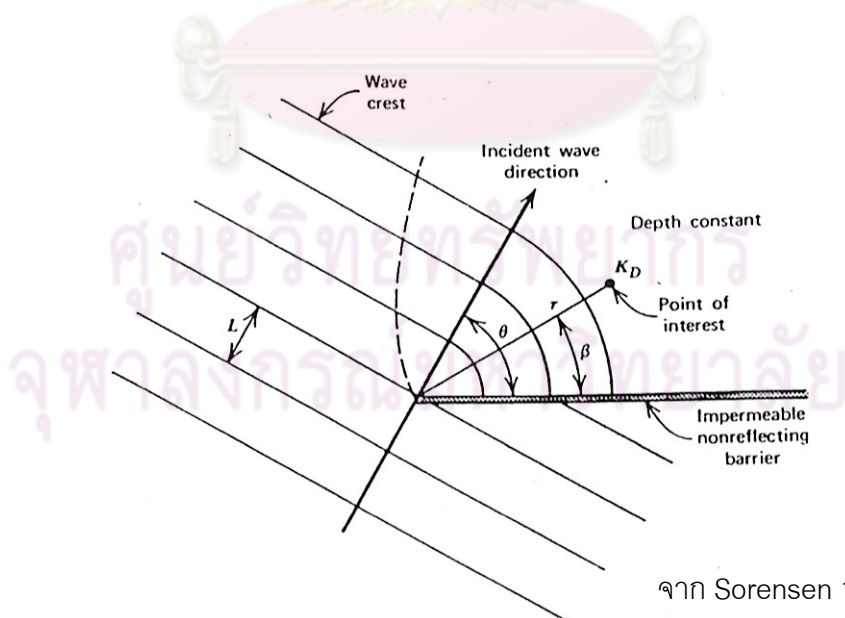
เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเข้าสู่ชายฝั่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าปะทะสิ่งกีดขวางหรือการเคลื่อนที่จากน้ำลึกเข้าสู่บริเวณน้ำตื้น จากการเสียดทานกับท้องทะเลทำให้ความยาวคลื่นลดลงในขณะที่ความสูงคลื่นจะเพิ่มขึ้น จึงเกิดการแตกตัวขึ้นแล้วเกิดคลื่นลูกใหม่เคลื่อนที่ตามกันไปสิ้นสุดที่ชายฝั่ง

2.2.1 การกระจายของคลื่น

การกระจายของคลื่น (wave diffraction) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนเข้าปะทะสิ่งกีดขวาง เช่น เขื่อนกันคลื่น หรือ เกาะเล็กๆ เป็นต้น โดยคลื่นจะเกิดการกระจายเป็นรัศมีเข้าไปในบริเวณอับคลื่น (sheltered area) โดยมีจุดศูนย์กลางการกระจายอยู่ที่ปลายของสิ่งกีดขวางที่คลื่นนั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ ทำให้เกิดการส่งผ่านพลังงานคลื่นตามความยาวของแนวสันคลื่น เข้าสู่บริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น ดังรูปที่ 2-3 การคำนวณหาความสูงคลื่นในบริเวณอับคลื่นได้ อาศัยค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของคลื่น (diffraction coefficient, K_d) ซึ่งสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความสูงของคลื่นที่กระจายต่อความสูงคลื่นก่อนผ่านเขื่อนกันคลื่น ดังแสดงในสมการที่ (2-1)

$$K_d = \frac{H_d}{H_i} \quad (2-1)$$

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



รูปที่ 2-3 การกระจายของคลื่น

2.2.2 การสะท้อนของคลื่น

การสะท้อนของคลื่น (wave reflection) คือการเคลื่อนที่ของคลื่นในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่คลื่นเคลื่อนตัวเข้ามา การสะท้อนของคลื่นเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าปะทะกับเขื่อนกันคลื่น หรือชายฝั่ง คลื่นบางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างหรือชายฝั่ง ชายฝั่งหรือส่วนของโครงสร้างที่มีความลาดเอียงมากจะสะท้อนน้อยกว่า ลักษณะของวัสดุที่เป็นหินหรือทรายจะสะท้อนน้อยกว่าที่เป็นกำแพงคอนกรีตเป็นต้น ซึ่งคลื่นที่สะท้อนส่งผลให้ความสูงของคลื่นด้านหน้าเขื่อนกันคลื่นในตำแหน่งที่คลื่นเสริมกันคลื่นสูงขึ้นและความสูงคลื่นจะลดลงในตำแหน่งที่คลื่นหักล้างกันระหว่างคลื่นที่เข้ามากับคลื่นที่สะท้อน การศึกษาการสะท้อนคลื่นจะนำความสูงคลื่นที่สะท้อน (reflected wave height, H_r) ไปเปรียบเทียบกับความสูงคลื่นก่อนผ่านเขื่อนกันคลื่น (incident wave, H_i) เรียกว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น (reflection coefficient, K_R) ดังแสดงในสมการที่ (2-2)

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

เมื่อ K_R คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น (reflection coefficient)

H_r คือ ความสูงคลื่นที่สะท้อน (reflected wave height)

H_i คือ ความสูงคลื่นก่อนผ่านเขื่อนกันคลื่น (incident wave height)

2.3 ลักษณะคลื่นเคลื่อนที่ผ่านเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม

เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม ซึ่งเป็นเขื่อนกันคลื่นแบบไม่ทึบน้ำ (permeable breakwater) คลื่นบางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ และคลื่นบางส่วนจะสามารถเคลื่อนตัวผ่านได้ แต่ระหว่างที่คลื่นเคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่นจะเกิดการสูญเสียพลังงานจากตัวเขื่อนกันคลื่นจึงทำให้ความสูงของคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นลดลง ลักษณะของคลื่นที่เคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่นได้แสดงในรูปที่ 2-4

2.3.1 การส่งผ่านของคลื่น

การส่งผ่านของคลื่น (wave transmission) คือ การเคลื่อนที่ของคลื่นผ่านโครงสร้างที่มีลักษณะไม่ทึบน้ำ (permeable) เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่นที่มีลักษณะไม่ทึบน้ำจะเกิดพฤติกรรมของการสะท้อนของคลื่นบางส่วน และการสูญเสียพลังงานจากตัวเขื่อนกันคลื่นที่เกิดจากความปั่นป่วนของอนุภาคน้ำและความเสียดทานจากผิวของเสาเข็ม ส่งผลให้ความสูงของ

คลื่นที่ผ่านเชื่อมกันคลื่นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงคลื่นที่เข้ามา ซึ่งการศึกษาการส่งผ่านคลื่นจะเปรียบเทียบความสูงคลื่นหลังผ่านเชื่อมกันคลื่น (transmitted wave height, H_t) กับความสูงคลื่นก่อนผ่านเชื่อมกันคลื่น (incident wave, H_i) เรียกว่า สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (transmission coefficient, K_T) ดังแสดงในสมการที่ (2-3)

$$K_T = \frac{H_t}{H_i} \quad (2-3)$$

เมื่อ K_T คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (transmission coefficient)

H_t คือ ความสูงคลื่นหลังผ่านเชื่อมกันคลื่น (transmitted wave height)

H_i คือ ความสูงคลื่นก่อนผ่านเชื่อมกันคลื่น (incident wave height)

ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของเชื่อมกันคลื่น ถ้าหากมีความที่บ้น้ำมากค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นจะน้อย แต่กรณีที่มีลักษณะที่มีความพูนหรือสามารถยอมให้น้ำผ่านได้มากค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นก็จะเพิ่มมากขึ้น

2.3.2 การสะท้อนของคลื่น

การสะท้อนของคลื่น (wave reflection) คือการเคลื่อนที่ของคลื่นในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่คลื่นเคลื่อนตัวเข้ามา การสะท้อนของคลื่นเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าปะทะกับเชื่อมกันคลื่นแบบเสาค้ำ คลื่นบางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับส่งผลให้ความสูงของคลื่นด้านหน้าเชื่อมกันในตำแหน่งที่คลื่นเสริมกันคลื่นสูงขึ้นและความสูงคลื่นจะลดลงในตำแหน่งที่คลื่นหักล้างกันระหว่างคลื่นที่เข้ามากับคลื่นที่สะท้อน การศึกษาการสะท้อนของคลื่นจะนำความสูงคลื่นที่สะท้อน (reflected wave height, H_r) ไปเปรียบเทียบกับความสูงคลื่นก่อนผ่านเชื่อมกันคลื่น (incident wave height, H_i) เรียกว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น (reflection coefficient, K_R) ดังแสดงในสมการที่ (2-4)

$$K_R = \frac{H_r}{H_i} \quad (2-4)$$

เมื่อ K_R คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น (reflection coefficient)

H_r คือ ความสูงคลื่นที่สะท้อน (reflected wave height)

H_i คือ ความสูงคลื่นก่อนผ่านเชื่อมกันคลื่น (incident wave height)

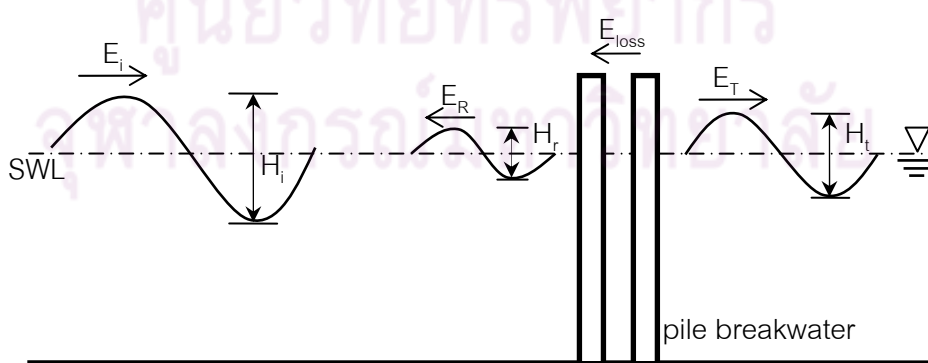
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นขึ้นอยู่กับลักษณะความตื้นน้ำของเขื่อนกันคลื่น หากมีความตื้นน้ำน้อยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจะน้อย และการสะท้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเขื่อนกันคลื่นมีความตื้นน้ำมากขึ้น

2.3.3 การกระจายของคลื่น

การกระจายของคลื่น (wave diffraction) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนเข้าปะทะสิ่งกีดขวาง เช่น เขื่อนกันคลื่น หรือ เกาะเล็ก ๆ เป็นต้น โดยคลื่นจะเกิดการกระจายเป็นรัศมีเข้าไปในบริเวณอับคลื่น (sheltered area) โดยมีจุดศูนย์กลางการกระจายอยู่ที่ปลายของสิ่งกีดขวางที่คลื่นนั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ ทำให้เกิดการส่งผ่านพลังงานคลื่นตามความยาวของแนวสันคลื่น เข้าสู่บริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น การคำนวณหาความสูงคลื่นในบริเวณอับคลื่นได้อาศัยค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของคลื่น (diffraction coefficient, K_d) ซึ่งสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความสูงของคลื่นที่กระจายต่อความสูงคลื่นก่อนผ่านเขื่อนกันคลื่น ดังแสดงในสมการที่ (2-5)

$$K_d = \frac{H_d}{H_i} \quad (2-5)$$

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



รูปที่ 2-4 ลักษณะของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม

2.3.4 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น

การติดตั้งเชื่อมกันคลื่นส่งผลให้ความสูงคลื่นบริเวณหลังเชื่อมกันคลื่นเปลี่ยนแปลงไป จากกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น เนื่องจากเชื่อมกันคลื่นไปขบวนการเคลื่อนตัวของคลื่น ก่อให้เกิดการ สะท้อนและการสูญเสียพลังงาน ส่งผลให้พลังงานคลื่นที่เคลื่อนผ่านลดลง ทำให้ความสูงคลื่น บริเวณหลังเชื่อมกันคลื่นลดลง การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่นจะ เปรียบเทียบความสูงของคลื่นบริเวณหลังเชื่อมกันคลื่นระหว่างกรณีมีเชื่อมกันคลื่น (with pile breakwater, H_p) กับ กรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น (without pile breakwater, H_N) เรียกว่า อัตราส่วน เปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (K_p) ดังแสดงในสมการ (2-6)

$$K_p = \frac{H_p}{H_N} \quad (2-6)$$

2.4 พลังงานของคลื่น

พลังงานของคลื่นเป็นผลรวมของพลังงานที่เกิดจาก พลังงานศักย์ (potential energy, P_E) และพลังงานจลน์ (kinetic energy, K_E) โดยพลังงานศักย์ได้แก่มวลน้ำที่อยู่เหนือตำแหน่งที่ พิจารณา โดยไม่คำนึงถึงแรงตึงผิวของน้ำ และพลังงานจลน์เกิดจากความเร็วอนุภาคน้ำที่เคลื่อนที่ (water particle energy)

พลังงานศักย์ (potential energy, P_E) เป็นพลังงานที่เกิดจากมวลน้ำ พิจารณาจากมวลน้ำ ในส่วนของผิวน้ำอิสระที่มีการเปลี่ยนแปลง หรือมวลน้ำในลูกคลื่นพิจารณาจากท้องคลื่น สามารถ หาได้สมการที่ (2-7)

$$P_E = P_{E1} - P_{E2} \quad (2-7)$$

เมื่อ P_E	คือ พลังงานศักย์รวมของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างสันคลื่น
P_{E1}	คือ พลังงานศักย์ที่พิจารณาจากท้องน้ำจนถึงผิวน้ำอิสระ
P_{E2}	คือ พลังงานศักย์ที่พิจารณาจากท้องน้ำจนถึงระดับน้ำนิ่ง

ในการหาพลังงานศักย์หาได้โดยพิจารณาจากรูปที่ 2-5 แบ่งเป็นช่องเล็กๆ สูง $h+\eta$ ยาว dx กว้างหนึ่งหน่วย พลังงานศักย์ที่พิจารณาจากท้องน้ำจนถึงผิวน้ำอิสระพิจารณาจากรูปที่ 2-5(a)

$$dP_{E1} = (\text{height to center of gravity}) g dM$$

$$= \frac{(h + \eta)^2}{2} g \rho dx \quad (2-8)$$

พลังงานศักย์เฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของสันคลื่น

$$P_{E1} = \frac{\rho g}{2} \int_0^L (h + \eta)^2 dx \quad (2-9)$$

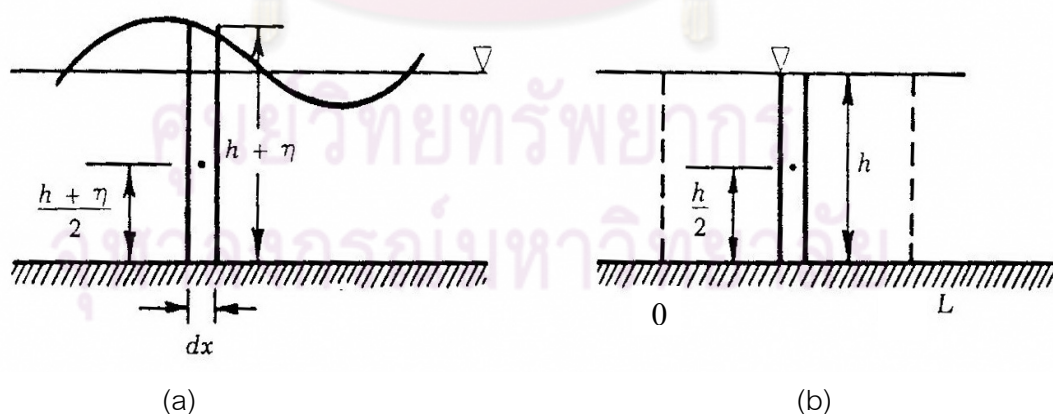
และพลังงานศักย์ที่พิจารณาจากท้องน้ำจนถึงระดับน้ำนิ่งจากรูปที่ 2-5(b)

$$P_{E2} = \frac{\rho g}{2} \int_0^L (h)^2 dx \quad (2-10)$$

ดังนั้นสามารถหาพลังงานศักย์ของคลื่นได้จาก

$$P_E = \frac{\rho g}{2} \int_0^L (h + \eta)^2 dx - \frac{\rho g}{2} \int_0^L (h)^2 dx \quad (2-11)$$

- เมื่อ P_E คือ พลังงานศักย์รวมของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างสันคลื่น
 h คือ ความลึกน้ำจากระดับน้ำเฉลี่ยถึงท้องน้ำ
 η คือ ระยะในแนวตั้งของการแทนที่ของผิวน้ำจากระดับน้ำเฉลี่ย
 ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ
 g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก
 L คือ ความยาวคลื่น



จาก Ippen 1966

รูปที่ 2-5 รูปสำหรับใช้อธิบายการหาพลังงานศักย์

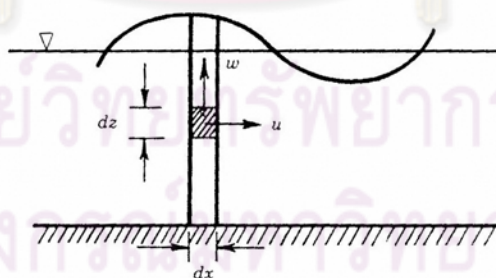
พลังงานจลน์ (kinetic energy, K_E) เกิดจากความเร็วอนุภาคน้ำที่เคลื่อนที่ได้คลื่น จากรูปที่ 2-6 เมื่อพิจารณาพื้นที่เป็นชิ้นส่วนเล็กๆ ยาว dx สูง dz ต่อความกว้างหนึ่งหน่วยกับความเร็วอนุภาคน้ำในแนวราบ (u) และแนวตั้ง (w) สามารถหาพลังงานจลน์โดยสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} dK_E &= \frac{1}{2} (u^2 + w^2) dM \\ &= \frac{1}{2} \rho (u^2 + w^2) dz dx \end{aligned} \quad (2-12)$$

ดังนั้นพลังงานจลน์เฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของคลื่น

$$K_E = \frac{\rho}{2} \int_0^L \int_{-h}^{\eta \approx 0} (u^2 + w^2) dz dx \quad (2-13)$$

- เมื่อ K_E คือ พลังงานจลน์รวมของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างคลื่น
 h คือ ความลึกน้ำจากระดับน้ำเฉลี่ยถึงท้องน้ำ
 η คือ ระยะในแนวตั้งของการแทนที่ของผิวน้ำเหนือระดับน้ำเฉลี่ย
 u คือ ความเร็วของอนุภาคน้ำในแนวราบตามทิศทางคลื่น
 w คือ ความเร็วของอนุภาคน้ำในแนวตั้ง
 ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ
 L คือ ความยาวคลื่น



จาก Ippen 1966

รูปที่ 2-6 รูปสำหรับใช้อธิบายการหาพลังงานจลน์

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

$$E = P_E + K_E = \frac{\rho g H^2 L}{16} + \frac{\rho g H^2 L}{16} = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (2-14)$$

เมื่อ	E	คือ พลังงานรวมของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างสันคลื่น
	P_E	คือ พลังงานศักย์รวมของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างสันคลื่น
	K_E	คือ พลังงานจลน์รวมของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างสันคลื่น
	ρ	คือ ความหนาแน่นของน้ำ
	g	คือ แรงโน้มถ่วงของโลก
	H	คือ ความสูงคลื่น
	L	คือ ความยาวคลื่น

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

$$\bar{E} = \frac{E}{L} = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (2-15)$$

2.5 การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ

ในการศึกษาถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากันที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น อันได้แก่ ความสูงคลื่น ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยภายใต้วงโคจรคลื่นตามทิศทางคลื่น และระดับน้ำ บริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น โดยใช้แบบจำลองกายภาพ มีตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นดังกล่าวดังต่อไปนี้

1) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของของไหล (variables characterizing the fluid) ประกอบด้วย ความหนาแน่นของของไหล (density of fluid, ρ) ความหนืดจลน์ของของไหล (kinematics viscosity of fluid, ν) และความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก (acceleration due to gravity, g)

2) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของวัสดุท้องน้ำ (variables characterizing the bed material) ประกอบด้วย ขนาดวัสดุท้องน้ำ (sediment size, d_{50}), ความหนาแน่นของวัสดุท้องน้ำ (density of the sediment, ρ_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, α_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, β) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (pile diameter, D) ช่องว่างระหว่างเสาเข็มแต่ละต้น (clear spacing between the piles, S) จำนวนแถวของเสาเข็ม (rows of piles) ช่องว่างระหว่างแถว (center to center between the piles rows, B) ความยาวของเขื่อนกันคลื่น (length of pile breakwater, L_B) 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 แถวที่มีช่องว่างระหว่างแถวเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และมีการจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาแต่ละต้นที่ไม่เท่ากัน โดยการหาลำดับที่ของช่องว่างระหว่างเสาที่มีการเพิ่ม/ลดขนาดช่องว่างระหว่างเสาตามลำดับตำแหน่งเสาที่เพิ่ม/ลด เป็นสัดส่วนที่เท่ากันในรูปแบบสมการอนุกรมเชิงเส้นแบบง่าย ๆ จะได้หาจากสมการ (2-16)

$$S_{i+1} = S_i + \Delta \quad (2-16)$$

เมื่อ S_{i+1} คือ ช่องว่างระหว่างเสา ลำดับที่ $i+1$

S_i คือ ช่องว่างระหว่างเสา ลำดับที่ i

Δ คือ ผลต่างช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน

โดยที่ Δ เท่ากับ $\frac{S_n - S_1}{n-1}$ เมื่อแทน ในสมการ (2-16) จะได้

$$S_{i+1} = S_i + \frac{S_n - S_1}{n-1} \quad (2-17)$$

S_1 คือ ช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1

S_n คือ ช่องว่างระหว่างเสาลำดับสุดท้าย

n คือ จำนวนช่องว่างระหว่างเสาทั้งหมดในแต่ละแถว (ในการศึกษา $n = 10$)

การหาค่าช่องว่างระหว่างเสาลำดับสุดท้าย (S_n) หาได้จากสมการ (2-18) ซึ่งต้องกำหนดค่าช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) ก่อน โดยการศึกษาครั้งนี้กำหนดค่าช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) ตั้งแต่ค่า 0 ถึง 1 เท่าของช่องว่างระหว่างเสาของการจัดเรียงแบบระยะห่างเท่ากัน (0 ถึง 1b) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้ช่องว่างระหว่างเสาของการจัดเรียงแบบช่องว่างระหว่างเสาเท่ากันเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม ($b = 1D$ เมื่อ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม) ดังนั้นช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) จะเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึง 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม (0 ถึง 1D) และเมื่อเพิ่มช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) ที่ละ 0.2 เท่าของขนาดเสาเข็ม (0.2D) จะได้รูปแบบเขื่อนกันคลื่น 6 รูปแบบโดยรูปแบบการจัดเรียงที่กำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม จะเป็นการจัดเรียงที่มีช่องว่างระหว่างเสาเท่ากัน

$$S_1 + S_n = 2b \quad (2-18)$$

เมื่อ b คือ ช่องว่างระหว่างเสาของการจัดเรียงแบบระยะห่างเท่ากัน

จะเห็นได้ว่าการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่อาศัยสมการอนุกรมเชิงเส้นแบบง่าย ๆ เป็นตัวกำหนดช่องว่างระหว่างเสาแต่ละต้น จะมีช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) และผลต่างช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เป็นตัวกำหนดรูปแบบของเขื่อนกันคลื่น เพราะฉะนั้นจะเหลือตัวแปรที่นำมาใช้พิจารณาความสัมพันธ์ดังนี้

- ของไหล : ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g)
- คลื่น : ความสูงคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่น (H_N) คาบคลื่น (T)
- เขื่อนกันคลื่น : ช่องว่างระหว่างเสาเข็มลำดับที่ 1 (S_1) ช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) และขนาดเข็ม (D)

การศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น จะพิจารณาความสูงคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่น (H_p) กับตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

$$H_p = f(g, H_N, T, S_1, D) \quad (2-19)$$

เมื่อพิจารณาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (dimensional parameter) สามารถนำตัวแปรมาเขียนในรูปตัวแปรไร้มิติ ดังต่อไปนี้

$$\frac{H_p}{H_N} = f\left[\frac{H_N}{gT^2}, \frac{S_1}{D}\right] \quad (2-20)$$

หรือ

$$K_p = f\left[\frac{H_N}{gT^2}, \frac{S_1}{D}\right] \quad (2-21)$$

- เมื่อ K_p คือ อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น
 H_p คือ ความสูงของคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น กรณีมีเขื่อนกันคลื่น
 H_N คือ ความสูงของคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น
 g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก
 T คือ คาบคลื่น
 S_1 คือ ช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1
 D คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม
 H_N/gT^2 คือ ความชันคลื่น
 S_1/D คือ อัตราส่วนของช่องว่างลำดับที่ 1 ต่อขนาดเสาเข็ม

2.6 การศึกษาที่ผ่านมา

เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (pile breakwater) หรือแนวกันคลื่นที่ใช้เสาเข็ม เป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมชายฝั่งที่ทำหน้าที่สลายพลังงานและลดความรุนแรงของคลื่น โดยการสลายพลังงานคลื่นเกิดจากการสะท้อนและการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านเขื่อนกันคลื่น ดังเป็นที่ทราบแน่ชัดแล้วว่าการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น อันได้แก่ ความสูงคลื่น, ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยภายใต้วงโคจรคลื่นตามทิศทางคลื่น และระดับน้ำ ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นนั้นมีความสลับซับซ้อน ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องในทางทฤษฎีล้วนได้อย่าง

ถูกต้อง 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 Kohlhase (1974), Hutchino and Raudkivi (1984), Truitt and Herbich (1986)

จากนั้นก็มีผู้ศึกษาในกรณีการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีหลายแถว ดังปรากฏในการศึกษาของ Weele and Herbich (1972), Rao et al. (1999), Rao et al. (2002), Huang (2006) รวมถึงการศึกษารณีเสาเข็มแขวนลอยในน้ำ (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 จึงก่อให้เกิดการศึกษาถึงเขื่อนกันคลื่นแบบผสม โดยส่วนที่อยู่ใกล้ผิวน้ำลักษณะของเขื่อนกันคลื่นจะเป็นแบบทึบน้ำ และส่วนด้านล่างของเขื่อนกันคลื่นจะถูกรองรับด้วยเสาเข็ม ดังปรากฏในการศึกษาของ Sundar and Subbarao (2003), Suh et al. (2006), Suh et al. (2007), Mani (2008) ซึ่งเขื่อนกันคลื่นแบบผสมนี้การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นจะขึ้นอยู่กัส่วนที่ทึบน้ำด้านบน ส่วนการจัดเรียงเสาเข็มด้านล่างมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากการทบทวนรายงานการศึกษามากมายที่กล่าวไว้ข้างต้น พบว่ามีรายงานการศึกษบางส่วนที่สอดคล้องกับการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น จากผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงระบอก ซึ่งเป็นประเด็นหลักของการศึกษานี้ ดังนั้นจึงสามารถนำผล

การศึกษาดังกล่าวมาเป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้ โดยรายละเอียดของการศึกษาที่ผ่านมา มีดังต่อไปนี้

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 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 4×4 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 ช่องว่างระหว่างต้นเพิ่มขึ้นสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น

เพิ่มขึ้นและสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นลดลง ช่องว่างระหว่างแถวเพิ่มขึ้นสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นเพิ่มขึ้นและสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นลดลง การจัดแบบสลัฟพื้นปลาไม่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นแต่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแบบแถวตรงกัน 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 คลื่นที่ใช้เป็นคลื่นแบบสุ่ม (random wave) พิจารณาค่าประสิทธิภาพการส่งผ่านคลื่นจากข้อมูลคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสอง (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 แถวสลัฟพื้นปลาที่มีช่องว่างระหว่างแถวเป็น 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 และการจัดเรียงแบบสลับพื้นปลาามีผลต่อสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นเพียงเล็กน้อย 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 แถวทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของคลื่นลดลงต่างกันเล็กน้อยกับกรณีแถวเดียวแต่สัมประสิทธิ์การสะท้อนเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นเพิ่มขึ้นและสัมประสิทธิ์การสะท้อนลดลงเมื่อช่องว่างระหว่างแถวมากขึ้น และการจัดเรียงแบบสลับพื้นปลาามีผลต่อสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นเพียงเล็กน้อย 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 และยังพบว่าความเร็วของอนุภาคน้ำใต้คลื่นลดลงมากบริเวณใกล้ผิวน้ำ แต่บริเวณใกล้ท้องน้ำความเร็วของอนุภาคน้ำลดลงเพียงเล็กน้อย

ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล (2551) ศึกษาการส่งผ่านคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่ใช้เสาสามเหลี่ยมด้านเท่าขนาด 0.5 ม. จัดเรียงแบบ 3 แถวสลับพื้นปลาช่องว่างระหว่างต้นและ

ช่องว่างระหว่างแถวเท่ากับ 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ศึกษาโดยวัดข้อมูลภาคสนาม พบว่า ความสูงคลื่นลดลงประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์

เมธาฤทธิ์ แนมสัย (2552) ได้ศึกษาผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอก 2 แถวแบบแถวตรงและแถวสลับ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นได้เปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างแถวของเสาเข็มตั้งแต่ 0 ถึง 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ทดลองในอ่างคลื่นโดยเปลี่ยนแปลงความชันคลื่น พบว่าความสูงของคลื่นบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่นลดลงเมื่อมีเขื่อนกันคลื่น การลดลงของความสูงคลื่นเพิ่มขึ้นเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้นและช่องว่างระหว่างแถวลดลง จากการศึกษายังพบว่าการจัดเรียงแบบ 2 แถวสลับไม่ส่งผลต่อการลดลงของความสูงคลื่นแตกต่างจากแบบ 2 แถวตรงอย่างมีนัยสำคัญ โดยการจัดเรียงทั้ง 2 แบบลดความสูงคลื่นประมาณ 6.5 เปอร์เซ็นต์



ศูนย์วิทยพัทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-2 สรุปผลการศึกษาที่ผ่านมา

ผู้ศึกษา, ปีที่ศึกษา	จำนวนแถว	ช่องว่างระหว่างแถว (B/D)	ช่องว่างระหว่างต้น (b/D)	สปส.ส่งผ่าน (KT)	สปส.สะท้อน (KR)
Hayashi, Hattori, Kana and Shirai, 1966	1	-	0.058 ถึง 0.222	0.22 ถึง 0.7	0.1-0.6
Nagai, 1966	1	-	0.05	0.28 ถึง 0.42	-
Hayashi, Hattori and Shirai, 1968	1	-	0.04 ถึง 0.2	0.4 ถึง 0.6	0.1 ถึง 0.6
Weele and Herbich, 1972	4	1 ถึง 4	1 ถึง 4	-	-
Weele and Herbich, 1972	4	2	2	-	-
Grune and Kohlhase, 1974	1	-	0 ถึง 1	-	-
Hutchinson and Raudkivi, 1984	2	-	-	-	-
Truitt and Herbich, 1986	1	-	0.05 ถึง 0.2	0.27 ถึง 0.88	-
Herbich and Douglas, 1988	2	1	0.1 และ 0.2	-	-
Mani and Jayakuma, 1995	1	-	0.11 ถึง 1	-	-
Isaacson, Premairi and Yang, 1998	1	-	-	-	-
Rao, N.B.S. Rao Sathanarayana, 1999	2 (พฤษภาคม)	0.5 ถึง 2	0.5 ถึง 1	0.7 ถึง 0.9	-
Rao, Shilal and N.B.S. Rao, 2002	2 (พฤษภาคม)	0.5 ถึง 2	0.5 ถึง 1	0.7 ถึง 0.9	0.1 ถึง 0.3

ผู้ศึกษา, ปีที่ศึกษา	จำนวนแถว	ช่องว่างระหว่างแถว (B/D)	ช่องว่างระหว่างต้น (b/D)	สปส.ส่งผ่าน (KT)	สปส.สะท้อน (KR)
Rao, N.B.S. Rao, Shirlal and Reddy, 2003	1	-	0.15	ลดลง	เพิ่มขึ้น
Yagci, Kirca, Kabdasil, Celik, Unal and Aydingakko, 2006	1	-	0.17	0.3 ถึง 0.75	-
Huang, 2007	1 (ผสม)	-	-	ลดลง	เพิ่มขึ้น
Huang, 2007	2 (พจน)	-	-	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ธนวัฒน์ จารุพงษ์ สกุล และคณะ, 2008	3	2	2	0.78	-
เมธาฤทธิ์ แนมสัย, 2009	2	0 ถึง 2	1	0.65	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แบบจำลองชลศาสตร์และการทดลอง

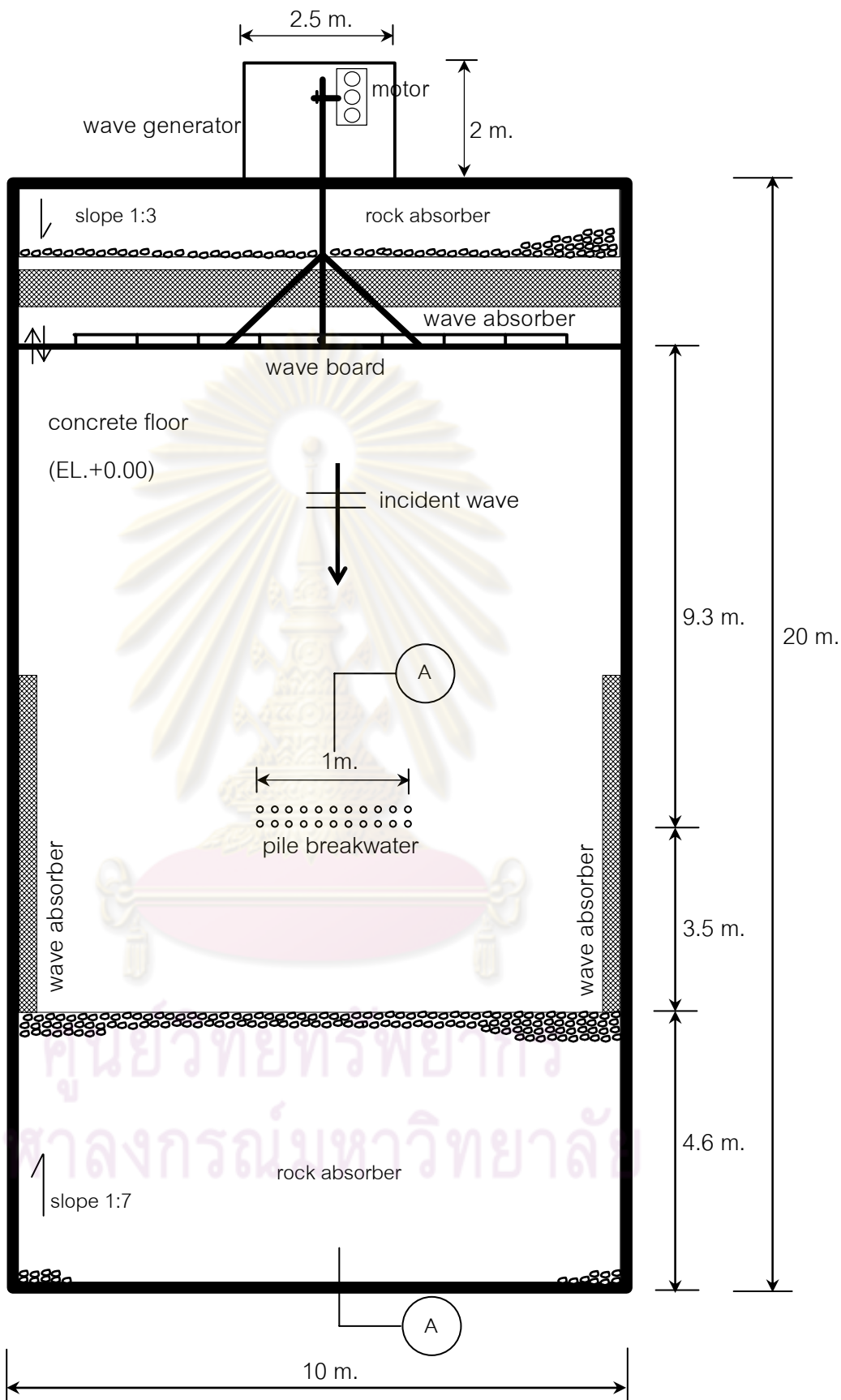
การศึกษาทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งทะเลมีแนวทางในการศึกษา 3 แนวทางเพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมและกระบวนการทางชายฝั่งทะเลที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย การสังเกตและวัดข้อมูลในสนาม การสังเกตและวัดข้อมูลในแบบจำลองกายภาพ (physical model) และการคำนวณและวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) โดยทั้ง 3 แนวทางมีทั้งข้อดีข้อด้อยแตกต่างกัน ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้แนวทางใดแนวทางหนึ่งหรือการใช้แนวทางผสมผสานกันนั้นย่อมขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับการใช้แก้ปัญหา

ปัจจุบันมีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความรวดเร็วในการแก้ปัญหา ความประหยัด และความสามารถที่ประยุกต์ใช้กับการศึกษาพื้นที่ต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง แต่ยังคงมีปัญหาอีกมากที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เป็นเพราะความสลับซับซ้อนของปัญหาที่เกิดขึ้น ส่วนการสังเกตและวัดข้อมูลในสนามเป็นวิธีการศึกษาที่ให้ความถูกต้องมากที่สุด แต่มีค่าใช้จ่ายสูงและตัวแปรในธรรมชาติที่มีอยู่มากจึงยากต่อการแปลความหมายของข้อมูล จึงทำให้การศึกษาโดยใช้แบบจำลองกายภาพเป็นแนวทางที่ได้รับความนิยม และมีความเหมาะสมกับปัญหาทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งทะเลที่มีความสลับซับซ้อน (complicated) ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าการเก็บข้อมูลในสนาม และสามารถควบคุมตัวแปรที่ต้องการศึกษาได้อย่างเป็นระบบ ทำให้แปลความหมายของข้อมูลง่ายกว่าการศึกษาในภาคสนาม ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้แนวทางการศึกษาโดยใช้แบบจำลองกายภาพ

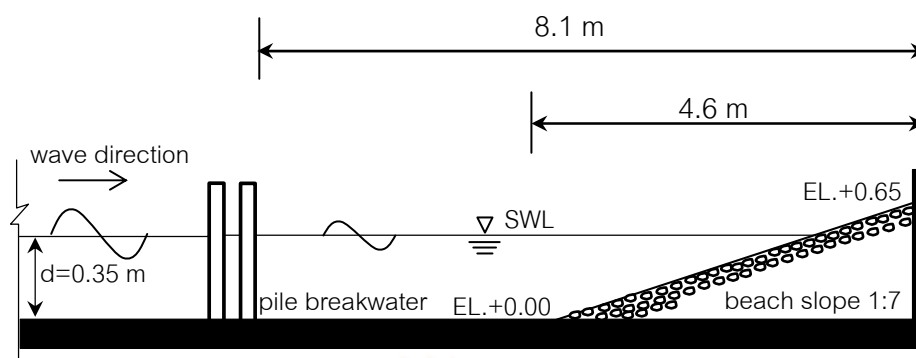
3.1 แบบจำลองชลศาสตร์

การศึกษานี้ทดลองในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีองค์ประกอบ 5 ส่วน ดังต่อไปนี้

- 1) แบบจำลองแอ่งคลื่น (wave basin) ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาดความกว้าง 10 ม. ยาว 20 ม. ลึก 0.70 ม. ดังรูปที่ 3-1 พื้นและผนังทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก รอบด้านข้างขอบแอ่งคลื่นติดตั้งตัวสลายคลื่น (wave absorber) เพื่อลดการสะท้อนของคลื่น โดยที่ด้านต้นแอ่งและด้านท้ายแอ่งคลื่นตัวสลายพลังงานคลื่นใช้เป็นหินก่อสร้างเบอร์ # 1 เทเป็นแนวลาดเอียง 1:3 และ 1:7 ตามลำดับ ยาวตลอดด้านต้นและด้านท้ายแอ่งคลื่น



รูปที่ 3-1 แบบจำลองแอ่งคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม(not true scale)



รูปที่ 3-2 รูปตัดแบบจำลองอ่างคลื่นและการติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (A)-(A)
(not true scale)

เพื่อลดการสะท้อนกลับของคลื่น ส่วนบริเวณด้านข้างของอ่างคลื่น ตัวสลายคลื่นที่ใช้เป็นโครงเหล็กหุ้มด้วยลวดตะแกรงภายในบรรจุเม็ดโฟม โครงเหล็กมีขนาดกว้าง 0.15 ม. ยาว 1.00 ม. สูง 0.50 ม. วางข้างละ 6 ม. รายละเอียดของอ่างคลื่นแสดงไว้ในภาคผนวก ก-1

2) เครื่องกำเนิดคลื่น (wave generator) เป็นชนิดปลายยึดหมุน (hinge connection) ที่ด้านล่างของกระดานสร้างคลื่น (wave board) ส่วนด้านบนต่อกับส่วนขับเคลื่อนซึ่งเคลื่อนที่กลับไป-มาได้ตามระยะช่วงชัก (stroke) โดยความเร็วเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับมอเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ จึงสามารถสร้างคลื่นที่มีความสูงและคาบคลื่นได้แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3-3 รายละเอียดของเครื่องกำเนิดคลื่นแสดงไว้ในภาคผนวก ก-2

3) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

- เครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter) ติดตั้งในอ่างคลื่นเพื่อวัดคลื่นที่ผ่านจุดตรวจวัด มี 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 รายละเอียดดูได้จาก อาทิตยา เกศมาริช (2540) และแบบที่ 2 เป็นเครื่องวัดความสูงคลื่น (ตัวใหม่) รุ่น Wave Probe Monitor ของบริษัท HR Wallingford ดังแสดงในรูปที่ 3-4 โดยรายละเอียดดูได้จาก เมธฤทธิ์ แนมสัย (2552)

- เครื่องมือวัดระดับน้ำ (point gauge) ติดตั้งในอ่างคลื่นเพื่อวัดระดับน้ำที่ผ่านจุดตรวจวัด ดังแสดงในรูปที่ 3-5

- เครื่องมือวัดความเร็วการไหล เป็นเครื่องมือวัดความเร็วการไหลแบบ 3 ทิศทางของ OSK รุ่น ACM 300-D สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ สามารถวัดความเร็วการไหลได้ 3 ทิศทางคือ ตามทิศทางการไหล ตั้งฉากกับทิศทางการไหล และวัดความเร็วในแนวตั้ง สามารถวัดได้ทั้งค่าที่เป็นบวกและค่าที่เป็นลบ ดังรูปที่ 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-3 ส่วนรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือวัดความเร็วการไหลแบบ 3 ทิศทางของ OSK รุ่น ACM 300-D การใช้วงจรแปลงสัญญาณและโปรแกรม LabVIEW รวบรวมไว้โดย ปิยะ ภูณาศล (2547)



ก) บานสร้างคลื่น



ข) ก้านโยกกระดานสร้างคลื่น



ค) ชุดปรับช่วงชัก



ง) มอเตอร์



จ) ชุดปรับความเร็วมอเตอร์



ฉ) หม้อแปลงควบคุม

รูปที่ 3-3 องค์ประกอบของเครื่องกำเนิดคลื่น (เมธาฤทธิ์)



ก) ตัวเก่า



ข) ตัวใหม่

รูปที่ 3-4 เครื่องวัดความสูงคลื่น (เมธาฤทธิ)



รูปที่ 3-5 เครื่องมือวัดระดับน้ำ (point gauge) (เมธาฤทธิ์)



รูปที่ 3-6 เครื่องมือวัดความเร็วการไหลแบบ 3 ทิศทางของ OSK รุ่น ACM 300-D

4) ชุดอุปกรณ์ช่วยเก็บข้อมูล เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ช่วยในการเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งต่างๆหลังเขื่อนกันคลื่น จะใช้สำหรับติดตั้งเครื่องวัดความสูงคลื่นและเครื่องมือวัดความเร็วการไหล โดยชุดอุปกรณ์ช่วยเก็บข้อมูลนี้สามารถเคลื่อนที่ได้ 3 ทิศทาง ได้แก่ ทิศทางขนานเขื่อนกันคลื่น ทิศทางตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น และทิศทางในแนวตั้ง ซึ่งการเคลื่อนที่ในแนวตั้งจะใช้กับเครื่องมือวัดความเร็วการไหลทำให้สามารถวัดความเร็วของน้ำที่ความลึกต่างๆ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3-7 รายละเอียดของเครื่องกำเนิดคลื่นแสดงไว้ในภาคผนวก ก-4



รูปที่ 3-7 ชุดอุปกรณ์ช่วยเก็บข้อมูล

5) แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (pile breakwater) เป็นโครงสร้างที่ยอมให้น้ำผ่านได้ (permeable) ทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.85 ซม. ติดตั้งบนแผ่นพลาสติกหนา 2 มม. จัดเรียงเสาเข็มแบบ 2 แถว แต่ละแถวมีเสาเข็ม 11 ต้น มีช่องว่างระหว่างแถวเท่ากับ 1 เท่าของเสาเข็ม แต่ในแถวเดียวกันมีช่องว่างระหว่างต้นไม่เท่ากัน และเพื่อให้การจัดเรียงเป็นระบบ จึงได้กำหนดรูปแบบการจัดเรียงเสาเข็มที่มีช่องว่างไม่เท่ากันให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันอนุกรมทางคณิตศาสตร์แบบง่าย ซึ่งกำหนดค่าช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) ที่ละ 0.2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ($0.2D$) และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เพื่อให้การจัดเรียงที่ระยะห่างของเสาเข็มต้นที่ 1 ซิดกับต้นที่ 2 ในแถวเดียวกัน (แบบจำลอง V0) จากนั้นค่อยๆ ขยับให้ช่องว่างระหว่างเสาห่างออกไปเรื่อยๆ (แบบจำลอง V2, V4, V6 และ V8 ตามลำดับ) จนกระทั่งช่องว่าง

ระหว่างเสาเท่ากันตลอดแนวเชื่อมกันคลื่น (แบบจำลอง V10) การเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างเสาเข็มในแต่ละช่องว่างจะขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) ในการทดลองได้รูปแบบของการจัดเรียงทั้งหมด 6 รูปแบบ โดยรูปแบบการจัดเรียงที่กำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม จะเป็นการจัดเรียงที่มีช่องว่างระหว่างเสาเท่ากัน โดยรายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก-5 ดังนั้น จากการจัดเรียง 6 รูปแบบ จึงสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือกรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน และกรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3-8 ประกอบด้วย

กรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน

- แบบจำลอง V0 จัดเรียงแบบ 2 แถวกำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 0 เท่าของขนาดเสาเข็ม (ชิดกัน) และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เท่ากับ 0.222 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังรูปที่ 3-8

- แบบจำลอง V2 จัดเรียงแบบ 2 แถวกำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 0.2 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เท่ากับ 0.177 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังรูปที่ 3-9

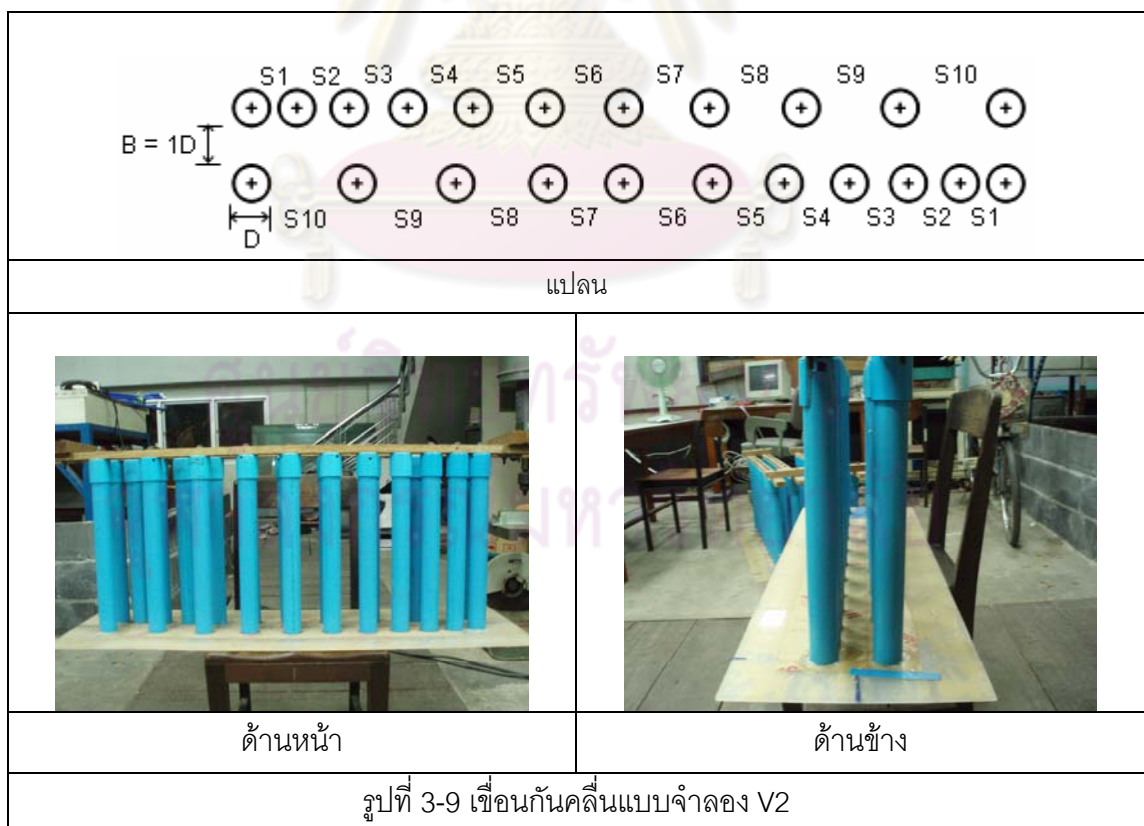
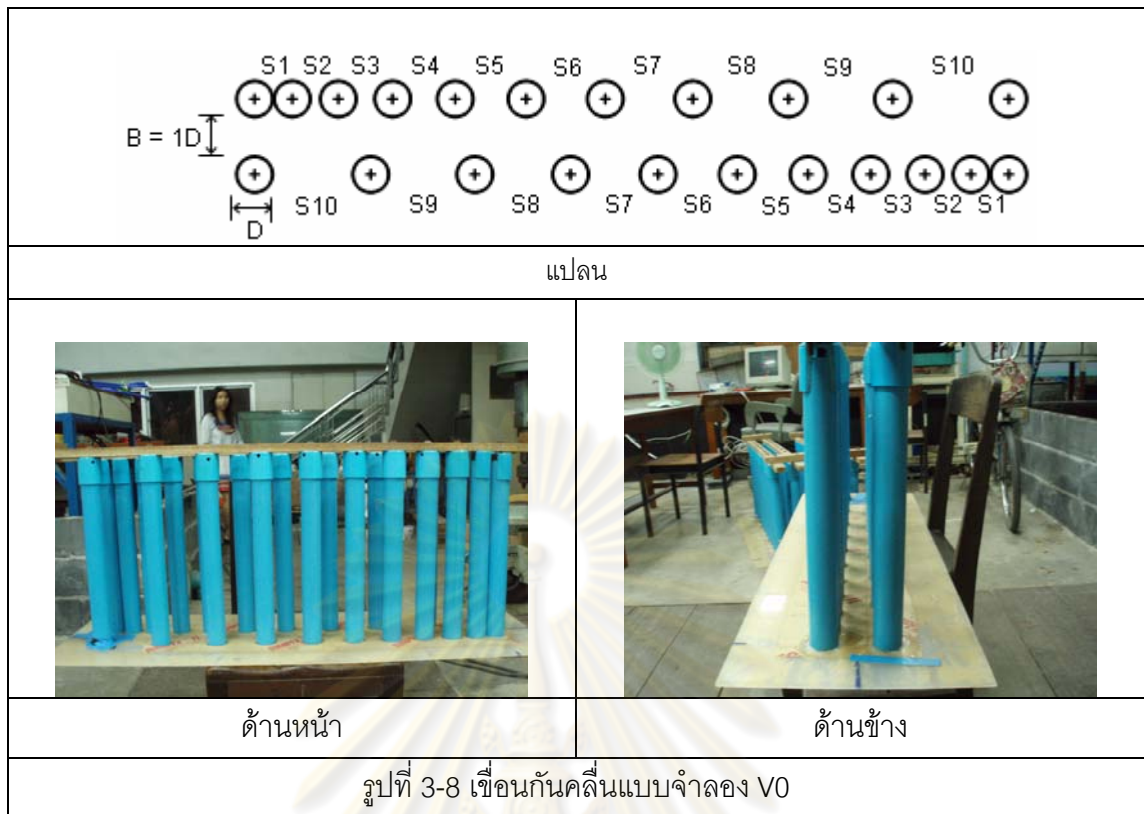
- แบบจำลองจัดเรียงแบบ 2 แถวกำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 0.4 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เท่ากับ 0.133 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังรูปที่ 3-10

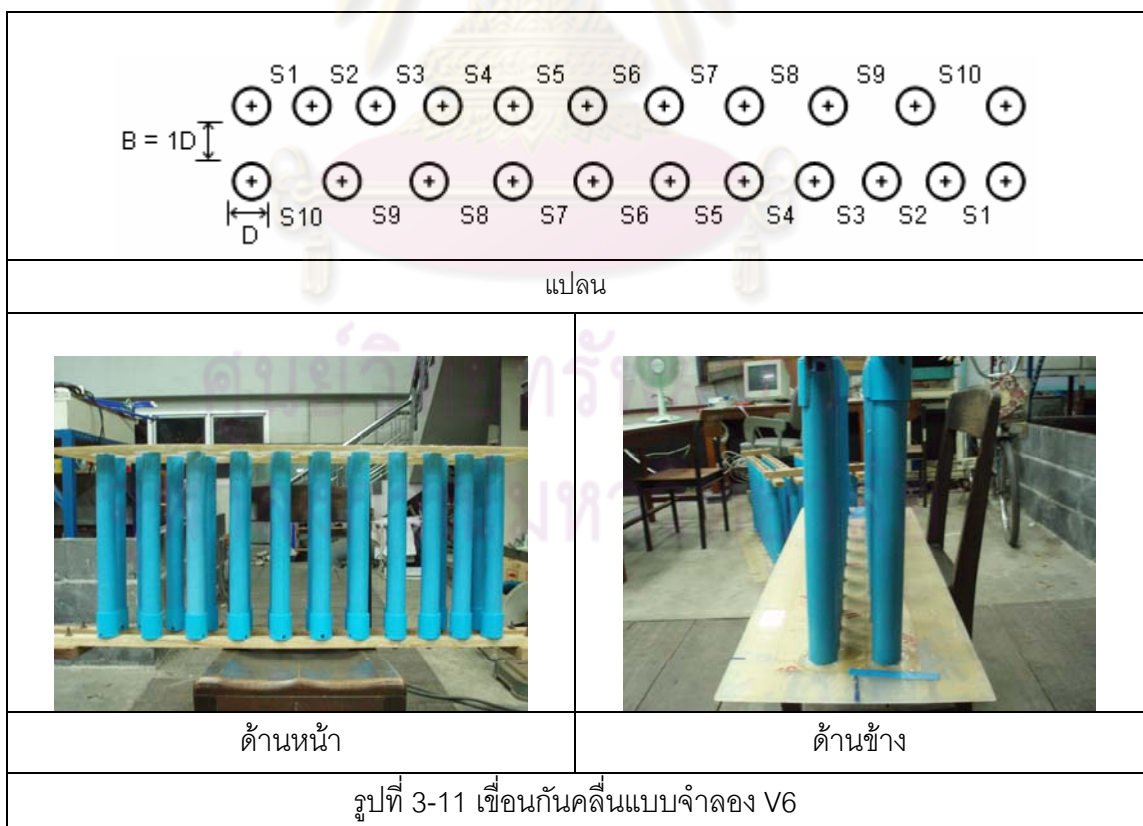
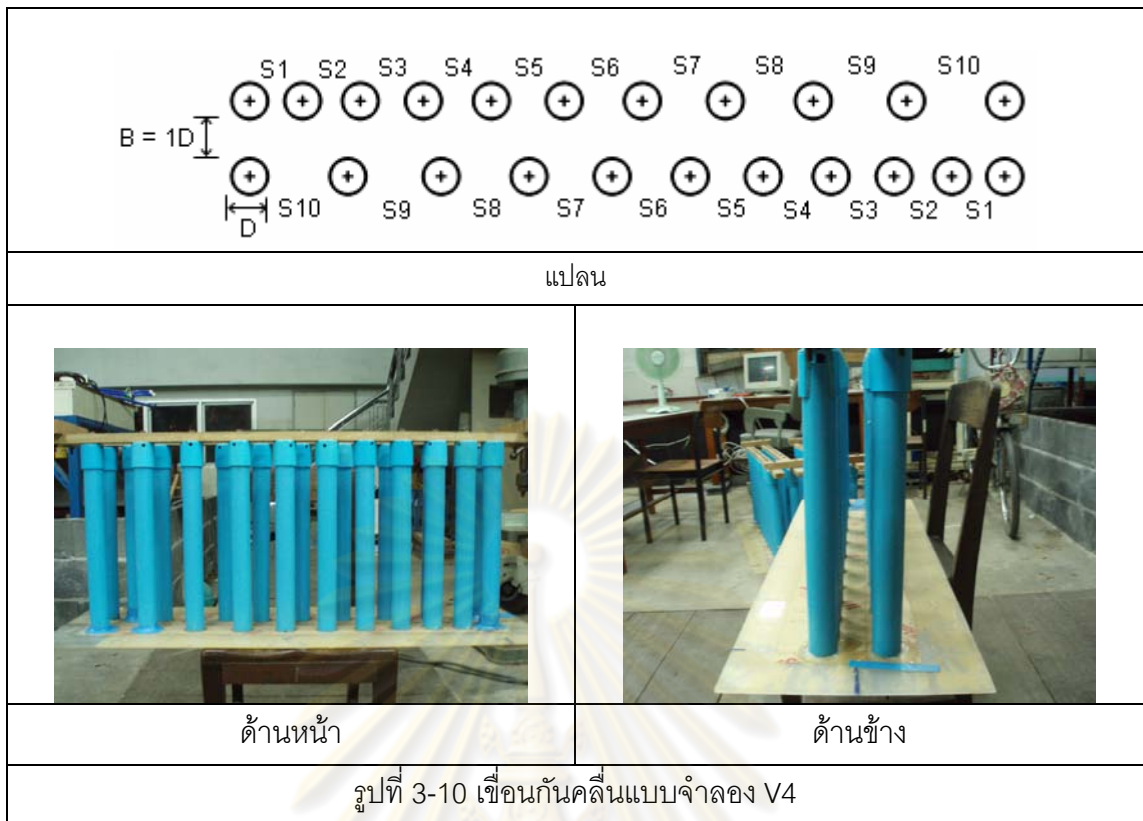
- แบบจำลอง V6 จัดเรียงแบบ 2 แถวกำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 0.6 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เท่ากับ 0.089 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังรูปที่ 3-11

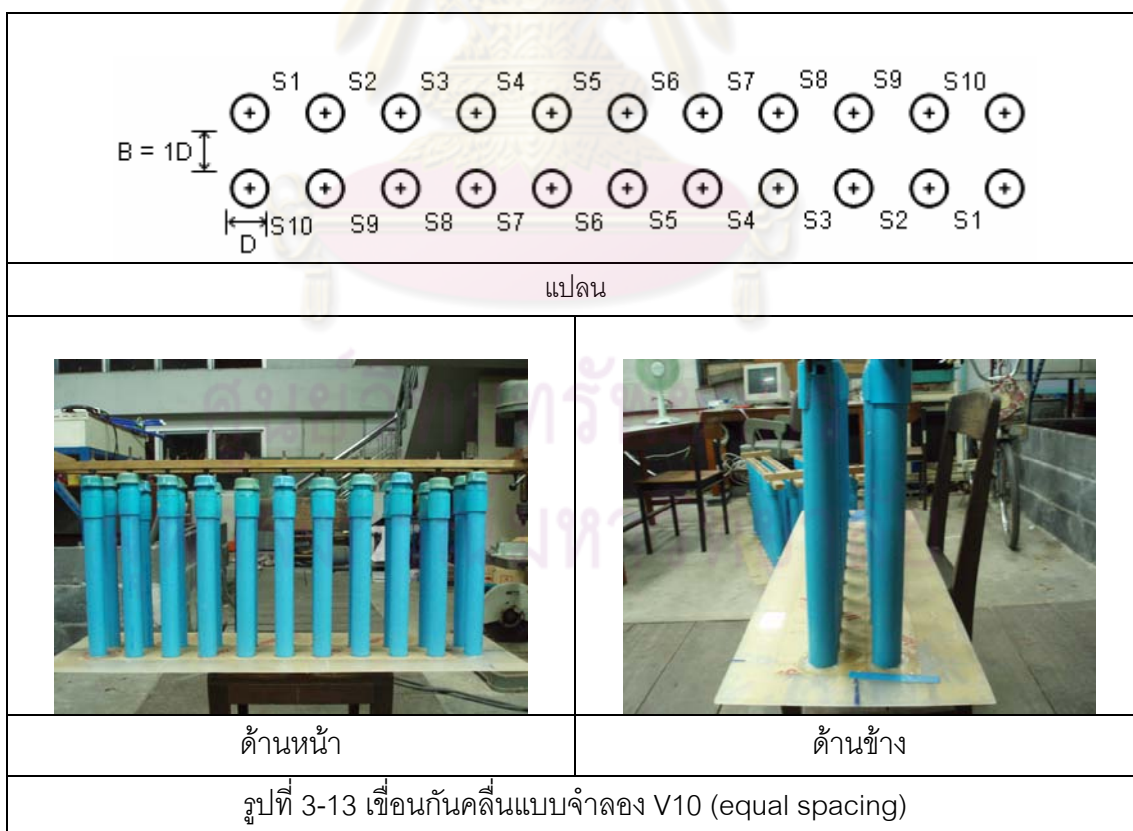
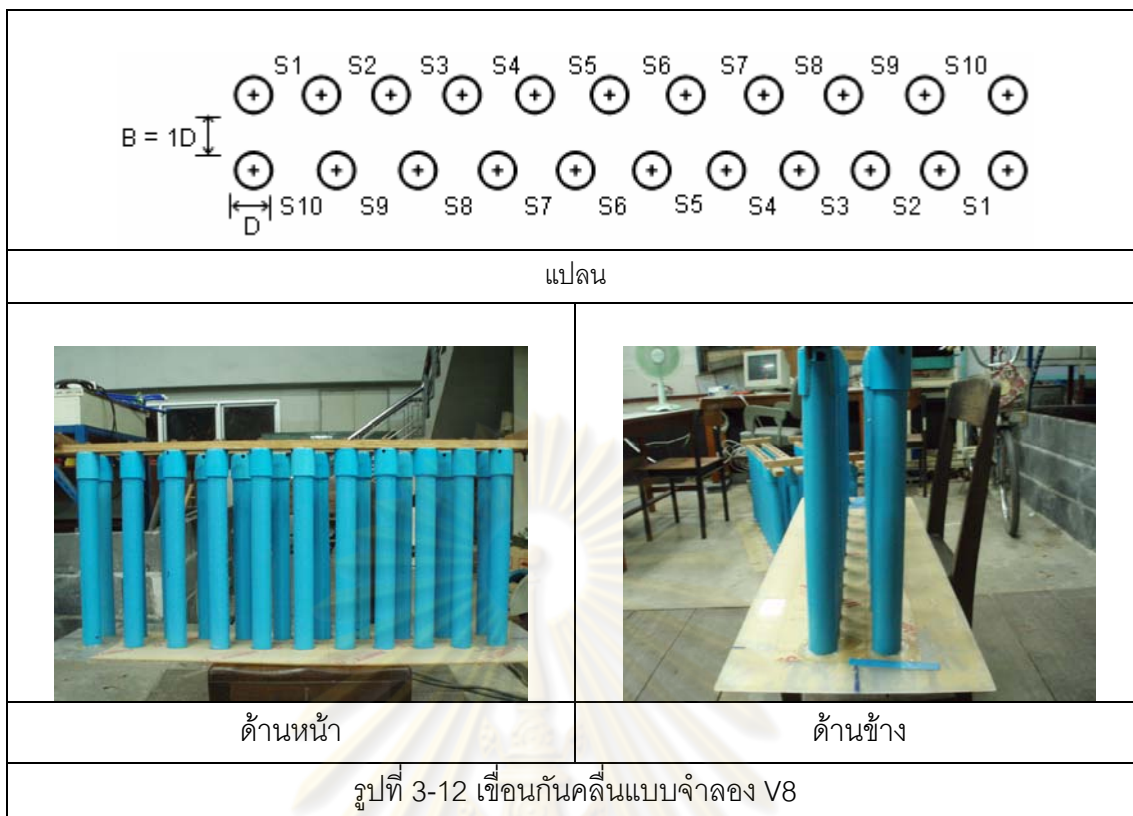
- แบบจำลอง V8 จัดเรียงแบบ 2 แถวกำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 0.8 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เท่ากับ 0.044 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังรูปที่ 3-12

กรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเท่ากัน

- แบบจำลอง V10 จัดเรียงแบบ 2 แถวกำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เท่ากับ 0 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังนั้นช่องว่างทุกช่องจะเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังรูปที่ 3-13







3.2 การวัดข้อมูลคลื่นและความเร็วของอนุภาคน้ำ

3.2.1 การวัดข้อมูลคลื่น

ข้อมูลคลื่นอันประกอบด้วยความสูงคลื่น (wave height, H) และคาบเวลาของคลื่น (wave period, T) นับว่าเป็นข้อมูลที่สำคัญในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคลื่น คลื่นที่เกิดจากเครื่องกำเนิดคลื่นสามารถบันทึกข้อมูลได้โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งควบคุมการวัดและบันทึกข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดความสูงคลื่นที่ติดตั้งในอ่างคลื่นทั้ง 7 ตัว โดยเครื่องวัดความสูงคลื่นตัวที่ 1 (WH1) จะติดตั้งกับชุดอุปกรณ์ช่วยเก็บข้อมูลทำให้สามารถเลื่อนในแนวราบได้ 2 ทิศทางสำหรับเก็บข้อมูลหลังเขื่อนกันคลื่น ส่วนเครื่องวัดความสูงคลื่นตัวอื่นๆ (WH2 ถึง WH7) จะติดตั้ง ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3-14 ข้อมูลที่ได้ประกอบด้วยเวลาและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ณ จุดวัด ซึ่งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนเป็นค่าระดับน้ำได้โดยอาศัยตัวคูณปรับแก้ จากภาคผนวก ข-2 การวัดข้อมูลกำหนดให้บันทึกข้อมูลด้วยความถี่ 250 ข้อมูลต่อวินาทีเป็นเวลาประมาณ 30 วินาที

การพิจารณาตำแหน่งเก็บข้อมูลหลังเขื่อนกันคลื่นของการศึกษาเขื่อนกันคลื่นของทุกรูปแบบการจัดเรียง เนื่องจากเขื่อนกันคลื่นมีการจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเข็มแต่ละต้นไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องเก็บข้อมูลในแนวขนานเขื่อนกันคลื่นที่ละเอียด โดยเก็บทุกๆ 5 ซม. หรือประมาณ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม จำนวน 4 แถว ซึ่งแถวแรกมีระยะห่างจากเขื่อนกันคลื่น 20 ซม. หรือประมาณ 4 เท่าของขนาดเสาเข็ม ส่วนแถวถัดไปมีระยะห่างในแต่ละแถว 10 ซม. หรือประมาณ 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังรูปที่ 3-15 โดยในการวัดเก็บข้อมูลจะใช้เครื่องวัดความสูงคลื่นตัวที่ 1 (WH1)

ข้อมูลคลื่นที่ได้จากเครื่องวัดความสูงคลื่นประกอบด้วย เวลาและค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งต้องนำข้อมูลนี้มาวิเคราะห์หาค่าความสูงคลื่น คาบเวลาของคลื่น และจำนวนของลูกคลื่น จากนั้นนำค่าความสูงและคาบเวลาของคลื่นแต่ละลูกคลื่นมาวิเคราะห์ตามหลักสถิติ การวิเคราะห์ทางสถิติเป็นการประมาณค่าของข้อมูลตัวอย่างคลื่น ซึ่งในการศึกษามีพารามิเตอร์ทางสถิติในการประมาณค่าความสูงคลื่นและคาบเวลาของคลื่นที่นิยมใช้ในงานวิศวกรรมชายฝั่งดังแสดงในตารางที่ 3-1 เมื่อนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามเวลามาคำนวณหาความสูงคลื่น คาบเวลาของคลื่น และจำนวนคลื่นทั้งหมดของตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกได้ในแบบจำลองจากนั้นใช้ค่าความสูงคลื่นที่ได้มาคำนวณค่าความสูงเฉลี่ย (average wave height, \bar{H}) ความสูงคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสอง (root mean squared wave height, H_{rms}) และค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญ (significant wave height, H_s) พบว่า ค่าความสูงคลื่นเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกับความสูงคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสองแต่น้อยกว่าความสูงคลื่นนัยสำคัญแสดงว่าคลื่นที่สร้างในอ่าง

คลื่นค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ความสูงคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสองในการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น

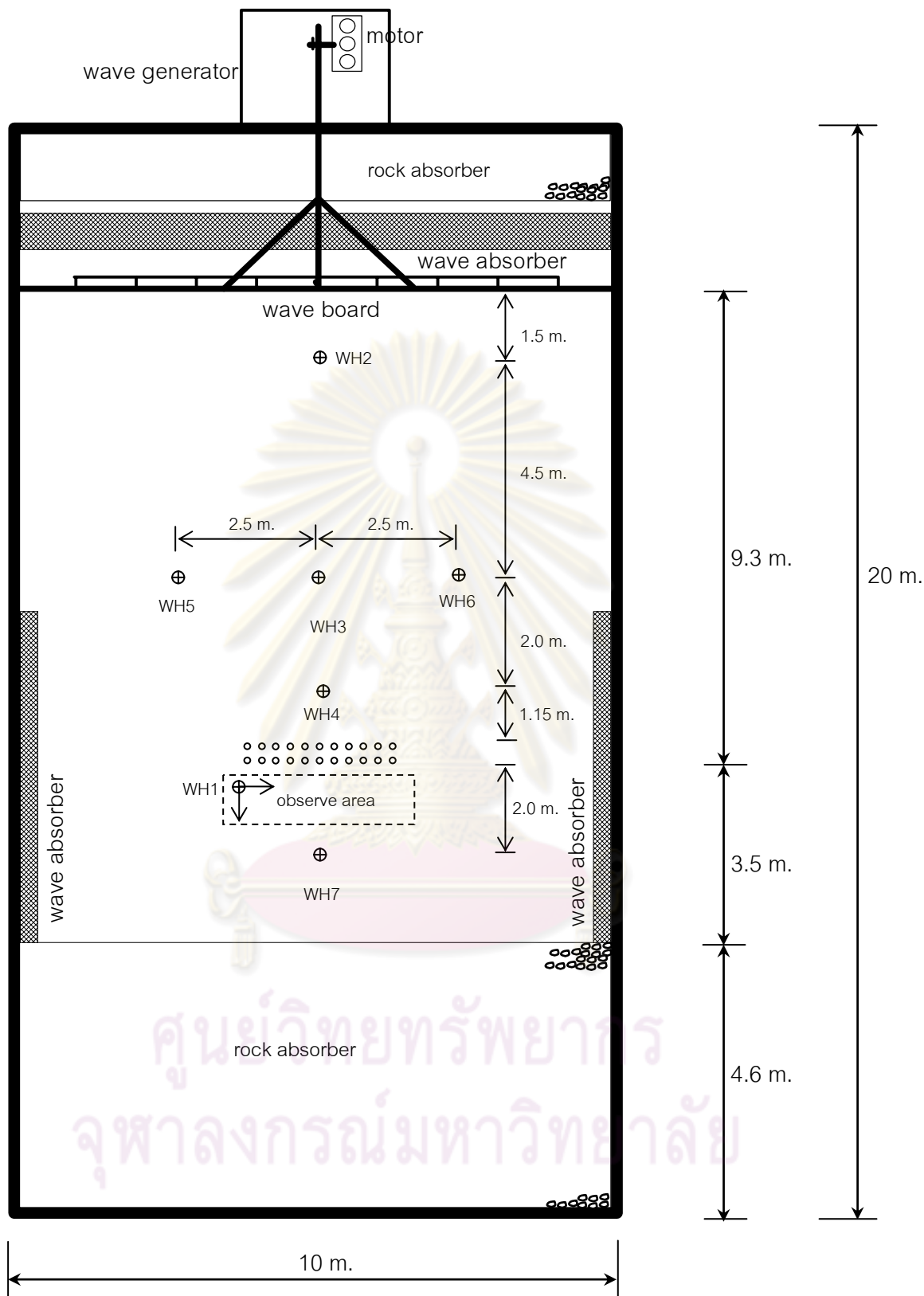
ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์คลื่นที่ใช้ในงานวิศวกรรมชายฝั่ง

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

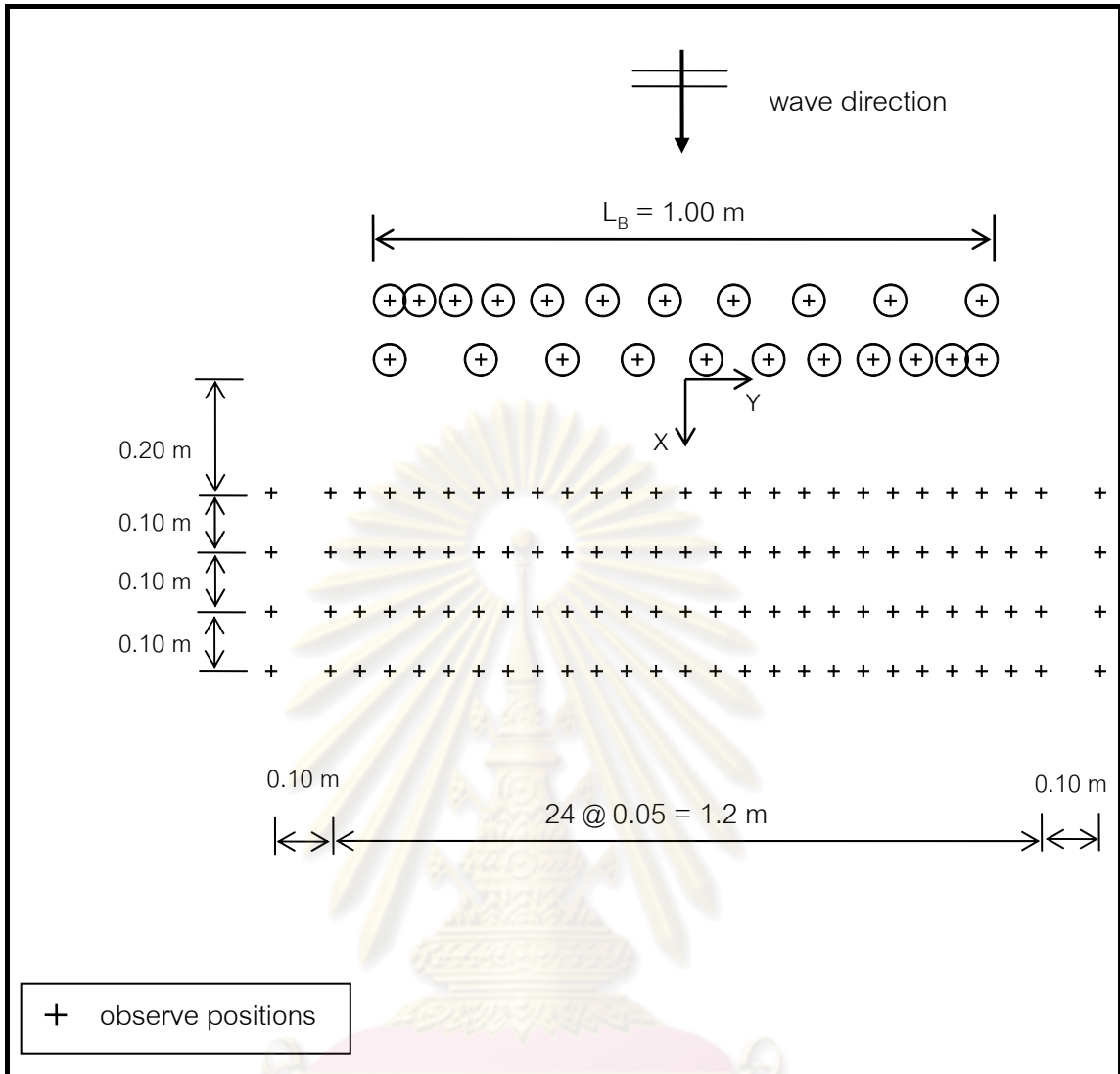
3.2.2 การวัดข้อมูลความเร็วของอนุภาคน้ำ

การวัดความเร็วของอนุภาคน้ำภายใต้คลื่น (orbital velocity) อาศัยเครื่องมือวัดความเร็วการไหลแบบ 3 ทิศทางของ OSK รุ่น ACM 300-D ใช้วัดข้อมูลเฉพาะตำแหน่งหลังเชื่อมกันคลื่น โดยติดตั้งกับชุดอุปกรณ์ช่วยเก็บข้อมูลเช่นเดียวกับเครื่องวัดความสูงคลื่นตัวที่ 1 (WH1) ซึ่งสามารถเลื่อนในแนวราบได้ 2 ทิศทาง และสามารถเลื่อนขึ้น-ลงในแนวดิ่งเพื่อวัดความเร็วของอนุภาคน้ำที่ความลึกต่างๆ ได้

ในการวัดเก็บข้อมูลความเร็วของอนุภาคน้ำจะเก็บในตำแหน่งต่างๆ หลังเชื่อมกันคลื่น ตำแหน่งเดียวกับเครื่องวัดความสูงคลื่นตัวที่ 1 (WH1) ดังรูปที่ 3-15 ที่ความลึกน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ ระดับ 0.5, 0.64 และ 0.81 เท่าของความลึกน้ำขณะน้ำนิ่งอ้างอิงจากท้องน้ำ (0.5d, 0.64d และ 0.81d) เมื่อความลึกของน้ำในการทดลองเท่ากับ 35 ซม. จะเห็นได้ว่าสามารถวัดความเร็วที่ตำแหน่งลึกที่สุดเพียงได้ครึ่งหนึ่งของความลึกขณะน้ำนิ่ง เนื่องจากก้านวัดของเครื่องวัดความเร็วน้ำมีความยาวเพียง 22 ซม. และในการวัดต้องเผื่อระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีคลื่น ข้อมูลที่ได้จากการวัดประกอบด้วย เวลาและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ณ จุดวัด ซึ่งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนเป็นค่าความเร็วการไหลได้โดยอาศัยตัวคูณปรับแก้ จากภาคผนวก ข-3



รูปที่ 3-14 ตำแหน่งวัดข้อมูลคลื่นในแบบจำลองทุกระณีศึกษา (not true scale)



รูปที่ 3-15 ตำแหน่งวัดข้อมูลคลื่นและความเร็วของอนุภาคน้ำหลังเขื่อนกันคลื่น (not true scale)

3.3 การออกแบบการทดลอง

การศึกษาผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น ได้ทดลองในอ่างคลื่น โดยใช้คลื่นที่มีขนาดสม่ำเสมอ (regular wave) และกำหนดความลึกของน้ำบริเวณที่ติดตั้งเขื่อนกันคลื่นขณะน้ำนิ่ง (d) 35 ซม. มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม

แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (pile breakwater) ที่ออกแบบไว้ในการศึกษา มี 6 รูปแบบ ดังกล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.1 ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของแบบจำลองแสดงไว้ในภาคผนวก ก-5 รวมแบบจำลองที่ใช้ทุกกรณีศึกษาดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มในกรณีศึกษาทั้งหมด 6 รูปแบบ

ลำดับช่องว่าง (Sn)	รูปแบบเขื่อนกันคลื่น					
	V0	V2	V4	V6	V8	V10
S1	0D	0.20D	0.40D	0.60D	0.80D	1D
S2	0.22D	0.38D	0.56D	0.69D	0.84D	1D
S3	0.44D	0.56D	0.67D	0.78D	0.89D	1D
S4	0.67D	0.73D	0.80D	0.87D	0.93D	1D
S5	0.89D	0.91D	0.93D	0.96D	0.98D	1D
S6	1.11D	1.09D	1.07D	1.04D	1.02D	1D
S7	1.33D	1.27D	1.20D	1.13D	1.07D	1D
S8	1.56D	1.44D	1.33D	1.22D	1.11D	1D
S9	1.78D	1.62D	1.47D	1.31D	1.16D	1D
S10	2D	1.80D	1.60D	1.40D	1.20D	1D
ช่องว่างระหว่าง เสาด้วยกัน (Δ)	0.222D	0.177D	0.133D	0.089D	0.044D	0D

2) ลักษณะท้องน้ำ

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของคลื่นจากผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นเท่านั้น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นจากผลของการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำและความลาดชันของท้องน้ำ จึงได้ทดลองบนพื้นคอนกรีตที่ไม่มีความลาดเอียงของท้องน้ำ

3) สภาพคลื่นในการทดลอง

เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นรอบๆ บริเวณเขื่อนกันคลื่น โดยเฉพาะบริเวณด้านหลังเขื่อนกันคลื่นซึ่งเป็นพื้นที่หลักในการป้องกัน จะพบว่า ความสูงคลื่นเปลี่ยนแปลง แต่สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงนอกจากจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับขนาดของคลื่น (ทั้งความสูงและคาบเวลา) ในการศึกษาการป้องกันชายฝั่งตัวแปรคลื่นที่บ่งบอกถึงความรุนแรงของคลื่นคือ ความชันคลื่น (H_N/gT^2) อันเป็นกลุ่มตัวแปรคลื่นที่ประกอบด้วยความสูงคลื่นและคาบเวลา กล่าวได้ว่า คลื่นที่รุนแรงจะมีความชันคลื่นมาก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงกำหนดขนาดคลื่น 4 ขนาด ความชันคลื่นอยู่ในช่วง 0.0013 ถึง 0.0078 โดยเปลี่ยนแปลงทั้งค่าความสูงคลื่นและคาบเวลา รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ลักษณะคลื่นที่ใช้ในการศึกษา

ขนาดคลื่น	ความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่, H_N (cm)	คาบคลื่น, T (s)	ความชันคลื่น, H_N/gT^2	ความยาวคลื่น, L (cm)	ความลึกสัมพัทธ์, d/L
เบา (W1)	2.35	1.36	0.0013	219.9	0.16
ปานกลาง(W2)	3.88	1.13	0.0031	171.1	0.20
มาก (W3)	4.33	0.93	0.0047	135.8	0.26
แรงมาก (W4)	5.92	0.88	0.0111	115.6	0.30

*d=35 cm

3.4 ขั้นตอนการศึกษา

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น อันได้แก่ ความสูงคลื่น ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยภายใต้วงโคจรคลื่นตามทิศทางคลื่น และระดับน้ำ บริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น ได้ศึกษาโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของคลื่นระหว่างกรณีมีเขื่อนกันคลื่นกับกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น ในการทดลองได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง คือ การเตรียมการก่อนการทดลอง และการดำเนินการทดลอง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 การเตรียมการก่อนการทดลอง

1) ปรับปรุงพื้นแอ่งคลื่นจากพื้นทรายเป็นวัสดุที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง โดยใช้พื้นคอนกรีต เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นจากผลของการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ

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) ตัวที่ 1 (WH1) และเครื่องมือวัดความเร็วการไหล (current meter) กับชุดอุปกรณ์ช่วยเก็บข้อมูล พร้อมกับเครื่องวัดความสูงคลื่น ตัวอื่นๆ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในแอ่งคลื่น

5) เปิดเครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำเข้าในแอ่งคลื่น โดยมีความลึกของน้ำบริเวณติดตั้งเขื่อนกันคลื่น 35 ซม.

6) ติดตั้งกล้องวิดีโอเพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของคลื่น

3.4.2 การดำเนินการทดลอง

1) เปิดเครื่องกำเนิดคลื่นตามเงื่อนไขของคลื่นที่กำหนด ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง

2) วัดเก็บข้อมูลคลื่นและความเร็วของอนุภาคน้ำกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่นโดยแต่ละตำแหน่งเก็บข้อมูล 30 วินาที

3) ติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มในตำแหน่งที่เตรียมไว้ ในขณะที่เครื่องกำเนิดคลื่นกำลังทำงาน เพื่อรักษาเงื่อนไขของคลื่นให้คงไว้เหมือนกับกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น เนื่องจากการปิดเครื่องแล้วเปิดใหม่จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นแตกต่างจากเดิม

4) วัดเก็บข้อมูลคลื่นและความเร็วของอนุภาคน้ำกรณีมีเขื่อนกันคลื่นโดยแต่ละตำแหน่งเก็บข้อมูล 30 วินาที

5) นำเขื่อนกันคลื่นออกจากแอ่งคลื่น ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที

6) วัดเก็บข้อมูลคลื่นและความเร็วของอนุภาคน้ำกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่นโดยเก็บข้อมูล 30 วินาที เพื่อตรวจสอบกับข้อมูลคลื่นก่อนมีเขื่อนกันคลื่น

7) ทำขั้นตอนที่ 1 ถึง 6 จนครบทุกเขื่อนกันคลื่น

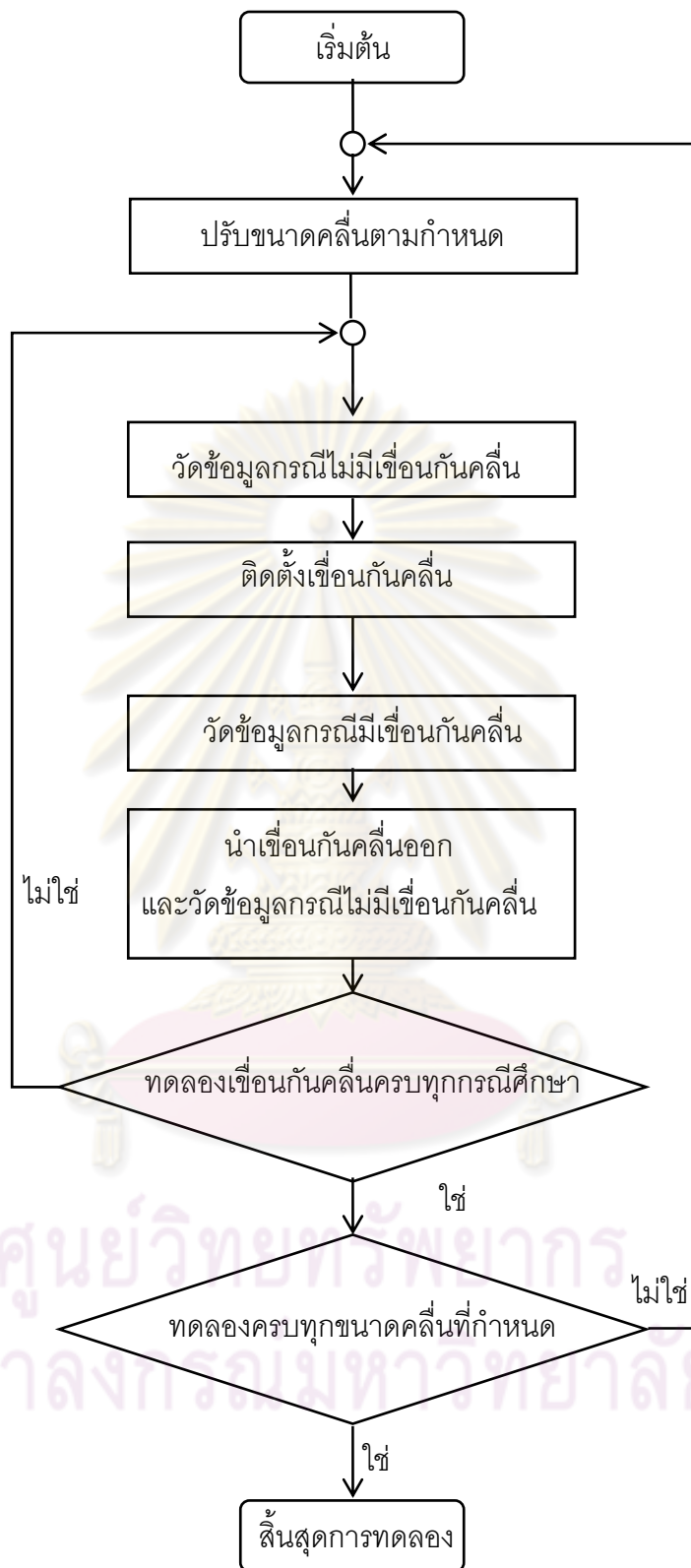
8) ทำขั้นตอนที่ 1 ถึง 7 ซ้ำโดยเปลี่ยนขนาดของคลื่น

กรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นบริเวณด้านหลังเชื่อมกันคลื่น ได้เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่น 4 ขนาด รวมการทดลองทั้งสิ้น 24 การทดลอง แต่ละกรณีใช้เวลาประมาณ 14-16 ชั่วโมงโดยเก็บข้อมูลต่อเนื่อง แสดงในตารางที่ 3-4 และมีแผนผังการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 3-16

ตารางที่ 3-4 รายละเอียดกรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นบริเวณด้านหลังเชื่อมกันคลื่น

แบบจำลอง เชื่อมกันคลื่น	ขนาดคลื่น			
	W1	W2	W3	W4
V0	V0W1	V0W2	V0W3	V0W4
V2	V2W1	V2W2	V2W3	V2W4
V4	V4W1	V4W2	V4W3	V4W4
V6	V6W1	V6W2	V6W3	V6W4
V8	V8W1	V8W2	V8W3	V8W4
V10 (equal spacing)	V10W1	V10W2	V10W3	V10W4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-16 แผนผังขั้นตอนการทดลอง

3.5 ผลการทดลอง

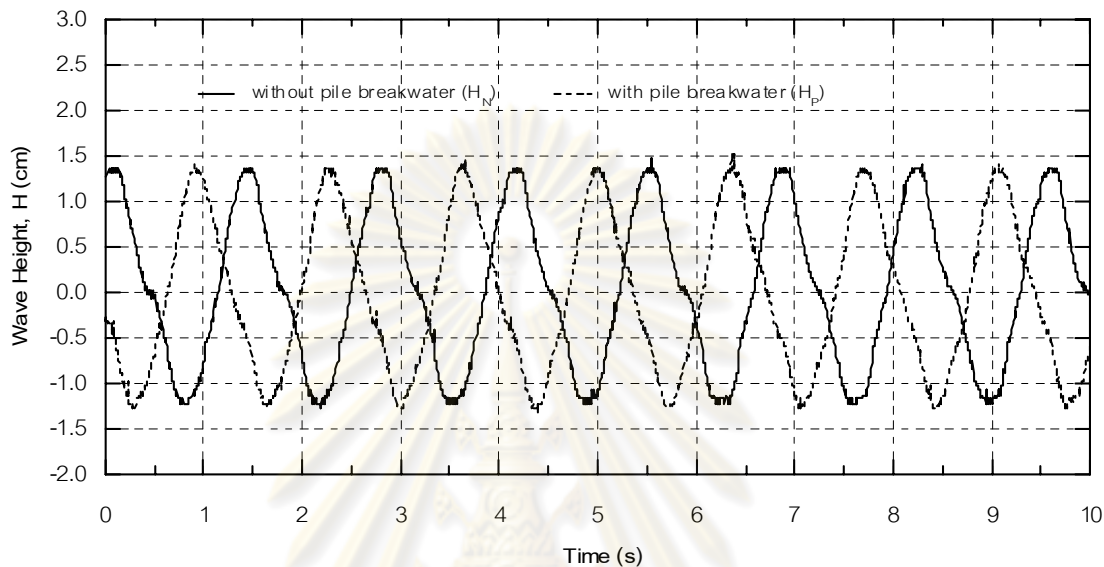
จากการศึกษาทดลองถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น อันได้แก่ ความสูงคลื่น ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยภายใต้วงโคจรคลื่นตามทิศทางคลื่น และระดับน้ำ โดยใช้แบบจำลองกายภาพ ซึ่งได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นและความเร็วของอนุภาคน้ำบริเวณพื้นที่ด้านหลังของเขื่อนกันคลื่น โดยทดลองเขื่อนกันคลื่น 6 รูปแบบกับความชันคลื่น 4 ขนาด รวมการทดลองทั้งสิ้น 24 การทดลอง ข้อมูลจากการทดลองที่ได้นั้นประกอบด้วย

1) ลักษณะคลื่นจากการบันทึก จะประกอบด้วยข้อมูลคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่นและกรณีมีเขื่อนกันคลื่น เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการบันทึกด้วยคอมพิวเตอร์เป็นข้อมูลเวลาและการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ เมื่อนำมาสร้างกราฟจะได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ณ จุดที่เก็บข้อมูลตามเวลา ซึ่งมีรูปร่างคล้ายรูปร่างของคลื่นที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 3-17 ซึ่งสามารถนำมาคำนวณคาบเวลา ความสูงของคลื่น และจำนวนของคลื่นได้

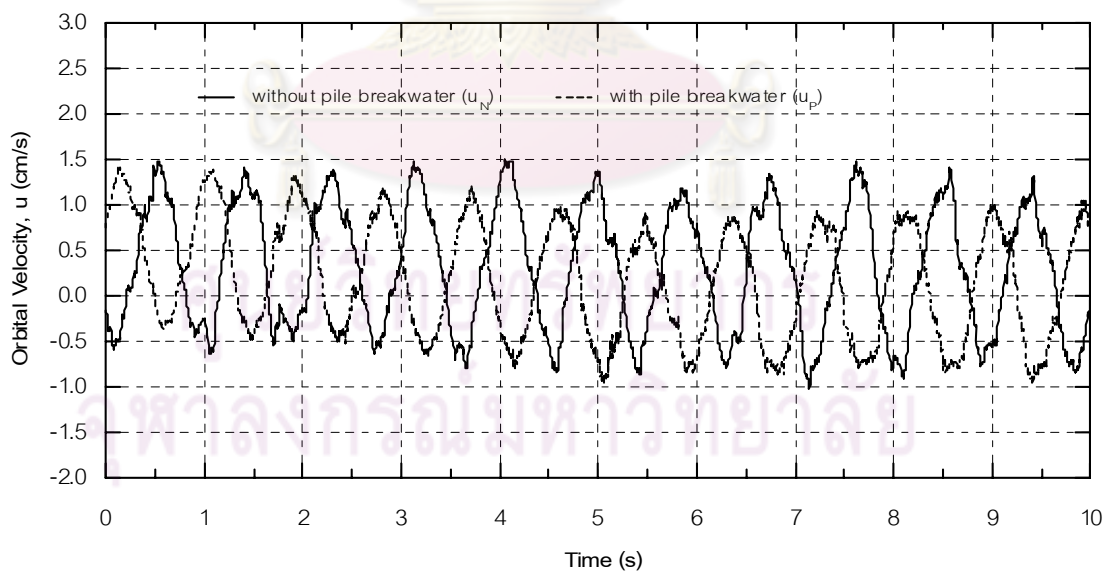
2) ลักษณะความเร็วของอนุภาคน้ำ จะประกอบด้วยข้อมูลความเร็วการไหลทั้ง 3 ทิศทาง กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่นและกรณีมีเขื่อนกันคลื่น เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการบันทึกด้วยคอมพิวเตอร์เป็นข้อมูลเวลาและการเปลี่ยนแปลงความเร็ว เมื่อนำมาสร้างกราฟจะได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ณ จุดที่เก็บข้อมูลตามเวลา ดังแสดงในรูปที่ 3-18

3) ตารางสรุปการทดลอง ประกอบด้วยข้อมูลคลื่นและความเร็วอนุภาคน้ำในทิศทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น (u) ณ ตำแหน่งต่างๆ หลังเขื่อนกันคลื่น ข้อมูลคลื่นประกอบด้วย ความสูงคลื่นและคาบเวลาของคลื่นในกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น (without pile breakwater) และกรณีมีเขื่อนกันคลื่น (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 อัตราส่วนเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น (K_p) ส่วนความเร็วอนุภาคน้ำจะแสดงค่าสูงสุดในทิศทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น (U) ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง โดยพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่นกับกรณีมีเขื่อนกันคลื่น เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบความสูงคลื่น ซึ่งตัวอย่างผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3-5 และรายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ค-1

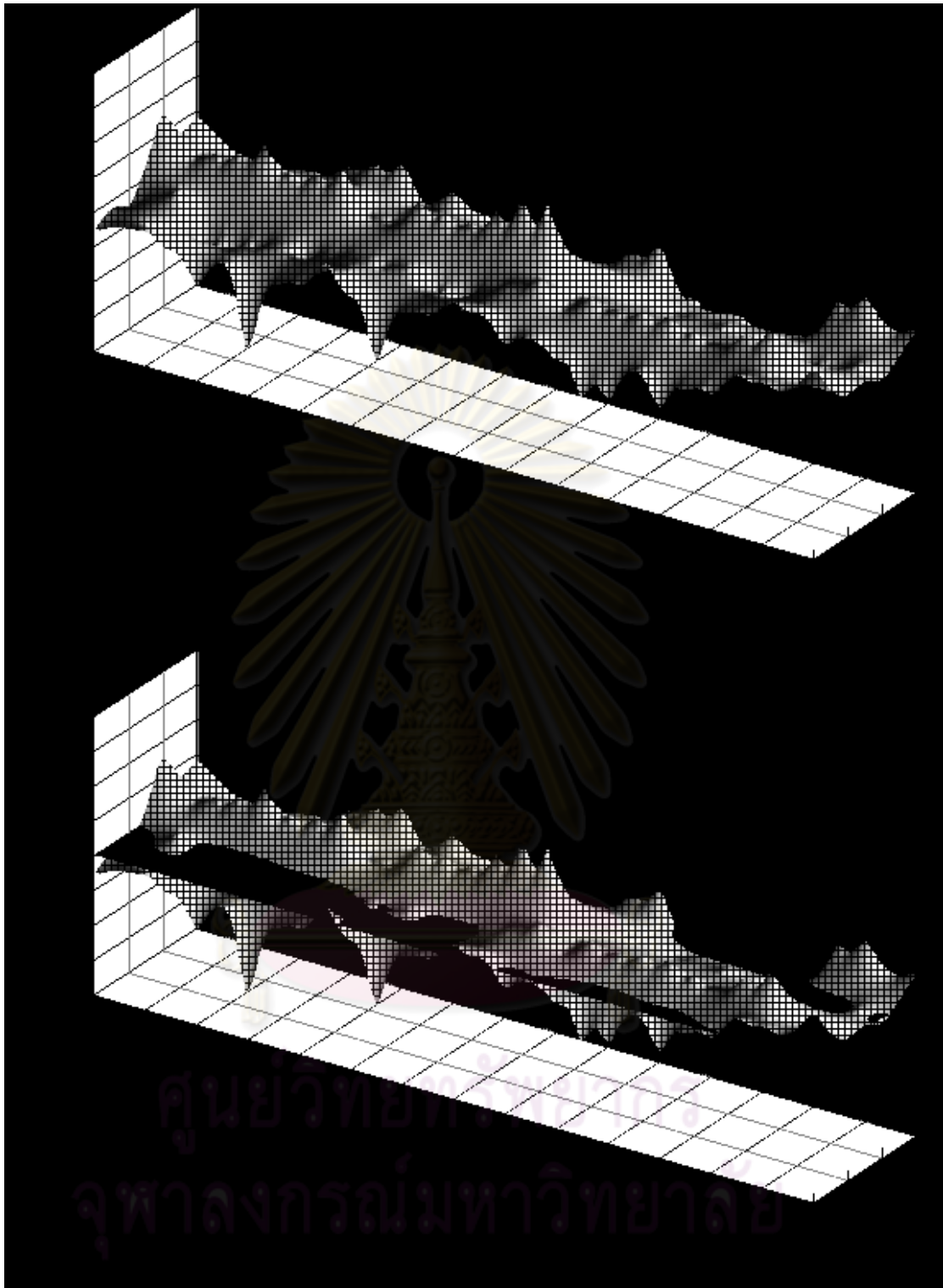
จากผลการทดลองในกรณีการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นสามารถนำค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (K_p) มาแสดงผลในรูปของพื้นที่ผิว (surface area) ดังแสดงในรูปที่ 3-19 รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ค-2 ส่วนในกรณีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของอนุภาคน้ำภายใต้วงโคจรตามทิศทางคลื่น (u) จะแสดงตัวอย่างในรูปของเวกเตอร์ความเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 3-20



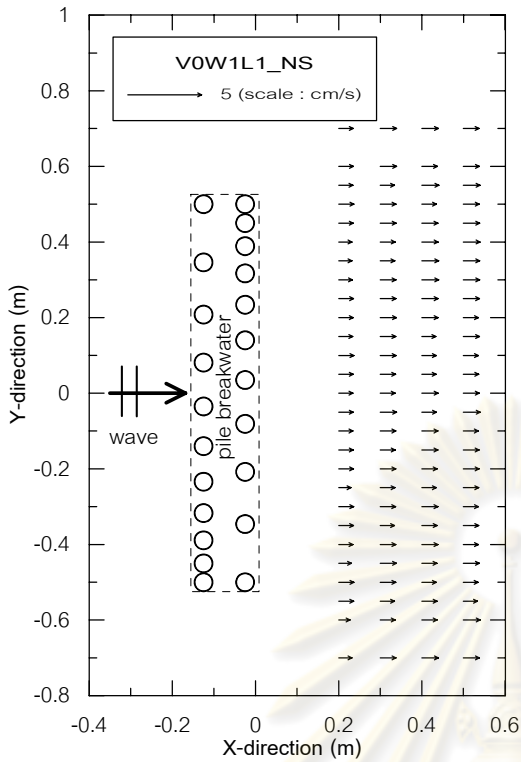
รูปที่ 3-17 ตัวอย่างข้อมูลคลื่น



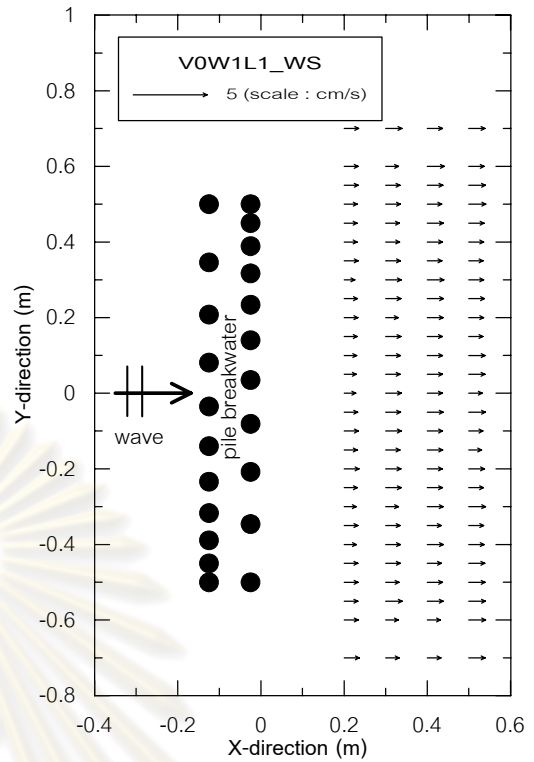
รูปที่ 3-18 ตัวอย่างความเร็วอนุภาคน้ำในทิศทางตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น (u)



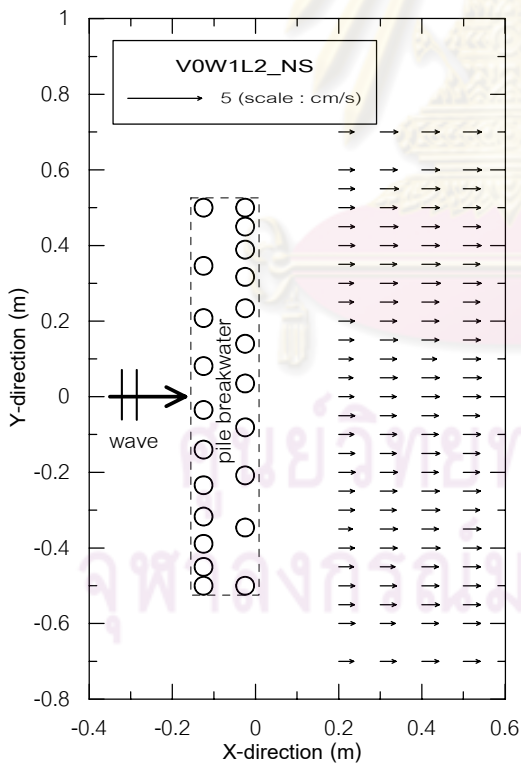
รูปที่ 3-19 ตัวอย่างพื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น



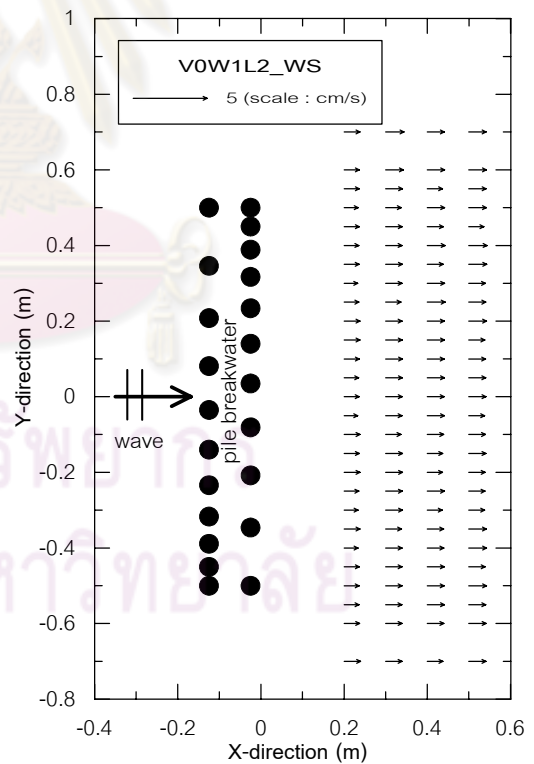
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเชื่อมกันคลื่น)

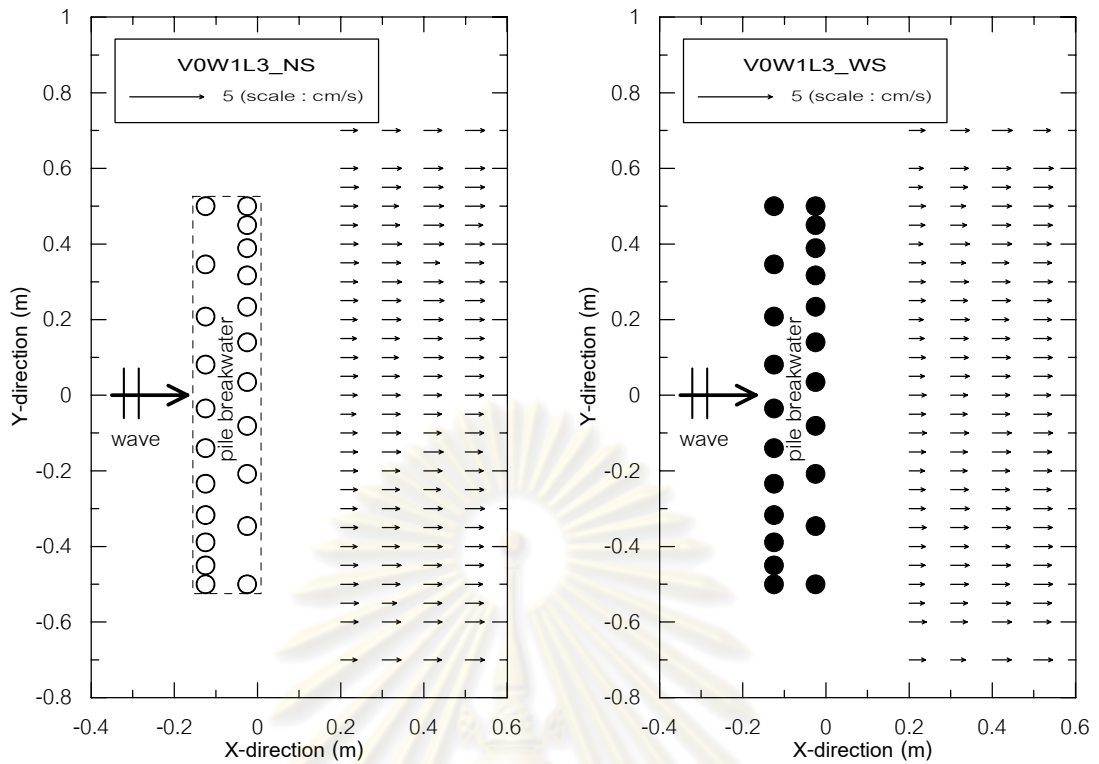


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น)



ระดับ 0.64d (กรณีมีเชื่อมกันคลื่น)

รูปที่ 3-20 ตัวอย่างเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยภายใต้วงโคจรตามทิศทางคลื่น (u)



ระดับ 0.81d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)

ระดับ 0.81d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

รูปที่ 3-20 ตัวอย่างเวกเตอร์ความเร็วสูงสุดของอนุภาคน้ำในทิศทางตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น (u) (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-5 ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูล กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0013

No.	Positions		orbital velocity, u (cm/s)											
	X	Y	wave height (cm)			0.5d			0.64d			0.81d		
			H_N	H_P	K_P	u_N	u_P	$u_{P/}$ u_N	u_N	u_P	$u_{P/}$ u_N	u_N	u_P	$u_{P/}$ u_N
1	0.20	-0.70	2.67	2.85	1.070	0.88	1.01	1.148	0.99	1.08	1.227	1.08	1.09	1.239
2	0.20	-0.60	2.73	2.82	1.031	0.75	0.94	1.253	1.07	1.02	1.36	1.14	1.13	1.507
3	0.20	-0.55	2.69	2.78	1.035	0.99	0.92	0.929	1.03	0.98	0.99	1.15	1.01	1.02
4	0.20	-0.50	2.64	2.63	0.994	1.00	0.93	0.93	1.05	0.99	0.99	1.14	1.01	1.01
5	0.20	-0.45	2.74	2.71	0.990	0.84	0.91	1.083	0.98	1.01	1.202	1.13	1.05	1.25
6	0.20	-0.40	2.72	2.59	0.953	0.94	0.82	0.872	1.02	0.91	0.968	1.07	1.07	1.138
7	0.20	-0.35	2.67	2.65	0.996	0.98	0.92	0.939	0.89	1.05	1.071	1.12	1.12	1.143
8	0.20	-0.30	2.71	2.56	0.942	0.99	0.81	0.818	1.04	0.92	0.929	1.08	1.05	1.061
9	0.20	-0.25	2.79	2.61	0.935	0.82	0.89	1.085	1.02	0.97	1.183	1.10	1.05	1.28
10	0.20	-0.20	2.66	2.60	0.979	0.98	0.99	1.01	1.08	1.04	1.061	1.11	1.01	1.031
11	0.20	-0.15	2.69	2.68	0.998	0.96	0.88	0.917	1.05	1.00	1.042	1.09	1.07	1.115
12	0.20	-0.10	2.68	2.62	0.980	0.94	0.95	1.011	0.99	1.04	1.106	1.07	1.14	1.213
13	0.20	-0.05	2.66	2.69	1.014	0.95	0.90	0.947	1.05	0.89	0.937	1.00	1.07	1.126
14	0.20	0.00	2.62	2.68	1.022	0.94	0.78	0.83	0.99	0.99	1.053	1.07	1.11	1.181
15	0.20	0.05	2.69	2.67	0.991	0.95	0.81	0.853	0.93	0.96	1.011	1.11	1.01	1.063
16	0.20	0.10	2.71	2.66	0.984	1.00	0.84	0.84	0.94	1.00	1	1.12	1.07	1.07
17	0.20	0.15	2.72	2.45	0.901	0.93	0.87	0.935	0.99	1.04	1.118	1.04	0.99	1.065
18	0.20	0.20	2.67	2.64	0.985	0.96	0.91	0.948	1.03	1.05	1.094	1.08	0.92	0.958
19	0.20	0.25	2.58	2.65	1.024	0.98	0.89	0.908	0.98	0.97	0.99	1.13	1.06	1.082
20	0.20	0.30	2.64	2.59	0.981	0.90	0.71	0.789	0.98	0.89	0.989	1.10	1.05	1.167
21	0.20	0.35	2.62	2.54	0.971	0.88	0.94	1.068	1.03	0.99	1.125	1.15	1.09	1.239
22	0.20	0.40	2.61	2.25	0.863	0.88	0.86	0.977	1.05	0.97	1.102	1.14	0.89	1.011
23	0.20	0.45	2.57	2.53	0.983	0.96	0.86	0.896	1.04	1.01	1.052	1.09	1.04	1.083
24	0.20	0.50	2.78	2.61	0.940	1.00	0.87	0.87	1.04	0.93	0.93	1.12	1.06	1.06
25	0.20	0.55	2.70	2.64	0.977	0.94	0.94	1	1.04	1.01	1.074	1.15	0.87	0.926
26	0.20	0.60	2.61	2.59	0.994	0.97	0.94	0.969	1.02	1.00	1.031	1.13	0.93	0.959
27	0.20	0.70	2.70	2.64	0.975	0.95	0.96	1.011	1.01	1.05	1.105	1.10	1.03	1.084
28	0.30	-0.70	2.21	2.22	1.005	1.04	0.89	0.856	1.04	1.08	1.038	1.23	0.98	0.942
29	0.30	-0.60	2.25	2.30	1.024	0.98	0.85	0.867	0.99	1.07	1.092	1.20	1.08	1.102
30	0.30	-0.55	2.23	2.38	1.067	0.93	1.10	1.183	1.04	1.06	1.14	0.95	1.10	1.183
31	0.30	-0.50	2.24	2.36	1.051	1.03	0.88	0.854	1.06	1.07	1.039	1.16	1.17	1.136
32	0.30	-0.45	2.31	2.36	1.024	1.06	0.97	0.915	0.96	1.07	1.009	1.23	1.20	1.132
33	0.30	-0.40	2.27	2.33	1.028	1.03	0.98	0.951	1.10	1.07	1.039	1.10	1.17	1.136
34	0.30	-0.35	2.25	2.35	1.042	0.94	0.96	1.021	1.11	1.05	1.117	1.11	1.14	1.213
35	0.30	-0.30	2.28	2.37	1.041	1.01	0.86	0.851	1.03	1.12	1.109	1.14	1.20	1.188
36	0.30	-0.25	2.29	2.37	1.032	0.97	1.04	1.072	1.09	1.10	1.134	1.13	1.15	1.186
37	0.30	-0.20	2.31	2.40	1.039	1.02	1.01	0.99	1.13	1.12	1.098	1.14	1.06	1.039
38	0.30	-0.15	2.35	2.39	1.015	0.99	0.95	0.96	1.05	1.11	1.121	1.20	1.08	1.091
39	0.30	-0.10	2.24	2.34	1.045	1.03	1.03	1	1.07	1.00	0.971	1.19	1.17	1.136
40	0.30	-0.05	2.22	2.28	1.026	1.08	1.00	0.926	1.04	1.07	0.991	1.17	1.06	0.981

* wave period (T) = 1.36 s

ตารางที่ 3-5 ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูล กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0013 (ต่อ)

No.	Positions		wave height (cm)			orbital velocity, u (cm/s)								
	X	Y	H_N	H_P	K_P	0.5d			0.64d			0.81d		
						u_N	u_P	$u_{P/}$ u_N	u_N	u_P	$u_{P/}$ u_N	u_N	u_P	$u_{P/}$ u_N
41	0.30	0.00	2.29	2.30	1.005	0.98	1.05	1.071	1.04	1.09	1.112	1.17	1.10	1.122
42	0.30	0.05	2.46	2.37	0.964	1.01	0.96	0.95	1.10	1.10	1.089	1.10	1.22	1.208
43	0.30	0.10	2.42	2.37	0.980	1.05	0.99	0.943	1.06	1.11	1.057	1.06	1.15	1.095
44	0.30	0.15	2.36	2.37	1.006	1.03	1.01	0.981	1.12	1.09	1.058	1.10	1.13	1.097
45	0.30	0.20	2.36	2.36	0.999	1.06	0.83	0.783	1.07	1.08	1.019	1.22	1.21	1.142
46	0.30	0.25	2.33	2.33	1.000	1.04	1.01	0.971	1.14	1.00	0.962	1.22	1.11	1.067
47	0.30	0.30	2.26	2.24	0.991	1.04	1.04	1	1.12	1.08	1.038	1.25	1.15	1.106
48	0.30	0.35	2.30	2.23	0.972	0.96	0.98	1.021	1.08	1.10	1.146	1.21	0.98	1.021
49	0.30	0.40	2.32	2.29	0.988	0.99	0.93	0.939	1.14	1.08	1.091	1.25	1.23	1.242
50	0.30	0.45	2.28	2.21	0.966	1.05	0.92	0.876	1.15	1.09	1.038	1.13	1.05	1
51	0.30	0.50	2.31	2.18	0.943	1.04	0.98	0.942	1.09	1.03	0.99	1.06	0.96	0.923
52	0.30	0.55	2.34	2.18	0.933	0.93	0.94	1.011	1.19	1.11	1.194	1.20	1.11	1.194
53	0.30	0.60	2.32	2.37	1.021	1.07	0.86	0.804	1.10	1.16	1.084	1.25	1.15	1.075
54	0.30	0.70	2.32	2.26	0.975	1.08	1.07	0.991	1.15	1.21	1.12	1.18	1.24	1.148
55	0.40	-0.70	2.08	2.07	0.994	1.09	0.91	0.835	1.11	1.03	0.945	1.15	1.24	1.138
56	0.40	-0.60	2.19	2.15	0.981	1.00	0.88	0.88	1.09	1.10	1.1	1.18	1.27	1.27
57	0.40	-0.55	2.19	2.13	0.975	1.00	1.05	1.05	1.15	1.13	1.13	1.17	1.19	1.19
58	0.40	-0.50	2.16	2.15	0.993	0.95	1.02	1.074	1.11	1.11	1.168	1.17	1.12	1.179
59	0.40	-0.45	2.17	2.18	1.005	0.99	0.94	0.949	1.08	1.12	1.131	1.16	1.18	1.192
60	0.40	-0.40	2.18	2.20	1.009	1.05	1.07	1.019	1.18	1.10	1.048	1.19	1.16	1.105
61	0.40	-0.35	2.19	2.20	1.005	1.00	0.93	0.93	1.07	1.08	1.08	1.20	1.21	1.21
62	0.40	-0.30	2.18	2.19	1.002	1.05	1.05	1	1.17	0.98	0.933	1.20	1.17	1.114
63	0.40	-0.25	2.22	2.24	1.009	0.95	1.02	1.074	1.13	1.13	1.189	1.10	1.13	1.189
64	0.40	-0.20	2.24	2.27	1.014	1.00	1.00	1	1.06	1.01	1.01	1.18	1.13	1.13
65	0.40	-0.15	2.24	2.27	1.015	1.06	1.03	0.972	1.17	1.02	0.962	1.26	1.20	1.132
66	0.40	-0.10	2.22	2.27	1.023	1.05	1.02	0.971	1.05	1.08	1.029	1.13	1.24	1.181
67	0.40	-0.05	2.15	2.38	1.107	0.97	1.06	1.093	1.08	1.13	1.165	1.16	1.14	1.175
68	0.40	0.00	2.20	2.42	1.103	1.07	1.00	0.935	1.15	1.11	1.037	1.15	1.14	1.065
69	0.40	0.05	2.21	2.38	1.077	0.94	1.02	1.085	1.13	1.13	1.202	1.19	1.16	1.234
70	0.40	0.10	2.24	2.35	1.049	0.95	1.01	1.063	0.96	1.11	1.168	1.26	1.18	1.242
71	0.40	0.15	2.24	2.36	1.053	0.92	1.00	1.087	1.11	1.13	1.228	1.20	1.15	1.25
72	0.40	0.20	2.23	2.36	1.058	1.07	1.06	0.991	1.10	1.12	1.047	1.25	1.09	1.019
73	0.40	0.25	2.23	2.27	1.016	1.07	1.08	1.009	1.10	1.17	1.093	1.31	1.17	1.093
74	0.40	0.30	2.22	2.26	1.015	1.11	1.11	1	1.22	1.15	1.036	1.25	1.16	1.045
75	0.40	0.35	2.22	2.38	1.072	1.11	0.98	0.883	1.18	1.05	0.946	1.04	1.09	0.982
76	0.40	0.40	2.23	2.36	1.056	1.07	1.02	0.953	1.15	1.17	1.093	1.28	1.27	1.187
77	0.40	0.45	2.13	2.24	1.047	1.06	1.07	1.009	1.14	1.06	1	1.30	1.21	1.142
78	0.40	0.50	2.08	2.24	1.077	0.97	0.97	1	1.14	1.15	1.186	1.28	1.24	1.278
79	0.40	0.55	2.05	2.16	1.055	1.12	1.04	0.929	1.17	1.01	0.902	1.25	1.19	1.063
80	0.40	0.60	2.11	2.20	1.040	1.03	1.13	1.097	1.16	1.14	1.107	1.23	1.23	1.194

* wave period (T) = 1.36 s

ตารางที่ 3-5 ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูล กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0013 (ต่อ)

No.	Positions		wave height (cm)			orbital velocity, u (cm/s)								
	X	Y	H_N	H_P	K_P	0.5d			0.64d			0.81d		
						u_N	u_P	u_P/u_N	u_N	u_P	u_P/u_N	u_N	u_P	u_P/u_N
81	0.40	0.70	2.08	2.24	1.078	1.10	1.02	0.927	1.13	1.12	1.018	1.17	1.30	1.182
82	0.50	-0.70	2.14	2.21	1.032	1.05	1.08	1.029	1.09	1.13	1.076	1.25	1.23	1.171
83	0.50	-0.60	2.07	2.19	1.059	1.10	1.11	1.009	1.12	1.14	1.036	1.22	1.12	1.018
84	0.50	-0.55	2.11	2.21	1.044	0.92	1.10	1.196	1.11	1.12	1.217	1.17	1.15	1.25
85	0.50	-0.50	2.17	2.10	0.965	0.96	1.08	1.125	1.11	1.17	1.219	1.13	1.23	1.281
86	0.50	-0.45	2.18	2.11	0.965	1.05	1.06	1.01	1.11	1.07	1.019	1.19	1.15	1.095
87	0.50	-0.40	2.20	2.08	0.947	0.99	1.02	1.03	1.15	1.16	1.172	1.18	1.23	1.242
88	0.50	-0.35	2.12	2.07	0.979	1.01	0.98	0.97	1.14	1.15	1.139	1.17	1.20	1.188
89	0.50	-0.30	2.19	2.10	0.960	0.98	1.11	1.133	1.06	1.04	1.061	1.26	1.19	1.214
90	0.50	-0.25	2.17	2.13	0.982	1.01	0.97	0.96	1.11	1.06	1.05	1.21	1.12	1.109
91	0.50	-0.20	2.11	2.21	1.047	1.03	1.04	1.01	1.06	1.07	1.039	1.16	1.16	1.126
92	0.50	-0.15	2.11	2.17	1.027	1.03	0.85	0.825	1.07	1.13	1.097	1.09	1.16	1.126
93	0.50	-0.10	2.19	2.19	0.999	0.97	0.93	0.959	1.12	1.09	1.124	1.20	1.22	1.258
94	0.50	-0.05	2.24	2.16	0.964	1.10	1.10	1	1.06	1.04	0.945	1.16	1.15	1.045
95	0.50	0.00	2.18	2.14	0.980	1.04	0.90	0.865	1.14	1.13	1.087	1.18	1.10	1.058
96	0.50	0.05	2.17	2.15	0.989	1.01	1.07	1.059	1.15	1.11	1.099	1.21	1.19	1.178
97	0.50	0.10	2.14	2.16	1.010	0.98	1.09	1.112	1.10	1.10	1.122	1.21	1.20	1.224
98	0.50	0.15	2.12	2.16	1.020	1.06	0.93	0.877	1.09	1.05	0.991	1.22	1.16	1.094
99	0.50	0.20	2.08	2.16	1.040	0.99	0.98	0.99	1.11	1.17	1.182	1.22	1.15	1.162
100	0.50	0.25	2.13	2.14	1.008	1.06	1.04	0.981	1.07	1.12	1.057	1.27	1.17	1.104
101	0.50	0.30	2.12	2.24	1.059	1.07	0.99	0.925	1.15	1.09	1.019	1.22	1.21	1.131
102	0.50	0.35	2.08	2.17	1.047	1.08	0.95	0.88	1.08	1.18	1.093	1.21	1.16	1.074
103	0.50	0.40	2.08	2.15	1.033	1.09	0.98	0.899	1.15	1.20	1.101	1.22	1.13	1.037
104	0.50	0.45	2.11	2.13	1.009	1.07	1.01	0.944	1.13	0.99	0.925	1.14	1.20	1.121
105	0.50	0.50	2.15	2.17	1.007	1.04	1.12	1.077	1.13	1.15	1.106	1.27	1.25	1.202
106	0.50	0.55	2.20	2.16	0.984	1.09	1.10	1.009	1.09	1.14	1.046	1.26	1.24	1.138
107	0.50	0.60	2.07	2.07	0.999	1.05	1.02	0.971	1.17	1.15	1.095	1.27	1.27	1.21
108	0.50	0.70	1.96	2.04	1.041	1.03	1.07	1.039	1.18	1.14	1.107	1.27	1.09	1.058

* wave period (T) = 1.36 s

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ใช้แบบจำลองทางกายภาพของอ่างคลื่น เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (equally spaced) และไม่เท่ากัน (unequally spaced) ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม อันได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่น และการเปลี่ยนแปลงความเร็วอนุภาคน้ำภายใต้วงโคจรคลื่น (orbital velocity) ภายใต้การผันแปรของการจัดเรียงระยะห่างเสาเข็มของเขื่อนกันคลื่น และขนาดของคลื่น ในการทดลองได้จัดเรียงเขื่อนกันคลื่น 2 รูปแบบ แบ่งเป็น 6 กรณีศึกษา ประกอบด้วย รูปแบบเขื่อนกันคลื่นที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (equal spacing, V10) 1 กรณีศึกษา และรูปแบบเขื่อนกันคลื่นที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน (un-equal spacing) 5 กรณีศึกษา

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชลศาสตร์ (hydraulic characteristics) ของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม มีความสัมพันธ์กับ ขนาดและรูปร่างของเสาเข็ม (size and shape) รูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น (arrangement pattern) จำนวนของเสาเข็ม และแถวของเขื่อนกันคลื่น และขนาดของคลื่น ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของคลื่น (wave characteristics) กระแสน้ำ (current) และ ระดับน้ำ (water level) แตกต่างกันไป แต่การทดลองเพื่อให้ได้ผลมาวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากันนั้น ได้คงปัจจัย ขนาดของเสาเข็ม จำนวนเสาเข็ม ระยะห่างระหว่างแถว ความลึกน้ำ และขนาดของช่องว่างสุทธิของเสาเข็มเท่ากันทุกการทดลอง ดังนั้นจากการใช้เทคนิควิเคราะห์มิติ (dimension analysis) สามารถเขียนฟังก์ชันอธิบายความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่นในรูปแบบของกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (dimensionless parameter) ได้เป็นสมการที่ 4-1

$$\frac{H_p}{H_N} = f \left[\frac{H_N}{gT^2}, \frac{S_1}{D} \right] \quad (4-1)$$

โดยตัวแปรของปัญหาที่เป็นตัวแปรตามคือ (H_p/H_N) หรือเรียกว่า อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (K_p) ดังสมการที่ 4-2

$$K_p = f \left[\frac{H_N}{gT^2}, \frac{S_1}{D} \right] \quad (4-2)$$

นำมาวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระ คือ กลุ่มตัวแปรคลื่นที่อยู่ในรูปของ ความสูงคลื่นก่อนมีเขื่อนกันคลื่นที่สัมพันธ์กับความชันคลื่น (H_N/gT^2) และตัวแปรของ

ระยะห่างระหว่างเสาเข็มช่องที่ 1 ของการจัดเรียงเชื่อมกันคลื่นต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม พร้อมทั้งผลจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วอนุภาคน้ำภายใต้วงโคจรคลื่น ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น

4.1 พฤติกรรมและกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะของคลื่นในแบบจำลอง

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพฤติกรรมและกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะของคลื่นอันเนื่องมาจากผลของเชื่อมกันคลื่นแบบเสาเข็มที่สังเกตได้ขณะเฝ้าดำเนินการทดลอง พบว่า เมื่อคลื่นเข้าปะทะกับเชื่อมกันคลื่น พฤติกรรมที่เกิดขึ้นบริเวณเชื่อมกันคลื่นมี 3 ลักษณะ ได้แก่ การส่งผ่านของคลื่น (wave transmission) การสะท้อนของคลื่น (wave reflection) และการปั่นป่วนระหว่างเสาเข็ม รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

1) การส่งผ่านของคลื่น คือ คลื่นเคลื่อนที่เข้าปะทะเชื่อมกันคลื่นที่ยอมให้น้ำผ่านได้ (permeable) ไปในทิศทางเดียวกับคลื่นเข้าปะทะ ซึ่งเกิดบริเวณด้านหลังอิทธิพลของเชื่อมกันคลื่น โดยคลื่นจะเคลื่อนที่ต่อไปยังชายหาด ในกรณีคลื่นความชันน้อย เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านแนวเชื่อมกันคลื่นไปยังชายหาด จะถูกสลายพลังงานด้วยชายหาด ส่วนในกรณีความชันคลื่นมาก คลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านเชื่อมกันคลื่นจะเห็นความแตกต่างของความสูงคลื่นด้านหลังเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงคลื่นก่อนเข้าปะทะเชื่อมกันคลื่นได้ชัดเจนกว่าในกรณีความชันคลื่นน้อยและเมื่อคลื่นความชันมากเคลื่อนที่ผ่านเชื่อมกันคลื่นไปยังชายหาด ความสูงคลื่นจะลดลงเนื่องจากการแตกตัวของลูกคลื่นและการเคลื่อนที่เข้าสู่ชายหาด ในขณะที่คลื่นบางส่วนจะสะท้อนกลับไปบริเวณด้านหลังเชื่อมกันคลื่น ทำให้ความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่นเป็นผลรวมเนื่องจากความสูงคลื่นที่เคลื่อนผ่านเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของการจัดเรียงรูปแบบต่างๆ (hydraulic characteristic of pile breakwater) กับ การสะท้อนของคลื่นเนื่องจากชายหาด

2) การสะท้อนของคลื่น คือ คลื่นเคลื่อนที่เข้าปะทะเชื่อมกันคลื่น แล้วไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังชายหาดได้ เนื่องจากปะทะกับแนวเสาเข็ม คลื่นจึงสะท้อนกลับไปในทิศทางด้านหน้าเชื่อมกันคลื่น สวนทางกับคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าปะทะเชื่อมกันคลื่น ในกรณีคลื่นความชันน้อยจะสังเกตได้ว่าความสูงด้านหน้าเชื่อมเป็นลูกเล็กๆ วิ่งย้อนกลับไปหน้าบานคลื่นแล้วค่อยๆ กลืนหายไปกับคลื่นลูกใหม่ที่เข้ามาปะทะเชื่อมกันคลื่น ในขณะที่ความชันคลื่นมาก จะสังเกตเห็นคลื่นสะท้อนได้อย่างชัดเจนด้านหน้าเชื่อมกันคลื่น โดยลูกคลื่นที่สะท้อนบริเวณหน้าเชื่อมกันคลื่นจะเคลื่อนที่ไปรวมกับคลื่นลูกใหม่ที่เข้าปะทะ เกิดเป็นการรวมตัวของคลื่นเคลื่อนที่สองคลื่น ทำให้เกิดคลื่นลูกใหม่จากการแทรกสอดของคลื่นทั้งสอง ซึ่งมีความสูงไม่เท่ากันเนื่องจากการหักล้างและการเสริมกันของคลื่นทั้งสอง ซึ่งสูงบ้างต่ำบ้างแตกต่างกันไปตามระยะตั้งฉากจากเชื่อมกันคลื่นเมื่อ

พิจารณาจากแนวสันคลื่น ขณะสังเกตการทดลองพบว่า จุดที่คลื่นเสริมกัน (antinode) ไม่ได้เกิดขึ้นที่ตำแหน่งเดียวคงที่ แต่มีการขยับของแนวสันคลื่นไปมา ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา และขนาดความชันคลื่น

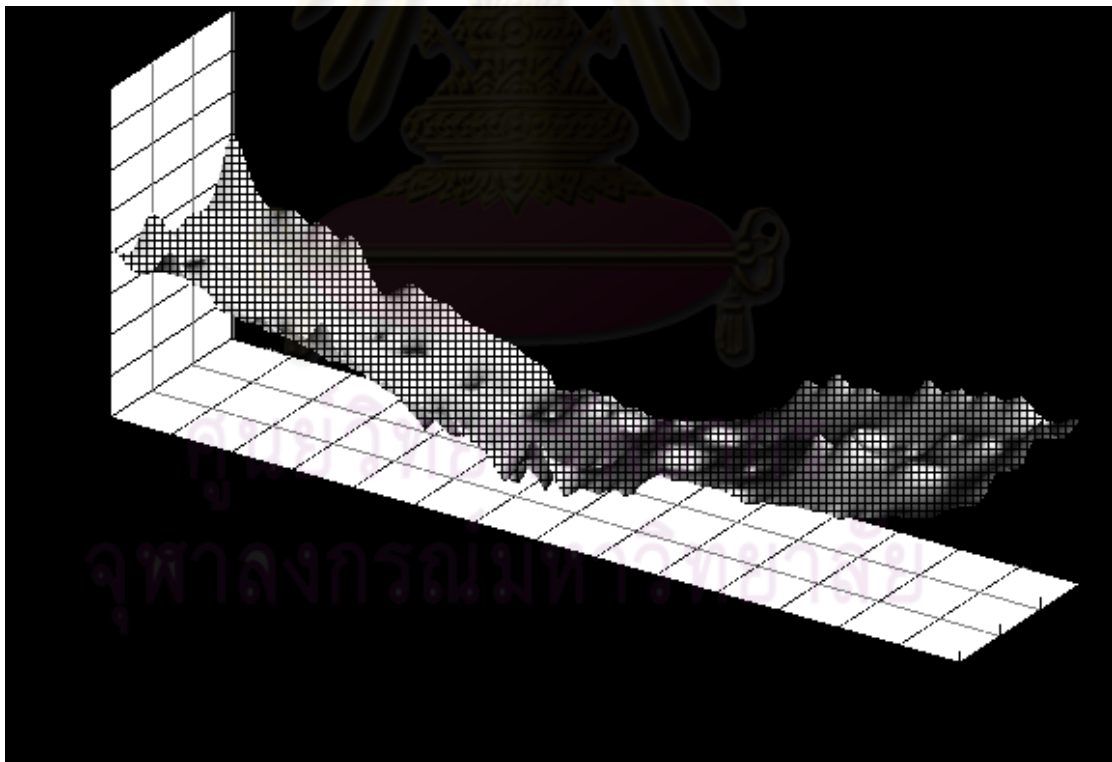
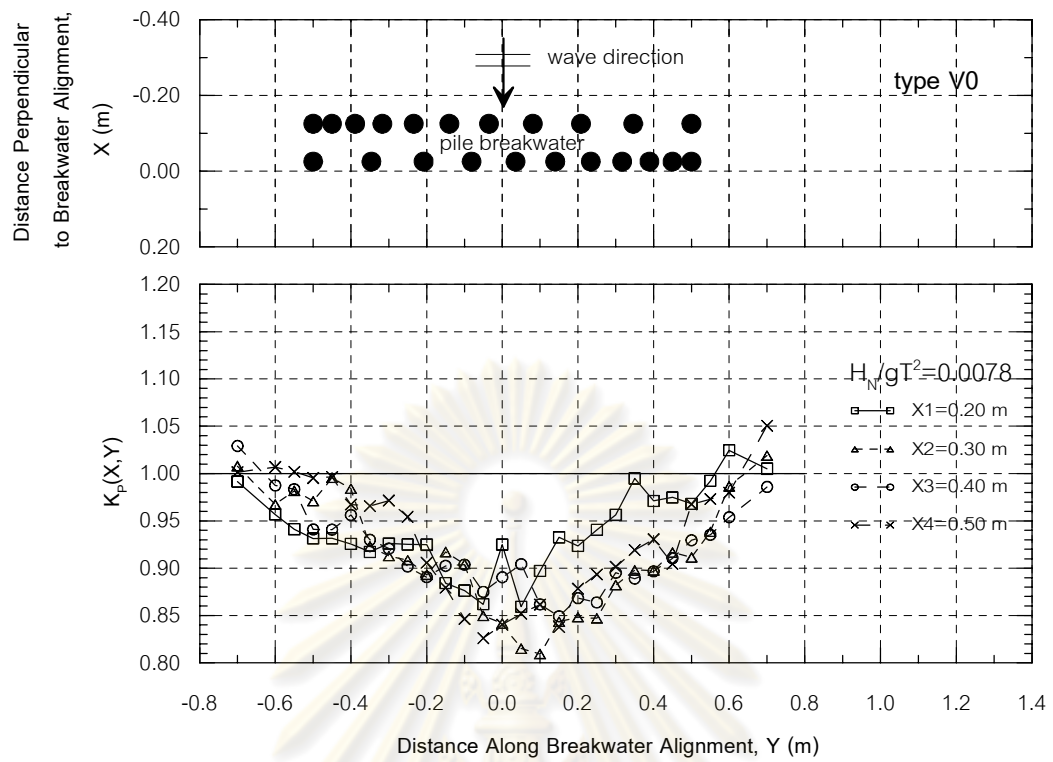
3) การปั่นป่วนระหว่างเสาเข็มเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านเสาเข็มก่อให้เกิดการปั่นป่วนของน้ำด้านหลังเสาเข็ม เนื่องด้วยลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำภายใต้คลื่นมีลักษณะการเคลื่อนที่ที่กลับไป-มา ส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนทั้งด้านหน้าและด้านหลังเสาเข็ม สังเกตเห็นการสะท้อนของคลื่นเกิดขึ้นระหว่างเสาเข็มที่มีลักษณะการสะท้อนกลับไป-มา ซึ่งความปั่นป่วน ทำให้คลื่นที่เคลื่อนตัวผ่านเชื่อมกันคลื่นมีขนาดความสูงที่ลดลง

4.2 การเปลี่ยนแปลงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น

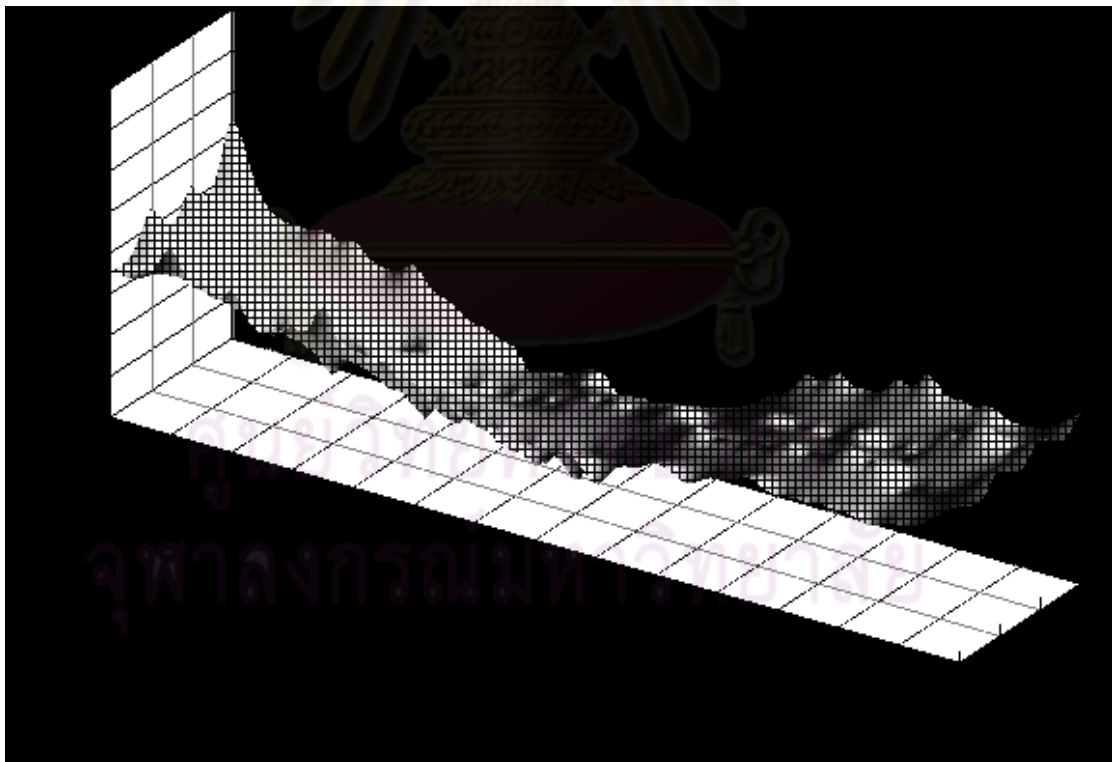
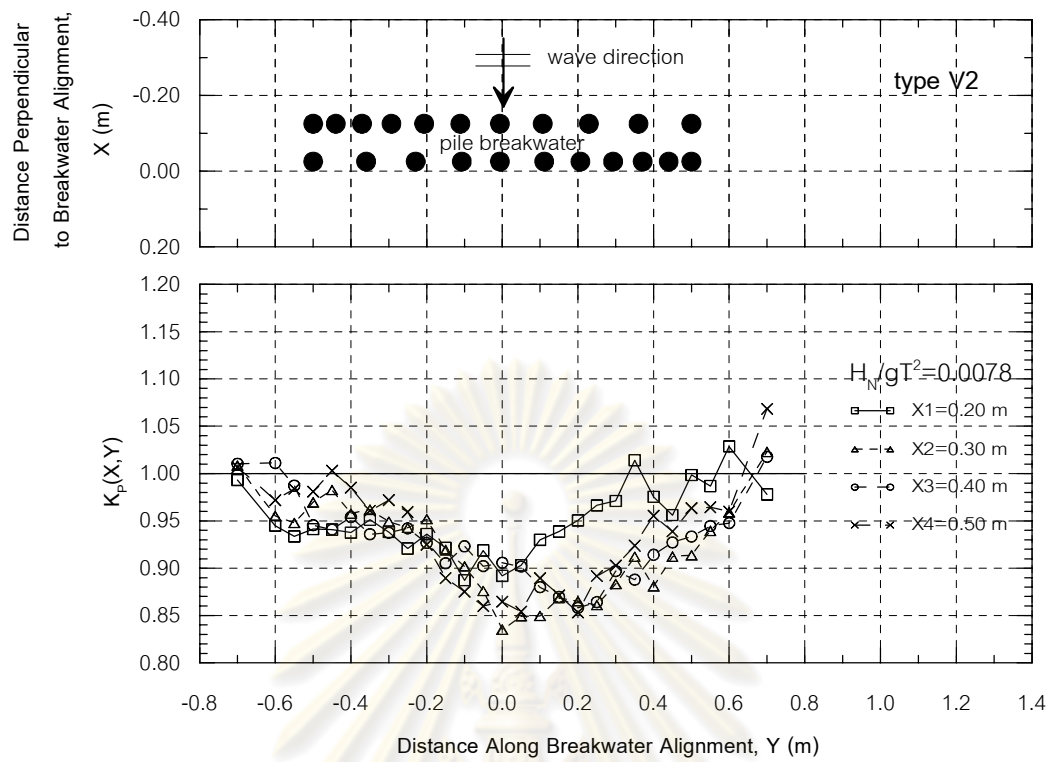
การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีจุดมุ่งเน้นในเรื่องของการจัดเรียงระยะห่างเสาเข็มของเชื่อมกันคลื่นแบบเสาเข็มเพื่อดูผลในเรื่องของการกระจายตัว (distribution) และรูปแบบ (pattern) ของการเปลี่ยนแปลงคลื่น และความเร็วอนุภาคน้ำภายใต้วงโคจรคลื่นด้านหลังเชื่อมกันคลื่น (orbital velocity) ข้อมูลที่ได้จากการวัดเป็นจุดในตำแหน่งต่างๆ ด้านหลังเชื่อมกันคลื่น สามารถแยกวิเคราะห์ข้อมูลที่บ้านที่กได้ดังต่อไปนี้

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น

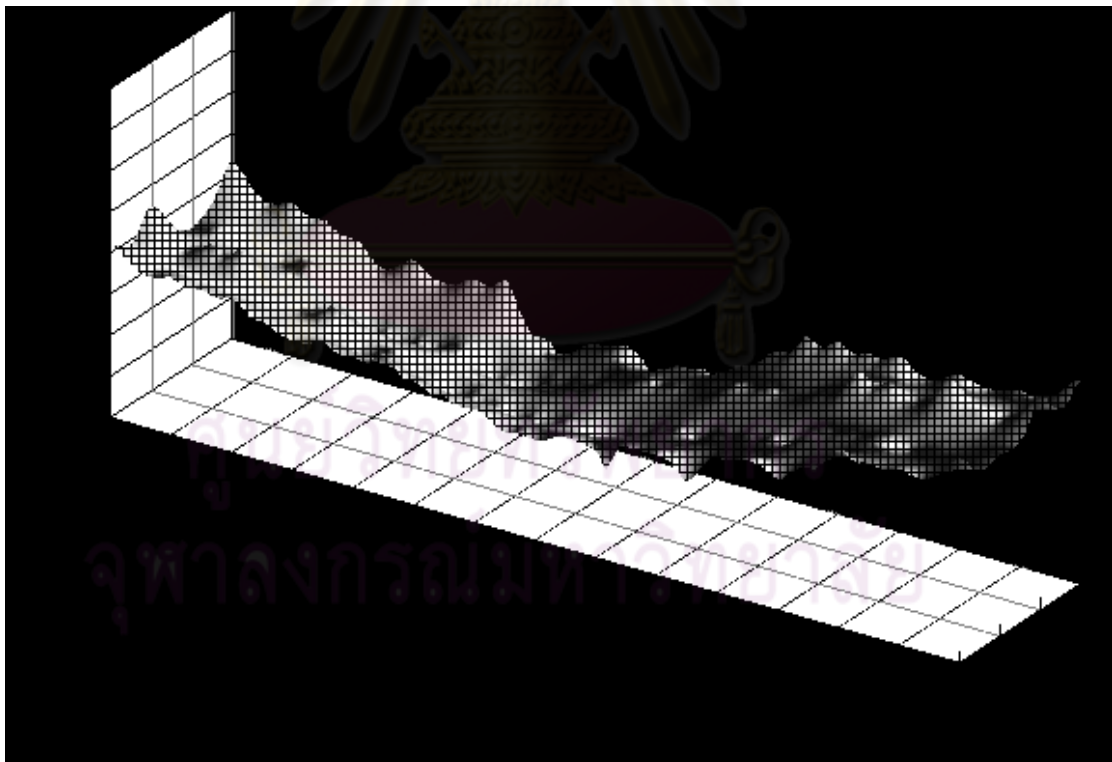
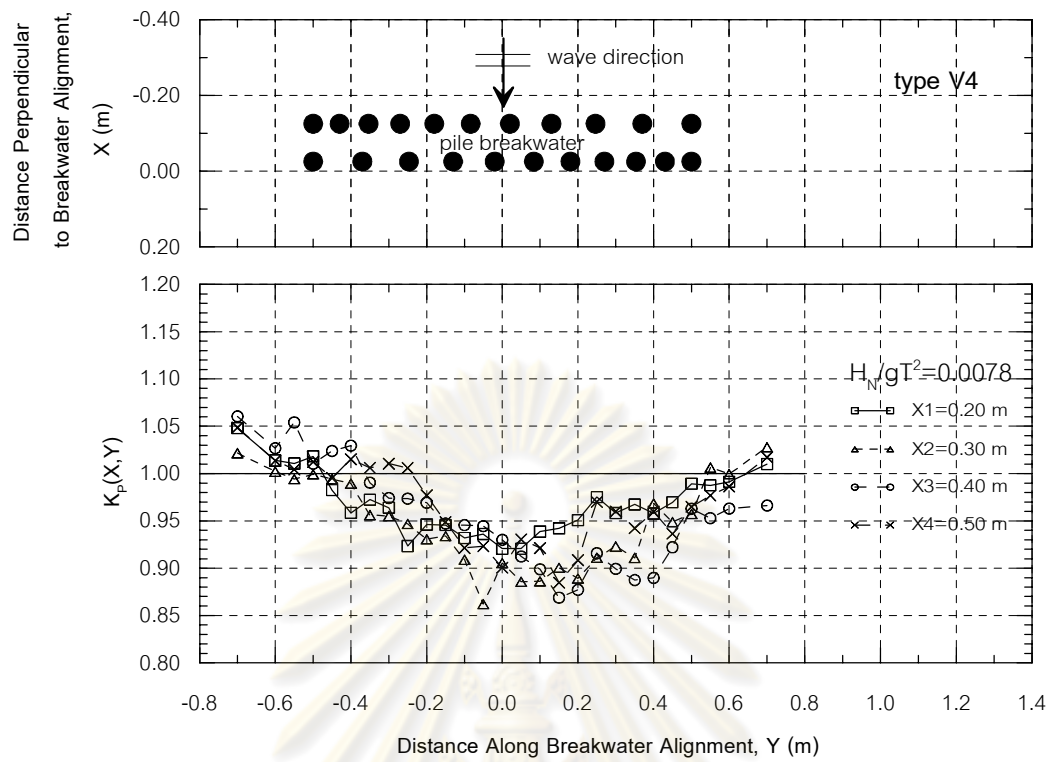
ข้อมูลที่ได้จากการวัดความสูงคลื่นเป็นจุดในตำแหน่งต่างๆ ตามแนวขนานและตั้งฉากด้านหลังเชื่อมกันคลื่น นำเสนอในรูปแบบของลักษณะพื้นที่พื้นผิว (surface area) ดังรูปที่ 4-1 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง-1) พบว่า ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ($K_p(x,y)$) มีการกระจายแตกต่างกันทั้งพื้นที่เชื่อมกันคลื่น กล่าวคือ บริเวณกึ่งกลางเชื่อมกันคลื่นมีค่า $K_p(x,y)$ น้อยที่สุดและค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปบริเวณหัวของเชื่อมกันคลื่น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ $K_p(x,y)$ เมื่อพิจารณาตามแนวขนานกันเชื่อมกันคลื่นเห็นว่า ลักษณะการเพิ่มขึ้นของค่า $K_p(x,y)$ ไม่เท่ากันเมื่อเทียบฝั่งซ้ายกับฝั่งขวาของเชื่อมกันคลื่น ซึ่งเกิดจากการปะทะของคลื่นกับเชื่อมกันคลื่นที่มีการจัดเรียงเสาเข็มที่แตกต่างกันในตำแหน่งตามแนวขนานกับเชื่อมกันคลื่น รวมถึงผลของการกระจายหัวเชื่อมกันคลื่น ดังนั้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการกระจายตัวของความสูงคลื่นในพื้นที่ได้ชัดเจน จึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในรูปแบบอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงคลื่น (K_p) ตามระยะทางขนานและตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ 4.3



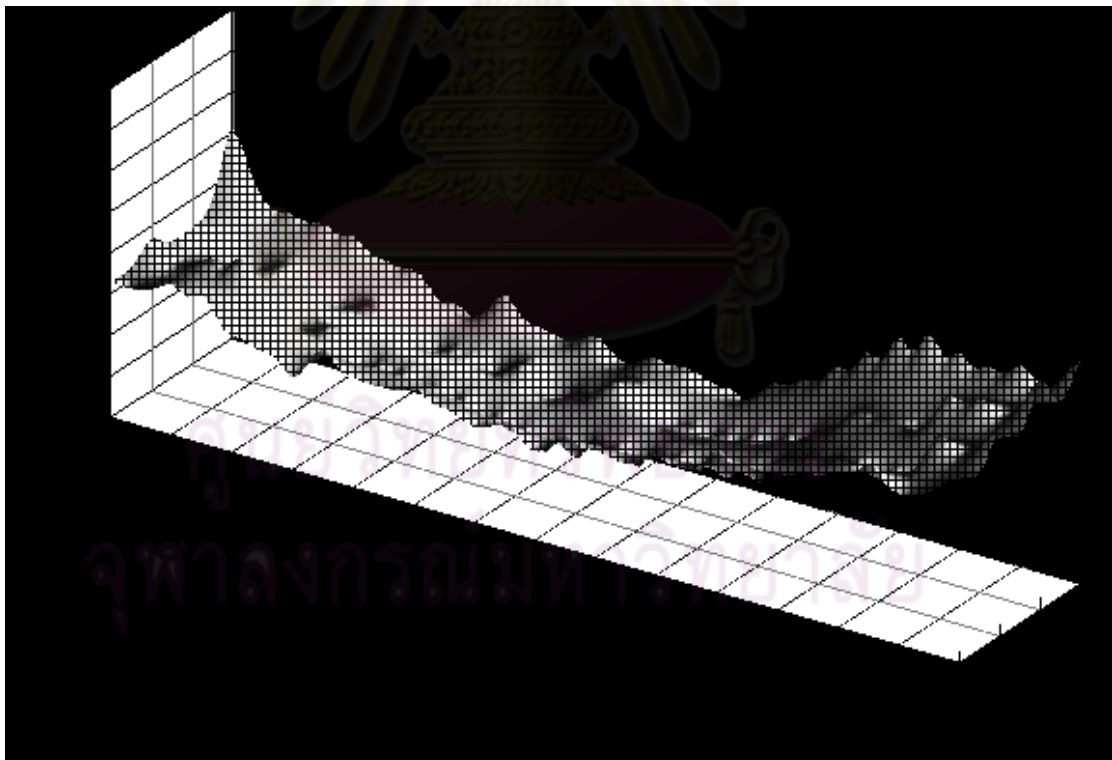
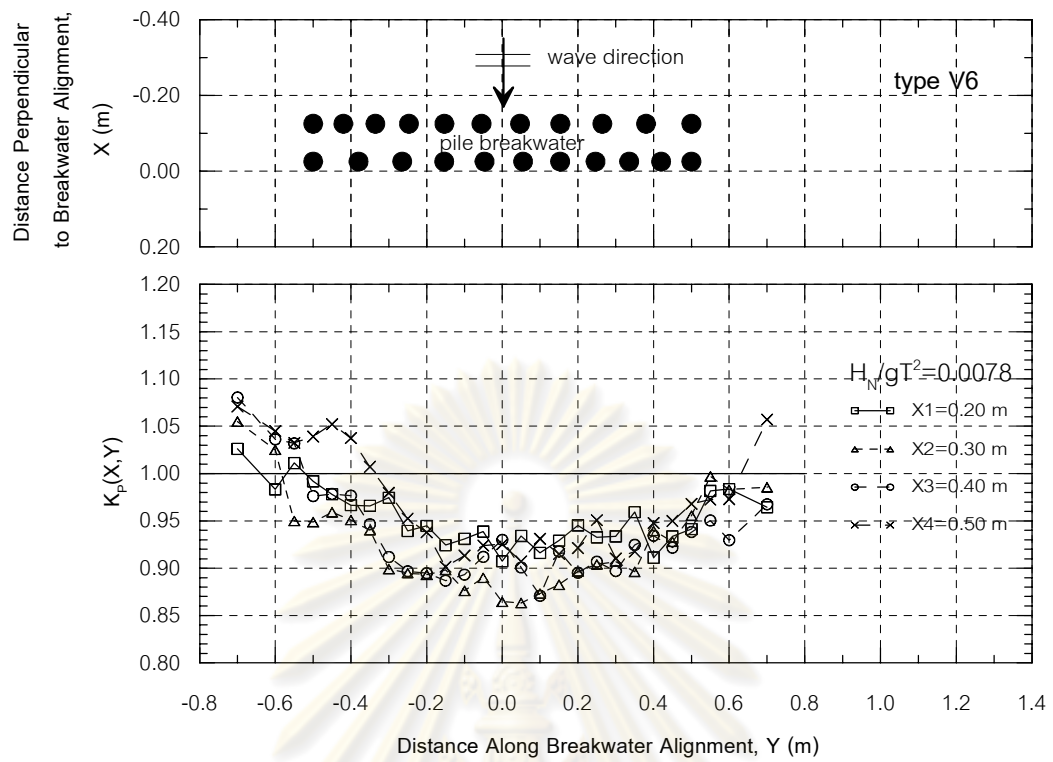
รูปที่ 4-1 พื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นรูปแบบ V0
กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0078



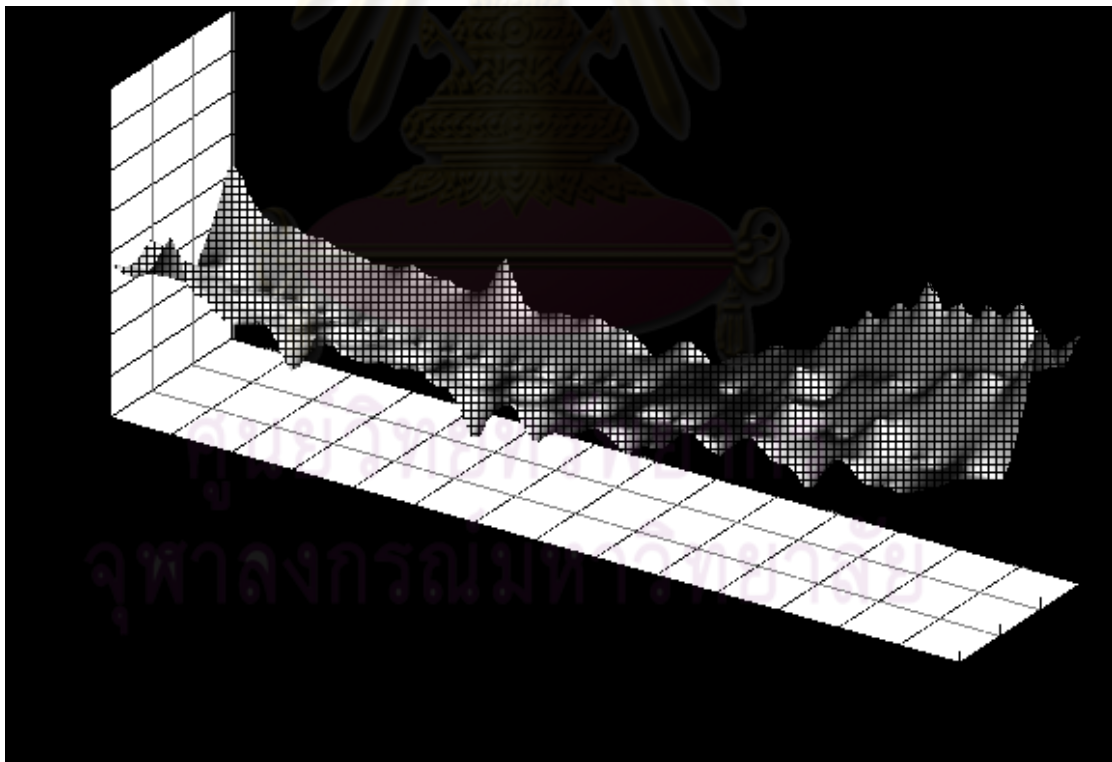
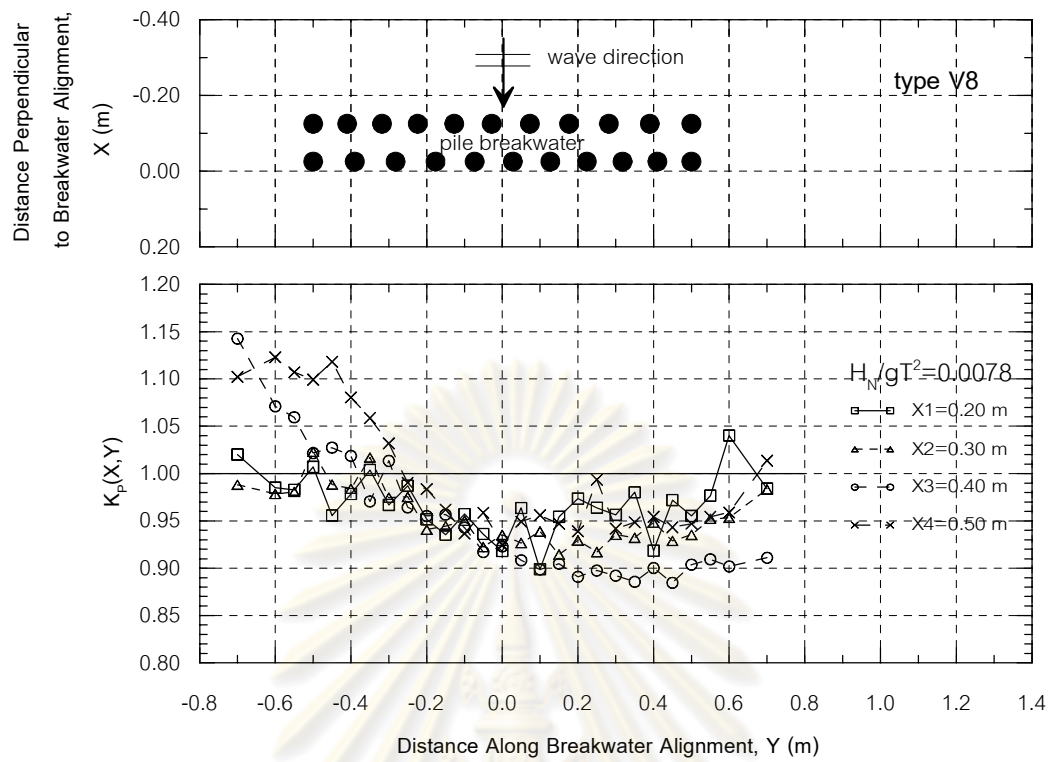
รูปที่ 4-2 พื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นรูปแบบ V2
กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0078



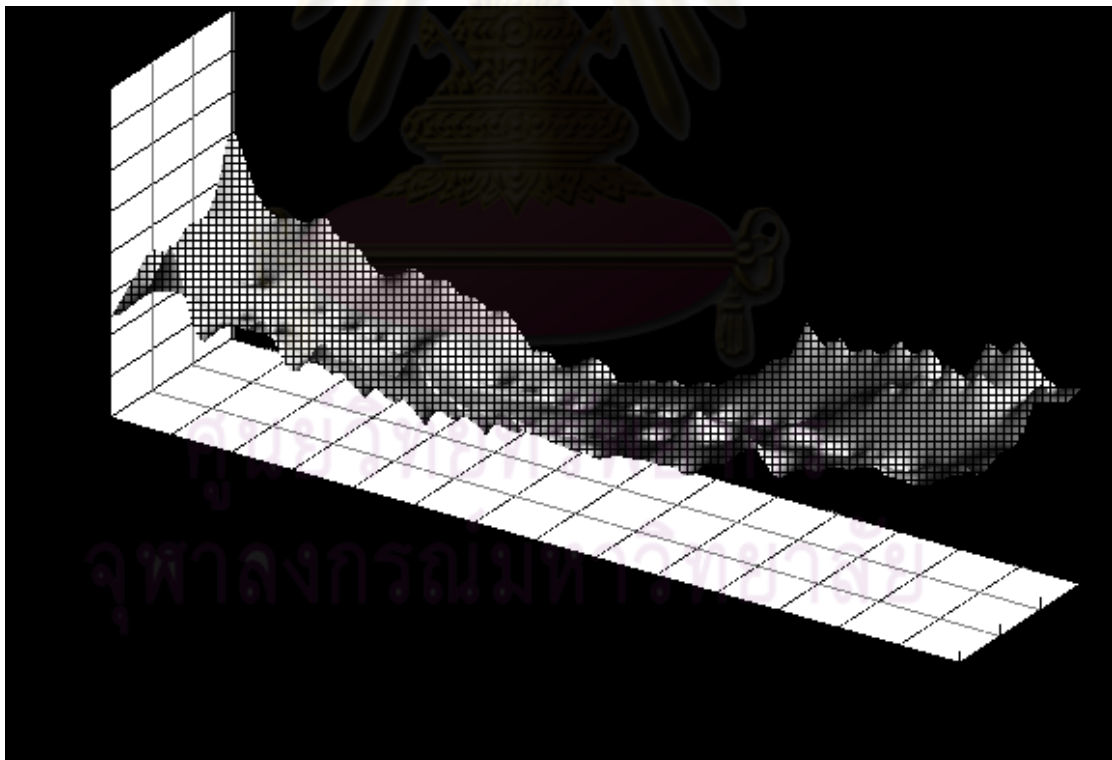
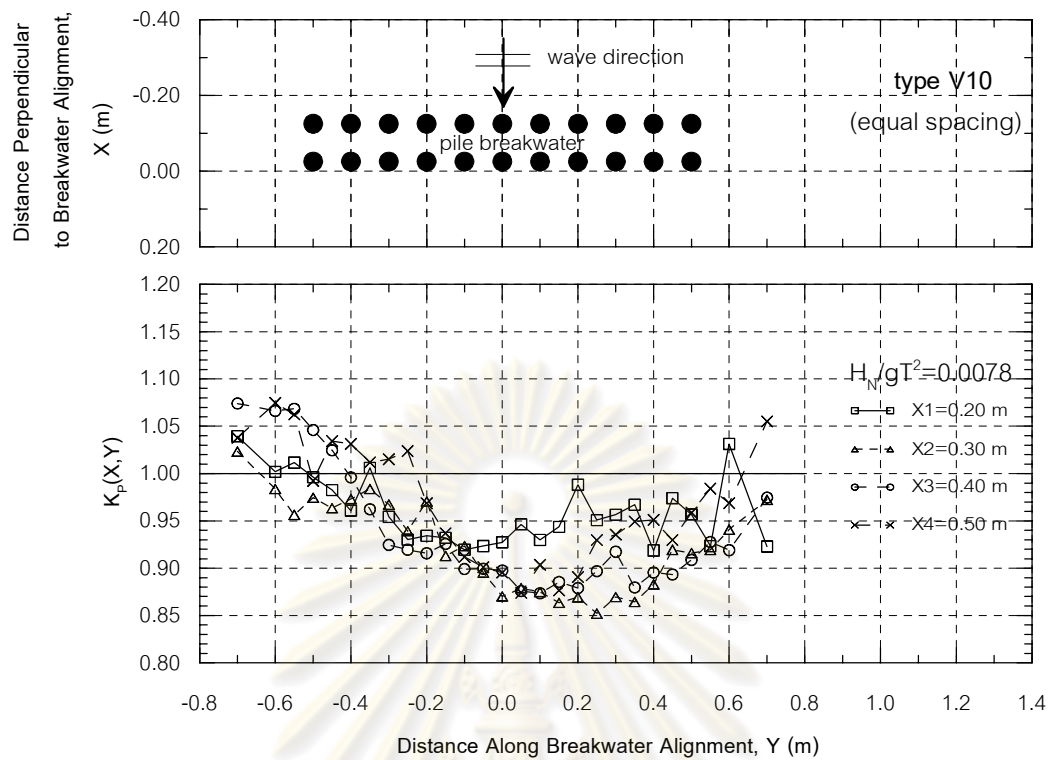
รูปที่ 4-3 พื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นรูปแบบ V4
 กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0078



รูปที่ 4-4 พื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นรูปแบบ V6
กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0078



รูปที่ 4-5 พื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นรูปแบบ V8
กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0078



รูปที่ 4-6 พื้นผิวของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเท่ากัน ด้านหลังเชื่อมกันคลื่นรูปแบบ V10 กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078

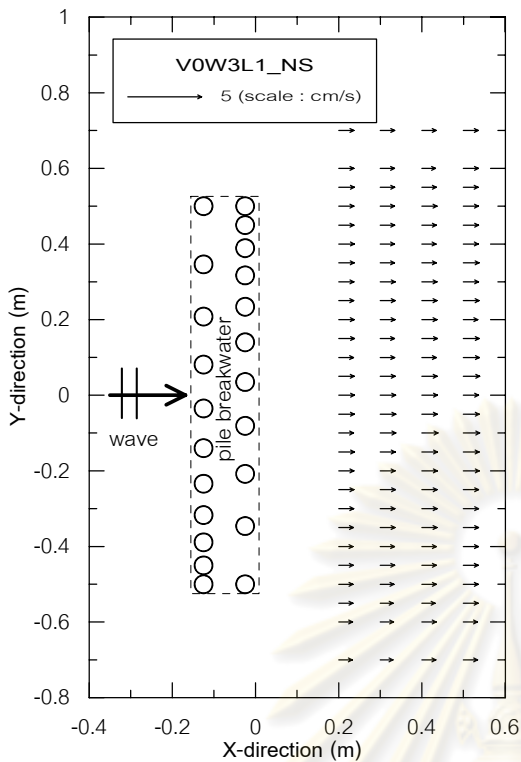
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วอนุภาคน้ำหลังเขื่อนกันคลื่น (U)

การเปลี่ยนแปลงความเร็วอนุภาคน้ำภายใต้วงโคจรคลื่น ด้านหลังเขื่อนกันคลื่น ได้จากการเก็บข้อมูลความเร็วอนุภาคน้ำที่ความสูง 3 ระดับ คือ 0.5, 0.36 และ 0.81 จากท้องน้ำ เมื่อระดับน้ำที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 35 ซม. (0.5d, 0.64d และ 0.81d) หรือกล่าวได้ว่า วัดที่ระดับ 0.5d, 0.36d และ 0.19d จากผิวน้ำ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ การทดลองครั้งวัดความเร็วอนุภาคน้ำตั้งแต่กึ่งกลางท้องน้ำจนกระทั่งใกล้ผิวน้ำนั่นเอง การพิจารณาผลของความเร็วอนุภาคน้ำเนื่องจากเขื่อนกันคลื่น คิดจากข้อมูลความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางคลื่น เฉลี่ยตลอดความลึกน้ำ ซึ่งเป็นผลต่างของความเร็วอนุภาคน้ำเมื่อมี (with pile breakwater U_N) และไม่มีเขื่อนกันคลื่น (without pile breakwater, U_p) เรียกว่า ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางคลื่น เฉลี่ยตลอดความลึกน้ำ (ΔU) ดังแสดงในสมการ (4-3)

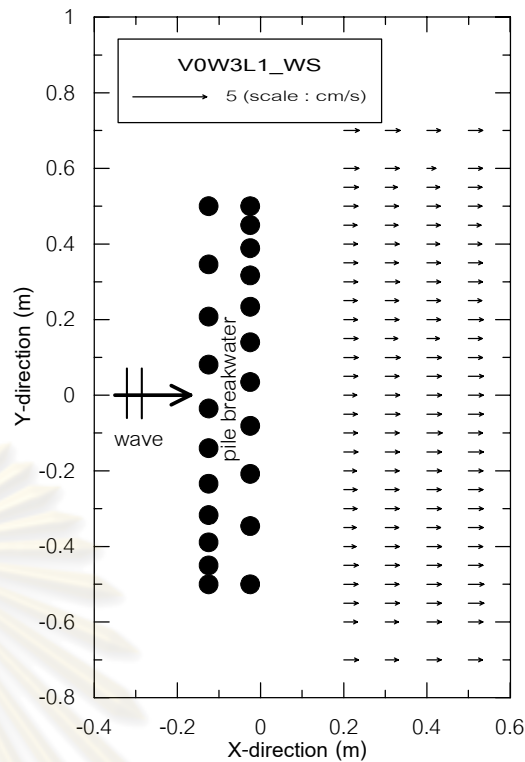
$$\Delta U = U_p - U_N \quad (4-3)$$

ข้อมูลความเร็วอนุภาคน้ำที่ได้จากการวัด พิเคราะห์เฉพาะความเร็วตามทิศทางคลื่น (U_x) หรือทิศทางที่ตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง (ความเร็วสูงสุดที่สันคลื่น) และเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาแรงที่กระทำ ในการออกแบบโครงสร้างทางชายฝั่ง โดยนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อตัดส่วนที่เป็นค่าผิดพลาดจากสัญญาณไฟฟ้า (data noisy) ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving average) สามารถสรุปผลการทดลองได้ 2 ลักษณะ คือ 1. เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางคลื่น ตามรูปแบบแบบจำลองต่างๆ ในแต่ละพิกัด $U(x,y)$ ดังตัวอย่างรูปที่ 4-7 (สำหรับการจัดเรียงรูปแบบอื่น แสดงใน ภาคผนวก ง-5 ถึง ง-10) ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความลึกน้ำและขนาดความชันคลื่น และ 2. ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางคลื่น เฉลี่ยตลอดความลึกน้ำ (ΔU) หากผลต่าง เป็นบวก ($+\Delta U$) แสดงว่าเมื่อใส่เขื่อนกันคลื่นทำให้ความเร็วอนุภาคน้ำมีค่ามากขึ้นกว่า ตอนไม่ใส่เขื่อนกันคลื่น ในทางกลับกัน หากผลต่าง เป็นลบ ($-\Delta U$) แสดงว่า เมื่อใส่เขื่อนกันคลื่น ทำให้ความเร็วอนุภาคน้ำลดลง ดังตัวอย่างรูปที่ 4-8 ถึง 4-10 ตามลำดับความชันคลื่น สำหรับความชันคลื่นอื่น แสดงใน ภาคผนวก ง-11 ถึง ง-13

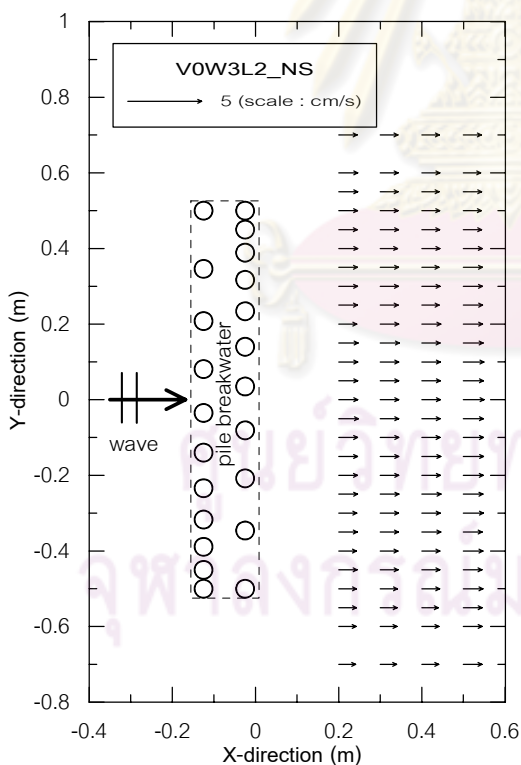
จากการทดลองแบบจำลองชลศาสตร์ในอ่างคลื่น สำหรับทุกกรณีการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระดับความลึกน้ำต่างๆ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงความชันคลื่น พบว่า เมื่อไม่มีเขื่อนกันคลื่น ค่าความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดตามทิศทางคลื่น (U_N) มีค่าลดลงตามความลึกน้ำ และเพิ่มตามความชันคลื่นที่มากขึ้น ซึ่งมีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.8 – 1.6 ซม./วินาที กรณีมีเขื่อนกันคลื่น ค่าความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดตามทิศทางคลื่น (U_p) มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.8 – 1.4 ซม./วินาที



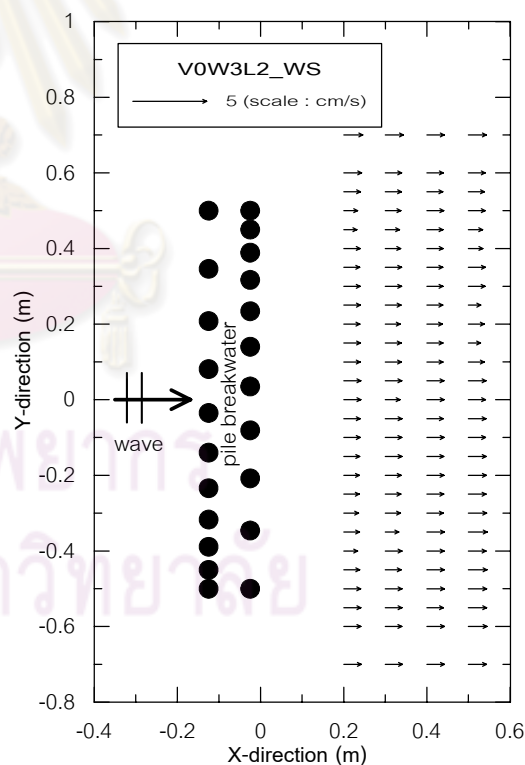
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

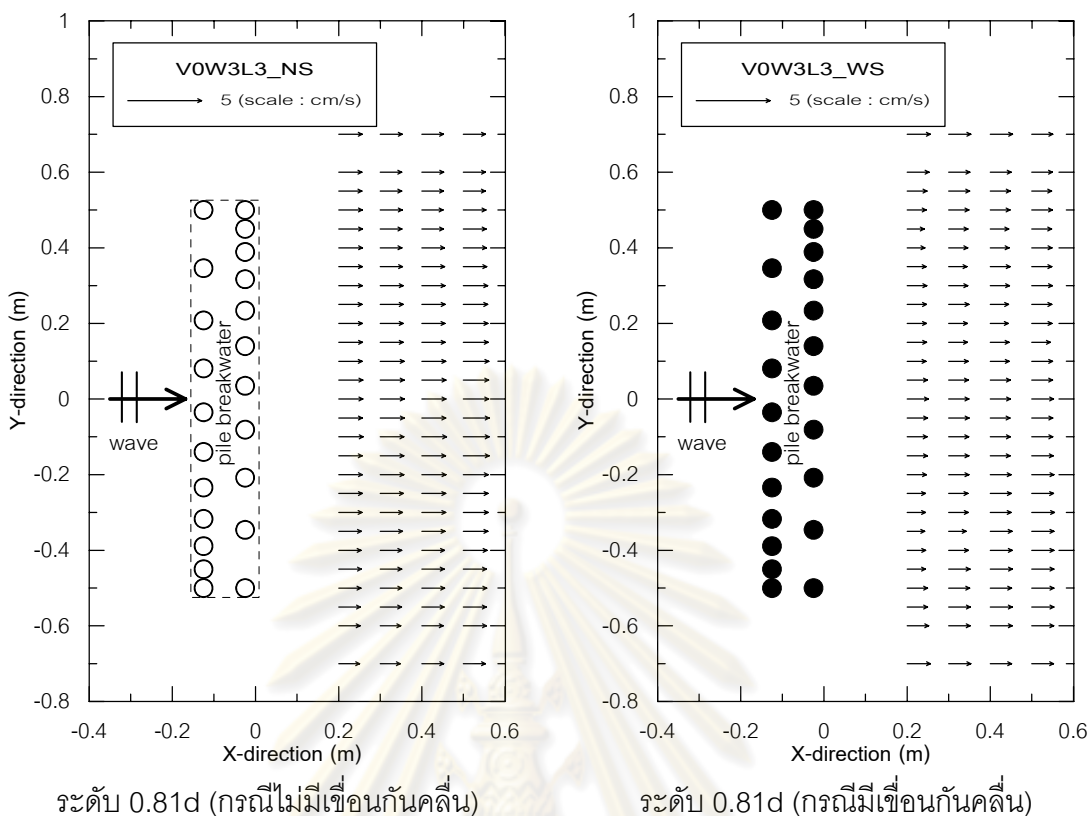


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.64d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

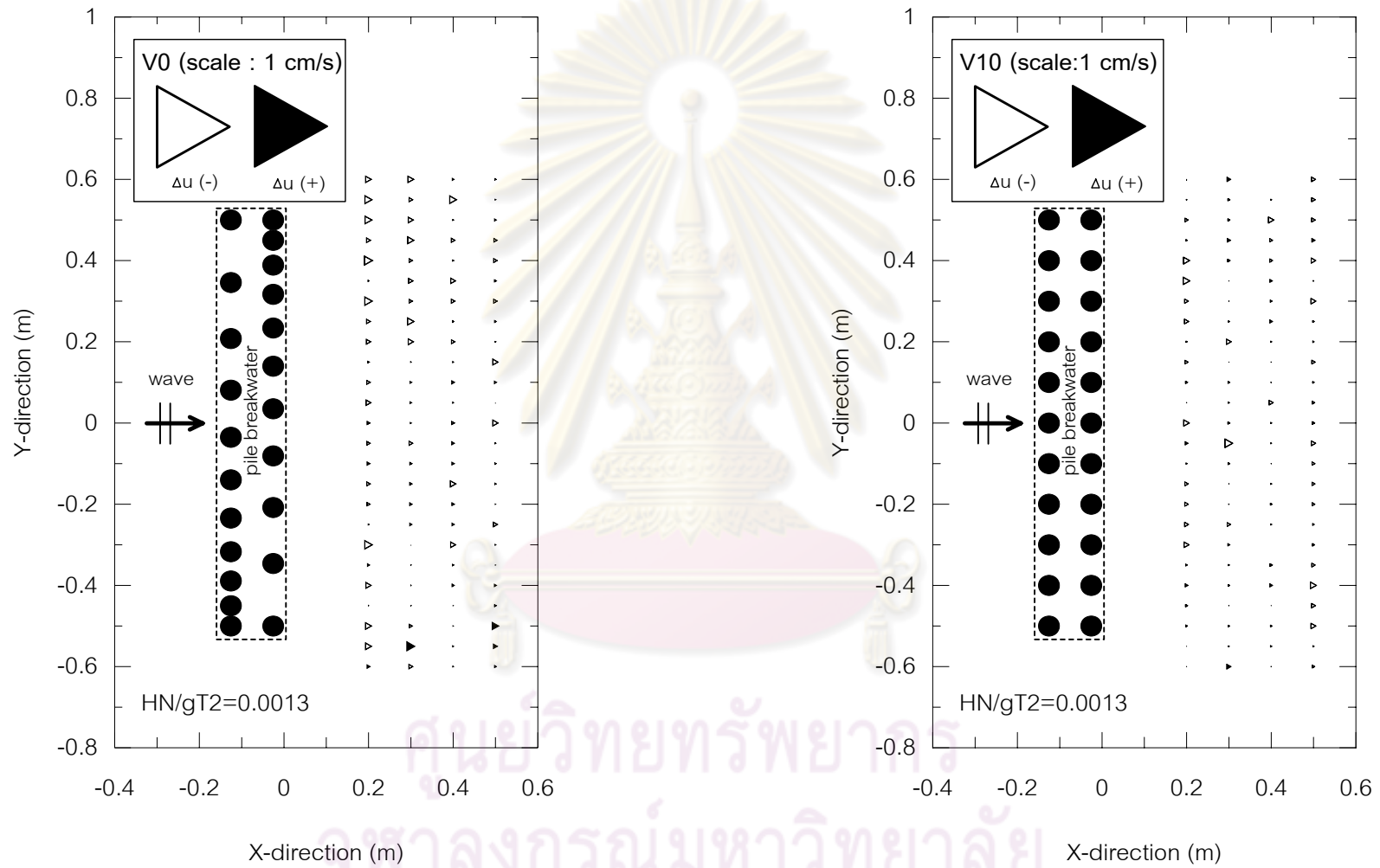
รูปที่ 4-7 รูปที่ 4-7 เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด
กรณีเขื่อนกันคลื่น V0 ความชันคลื่น (H_w/gT^2) เท่ากับ 0.0078



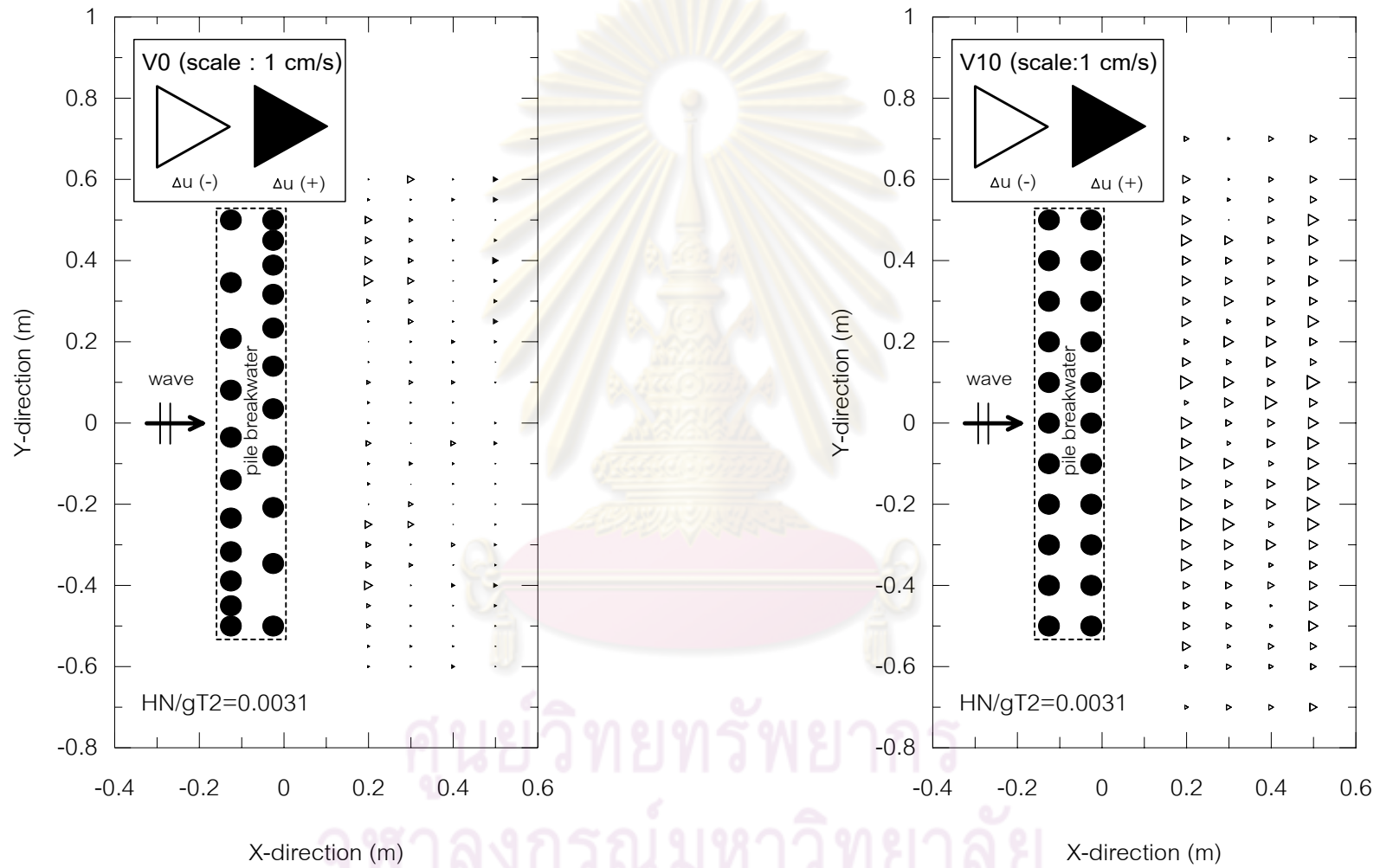
รูปที่ 4-7 เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด

กรณีเขื่อนกันคลื่น V0 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0078 (ต่อ)

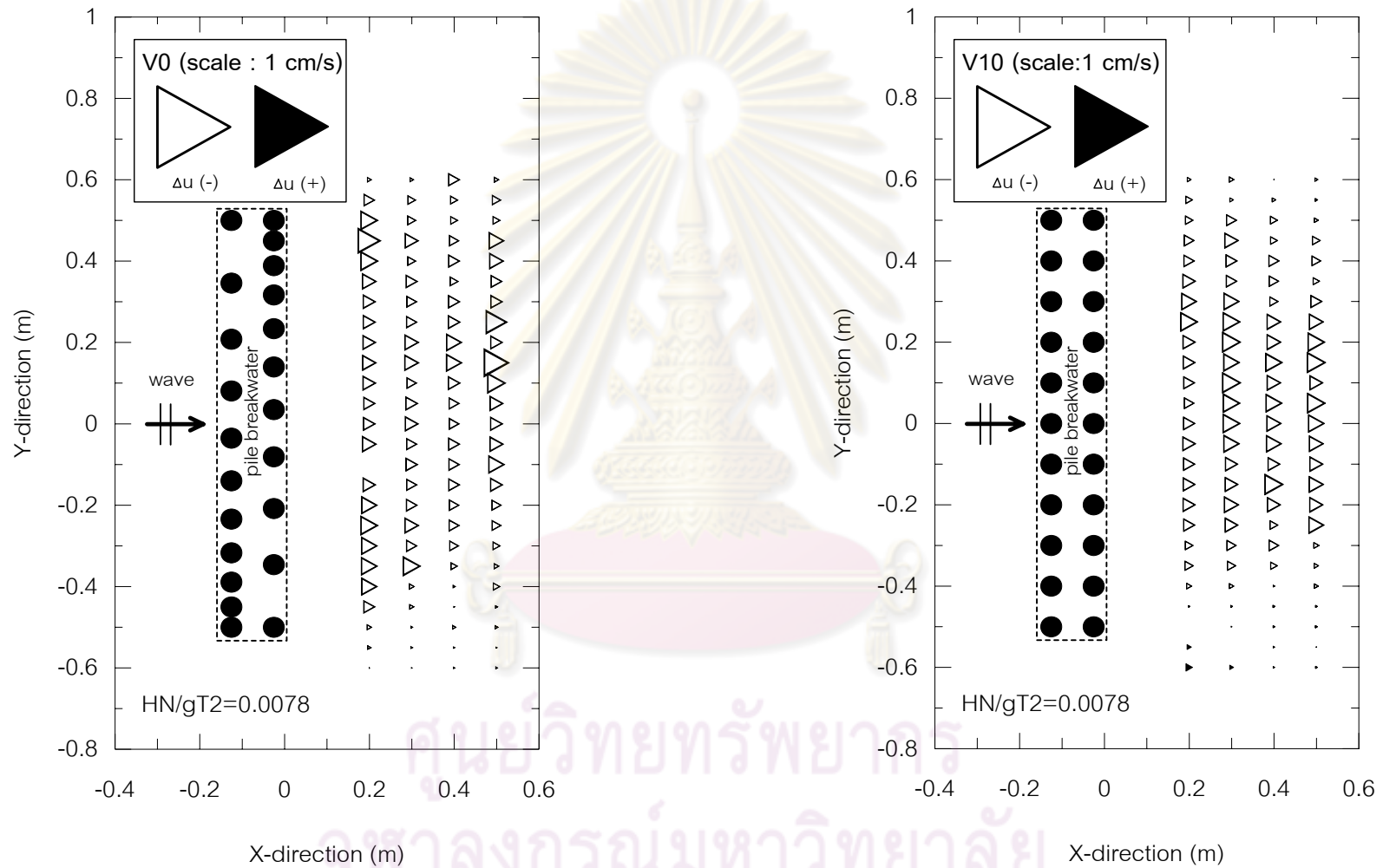
เมื่อพิจารณาผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำในแต่ละระดับ เมื่อมีเขื่อนกันคลื่น ดังตารางที่ 4-1 พบว่าความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด มีค่าลดลงเมื่อมีเขื่อนกันคลื่นตลอดความลึกน้ำ โดยที่ความชันคลื่นแรงมาก ความเร็วอนุภาคน้ำลดลง ในแนวโน้มน้อยลง เมื่อความลึกน้ำเพิ่มมากขึ้น หรือกล่าวได้ว่า ความเร็วอนุภาคน้ำลดลงมากที่สุดบริเวณผิวน้ำ และลดน้อยที่สุดบริเวณกึ่งกลางท้องน้ำ การลดลงของความเร็วอนุภาคน้ำอยู่ในช่วง 5.95 – 12.12% ในขณะที่ความชันคลื่นน้อยและปานกลาง การลดลงของความเร็วอนุภาคน้ำในแต่ละระดับ แตกต่าง จากความชันคลื่นแรงมาก กล่าวคือ ความชันคลื่นน้อยและปานกลางนั้น การลดลงของอนุภาคน้ำไม่ได้มีแนวโน้ม ความเร็วลดลงตามความลึกน้ำที่เพิ่มขึ้น ดังเช่นความชันคลื่นแรงมาก ลักษณะการลดลงของอนุภาคน้ำของ 2 ความชันคลื่นนี้ มีความเร็วอนุภาคน้ำลดลง ในลักษณะ เพิ่มขึ้น/ลดลง สลับกันตลอดความลึกน้ำ ไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน



รูปที่ 4-8 ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางตามคลื่น เมื่อมีและไม่มีเขื่อนกันคลื่น กรณีความชันคลื่น เท่ากับ 0.0013



รูปที่ 4-9 ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางตามคลื่น เมื่อมีและไม่มีเขื่อนกันคลื่น กรณีความชันคลื่น เท่ากับ 0.0031



รูปที่ 4-10 ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางตามคลื่น เมื่อมีและไม่มีเขื่อนกันคลื่น กรณีความชันคลื่น เท่ากับ 0.0078

เมื่อเปรียบเทียบความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางคลื่น กรณีมีเขื่อนกันคลื่นและไม่มีเขื่อนกันคลื่น หรือ ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางคลื่น เฉลี่ยตลอดความลึกน้ำ (ΔU) (รายละเอียดภาคผนวก ง) พบว่า เมื่อมีเขื่อนกันคลื่นทำให้ความเร็วอนุภาคน้ำโดยส่วนใหญ่ลดลง ทุกรูปแบบการจัดเรียงและทุกความชันคลื่น ยกเว้นแบบจำลอง V6 ที่ความชันคลื่นน้อยและความชันคลื่นปานกลาง และแบบจำลอง V10 ที่ความชันคลื่นน้อยเท่านั้น ที่ความเร็วอนุภาคน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีเขื่อนกันคลื่น ประมาณ 0.5 – 1.5 %

เมื่อพิจารณาผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางคลื่น ในแนวขนานเขื่อนกันคลื่น พบว่า กรณีความชันคลื่นน้อย (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0013) และความชันคลื่นปานกลาง (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0031) ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ลดลง เล็กน้อย ประมาณ 0.5-1.5% และค่อนข้างใกล้เคียงกันตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น ยกเว้น กรณีการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน รูปแบบ V0 ที่ฝั่งซ้ายของเขื่อนกันคลื่น(ตามทิศทางคลื่น) ที่จัดเรียงระยะห่างของเสาชิดกว่าฝั่งขวาของเขื่อนกันคลื่น มีลักษณะของความเร็วอนุภาคน้ำลดลงมากกว่า บริเวณฝั่งขวาของเขื่อนกันคลื่น แต่ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาที่ระยะห่างออกจะเขื่อนกันคลื่น 0.3 – 0.5 ม. หรือ หรือ 6 – 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม จะเห็นว่าหมดขอบเขตอิทธิพลของลักษณะดังกล่าวของเขื่อนกันคลื่น จึงทำให้ความเร็วอนุภาคน้ำมีลักษณะกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ดังรูปที่ 4-8 และ รูปที่ 4-9 นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ความชันคลื่นปานกลางนั้น รูปแบบการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเท่ากัน V10 รูปที่ 4-9 มีการลดลงของความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น มากกว่า รูปแบบการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากันรูปแบบอื่นอย่างเด่นชัด และลักษณะการลดลงของความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด มีลักษณะใกล้เคียงกันทั้งทางซ้ายและทางขวาเมื่อพิจารณาจากกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่น

ส่วนกรณีความชันคลื่นแรงมาก พบว่า ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ลดลงประมาณ 8-12% โดยรูปแบบการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน รูปแบบการจัดเรียง V0 ลดลงมากที่สุด ประมาณ 12.12% และรูปแบบการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเท่ากัน รูปแบบ V10 ลดลงประมาณ 11.78 % ซึ่งจากข้อมูลการทดลอง จะพบว่า รูปการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่า มีผลต่างของความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ลดลง ไม่แตกต่าง จากรูปแบบการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเท่ากัน อย่างชัดเจน อยู่ในช่วง 0 -3% แต่ลักษณะของการกระจายตัวความเร็วของอนุภาคน้ำแตกต่างกัน อย่างเห็นได้ชัดกว่าที่ความชันคลื่นน้อยและปานกลาง กล่าวคือ รูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน ทางฝั่งซ้ายของเขื่อนกันคลื่น(ตามทิศทางคลื่น) จัดเรียงระยะห่างของเสาชิดกว่าฝั่งขวา มีลักษณะของความเร็วอนุภาคน้ำลดลงมากกว่า บริเวณฝั่งขวาของเขื่อนกันคลื่น เมื่อเทียบกับรูปแบบการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสา

เท่ากัน รูปแบบ V10 จากรูป จะเห็นว่า ลักษณะของการกระจายตัวของความเร็วอนุภาคน้ำ
ค่อนข้างเหมือนกัน ทั้งทางฝั่งซ้ายและทางฝั่งขวาของเขื่อนกันคลื่น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-1 เปอร์เซ็นต์ ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดหลังเชื่อมกันคลื่น (ΔU)

รูปแบบ/ระดับ	ความชันคลื่นน้อย ($H_N/gT^2 = 0.0013$)				ความชันคลื่นปานกลาง ($H_N/gT^2 = 0.0031$)				ความชันคลื่นแรงมาก ($H_N/gT^2 = 0.0078$)			
	0.5d	0.64d	0.81d	$\overline{\Delta U}$	0.5d	0.64d	0.81d	$\overline{\Delta U}$	0.5d	0.64d	0.81d	$\overline{\Delta U}$
V0	-3.39	-1.20	-2.92	-2.50	-1.42	-0.76	-2.45	-1.54	-8.89	-12.48	-15.00	-12.12
V2	-1.13	-1.43	-0.70	-1.09	-1.99	-1.40	-2.63	-2.01	-7.69	-11.66	-14.68	-11.35
V4	0.00	-0.28	-4.06	-1.45	-0.35	0.53	-0.83	-0.22	-5.95	-9.39	-10.95	-8.77
V6	3.92	-1.59	-0.77	0.52	0.94	-0.42	1.02	0.51	-6.54	-10.01	-14.58	-10.38
V8	-2.34	-1.45	-2.99	-2.26	-0.96	-0.43	-1.60	-1.00	-9.12	-12.81	-14.02	-11.98
V10	-3.53	8.61	-1.03	1.35	-1.67	-32.16	-2.54	-12.12	-10.15	-10.94	-14.25	-11.78

* d = ความลึกน้ำที่ใช้ในการทดลอง 35 เซนติเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหลังเขื่อนกันคลื่น (K_w)

ในการหาพลังงานศักย์ ของมวลน้ำตลอดหน้าตัด เป็นผลรวม ของพลังงานศักย์ที่ระดับน้ำนิ่ง และ ผลรวมของพลังงาน ใน 1 ลูกคลื่น ดังนั้น หากว่าระดับน้ำและความสูงของคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงไป ย่อมส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานศักย์ตลอดหน้าตัด ดังนั้นในการทดลองแบบจำลองทางชลศาสตร์ของแอ่งคลื่น เมื่อได้ความสูงของลูกคลื่นแล้ว ต้องวิเคราะห์ในส่วนองระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย เพื่อให้ได้ผลการศึกษาในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ของหน้าตัดมวลน้ำที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำแม้เพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ คิดเป็นอัตราส่วนที่ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ค่อนข้างมาก ยกตัวอย่างเช่น การทดลองรูปแบบ V4 กรณีความชันคลื่นปานกลาง (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0031) ถือว่ามีการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเพิ่มขึ้นในการทดลอง กรณีไม่มีและมีเขื่อนกันคลื่น ความสูง เพิ่มขึ้น จาก 3.79 เป็น 3.91 ซม. เป็นการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ประมาณ 3.06% ในขณะที่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ กรณีไม่มีและมีเขื่อนกันคลื่น ระดับน้ำ ลดลง จาก 35.15 เป็น 34.84 ซม. เป็นการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ประมาณ 0.88% เท่านั้น แต่เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคิดพลังงานศักย์อย่างคร่าวๆ กลับพบว่า การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่ลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นที่เพิ่มมากขึ้น กลับทำให้พลังงานศักย์ของมวลน้ำตลอดหน้าตัดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตอนไม่มีเขื่อนกันคลื่น ประมาณ 1% ด้วยเหตุนี้ ในการศึกษาครั้งนี้ จึงต้องทำการศึกษากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำด้วย

โดยปกติการไหลผ่านตอม่อในทางน้ำเปิดนั้น ระดับน้ำด้านหลังตอม่อจะสูงขึ้นหรือต่ำลงขึ้นอยู่กับค่าฟรูดนัมเบอร์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างต่างๆ จะมีลักษณะคล้ายกับเสาตอม่อแบบกลุ่ม ต่างกัน เพียงการไหลในทางน้ำเปิด กระแสน้ำจะไหลไปในทิศทางเดียวทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในขณะที่ในแบบจำลองทางชลศาสตร์ของแอ่งคลื่น กระแสน้ำจะวิ่งไปกลับที่ค่าค่าหนึ่งตามวงโคจรอนุภาคน้ำ ดังนั้นการศึกษาเรื่องของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหลังเขื่อนกันคลื่น จะพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับน้ำ (MWL) กรณีมีเขื่อนกันคลื่น (with pile breakwater, K_{WP}) กับกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น (without pile breakwater, K_{WN}) เรียกว่า อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ดังสมการ (4-4)

$$K_{WA} = \frac{K_{WP}}{K_{WN}} \quad (4-4)$$

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (MWL) ด้านหลังเขื่อนกันคลื่น พิจารณาได้จากการนำข้อมูลระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา มาคิดเฉลี่ยทั้งพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่น เปรียบเทียบระดับน้ำที่ตำแหน่งเดียวกัน ระหว่างกรณีมีเขื่อนกันคลื่นกับไม่มีเขื่อนกันคลื่นดังตารางที่ 4-2 หากการใส่เขื่อนกันคลื่นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจะมีค่าเท่ากับ 1 จากผลการทดลอง พบว่า อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (K_{WA}) เล็กน้อยอยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.3 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4-3 โดยมีลักษณะค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างผันผวนในแต่ละรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น แต่เป็นไปในทิศทางเดียวกันในแต่ละความชันคลื่น กล่าวคือ ที่ความชันคลื่นน้อยและปานกลาง (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0013 และ 0.0047) ค่า K_{WA} มีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 1 แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงไม่เห็นรูปแบบชัดเจนในแต่ละการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น ค่า \bar{K}_{WA} มากบ้างน้อยบ้างแต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 1 ส่วนที่ความชันคลื่นแรงและแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0047 และ 0.0078) ค่า K_{WA} มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่แนวโน้มลดลงน้อยกว่า 1 เล็กน้อย

ผลการทดลอง สรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ของมวลน้ำทั้งหมด อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ กรณีความชันคลื่นน้อยและความชันคลื่นปานกลาง เขื่อนกันคลื่นทำให้ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ 0.06 ถึง 0.26 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความชันคลื่นแรงมาก ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยประมาณ 0.03 ถึง 0.3 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งนี้ไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่า การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำไม่ว่าจะมากขึ้น หรือ ลดลง นั้น เกิดจากการมีเขื่อนกันคลื่นหรือไม่ เนื่องระดับน้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงในสเกลที่น้อยมาก ไม่เกิน 1% ซึ่งถือว่าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในระดับ มิลลิเมตรเท่านั้น ดังนั้นอาจจะเกิดจากสาเหตุอื่น ขณะทำการทดลองก็ได้เช่นกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-2 ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำหลังเขื่อนกันคลื่น (K_{WA})

ความชันคลื่น	V0	V2	V4	V6	V8	V10
0.0013	1	1	1	1	1	1
0.0031	0.99	1	0.99	1	1	1
0.0047	1	1	1	1	1	1
0.0078	1	1	1	1	1	1.01

ตารางที่ 4-3 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำหลังเขื่อนกันคลื่น

ความชันคลื่น	V0	V2	V4	V6	V8	V10
0.0013	เพิ่มขึ้น (0.09%)	เพิ่มขึ้น (0.11%)	เพิ่มขึ้น (0.06%)	ลดลง (-0.09%)	ลดลง (-0.11%)	ลดลง (-0.11%)
0.0031	ลดลง (-0.69%)	ลดลง (-0.06%)	ลดลง (-0.88%)	เพิ่มขึ้น (0.26%)	เพิ่มขึ้น (0.09%)	ลดลง (-0.17%)
0.0047	ลดลง (-0.26%)	ลดลง (-0.29%)	ลดลง (-0.29%)	ลดลง (-0.20%)	ลดลง (-0.06%)	ลดลง (-0.14%)
0.0078	ลดลง (-0.06%)	ลดลง (-0.09%)	ลดลง (-0.26%)	ลดลง (-0.03%)	ลดลง (-0.14%)	เพิ่มขึ้น (0.11%)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

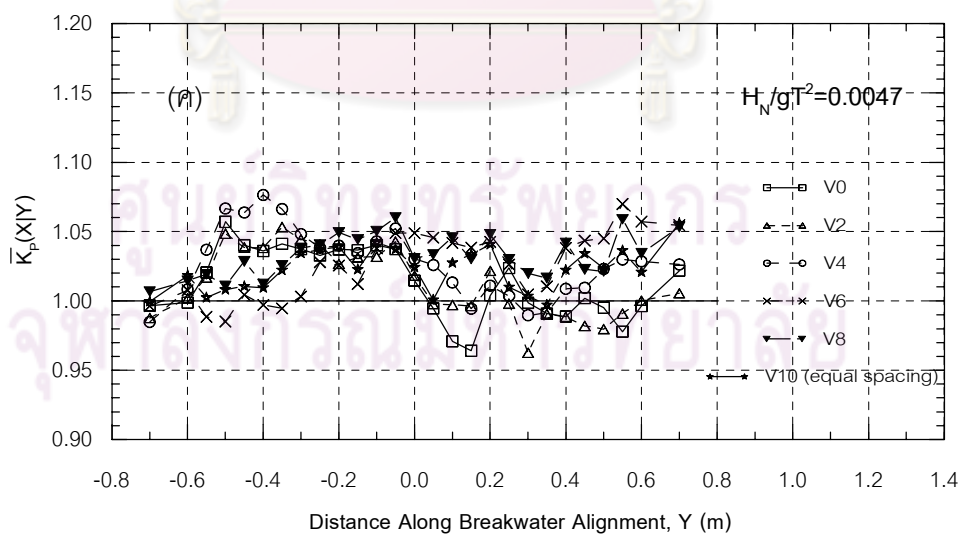
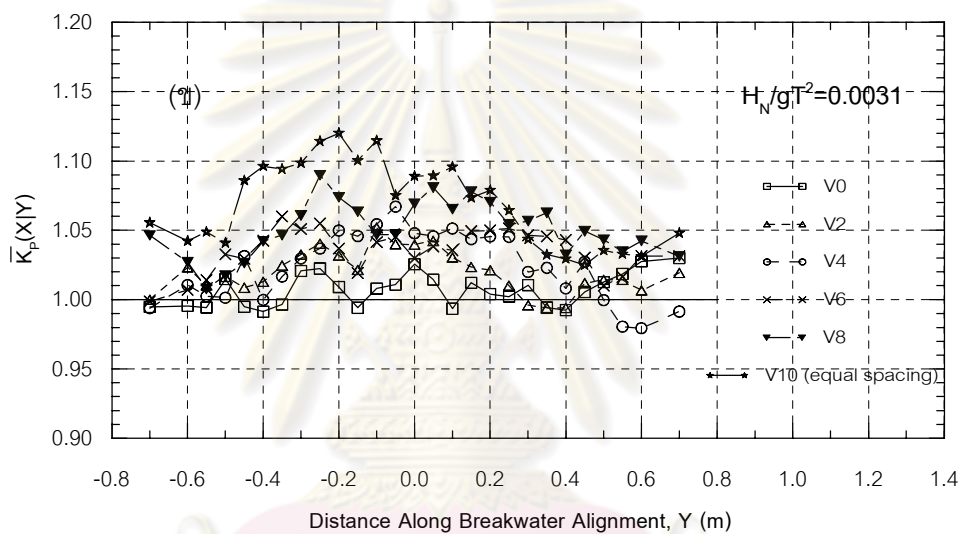
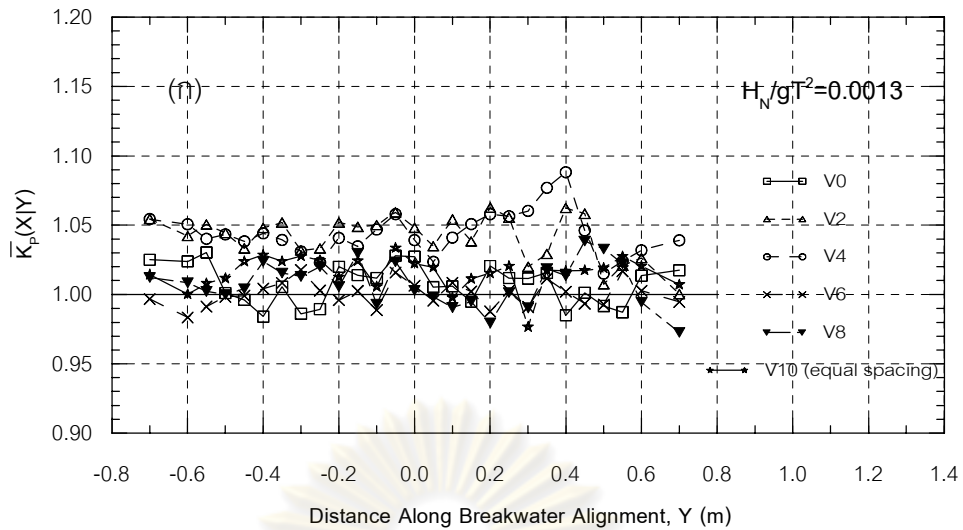
4.3 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในแนวขนานกับเชื่อมกันคลื่น และแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นที่ชัดเจน อันเกิดจากการจัดเรียงเชื่อมกันคลื่นที่จัดระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากันแบบต่างๆ

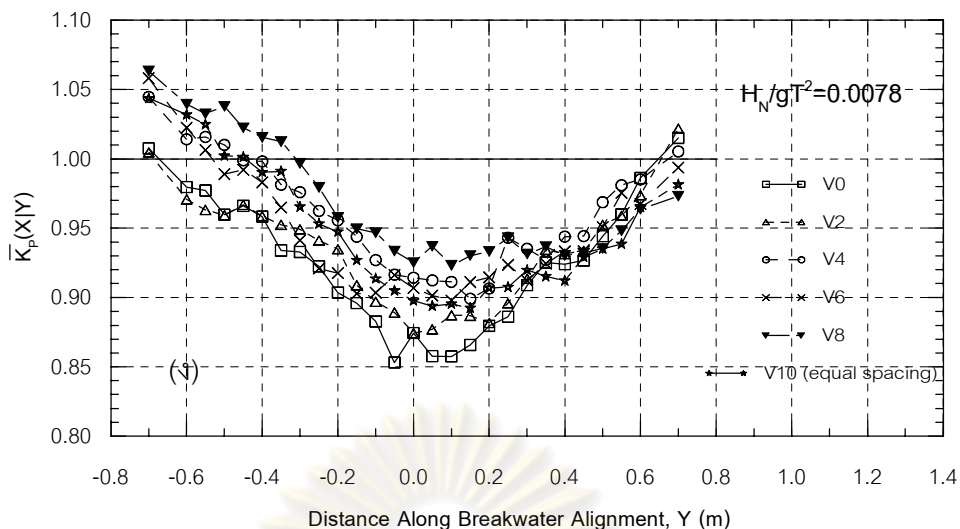
4.3.1 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นตามแนวขนานกับเชื่อมกันคลื่น

การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นตามแนวขนานกับเชื่อมกันคลื่น พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงความสูงตามแนวขนานเชื่อมกันคลื่น ซึ่งจะเป็นค่าเฉลี่ยของจุดข้อมูลตามแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น เรียกว่าอัตราส่วนความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น $\bar{K}_p(x/y)$ โดยพิจารณาตลอดความยาวเชื่อมกันคลื่นด้านหลังทุกๆ 5 ซม. หรือเท่ากับขนาดเสาเข็ม ตลอดแนวเชื่อมกันคลื่นประมาณ 1 ม. หรือ 21 ตำแหน่ง จากการทดลองเชื่อมกันคลื่น 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบแรกเป็นเชื่อมกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (equal spacing) หรือช่องว่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน 1 กรณีศึกษา และรูปแบบที่ 2 เป็นเชื่อมกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน (un-equal spacing) หรือช่องว่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน 5 กรณีศึกษา ทดลอง 4 ความชันคลื่น ได้ผลดังตัวอย่างในรูปที่ 4-11 ซึ่งสามารถแยกวิเคราะห์ในแต่ละความชันคลื่นดังต่อไปนี้

1) ตัวแทนความชันคลื่นน้อย (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0013) มีค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น $\bar{K}_p(x/y)$ กรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10, equal spacing) อยู่ในช่วง 0.98-1.03 ค่าเฉลี่ย 1.02 และกรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากันมีค่า $\bar{K}_{p(y/x)}$ อยู่ในช่วง 0.98-1.03, 1.00-1.06, 1.02-1.09, 0.99-1.02 และ 0.98-1.04 ค่าเฉลี่ย 1.01, 1.04, 1.05, 1.00, และ 1.01 เมื่อเป็นการจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน V0, V2, V4, V6 และ V8 ตามลำดับ จากรูปที่ 4-11(ก) พบว่า ทุกรูปแบบการจัดเรียงค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ส่วนใหญ่มีค่าเกิน 1 ตลอดแนวเชื่อมกันคลื่น โดยมีลักษณะเส้นกราฟที่แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งของรูปแบบการจัดเรียง แสดงให้เห็นว่าที่ความชันคลื่นน้อยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะความสูงคลื่นตลอดแนวเชื่อมกันคลื่นแต่ละรูปแบบแตกต่างกัน โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า $\bar{K}_p(x/y)$ เป็นไปในลักษณะมากขึ้นลดลง เป็นในลักษณะฟันปลาเมื่อเปรียบเทียบกับค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ในตำแหน่งถัดไป แต่ช่วงของการเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ค่อนข้างแคบ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.97-1.05



รูปที่ 4-11 การเปลี่ยนแปลงค่า \bar{K}_p (y/x) ขนานกับเขื่อนกันคลื่นตามความชันคลื่น



รูปที่ 4-11 การเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p (x/y)$ ขนานกับเขื่อนกันคลื่นตามความชันคลื่น (ต่อ)

2) ตัวแทนความชันคลื่นปานกลาง (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0031) มีค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p (x/y)$ กรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเท่ากัน (V10, equal spacing) อยู่ในช่วง 1.03-1.12 ค่าเฉลี่ย 1.08 และกรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาไม่เท่ากันมีค่า $\bar{K}_p (x/y)$ อยู่ในช่วง 0.99-1.03, 0.99-1.05, 1.00-1.07, 1.01-1.06 และ 1.02-1.09 ค่าเฉลี่ย 1.01, 1.02, 1.03, 1.04, และ 1.06 เมื่อเป็นการจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน V0, V2, V4, V6 และ V8 ตามลำดับ จากรูปที่ 4-11(ข) พบว่า ค่า $\bar{K}_p (x/y)$ ของทุกรูปแบบการจัดเรียงส่วนใหญ่มีค่าเกิน 1 ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น โดยมีลักษณะเส้นกราฟที่แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งของรูปแบบการจัดเรียง แสดงให้เห็นว่าที่ความชันคลื่นปานกลางส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะความสูงคลื่นตลอดแนวเขื่อนกันคลื่นแต่ละรูปแบบแตกต่างกัน โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า $\bar{K}_p (x/y)$ เป็นไปในลักษณะมากขึ้นลดลง เป็นในลักษณะฟันปลา เมื่อเปรียบเทียบค่า $\bar{K}_p (x/y)$ ในตำแหน่งถัดไปและบริเวณด้านขวาของเขื่อนกันคลื่น (มองตามทิศทางการคลื่น) มีค่า $\bar{K}_p (x/y)$ สูงกว่าด้านซ้าย แต่ช่วงของการเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p (x/y)$ ค่อนข้างกว้าง อยู่ในช่วง 0.98-1.12

3) ตัวแทนความชันคลื่นมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0047) มีค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p (x/y)$ กรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเท่ากัน (V10, equal spacing) อยู่ในช่วง 1.00-1.04 ค่าเฉลี่ย 1.02 และกรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาไม่เท่ากันมีค่า $\bar{K}_p (x/y)$ อยู่ในช่วง 0.96-1.04, 0.96-1.05, 0.99-1.08, 0.99-1.05 และ 1.01-1.06

ค่าเฉลี่ย 1.02, 1.02, 1.03, 1.03, และ 1.03 เมื่อเป็นการจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน V0, V2, V4, V6 และ V8 ตามลำดับ จากรูปที่ 4-11(ค) พบว่า ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ของทุกรูปแบบการจัดเรียงส่วนใหญ่มีค่าเกิน 1 ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น อยู่ในช่วง 0.96-1.07 แต่เริ่มเห็นความแตกต่างของค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ของจัดเรียงช่องว่างไม่เท่ากันรูปแบบ V0, V2 และ V4 ซึ่งมีค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ด้านฝั่งซ้ายต่ำกว่าด้านฝั่งขวา ส่วนรูปแบบการจัดเรียงช่องว่างไม่เท่ากันรูปแบบ V6 และ V8 รวมถึงการจัดเรียงที่ช่องว่างเท่ากันรูปแบบ V10 มีค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ด้านฝั่งซ้ายสูงกว่าด้านฝั่งขวา

4) ตัวแทนความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0047) ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p(x/y)$ กรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเท่ากัน (V10, equal spacing) อยู่ในช่วง 0.89-1.00 เฉลี่ย 0.933 และกรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาไม่เท่ากันมีค่า $\bar{K}_p(x/y)$ อยู่ในช่วง 0.85-0.97, 0.87-0.97, 0.90-1.00, 0.90-1.00 และ 0.92-1.02 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.91, 0.92, 0.95, 0.93 และ 0.96 เมื่อเป็นการจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน V0, V2, V4, V6 และ V8 ตามลำดับ จากรูป 4-8(ง) พบว่า ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ของทุกรูปแบบการจัดเรียงเป็นไปในลักษณะเดียวกัน โดยค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อพิจารณาจากหัวเขื่อนกันคลื่นไปยังกลางเขื่อนกันคลื่น ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ จะลดมากที่สุดบริเวณกลางเขื่อนกันคลื่น แต่การเปลี่ยนแปลงของค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่นไม่สมมาตรกัน ซึ่งค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ด้านฝั่งซ้ายต่ำกว่าด้านฝั่งขวา และกรณีความชันคลื่นแรงมากนี้ยังเห็นผลของการจัดเรียงแต่ละรูปแบบได้ชัดเจนโดยค่า $\bar{K}_p(x/y)$ เพิ่มขึ้นเมื่อขยับช่องว่างระหว่างเสาเข็มเพิ่มขึ้นตามการจัดเรียงรูปแบบ V0, V2, V4, V6 และ V8 ตามลำดับ

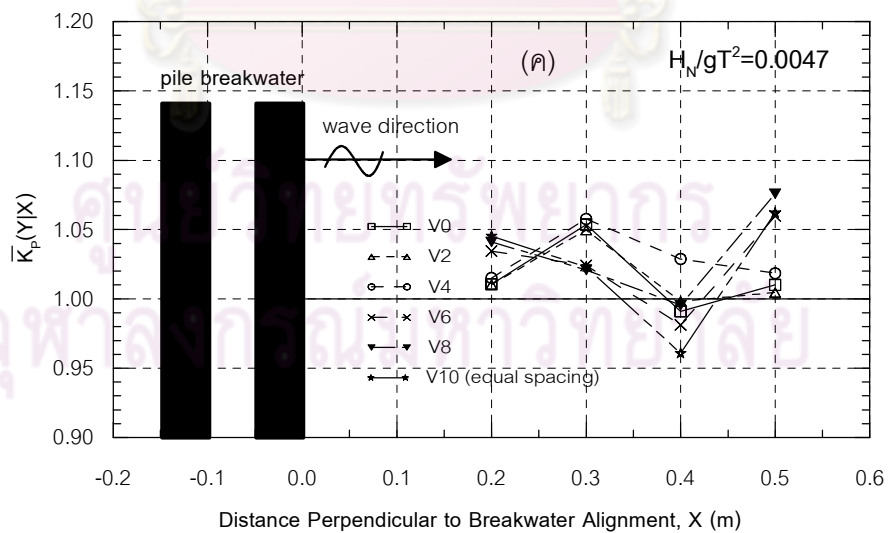
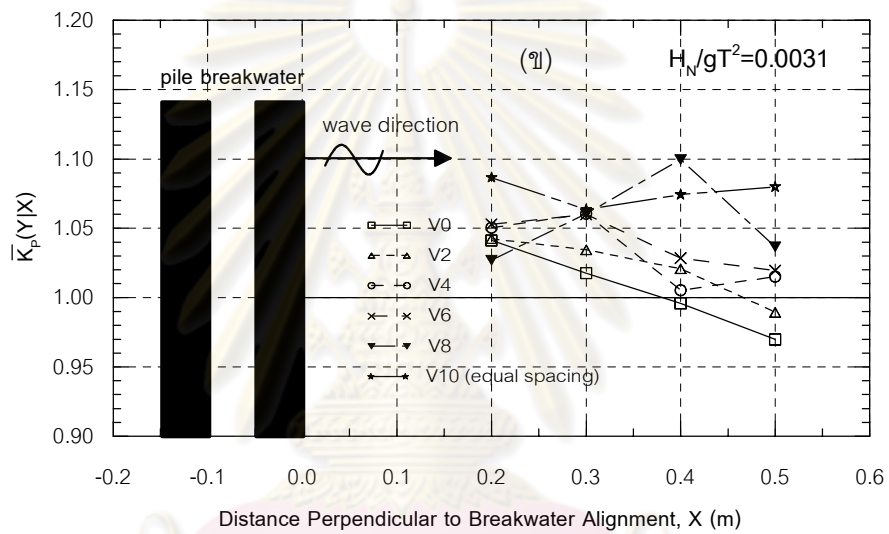
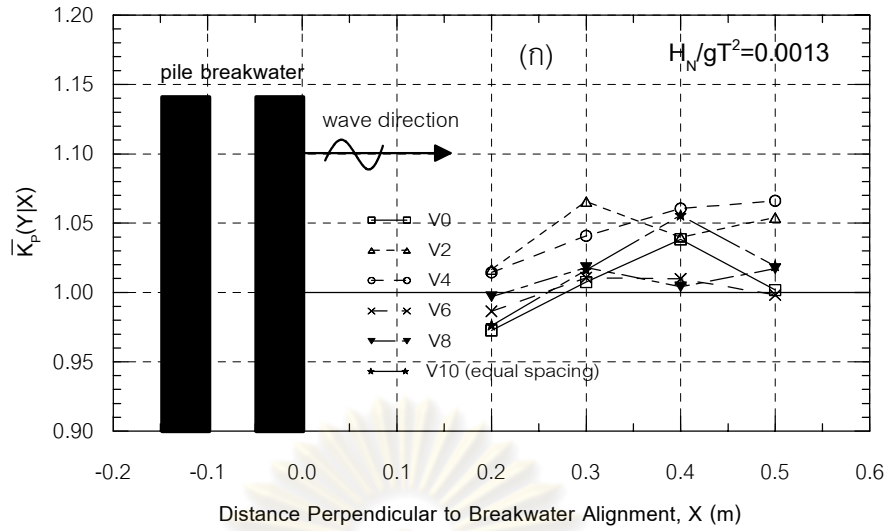
จะเห็นได้ว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยในทิศตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p(x/y)$ ตามแนวขนานเขื่อนกันคลื่น มีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกันทุกรูปแบบการจัดเรียง กล่าวคือ ความชันคลื่นน้อยถึงความชันคลื่นมาก (H_N/gT^2 อยู่ในช่วง 0.0013 ถึง 0.0047) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีลักษณะใกล้เคียงกันตลอดแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่นทุกรูปแบบ จะสังเกตเห็นว่าค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่คาดไว้ ตั้งแต่แรกว่า การมีเขื่อนกันคลื่นน่าจะทำให้ความสูงคลื่น ลดลง และการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเส้นกราฟค่อนข้างที่จะไขว้สลับกันไปมา แสดงว่า รูปแบบการจัดเรียงส่งผลต่อค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ในช่วงความชันคลื่นน้อยถึงมากในลักษณะที่ไม่ชัดเจน ส่วนที่ความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีแนวโน้มที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับช่วงความชันคลื่นน้อยถึงช่วงความชันคลื่นมาก กล่าวคือ ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ของความชันคลื่นแรงมาก มีค่าส่วนใหญ่อยู่ต่ำกว่า 1 บริเวณกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่น ($-0.2 < Y < 0.2$) มีค่าน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 0.85-0.95

เมื่อพิจารณาจากกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่น (Y เท่ากับ 0) พบว่าลักษณะเส้นกราฟมีแนวโน้มค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ของทุกรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นเป็นไปในทิศทางเดียวกันอย่างชัดเจน คือ ฝั่งซ้ายของเขื่อนกันคลื่น (พิจารณาจากทิศทางที่คลื่นเข้าปะทะ) มีค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ต่ำกว่าฝั่งขวาของเขื่อนกันคลื่นประมาณ 2-7% จากรูปที่ 4-11(ง) จะเห็นได้ว่า ฝั่งขวาของเขื่อนกันคลื่นมีเส้นกราฟของรูปแบบการจัดเรียงเสาเข็มเป็นแนวโน้มเดียวกันชัดเจน ในขณะที่ฝั่งซ้ายเส้นกราฟค่อนข้างสลับกันไปมา แสดงให้เห็นถึงลักษณะทางกายภาพของเขื่อนกันคลื่นส่งผลต่อค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ที่แตกต่างกัน คือ ทางฝั่งซ้ายของเขื่อนกันคลื่นมีการจัดเรียงเสาเข็มแถวที่ 2 ชิดกว่าฝั่งขวา ที่ความชันแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) รูปแบบการขยับเสาเข็มในแต่ละเขื่อนกันคลื่นให้ผลต่อค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ที่แตกต่างกัน โดยรูปแบบการจัดเรียงที่มีค่า $\bar{K}_p(x/y)$ น้อยที่สุดคือ V0, V2, V10, V6, V4 และ V8 ตามลำดับ

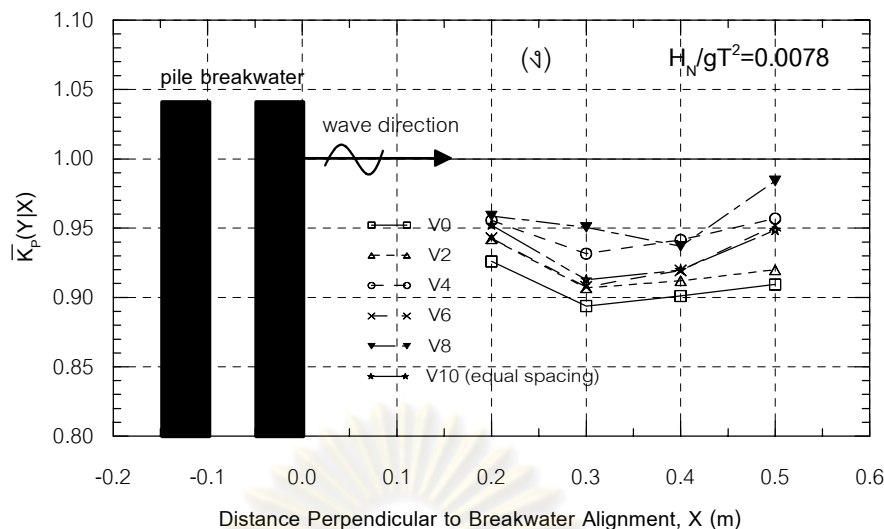
4.3.2 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น

การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น พิจารณาการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของจุดข้อมูลตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่นในแต่ละแถว เรียกว่า อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวขนานเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p(y/x)$ ในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น จะพิจารณาจากระยะทางอยู่ในช่วง 4 ถึง 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (X เท่ากับ 0.2 ถึง 0.5 ม) จากการทดลองเขื่อนกันคลื่น 2 รูปแบบ และความชันคลื่น (H_N/gT^2) 4 ขนาด แสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 4-12 ซึ่งสามารถแยกวิเคราะห์การจัดเรียงในแต่ละความชันคลื่นได้ดังต่อไปนี้

1) ตัวแทนความชันคลื่นน้อย (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0013) มีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยแนวขนานเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p(y/x)$ กับระยะทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น อยู่ในช่วง 0.98-1.06 ค่าเฉลี่ย 1.02 เมื่อเป็นการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่จัดระยะห่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) และค่า $\bar{K}_p(y/x)$ อยู่ในช่วง 0.98-1.07 ค่าเฉลี่ย 1.02 เมื่อเป็นการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน จากรูป 4-12(ก) แสดงให้เห็นว่าค่า $\bar{K}_p(y/x)$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น โดยจะลดลงมากสุดในตำแหน่งใกล้กับเขื่อนกันคลื่น หลังจากนั้นค่า $\bar{K}_p(y/x)$ จะมีค่ามากขึ้นตามระยะห่างจากเขื่อนกันคลื่นประมาณ 1 ถึง 7 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4-12 การเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(y/x)$ กับ ระยะตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ตามความชันคลื่น



รูปที่ 4-12 การเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(y/x)$ กับ ระยะตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ตามความชันคลื่น (ต่อ)

2) ตัวแทนความชันคลื่นปานกลาง (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0031) มีการเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(y/x)$ กับระยะตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นอยู่ในช่วง 1.07-1.09 ค่าเฉลี่ย 1.08 เมื่อมีการจัดเรียงที่ระยะห่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) และค่า $\bar{K}_p(y/x)$ อยู่ในช่วง 0.97-1.06 ค่าเฉลี่ย 1.03 เมื่อเป็นการจัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน จากรูป 4-12(ข) แสดงให้เห็นว่าค่า $\bar{K}_p(y/x)$ มีแนวโน้มลดลงตามระยะห่างจากเขื่อนกันคลื่นที่มากขึ้น ยกเว้นการเรียงแบบ V8 และรูปแบบการจัดเรียงแบบ V10 ที่มีแนวโน้มของค่า $\bar{K}_p(y/x)$ เพิ่มขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น โดยส่วนใหญ่ค่า $\bar{K}_p(y/x)$ จะมีค่ามากกว่า 1 แต่จะมีค่าน้อยที่สุดในตำแหน่งที่ไกลเขื่อนกันคลื่นที่สุด (X เท่ากับ 0.5 ม.)

3) ตัวแทนความชันคลื่นมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0047) มีการเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(y/x)$ กับระยะตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นอยู่ในช่วง 0.96-1.07 ค่าเฉลี่ย 1.02 เมื่อเป็นการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) และค่า $\bar{K}_p(y/x)$ อยู่ในช่วง 0.99-1.08 ค่าเฉลี่ย 1.02 เมื่อเป็นการจัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน จากรูป 4-12(ค) แสดงให้เห็นว่าค่า $\bar{K}_p(y/x)$ มีลักษณะขึ้น-ลง ตามระยะห่างที่มากขึ้น แต่มีแนวโน้มค่า $\bar{K}_p(y/x)$ เพิ่มขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นพบว่าข้อมูลส่วนใหญ่มีค่า $\bar{K}_p(y/x)$ เกิน 1

4) ตัวแทนความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) มีการเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(y/x)$ กับระยะตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นอยู่ในช่วง 0.91-0.95 ค่าเฉลี่ย 0.93 เมื่อเป็นการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) และค่า $\bar{K}_p(y/x)$ อยู่ในช่วง 0.89-0.98 ค่าเฉลี่ย 0.93 เมื่อ

เป็นการจัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน จากรูป 4-12(ง) แสดงให้เห็นว่าค่า $\bar{K}_p (y/x)$ มีแนวโน้มลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการลดลงของค่า $\bar{K}_p (y/x)$ จะมีลักษณะลดลงมากบริเวณใกล้เขื่อนกันคลื่น จากนั้นการลดลงมีอัตราลดลงเมื่อระยะห่างจากเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น นอกจากนี้ที่ความชันคลื่นนี้ยังแสดงให้เห็นว่ามีค่า $\bar{K}_p (y/x)$ น้อยกว่า 1 ทุกระยะห่างจากเขื่อนกันคลื่น

จะเห็นว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวนอนเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p (y/x)$ กับระยะทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นในแต่ละรูปแบบมีลักษณะการเปลี่ยนแปลง ค่า $\bar{K}_p (y/x)$ ไปเป็นทิศทางเดียวกันทุกความชันคลื่น กล่าวคือ กรณีความชันคลื่นน้อยถึงมาก (H_N/gT^2 อยู่ในช่วง 0.0013 ถึง 0.0047) ในบริเวณพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่น ค่า $\bar{K}_p (y/x)$ ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 1 ส่วนความชันคลื่น (H_N/gT^2 อยู่ในช่วง 0.0047 ถึง 0.0078) ค่า $\bar{K}_p (y/x)$ มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า เมื่อมีเขื่อนกันคลื่นความสูงคลื่นเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ลดลงตามระยะทางขนานกับเขื่อนกันคลื่น เมื่อเป็นความชันคลื่นแรงมากเท่านั้น แต่เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น พบว่าค่า $\bar{K}_p (y/x)$ มีความสัมพันธ์กับระยะห่างตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นโดยค่า $\bar{K}_p (y/x)$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างจากเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น

4.4 ผลของความชันคลื่น

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การศึกษาในเรื่องการส่งผ่านคลื่นของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม นอกจากรูปแบบการจัดเรียงเสาเข็ม จะเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ยังมีผลของความสูงคลื่น (H_N) และคาบคลื่น (T) ที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ที่นิยมนำมาพิจารณาประสิทธิภาพของเขื่อนกันคลื่น ซึ่ง การพิจารณาค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (K_p) จึงขึ้นอยู่กับความสูงคลื่น (H_N), คาบคลื่น (T) และค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ซึ่งสามารถนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรไร้มิติ ดังสมการที่ 4-5

$$K_p = f \left[\frac{H_N}{gT^2} \right] \quad (4-5)$$

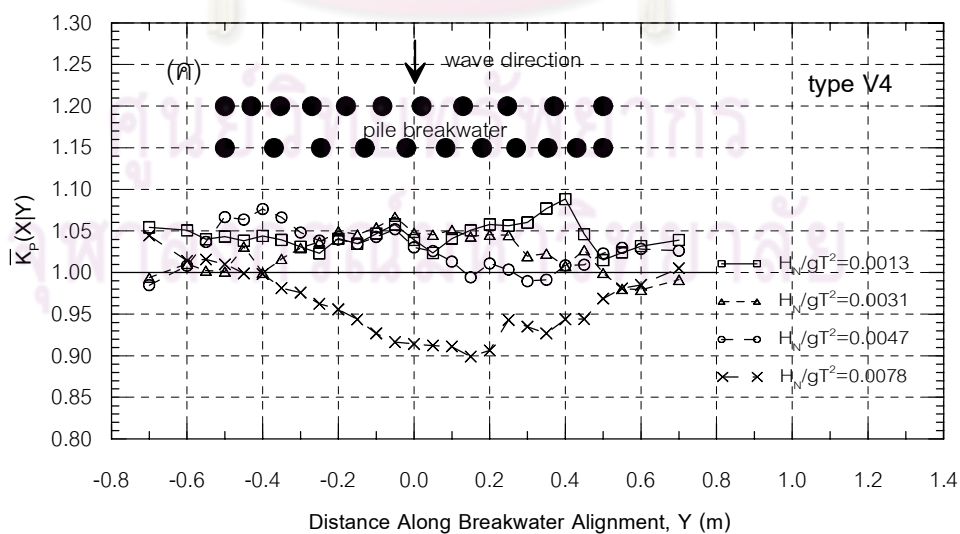
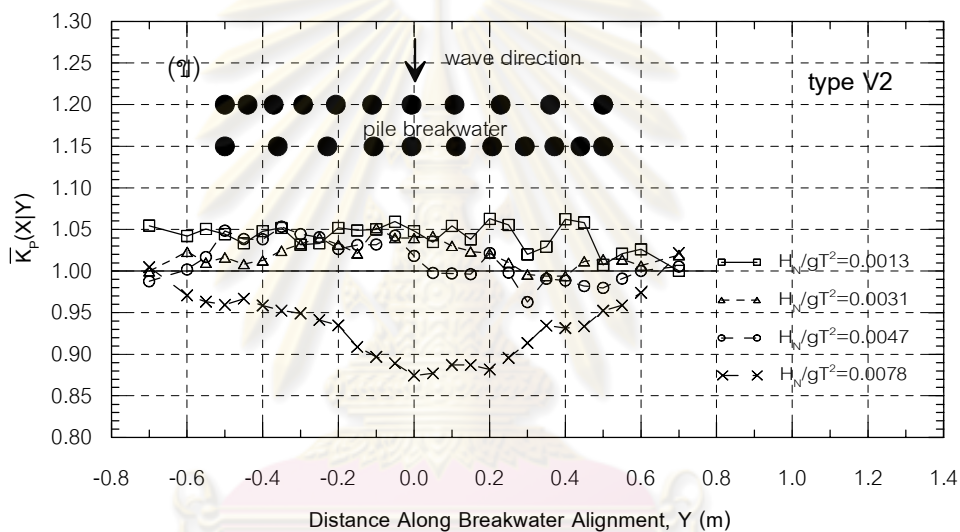
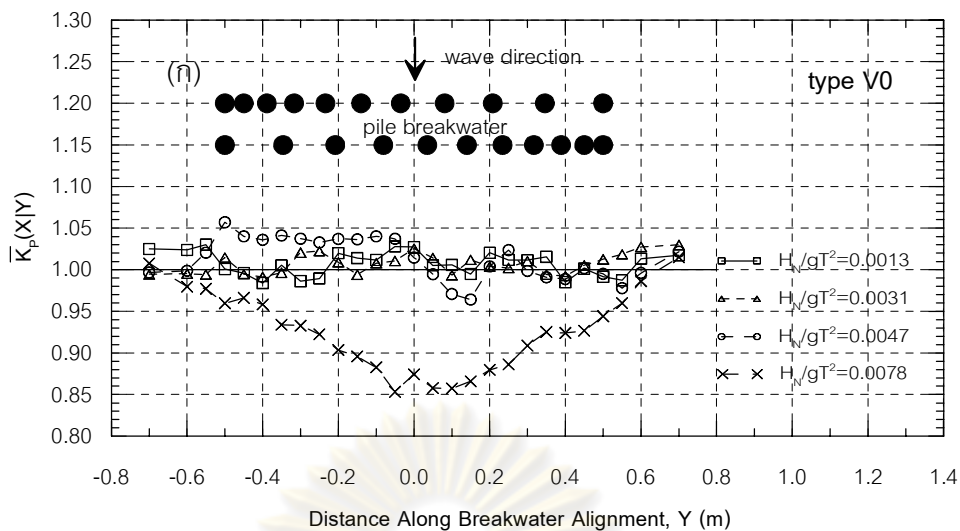
โดย K_p คืออัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น และ H_N/gT^2 คือ ค่าความชันคลื่น อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่น ที่มีรูปแบบจัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (rectangular) 1 กรณีศึกษา และไม่เท่ากันรูปแบบต่างๆ (unequally-spaced) 5 กรณีศึกษา (V_0, V_2, V_4, V_6 และ V_8) เพื่อให้ผลการศึกษามีความชัดเจนยิ่งขึ้น จึงทดลองความชันคลื่นทั้ง 4 ขนาด

4.4.1 ผลความชันคลื่นตามทิศทางขนานกับเขื่อนกันคลื่น

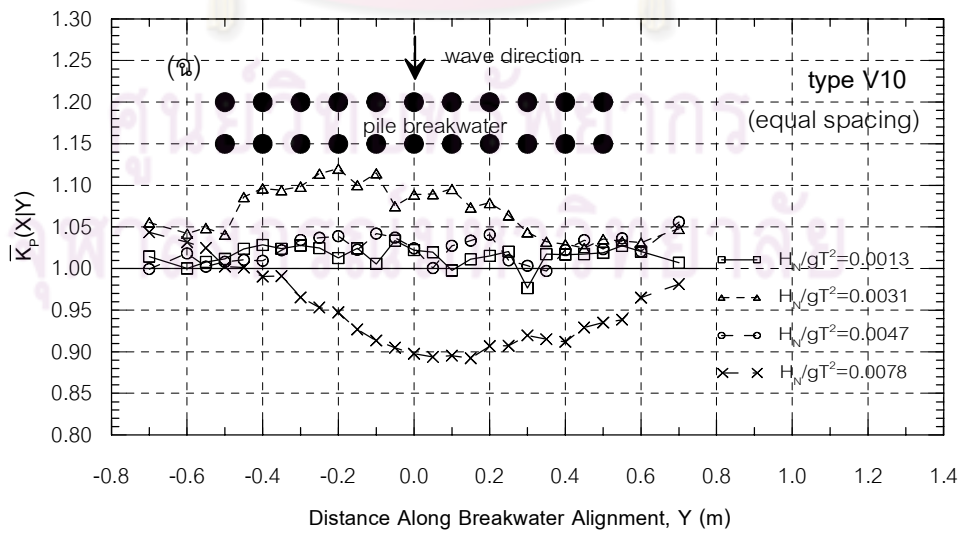
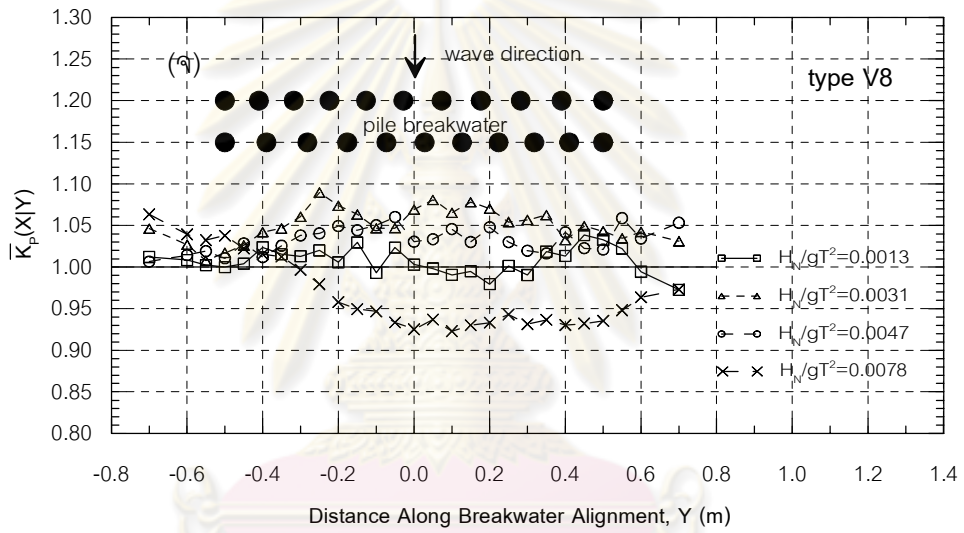
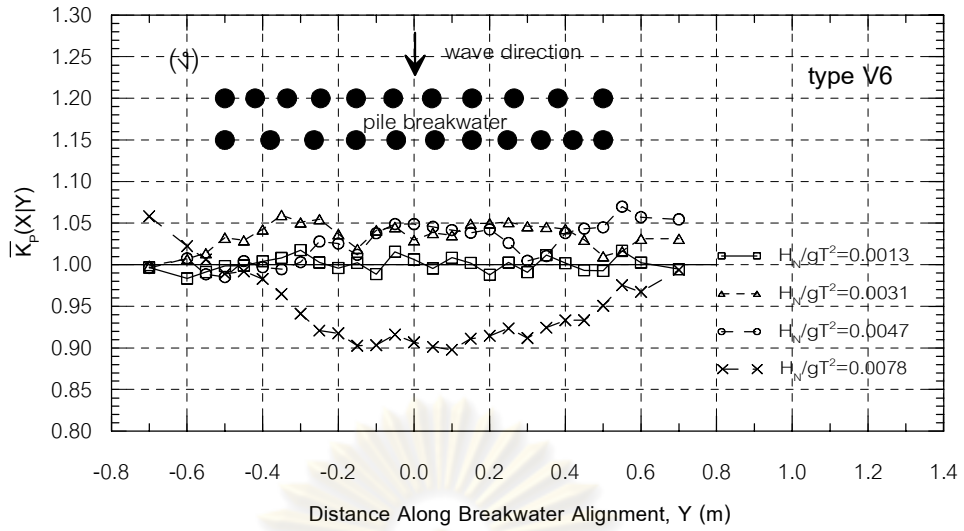
ความสัมพันธ์ของความชันคลื่นที่มีต่อรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นรูปแบบต่างๆ ตามทิศทางขนานกันคลื่น ดังรูปที่ 4-13 ซึ่งผลของความชันคลื่นตามทิศทางขนานกับเขื่อนกันคลื่น ได้พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p(x/y)$ ตลอดความยาวเขื่อนกันคลื่น สามารถแยกวิเคราะห์ผลของความชันคลื่นต่อการจัดเรียงแต่ละรูปแบบดังนี้

1) การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากันรูปแบบ V0 จากรูป 4-13(ก) พิจารณาค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น พบว่า ตัวแทนความชันคลื่นน้อยถึงตัวแทนความชันคลื่นมาก (H_N/gT^2 อยู่ในช่วง 0.0047 ถึง 0.0078) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ลักษณะเส้นกราฟไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนตลอดแนวคลื่นกันคลื่น ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ใกล้ 1 และมากกว่า 1 ไม่เกิน 5% แต่เมื่อพิจารณาความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีแนวโน้มลดลงแตกต่างจากความชันคลื่นอื่นที่ทดลองอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่นอยู่ในช่วง 0.85 – 1.02 มีลักษณะการลดลงบริเวณตรงกลางเขื่อนกันคลื่นมากที่สุด เมื่อพิจารณาแบ่งครึ่งกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่น (Y เท่ากับ 0) พบว่าฝั่งขวาของเขื่อนกันคลื่นมีค่า $\bar{K}_p(x/y)$ สูงกว่าฝั่งซ้ายเล็กน้อย (ตามทิศทางคลื่นเข้าปะทะของเขื่อนกันคลื่น) ประมาณ 1 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์

2) การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน รูปแบบ V2 จากรูปที่ 4-13 (ข) เมื่อพิจารณาค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่นพบว่า ตัวแทนความชันคลื่นน้อยถึงความชันคลื่นมาก (H_N/gT^2 อยู่ในช่วง 0.0013 ถึง 0.0047) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่นส่วนใหญ่มีค่าอยู่ใกล้ 1 และมากกว่า 1 ส่วนความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ อยู่ในช่วง 0.87 – 1.02 มีการลดลง แตกต่างจากความชันคลื่นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ส่วนใหญ่ที่ต่ำกว่า 1 และลดลงมากที่สุดบริเวณกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่น และเมื่อพิจารณาการแบ่งครึ่งกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่น (Y เท่ากับ 0) พบว่าฝั่งขวาของเขื่อนกันคลื่นมีค่าสูงกว่าฝั่งซ้ายเล็กน้อย ประมาณ 1 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4-13 ผลของความชันคลื่นต่อการเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น



รูป 4-13 ผลของควมชันคลื่นต่อการเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น (ต่อ)

3) การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน รูปแบบ V4 จากรูปที่ 4-13 (ค) เมื่อพิจารณาค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น พบว่า ตัวแทนความชันคลื่นน้อยถึงความชันคลื่นมาก (H_N/gT^2 อยู่ในช่วง 0.0013 ถึง 0.0047) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่นส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ใกล้ 1 และมากกว่า 1 ส่วนความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีการลดลงแตกต่างจากความชันคลื่นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ อยู่ในช่วง 0.9–1.04 บริเวณกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่น (Y อยู่ในช่วง -0.2 ถึง 0.2 ม.) มีค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาบริเวณหัวของเขื่อนกันคลื่นทั้งสองฝั่งพบว่า ฝั่งขวาของเขื่อนกันคลื่น มีค่า $\bar{K}_p(x/y)$ สูงกว่าฝั่งซ้ายเล็กน้อยประมาณ 1 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์

4) การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน รูปแบบ V6 จากรูปที่ 4-13(ง) เมื่อพิจารณาค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น พบว่า ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น เริ่มมีความแตกต่างกันในแต่ละตัวแทนความชันคลื่น กล่าวคือ ลักษณะของเส้นกราฟ เริ่มแยกออกจากกันแสดงให้เห็นค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ในแต่ละเส้นความชันคลื่นอย่างชัดเจน เส้นกราฟไม่ทับสลับไขว้ไปมา เหมือนรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นก่อนหน้านี้ (V0, V2, และ V4) สังเกตเห็นค่าที่ความชันคลื่นน้อย (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0013) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีค่าอยู่ใกล้ 1 ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น ส่วนความชันคลื่นช่วงปานกลางถึงมาก ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น มีค่ามากกว่า 1 ประมาณ 1 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น ส่วนความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีลักษณะแตกต่างจากความชันคลื่นอื่น กล่าวคือ ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 1 ยกเว้นบริเวณ ฝั่งขวาของเขื่อนกันคลื่น ($Y < 0.4$) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีค่ามากกว่า 1 แตกต่างจากฝั่งซ้ายหรือกล่าวได้ว่า เมื่อพิจารณาจากกึ่งกลางของเขื่อนกันคลื่นทางฝั่งขวาจะมีค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มากกว่าฝั่งซ้ายประมาณ 1 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์

5) การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน รูปแบบ V8 จากรูปที่ 4-13(จ) พบว่า ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น มีความแตกต่างกันในแต่ละความชันคลื่นอย่างชัดเจน กล่าวคือ ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ที่ตัวแทนความชันคลื่นปานกลางมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ความชันคลื่นแรงรองลงมาคือ ความชันคลื่นมาก และค่า $\bar{K}_p(x/y)$ น้อยที่สุดคือ ความชันคลื่นแรงมาก เมื่อเทียบในแต่ละความชันคลื่น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความชันคลื่นในช่วงน้อยถึงมากพบว่า ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีค่ามากกว่า 1 ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น ประมาณ 1 ถึง 8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) ส่วนใหญ่ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีค่าน้อยกว่า 1 ยกเว้นตั้งแต่ Y น้อยกว่า -0.3 ม. จนกระทั่งถึงหัวเขื่อนกันคลื่นฝั่งขวา ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ อยู่ในช่วง 1–1.06 และมากกว่าฝั่งซ้ายประมาณ 3 ถึง 9 เปอร์เซ็นต์

6) การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นระยะห่างระหว่างเสาเท่ากัน (equal spacing) รูปแบบ V10 จากรูปที่ 4-13(ข) พบว่า ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ของความชันคลื่นช่วงน้อยถึงมาก (H_N/gT^2 อยู่ใน 0.0013 ถึง 0.0047) มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่นมีค่ามากกว่า 1 ความชันคลื่นเท่ากับ 0.0013 และ 0.0047 มีค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ล้อกันไปตลอดแนวเขื่อนกันไม่แตกต่างกัน (หรือกล่าวได้ว่า ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีความสม่ำเสมอตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น) ซึ่งแตกต่างจากความชันคลื่นปานกลาง (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0031) ถึงแม้ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ จะมีมากกว่า 1 เหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกันคือ ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ บริเวณฝั่งขวาเขื่อนกันคลื่นมีค่ามากกว่าฝั่งซ้ายอย่างชัดเจนหรือกล่าวได้ว่าค่า $\bar{K}_p(x/y)$ บริเวณฝั่งขวาของเขื่อนกันคลื่นค่อยๆ ลดน้อยลงจนถึงหัวเขื่อนกันคลื่นฝั่งซ้าย ส่วนความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) พบว่า ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ บริเวณกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่นลดลงมากที่สุดเป็นแอ่งเหมือนกันกระทะ แล้วค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ค่อยๆ มากขึ้นจนกระทั่งสุดขอบเขื่อนกันคลื่นทั้ง 2 ฝั่งในลักษณะที่ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ของทั้ง 2 ฝั่งต่างกันเล็กน้อย

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาผลความชันคลื่นพบว่า ความชันคลื่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น คลื่นในแนวขนานและกับเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p(x/y)$ เป็นไปในแนวโน้มเดียวกันทุกรูปแบบการจัดเรียง กล่าวคือ ที่ความชันคลื่นน้อยถึงความชันคลื่นมาก (H_N/gT^2 อยู่ในช่วง 0.0013 ถึง 0.0047) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีค่ามากกว่า 1 และมีค่าที่ค่อนข้างสม่ำเสมอกันตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาแยกฝั่งซ้ายและฝั่งขวาเขื่อนกันคลื่น ส่วนความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีค่าน้อยกว่า 1 โดยบริเวณกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่นมีค่าน้อยที่สุด (Y อยู่ในช่วง -0.2 ถึง 0.2 ม.) นอกจากนี้เมื่อความชันคลื่นในช่วงน้อยถึงมาก (H_N/gT^2 อยู่ในช่วง 0.0013 ถึง 0.0047) ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ มีลักษณะใกล้เคียงกันทุกรูปแบบตลอดความยาวเขื่อนกันคลื่น ยกเว้นที่ความชันคลื่นปานกลางในรูปแบบการจัดเรียงที่ช่องว่างเสาเท่ากันมีค่า $\bar{K}_p(x/y)$ แตกต่างในลักษณะที่มากกว่าตำแหน่งเดียวกันที่ค่าความชันคลื่นอื่นอย่างเห็นได้ชัด และมีค่ามากกว่าที่ความชันคลื่นแรงมาก แสดงว่าค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ตามทิศทางขนานกันเขื่อนกันคลื่นมีแนวโน้มลดลงตามความชันคลื่นที่เพิ่มขึ้น

4.4.2 ผลความชันคลื่นตามทิศทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น

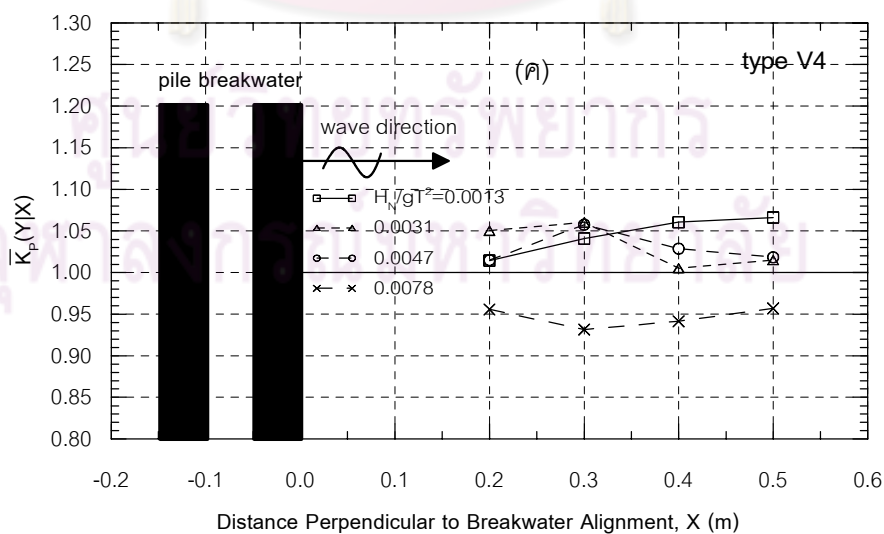
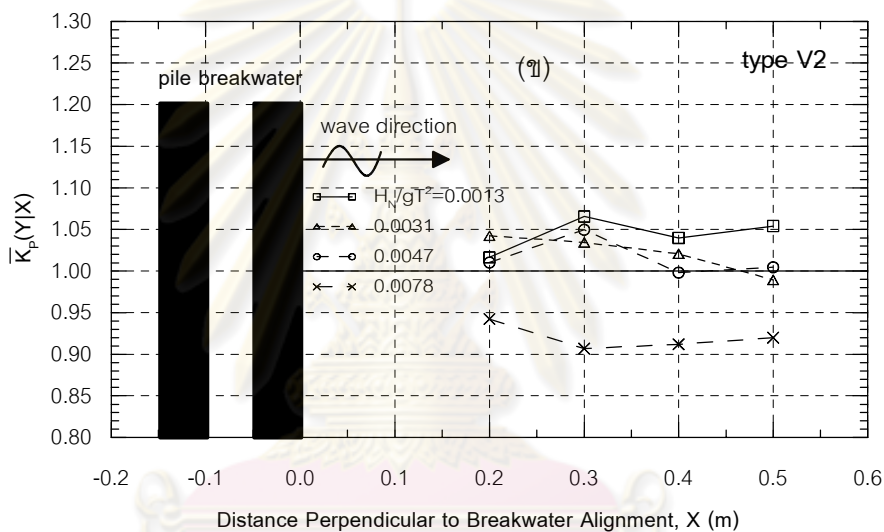
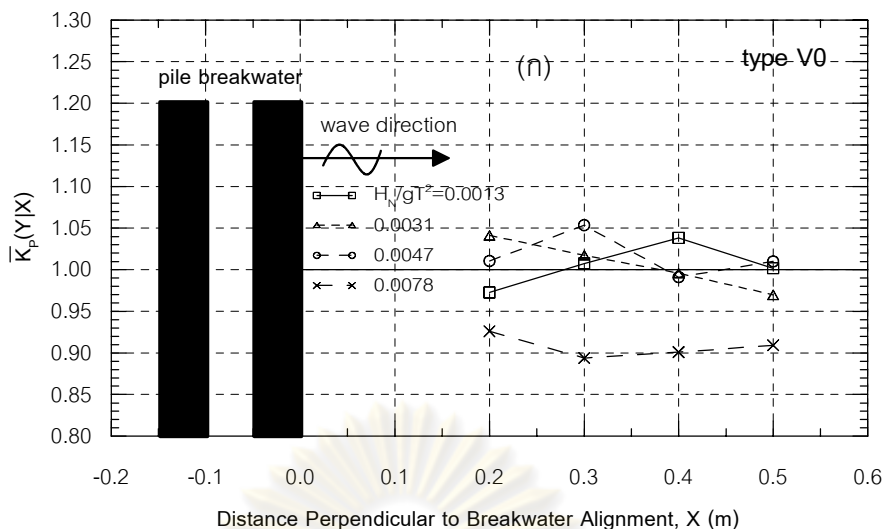
ความสัมพันธ์ของความชันคลื่นที่มีต่อการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นรูปแบบต่างๆ ตามทิศทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ดังรูปที่ 4-14 ผลของความชันคลื่นตามทิศทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นรูปแบบต่างๆ พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความสูงคลื่นในแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p(y/x)$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของจุดข้อมูลตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างตั้งฉากกับ

เชื่อมกันคลื่นที่ระยะห่างจากขอบเชื่อมกันคลื่น 4, 5, 8 และ 10 เท่าของขนาดเสาเข็ม หรือประมาณ 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ม. ตามลำดับ สามารถแยกวิเคราะห์ผลของความชันคลื่นต่อการจัดเรียงแต่ละรูปแบบดังนี้

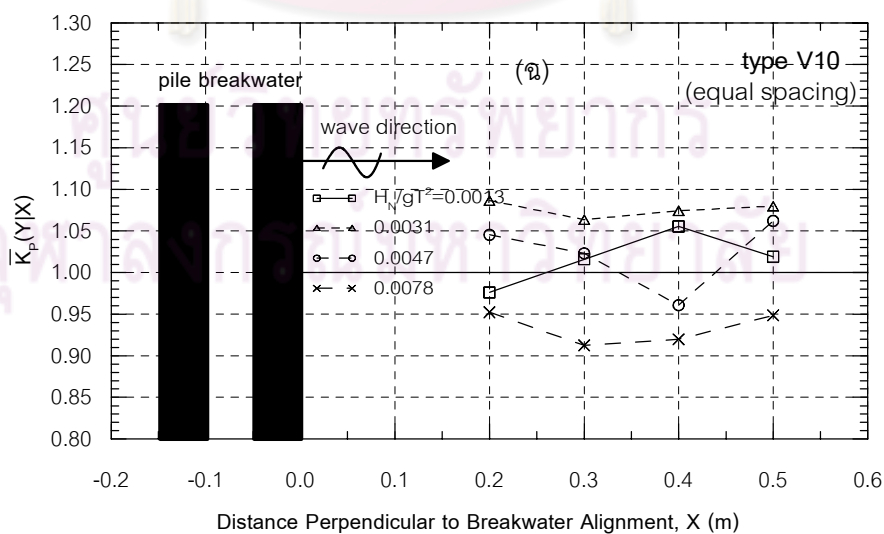
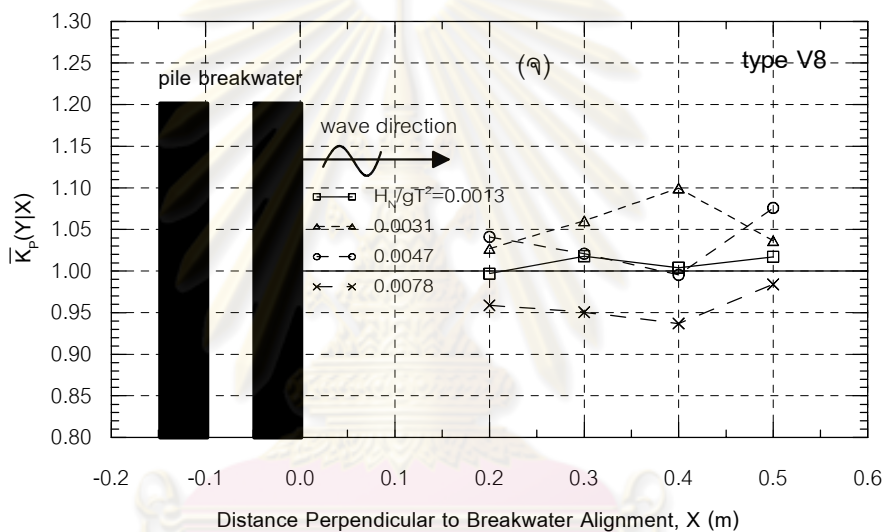
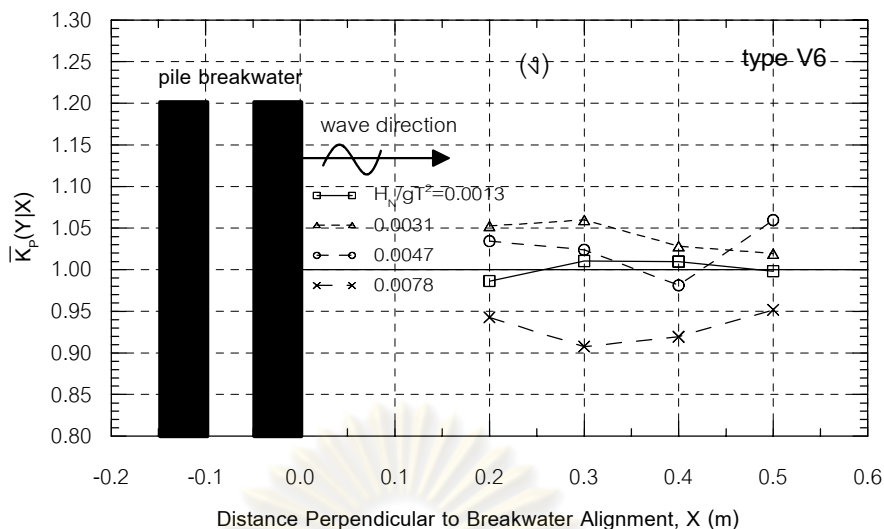
1) การจัดเรียงเชื่อมกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน รูปแบบ V0 รูปที่ 4-14(ก) เมื่อพิจารณาค่า $\bar{K}_p (y/x)$ ตามแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น พบว่าค่า $\bar{K}_p (y/x)$ ในความชันคลื่นช่วงน้อยถึงมาก (H_N/gT^2 อยู่ในช่วง 0.0013 ถึง 0.0047) มีลักษณะเส้นกราฟไขว้สลับกันไปมาตามระยะตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น แต่ก็มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือค่า $\bar{K}_p (y/x)$ ส่วนใหญ่มากกว่า 1 ในขณะที่ความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) ค่า $\bar{K}_p (y/x)$ มีค่าน้อยกว่า 1 ตลอดระยะทางตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการจัดเรียงแบบ V0 ค่า $\bar{K}_p (y/x)$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มมากขึ้น

2) การจัดเรียงเชื่อมกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน รูปแบบ V2 รูปที่ 4-14(ข) เมื่อพิจารณาค่า $\bar{K}_p (y/x)$ พบว่า ค่า $\bar{K}_p (y/x)$ ในความชันคลื่นช่วงน้อยถึงมาก (H_N/gT^2 อยู่ในช่วง 0.0013 ถึง 0.0047) มีลักษณะไขว้สลับกันไปมา ตามระยะห่างตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น โดยเฉพาะที่ความชันเท่ากับ 0.0031 และ 0.0047 มีลักษณะเส้นกราฟไขว้กันขึ้นลงตามระยะทางตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น แสดงว่า ความชันคลื่นไม่มีความสัมพันธ์กับระยะทางตั้งฉาก แต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่า $\bar{K}_p (y/x)$ ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 1 ในขณะที่ความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) ค่า $\bar{K}_p (y/x)$ มีค่าน้อยกว่า 1 ตลอดระยะทางตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการจัดเรียงแบบ V2 ค่า $\bar{K}_p (y/x)$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อความชันเพิ่มมากขึ้น

3) การจัดเรียงเชื่อมกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน รูปแบบ V4 รูปที่ 4-14(ค) เมื่อพิจารณาค่า $\bar{K}_p (y/x)$ พบว่า ค่า $\bar{K}_p (y/x)$ ในความชันคลื่นช่วงน้อยถึงมาก (H_N/gT^2 อยู่ในช่วง 0.0013 ถึง 0.0047) มีลักษณะไขว้สลับกันไปมา ตามระยะห่างตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่น จากรูป 4-14(ค) ซึ่งให้เห็นว่า ค่าความชันคลื่นเท่ากับ 0.0013 และ 0.0047 นั้นลักษณะเส้นกราฟไขว้กันไปตลอดระยะทางตั้งฉาก แต่ก็ไปตัดค่า $\bar{K}_p (y/x)$ ของความชันคลื่นน้อย (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0013) แสดงว่า ความชันคลื่นไม่มีความสัมพันธ์กับระยะทางตั้งฉาก แต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียว คือค่า $\bar{K}_p (y/x)$ ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 1 แต่เมื่อพิจารณาความชันคลื่นเท่ากับ 0.0078 ค่า $\bar{K}_p (y/x)$ มีค่าน้อยกว่า 1 และค่า $\bar{K}_p (y/x)$ ลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการจัดเรียงแบบ V4 ค่า $\bar{K}_p (y/x)$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4-14 การเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(y/x)$ กับระยะตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น



รูปที่ 4-14 การเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(y/x)$ กับระยะตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น (ต่อ)

4) การจัดเรียงเชื่อกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน รูปแบบ V6 รูปที่ 4-14(ง) เมื่อพิจารณาค่า $\bar{K}_p(y/x)$ พบว่า ความชันคลื่นส่งผลต่อค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ตามแนวตั้งฉากกับเชื่อกันคลื่นค่อนข้างชัดเจน ลักษณะการลดลงของค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ในแต่ละระยะตั้งฉากกับเชื่อกันคลื่นพบว่า ไม่ได้ลดตามขนาดของแรงของความชันคลื่น กล่าวคือ ความชันคลื่นปานกลาง (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0031) มีค่า $\bar{K}_p(y/x)$ มากที่สุด รองลงมาคือ ความชันคลื่นมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0047) ถัดมา คือ ความชันคลื่นน้อย (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0013) และความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) และเมื่อพิจารณาความชันคลื่นในช่วงน้อยถึงมาก พบว่า ค่า $\bar{K}_p(y/x)$ มีค่าเกิน 1 ในขณะที่ลักษณะเส้นกราฟค่อนข้างเป็นแนวโน้มเดียวกัน คือค่า $\bar{K}_p(y/x)$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างจากเชื่อกันคลื่นมากขึ้นทุกรูปแบบ แต่เมื่อพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่า ความชันคลื่นเท่ากับ 0.0013 และ 0.0047 พบว่าลักษณะเส้นกราฟค่อนข้างล้อกันไป ตลอดระยะทางตั้งฉาก

5) การจัดเรียงเชื่อกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน รูปแบบ V8 รูปที่ 4-14(จ) เมื่อพิจารณาค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ตามแนวตั้งฉากกับเชื่อกันคลื่น พบว่า ความชันคลื่นส่งผลต่อค่า $\bar{K}_{p(x/y)}$ ตามแนวตั้งฉากกับเชื่อกันคลื่น กล่าวคือ ค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ลดลงตามความชันคลื่นที่เพิ่มขึ้น แต่การลดลงของค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ไม่ได้เป็นไปตามลำดับความแรงของความชันคลื่น โดยความชันคลื่นปานกลาง (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0031) มีค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ตามระยะทางตั้งฉากกับเชื่อกันคลื่นมากที่สุด และมีความชันคลื่นแรงมากที่สุด (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) จะมีค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ต่ำที่สุด ส่วนความชันคลื่นเท่ากับ 0.0013 และ 0.0047 มีค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือ น้อยกว่าความชันคลื่นปานกลาง แต่มากกว่าความชันคลื่นแรงมาก

6) การจัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเท่ากัน (equal spacing) รูปแบบ V10 รูปที่ 4-14(ฉ) เมื่อพิจารณาค่า $\bar{K}_p(y/x)$ พบว่า ความชันคลื่นส่งผลต่อค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ตามแนวตั้งฉากกับเชื่อกันคลื่น กล่าวคือ ค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ลดลงตามความชันคลื่นที่เพิ่มขึ้น แต่การลดลงของค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ไม่ได้เป็นไปตามลำดับความแรงของความชันคลื่น โดยความชันคลื่นปานกลาง (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0031) มีค่า $\bar{K}_p(y/x)$ มากที่สุด และความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) จะมีค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ต่ำสุดตลอดระยะทางตั้งฉากกับเชื่อกันคลื่น ส่วนความชันคลื่นเท่ากับ 0.0013 และ 0.0047 มีลักษณะเส้นกราฟไขว้สลับกันไปมาอยู่ระหว่างความชันคลื่นปานกลางและความชันคลื่นแรงมาก

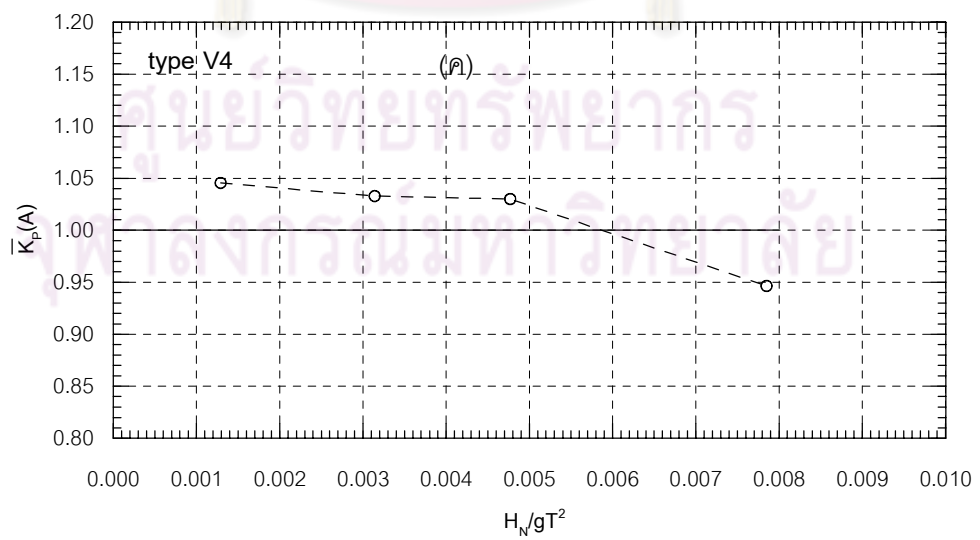
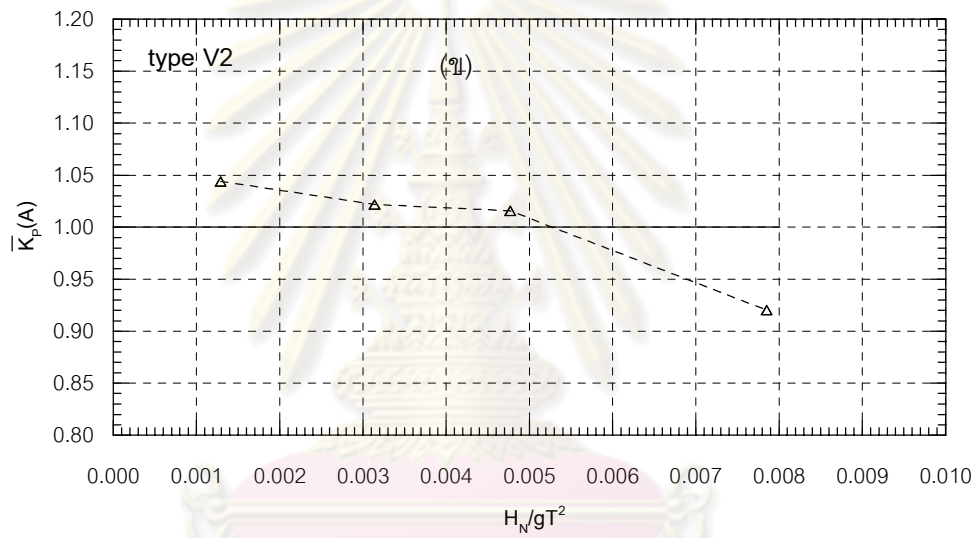
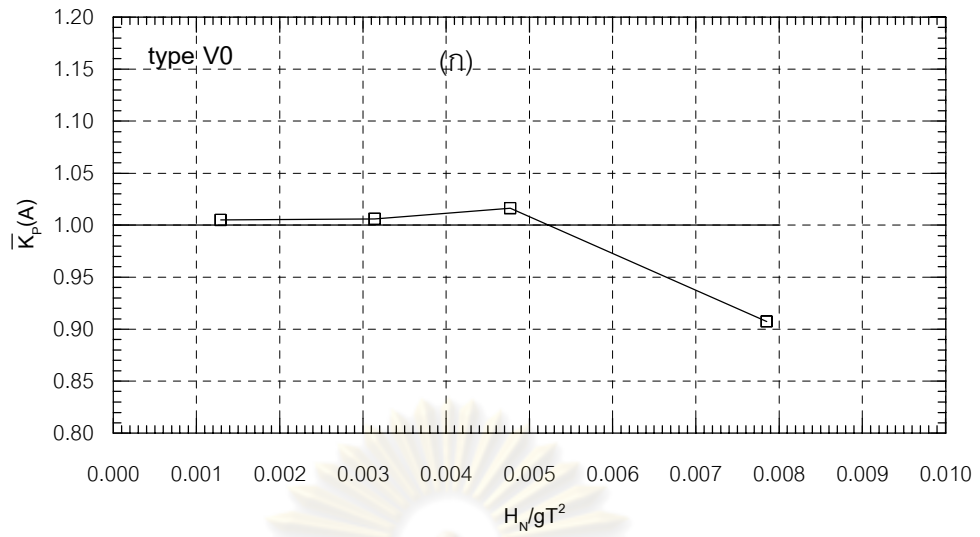
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความชันคลื่นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ตามทิศทางตั้งฉากกับเชื่อกันคลื่น $\bar{K}_p(y/x)$ ในทุกรูปแบบการจัดเรียงเชื่อกันคลื่นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ที่ความชันคลื่นน้อยถึงความชันคลื่นมาก (H_N/gT^2 อยู่ในช่วง 0.0013 ถึง

0.0047) ค่า $\bar{K}_p(y/x)$ มีแนวโน้มมากกว่า 1 จากรูป 4-14 จะเห็นว่าเส้นความชันคลื่อนน้อยถึงมากของทุกรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น มีค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ไขว้สลับกันไปมาตามระยะห่างตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น แสดงให้เห็นว่า ความชันคลื่อนในช่วงน้อยถึงมาก ข้อมูลค่อนข้างมีความผันผวนยากที่จะสรุปได้อย่างชัดเจนว่าผลของความชันคลื่อนส่งผลอย่างไรต่อระยะทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ทราบเพียงแต่ว่าความชันคลื่อนปานกลางจะมีค่า $\bar{K}_p(y/x)$ มากกว่าความชันคลื่อนน้อยและความชันคลื่อนมาก โดยที่ความชันคลื่อนน้อยและความชันคลื่อนมากมีค่า $\bar{K}_p(y/x)$ ใกล้เคียงกันแต่ก็ยังมีมากกว่า 1 ตลอดระยะทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น

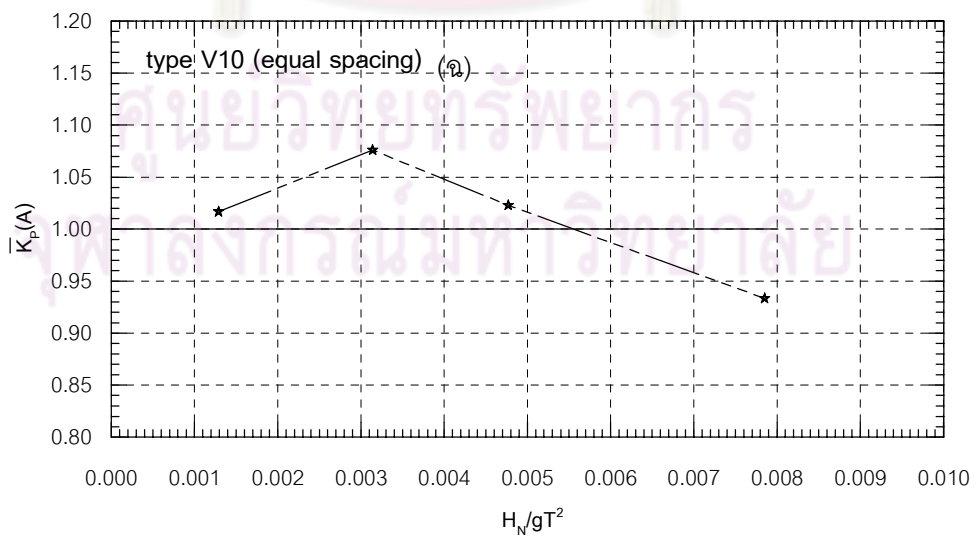
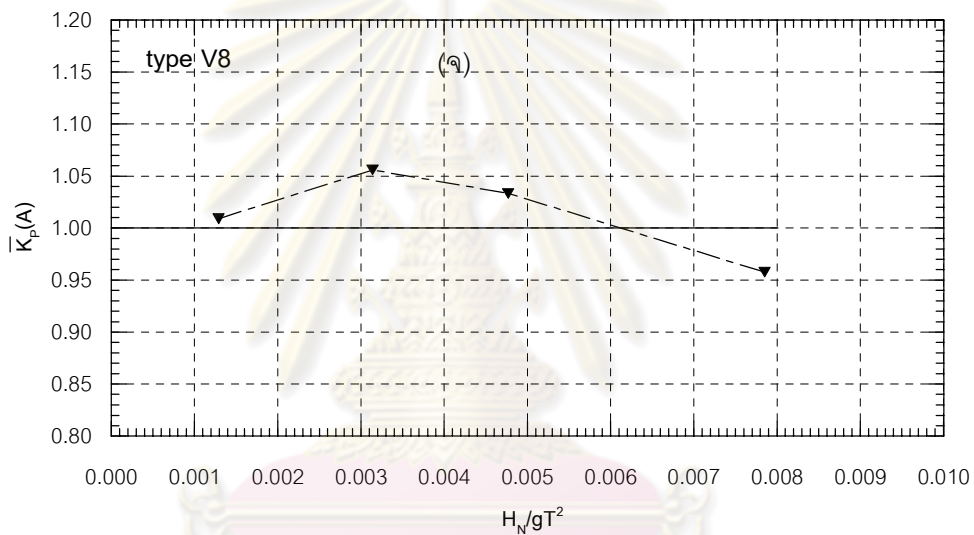
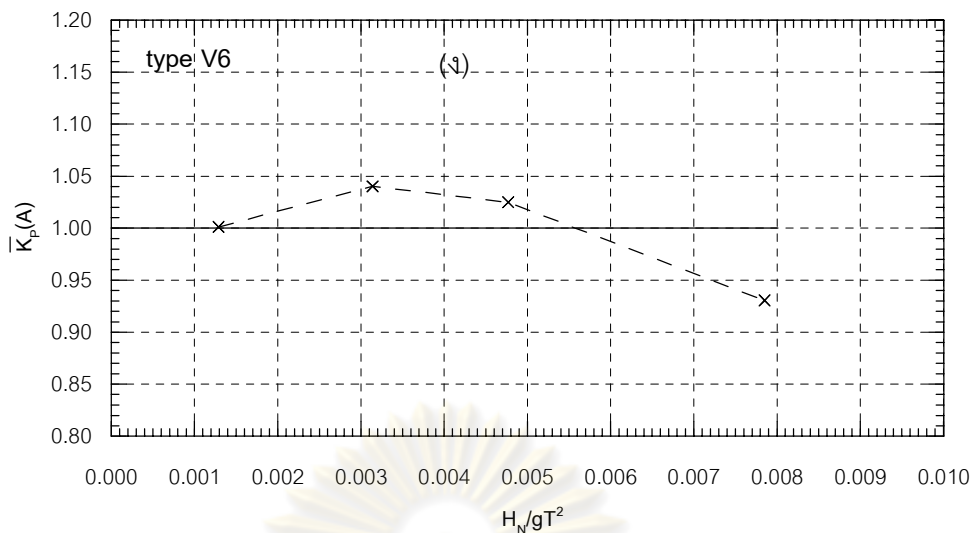
4.4.3 ผลความชันคลื่อนเฉลี่ยทั้งพื้นที่

การศึกษาผลของความชันคลื่อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่อนด้านหลังเขื่อนกันคลื่นโดยรวมหรือเป็นค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่ จะพิจารณาในรูปแบบของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่อนเฉลี่ยทั้งพื้นที่ $\bar{K}_p(A)$ ซึ่งได้จากการหาค่าเฉลี่ยข้อมูลอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่อน ณ ตำแหน่งต่างๆ $\bar{K}_p(y/x)$ ในพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่น จากการทดลองเขื่อนกันคลื่น 2 รูปแบบ 6 กรณีศึกษา และทดลองความชันคลื่อน (H_N/gT^2) 4 ค่า โดยได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4-15

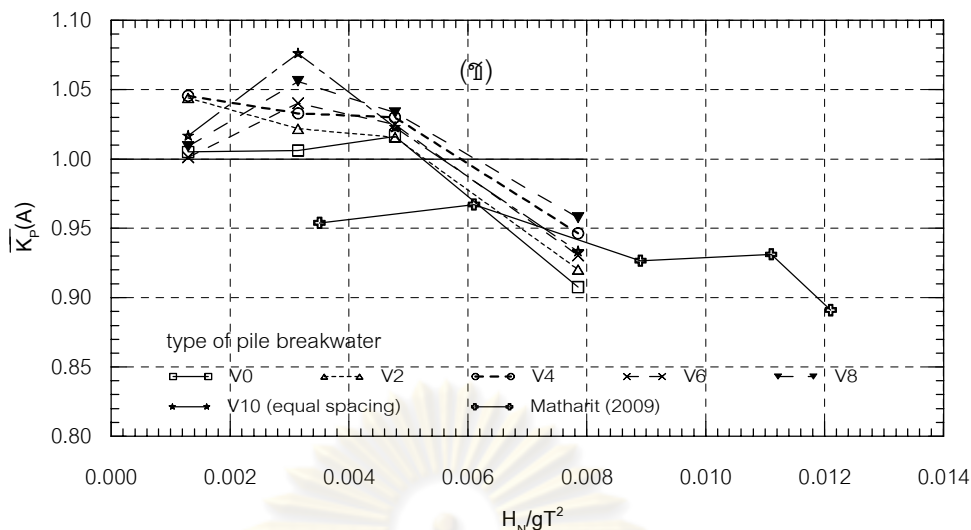
จากรูปที่ 4-15 แสดงค่า $\bar{K}_p(A)$ ทั้งพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นในกรณีศึกษา V0, V2, V4, V6, V8 และ V10 กับค่าความชันคลื่อน (H_N/gT^2) พบว่า การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ช่องว่างเสาไม่เท่ากัน รูปแบบ V0 มีค่า $\bar{K}_{P(A)}$ เท่ากับ 1.005, 1.006, 1.016 และ 0.908 เฉลี่ยเท่ากับ 0.98 รูปแบบ V2 มีค่า $\bar{K}_{P(A)}$ เท่ากับ 1.044, 1.022, 1.016 และ 0.920 เฉลี่ยเท่ากับ 1.00 รูปแบบ V4 มีค่า $\bar{K}_{P(A)}$ เท่ากับ 1.045, 1.033, 1.030 และ 0.946 เฉลี่ยเท่ากับ 1.01 รูปแบบ V6 มีค่า $\bar{K}_p(A)$ เท่ากับ 1.001, 1.040, 1.025 และ 0.930 เฉลี่ยเท่ากับ 1.00 และรูปแบบ V8 มีค่า $\bar{K}_p(A)$ เท่ากับ 1.009, 1.056, 1.033 และ 0.958 เฉลี่ยเท่ากับ 1.01 ส่วนการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ช่องว่างเสาเท่ากัน รูปแบบ V10 มีค่า $\bar{K}_{P(A)}$ เท่ากับ 1.017, 1.076, 1.023 และ 0.933 เฉลี่ยเท่ากับ 1.01 เมื่อความชันคลื่อนเท่ากับ 0.0013, 0.0031, 0.0047, และ 0.0078 ตามลำดับ



รูปที่ 4-15 ผลของความชันคลื่น



รูปที่ 4-15 ผลของความชันคลื่น (ต่อ)



รูปที่ 4-15 ผลของความชันคลื่น (ต่อ)

จากผลการทดลองสามารถแบ่งลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ $\bar{K}_p(A)$ ได้ 2 ลักษณะ คือ 1) ค่า $\bar{K}_p(A)$ มีแนวโน้มลดลงตามความชันคลื่นที่มากขึ้น ได้แก่รูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่มีระยะห่างเสาไม่เท่ากัน รูปแบบ V2 และ V4 และ 2) ค่า $\bar{K}_p(A)$ มีแนวโน้มลดลงตามความชันคลื่นที่มากขึ้น แต่จะมีลักษณะการลดลงของค่า $\bar{K}_p(A)$ พิเศษที่ความชันคลื่นปานกลางมีค่า $\bar{K}_p(A)$ มากกว่าความชันคลื่นน้อยและมากอยู่ประมาณ 1 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ลักษณะกราฟเหมือนมีช่วงของความชันคลื่นที่ทำให้เกิดการวกกลับของค่า $\bar{K}_p(A)$ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของเมฆาฤทธิ์ นามสัย (2552) ที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 4-12(ข) จะเห็นได้ว่าในช่วงของความชันคลื่นตั้งแต่ 0.003 ถึง 0.006 จะเป็นช่วงที่ค่า $\bar{K}_p(A)$ มีแนวโน้มวกกลับเช่นเดียวกัน แต่ค่า $\bar{K}_p(A)$ ต่ำกว่าการทดลองนี้ น่าจะเกิดจากความยาวของเขื่อนกันคลื่นที่ยาวกว่าประมาณ 2 เท่า ซึ่งลักษณะของกราฟเช่นนี้เกิดขึ้นกับการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นรูปแบบ V0, V6, V8 และ V10

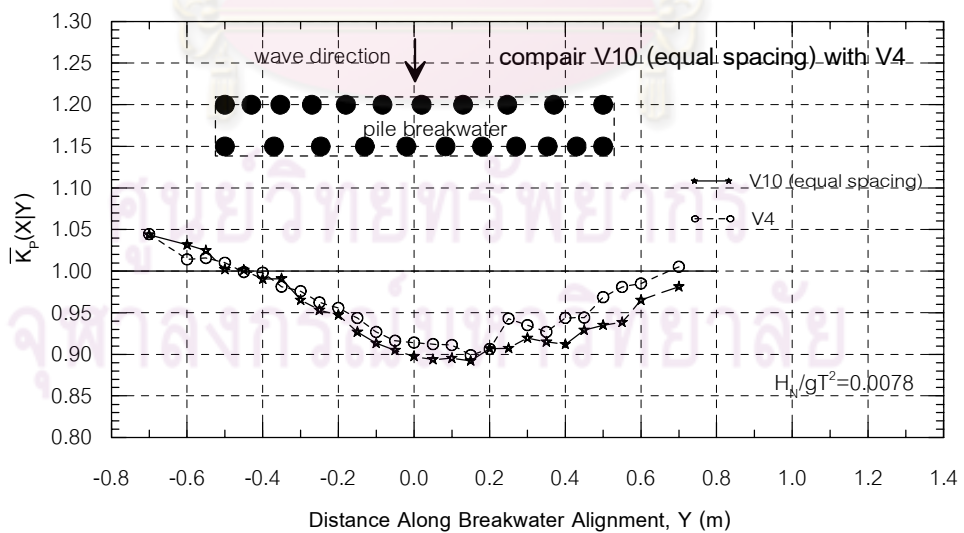
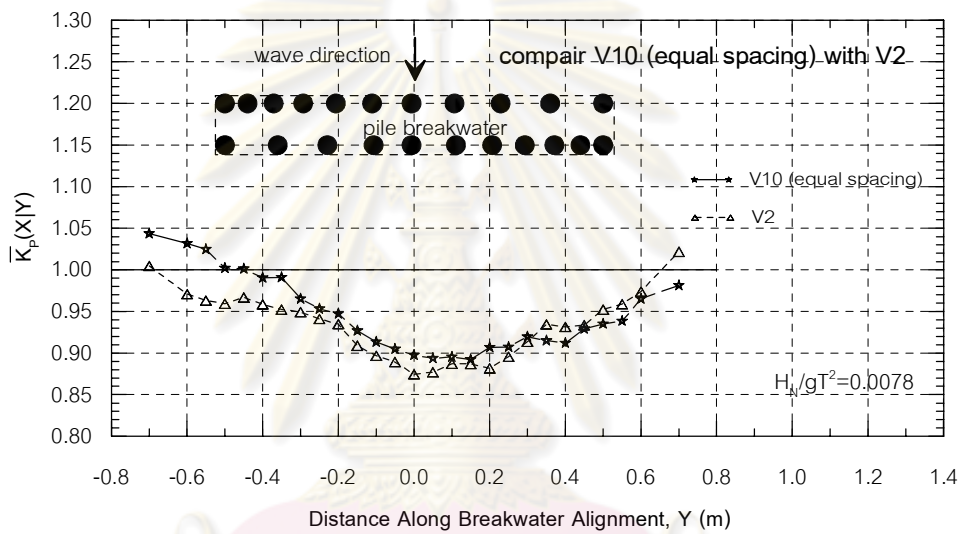
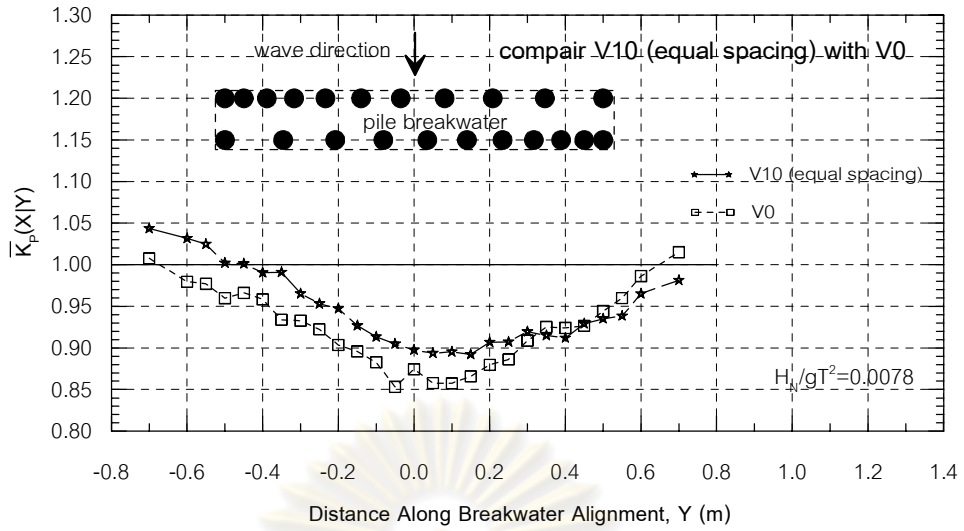
อย่างไรก็ตามเมื่อมองในภาพรวมแล้วสามารถสรุปได้ว่า ค่า $\bar{K}_p(A)$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อความชันคลื่นมากขึ้นทุกรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นทั้งที่จัดระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน และจัดระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน โดยการลดลงของค่า $\bar{K}_p(A)$ มีอัตราเพิ่มขึ้นเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น หรือกล่าวได้ว่า ค่า $\bar{K}_p(A)$ มีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงความชันคลื่นปานกลางถึงความชันคลื่นแรงมาก แต่เมื่อพิจารณาในช่วงความชันคลื่นน้อยถึงปานกลางพบว่า มีอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(A)$ มีลักษณะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ 1 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ จะได้เห็นว่า

ลักษณะของเส้นกราฟมีการเปลี่ยนแปลงความลาดชันค่อนข้างชัดเจนในแต่ละช่วงความชันคลื่น แสดงว่า ความชันคลื่นมีผลต่อค่า $\bar{K}_p(A)$ ในแต่ละรูปแบบการจัดเรียงอย่างมีนัยสำคัญ

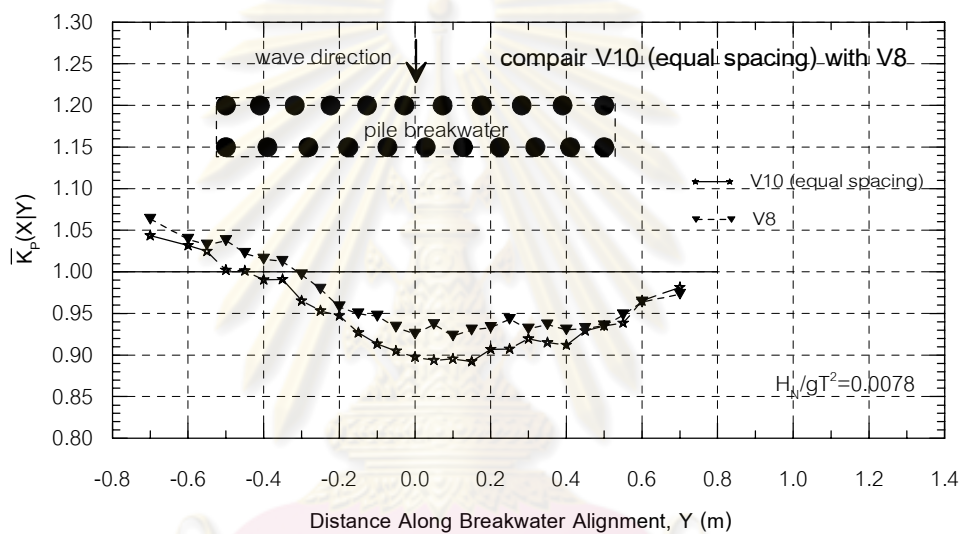
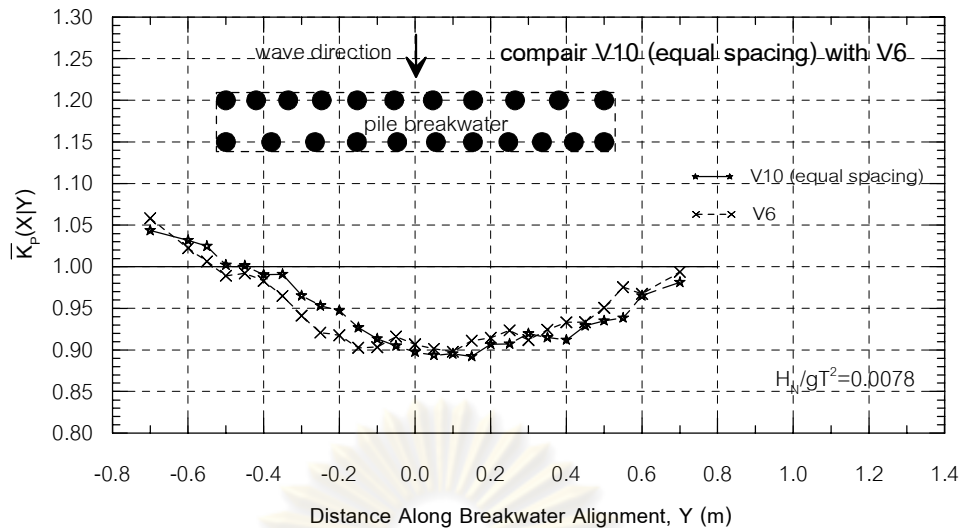
4.5 ผลการเปรียบเทียบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น

เนื่องจากการจัดเรียงเสาเข็มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (K_p) ของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) และระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน 5 รูปแบบ (V0, V2, V4, V6 และ V8) ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาครั้งนี้ โดยศึกษาผลของการจัดเรียงเสาเข็มตามทิศทางขนานเขื่อนกันคลื่น ซึ่งจะพิจารณาจากค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p(x/y)$ ประกอบ ร่วมกับการพิจารณาจากค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ $\bar{K}_p(A)$ ดังแสดงในรูปที่ 4-16 สำหรับความชันคลื่นอื่น แสดงใน ภาคผนวก ง-14 ถึง ง-16

1) ตัวแทนความชันคลื่นน้อย (H_w/gT^2 เท่ากับ 0.0031) (รายละเอียดแสดงใน ภาคผนวก ง) พบว่า รูปแบบการจัดเรียงก่อให้เกิดความแตกต่างตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น ค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ของรูปแบบการจัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน ค่อนข้างที่จะล้นเกินไปกับค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ของรูปแบบการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเท่ากัน เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่ $\bar{K}_p(A)$ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง) ของการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -1.14, 2.69, 2.83, -1.52 และ -0.75 เมื่อเป็นการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากันรูปแบบ V0, V2, V4, V6 และ V8 ตามลำดับ นอกจากนี้มีการพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลพบว่า การจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) จะมีค่าการกระจายตัวเท่ากับ 0.012 ในขณะที่เป็นการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน มีค่าการกระจายตัวเท่ากับ 0.014, 0.014, 0.017, 0.008 และ 0.016 ตามลำดับ



รูปที่ 4-16 การเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(x/y)$ กรณี H_w/gT^2 เท่ากับ 0.0078



รูปที่ 4-16 การเปลี่ยนแปลงค่า $\bar{K}_p(x/y)$ กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078 (ต่อ)

2) ตัวแทนความชันคลื่นปานกลาง (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0031) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง) พบว่า รูปแบบการจัดเรียงก่อให้เกิดความแตกต่างตลอดแนวเช่นกันคลื่นค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ของรูปแบบการจัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากันมีค่า $\bar{K}_p(x/y)$ น้อยกว่า รูปแบบการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเท่ากัน เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่ $\bar{K}_p(A)$ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง) ของการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -6.5, -5.04, -4.02, -3.34 และ -1.87 ตามลำดับของรูปแบบการจัดเรียงเสาเข็มที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน นอกจากนี้ค่าการกระจายตัวของข้อมูลพบว่า การจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) จะมีค่าการกระจายตัวเท่ากับ 0.030 ในขณะที่เป็นการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน มีค่าการกระจายตัวเท่ากับ 0.011, 0.016, 0.020, 0.0012 และ 0.018 ตามลำดับ

3) ตัวแทนความชันคลื่นแรง (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0047) พบว่า รูปแบบการจัดเรียงก่อให้เกิดความแตกต่างตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง) ข้อมูลค่า $\bar{K}_p(x/y)$ ของรูปแบบการจัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากันและระยะห่างระหว่างเสาเท่ากันแตกต่างกันไม่เกิน ± 5 เปอร์เซ็นต์ ในแต่ละจุดตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ในขณะที่การจัดเรียงรูปแบบ V6 และ V8 ถึงค่า $\bar{K}_p(x/y)$ แตกต่างแต่ก็เพิ่มขึ้นและลดลงไปในทิศทางเดียวกัน ตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่ $\bar{K}_p(A)$ ของการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) (รายละเอียดภาคผนวก ง) พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -0.64, -0.70, 0.70, -0.20 และ 1.02 ตามลำดับ ของรูปแบบการจัดเรียงเสาเข็มที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน นอกจากนี้ค่าการกระจายตัวของข้อมูลพบว่า การจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) จะมีค่าการกระจายตัวเท่ากับ 0.014 ในขณะที่เป็นการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน มีค่าการกระจายตัวเท่ากับ 0.026, 0.027, 0.026, 0.0021 และ 0.014 ตามลำดับ

4) ตัวแทนความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078) พบว่า รูปแบบการจัดเรียงก่อให้เกิดความแตกต่างตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 4-16 เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่ $\bar{K}_p(A)$ ของการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) (รายละเอียดภาคผนวก ง) พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -2.76, -1.40, 1.40, -0.31 และ 2.6 ตามลำดับของรูปแบบการจัดเรียงเสาเข็มที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน นอกจากนี้ค่าการกระจายตัวของข้อมูลพบว่า การจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) จะมีค่าการกระจายตัวเท่ากับ 0.036 ในขณะที่เป็นการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน มีค่าการกระจายตัวเท่ากับ 0.036, 0.031, 0.033, 0.0029 และ 0.037 ตามลำดับ

จากข้อมูล พบว่า ผลการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น มีค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในแต่ละตำแหน่งตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p(A)$ แตกต่างกันระหว่างการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากันและไม่เท่ากัน และจากการทดสอบทางสถิติ t-test ดังตารางที่ 4 ของ 2 ชุดข้อมูลค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงในแต่ละตำแหน่งของเขื่อนกันคลื่น ($\bar{K}_p(x,y)$) รวม 624 ข้อมูล/1 ชุด ที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากันกับเท่ากันที่ความชันคลื่นต่างๆ พบว่า ที่ความเชื่อมั่น 95% รูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน V4 และ V6 เท่านั้นที่มีค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน

ตารางที่ 4-4 ผลวิเคราะห์ทางสถิติ t-test เปรียบเทียบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากันกับการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเท่ากัน (V10)

รูปแบบ/ค่าความเชื่อมั่น	ความชันคลื่นน้อย ($H_N/gT^2 = 0.0013$)		ความชันคลื่นปานกลาง ($H_N/gT^2 = 0.0031$)		ความชันคลื่นแรง ($H_N/gT^2 = 0.0047$)		ความชันคลื่นแรงมาก ($H_N/gT^2 = 0.0078$)	
	90%	95%	90%	95%	90%	95%	90%	95%
V0	0	1	0	0	0	0	1	1
V2	0	0	0	0	0	1	1	1
V4	0	1	0	0	0	1	1	1
V6	0	1	0	0	1	1	1	1
V8	1	0	0	0	0	0	1	1

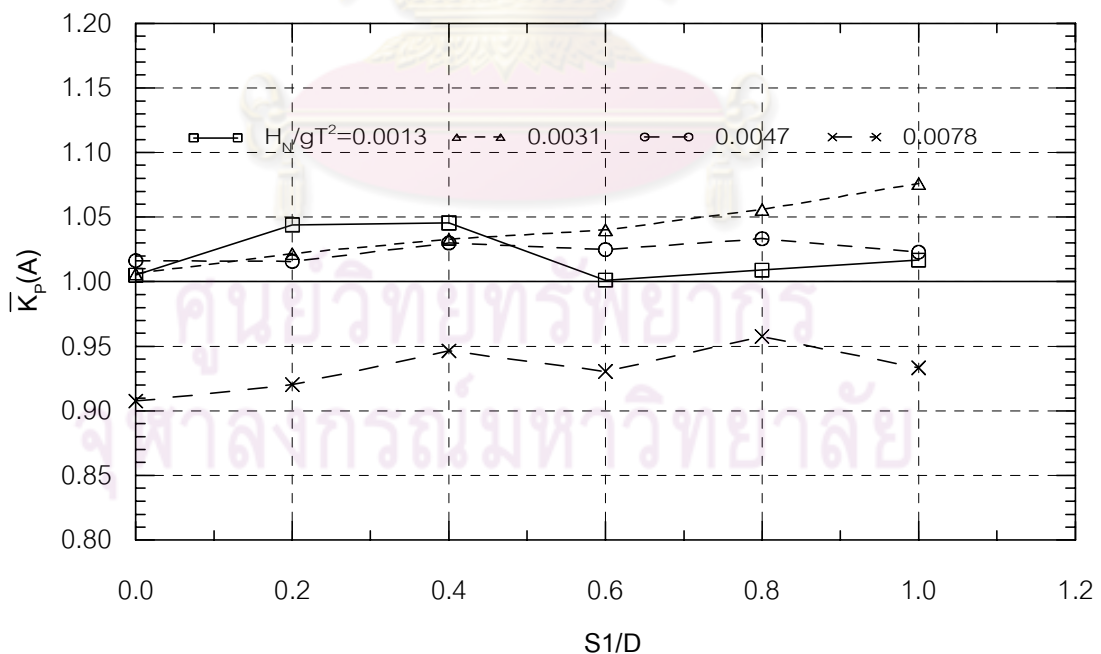
* 0 คือ การตั้งสมมติฐานให้ยอมรับค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล ค่า $K_p(X/Y)$ 2 ชุด แตกต่างกัน

1 คือ การตั้งสมมติฐานให้ยอมรับค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล ค่า $K_p(X/Y)$ 2 ชุด ไม่แตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่ความเชื่อมั่น 90% การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากันและไม่เท่ากัน นั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นความชันคลื่นแรงมากเท่านั้นที่ผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ลักษณะการแตกต่างกันของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยในพื้นที่เฉลี่ยด้านหลังเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p(A)$ ในแต่ละความชันคลื่น ดังรูปที่ 4-17 พบว่า การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นมีค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่น $\bar{K}_p(A)$ เพิ่มขึ้นในลักษณะคงที่คล้ายจะเป็นเส้นตรง เมื่อเป็นความชันคลื่นปานกลางถึงแรง โดยมีลักษณะเพิ่มขึ้น ตามรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มตั้งแต่ 1 ต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (S_1/D) เพิ่มขึ้น จาก S_1/D เท่ากับ 0 จนกระทั่ง S_1/D เท่ากับ 1 ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าลักษณะของข้อมูลมีเส้นความชันที่ชันนานกัน แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการจัดเรียงมีความสัมพันธ์คล้ายกัน ในขณะที่ความชันคลื่นน้อย พบว่า ค่า $\bar{K}_p(A)$ ในแต่ละรูปแบบไม่มีแนวโน้มในชุดการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น เพิ่มขึ้นมากบ้างน้อยบ้าง ส่วนที่ความชันคลื่นแรงมาก นั้น ก็จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับ ความชันคลื่นน้อย กล่าวคือ ในชุดการจัดเรียง มีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะสลับฟันปลา แต่ก็มีแนวโน้มไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้นตามรูปแบบการจัดเรียง



รูปที่ 4-17 ผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น

ตาราง 4-5 สรุปผลการทดลอง

ความชันคลื่น/แบบจำลอง	V0	V2	V4	V6	V8	V10
Wave height						
0.0013	เพิ่มขึ้นเล็กน้อย	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้นเล็กน้อย	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น
0.0031	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น
0.0047	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น
0.0078	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง
Mean water level						
0.0013	เพิ่มขึ้น (0.09%)	เพิ่มขึ้น (0.11%)	เพิ่มขึ้น (0.06%)	ลดลง (-0.09%)	ลดลง (-0.11%)	ลดลง (-0.11%)
0.0031	ลดลง (-0.69%)	ลดลง (-0.06%)	ลดลง (-0.88%)	เพิ่มขึ้น (0.26%)	เพิ่มขึ้น (0.09%)	ลดลง (-0.17%)
0.0047	ลดลง (-0.26%)	ลดลง (-0.29%)	ลดลง (-0.29%)	ลดลง (-0.20%)	ลดลง (-0.06%)	ลดลง (-0.14%)
0.0078	ลดลง (-0.06%)	ลดลง (-0.09%)	ลดลง (-0.26%)	ลดลง (-0.03%)	ลดลง (-0.14%)	เพิ่มขึ้น (0.11%)
Maximum orbital velocity (L1, 0.5d)						
0.0013	ลดลง	ลดลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น	ลดลง	ลดลง
0.0031	ลดลง	ลดลง	ลดลง	เพิ่มขึ้น	ลดลง	ลดลง
0.0078	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง
Maximum orbital velocity (L2, 0.64d)						
0.0013	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง
0.0031	ลดลง	ลดลง	เพิ่มขึ้น	ลดลง	ลดลง	ลดลง
0.0078	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง
Maximum orbital velocity (L3, 0.81d)						
0.0013	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง
0.0031	ลดลง	ลดลง	ลดลง	เพิ่มขึ้น	ลดลง	ลดลง
0.0078	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง	ลดลง

4.6 การประมาณค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น

การคาดคะเนค่าการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น $\bar{K}_p(A)$ โดยประมาณ สามารถพิจารณาจากตัวแปรความชันคลื่นและรูปแบบของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น การทราบค่าความสูงคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น สามารถนำไปใช้ในการประมาณหาความสูงของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านเขื่อนกันคลื่น หรือใช้ประมาณการออกแบบความสูงเขื่อนกันคลื่นได้ ซึ่งสามารถแยกพิจารณาตามความสัมพันธ์ของค่าการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับตัวแปรต่างๆ ตามสมการความสัมพันธ์ (4-2) โดยค่าการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรต่างๆ ดังนี้

$$\bar{K}_{P(A)} = f \left[\frac{H_N}{gT^2}, \frac{S_1}{D} \right] \quad (4-3)$$

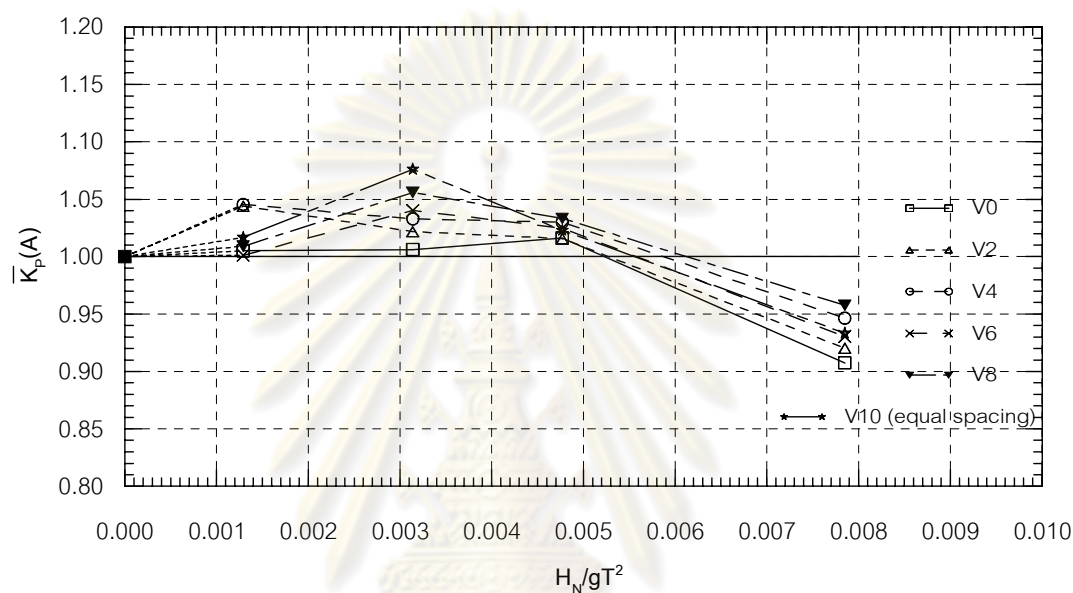
ดังนั้นจากความสัมพันธ์ 4-3 สามารถพิจารณาเพื่อประมาณ หรือคาดคะเนค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น $\bar{K}_p(A)$ ตามรูปความสัมพันธ์ที่แสดงถึงแนวโน้มของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการศึกษานี้ได้ดังนี้

4.6.1 การประมาณค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเนื่องจากความชันคลื่น

ค่าความชันคลื่น (H_N/gT^2) ในทางวิศวกรรมชายฝั่ง คือ ค่าที่แสดงความรุนแรงหรือความแรงของคลื่น จากการศึกษที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น $\bar{K}_p(A)$ กับความชันคลื่น แปรผกผันกัน โดยค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นมีแนวโน้มลดลง เมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น แต่สำหรับการทดลองครั้งนี้จะเห็นว่า ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น $\bar{K}_p(A)$ กับความชันคลื่น มีลักษณะแตกต่างจากการศึกษาที่ผ่านมา

ในการวิเคราะห์ถึง การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น เนื่องจากความชันคลื่น จะเห็นว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้น เป็นข้อมูลค่อนข้างแคบ กล่าวคือ ทำการทดลองแค่ 4 ความชันคลื่นเท่านั้น อยู่ในช่วง 0.0013-0.0078 จำนวนของข้อมูลที่ทำกรทดลองค่อนข้างน้อย ดังรูปที่ 4-18 แต่ก็ครอบคลุมในช่วงความชันคลื่นน้อย จนถึง ความชันคลื่นแรงมาก จากข้อมูลดังกล่าวไม่ทำให้เห็นแนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ชัดเจน ซึ่งค่าความชันคลื่นส่วนใหญ่ในประเทศไทยก็อยู่ในช่วงความชันคลื่นน้อย แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพของเขื่อนกันคลื่น (physical limit) ของเขื่อนกันคลื่น จะเห็นว่า เมื่อความชันคลื่นน้อยมากๆ เข้าใกล้ 0 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ก็คือ ความสูงคลื่นน้อยมากๆ เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น จนทำให้ความชันคลื่นมีค่าเข้าใกล้

0 การเคลื่อนที่ของคลื่นผ่านเขื่อนกันคลื่น จะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงที่ช้ามาก จนกระทั่ง เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก นั้นหมายความว่าที่ความชันคลื่นเข้าใกล้ 0 มีอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเข้าใกล้ 1 ดังนั้น การพิจารณาผลของความชันคลื่น ในกรณีความชันคลื่นน้อยมากๆ เข้าใกล้ 0 สามารถนำข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น เป็น 1 มาพิจารณาร่วม เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น



รูปที่ 4-18 การพิจารณาผลความชันคลื่นกับ \bar{K}_p (A)

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (\bar{K}_p (A)) กับ ผลของความชันคลื่น ที่การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปแบบต่างๆ จะเห็นว่า ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกพิจารณาที่ความชันคลื่น เข้าใกล้ 0 จนกระทั่ง ถึงความชันคลื่นปานกลาง ($H_N/gT^2 = 0 - 0.0031$) พบว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นส่วนใหญ่ของรูปแบบการจัดเรียง มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความชันคลื่นที่มากขึ้น ยกเว้นรูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่มีระยะห่างเสาไม่เท่ากันแบบจำลอง V2 และ V4 ที่ความชันคลื่นในช่วงน้อย ถึง ปานกลาง ($H_N/gT^2 = 0.0013 - 0.0031$) ที่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ลดลงเล็กน้อยประมาณ 1-2 % ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในช่วงแรกนั้น ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานที่คาดไว้ตั้งแต่แรก ส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นในช่วงที่สอง พิจารณาจากความชันคลื่นปานกลาง ถึงความชันคลื่นแรงมาก ($H_N/gT^2 = 0.0047 - 0.0078$) พบว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นทุกรูปแบบการจัดเรียง มี

แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อความชันคลื่นมากขึ้น ตามสมมุติฐานที่คาดเอาไว้ตั้งแต่เบื้องต้น โดยลักษณะการลดลงของความสูงคลื่น มีอัตราเพิ่มขึ้น เมื่อความชันคลื่นเพิ่มมากขึ้น

จากข้อมูลดังที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ที่ความชันคลื่นน้อยมากๆ จนกระทั่งความชันคลื่นปานกลาง มีการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเนื่องจากผลของความชันคลื่น ในลักษณะแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น โดยลักษณะการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น มีค่าเกิน 1 ซึ่งหมายความว่า ที่ความชันคลื่นน้อยๆ นั้น การมีเขื่อนกันคลื่นไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นลดลงไปเลย ในทางตรงข้ามกลับทำให้ความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตอนไม่มีเขื่อนกันคลื่นด้วย จากนั้น เมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงความชันคลื่นปานกลางจนกระทั่งถึงความชันคลื่นมาก การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นมีแนวโน้มลดลง เมื่อความชันคลื่นมากขึ้น

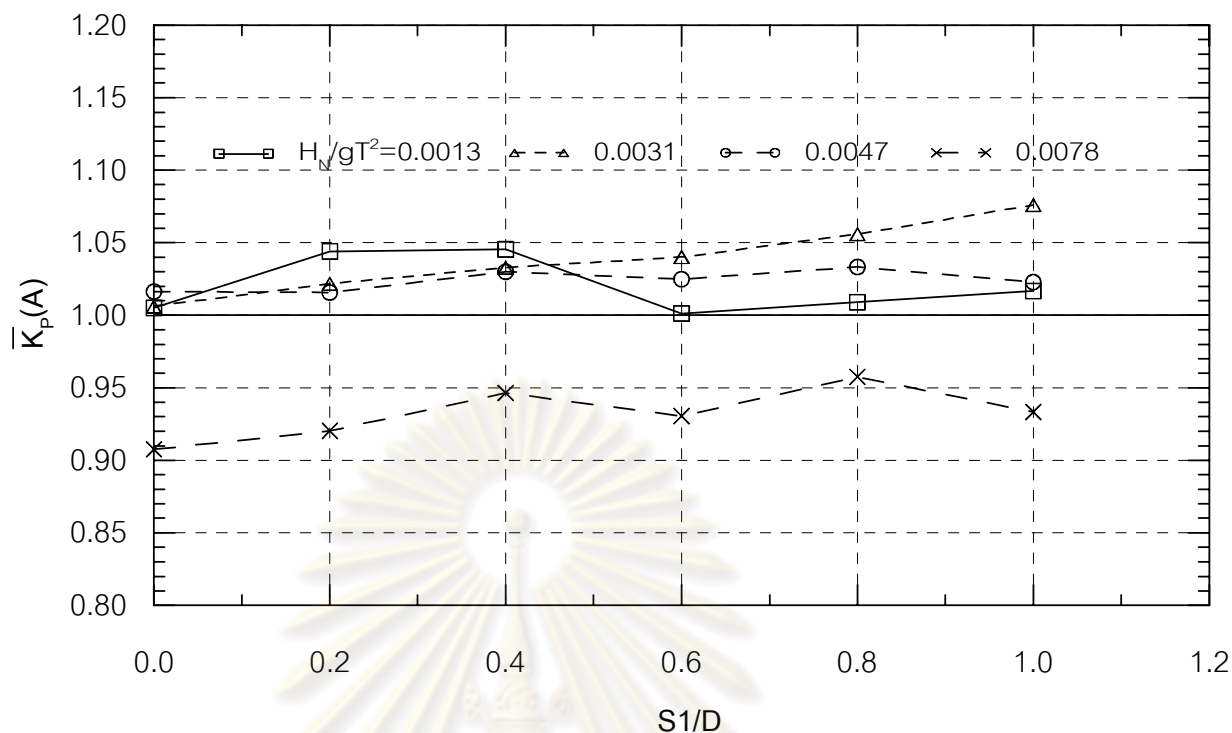
เมื่อมองภาพรวม ดังแสดงในรูปที่ 4-18 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเนื่องจากผลของความชันคลื่น มีช่วงวกกลับ ของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ในช่วงความชันคลื่นปานกลาง ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นจะเพิ่มขึ้นในช่วงความชันคลื่นน้อย และการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นจะลดลงในช่วงความชันคลื่นมาก นั้นแสดงให้เห็นว่า สมมุติฐานเบื้องต้นที่คาดไว้ว่า การมีเขื่อนกันคลื่นจะทำให้ความสูงคลื่นลดลงนั้น เป็นการคาดคะเนที่คาดเคลื่อน อย่างไรก็ตาม ค่าการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้นในช่วงความชันคลื่นน้อย น่าจะเป็นสาเหตุมาจาก ช่วงของความชันคลื่นที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งความชันคลื่นที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้เกิดการแยกตัวของการไหล (separate) ทำให้ผลของแรงหน่วงหรือแรงยึด (drag force) ซึ่งเป็นผลรวมระหว่าง ความเค้นเฉือนที่ผิว และ แรงหน่วงจากค่าความดันแตกต่างกัน โดยผลของแรงหน่วง ทำให้เกิดการต้านทานการไหล มากน้อยแตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงของความสูงคลื่น จึงมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละความชันคลื่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผลของความชันคลื่น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นอย่างมีนัยสำคัญ

4.6.2 การประมาณค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นจากรูปแบบการจัดเรียง

จากการศึกษาการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม ที่จัดเรียงระยะห่างของเสาเข็ม ทั้งเท่ากันและไม่เท่ากันนั้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะความสูงคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นที่แตกต่างกัน แม้ว่าเป็นความชันคลื่นเดียวกันก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ 4-19

กรณีความชันคลื่นน้อย ($H_N/gT^2 = 0.0013$) จะเห็นว่ารูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มต้นที่ 1 ต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (S_1/D) เพิ่มขึ้น จาก S_1/D เท่ากับ 0 จนกระทั่ง S_1/D เท่ากับ 0.4 ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น มีค่าเพิ่มขึ้นตาม S_1/D โดยจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนว่า ที่เส้นกราฟ S_1/D เท่ากับ 0 หรือ ที่ระยะห่างระหว่างต้นของเสาเข็มต้นที่ 1 ซิดกัน (แบบจำลอง V0) มีความลาดชันมากกว่า ช่วงของเส้นกราฟ S_1/D เท่ากับ 0.2 ถึง 0.4 (แบบจำลอง V2 และ V4) แสดงให้เห็นว่า การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบจำลอง V0 ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น ในช่วง S_1/D เท่ากับ 0.2 ถึง 0.4 และ เมื่อพิจารณาเส้นกราฟ S_1/D ในช่วง 0.4 ถึง 0.6 พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะชันลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการจัดเรียงแบบเสาเข็ม S_1/D ในช่วง 0.4 ถึง 0.6 ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นแตกต่าง ในลักษณะอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ค่อยๆ ลดลง จากนั้น เมื่อ S_1/D เพิ่มขึ้น ในช่วง 0.6 จนกระทั่ง S_1/D เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างเสาเท่ากัน (แบบจำลอง V10) จากรูปที่ 4-19 จะเห็นว่า ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่า รูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น 0.6 ถึง 1 มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

กรณีความชันคลื่นปานกลาง และ ความชันคลื่นมาก ($H_N/gT^2 = 0.0031$ ถึง 0.0047) จากรูปที่ 4-19 จะเห็นว่า ที่ความชันคลื่นปานกลางและมาก มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น เป็นแนวโน้มเดียวกัน กล่าวคือ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ค่อยๆ เพิ่มขึ้น ตามลำดับ ของรูปแบบจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มต้นที่ 1 ต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (S_1/D) กล่าวอีกนัยหนึ่ง ก็คือ ความสูงคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตาม S_1/D ที่เพิ่มขึ้น ตั้งแต่ แบบจำลอง V0 จนกระทั่งถึง แบบจำลอง V10 ตามลำดับ ซึ่งให้เห็นว่า รูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน ลดความสูงคลื่น ได้มากกว่า รูปแบบการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเท่ากัน จากเส้นกราฟของทั้ง 2 ความชันคลื่น จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น มีลักษณะแนวโน้มเป็นเส้นตรง (approximate linear) ที่ค่อนข้างจะขนานกันไป ซึ่งจะเห็นว่า เส้นกราฟมีความลาดชันน้อย



รูปที่ 4-19 การพิจารณาผลของ(S_1/D) กับ \bar{K}_p (A)

แสดงว่า รูปแบบการจัดเรียงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นค่อยๆ เพิ่มขึ้นที่ละน้อยในความชันคลื่นเดียวกัน และผลของความชันคลื่น จะแสดงให้เห็น โดยช่องว่างระหว่างเส้นขนาน ห่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยที่ เส้นกราฟของความชันคลื่นมาก อยู่ต่ำกว่า เส้นกราฟความชันคลื่นปานกลาง แสดงให้เห็นว่า ความชันคลื่นมาก ลดความสูงคลื่นได้มากกว่า ความชันคลื่นน้อย ทุกรูปแบบการจัดเรียง แต่ทั้งนี้ รูปแบบการจัดเรียง S_1/D เท่ากับ 0 จนกระทั่งถึง 0.4 หรือ แบบจำลอง V0 ถึง V4 มีลักษณะของเส้นกราฟค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่เมื่อ S_1/D มากกว่า 0.4 หรือกล่าวได้ว่า เมื่อเป็นรูปแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบจำลอง V6 ถึง V10 ช่องว่างระหว่างเส้นกราฟความชันคลื่นมาก ห่างออก จากเส้นกราฟความชันคลื่นปานกลาง มากกว่าการจัดเรียงในช่วงแรก แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการจัดเรียงแบบจำลอง V6 ถึง V10 ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงของคลื่นมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับความชันคลื่นปานกลาง

กรณีความชันคลื่นแรงมาก ($H_n/gT_2 = 0.0078$) จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ของทุกรูปแบบการจัดเรียง มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งแตกต่างจากความชันคลื่น ในช่วงน้อยถึงความชันคลื่นมากที่กล่าวมาในข้างต้น นั้นแสดงว่า ที่ความชัน

คลื่นแรงมาก เชื่อมกันคลื่นสามารถ ลดความสูงคลื่น ด้านหลังเชื่อมกันคลื่นได้ โดยการลดลงของความสูงคลื่น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะห่างระหว่างเสาเข็มต้นที่ 1 ต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (S_p/D) เพิ่มขึ้น โดยลักษณะการเพิ่มขึ้น ของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ตามรูปแบบการจัดเรียง ไม่ได้เพิ่มเป็นลักษณะเส้นตรงทีเดียว กล่าวคือ ที่รูปแบบการจัดเรียงที่ระยะห่าง (S_p/D) เท่ากับ 0 จนถึง 0.4 หรือ แบบจำลอง V0 ถึง V4 ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น มีลักษณะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง ตามลำดับของรูปแบบการจัดเรียง จากนั้นเมื่อ ค่า S_p/D เพิ่มขึ้นจาก 0.4 ถึง 1 จะเห็นได้ว่า ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น มีลักษณะการเปลี่ยนแปลง ขึ้น-ลง สลับฟันปลา ตามค่า S_p/D ที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงรูปแบบการจัดเรียง S_p/D เท่ากับ 1หรือกล่าวได้ว่า แบบจำลองเชื่อมกันคลื่น V4 จนถึง V10 ซึ่งเป็นการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเท่ากัน มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ขึ้น-ลง สลับฟันปลา แต่ก็ยังเห็นแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามลำดับของรูปแบบการจัดเรียงที่เพิ่มขึ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (equal spacing) และระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน (un-equal spacing) รวมถึงขนาดของคลื่น ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น อันประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น การเปลี่ยนแปลงความเร็วอนุภาคน้ำภายใต้วงโคจรคลื่น (orbital velocity) โดยอาศัยแบบจำลองทางกายภาพแองคลื่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความกว้าง 10 ม. ยาว 20 ม. ลึก 0.70 ม. ที่ตั้งอยู่ ณ ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองได้จัดเรียงเขื่อนกันคลื่น 2 รูปแบบ แบ่งเป็น 6 กรณีศึกษา ประกอบด้วย รูปแบบเขื่อนกันคลื่นที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน 1 กรณีศึกษา และรูปแบบเขื่อนกันคลื่นที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน (unequally spaced) 5 กรณีศึกษา และเปลี่ยนแปลงขนาดความชันคลื่น (H_w/gT^2) 4 ค่า อยู่ในช่วง 0.001 ถึง 0.008 โดยความชันคลื่นที่ใช้เป็นตัวแทนความชันคลื่นน้อย 1 ค่า, ความชันคลื่นปานกลาง 1 ค่า, และตัวแทนความชันคลื่นมาก 2 ค่า รวมการทดลองทั้งสิ้น 24 การทดลอง

ในการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่นอันเนื่องมาจากผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม แบ่งเป็นประเด็นการวิเคราะห์ได้ 3 ประเด็นหลักๆ คือ การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น การเปลี่ยนแปลงความเร็วอนุภาคน้ำ และการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (MWL) หลังเขื่อนกันคลื่น จากประเด็นดังกล่าวเป็นการวิเคราะห์ผลภายใต้การใช้ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการทดลอง ร่วมกับการสังเกตพฤติกรรมคลื่นที่เคลื่อนผ่านเขื่อนกันคลื่น มาประกอบการพิจารณาด้วย ซึ่งสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงความเร็วอนุภาคน้ำด้านหลังเขื่อนกันคลื่น

การเปลี่ยนแปลงความเร็วอนุภาคน้ำด้านหลังเขื่อนกันคลื่นเกิดขึ้น เนื่องจากเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มวางขวางหน้าตัดการเคลื่อนที่ของคลื่นตลอดหน้าตัดตั้งแต่ท้องน้ำถึงผิวน้ำ ทำให้การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำถูกรบกวนด้วยการบีบหน้าตัดการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำภายใต้วงโคจรคลื่น หรือกล่าวได้ว่าถูกจำกัดพื้นที่ของวงโคจรในลักษณะที่ถูกบีบจากการจัดเรียงของเสาเข็ม ทำ

ให้อนุภาคน้ำหลังเชื่อมกันคลื่นแตกต่างจากกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น เนื่องจากบริเวณที่เป็นช่องว่างระหว่างเสาเข็มที่น้ำสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ จะมีการสูญเสียพลังงานส่วนนี้เนื่องจากการต้านทานการไหล หรือกล่าวได้ว่า มีการสูญเสียพลังงานเนื่องจาก แรงเค้นเฉือนที่ผิวสัมผัส และความแตกต่างระหว่างความดันด้านหน้าของเสาเข็มและด้านหลังของเสาเข็มแต่ละต้น โดยที่ความดันด้านหลังของเสาเข็มที่น้อยกว่า ทำให้เกิดน้ำวนบริเวณอับกระแสน้ำจากการบดบังของเสาเข็ม (lee wake vortices) จึงทำให้สภาวะการไหลเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยลักษณะการเปลี่ยนจะแตกต่างกันในแต่ละระดับความลึกน้ำ

พิจารณา ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยภายใต้วงโคจรคลื่น ตามทิศทางคลื่น กรณีมีและไม่มีเชื่อมกันคลื่น พบว่า ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ลดลง เมื่อมีเชื่อมกันคลื่นตลอดความลึกน้ำ โดยที่ความชันคลื่นแรงมาก ลดความเร็วของอนุภาคน้ำได้มากกว่า หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ที่ความชันคลื่นแรงจะลดพลังงานจลน์ของคลื่น ได้มากกว่า ความชันคลื่นน้อย เป็นเพราะว่า ที่ความชันคลื่นน้อยนั้น มีความเร็วของอนุภาคน้ำน้อย เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านเชื่อมกันคลื่น จะเกิดการสูญเสียพลังงานจาก เนื่องจากความเค้นเฉือนที่ผิวของเชื่อมกันคลื่น หรือเกิดการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากความเสียดทานของผิวเสาเข็มเท่านั้น ในขณะที่ความชันคลื่นมาก จะเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจาก ความเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มและ เกิดการปั่นป่วนด้านหลังของเสาเข็ม เนื่องจากผลต่างของความดันด้านหน้าและด้านหลังเชื่อมกันคลื่น จึงทำให้เกิดการไหลแบบแยกตัว (separate) ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานมากกว่าที่ความชันคลื่นน้อย

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการลดลงของความเร็วอนุภาคน้ำในแต่ละระดับ พบว่า ความชันคลื่นมาก ความเร็วอนุภาคน้ำลดลง ในแนวโน้มน้อยลง เมื่อความลึกน้ำเพิ่มมากขึ้น หรือกล่าวได้ว่า ความเร็วอนุภาคน้ำลดลงมากที่สุดบริเวณผิวน้ำ และลดน้อยที่สุดบริเวณกึ่งกลางท้องน้ำ ในขณะที่ความชันคลื่นน้อยและปานกลาง ความเร็วอนุภาคน้ำลดลงค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกันตลอดความลึกน้ำ ซึ่งเป็นเพราะ ที่ความชันคลื่นน้อยนั้น ความเร็วอนุภาคน้ำในแต่ละระดับมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ต่างจากความชันคลื่นแรงมาก เพราะในการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ ภายใต้วงโคจรคลื่น (orbital velocity) ในแต่ละระดับ จะมีความเร็วของอนุภาคน้ำที่แตกต่างกัน (displacement of water orbital velocity) โดยบริเวณที่ใกล้ผิวน้ำ จะมีความเร็วอนุภาคน้ำมากที่สุด และจะค่อยๆ น้อยลงไปตามความลึกน้ำที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในแต่ละระดับจึงมีการลดลงของความเร็วของอนุภาคน้ำที่แตกต่างกัน ในเชิงการเปรียบเทียบ จึงทำให้ที่ความชันคลื่นมาก ลดความเร็วอนุภาคน้ำในแต่ละระดับ ได้มากกว่าความชันคลื่นน้อย

พิจารณารูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น พบว่า รูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยภายใต้วงโคจรคลื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีผลต่อการกระจายตัวของความเร็วอนุภาคน้ำด้านหลังเขื่อนกันคลื่น ในเชิงการเปรียบเทียบ แตกต่างกันอย่างชัดเจน ที่ความชันคลื่นแรงมาก กล่าวคือ รูปแบบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างของเสาเข็มไม่เท่ากัน พบว่า ทางฝั่งซ้ายของเขื่อนกันคลื่น มีแนวโน้มลดความเร็วอนุภาคน้ำ ได้มากกว่าฝั่งขวา เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของเขื่อนกันคลื่น จะเห็นว่า ลักษณะการจัดเรียงช่องว่างของเสาเข็มทางฝั่งซ้ายชิดกว่าฝั่งขวา ทำให้เกิดบริเวณจุดอับกระแสเป็นบริเวณวงกว้างกว่าทางฝั่งขวา ส่งผลให้บริเวณที่ลดความเร็วอนุภาคน้ำได้มาก จึง เป็นบริเวณค่อนข้างไปทางฝั่งซ้ายของเขื่อนกันคลื่น ในขณะที่การจัดเรียงระยะห่างของเสาเข็มเท่ากัน จะมีลักษณะการกระจายตัวของความเร็วอนุภาคน้ำที่ค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดแนวเขื่อนกันคลื่น โดยบริเวณที่ลดความเร็วอนุภาคน้ำได้มากที่สุด คือบริเวณกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่น เนื่องจากขอบเขื่อนกันคลื่น จะมีอิทธิพลการกระจายตัว (diffraction) ของคลื่นเข้ามายังพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่น ซึ่งใกล้เคียงกันทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของเขื่อนกันคลื่น จึงทำให้ความเร็วอนุภาคน้ำบริเวณขอบด้านหลังเขื่อนกันคลื่นลดความเร็วอนุภาคน้ำได้น้อยกว่าบริเวณตรงกลางเขื่อนกันคลื่น

5.1.2 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหลังเขื่อนกันคลื่น

การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหลังเขื่อนกันคลื่น (MWL) พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าระดับน้ำกรณีมี กับไม่มีเขื่อนกันคลื่น จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งพบว่า ส่วนใหญ่ระดับน้ำมีแนวโน้มลดลง โดยระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อยู่ในช่วง -0.03 ถึง 1% ถึงแม้ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงในระดับหน่วยมิลลิเมตร แต่เมื่อพิจารณาในเชิงเปรียบเทียบพลังงานศักย์ตลอดความลึกน้ำ ซึ่งเป็นผลรวมของพลังงานศักย์ที่เกิดจากมวลน้ำนิ่ง กับ พลังงานศักย์ที่เกิดจากลูกคลื่น กลับพบว่า การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำแม้ว่าลดน้อยกว่า 1 % เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ที่เพิ่มเนื่องจากมีเขื่อน 3% ยังส่งผลให้ พลังงานศักย์ตลอดความลึกน้ำ มีค่าน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับตอนไม่มีเขื่อนกันคลื่น ดังนั้น ระดับน้ำจึงเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการวิเคราะห์ในเรื่องพลังงานศักย์ที่เปลี่ยนแปลง แต่ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้วัดระดับน้ำโดยตรงมีความละเอียดไม่เพียงพอต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงน้อยนิด ข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์ในเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหลังเขื่อนกันคลื่นนั้น จึงได้จากการคำนวณ มิใช่ได้จากการวัดขณะทำการทดลอง อีกทั้งในการทดลองยังมีตัวแปรอื่นที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ลม เป็นต้น จึงไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ที่ได้จากการทดลองเป็นผลจากเขื่อนกันคลื่นเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

5.1.3 การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่นจากผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น ทำได้โดยเปรียบเทียบความสูงคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่นกับไม่มีเขื่อนกันคลื่น หรือที่เรียกว่า อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น (K_p) ซึ่งการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ($K_{p(x,y)}$) บริเวณพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นได้พิจารณาใน 2 ทิศทาง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงในแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น และการเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งฉากเขื่อนกันคลื่น สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นตามแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น พิจารณาจากค่าอัตราส่วนความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ($\bar{K}_{p(y,x)}$) พบว่า ค่าอัตราส่วนความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในทุกรูปแบบของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่น การเปลี่ยนแปลงในช่วงความชันคลื่นน้อยถึงความชันคลื่นมากพบว่าความสูงคลื่นเมื่อมีเขื่อนกันคลื่นสูงกว่ากรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น โดยมีค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นมีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่า 1 ตลอดแนวขนานเขื่อนกันคลื่น ในขณะที่ความชันคลื่นแรงมากพบว่าความสูงคลื่นลดลงเมื่อมีเขื่อนกันคลื่นในทุกรูปแบบการจัดเรียง เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเขื่อนกันคลื่นที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน โดยที่แถวที่ 2 ทางฝั่งซ้ายจะมีการจัดเรียงเสาเข็มที่ชิดกว่าฝั่งขวา หรือมีความหนาแน่นของเสาเข็มแถวที่ 2 มากกว่าแถวที่ 1 จึงส่งผลให้ความสูงคลื่นทางฝั่งซ้ายน้อยกว่าฝั่งขวา และบริเวณกึ่งกลางเขื่อนกันคลื่นมีการลดลงของความสูงคลื่นมากที่สุด เพราะเป็นพื้นที่กำบังของเขื่อนกันคลื่น เมื่อสังเกตขณะทำการทดลองพบว่าลักษณะของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านเสาเข็มในแต่ละต้นนั้นจะกระจายเป็นวงรวมกันในพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่น และรวมผลของคลื่นจากด้านข้างที่กระจายตัวเข้ามา เนื่องจากสุดขอบเขื่อนกันคลื่น ซึ่งไม่สามารถแยกได้ด้วยการสังเกตด้วยตา เคลื่อนที่ไปยังชายฝั่ง ซึ่งเสาเข็มมีการจัดเรียงเป็นลักษณะความเป็นกลุ่มก้อนในแต่ละรูปแบบที่แตกต่างกัน อิทธิพลของความเป็นกลุ่มของเสาเข็มในแต่ละช่วงของความยาวเขื่อนกันคลื่นจึงแตกต่างกัน จึงทำให้เกิดการเสริมและหักล้างกันในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ความสูงคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นมีลักษณะกระจายตัวขนานกับเขื่อนกันคลื่นที่แตกต่างกัน

2) การเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นตามแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น พิจารณาจากค่าอัตราส่วนความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวขนานกับเขื่อนกันคลื่น ($\bar{K}_{p(x,y)}$) พบว่า ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางห่างจากเขื่อนกันคลื่นเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า ความสูงคลื่นลดลงมากที่สุดบริเวณที่ใกล้กับเขื่อนกันคลื่นหลังจากนั้นความสูงของคลื่นจะมีแนวโน้มที่

เพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างจากเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น อันเนื่องมาจากตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับเขื่อนกันคลื่นมีการกระจายของคลื่นจากด้านข้างเข้ามาน้อยเนื่องจากอิทธิพลของเขื่อนกันคลื่น จึงทำให้ความสูงของคลื่นน้อยหรือความสูงคลื่นลดลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น แต่เมื่อระยะทางที่ห่างจากเขื่อนกันคลื่นมากขึ้นอิทธิพลของเขื่อนกันคลื่นลดน้อยลง ส่งผลให้คลื่นจากด้านข้างสามารถกระจายเข้ามาได้มากขึ้นทำให้ความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น หรือลดลงน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น กับระยะทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่นของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นในแต่ละรูปแบบมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงไปเป็นทิศทางเดียวกันทุกความชันคลื่น กล่าวคือ ในบริเวณพื้นที่ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นเมื่อความชันคลื่นน้อยถึงปานกลางความสูงคลื่นเพิ่มขึ้นเมื่อมีเขื่อนกันคลื่น ส่วนค่าความชันคลื่นปานกลางถึงแรงมากพบว่าความสูงคลื่นลดลงเมื่อมีเขื่อนกันคลื่น

5.1.4 ผลของความชันคลื่นต่อค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น

จากการพิจารณาผลของความชันคลื่น (H_p/gT^2) พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ($\bar{K}_p(A)$) มี 2 ช่วง คือ ในช่วงแรกที่มีความชันคลื่นน้อย เข้าใกล้ศูนย์ จนความชันคลื่นเพิ่มขึ้นถึง 0.003 จะเห็นว่า ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความชันคลื่นที่มากขึ้น และช่วงที่ 2 เมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้นมากกว่า 0.003 จนกระทั่งถึง 0.008 ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น มีแนวโน้มลดลงเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น จะสังเกตเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น คล้ายๆ จะมีจุดวกกลับ ที่ความชันคลื่นประมาณ 0.003 หรือ อยู่ในช่วงความชันคลื่นปานกลาง ซึ่งน่าจะเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหล (transition zone) จากความชันคลื่นน้อย มาเป็นความชันคลื่นมาก จึงทำให้ข้อมูลที่ได้มีลักษณะความชัน (slope) ของเส้นกราฟเปลี่ยนไป

การเปลี่ยนแปลงของ ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น เนื่องจากผลของความชันคลื่น เป็นผลจากการสูญเสียพลังงานศักย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่เกี่ยวข้องกับความสูงของระดับน้ำและความสูงของลูกคลื่น หรือกล่าวได้ว่า พลังงานศักย์ของมวลน้ำตลอดทั้งหน้าตัด เป็นผลรวมของพลังงานศักย์น้ำนิ่ง กับพลังงานศักย์ในลูกคลื่น ซึ่งการสูญเสียพลังงานอาจจากการเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ หรือการเปลี่ยนแปลงของความสูงคลื่นก็ได้ หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้ง 2 อย่างพร้อมกันก็ได้ แต่สุดท้ายแล้ว ยังไงพลังงานที่เกิดขึ้นหลังเขื่อนกันคลื่นก็จะลดลงอยู่ดี โดยในแต่ละความชันคลื่น จะมีการสูญเสียพลังงานมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่าแรงหน่วง (drag force) ซึ่งเป็นผลรวมจากการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเค้นเฉือน (skin-friction drag) และผลต่าง

ความดัน (pressure drag) บริเวณด้านหน้ากับด้านหลังเชื่อมกันคลื่น โดยที่ความชันคลื่นน้อยๆ จะเปรียบเสมือนกับคลื่นค่อยๆ เคลื่อนที่ผ่านเสาเข็ม จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคลื่นบริเวณเสาเข็มอย่างช้าๆ การสูญเสียพลังงานจึงเกิดเนื่องจากค่าแรงจุด หรือ แรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ความชันคลื่นมากนั้น จะเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากผลต่างของความดัน ร่วมด้วย เนื่องจากความชันคลื่นมาก เปรียบเสมือนคลื่นเข้าปะทะเสาเข็มอย่างรุนแรง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะคลื่นอย่างกะทันหัน ทำให้คลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านเชื่อมกันคลื่นมีความเร็วที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันลดลง จึงทำให้ผลต่างความดันด้านหน้ากับด้านหลังเชื่อมกันคลื่นมีมาก จนเกิดการไหลแบบแยกตัว (separate) ที่บริเวณด้านหลังเชื่อมกันคลื่น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง การไหลแบบแยกตัวทำให้เกิดความปั่นป่วนของน้ำด้านหลังเชื่อมกันคลื่น ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ประกอบกับลักษณะการจัดเรียงเชื่อมกันคลื่นแบบสองแถว จึงทำให้เกิดการปั่นป่วนระหว่างแถวเพิ่มทวีคูณเข้าไปอีก จึงทำให้ที่ความชันคลื่นมาก มีการลดลงของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น ตามความชันคลื่นที่เพิ่มขึ้น ดังข้อมูลที่ได้จากการทดลอง จะพบว่า ความสูงคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่นมีแนวโน้มลดลง เมื่อความชันคลื่นเพิ่มมากขึ้น ที่ความชันคลื่นมากกว่า 0.005 นั้นแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงความชันคลื่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นอย่างมีนัยสำคัญ

5.1.5 ผลการเปรียบเทียบความสูงคลื่นด้านหลังเชื่อมกันคลื่นเนื่องจากการจัดเรียงเชื่อมกันคลื่น

จากการวิเคราะห์ผลการจัดเรียงเชื่อมกันคลื่น พบว่า การจัดเรียงเชื่อมกันคลื่นมีค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ด้านหลังเชื่อมกันคลื่น ($\bar{K}_{P(A)}$) เพิ่มขึ้นตามลักษณะของการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มต้นที่ 1 ต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (S_1/D) เพิ่มขึ้น ทุกความชันคลื่น กล่าวคือ ความสูงคลื่นหลังเมื่อมีเชื่อมกันคลื่น มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความสูงคลื่นเฉลี่ยพื้นที่ด้านหลังเพิ่มขึ้น โดยลักษณะการเพิ่มขึ้นนั้น มีแนวโน้มเป็นอัตราส่วนที่คงที่ตามรูปแบบการขยับช่องว่างการจัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน ช่องที่ 1 ($S_1=0D$) จนกระทั่ง ถึงรูปแบบการขยับช่องว่างการจัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากันช่องที่ 1 ($S_1=1D$) ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะทางกายภาพของเชื่อมกันคลื่นที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน โดยที่แถวที่ 2 ทางฝั่งซ้ายจะมีการจัดเรียงเสาเข็มที่ชิดกว่าฝั่งขวา หรือมีความหนาแน่น (massiveness) ของเสาเข็มแถวที่ 2 มากกว่าแถวที่ 1 ซึ่งทำให้ลักษณะการลดลงตลอดแนวขนานเชื่อมกันคลื่นแตกต่างกัน กล่าวคือ ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นด้านหลังมีความไม่สม่ำเสมอ (non-uniform) ส่งผลให้การจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่าง

เสาไม่เท่ากันมีแนวโน้มค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นน้อยกว่าการจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากันแต่ก็มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ประมาณ 1-6% เท่านั้น

และเมื่อนำข้อมูลอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ด้านหลังเขื่อนกันคลื่น ($K_{p(XY)}$) ที่เก็บข้อมูล ไปทดสอบทางสถิติ t-test พบว่า ที่ความเชื่อมั่น 90% การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากันและไม่เท่ากันนั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นความชันคลื่นแรงมากเท่านั้นที่ผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5.1.6 ผลของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน ต่อการสลายพลังงาน

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ซึ่งเป็นผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ โดยพลังงานศักย์นั้นจะเป็นผลรวมของพลังงานศักย์เนื่องจากลูกคลื่น และพลังงานศักย์เนื่องจากระดับน้ำ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า การวิเคราะห์เรื่องการเปลี่ยนแปลงพลังงาน ต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะคลื่นทั้งหมด 3 อย่างด้วยกัน คือ ความสูงคลื่น ระดับน้ำ และความเร็วอนุภาคน้ำ จากผลการศึกษาค้างนี้ พบว่า ลักษณะต่างๆ ของคลื่น ด้านหลังเขื่อนกันคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ลดน้อยลง หรือกล่าวได้ว่า พลังงานด้านหลังเขื่อนคลื่นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น ยกเว้น ในช่วงความชันคลื่นน้อย ตั้งแต่ 0 ถึง 0.005 พบว่า ความสูงคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่น มีความสูงเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น ซึ่งผลศึกษาในครั้งนี้มีความแตกต่างจากการศึกษาที่ผ่านมา ในทางตรงกันข้ามกัน กล่าวคือ การศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ความสูงคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นลดลง ดังนั้นเมื่อพิจารณาแต่ความสูงคลื่นเพียงอย่างเดียว จึงทำให้พลังงานด้านหลังเขื่อนกันคลื่นลดลง (พลังงาน แปรผัน กับความสูงคลื่นยกกำลังสอง) ในขณะที่การศึกษาค้างนี้ กลับพบว่า ในช่วงความชันคลื่นน้อย ความสูงคลื่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ประมาณ 1-3% แต่ระดับน้ำ และความเร็วของอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ยทั้งหน้าตัดลดลง ก็ส่งผลให้พลังงานโดยรวมด้านหลังเขื่อนกันคลื่นลดลงเช่นเดียวกัน

ดังนั้น จากการศึกษาค้างนี้จึงชี้ให้เห็นว่า กรณีมีเขื่อนกันคลื่น ส่งผลให้ พลังงานด้านหลังเขื่อนกันคลื่นลดลง ถึงแม้ว่าในช่วงความชันคลื่นน้อยๆ ตั้งแต่ 0 จนถึง 0.005 พลังงานศักย์เนื่องจากลูกคลื่นเพิ่มขึ้น แต่พลังงานศักย์เนื่องจากระดับน้ำลดลง ซึ่งเป็นพลังงานส่วนใหญ่ของพลังงานศักย์ จึงทำให้ พลังงานศักย์โดยรวมลดลง ถึงแม้จะเป็นการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่ลดลงเล็กน้อยประมาณ 1% ก็ถือว่าการเปลี่ยนแปลงของพลังงานศักย์ที่ลดลงค่อนข้างมาก

เมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงของความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้นประมาณ 3 % จากการทดลองครั้งนี้จึงกล่าวได้ว่า เมื่อพลังงานศักย์ลดลง พลังงานจลน์ลดลง จึงทำให้พลังงานโดยรวมด้านหลังเขื่อนกันคลื่นลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น หรือกล่าวได้ว่า การมีเขื่อนกันคลื่นทำให้พลังงานโดยรวมด้านหลังเขื่อนกันคลื่นลดลงนั่นเอง นอกจากนี้ ผลการศึกษานี้ ชี้ให้เห็นว่า ประสิทธิภาพในการสลายพลังงานคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน มีมากกว่า เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน แต่อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างดังกล่าว ก็มีอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ที่อาจกล่าวได้ว่า ไม่มีนัยของความแตกต่างในแง่ของการนำไปใช้ประโยชน์ในการปฏิบัติจริง

5.1.7 ผลของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน ต่อการป้องกันชายฝั่ง

จากหัวข้อที่ 5.1.6 พบว่า เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม ส่งผลให้พลังงานด้านหลังเขื่อนกันคลื่นลดลง โดยที่ความชันคลื่นน้อย ซึ่งเป็นขนาดคลื่นปกติที่เกิดขึ้นของประเทศไทย เขื่อนกันคลื่นส่งผลให้พลังงานศักย์ถูกคลื่นเพิ่มขึ้น แต่พลังงานจลน์ลดลง ในขณะที่ความชันคลื่นแรง ถึงแม้ว่าเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มส่งผลให้พลังงานลดลง แต่ทั้งนี้ประสิทธิภาพการลดลงของพลังงานคลื่นก็มีอยู่อย่างจำกัด ผลการศึกษานี้ จึงชี้ให้เห็นว่า ประสิทธิภาพในการสลายพลังงานคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน หากนำไปใช้ประโยชน์ในการปฏิบัติจริง เช่น การใช้เพื่อป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง เนื่องจากพลังงานที่ลดลงจากเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มไม่ว่าจะวางระยะห่างเท่ากันและไม่เท่ากัน (ตามผลการศึกษานี้) นั้นสามารถลดพลังงานคลื่นได้จำกัดและไม่มากนัก (อยู่ในระดับไม่เกิน 10%) ดังนั้น ในบริเวณพื้นที่ที่มีการกัดเซาะอย่างรุนแรง ระดับพลังงานของคลื่นที่เชื่อว่า มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนย้ายตะกอนชายฝั่ง อันเป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง (การกัดเซาะและทับถม) อาจลดลงในระดับที่ไม่สามารถหยุดการกัดเซาะชายฝั่งได้ อาจจะเป็นเพียง ลดความรุนแรงลงในระดับหนึ่ง ซึ่งอาจจะน้อยมาก แต่การกัดเซาะนั้นยังดำเนินต่อไป เพียงแต่ลดความรุนแรงของการกัดเซาะลง เช่น กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่นกันคลื่น ชายฝั่งอาจถูกกัดเซาะเหลือปีละ 9 เมตร เป็นต้น ในขณะที่ต่างประเทศก็มีการนำเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มมาใช้ เพื่อลดระดับความรุนแรงของคลื่นที่จะเข้าฝั่งเพียงพอที่ทำให้กิจกรรมบางอย่างได้ เช่น ทำเรือขนาดเล็ก หรือ กิจกรรมสันทนการทางน้ำ เช่น ว่ายน้ำ เป็นต้น ดังนั้น หากนั้นนำเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มไปใช้ในพื้นที่ที่มีการกัดเซาะอย่างรุนแรง เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มอาจเป็นโครงสร้างที่ใช้เพื่อลดความรุนแรงของคลื่นเพียงระดับหนึ่งเท่านั้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในการทดลองครั้งนี้ ได้พิจารณาข้อมูลที่มีความละเอียดค่อนข้างสูง เช่น ข้อมูลของระดับน้ำเฉลี่ย (mean water level) เพราะการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเพียงเล็กน้อยนั้น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ของมวลน้ำค่อนข้างมากในเชิงการเปรียบเทียบ ดังนั้น เครื่องมือที่นำมาใช้จึงต้องมีความละเอียดสูง เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ดียิ่งขึ้น

2) การทดลองครั้งนี้ เก็บข้อมูลด้านหลังเขื่อนกันคลื่น ค่อนข้างมาก เนื่องจากต้องการข้อมูลในการวิเคราะห์ให้ได้มากที่สุด โดยเก็บข้อมูลทั้งหมด 624 ตำแหน่ง/ 1กรณีศึกษา โดย 1 ตำแหน่งใช้เวลา อย่างน้อย 30 – 60s แล้วแต่ความแรงของคลื่น จะเห็นว่า ใช้เวลาในการทดลองค่อนข้างนานมากและต่อเนื่องกัน ประมาณ 12-14 ชั่วโมง ดังนั้น การสร้างเครื่องมือที่ช่วยในการเก็บข้อมูล จึงมีส่วนสำคัญยิ่งในการศึกษาครั้งนี้ จึงจำเป็นต้องมีบุคลากรที่มีความสามารถในการสร้างเครื่องมือ และ เงินทุนในการสนับสนุนอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย

3) การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาถึงผลของการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นโดยจำกัดรูปแบบของการจัดเรียงในขอบเขตตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาเท่านั้น แต่จากผลการทดลอง เห็นได้ว่ารูปแบบการจัดเรียงมีผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะของความสูงคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นที่แตกต่างกัน ดังนั้นรูปแบบการจัดเรียงในลักษณะอื่น เช่น การจัดเรียงที่มีการกระจายตัวของเสาเข็ม ในลักษณะกระจายตัวออกจากศูนย์กลาง หรือ กระจายตัวของศูนย์กลาง ก็เป็นอีกลักษณะหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะว่าลักษณะการกระจายตัวของเสาเข็มในแบบต่างๆ ก่อให้เกิดเป็นองค์ความรู้ใหม่ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องทางวิศวกรรมชายฝั่งในอนาคตก็เป็นได้

4) คลื่นที่ใช้ในการศึกษาเป็นคลื่นที่มีขนาดสม่ำเสมอ (regular wave) จากข้อมูลที่ได้ปรากฏในผลการศึกษา พบว่า การมีเขื่อนกันคลื่น ทำให้ความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น ในความชันคลื่นน้อยๆ ดังนั้น หากสามารถทำการทดลองเพื่อเพิ่มจุดของชุดข้อมูลหลายๆ ความชันคลื่น อาจจะทำให้เห็นลักษณะแนวโน้ม การเปลี่ยนแปลงของความสูงคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เพราะในประเทศไทยส่วนใหญ่ เป็นคลื่นขนาดเล็ก หากนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ที่ไม่ต้องการให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความสูงคลื่นในลักษณะที่เพิ่มขึ้น จะได้นำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการในแต่ละพื้นที่ เพราะว่ารูปแบบการจัดเรียงและผลของความชันคลื่น ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นด้านหลังเขื่อนกันคลื่นที่แตกต่างกัน

5) การศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์การเปรียบเทียบความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดเฉลี่ย (average of maximum orbital velocity) เท่านั้น ซึ่งเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการหาแรงสูงสุดที่กระทำกับโครงสร้าง แต่หากจะนำไปวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงปริมาณตะกอนที่เคลื่อนย้าย หรือ

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง (ทับถมหรือการกัดเซาะ) จึงจำเป็นต้องศึกษาในเรื่องความเร็วอนุภาคน้ำ ภายใต้วงโคจรคลื่น (orbital velocity) เพิ่มเติมอย่างละเอียด ถึงแม้ว่าในการศึกษาคั้งนี้จะพบว่า เชื้อกันคลื่นแบบเสาเข็มทำให้พลังงานจลน์ด้านหลังเชื้อกันคลื่นลดลง แต่ไม่ได้หมายความว่า พลังงานจลน์ที่ลดน้อยลงจะทำให้ตะกอนไม่เกิดการเคลื่อนย้าย หรือตกตะกอนได้หลังเชื้อกัน คลื่นได้ นอกจากนี้ในเรื่องของการตกตะกอนยังมีอีกหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ขนาดของเม็ด ตะกอน เป็นต้น ดังนั้น ผู้สนใจจึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้คำตอบที่ชัดเจน เหมาะกับการ นำไปใช้ประยุกต์ใช้ในพื้นที่



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล . 2551. ขุนสมุทรจีน 49A2 ต้นแบบการแก้ไขปัญหาน้ำทะเลกัดเซาะหาดโคลน. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- บุศวรรณ โพธิ์ทอง. 2542. เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนกรณีชายฝั่งสมดุ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะ กุณาผล. 2547. การไหลลดประทุระบายภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- ปิยะฉัตร เลิศอมรพงษ์. 2545. การจำลองการทับถมตะกอนหลังเขื่อนกันคลื่น. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- เมธาฤทธิ์ แนนสัย. 2552. ผลของการจัดเรียงแนวเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มต่อลักษณะคลื่น.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อัปสรสุดา ศิริพงษ์. 2553. โครงการประสิทธิภาพการทำเขื่อนดักตะกอนและความเจริญเติบโตของ
พันธุ์ไม้ป่าชายเลนหลังเขื่อนดักตะกอน. กรุงเทพมหานคร : การไฟฟ้านครหลวง.
- อาทิตยา เกศมาริช. 2540. เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกในงานป้องกันชายฝั่ง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Grune, J., and Kohlhase, S. 1974. Wave Transmission through Vertical Slotted Walls.
Proceedings of 14th 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 21th 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 19th 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 Interractions 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, (Novmber/December): 335-338.
- Nagai, S. 1966. Researches on Steel-Pipe Breakwater. Proceedings of 10th 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., and 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 20th Engineering Conference, Taipei, Taiwan. ASCE, New York. 3 (November): 2303-2313.
- U.S. Coastal Engineering Research Center. 1984. Shore Protection Manual 1. 2nd ed. Washington DC. Department of U.S. Army Corps. of Engineers.
- U.S. Coastal Engineering Research Center. 1984. Shore Protection Manual 2. 2nd ed. Washington DC: Department of U.S. Army Corps. of Engineers.

Wheele, V.J., and Herbich, J.B. 1984. Wave Reflection and Wave Transmission for Pipe Arrays. Proceedings of 13th 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.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แบบจำลองกายภาพศาสตร์และอุปกรณ์การทดลอง

ภาคผนวก ข การเปรียบเทียบอุปกรณ์การทดลอง

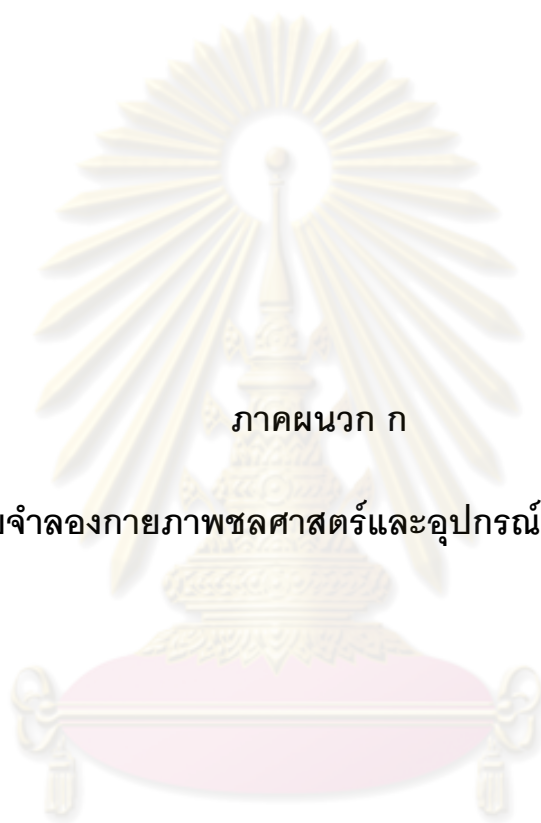
ภาคผนวก ค ข้อมูลจากการทดลอง

ภาคผนวก ง การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่น

ภาคผนวก จ สรุปผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเชื่อมกันคลื่นแบบเสาเข็ม

ภาคผนวก ฉ สรุปสัญลักษณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

แบบจำลองกายภาพศาสตร์และอุปกรณ์การทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

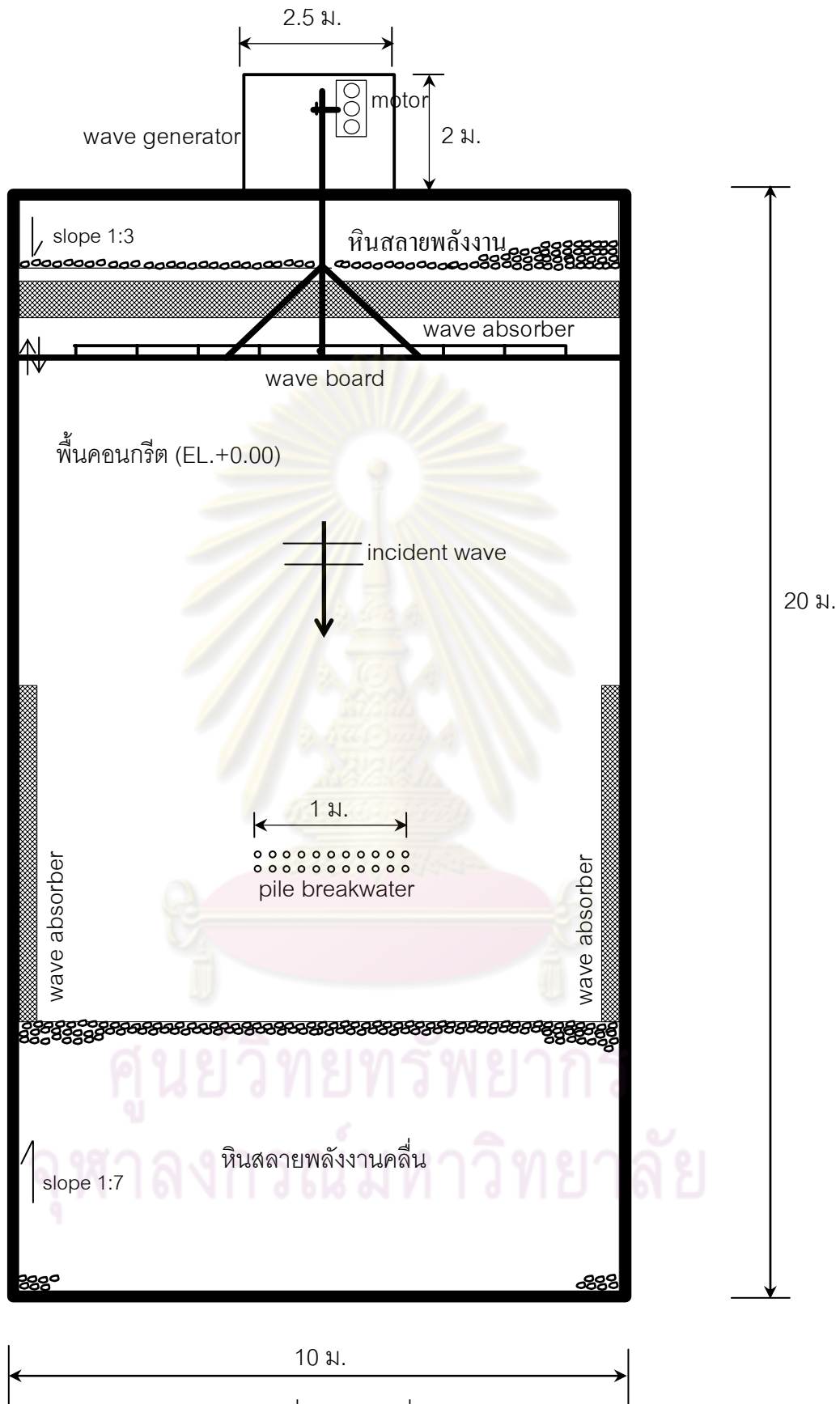
ภาคผนวก ก

แบบจำลองกายภาพพลศาสตร์และอุปกรณ์การทดลอง

ก-1 การจัดเตรียมแบบจำลองอ่างคลื่น

แบบจำลองอ่างคลื่น (wave basin) ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาดความกว้าง 10 ม. ยาว 20 ม. ลึก 0.70 ม. พื้นและผนังทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในรูป ก-1 ในอ่างคลื่นจะมีองค์ประกอบอื่น ได้แก่ 1) ตะแกรงสลายคลื่นด้านข้าง (wave absorber) เป็นโครงเหล็กหุ้มด้วยลวดตะแกรงภายในบรรจุเม็ดโฟม โครงเหล็กมีขนาดกว้าง 0.15 ม. ยาว 1.00 ม. สูง 0.50 ม. วางห่างละ 6 ม. ติดตั้งเพื่อลดการสะท้อนจากผนังด้านข้างของอ่างคลื่น 2) หินสลายพลังงานคลื่น เพื่อลดการสะท้อนของคลื่นโดยที่ด้านต้นอ่างและด้านท้ายอ่างคลื่น ตัวสลายพลังงานคลื่นใช้เป็นหินก่อสร้างเบอร์ # 1 ด้านต้นอ่างคลื่นเทเป็นแนวลาดเอียง 1 : 3 และด้านท้ายอ่างคลื่นเทเป็นแนวลาด 1 : 7 ยาวตลอดด้านต้นและด้านท้ายอ่างคลื่น และ 3) ระบบจ่ายน้ำและระบายน้ำ น้ำที่ใสในอ่างคลื่นจะถูกสูบขึ้นมาจากบ่อพักน้ำ (sump) ข้างๆ อ่างคลื่น โดยใช้เครื่องสูบน้ำ และการระบายน้ำออกจะมีระบายอยู่ในอ่างคลื่นระบายสู่บ่อพักน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-1 แอ่งคลื่น (wave basin)

ก-2 เครื่องกำเนิดคลื่น

เครื่องกำเนิดคลื่น (wave generator) เป็นชนิดปลายยึดหมุน (hinge connection) ที่ด้านล่างของกระดานสร้างคลื่น (wave board) ส่วนด้านบนพบกับส่วนขับเคลื่อนซึ่งเคลื่อนที่กลับไป-มาได้ตามระยะช่วงชัก (stroke) โดยความเร็วเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับมอเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ จึงสามารถสร้างคลื่นที่มีความสูงและคาบคลื่นได้แตกต่างกัน องค์ประกอบของเครื่องกำเนิดคลื่นได้แสดงไว้ในรูปที่ ก-2



ก) กระดานสร้างคลื่น



ข) ก้านโยกกระดานสร้างคลื่น



ค) ชุดปรับช่วงชัก



ง) มอเตอร์



จ) ชุดปรับความเร็วมอเตอร์



ฉ) หม้อแปลงควบคุม

รูปที่ ก-2 องค์ประกอบของเครื่องกำเนิดคลื่น

ก-3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องมือวัดระดับ (point gauge) ติดตั้งในแอ่งคลื่น เพื่อใช้วัดระดับน้ำนิ่ง (still water level) ก่อนทำการทดลอง ดังรูป ก-3

2) เครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter) ใช้วัดความสูงคลื่น โดยหลักการทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้ก็คือ เป็นการวัดความจุไฟฟ้าบนเส้นลวดที่เปลี่ยนแปลงตามระยะที่จมในน้ำ โดยในที่นี้ใช้จำนวน 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 ± 2.5 โวลต์ ดังรูปที่ ก-4 โดยรายละเอียดการใช้เครื่องมือสามารถดูได้จาก อชาติตยา เกศมาริช (2540) และแบบที่ 2 เป็นเครื่องวัดความสูงคลื่น (ตัวใหม่) รุ่น Wave Probe Monitor ของบริษัท HR Wallingford จำนวน 6 ตัว ช่วงข้อมูลที่เครื่องทำการประมวลผลได้ อยู่ในช่วง ± 10 โวลต์ ดังรูปที่ ก-5 โดยรายละเอียดการใช้เครื่องมือสามารถดูได้จาก เมธาฤทธิ แนนสัย (2552)

3) เครื่องมือวัดความเร็วการไหล เป็นเครื่องมือวัดความเร็วการไหลแบบ 3 ทิศทางของ OSK รุ่น ACM 300-D สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ สามารถวัดความเร็วการไหลได้ 3 ทิศทาง คือ ตามทิศทางการไหล ตั้งฉากกับทิศทางการไหล และวัดความเร็วในแนวตั้ง สามารถวัดได้ทั้งค่าที่เป็นบวกและค่าที่เป็นลบ อุปกรณ์ทั้งหมด ประกอบด้วย หัววัดความเร็วกระแส (sensor) สายสัญญาณ และเครื่องรับสัญญาณ (display unity) ที่สามารถส่งสัญญาณแบบ Analog หลักการทำงานของเครื่องวัดความเร็วการไหลอาศัยน้ำเป็นตัวนำ โดยที่น้ำจะไหลผ่านสนามแม่เหล็กจะเกิดกระแสไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนกับความเร็วการไหล ดังรูปที่ ก-6 โดยรายละเอียดการใช้เครื่องมือสามารถดูได้จาก ปิยะ กุณมาศ (2547)

4) อุปกรณ์ประกอบสำหรับวัดความสูงคลื่นและความเร็วของอนุภาคน้ำ ดังรูปที่ ก-7 ประกอบด้วย ก) แผงวงจร ใช้สำหรับต่อสายที่แสดงผลจากเครื่องวัดความสูงคลื่นเข้าสู่การ์ด LabVIEW ข) สายต่อ ค) การ์ด LabVIEW ใช้สำหรับแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล โดยจะใช้ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW ของบริษัท National Instrument และ ง) คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก รุ่น COMPAQ Presario ใช้สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลคลื่นความเร็วของอนุภาคน้ำ

5) กล้องถ่ายรูป กล้องวิดีโอและเครื่องบันทึกภาพ ใช้บันทึกภาพ

6) เทอร์โมมิเตอร์ ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำขณะทำการทดลอง



รูปที่ ก-3 เครื่องมือวัดระดับ (point gauge)



ก) เครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter)



ข) อุปกรณ์รับสัญญาณอนาล็อกเครื่องวัดความสูงคลื่น

รูปที่ ก-4 ชุดเครื่องมือวัดความสูงคลื่น (ตัวเก่า)



ก) เครื่องวัดความสูงคลื่น (wave height meter)



ข) อุปกรณ์รับสัญญาณอนาล็อกเครื่องวัดความสูงคลื่น

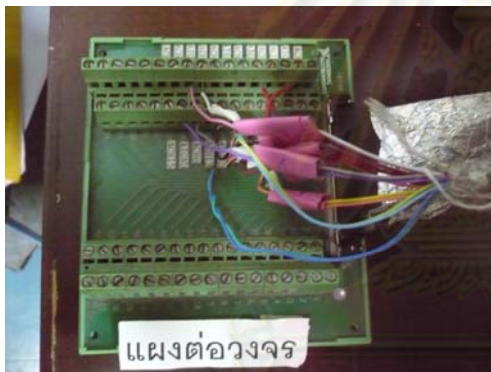
รูปที่ ก-5 ชุดเครื่องมือวัดความสูงคลื่น (ตัวใหม่)



ก) หัววัดความเร็วกระแสไฟฟ้า (sensor)

ข) เครื่องรับสัญญาณ (display unity)

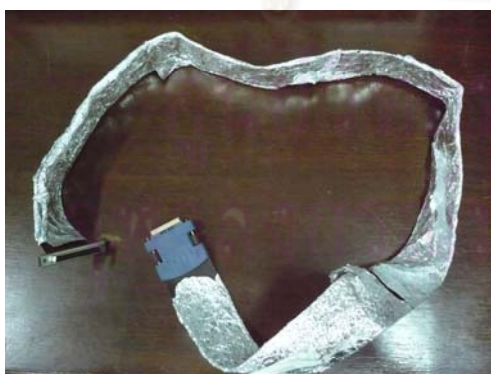
รูปที่ ก-6 เครื่องมือวัดความเร็วการไหลแบบ 3 ทิศทางของ OSK รุ่น ACM 300-D



ก) แผงวงจรต่อสัญญาณ



ข) การ์ดแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล



ค) สายต่อสัญญาณเข้าการ์ดแปลงสัญญาณ



ง) คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูล

รูปที่ ก-7 อุปกรณ์ประกอบสำหรับวัดความสูงคลื่นและความเร็วของอนุภาคน้ำ

ก-4 ชุดอุปกรณ์ช่วยเก็บข้อมูล

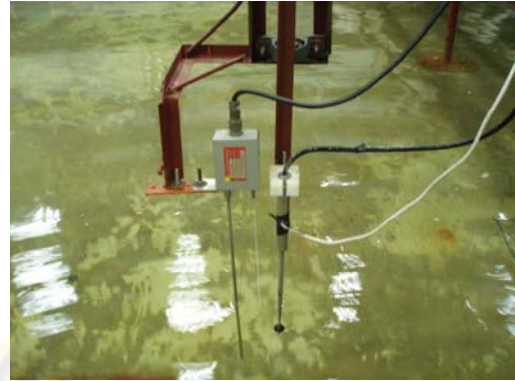
ชุดอุปกรณ์ช่วยเก็บข้อมูล เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ช่วยในการเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งต่างๆหลังเชื่อมกันคลื่นติดตั้งกับสะพานของแอ่งคลื่น เป็นอุปกรณ์สำหรับติดตั้งเครื่องวัดความสูงคลื่นและเครื่องมือวัดความเร็วการไหล โดยชุดอุปกรณ์ช่วยเก็บข้อมูลนี้สามารถเคลื่อนที่ได้ 3 ทิศทาง ได้แก่ ทิศทางขนานเชื่อมกันคลื่น ทิศทางตั้งฉากเชื่อมกันคลื่น และทิศทางในแนวตั้ง ซึ่งการเคลื่อนที่ในแนวตั้งจะใช้กับเครื่องมือวัดความเร็วการไหลทำให้สามารถวัดความเร็วของน้ำที่ความลึกต่างๆ ได้ ดังแสดงในรูปที่ ก-8 อุปกรณ์ทั้งหมด ประกอบด้วย โครงเหล็กที่ทำด้วยเหล็กฉาก แกนเหล็ก แนวนราบและแนวตั้ง มอเตอร์ กัล้องวงจรถัด และจอมอนิเตอร์ อุปกรณ์ตัวนี้สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยระบบไฟฟ้าโดยการด้วยสวิทช์บังคับมอเตอร์ 3 ตัว ซึ่งแต่ละตัวจะใช้สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวต่างๆ ได้แก่การเคลื่อนที่ตามแนวสะพานเพื่อวัดข้อมูลความสูงคลื่นและความเร็วของน้ำในแนวขนานเชื่อมกันคลื่น การเคลื่อนที่ที่ตั้งฉากกับสะพานเพื่อวัดข้อมูลความสูงคลื่นและความเร็วของน้ำตั้งฉากเชื่อมกันคลื่น และการเคลื่อนที่ขึ้นลงเพื่อวัดข้อมูลความเร็วของน้ำที่ระดับต่างๆ การเลื่อนเครื่องมือไปที่ตำแหน่งวัดต่างๆ จะใช้กัล้องวงจรถัดสังเกตตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้และแสดงผลทางจอมอนิเตอร์



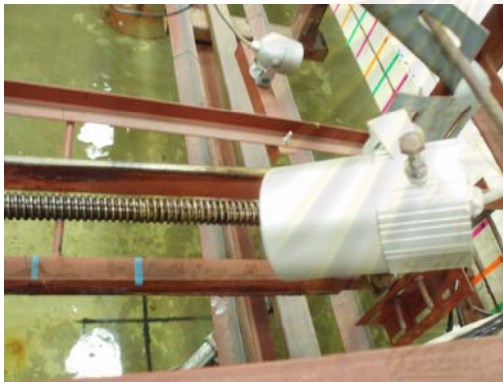
รูปที่ ก-8 ชุดอุปกรณ์ช่วยเก็บข้อมูล



ก) อุปกรณ์แสดงผล



ข) การติดตั้งตัววัดความสูงคลื่นและความเร็ว



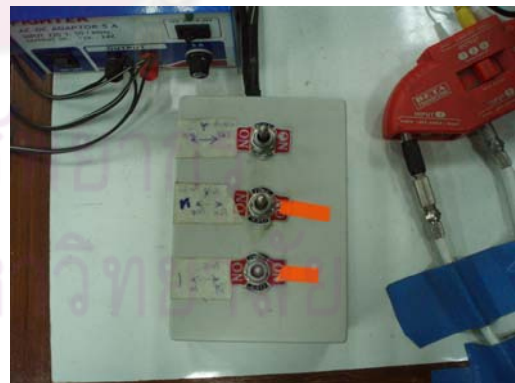
ค) กล้องวงจรปิด



ง) มอเตอร์



จ) สะพานของแ่งคลื่น



ฉ) สวิตซ์บังคับ

รูปที่ ก-9 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์ช่วยเก็บข้อมูล

ก-5 แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม

เขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม (pile breakwater) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มรูปทรงกระบอกทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.85 ซม. จัดเรียงเป็นแถวตรง 2 แถว โดยมีความยาวในแต่ละแถวประมาณ 1.00 ม. (21 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม) รูปแบบของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม เป็นการจัดเรียงเสาเข็มแบบ 2 แถว โดยในแต่ละแถวมีช่องว่างระหว่างต้นที่ไม่เท่ากัน แต่เพื่อให้การจัดเรียงเป็นระบบ จึงได้กำหนดรูปแบบการจัดเรียงเสาเข็มที่มีช่องว่างไม่เท่ากันให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันอนุกรมทางคณิตศาสตร์แบบง่ายๆ และได้คำนึงถึงรูปแบบการจัดเรียงที่จะก่อให้เกิดความเป็นกลุ่มก้อน (massiveness) ของกลุ่มเสาเข็มมากที่สุดบนสมมุติฐานที่ว่า ความเป็นกลุ่มก้อนของกลุ่มเสาเข็มที่มีมากขึ้นน่าจะลดความสามารถการส่งผ่านของคลื่น (wave transmissivity) และเพิ่มความสะท้อนกลับของคลื่น (wave reflectivity) อันน่าจะเป็นผลของการลดลงหรือสลายพลังงานคลื่น (wave energy dissipation) หลังเขื่อนกันคลื่นโดยรวม โดยการหาลำดับที่ของช่องว่างระหว่างเสาที่มีการเพิ่ม/ลดขนาดช่องว่างระหว่างเสาตามลำดับตำแหน่งเสาที่เพิ่ม/ลด เป็นสัดส่วนที่เท่ากันในรูปแบบสมการอนุกรมเชิงเส้นแบบง่ายๆ จะได้หาจากสมการ (ก-1)

$$S_{i+1} = S_i + \Delta \quad (\text{ก-1})$$

เมื่อ S_{i+1} คือ ช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ $i+1$

S_i คือ ช่องว่างระหว่างเข็มลำดับที่ i

Δ คือ ผลต่างช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน

โดยที่ Δ เท่ากับ $\frac{S_n - S_1}{n-1}$ เมื่อแทน ในสมการ (ก-1) จะได้

$$S_{i+1} = S_i + \frac{S_n - S_1}{n-1} \quad (\text{ก-2})$$

S_1 คือ ช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1

S_n คือ ช่องว่างระหว่างเสาลำดับสุดท้าย

n คือ จำนวนช่องว่างระหว่างเสาทั้งหมดในแต่ละแถว (ในการศึกษาครั้งนี้ $n = 10$)

การหาค่าช่องว่างระหว่างเสาลำดับสุดท้าย (S_n) หาได้จากสมการ (ก-3) ซึ่งต้องกำหนดค่าช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) ก่อน โดยการศึกษาครั้งนี้กำหนดค่าช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) ตั้งแต่ค่า 0 ถึง 1 เท่าของช่องว่างระหว่างเสาของการจัดเรียงแบบระยะห่างเท่ากัน (0 ถึง

1b) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้ช่องว่างระหว่างเสาของการจัดเรียงแบบช่องว่างระหว่างเสาเท่ากันเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม ($b = 1D$ เมื่อ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม) ดังนั้นช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) จะเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึง 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม (0 ถึง $1D$) และเมื่อเพิ่มช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) ที่ละ 0.2 เท่าของขนาดเสาเข็ม ($0.2D$) จะได้รูปแบบของการจัดเรียงทั้งหมด 6 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ ก-1 โดยรูปแบบการจัดเรียงที่กำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม จะเป็นการจัดเรียงที่มีช่องว่างระหว่างเสาเท่ากัน

$$S_1 + S_n = 2b \quad (ก-3)$$

เมื่อ b คือ ช่องว่างระหว่างเสาของการจัดเรียงแบบระยะห่างเท่ากัน

การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่มีช่องว่างระหว่างเสาไม่เท่ากันทั้ง 6 รูปแบบ การจัดเรียงในแถวที่ 1 จะมีการจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาจากลำดับน้อยไปมาก (S_1 ถึง S_{10}) และแถวที่ 2 มีการจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาจากลำดับมากไปน้อย (S_{10} ถึง S_1)

จากการจัดเรียง 6 รูปแบบ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือกรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน และกรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเท่ากัน ประกอบด้วย

กรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน

- รูปแบบ V0 จัดเรียงแบบ 2 แถวกำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 0 เท่าของขนาดเสาเข็ม (ชิดกัน) และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เท่ากับ 0.222 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ ก-10

- รูปแบบ V2 จัดเรียงแบบ 2 แถวกำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 0.2 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เท่ากับ 0.177 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ ก-11

- รูปแบบ V4 จัดเรียงแบบ 2 แถวกำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 0.4 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เท่ากับ 0.133 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ ก-12

- รูปแบบ V6 จัดเรียงแบบ 2 แถวกำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 0.6 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เท่ากับ 0.089 เท่าของขนาดเสาเข็มดังแสดงในรูปที่ ก-13

- รูปแบบ V8 จัดเรียงแบบ 2 แถวกำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 0.8 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เท่ากับ 0.044 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ ก-14

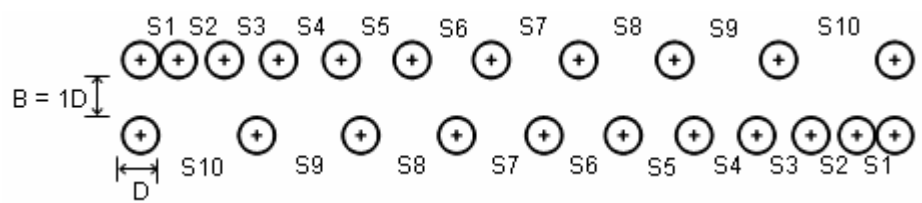


กรณีจัดเรียงช่องว่างระหว่างเสาเท่ากัน




- รูปแบบ V10 จัดเรียงแบบ 2 แถวกำหนดช่องว่างระหว่างเสาลำดับที่ 1 (S_1) เท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม และเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเสาพร้อมกัน (Δ) เท่ากับ 0 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังนั้นช่องว่างทุกช่องจะเท่ากับ 1 เท่าของขนาดเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ ก-15

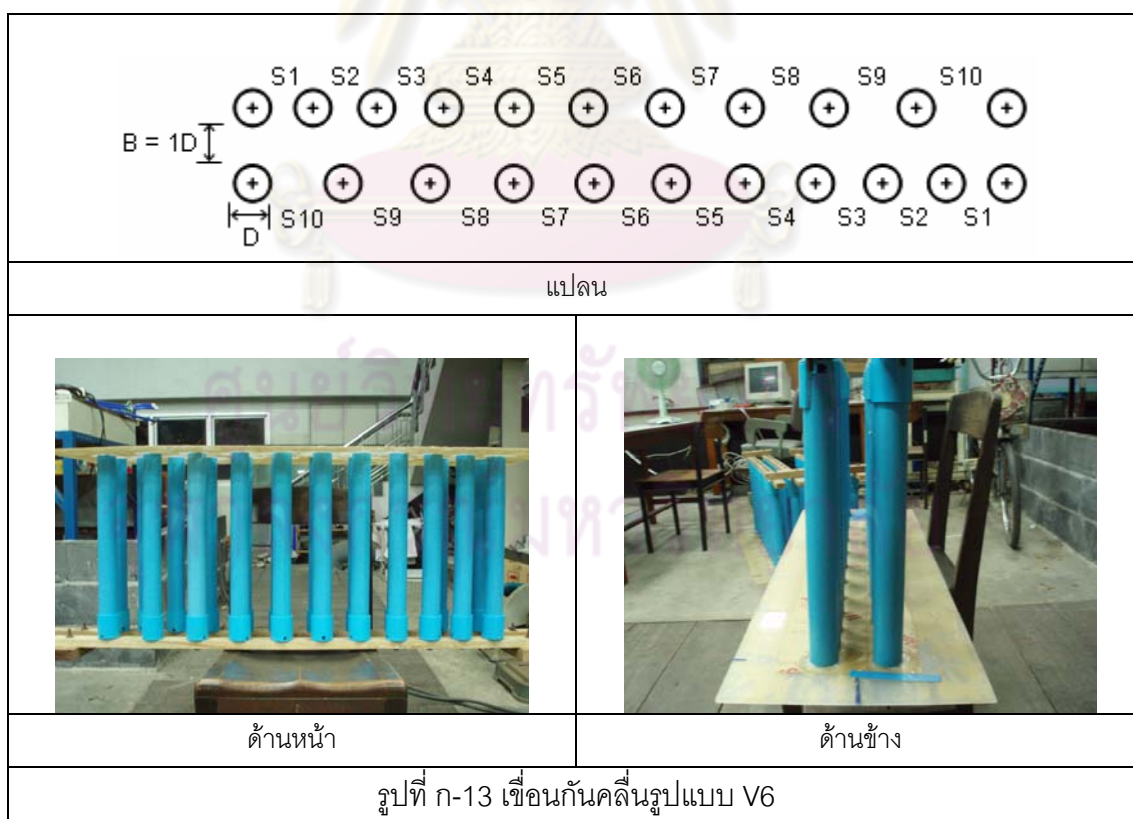
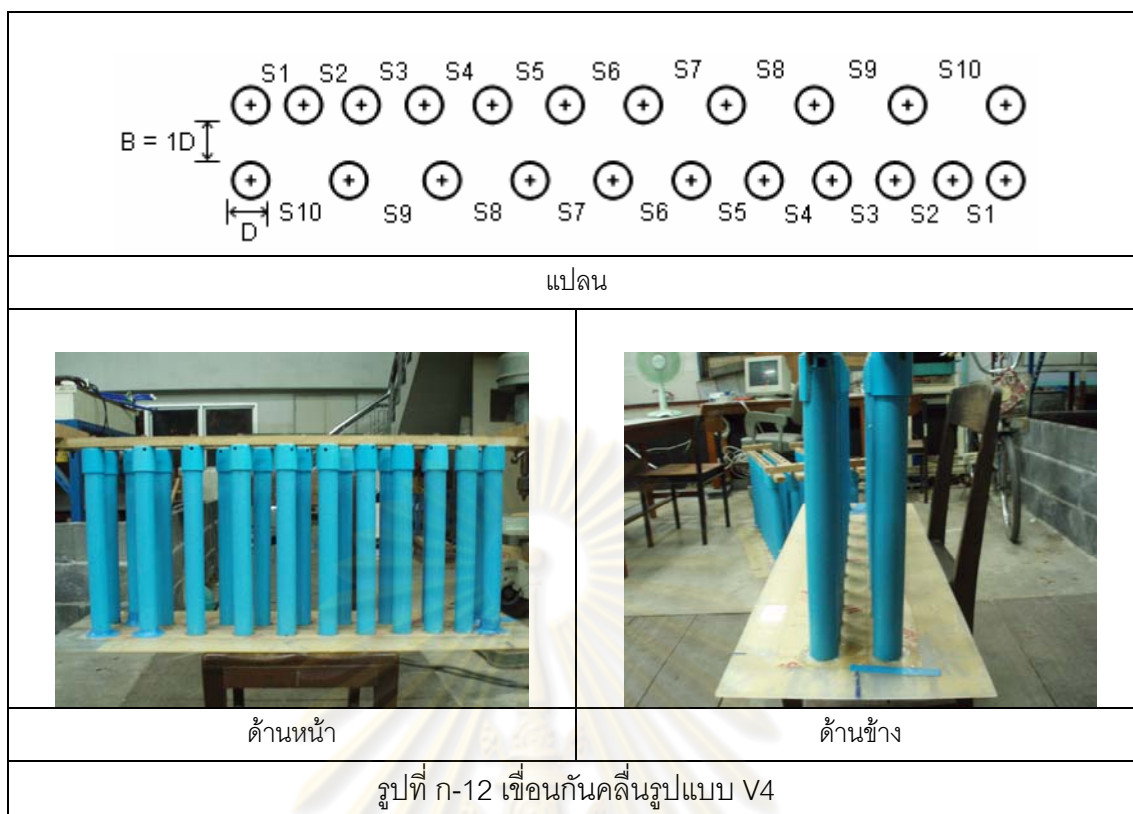
ตารางที่ ก-1 ช่องว่างระหว่างเสาเข็มลำดับที่ n ของเขื่อนกันคลื่นรูปแบบต่างๆ

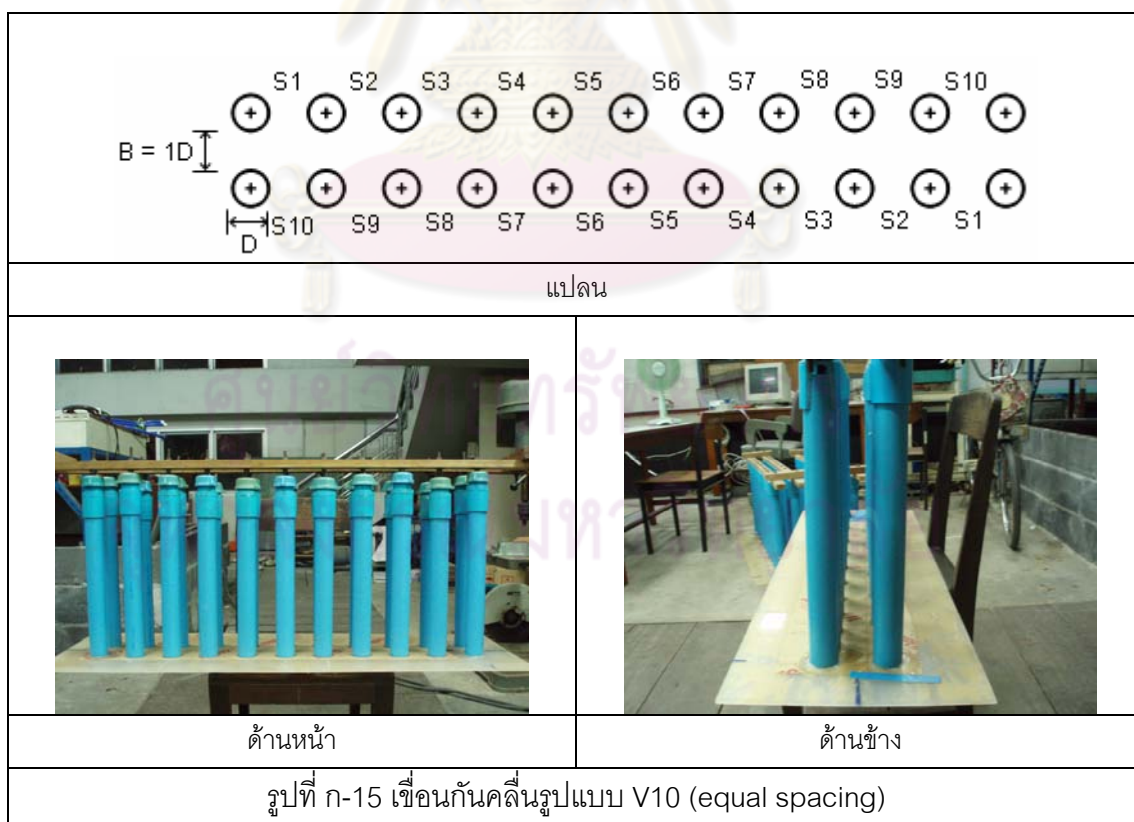
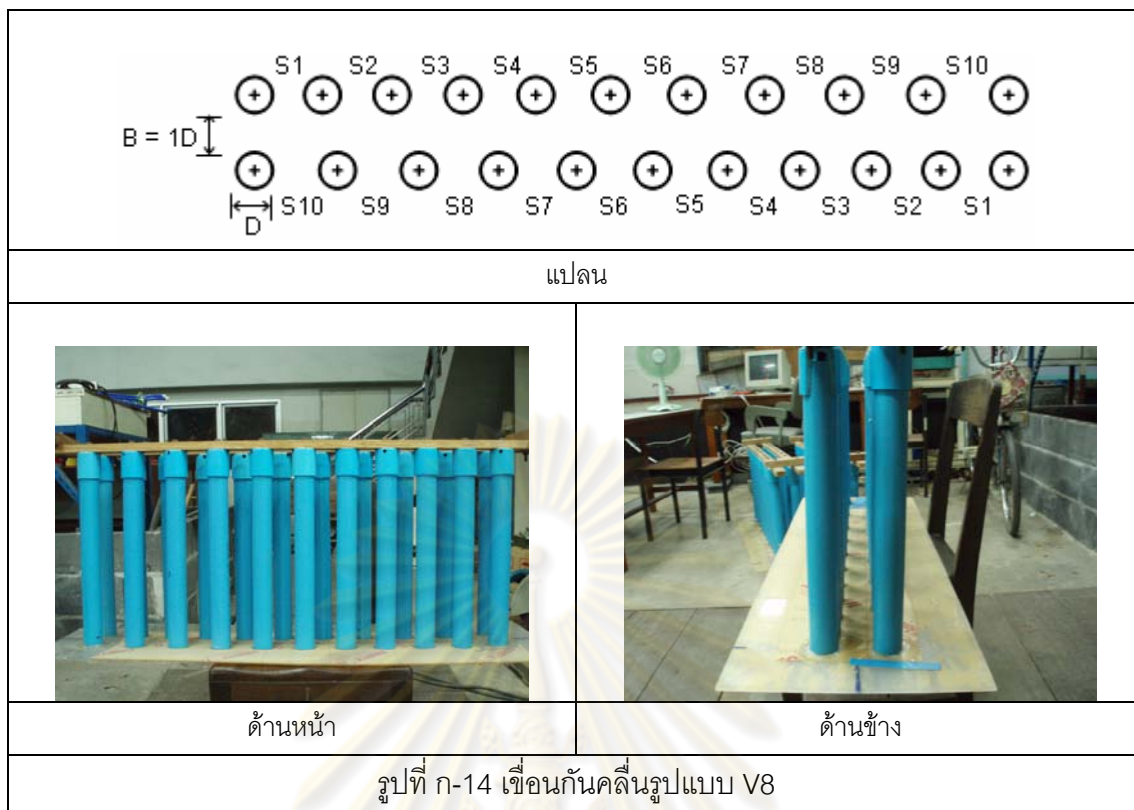
ลำดับช่องว่าง (S_n)	รูปแบบเขื่อนกันคลื่น					
	V0	V2	V4	V6	V8	V10
S1	0D	0.20D	0.40D	0.60D	0.80D	1D
S2	0.22D	0.38D	0.56D	0.69D	0.84D	1D
S3	0.44D	0.56D	0.67D	0.78D	0.89D	1D
S4	0.67D	0.73D	0.80D	0.87D	0.93D	1D
S5	0.89D	0.91D	0.93D	0.96D	0.98D	1D
S6	1.11D	1.09D	1.07D	1.04D	1.02D	1D
S7	1.33D	1.27D	1.20D	1.13D	1.07D	1D
S8	1.56D	1.44D	1.33D	1.22D	1.11D	1D
S9	1.78D	1.62D	1.47D	1.31D	1.16D	1D
S10	2D	1.80D	1.60D	1.40D	1.20D	1D
ช่องว่างระหว่าง เสาพร้อมกัน (Δ)	0.222D	0.177D	0.133D	0.089D	0.044D	0D

* D คือ ขนาดเสาเข็ม

	
แปลน	
	
ด้านหน้า	ด้านข้าง
รูปที่ ก-10 เชือกกันคลื่นรูปแบบ V0	

	
แปลน	
	
ด้านหน้า	ด้านข้าง
รูปที่ ก-11 เชือกกันคลื่นรูปแบบ V2	







ภาคผนวก ข
การเปรียบเทียบอุปกรณ์การทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การเปรียบเทียบอุปกรณ์การทดลอง

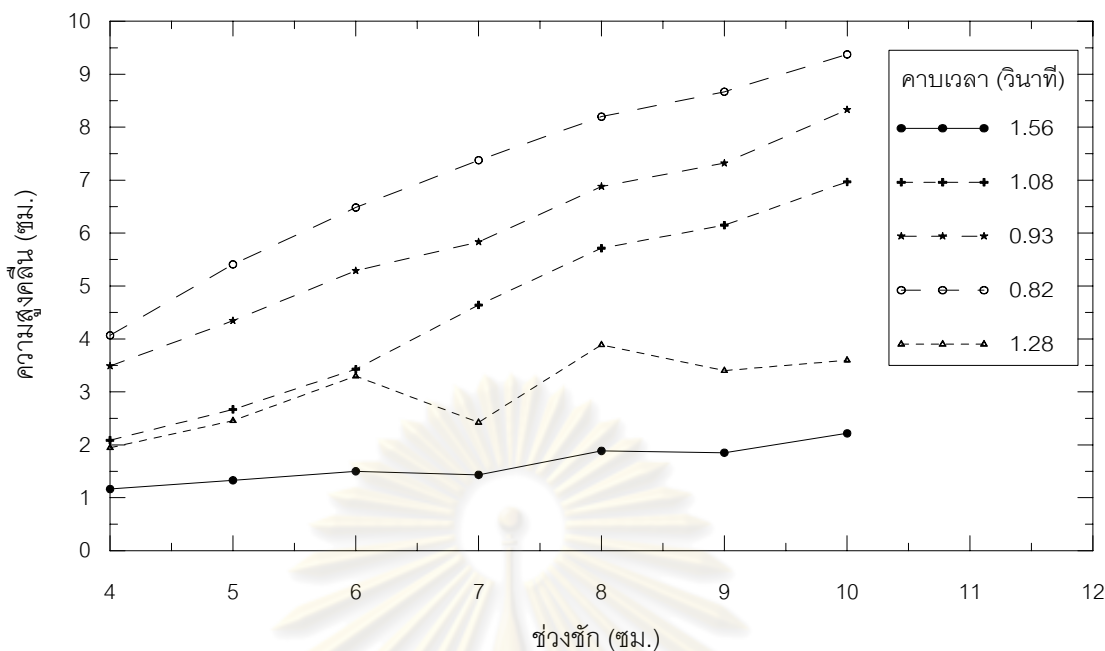
ข-1 การเปรียบเทียบเครื่องกำเนิดคลื่น

เครื่องกำเนิดคลื่น (wave generator) มีโครงสร้างทั้งหมดทำด้วยเหล็กยกเว้นกระดานสร้างคลื่น (wave board) ทำด้วยพลาสติก ด้านล่างของกระดานสร้างคลื่นเป็นแบบ Hinge Connection ด้านบนต่อเข้ากับส่วนขับเคลื่อนสามารถโยกกลับไป-มาได้ เครื่องกำเนิดคลื่นนี้สามารถสร้างคลื่นที่มีความสูงและคาบเวลาตามต้องการ โดยคาบเวลาจะขึ้นอยู่กับความเร็วของมอเตอร์ ส่วนความสูงคลื่นนอกจากจะขึ้นอยู่กับความเร็วของมอเตอร์แล้วยังขึ้นอยู่กับระยะช่วงชักและความลึกน้ำ ดังนั้นในการทดลองจึงได้เปรียบเทียบเครื่องกำเนิดคลื่นเพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการกำหนดเงื่อนไขของคลื่นที่ใช้ในการทดลอง ความลึกของน้ำบริเวณติดตั้งเชื่อมกันคลื่นซึ่งลึก 35 ซม. ทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์และระยะช่วงชัก วัดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามเวลาด้วยเครื่องมือวัดความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งติดตั้งเชื่อมกันคลื่น ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ ข-1 และรูปที่ ข-1

ตารางที่ ข-1 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 1-1 การเปรียบเทียบเครื่องกำเนิดคลื่น

ข-2 การเปรียบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่น

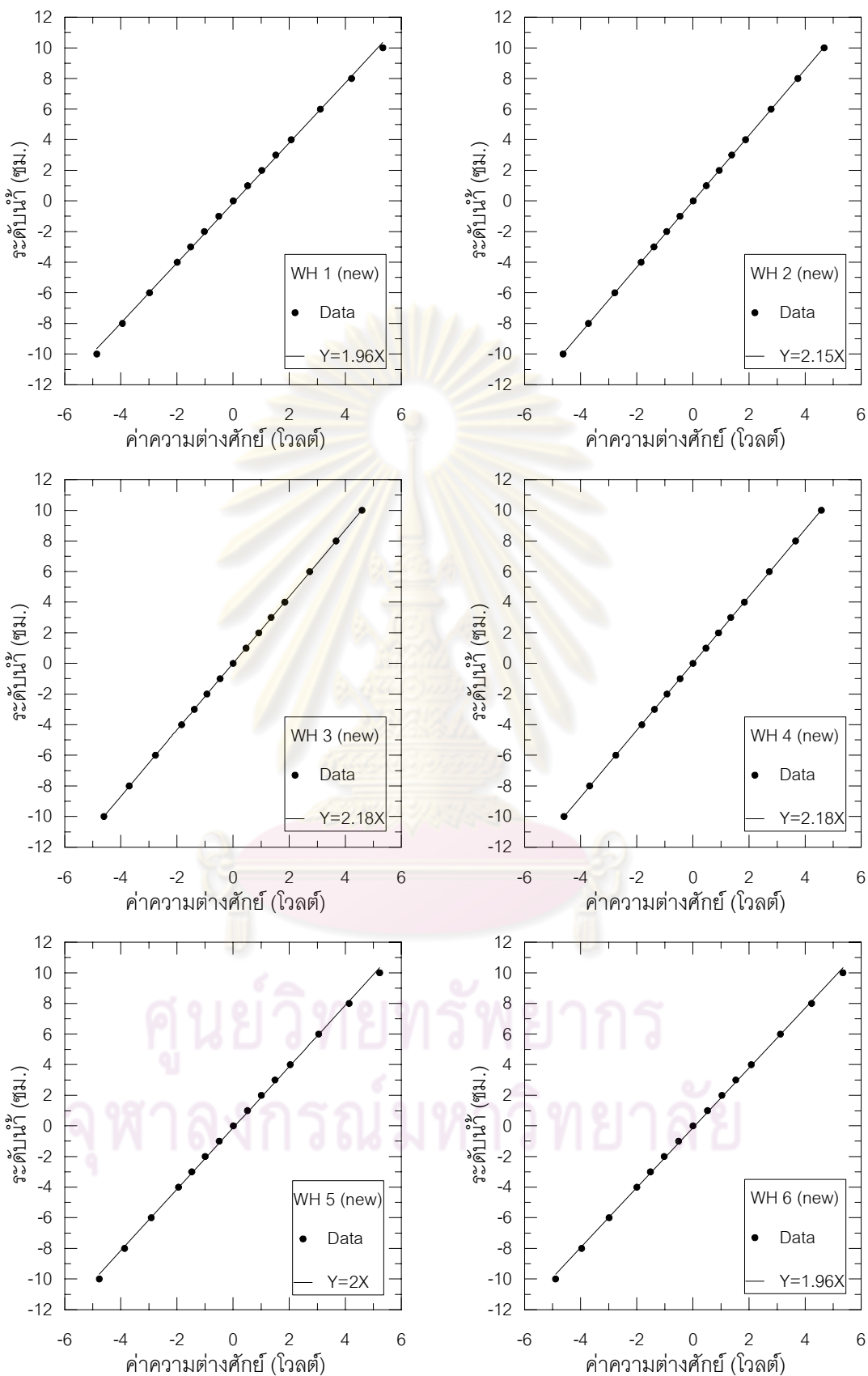
เครื่องมือวัดความสูงคลื่น (wave height meter) ใช้วัดความสูงคลื่น โดยหลักการทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้ก็คือ เป็นการวัดความจุไฟฟ้าบนเส้นลวดที่เปลี่ยนแปลงตามระยะที่จมในน้ำ โดยในการศึกษาทดลองครั้งนี้มี 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นเครื่องวัดความสูงคลื่น (ตัวใหม่) รุ่น Wave Probe Monitor ของบริษัท HR Wallingford จำนวน 6 ตัว ช่วงข้อมูลที่เครื่องทำการประมวลผลได้ อยู่ในช่วง ± 10 โวลต์ และแบบที่ 2 เป็นเครื่องวัดความสูงคลื่น (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 ± 2.5 โวลต์

การเปรียบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่น ดำเนินการโดยติดตั้งเครื่องมือวัดในถังน้ำที่สามารถปล่อยน้ำเข้า-ออกจากถังได้เพื่อควบคุมระดับน้ำในถัง จากนั้นบันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าตามค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงดังแสดงในตารางที่ ข-2 และนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ ข-2 และรูปที่ ข-3จะได้ค่าตัวคูณแพกเตอร์ไปปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่บันทึกได้จากโปรแกรม LabView เป็นค่าระดับน้ำ

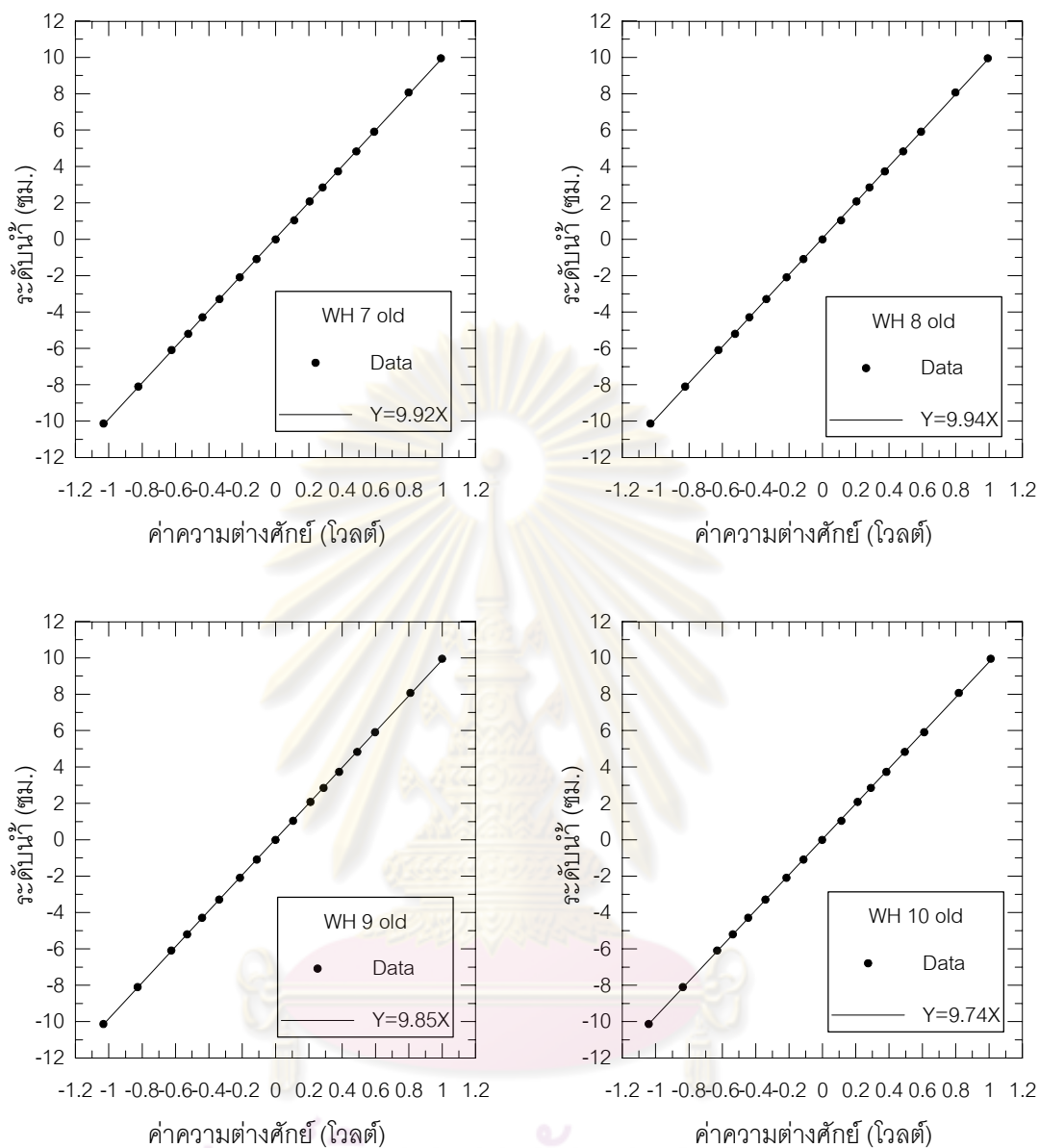
ตารางที่ ข-2 การเปรียบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่น (wave height meter)

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข-1 การเปรียบเทียบเครื่องวัดความสูงคลื่น (ตัวใหม่)



รูปที่ ข-3 การเปรียบเทียบเครื่องวัดความสูงคลื่น (ตัวเก่า)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-3 การเปรียบเทียบเครื่องมือวัดความเร็วการไหล

เครื่องมือวัดความเร็วการไหลแบบ 3 ทิศทางของ OSK รุ่น ACM 300-D ใช้วัดความเร็วของอนุภาคน้ำในแบบจำลอง สามารถวัดความเร็วการไหลได้ 3 แกน ประกอบด้วย แกน X (แนวระนาบตามทิศทางคลื่น) แกน Y (แนวระนาบตั้งฉากทิศทางคลื่น) และแกน Z (แนวตั้ง)

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือวัดความเร็วการไหลดังกล่าว จะทำการส่งสัญญาณไปยังเครื่องแสดงผลให้แปลค่าสัญญาณเป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งสามารถส่งสัญญาณเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อบันทึกและประมวลผลข้อมูล ผลการเปรียบเทียบโดย ปิยะ ภูณาสล (2004) ได้เปรียบเทียบความเร็วในแกน X และแกน Y แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วเปลี่ยนไป 1 เซนติเมตร/วินาที ค่าความต่างศักย์จะเปลี่ยนไป 0.02 โวลต์ โดยผลการเปรียบเทียบได้แสดงในตารางที่ ข-3 และตารางที่ ข-4 นอกจากนี้ยังได้แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความเร็วการไหลและค่าความต่างศักย์ ดังแสดงในรูปที่ ข-4 และรูปที่ ข-5 ส่วนความเร็วในแกน Z นั้นไม่สามารถเปรียบเทียบได้แต่เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบความเร็วจากแกน X และแกน Y ที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ผู้ผลิตได้เปรียบเทียบไว้โดยทั้ง 3 แกนมีค่าเท่ากัน ดังนั้นค่าความเร็วในแกน Z จึงน่าจะเท่ากับค่าใน X และแกน Y เหมือนเดิม

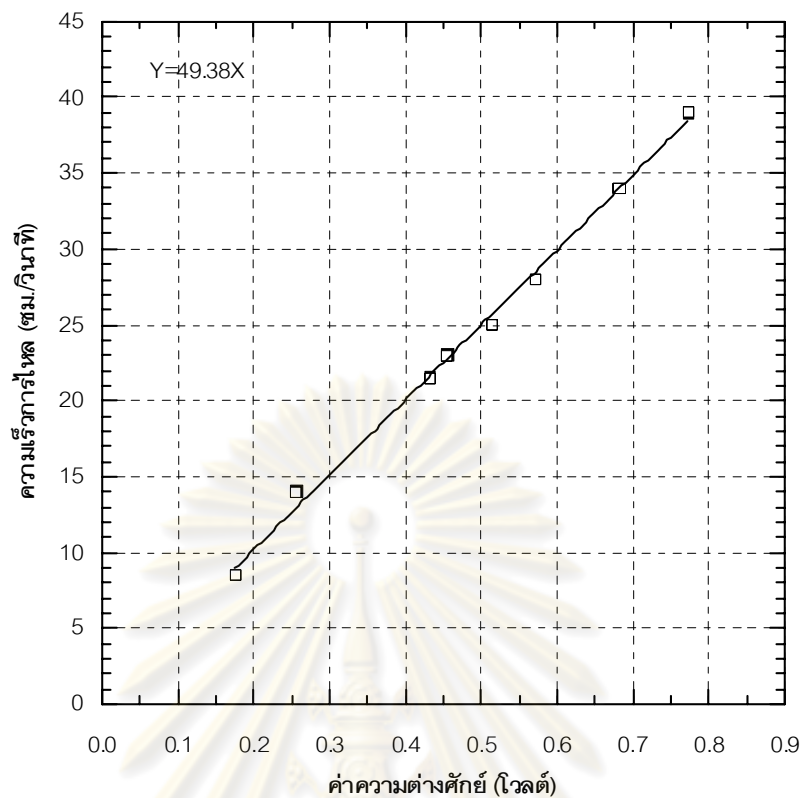
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-3 การเปรียบเทียบความเร็วในแกน X

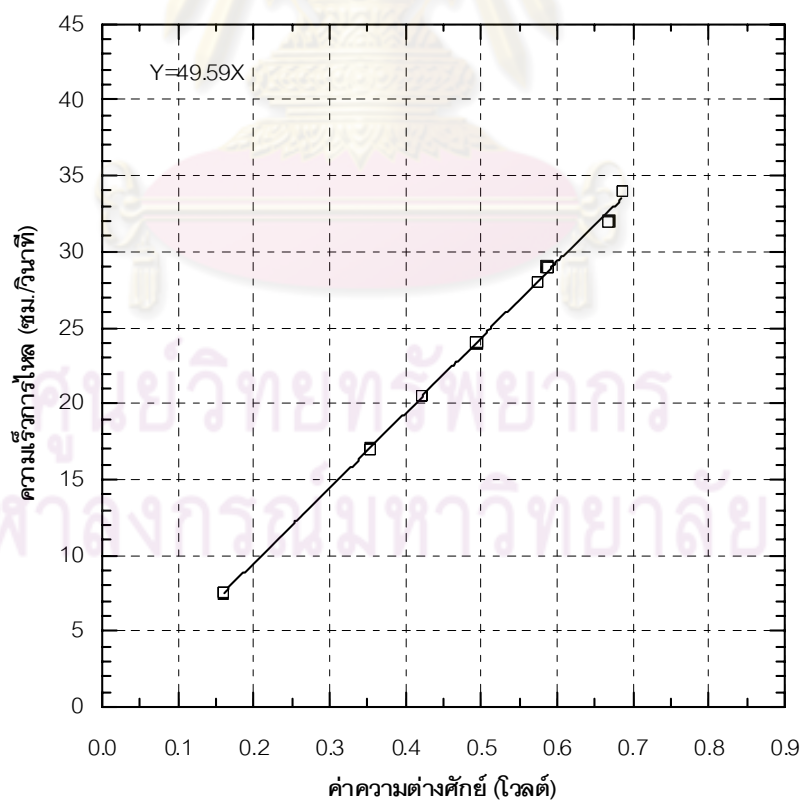
ระยะทาง (ซม.)	เวลา (วินาที)	ความเร็วรถ (ซม./วินาที)	ความเร็วของ Current Meter (ซม./วินาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
1200	159.66	7.52	8.50	0.176
1200	91.53	13.11	14.00	0.256
1200	64.56	18.59	21.50	0.432
1200	62.94	19.07	23.00	0.455
1200	55.09	21.78	25.00	0.514
1200	48.78	24.60	28.00	0.572
1200	40.58	29.57	34.00	0.682
1200	36.13	33.21	39.00	0.773

ตารางที่ ข-4 การเปรียบเทียบความเร็วในแกน Y

ระยะทาง (ซม.)	เวลา (วินาที)	ความเร็วรถ (ซม./วินาที)	ความเร็วของ Current Meter (ซม./วินาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
1200	148.98	8.05	7.50	0.160
1200	63.66	18.85	17.00	0.354
1200	53.56	22.40	20.50	0.422
1200	45.46	26.40	24.00	0.494
1200	40.73	29.46	28.00	0.575
1200	38.50	31.17	29.00	0.587
1200	34.45	34.83	32.00	0.668
1200	32.74	36.65	34.00	0.686



รูปที่ ข-4 การปรับเทียบความเร็วการไหลในแกน X



รูปที่ ข-5 การปรับเทียบความเร็วการไหลในแกน Y



ภาคผนวก ค
ข้อมูลจากการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

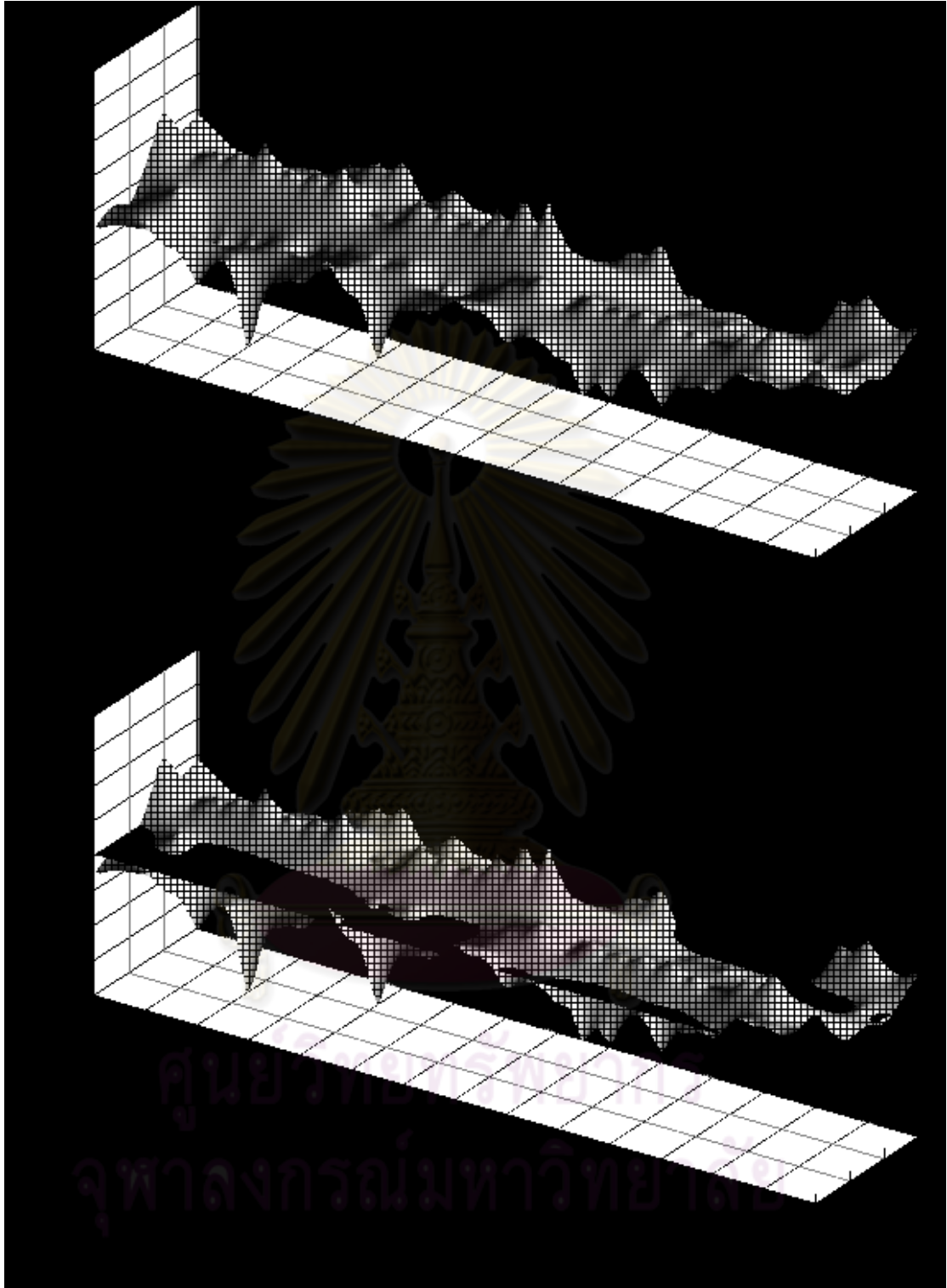
ข้อมูลจากการทดลอง

ค-1 พื้นผิวอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น

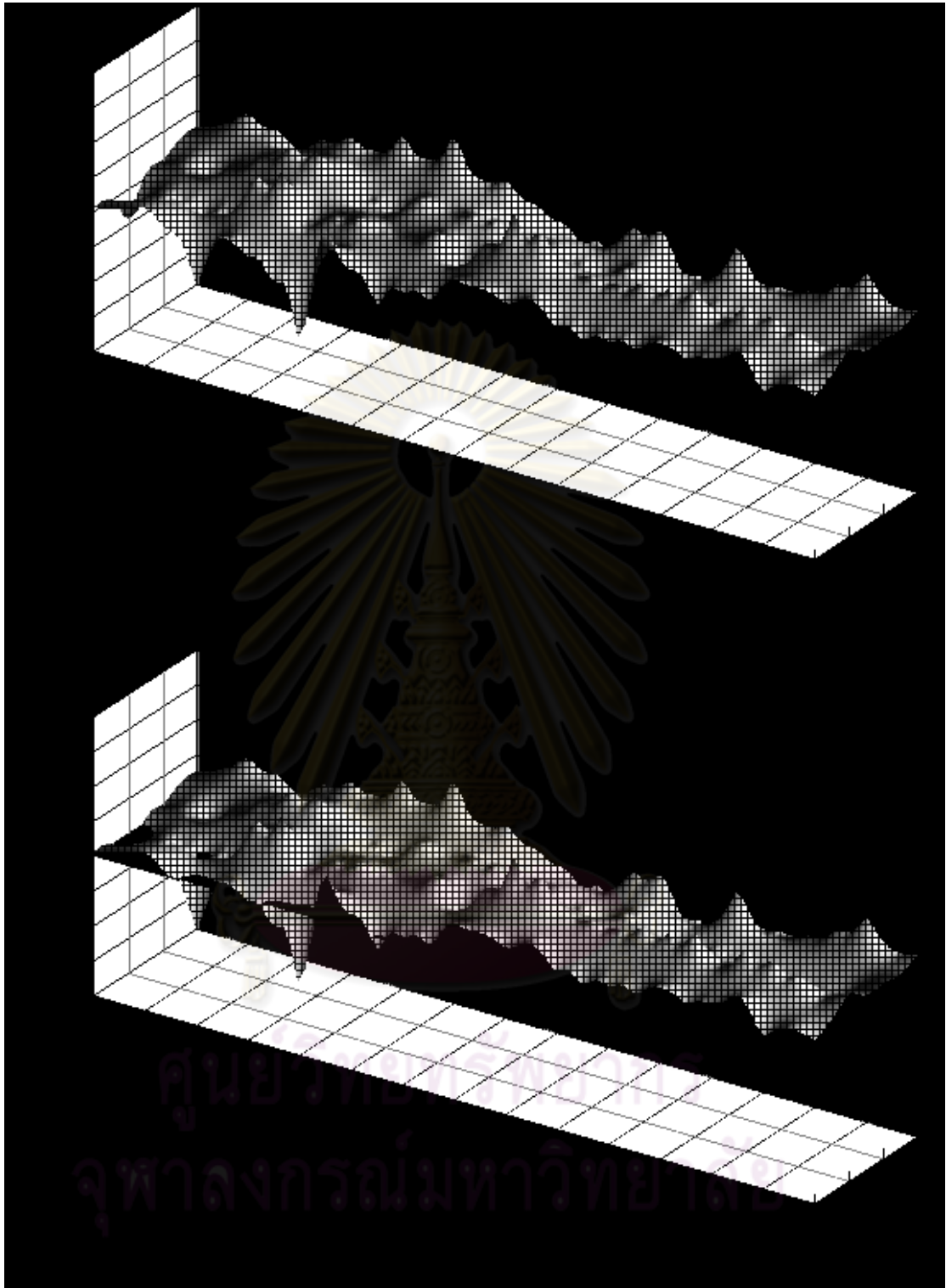
ข้อมูลความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ หลังเชื่อมกันคลื่น ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติของแต่ละรูปแบบการจัดเรียงทั้งกรณีมีเชื่อมกันคลื่นและกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น ได้นำมาเปรียบเทียบความสูงคลื่นกรณีมีเชื่อมกันคลื่นกับความสูงคลื่นกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่นแสดงในรูปของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ($K_{P(X,Y)}$) โดยแยกตามค่าความชันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ ค-1 ถึง ค-18

ค-2 เวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคน้ำ

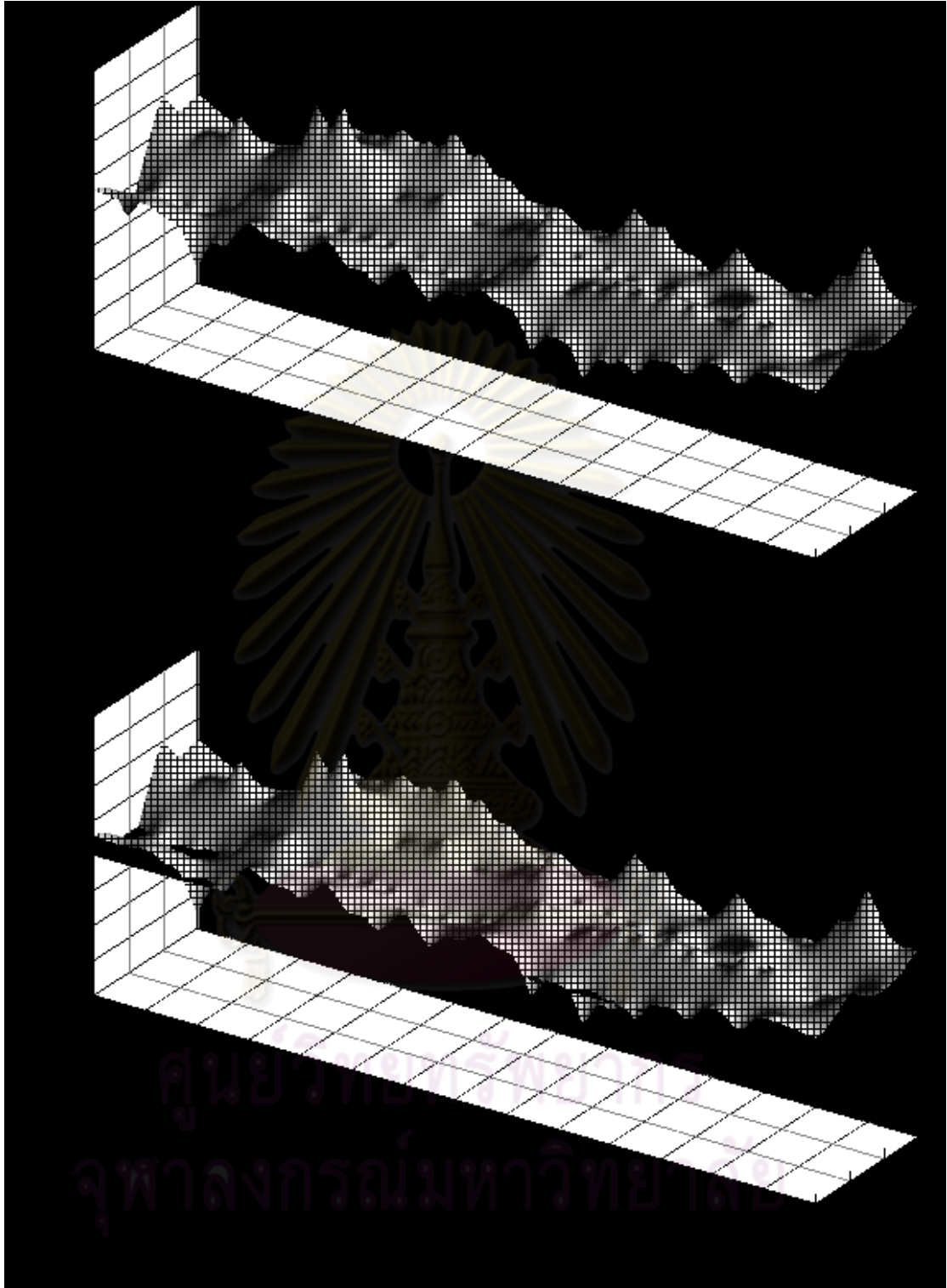
ความเร็วของอนุภาคน้ำภายใต้คลื่น นำเสนอเฉพาะความเร็วในแนวตั้งฉากกับเชื่อมกันคลื่นเนื่องจากเป็นทิศทางที่กระแสน้ำเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง ดังแสดงในรูปที่ ค-19 ถึง ค-36



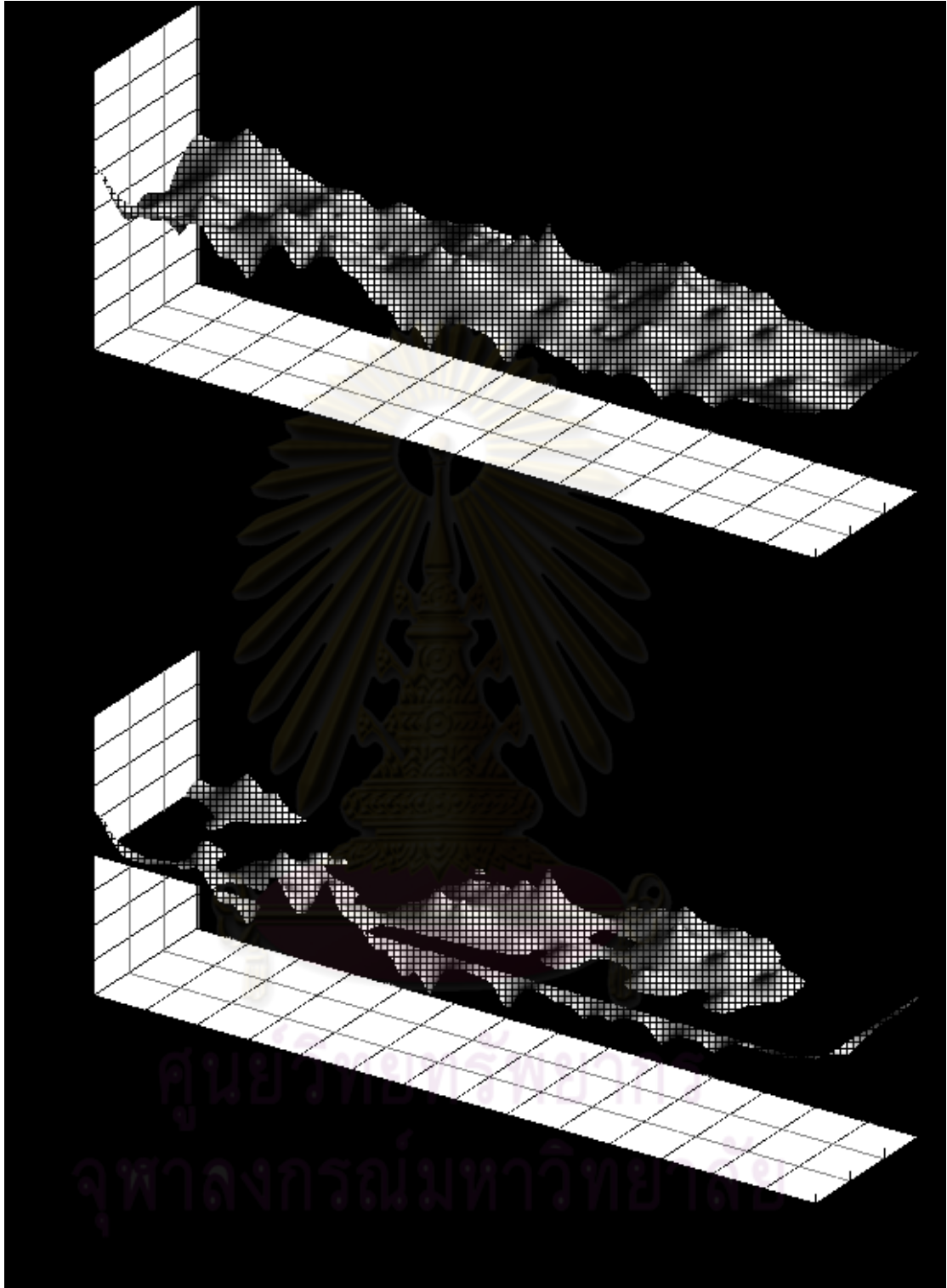
รูปที่ ค-1 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V0 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0013



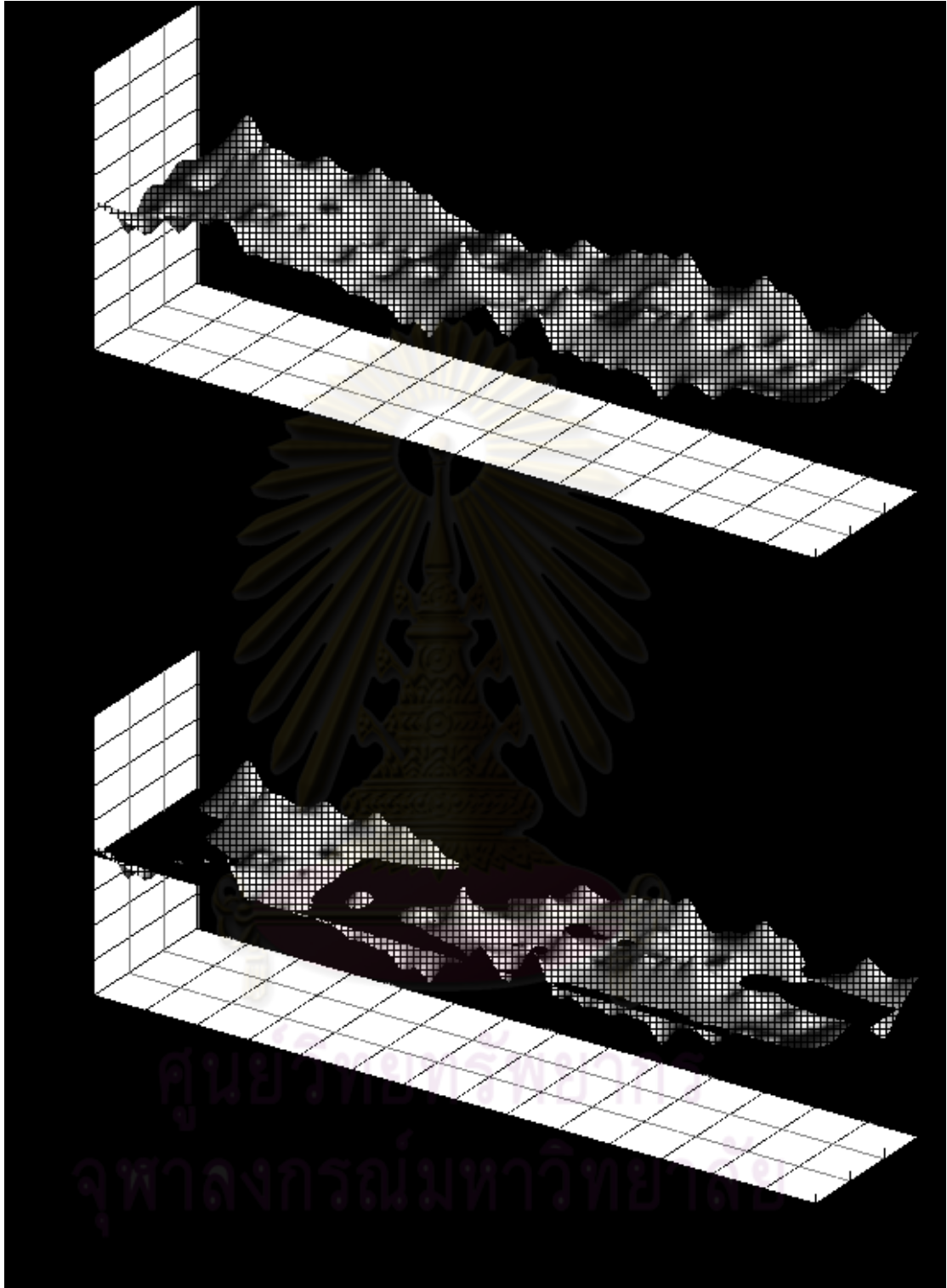
รูปที่ ค-2 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V2 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0013



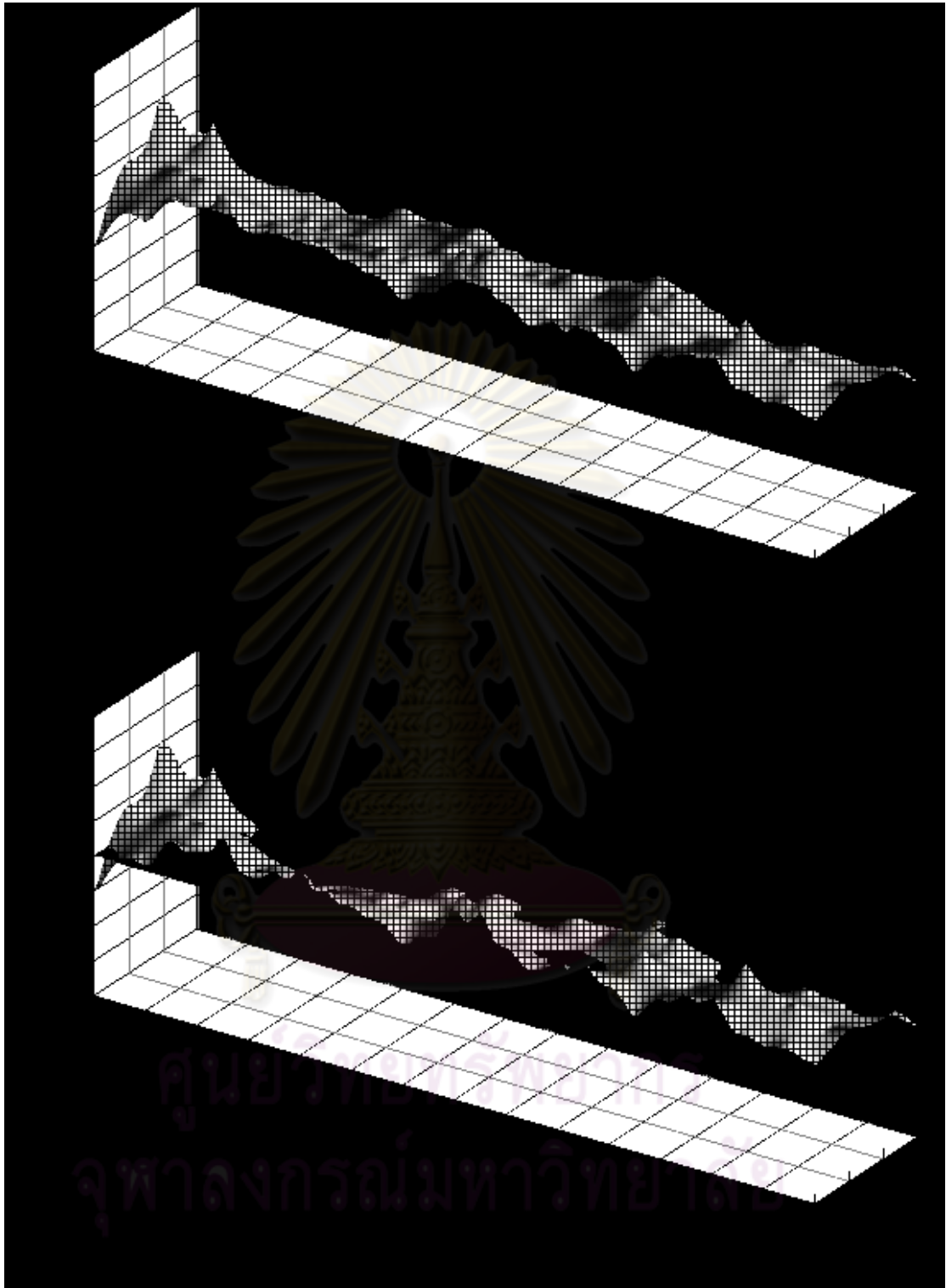
รูปที่ ค-3 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V4 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0013



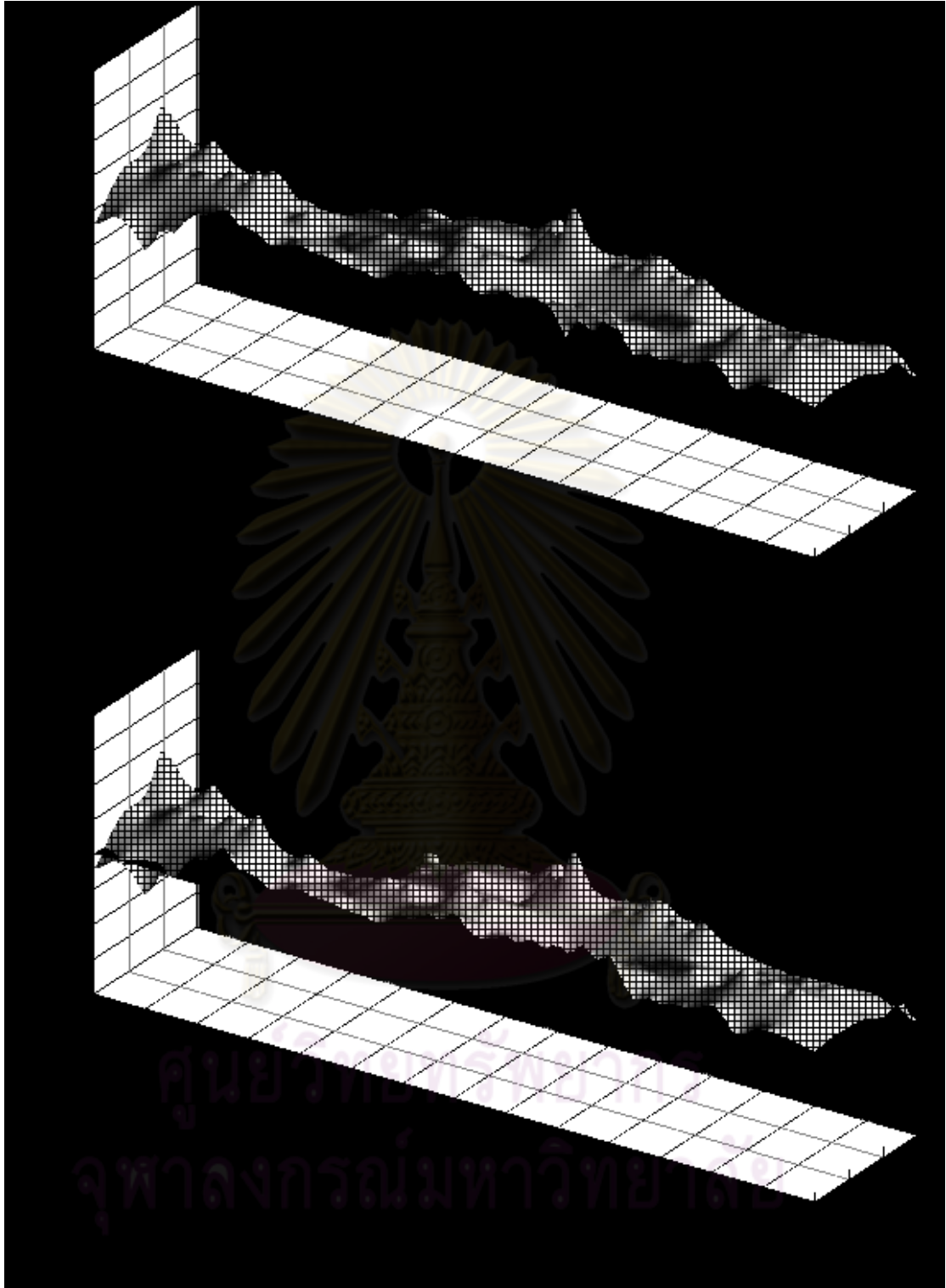
รูปที่ ค-4 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V6 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0013



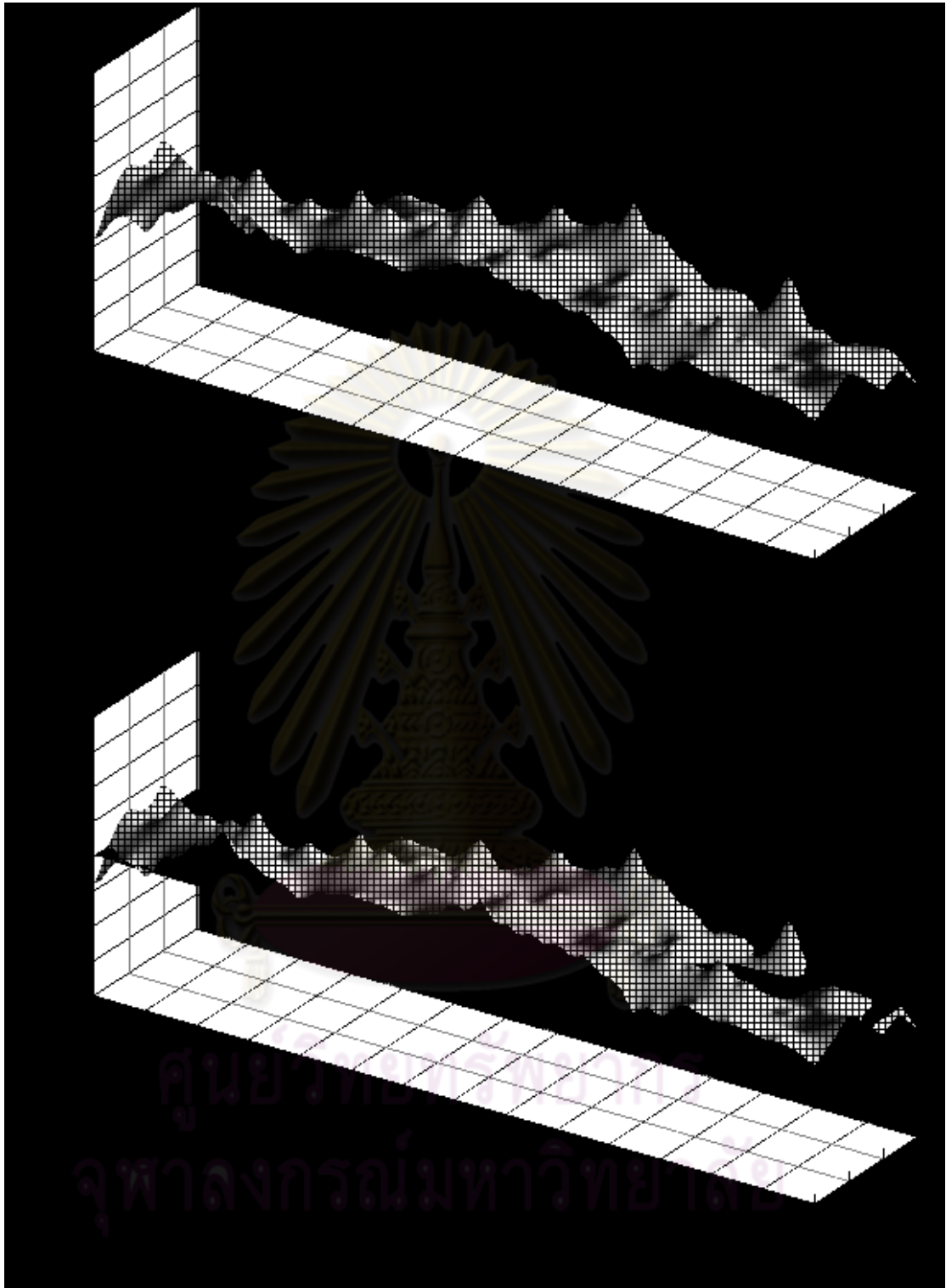
รูปที่ ค-5 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V8 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0013



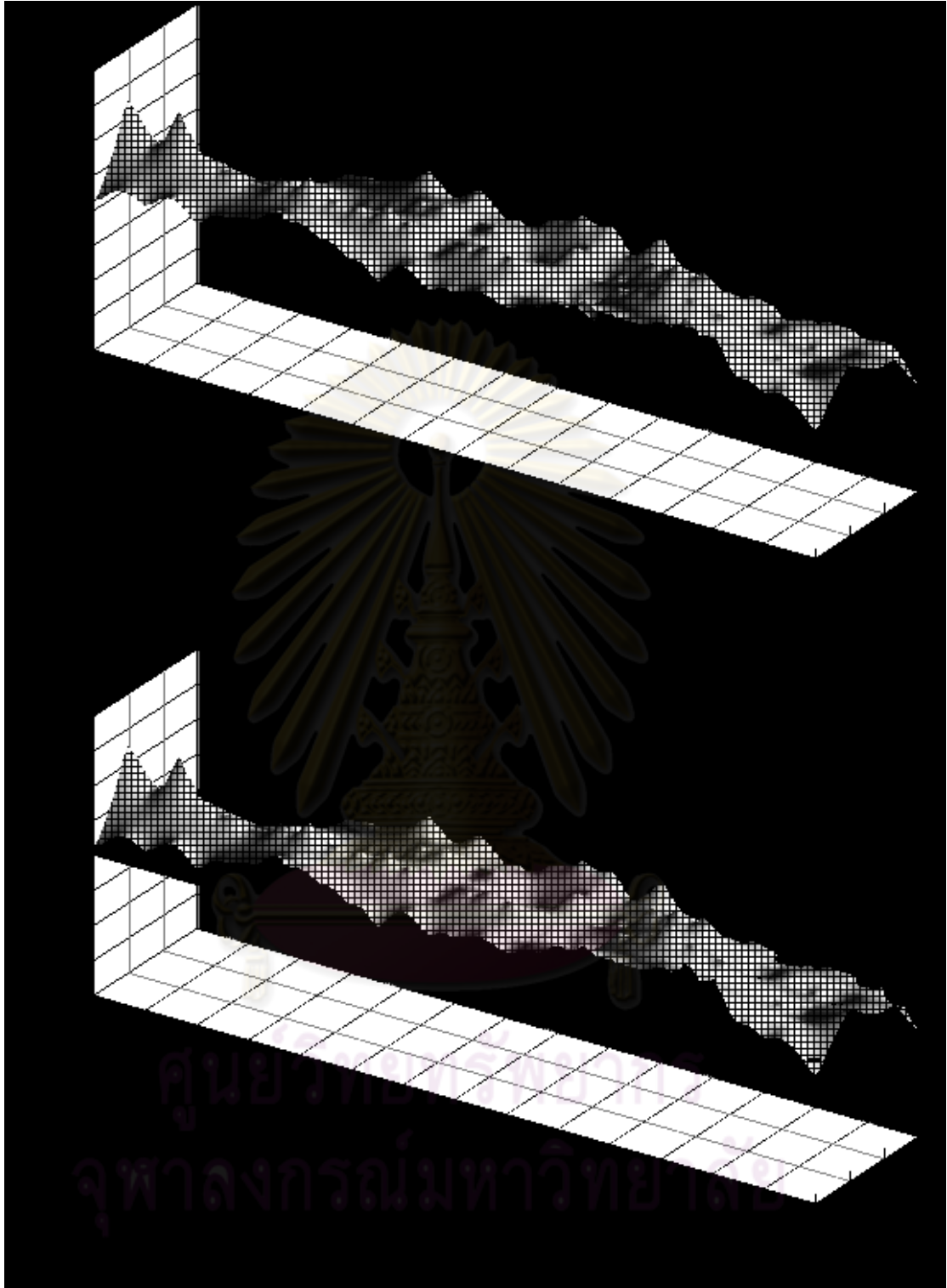
รูปที่ ค-7 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V0 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0031



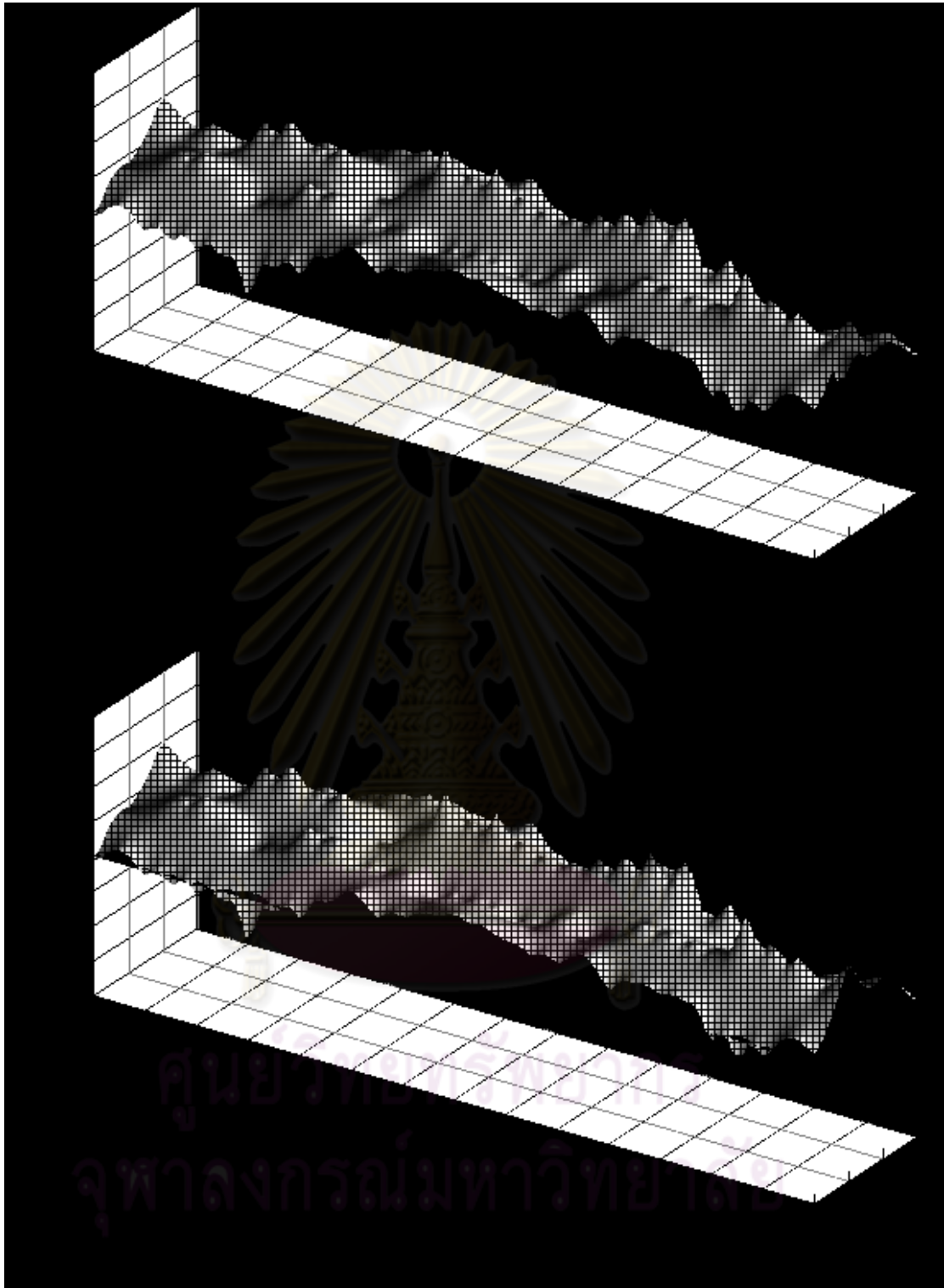
รูปที่ ค-8 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V2 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0031



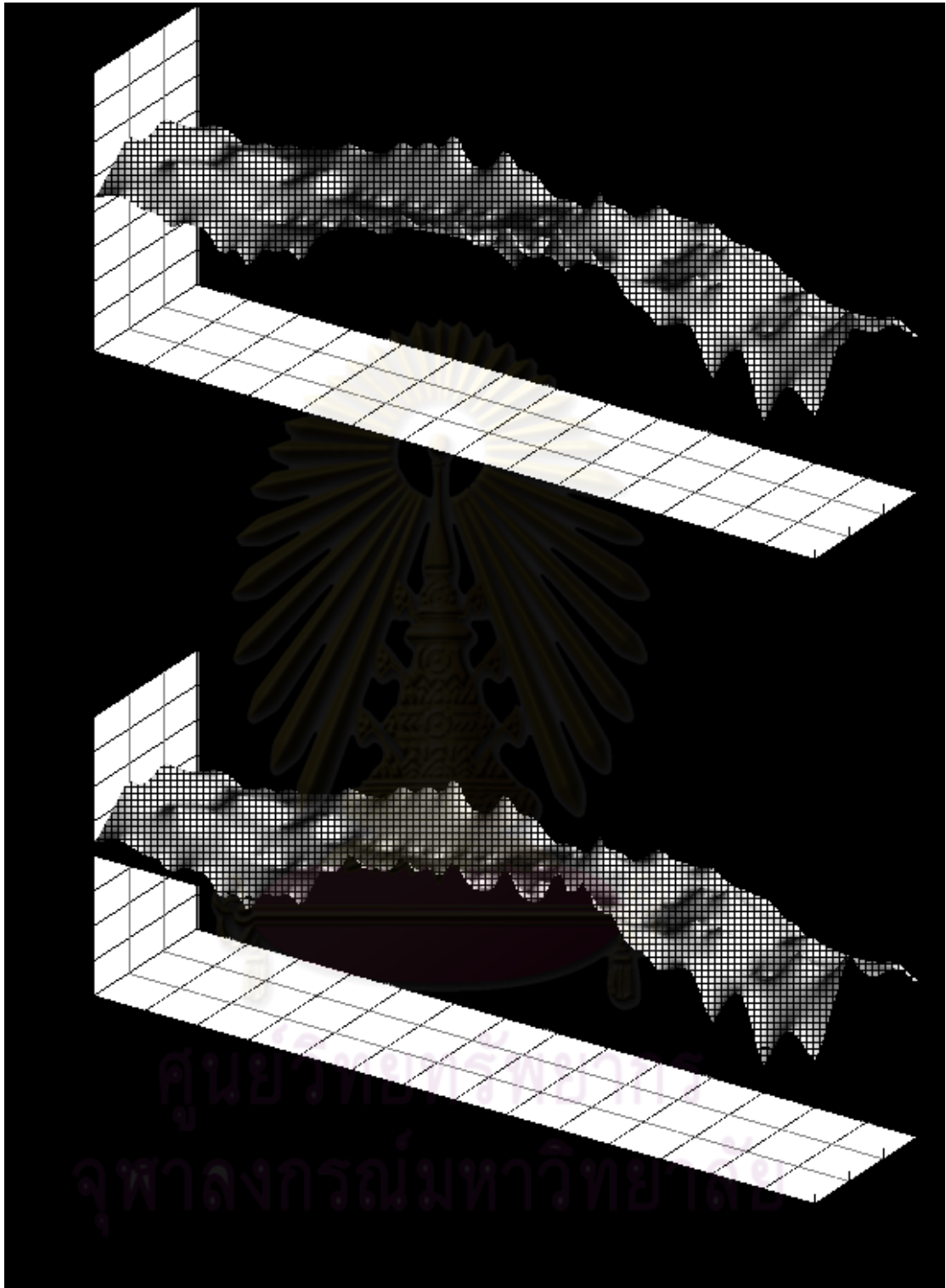
รูปที่ ค-9 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V4 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0031



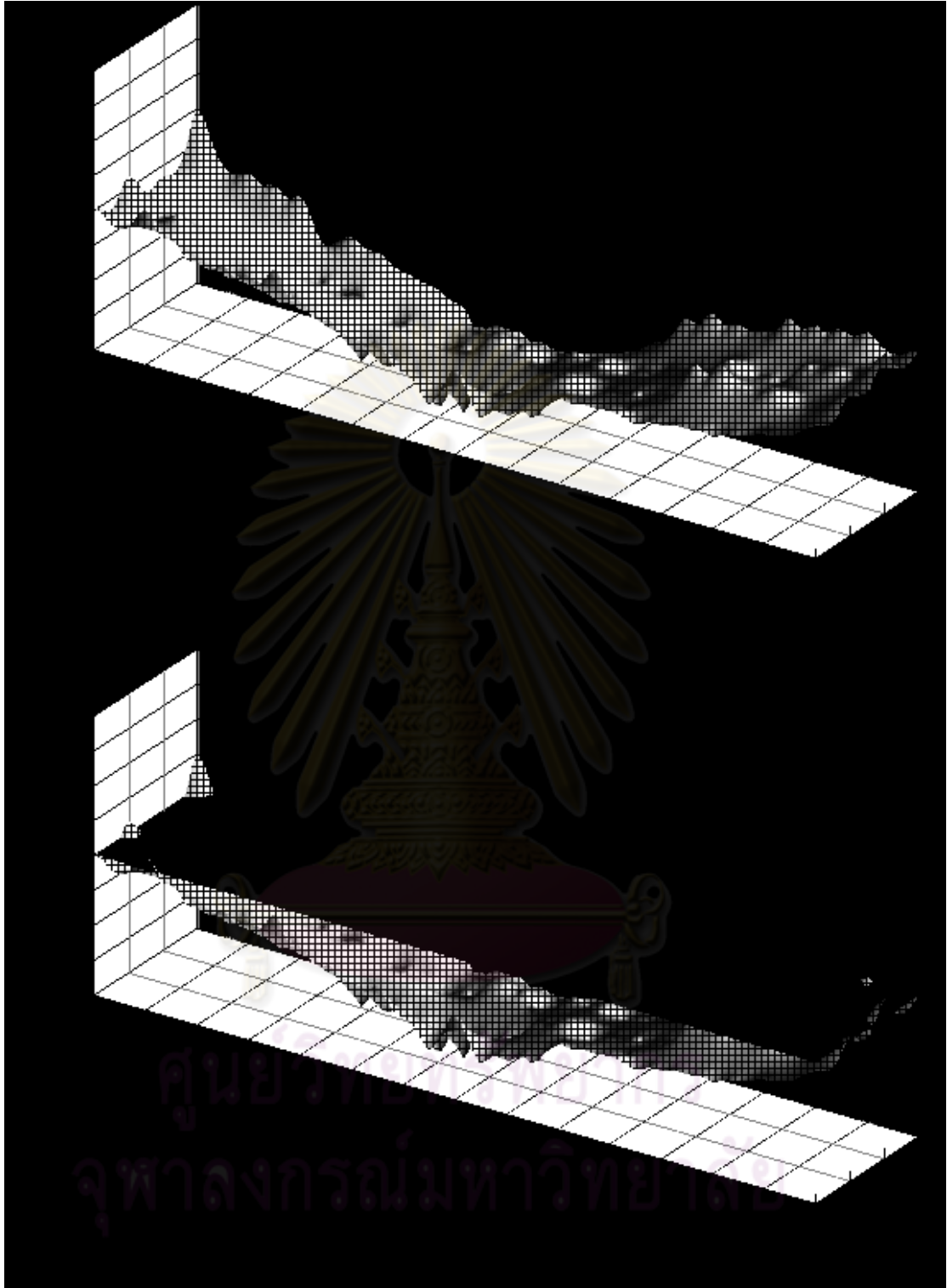
รูปที่ ค-10 รูปแบบเชื่อมกันคลื่น V6 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0031



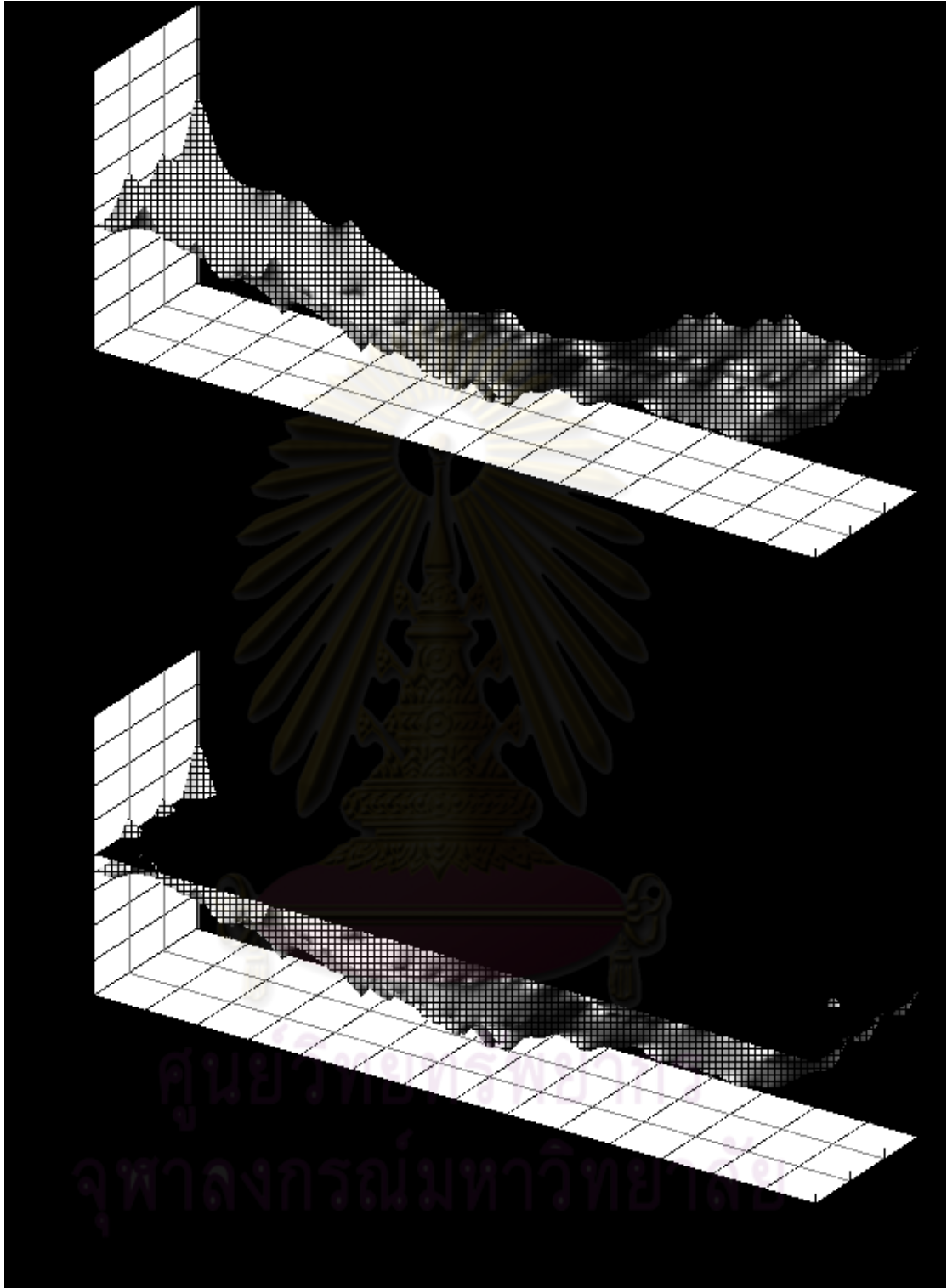
รูปที่ ค-11 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V8 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0031



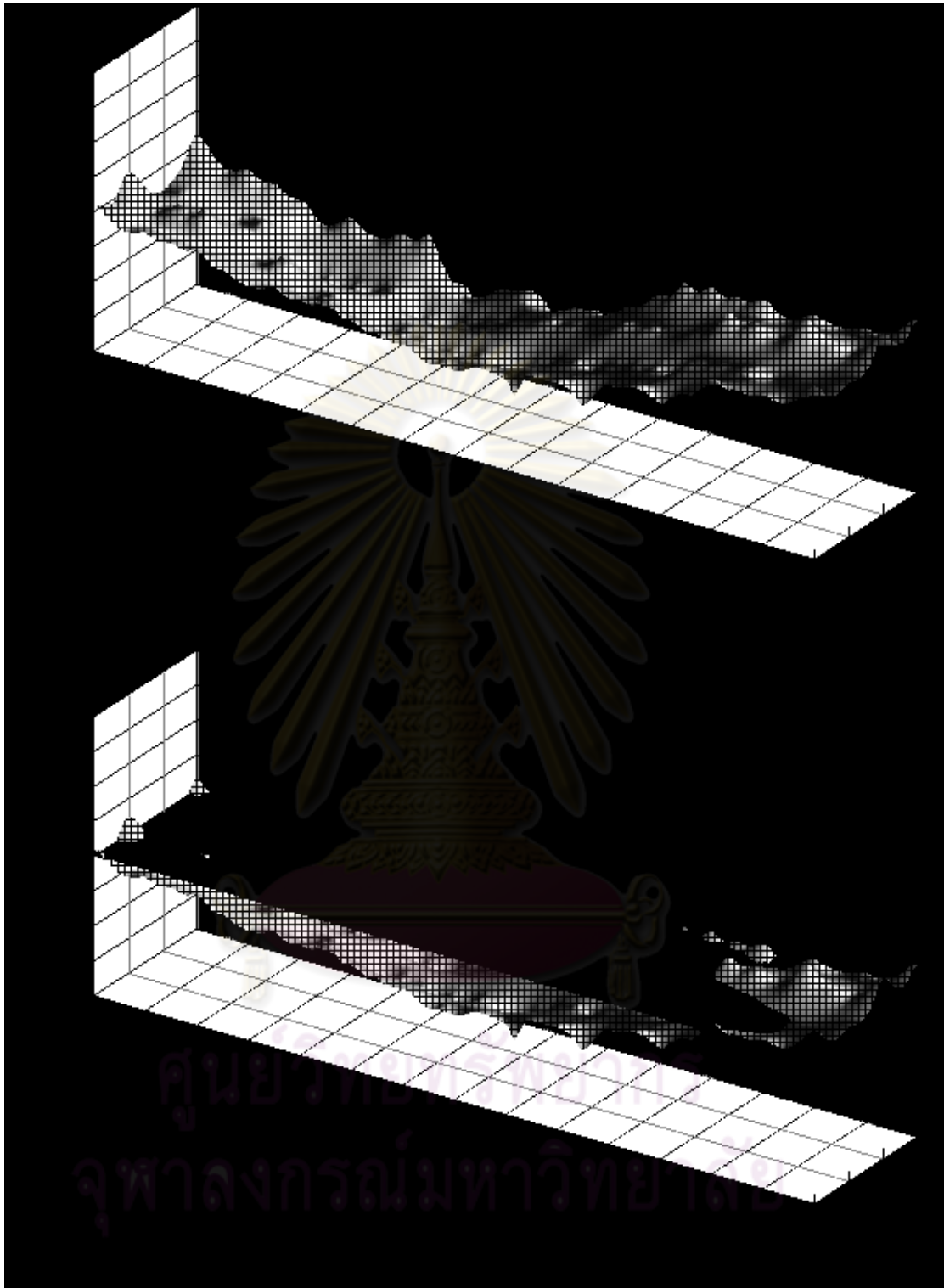
รูปที่ ค-12 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V10 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0031



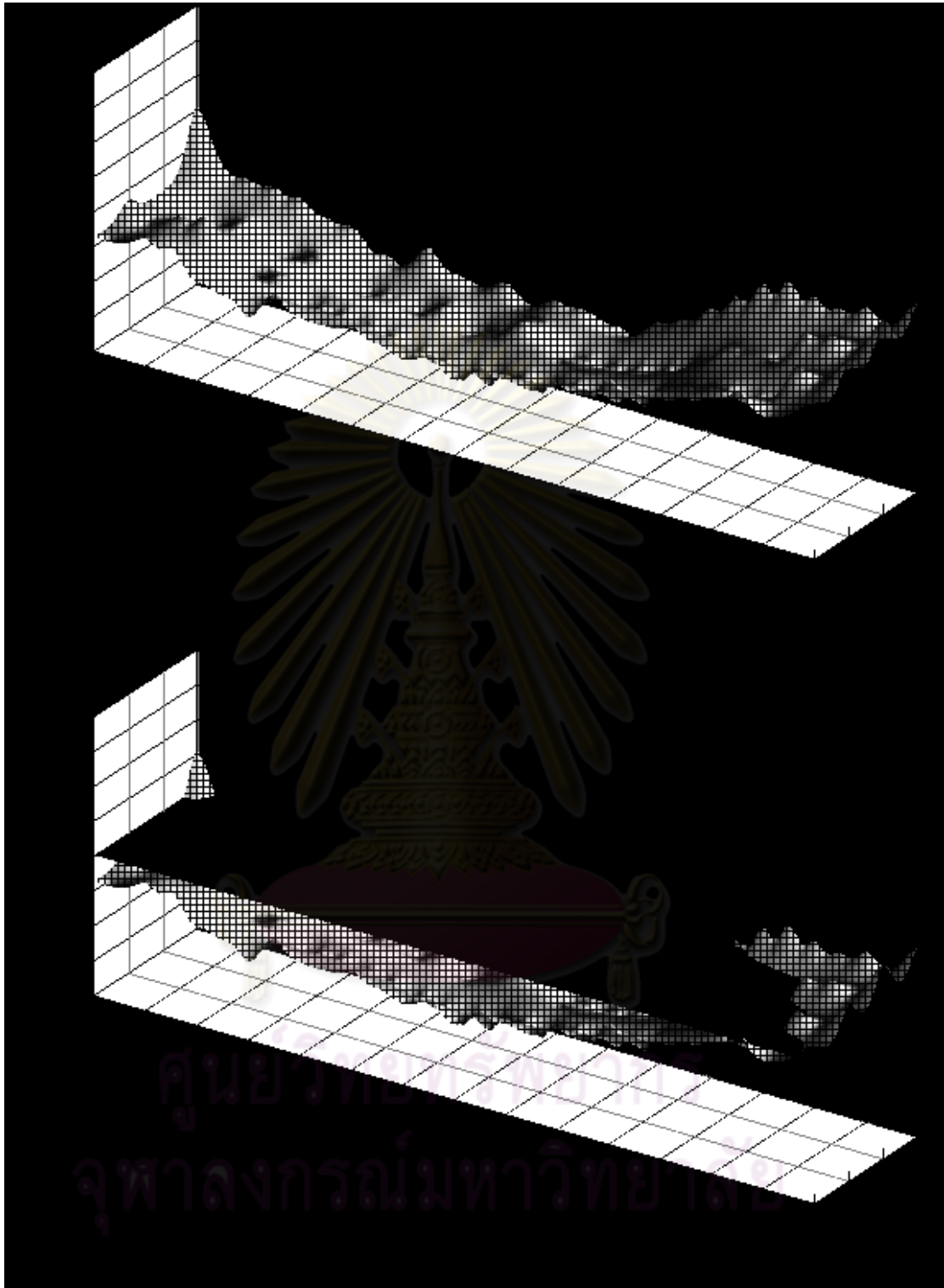
รูปที่ ค-13 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V0 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0078



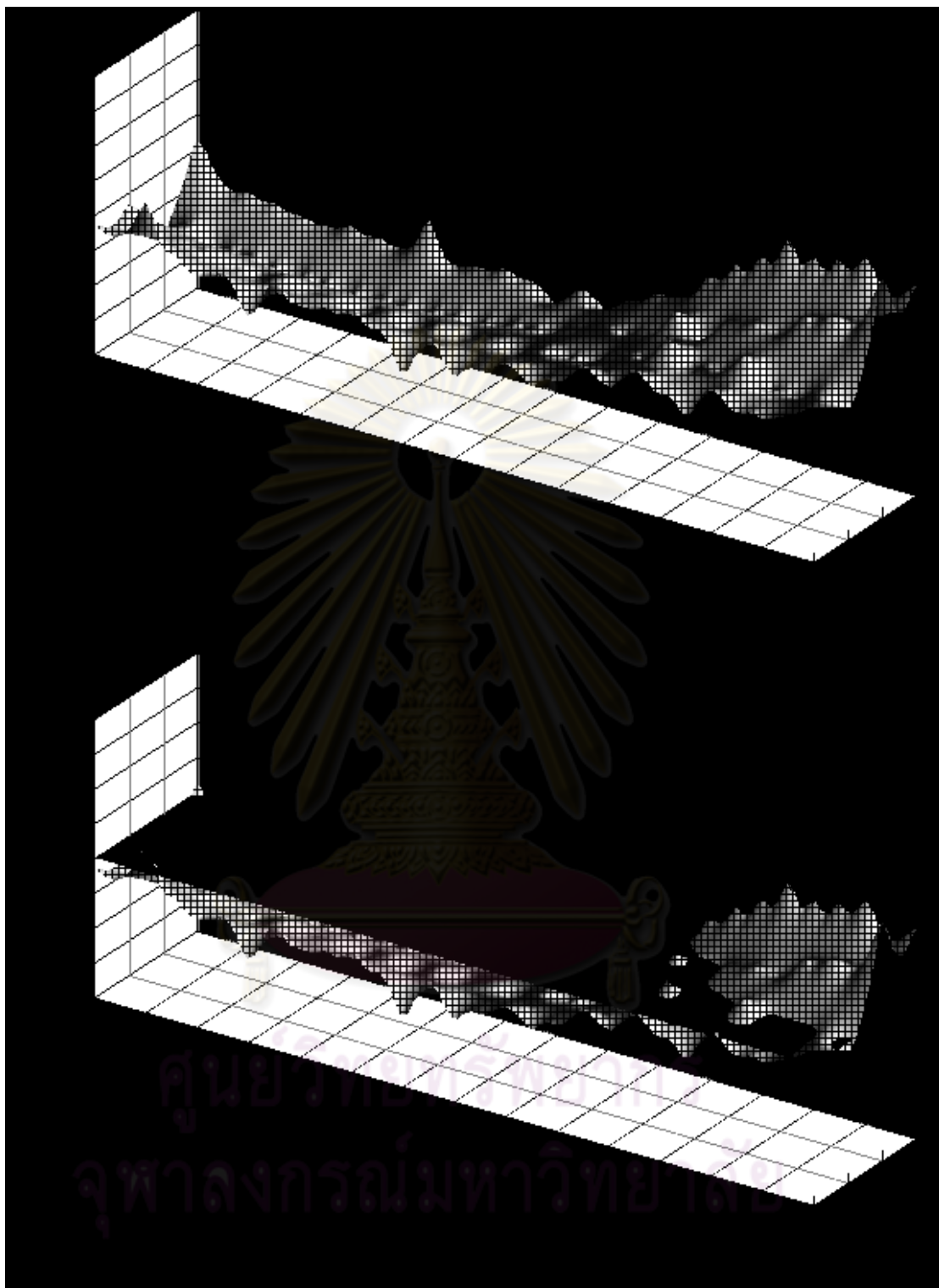
รูปที่ ค-14 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V2 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0078



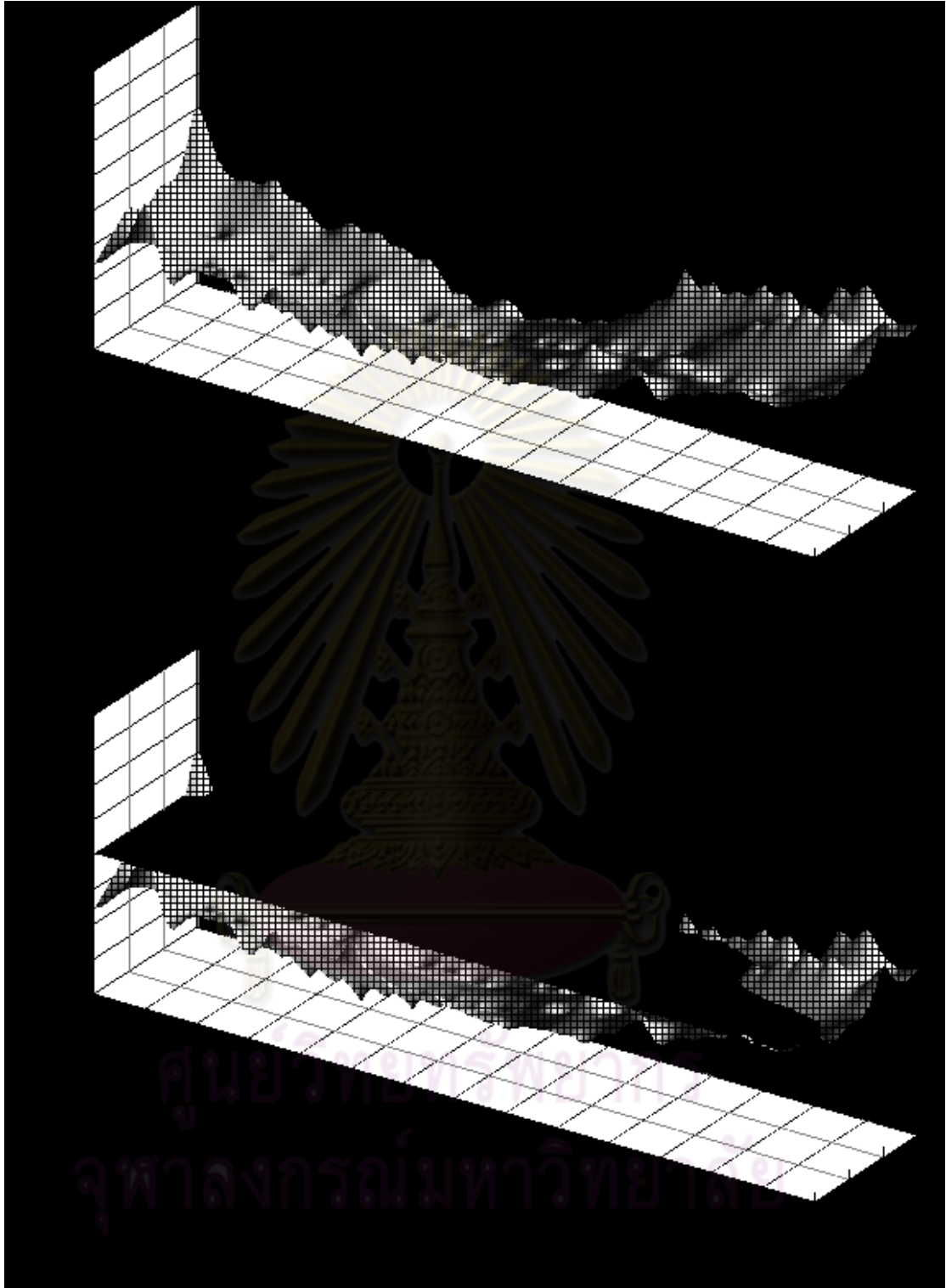
รูปที่ ค-15 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V4 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0031



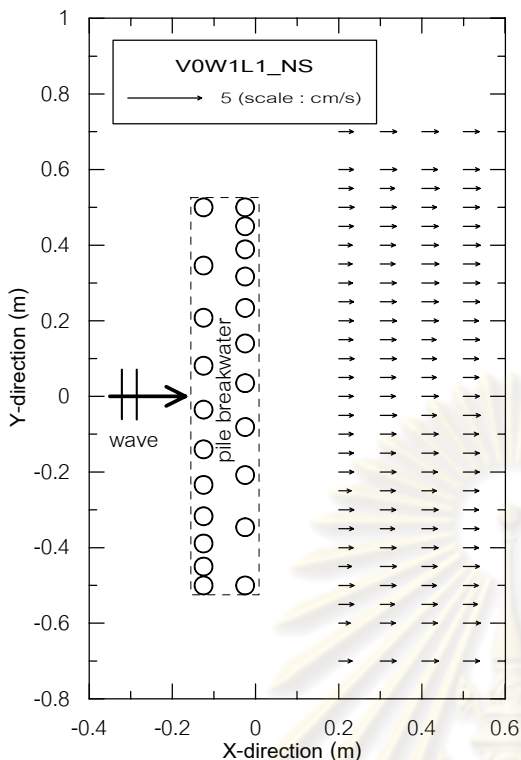
รูปที่ ค-16 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V6 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0031



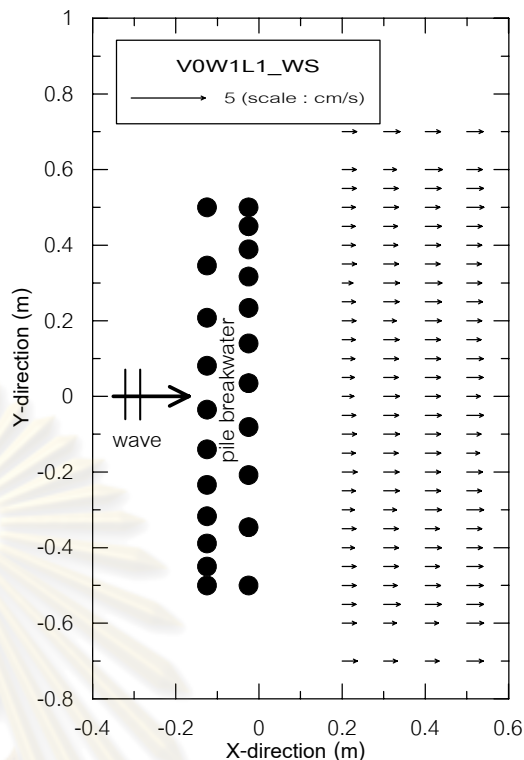
รูปที่ ค-17 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V8 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0078



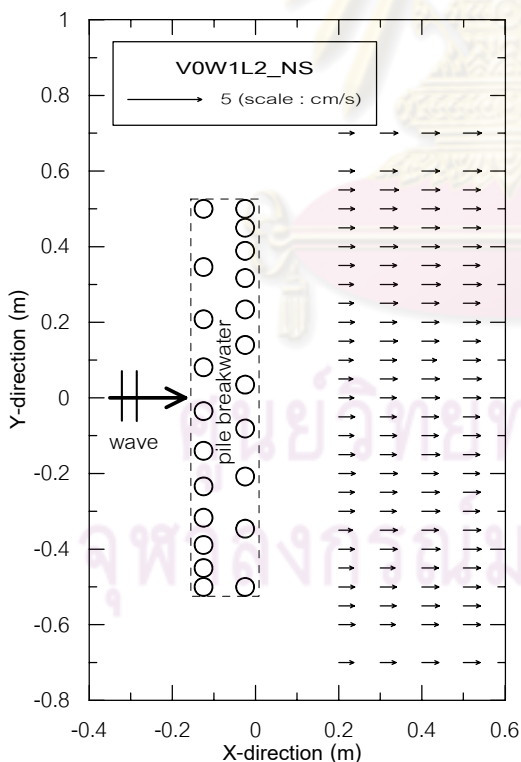
รูปที่ ค-18 รูปแบบเขื่อนกันคลื่น V10 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0078



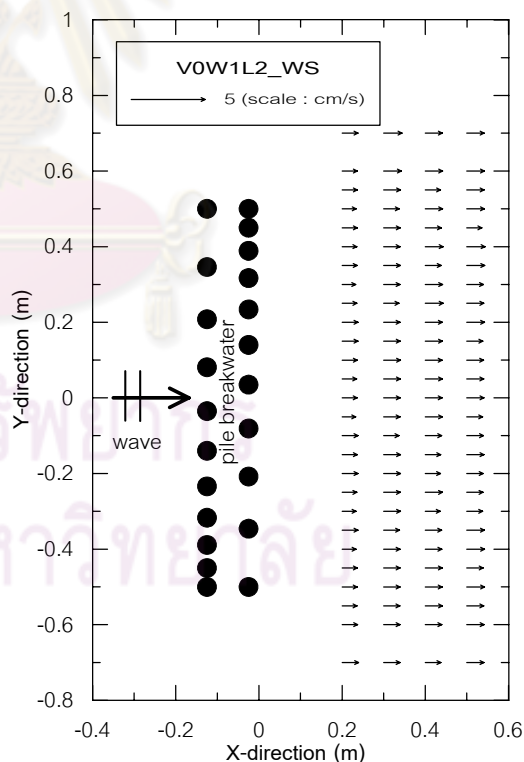
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

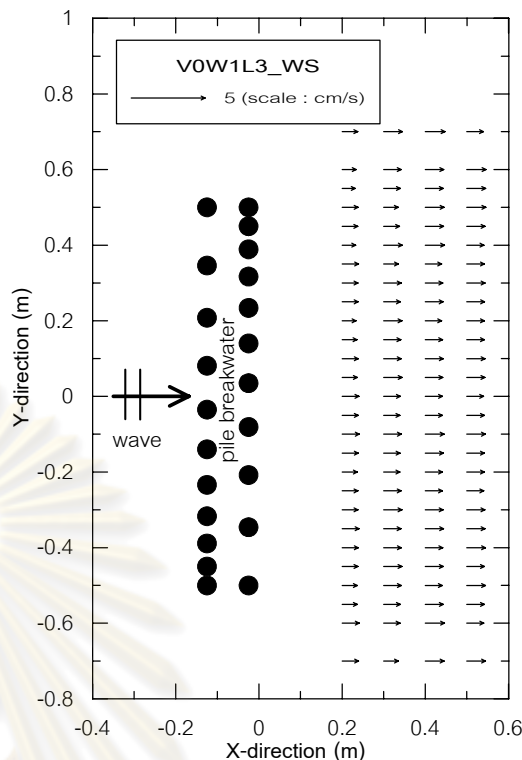
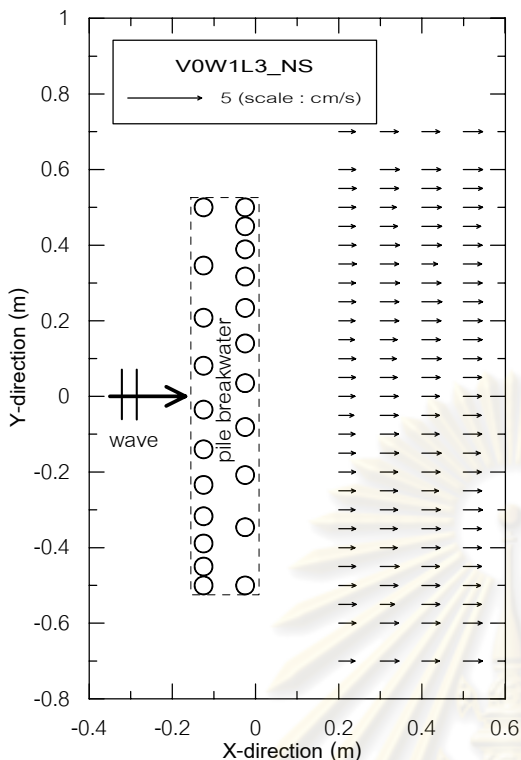


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.64d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

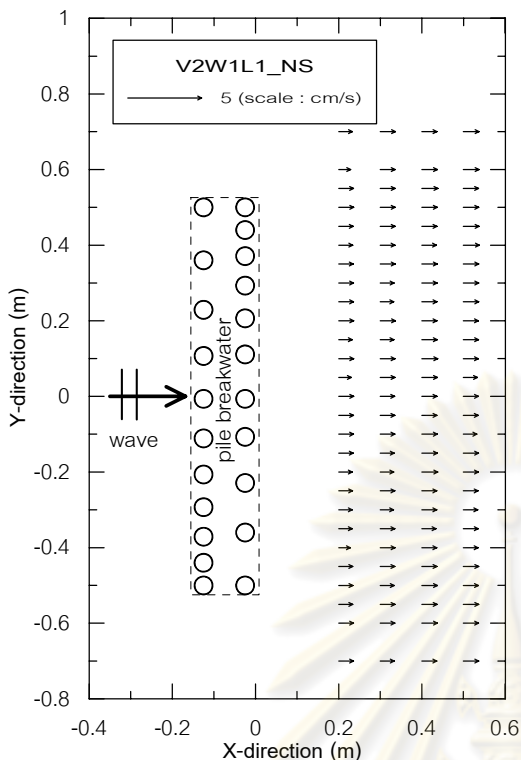
รูปที่ ค-19 เวกเตอร์ความเร็วของเขื่อนกันคลื่น V0 ความชันคลื่น(H_w/gT^2) เท่ากับ 0.0013



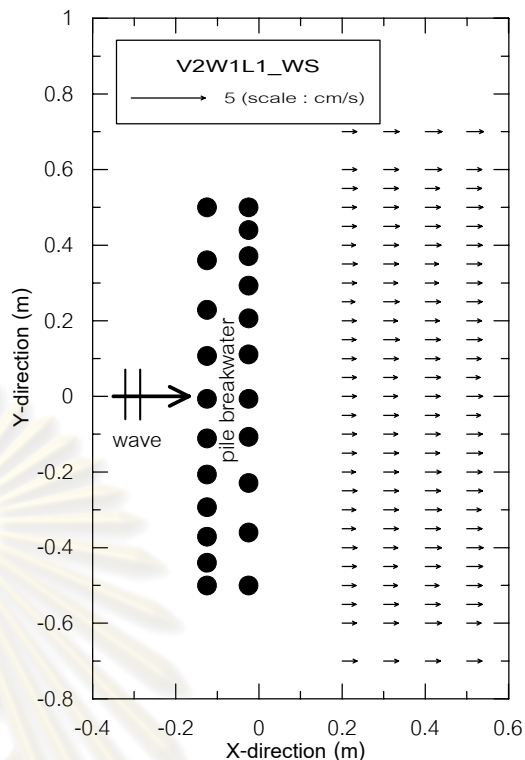
ระดับ 0.81d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)

ระดับ 0.81d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

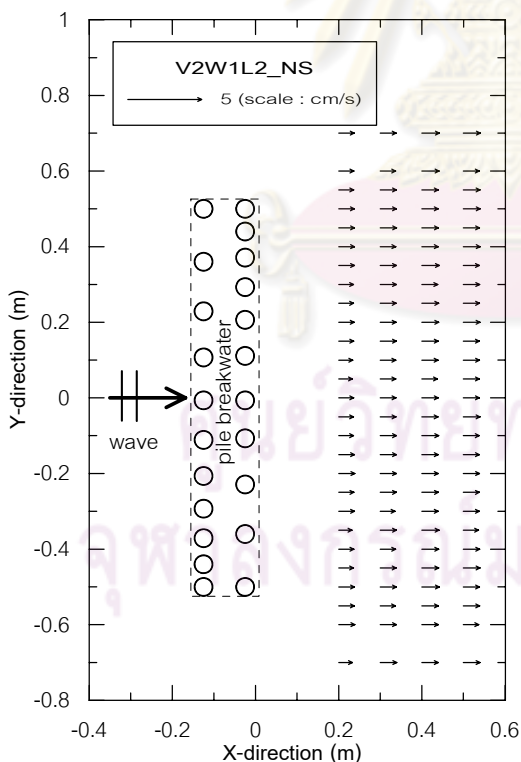
รูปที่ ค-19 เวกเตอร์ความเร็วของเขื่อนกันคลื่น V0 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0013 (ต่อ)



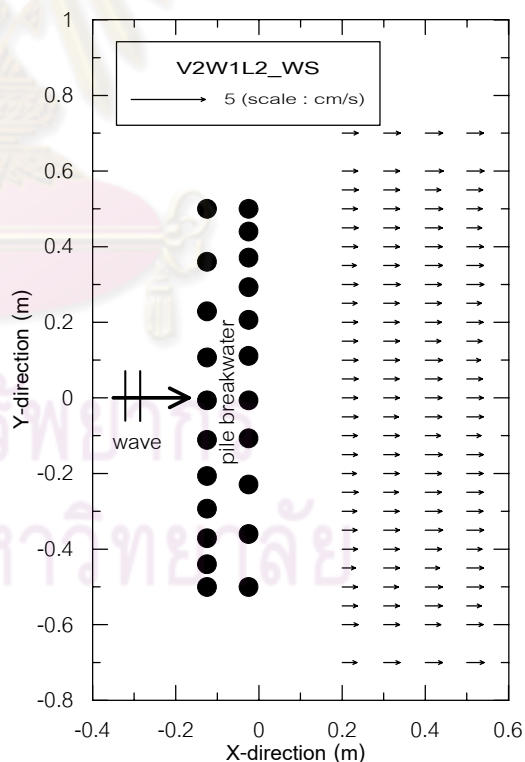
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

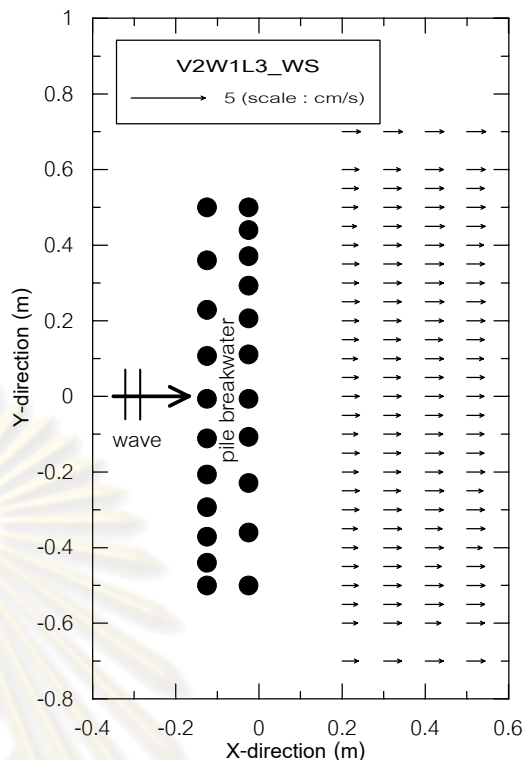
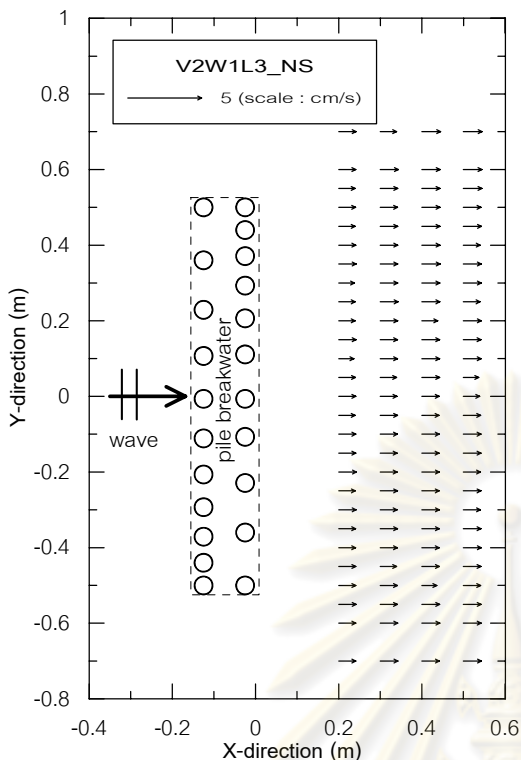


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.64d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

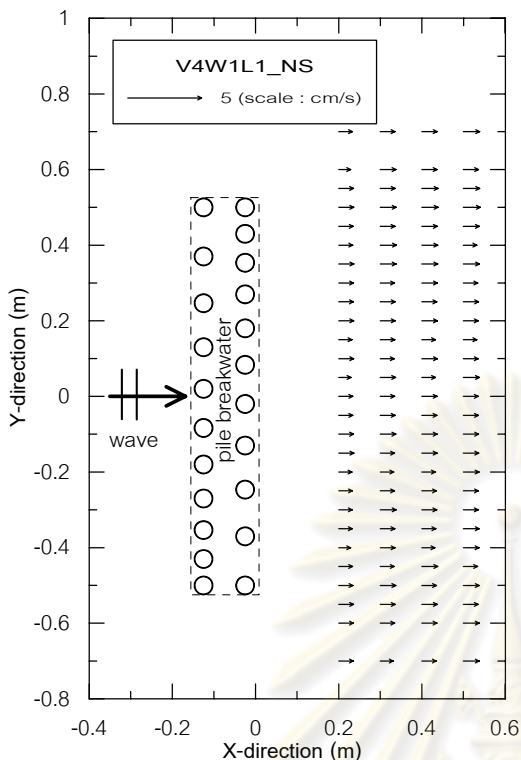
รูปที่ ค-20 เวกเตอร์ความเร็วของเขื่อนกันคลื่น V2 ความชันคลื่น(H_w/gT^2) เท่ากับ 0.0013



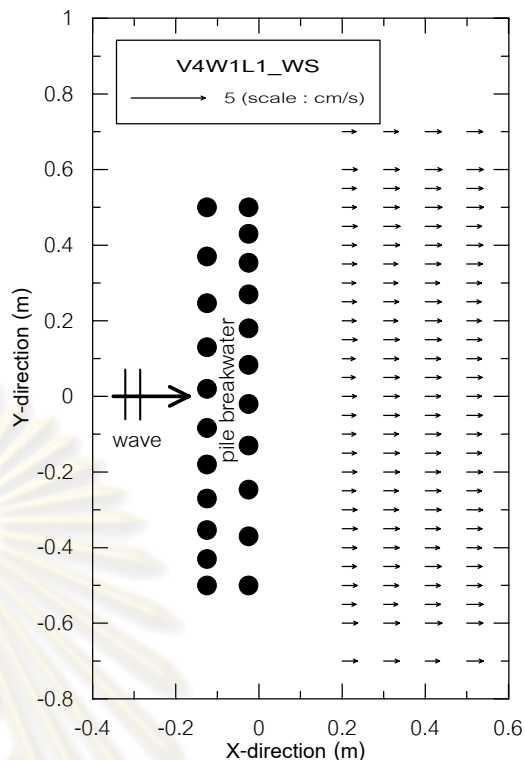
ระดับ 0.81d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)

ระดับ 0.81d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

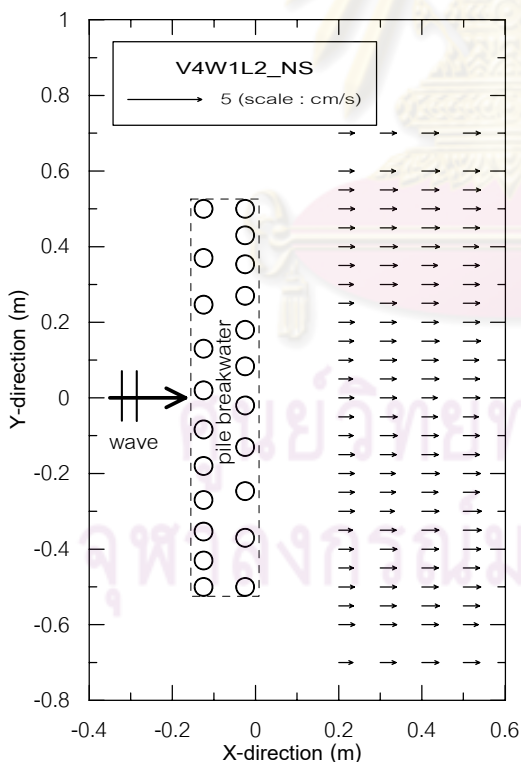
รูปที่ ค-20 เวกเตอร์ความเร็วของเขื่อนกันคลื่น V2 ความชันคลื่น(H_w/gT^2) เท่ากับ 0.0013



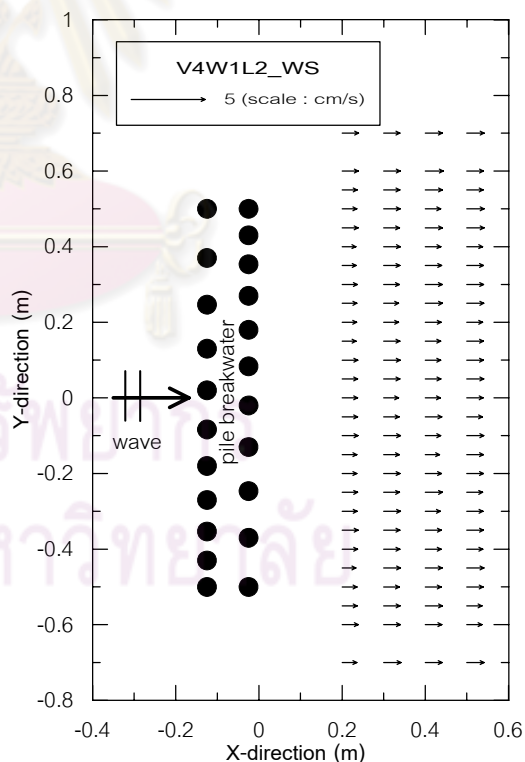
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

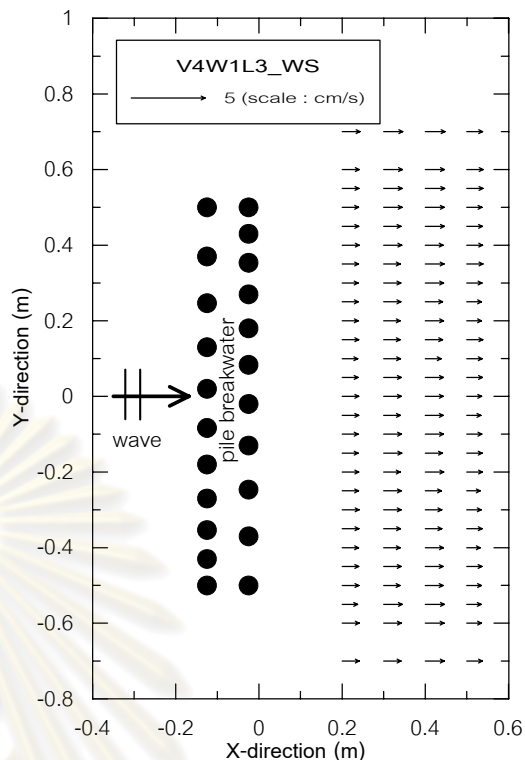
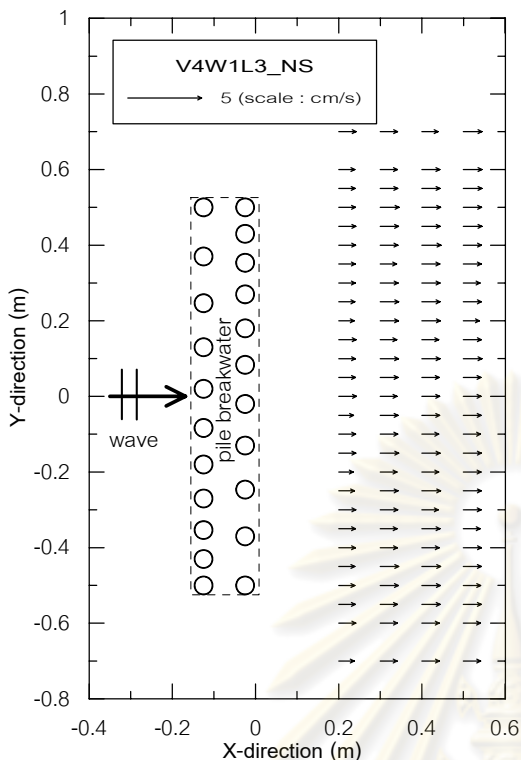


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.64d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

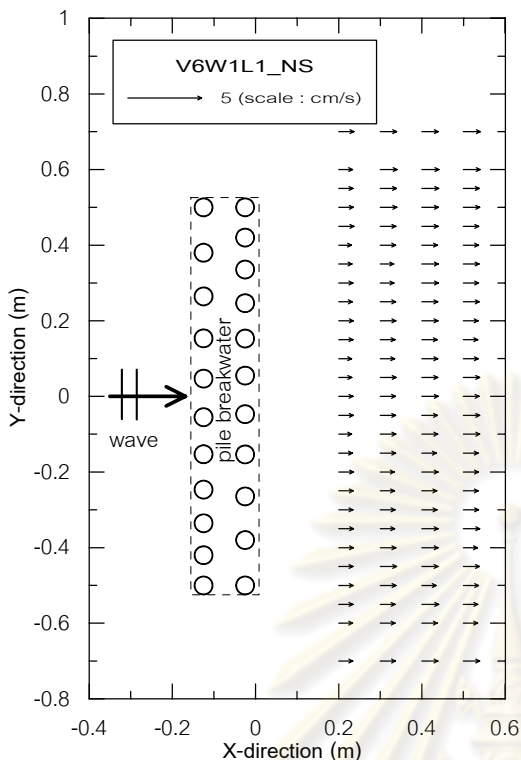
รูปที่ ค-21 เวกเตอร์ความเร็วของเขื่อนกันคลื่น V4 ความชันคลื่น(H_w/gT^2) เท่ากับ 0.0013



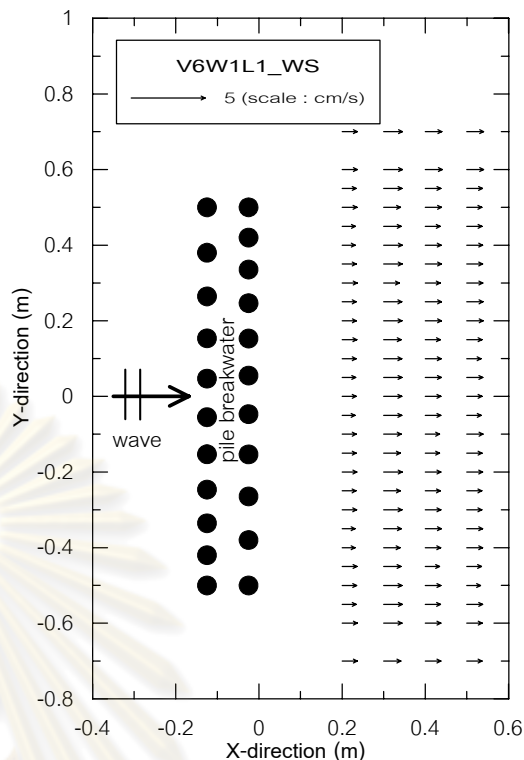
ระดับ 0.81d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)

ระดับ 0.81d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

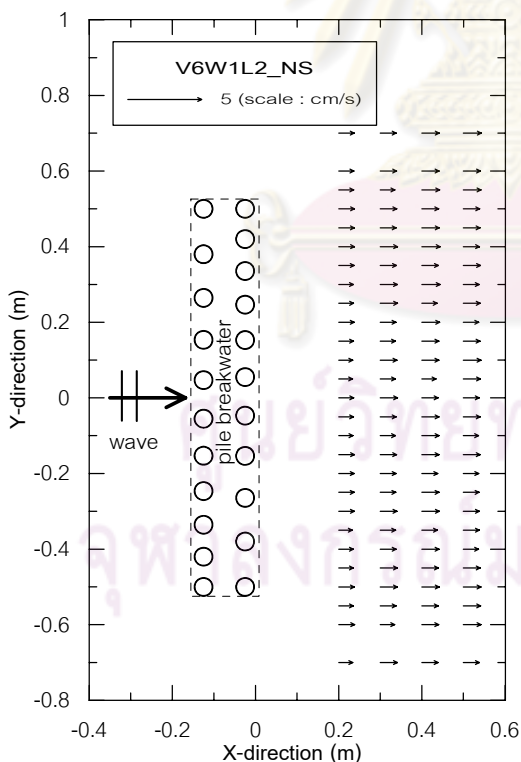
รูปที่ ค-21 เวกเตอร์ความเร็วของเขื่อนกันคลื่น V4 ความชันคลื่น(H_w/gT^2) เท่ากับ 0.0013



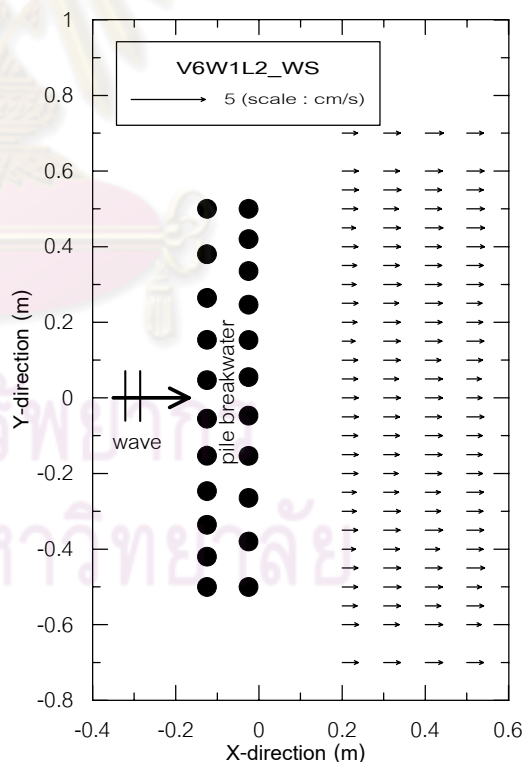
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

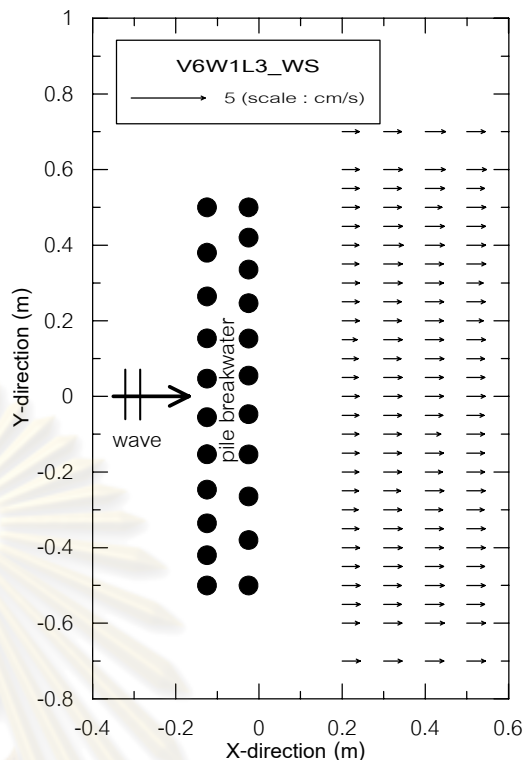
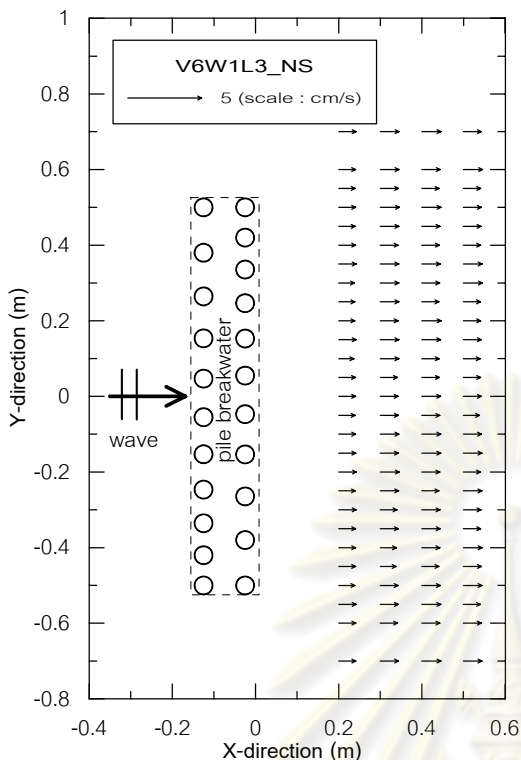


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.64d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

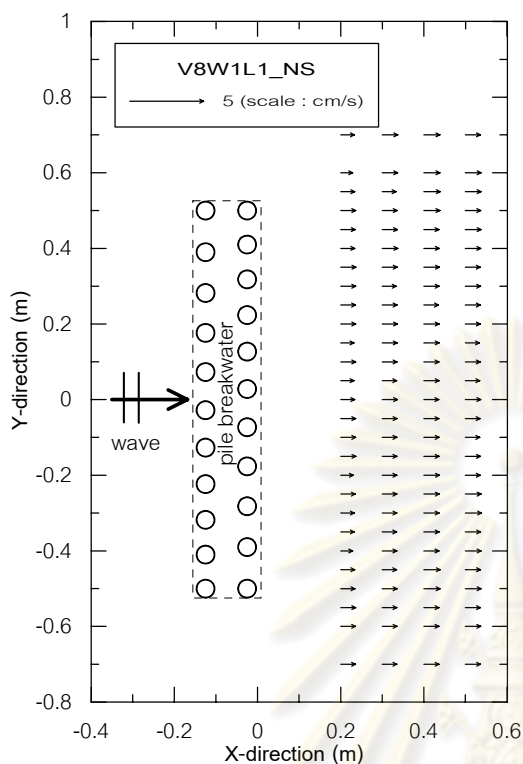
รูปที่ ค-22 เวกเตอร์ความเร็วของเขื่อนกันคลื่น V6 ความชันคลื่น(H_w/gT^2) เท่ากับ 0.0013



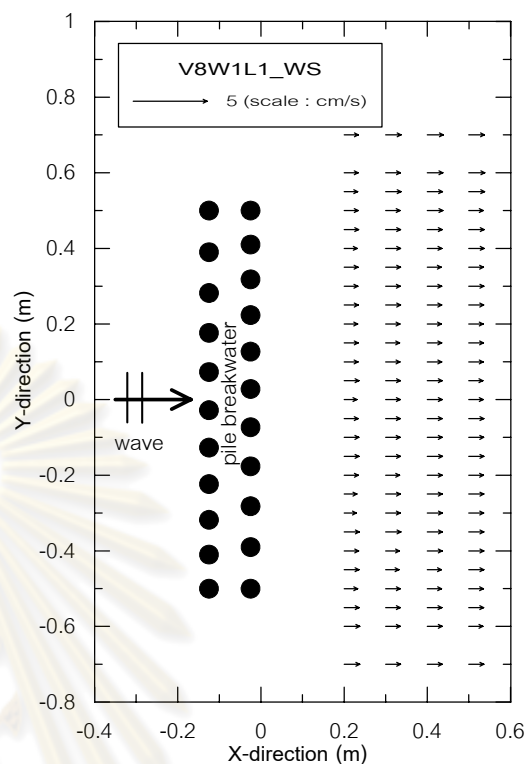
ระดับ 0.81d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)

ระดับ 0.81d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

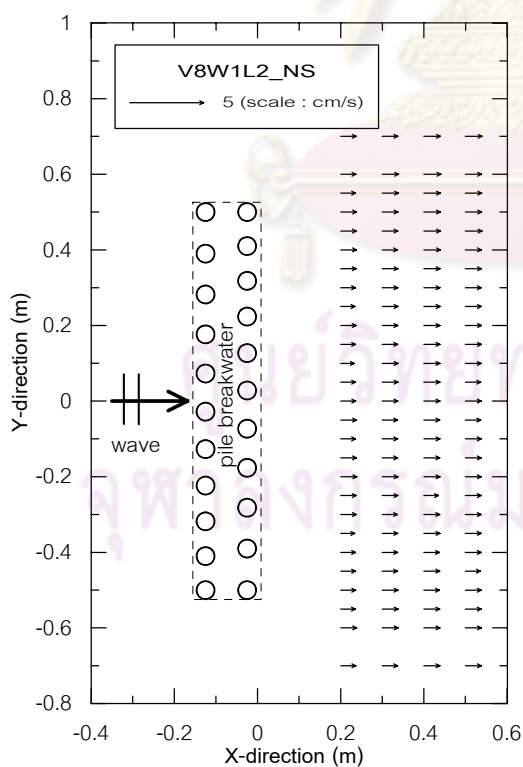
รูปที่ ค-22 เวกเตอร์ความเร็วของเขื่อนกันคลื่น V6 ความชันคลื่น(H_w/gT^2) เท่ากับ 0.0013



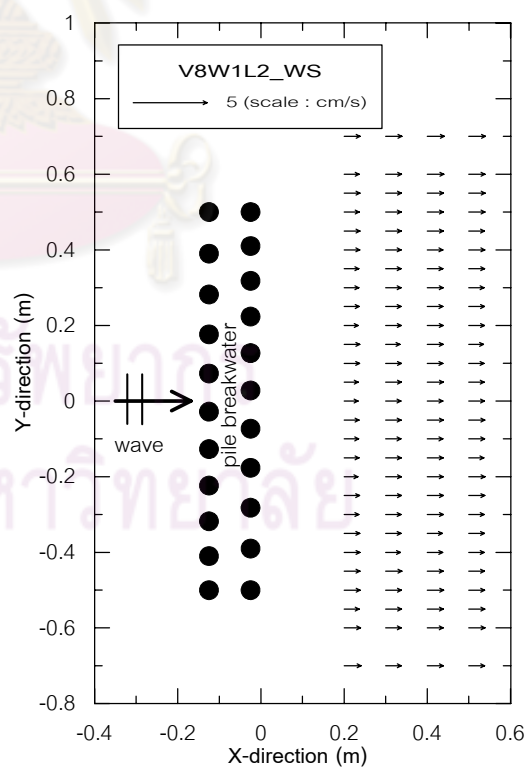
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

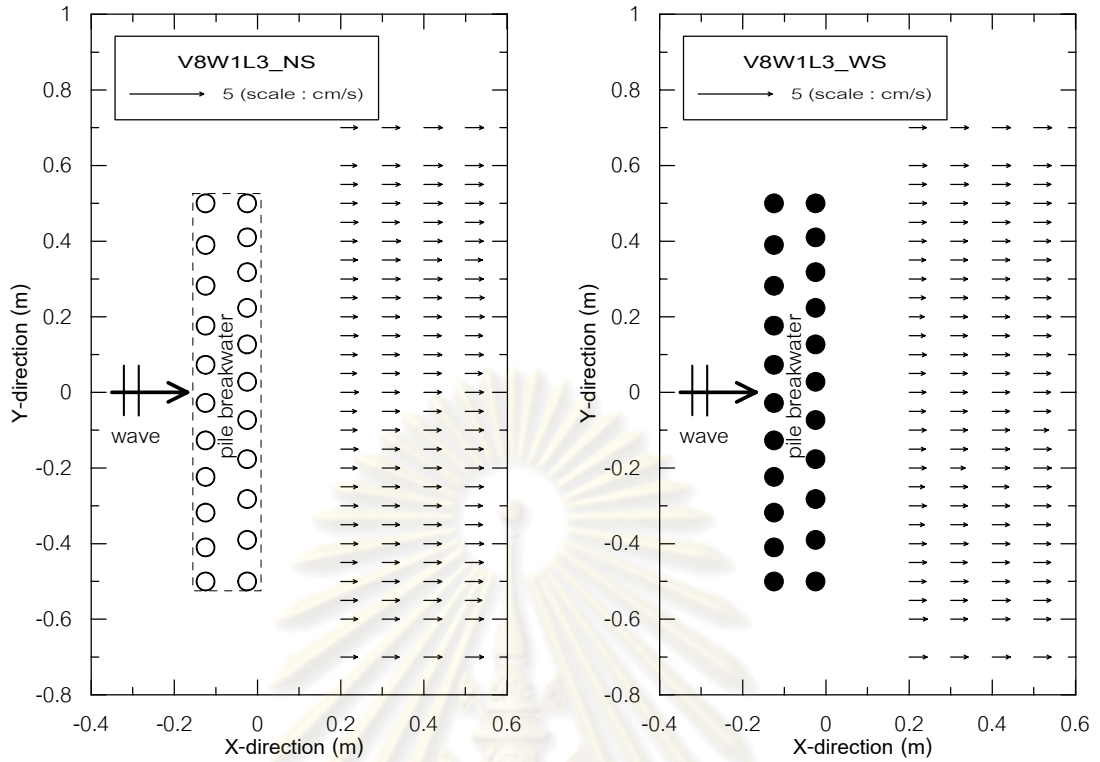


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.64d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

รูปที่ ค-23 เวกเตอร์ความเร็วของเขื่อนกันคลื่น V8 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0013

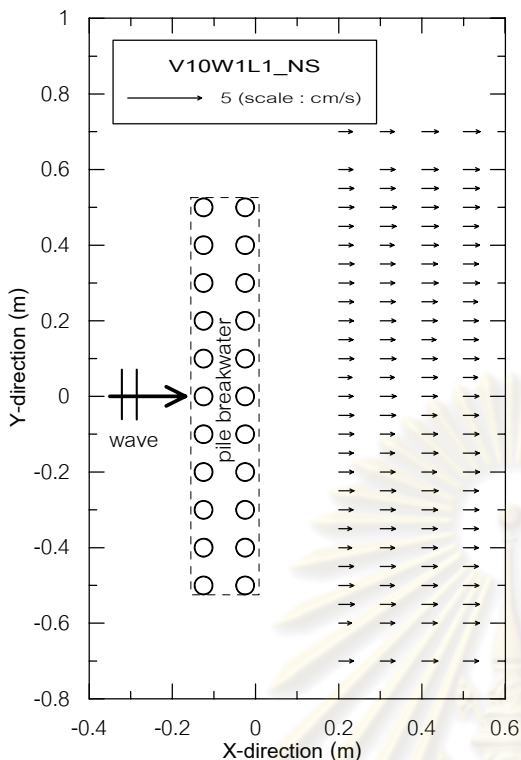


ระดับ 0.81d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)

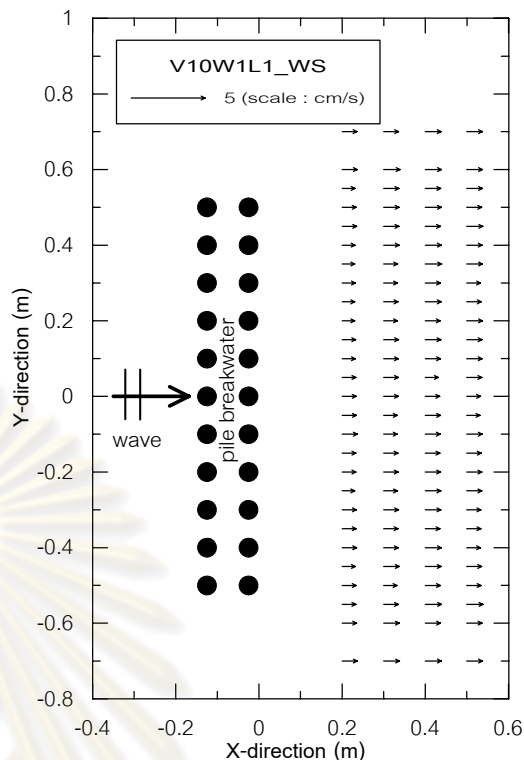
ระดับ 0.81d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

รูปที่ ค-23 เวกเตอร์ความเร็วของเขื่อนกันคลื่น V8 ความชันคลื่น(H_w/gT^2) เท่ากับ 0.0013

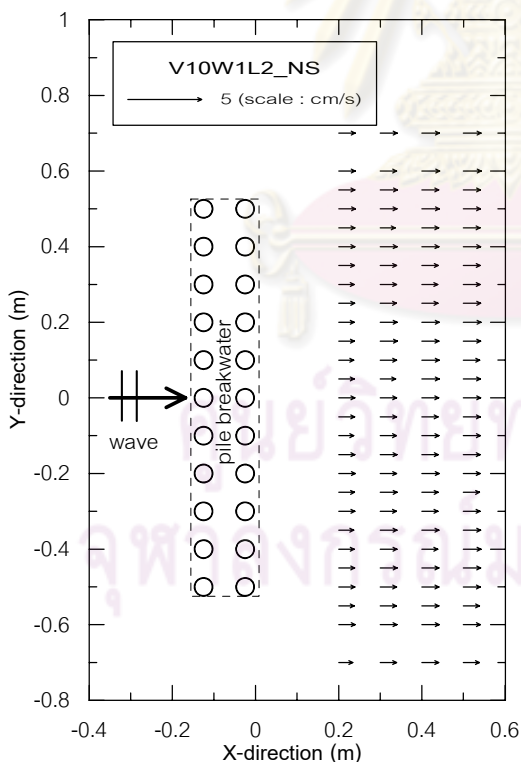
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



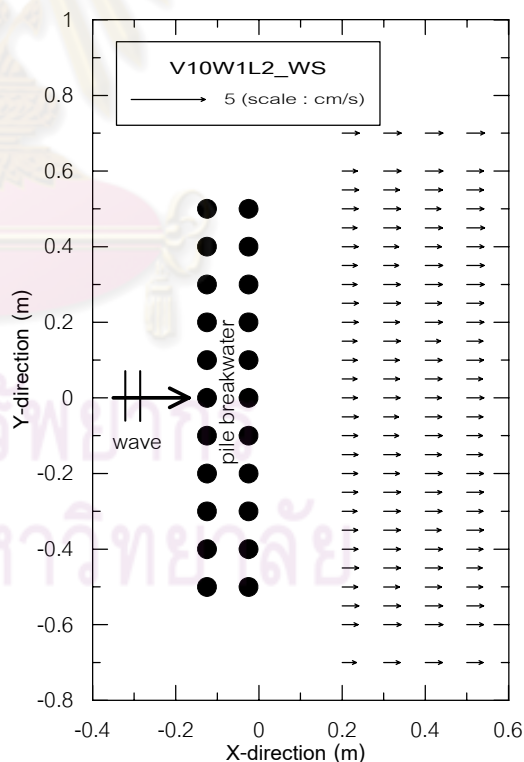
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

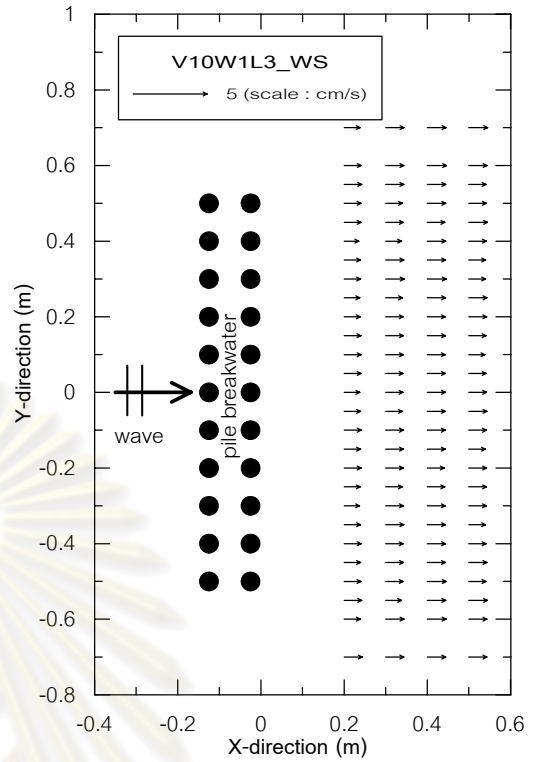
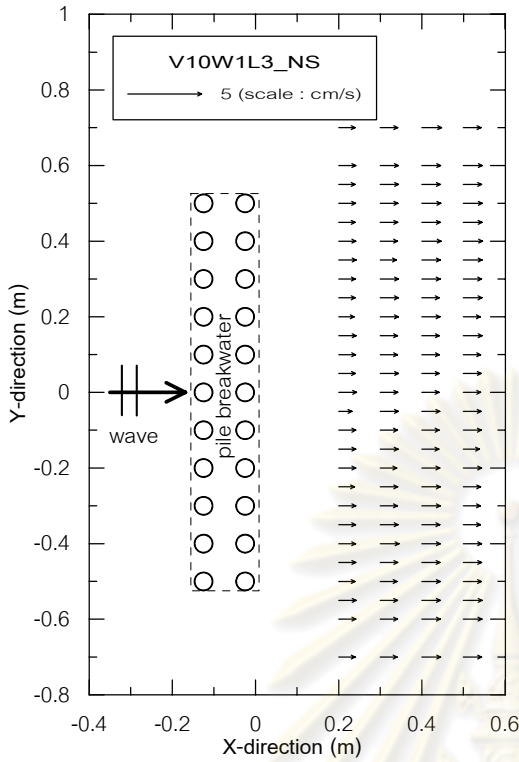


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.64d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

รูปที่ ค-24 เวกเตอร์ความเร็วของเขื่อนกันคลื่น V10 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0013



ระดับ 0.81d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)

ระดับ 0.81d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

รูปที่ ค-24 เวกเตอร์ความเร็วของเขื่อนกันคลื่น V10 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0013



ภาคผนวก ง

การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ผลจากการทดลอง

ภาคผนวก ง แสดงข้อมูลที่ใช้ในบทที่ 4 ในกรณีศึกษาต่างๆ จากการทดลองเขื่อนกันคลื่น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบเขื่อนกันคลื่นที่จัดเรียงระยะห่างเสาเข็มเท่ากัน (equally spaced, V10) 1 กรณีศึกษา และเขื่อนกันคลื่นที่จัดเรียงระยะห่างเสาเข็มไม่เท่ากัน (unequally spaced) 5 กรณีศึกษา และเปลี่ยนแปลงขนาดความชันคลื่น (H_N/gT^2) 4 ค่า รวมการทดลองทั้งสิ้น 24 การทดลอง ซึ่งข้อมูลจากการทดลอง มีประกอบด้วย

1) รูปแสดงพื้นที่ผิว (surface area) อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ หลังเขื่อนกันคลื่น สร้างขึ้นจากข้อมูลความสูงคลื่นกรณีมีเขื่อนกันคลื่นต่อความสูงคลื่นกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น จากข้อมูล ณ ตำแหน่งต่างๆ ของแต่ละรูปแบบการจัดเรียง โดยพิจารณาแยกตามค่าความชันคลื่น ซึ่งได้แสดงตัวอย่าง 4 ความชันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ ง-1 ถึง ง-4

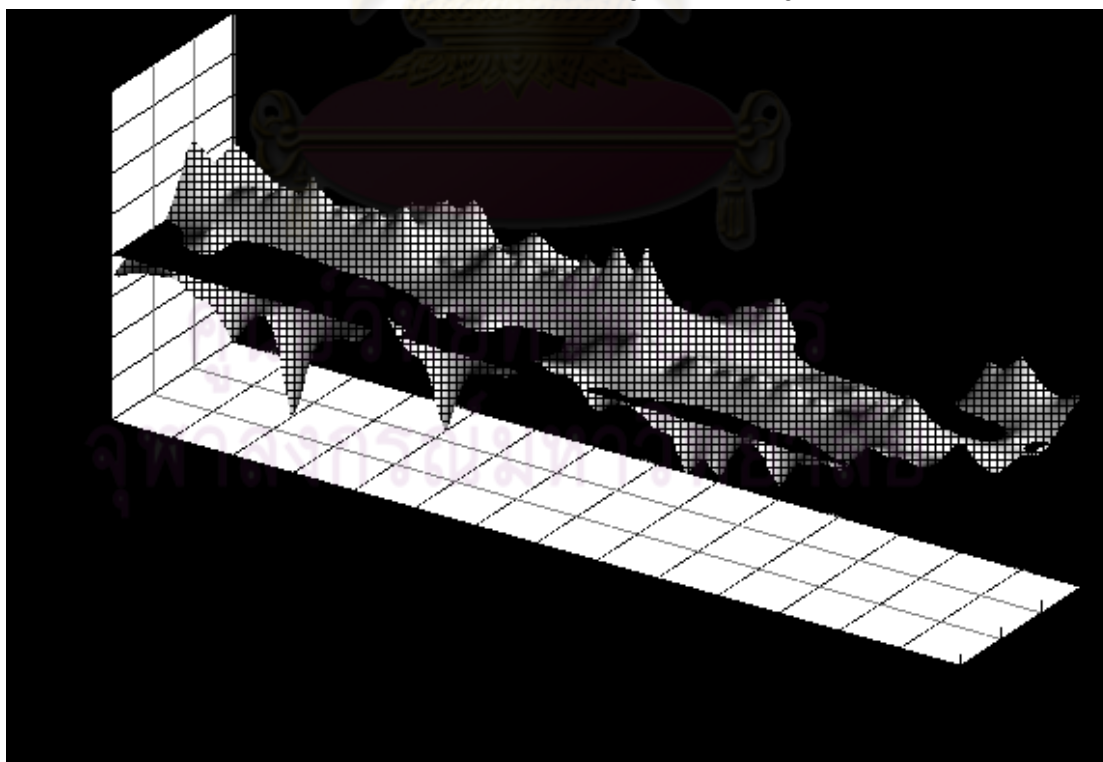
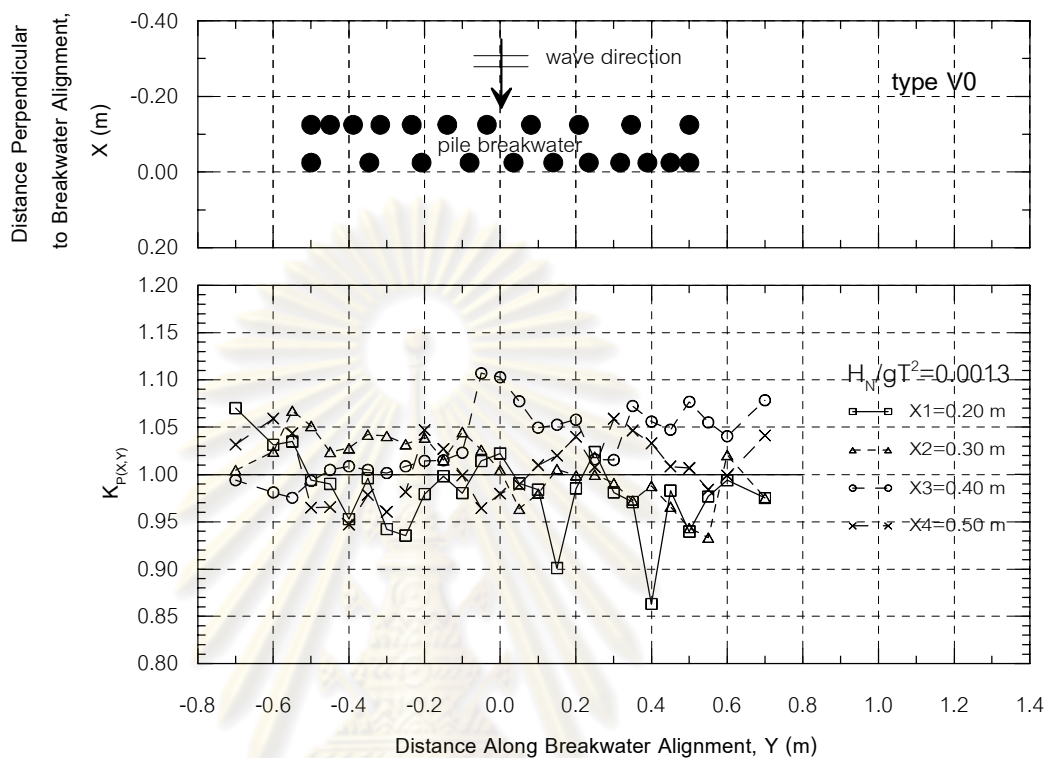
2) รูปแสดงค่าเวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ($U(x,y)$) ณ ตำแหน่งต่างๆ หลังเขื่อนกันคลื่น สร้างขึ้นจากข้อมูลความเร็วอนุภาคน้ำในทิศทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง กรณีมีกับกรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น ของแต่ละรูปแบบการจัดเรียง โดยพิจารณาแยกตามค่าความชันคลื่น ซึ่งได้แสดงตัวอย่าง 1 ความชันคลื่น คือที่ความชันคลื่นแรงมาก (H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078)

3) รูปแสดงผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด ตามทิศทางคลื่น เฉลี่ยตลอดความลึกน้ำ (ΔU) หากผลต่าง เป็นบวก ($+\Delta U$) แสดงว่าเมื่อใส่เขื่อนกันคลื่นทำให้ความเร็วอนุภาคน้ำมีค่ามากขึ้นกว่า ตอนไม่ใส่เขื่อนกันคลื่น ในทางกลับกัน หากผลต่าง เป็นลบ ($-\Delta U$) แสดงว่า เมื่อใส่เขื่อนกันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ ง-11 ถึง ง-13

4) รูปแสดงค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยในแนวตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น ($\bar{K}_{P(YX)}$) เปรียบเทียบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) และเสาเข็มไม่เท่ากัน 5 รูปแบบ (V0, V2, V4, V6 และ V8) แยกตามค่าความชันคลื่น ซึ่งได้แสดงตัวอย่าง 4 ความชันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ ง-14 ถึง ง-16

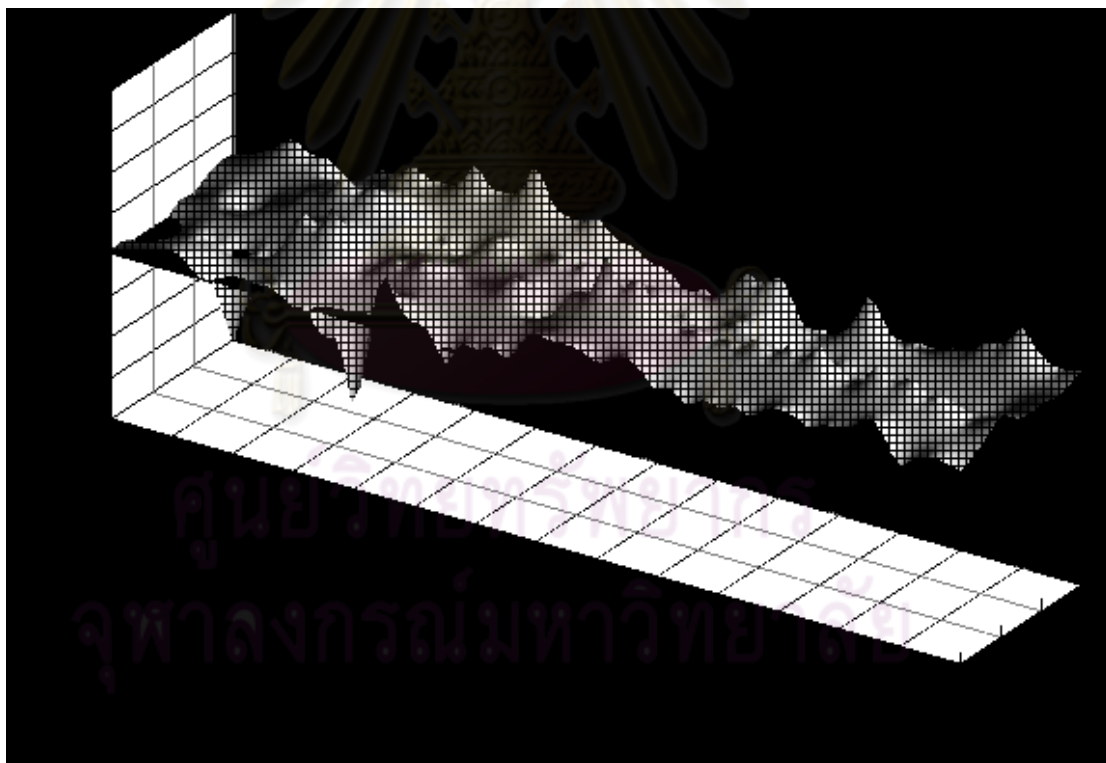
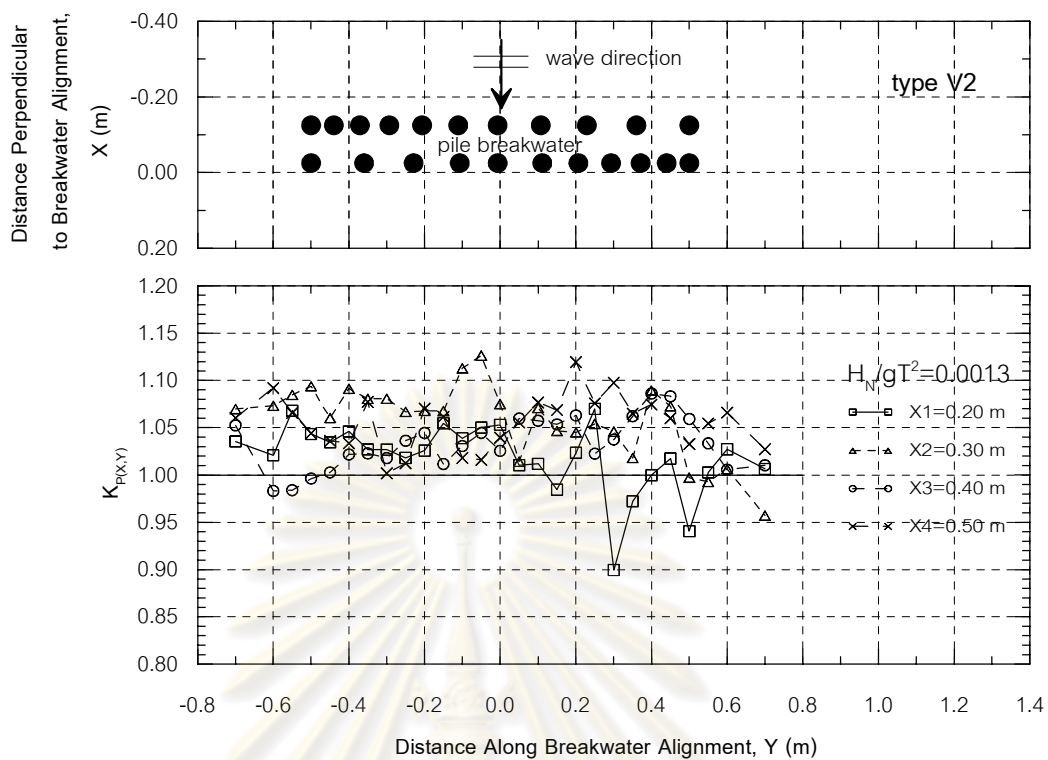
5) รูปแสดงค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ ($\bar{K}_{P(A)}$) เปรียบเทียบการจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) และเสาเข็มไม่เท่ากัน 5 รูปแบบ (V0, V2, V4, V6 และ V8) ตามค่าความชันคลื่น ดังแสดงในรูปที่ ง-17

6) รูปที่ ง-18 รูปตัวอย่าง พลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ของความชันคลื่นเท่ากับ 0.0013 เปรียบเทียบ กรณีมีเขื่อน และไม่มีเขื่อนกันคลื่น ของ การจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน แบบจำลอง V0



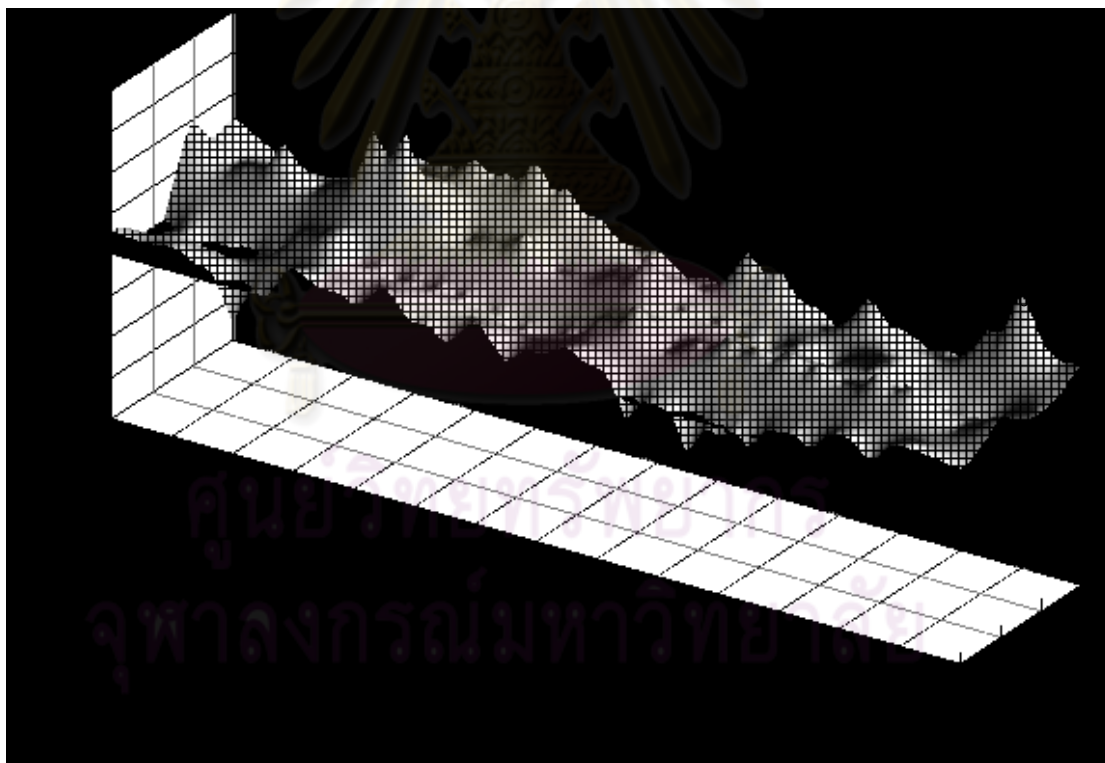
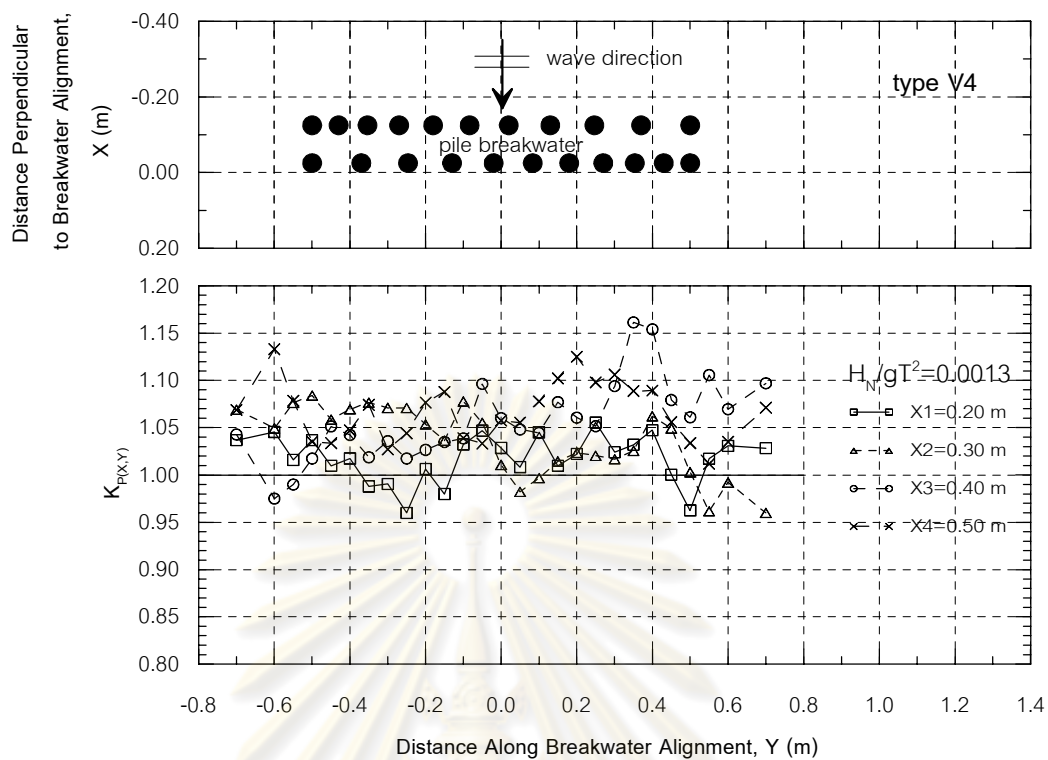
รูปแบบ V0

รูปที่ ง-1 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0013



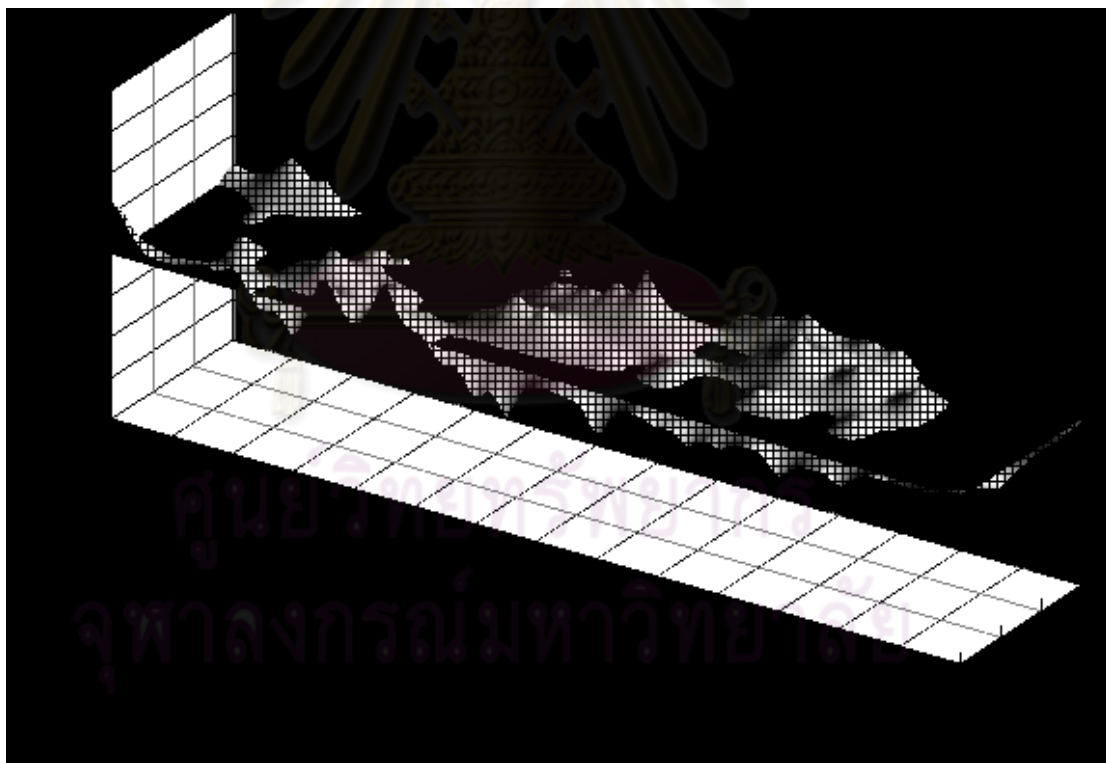
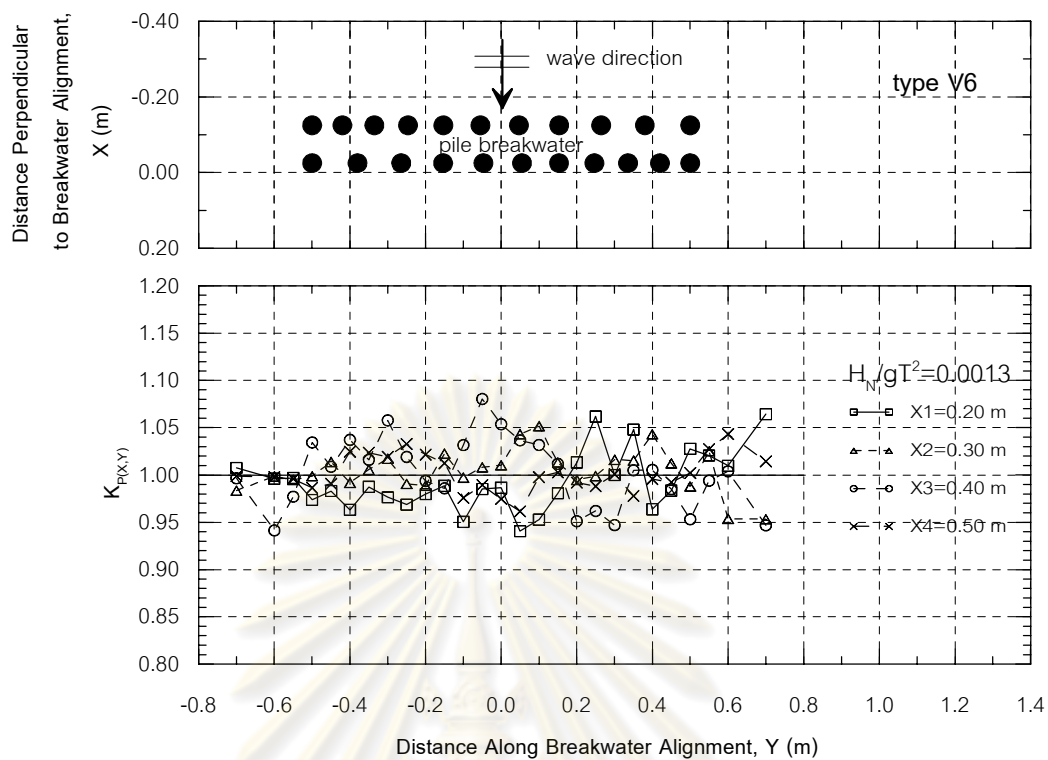
รูปแบบ V2

รูปที่ ง-1 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0013 (ต่อ)



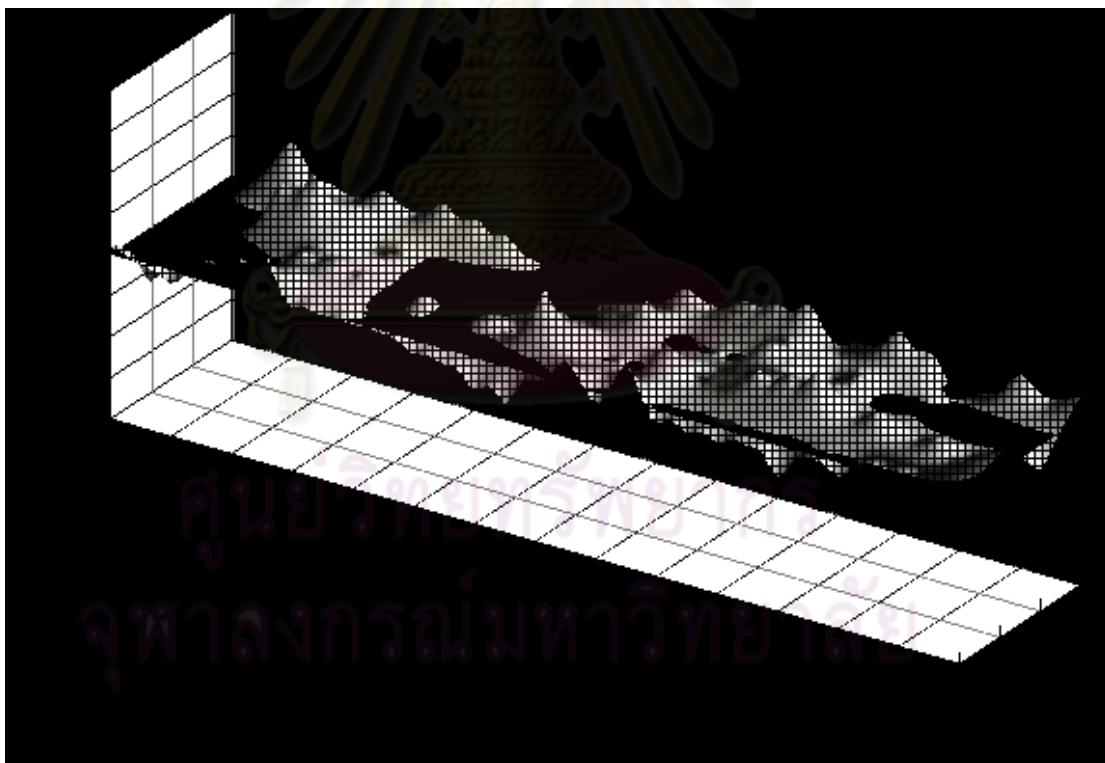
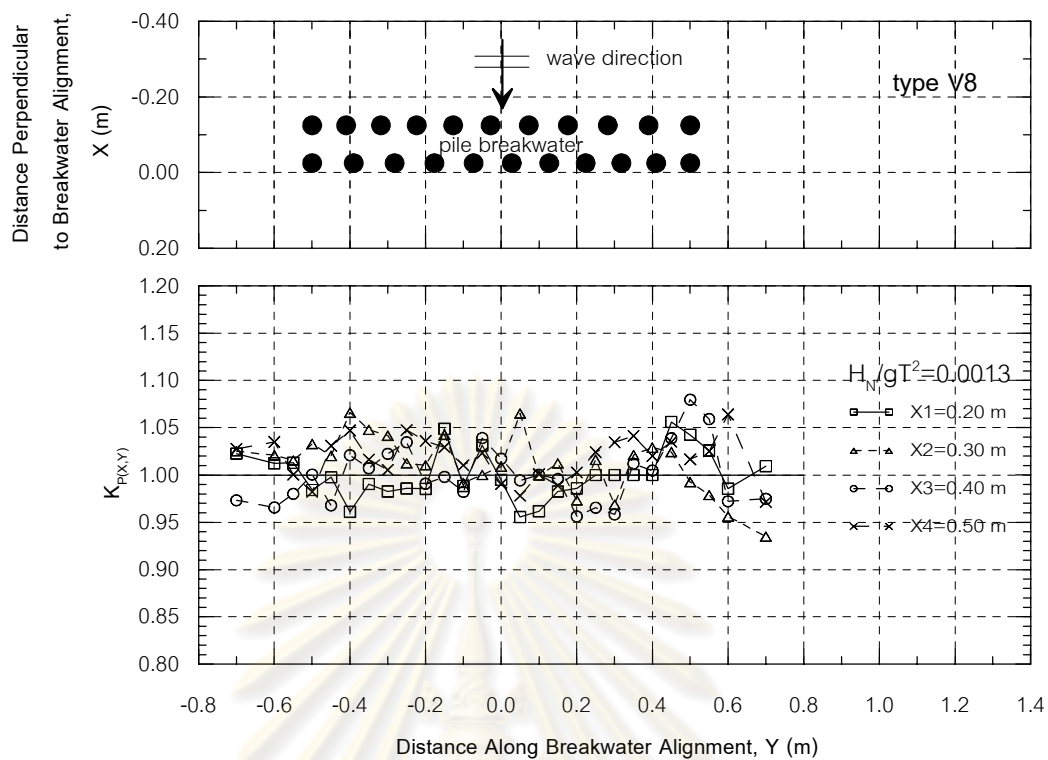
รูปแบบ V4

รูปที่ ง-1 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0013 (ต่อ)



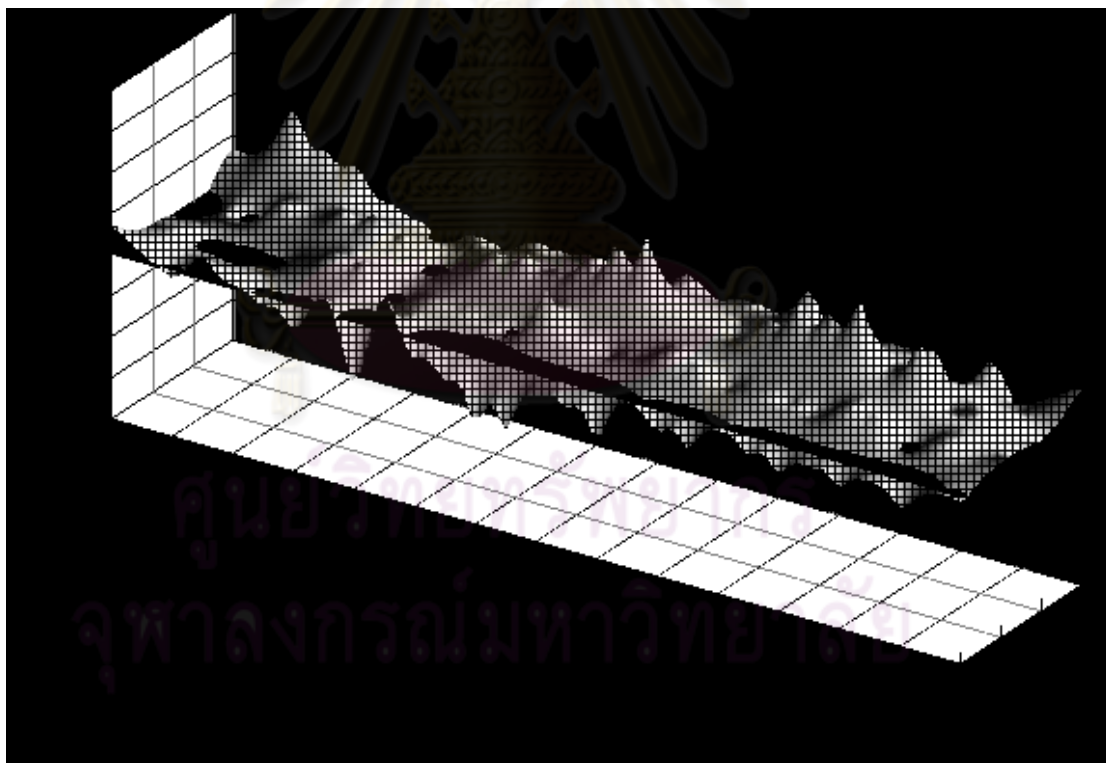
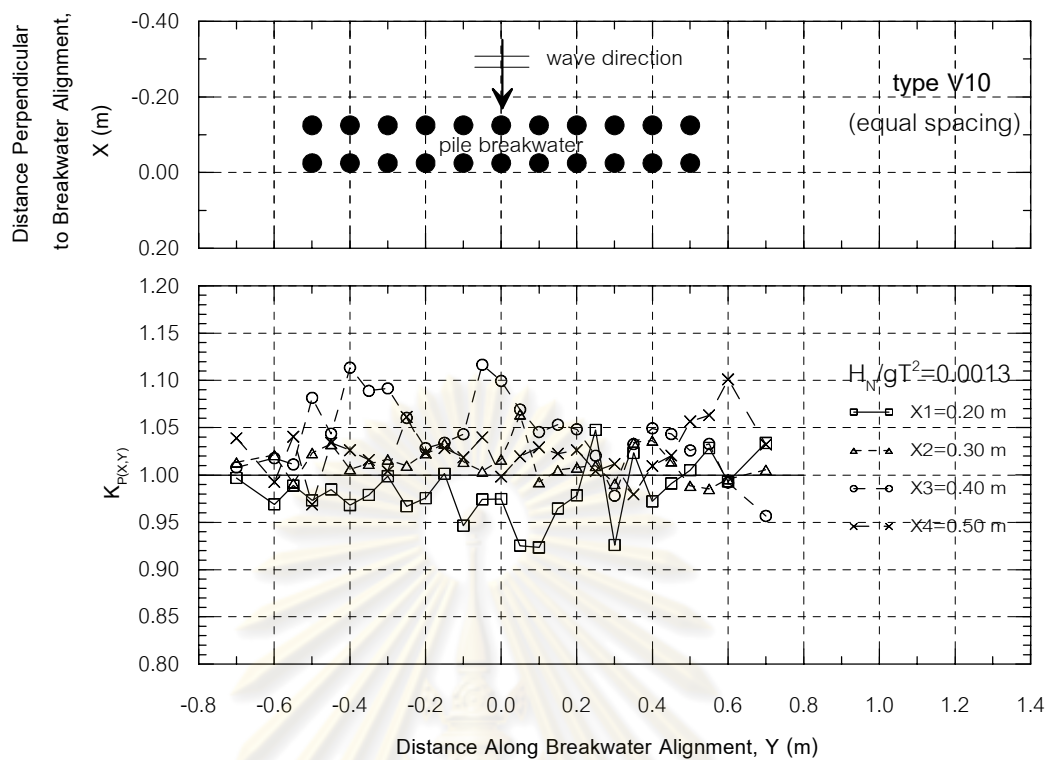
รูปแบบ V6

รูปที่ ง-1 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0013 (ต่อ)



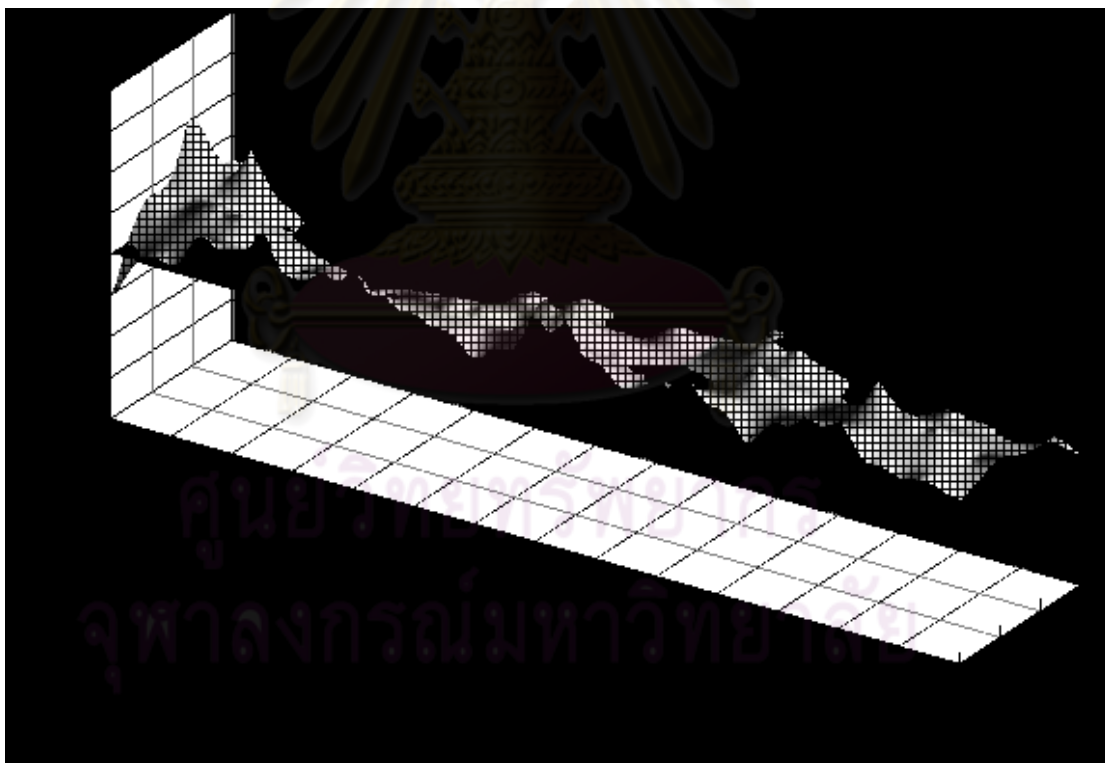
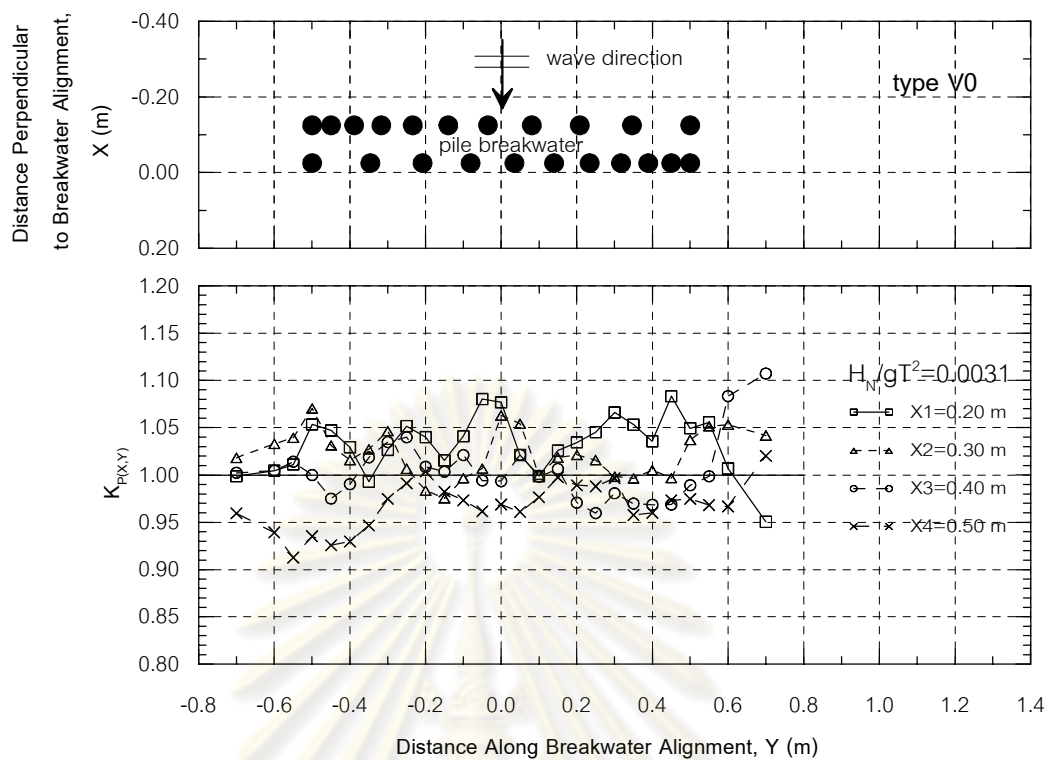
รูปแบบ V8

รูปที่ ง-1 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0013 (ต่อ)



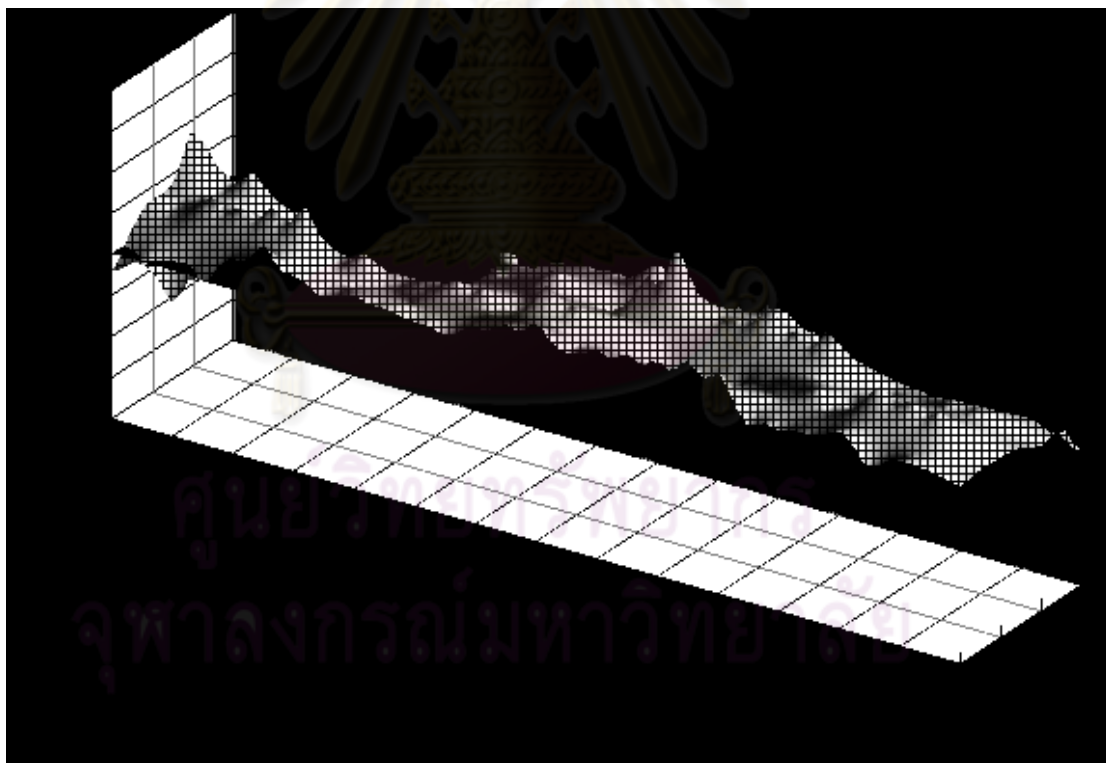
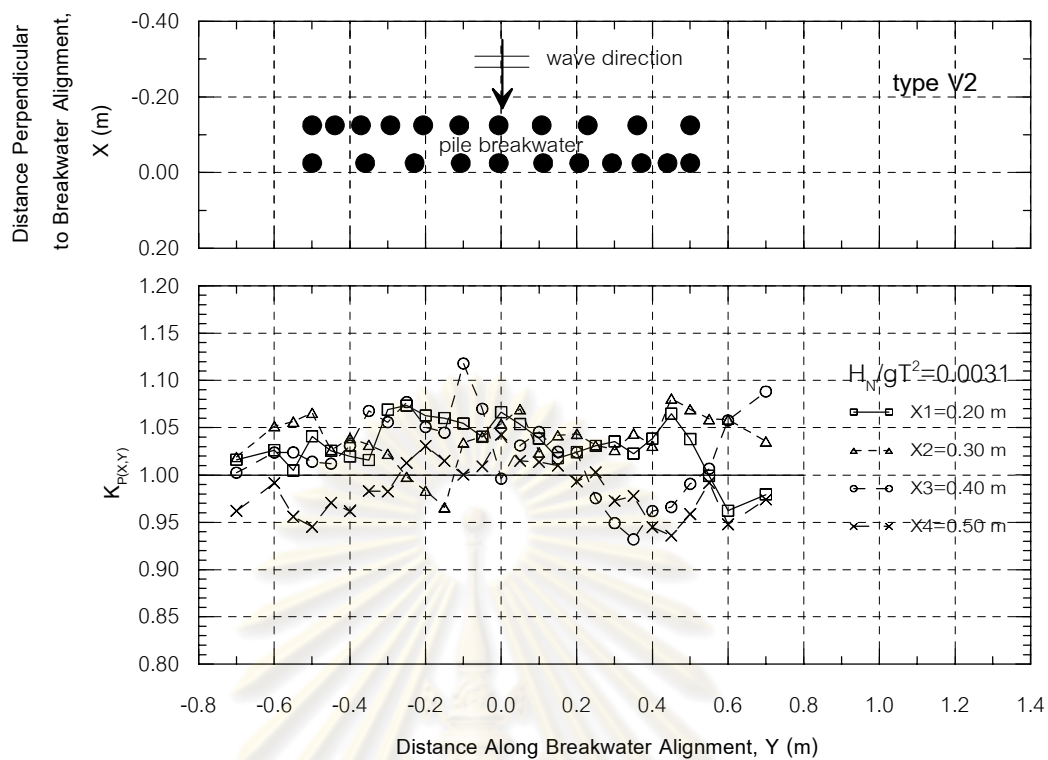
รูปแบบ V10

รูปที่ ง-1 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0013 (ต่อ)



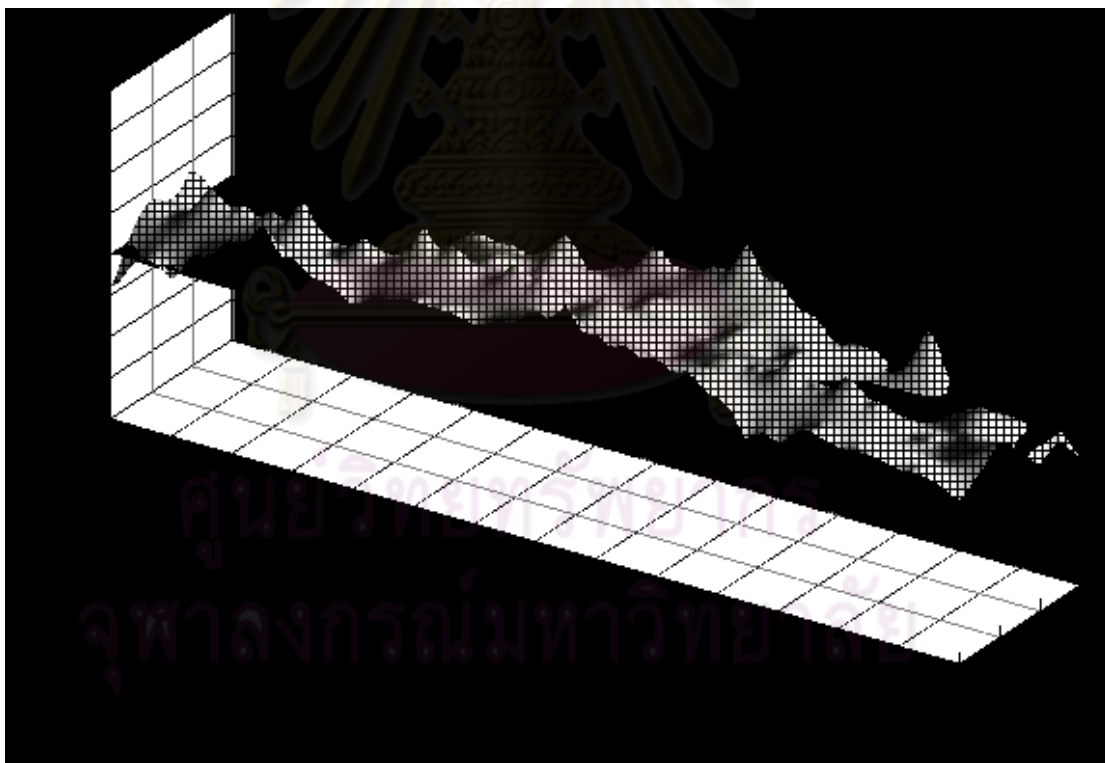
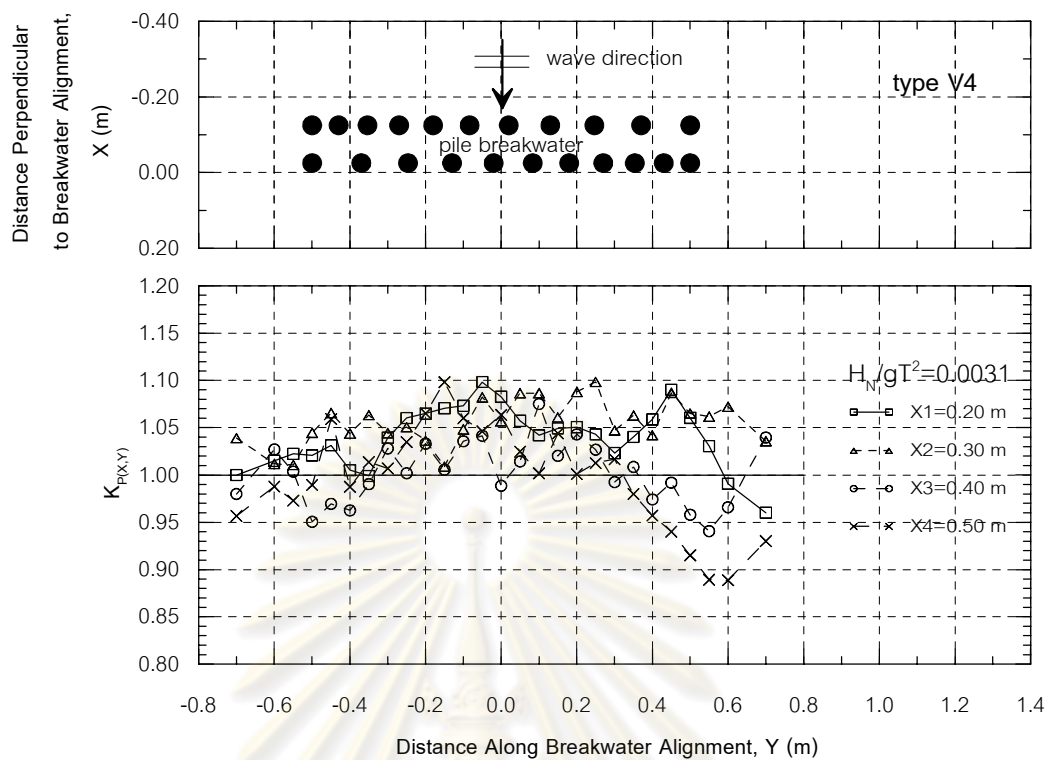
รูปแบบ V0

รูปที่ ง-2 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0031



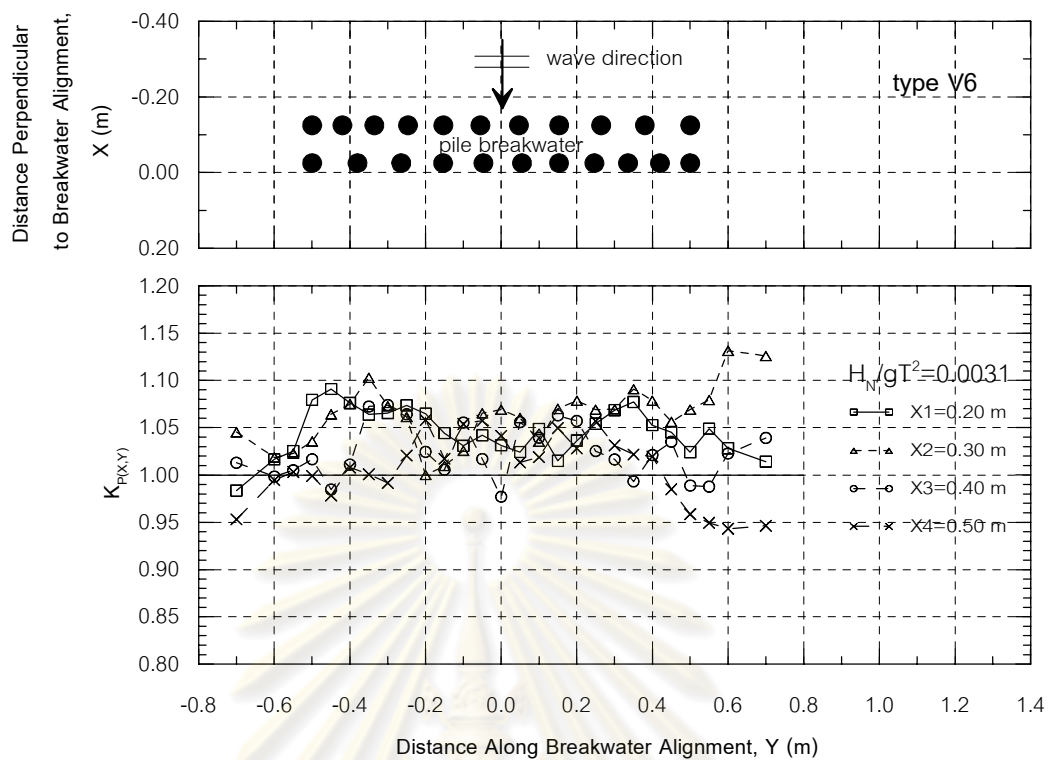
รูปแบบ V2

รูปที่ ๓-๒ ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเชื่อมกันคลื่น กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0031 (ต่อ)



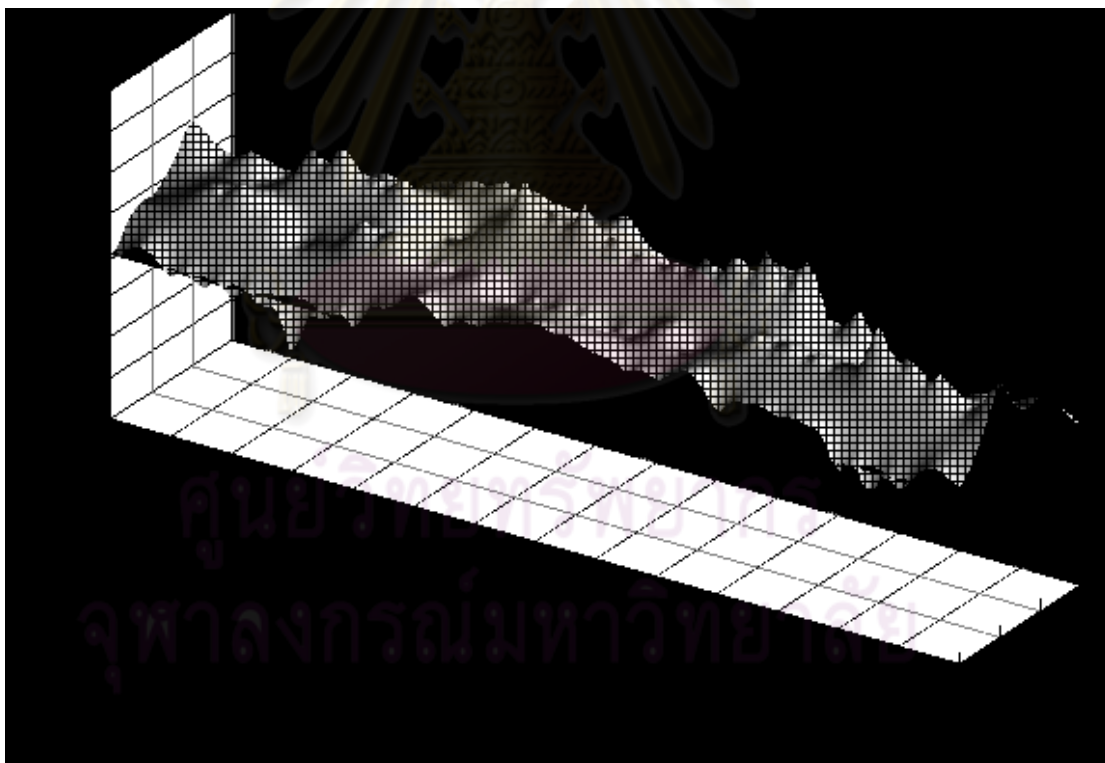
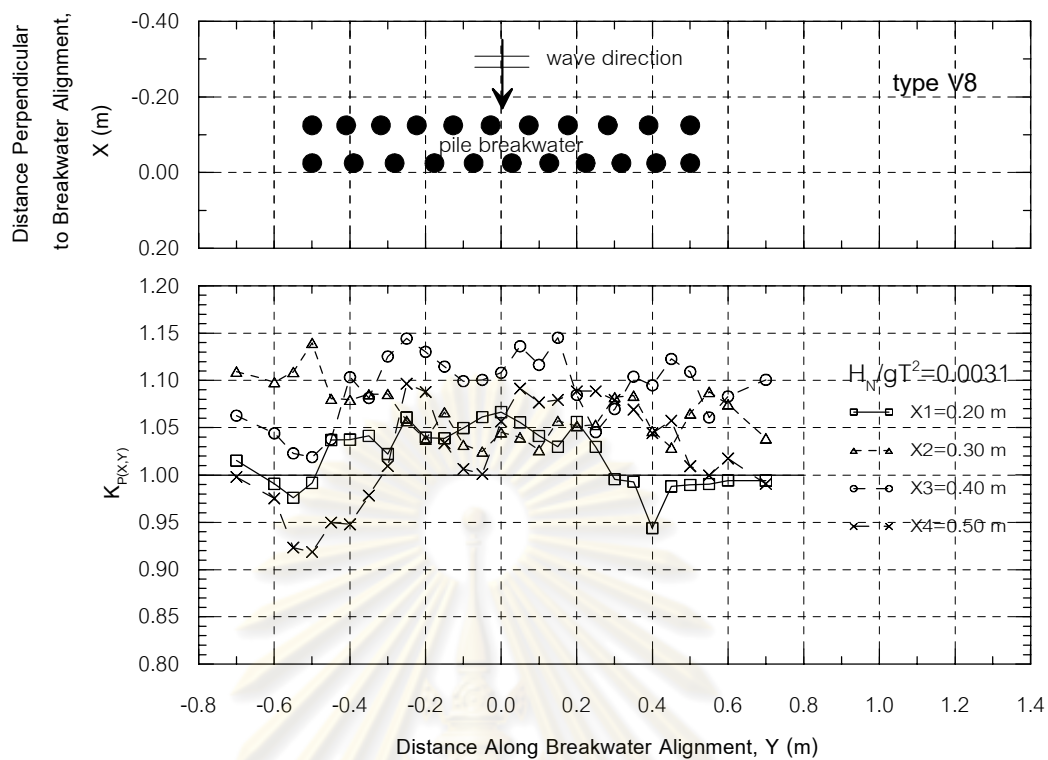
รูปแบบ V4

รูปที่ ง-2 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเชื่อมกันคลื่น กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0031 (ต่อ)



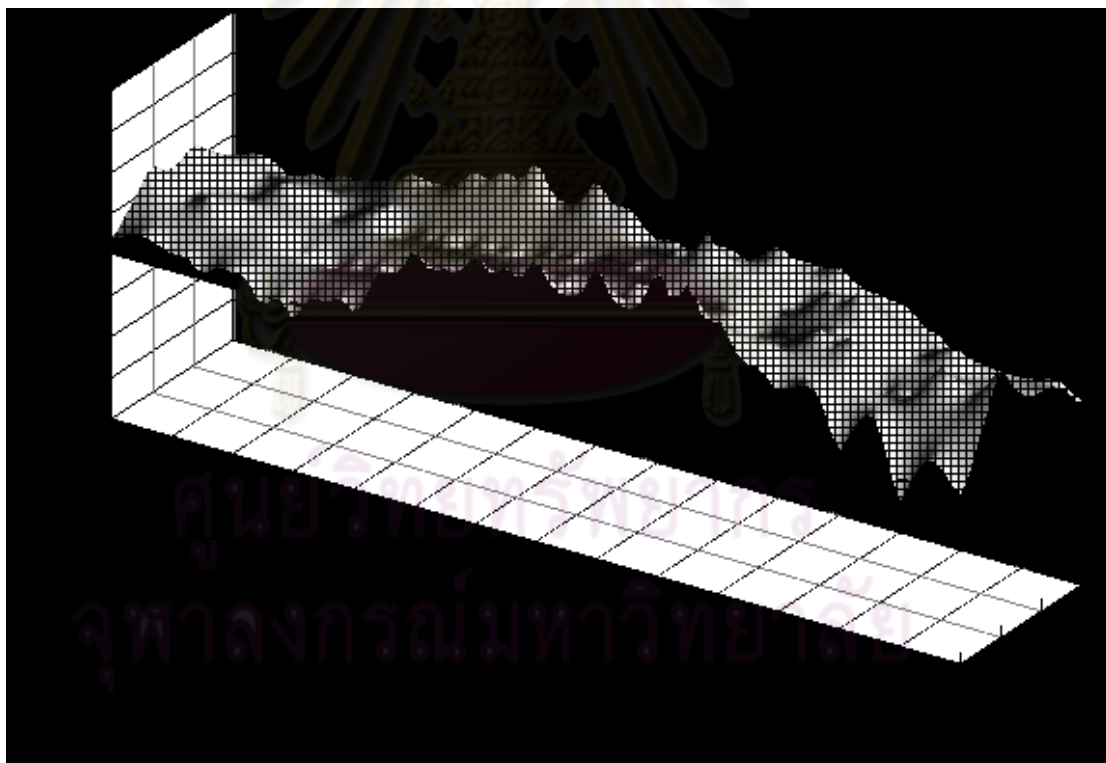
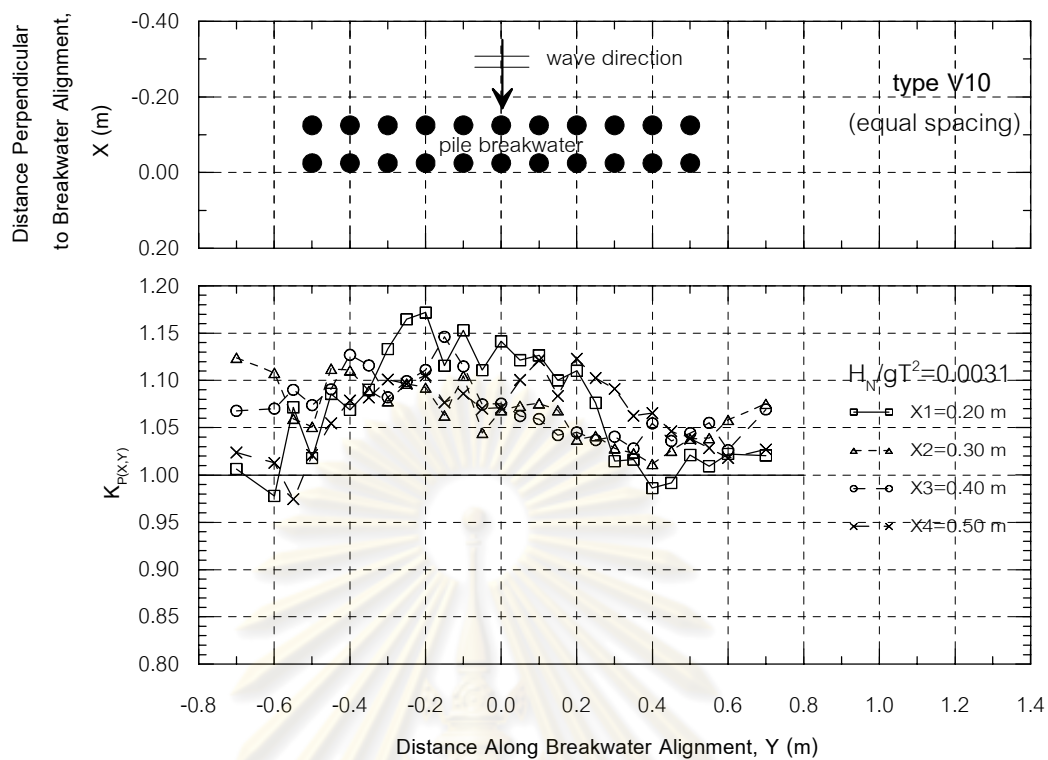
รูปแบบ V6

รูปที่ ง-2 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0031 (ต่อ)



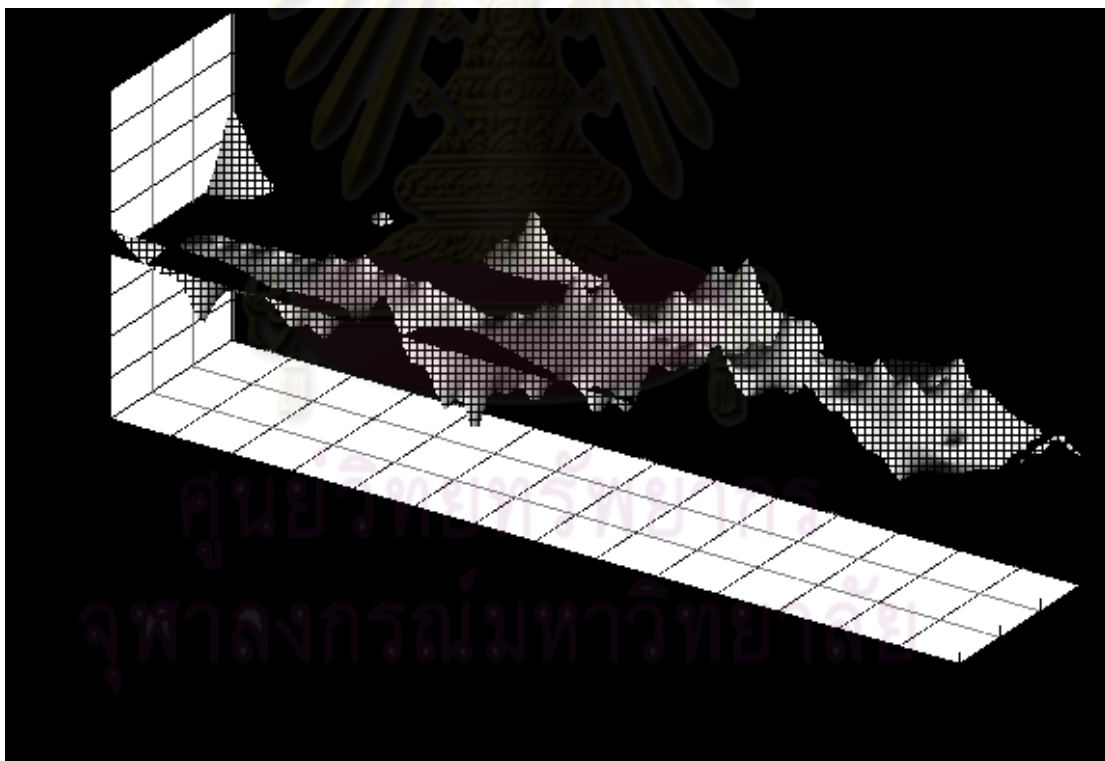
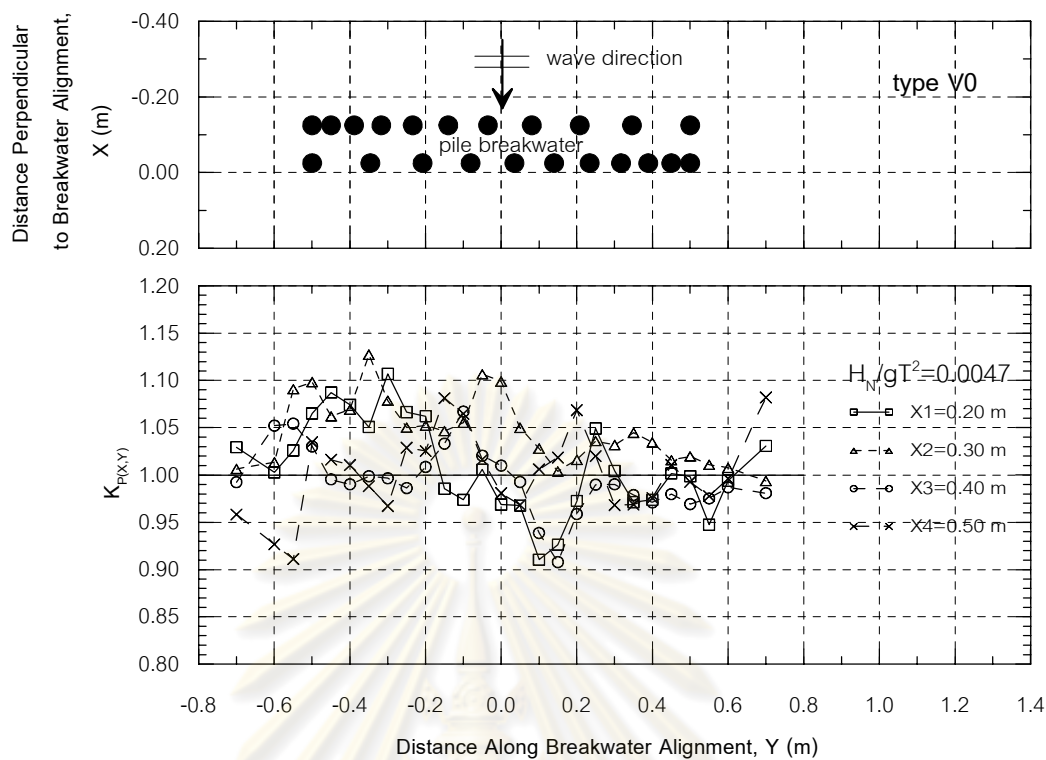
รูปแบบ V8

รูปที่ ง-2 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0031 (ต่อ)



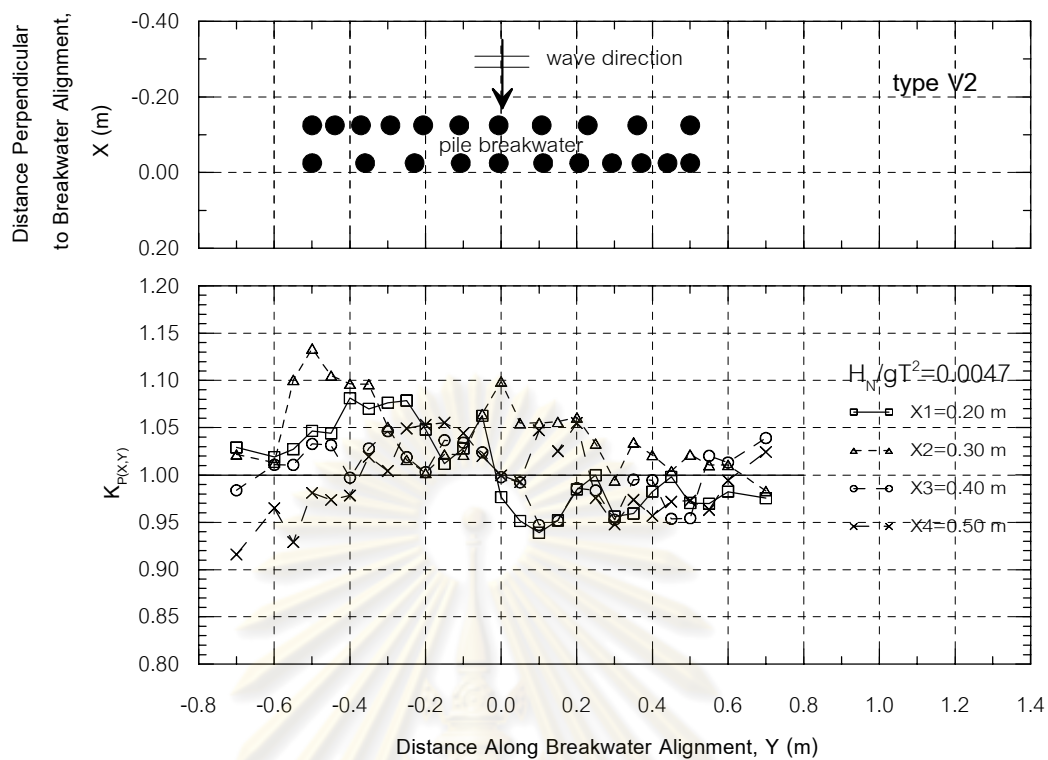
รูปแบบ V10

รูปที่ ง-2 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0031 (ต่อ)



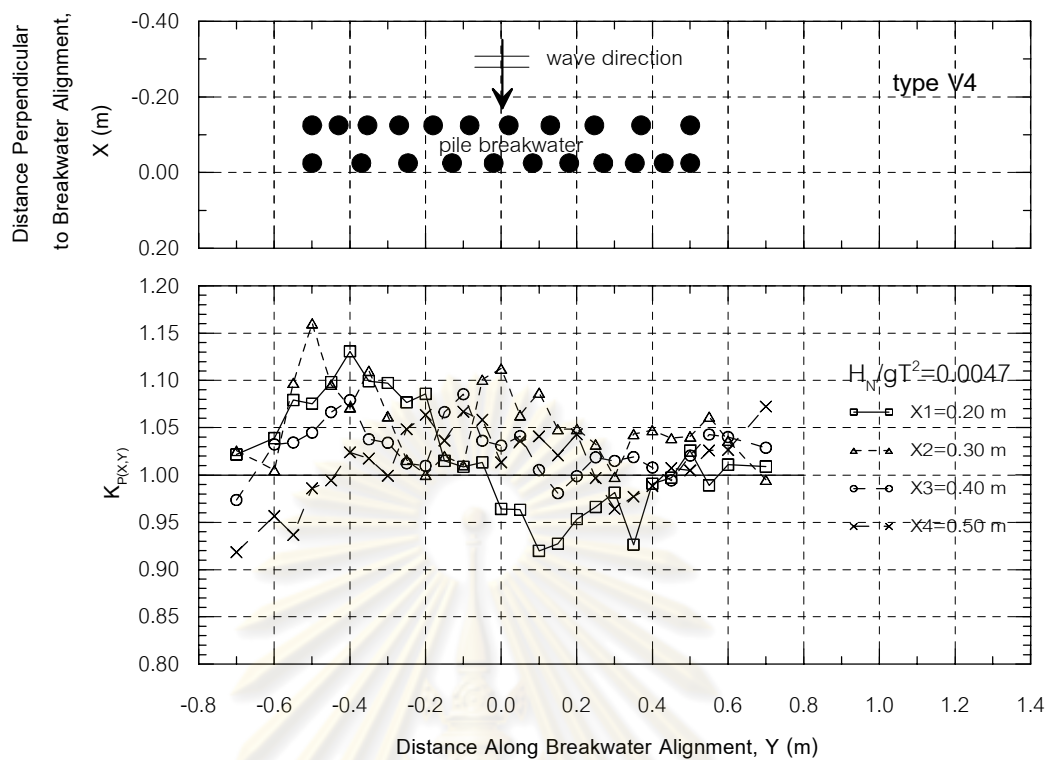
รูปแบบ V0

รูปที่ ง-3 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเชื่อมกันคลื่น กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0047



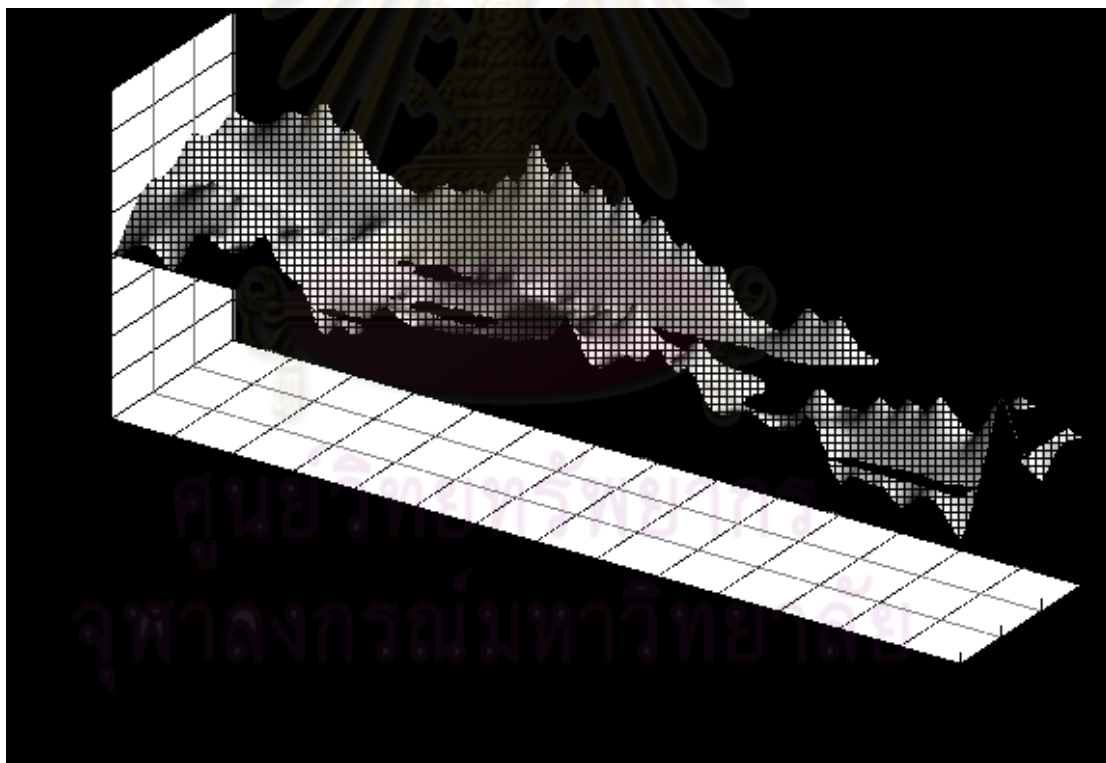
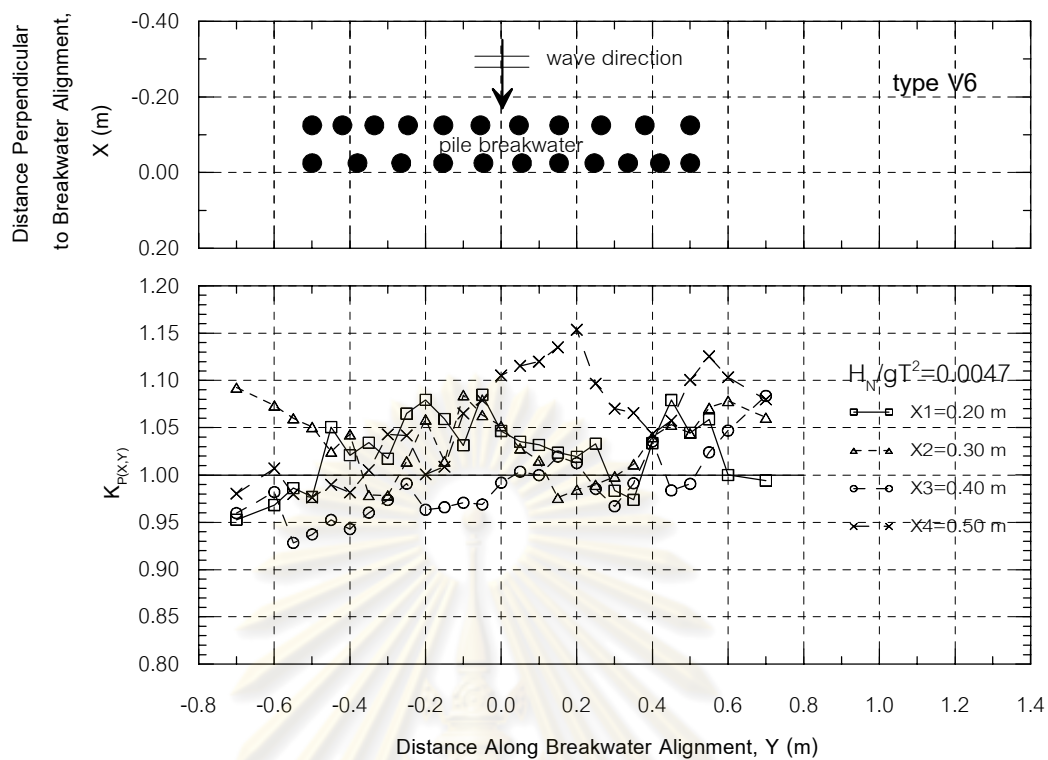
รูปแบบ V2

รูปที่ 3-3 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0047 (ต่อ)



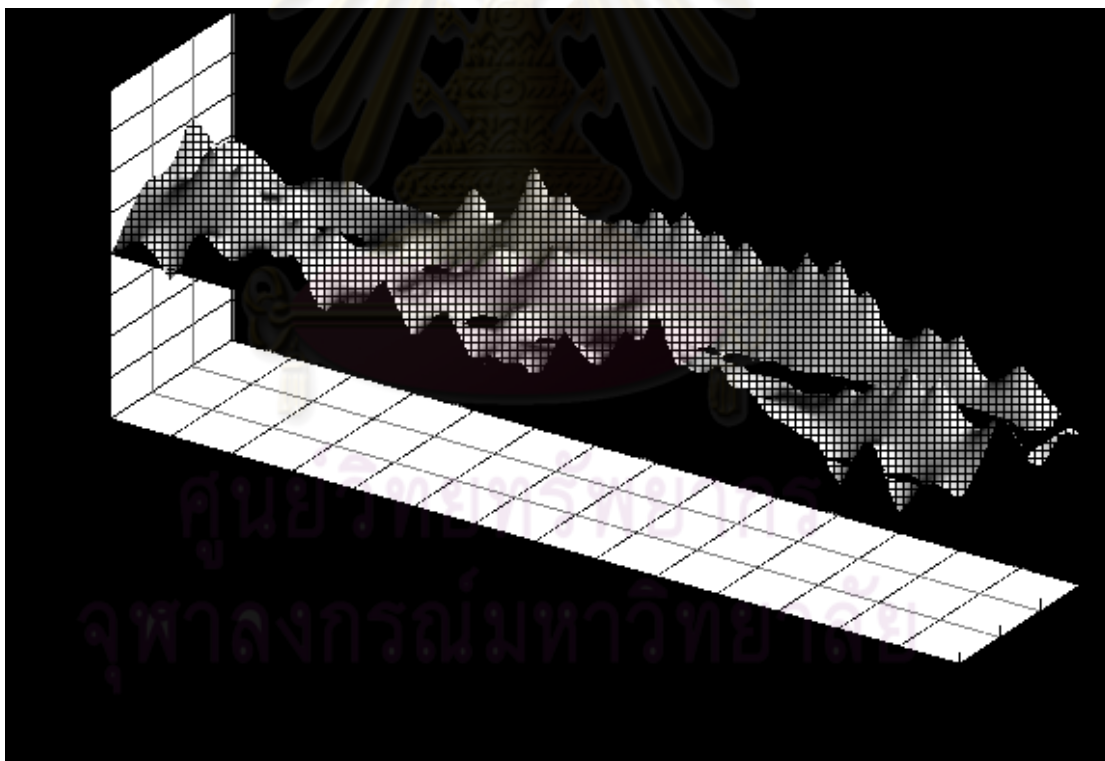
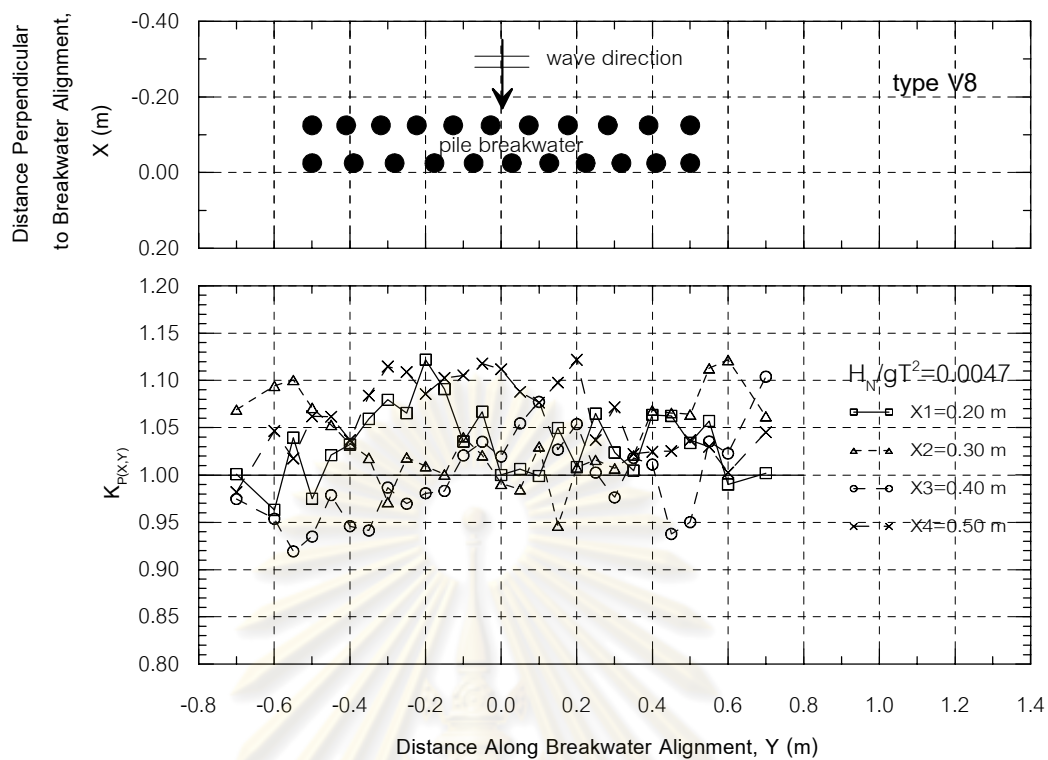
รูปแบบ V4

รูปที่ 3-3 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0047 (ต่อ)



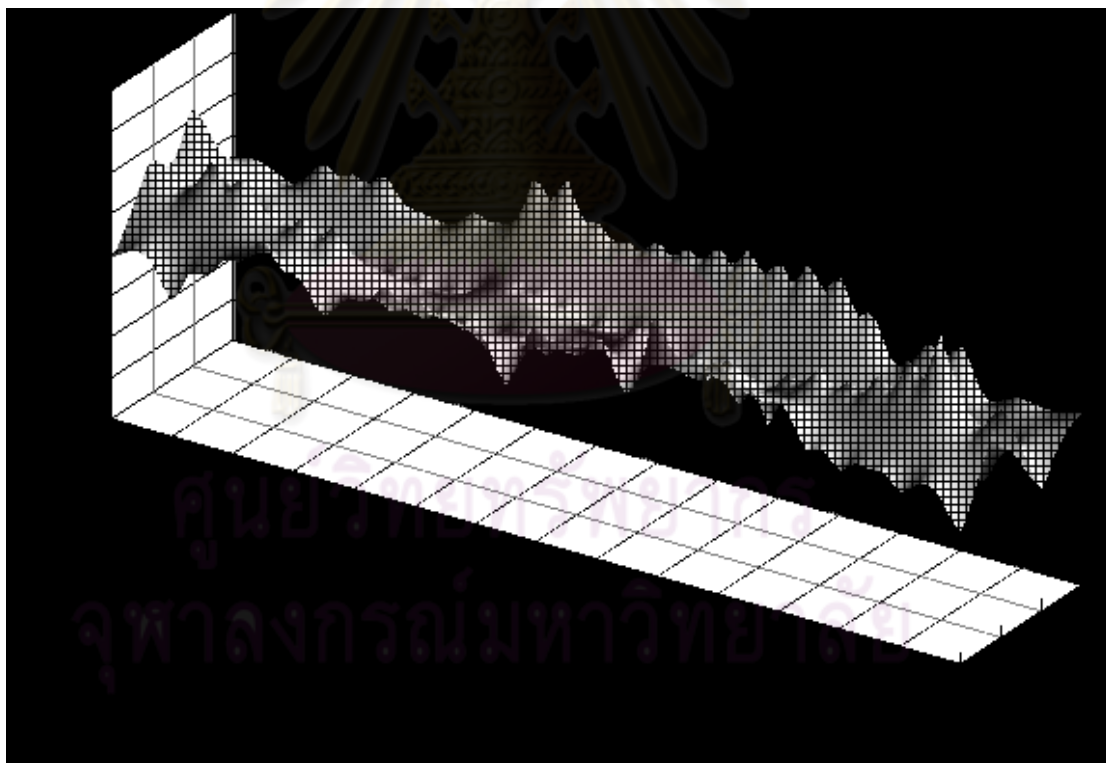
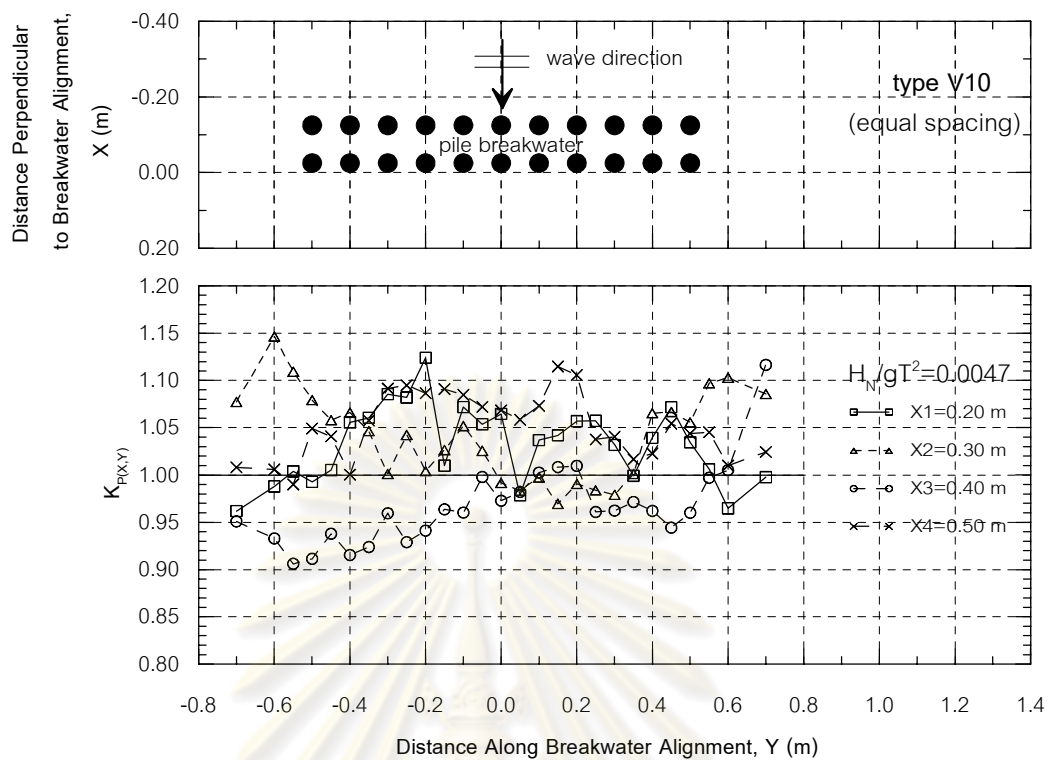
รูปแบบ V6

รูปที่ 3-3 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0047 (ต่อ)



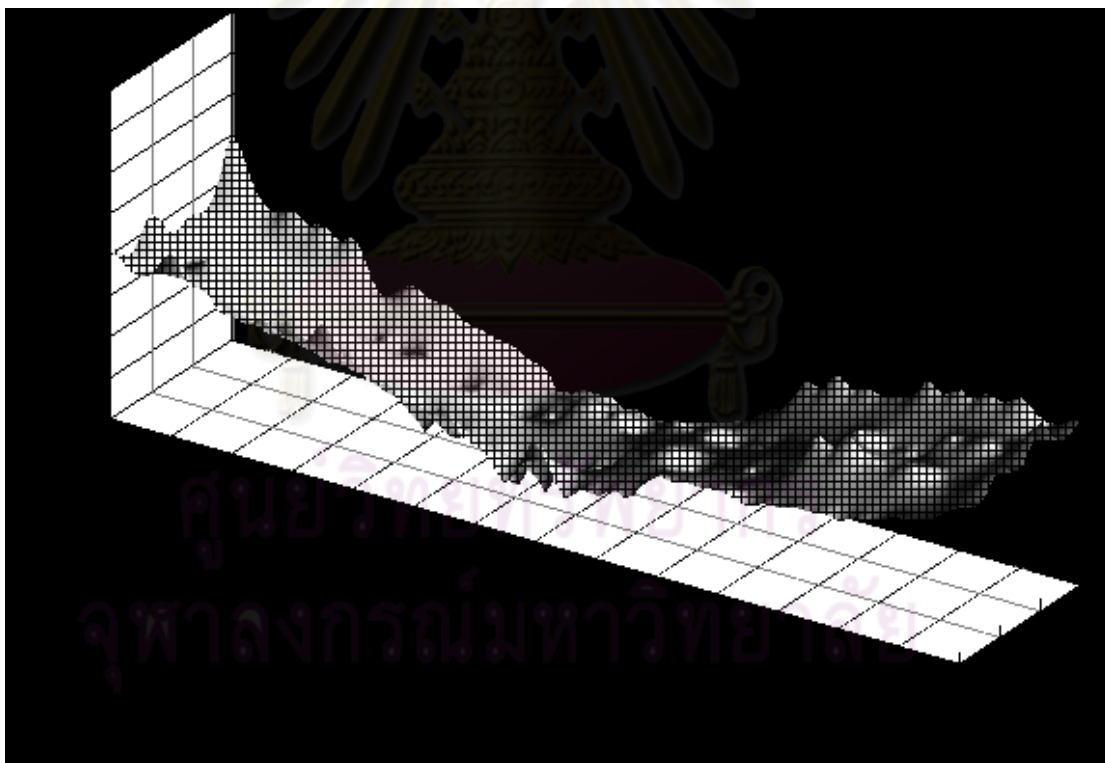
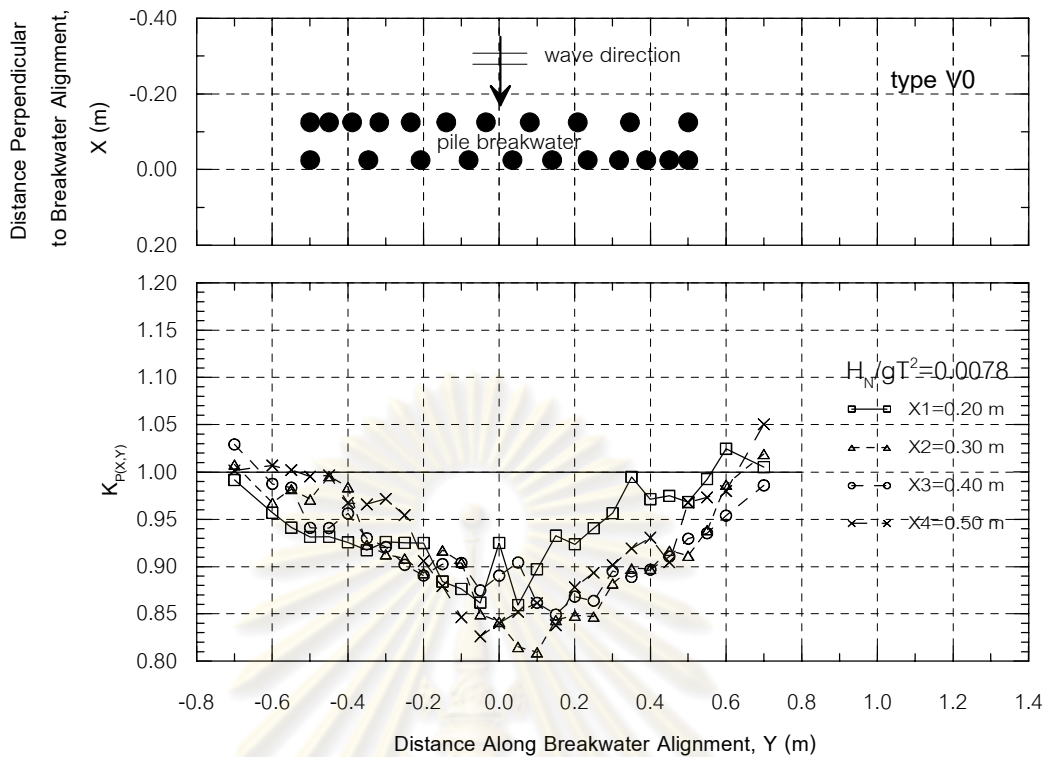
รูปแบบ V8

รูปที่ ง-3 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0047 (ต่อ)



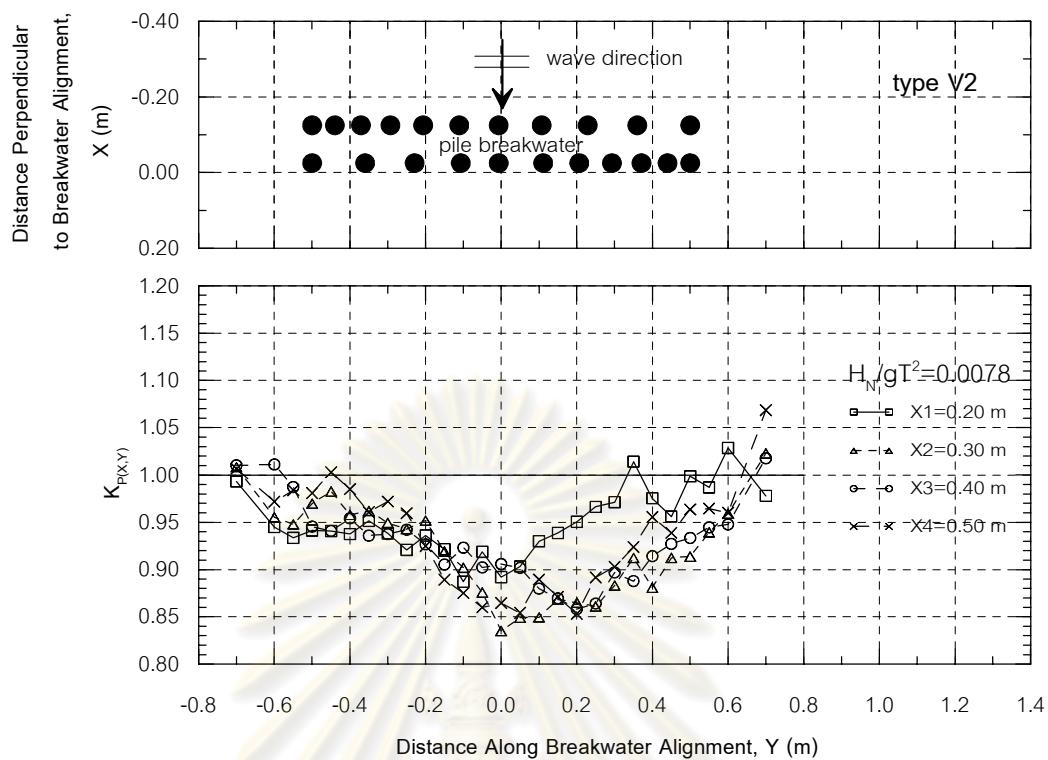
รูปแบบ V10

รูปที่ ง-3 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0047 (ต่อ)



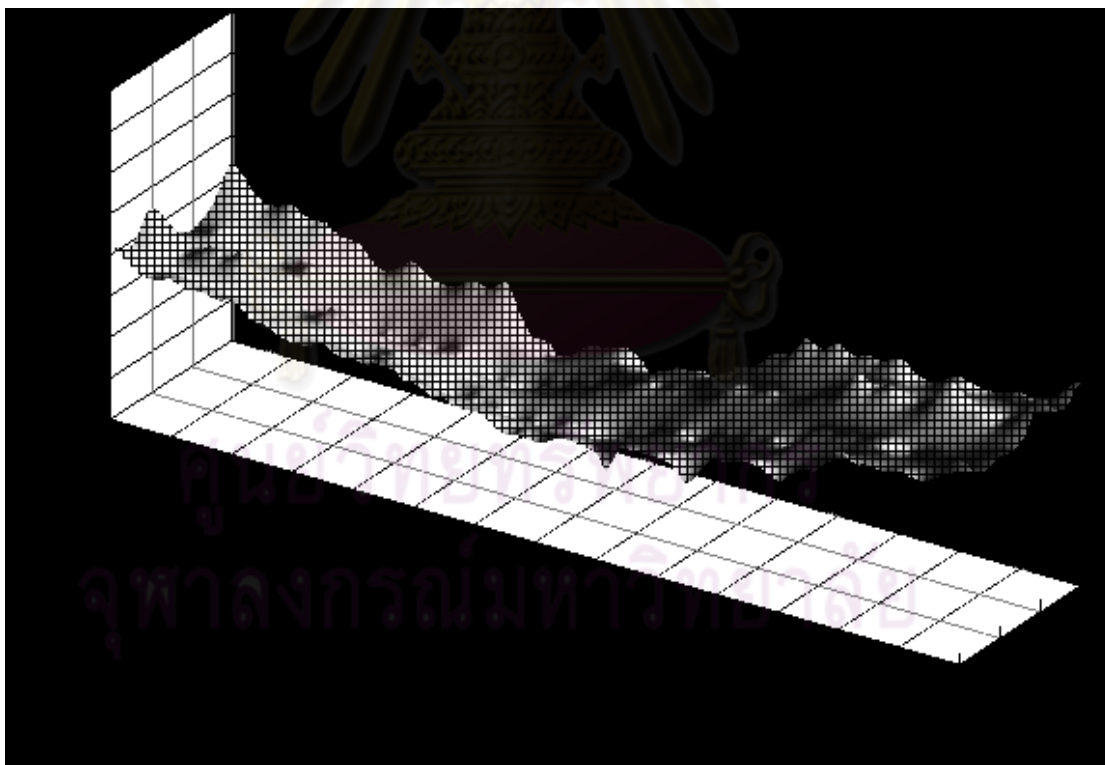
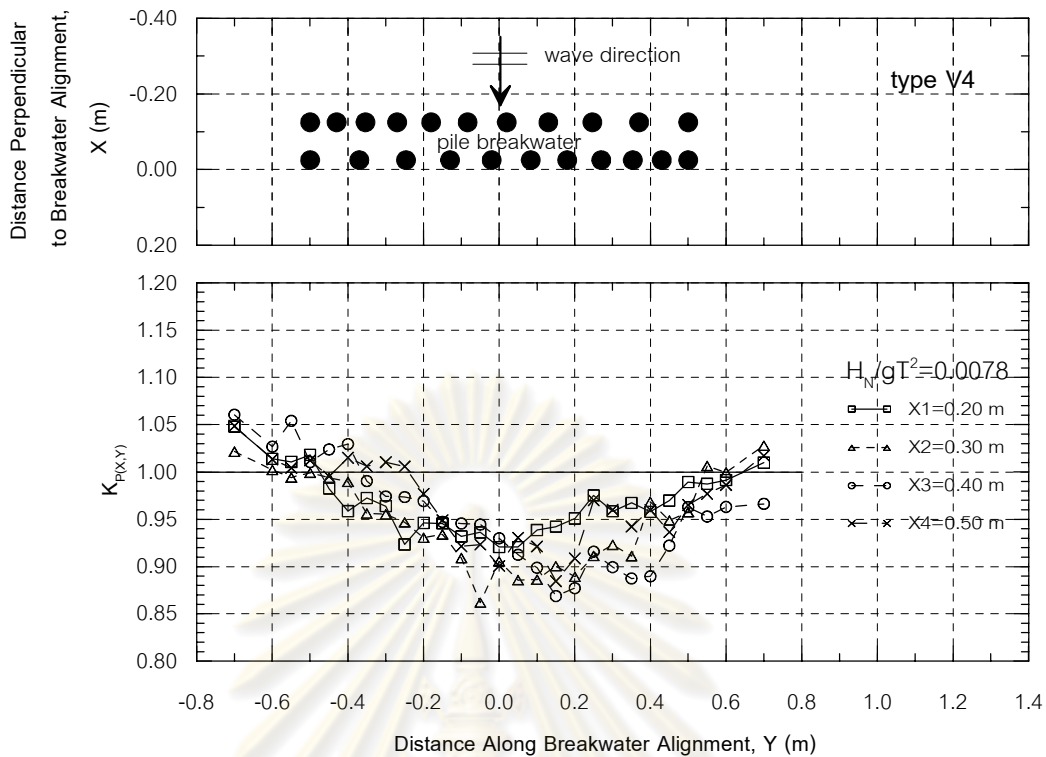
รูปแบบ V0

รูปที่ ง-4 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0078



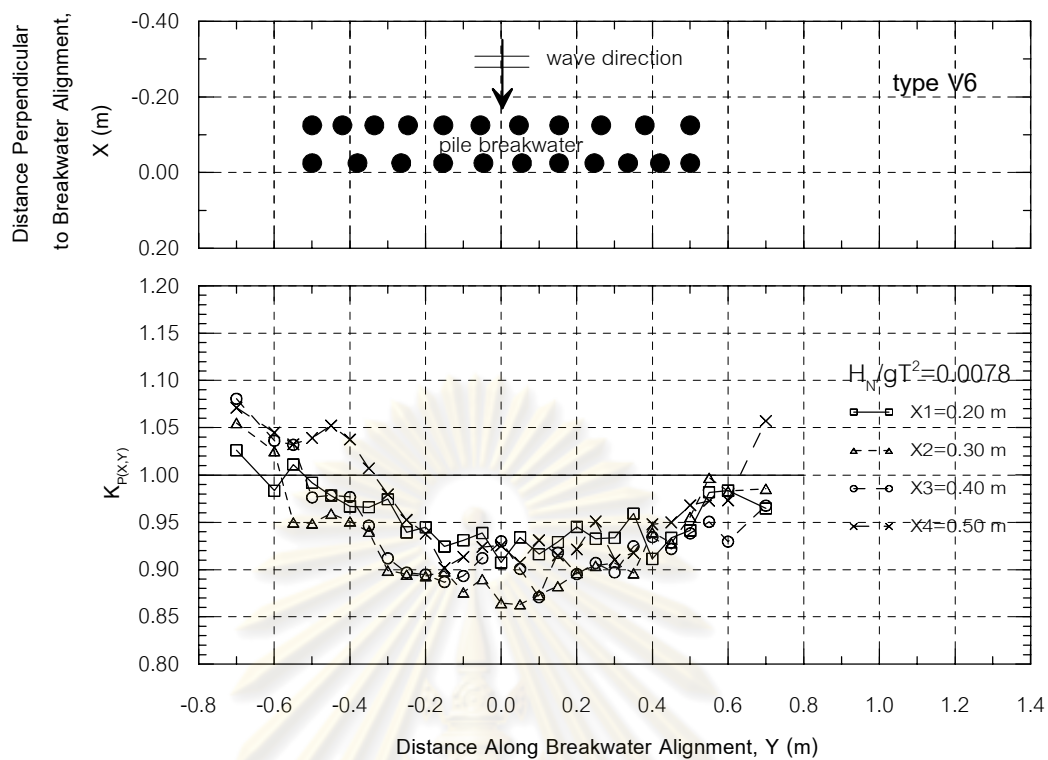
รูปแบบ V2

รูปที่ ง-4 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0078 (ต่อ)



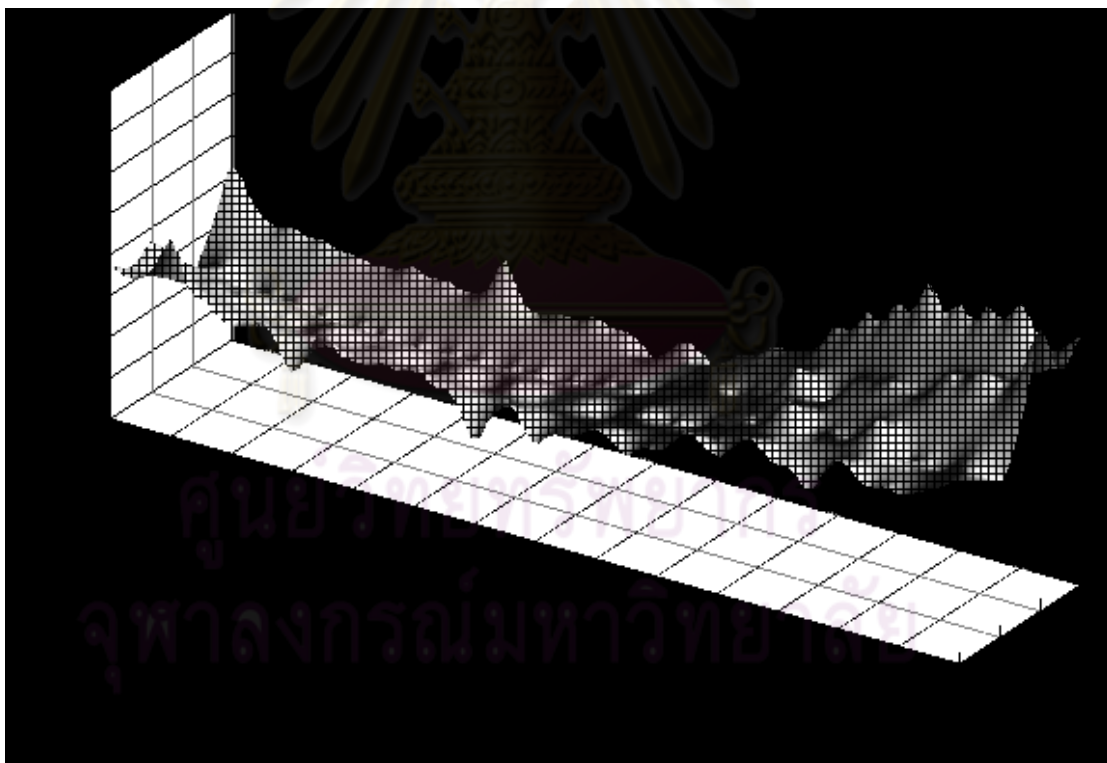
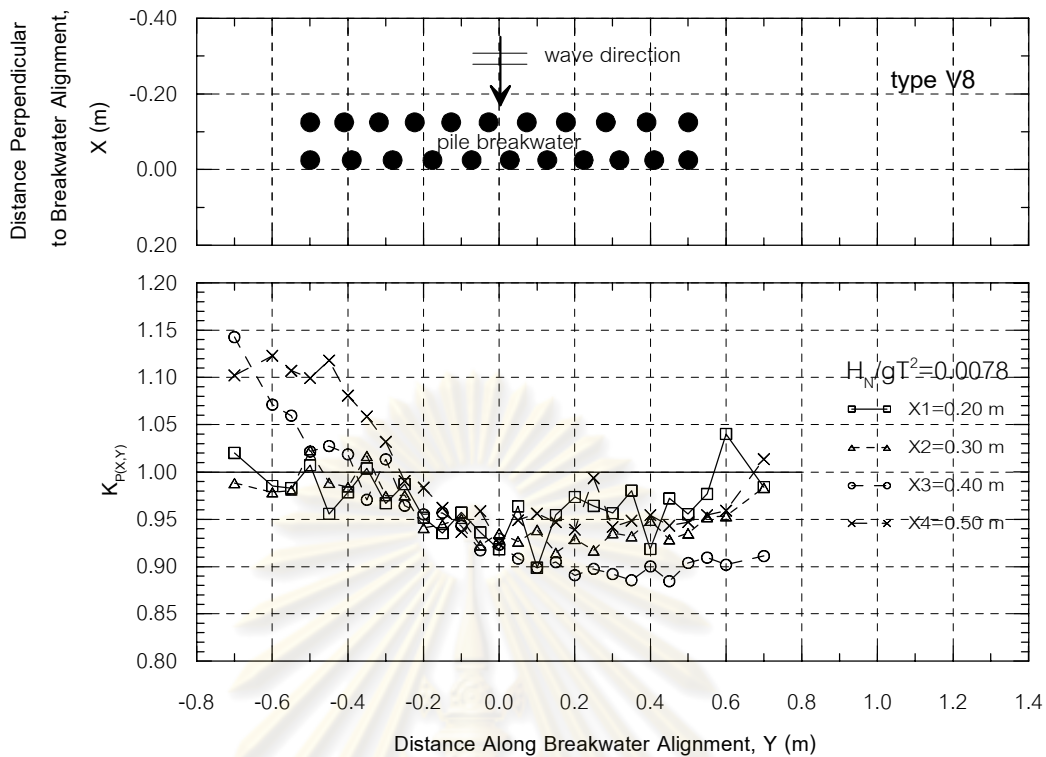
รูปแบบ V4

รูปที่ ง-4 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0078 (ต่อ)



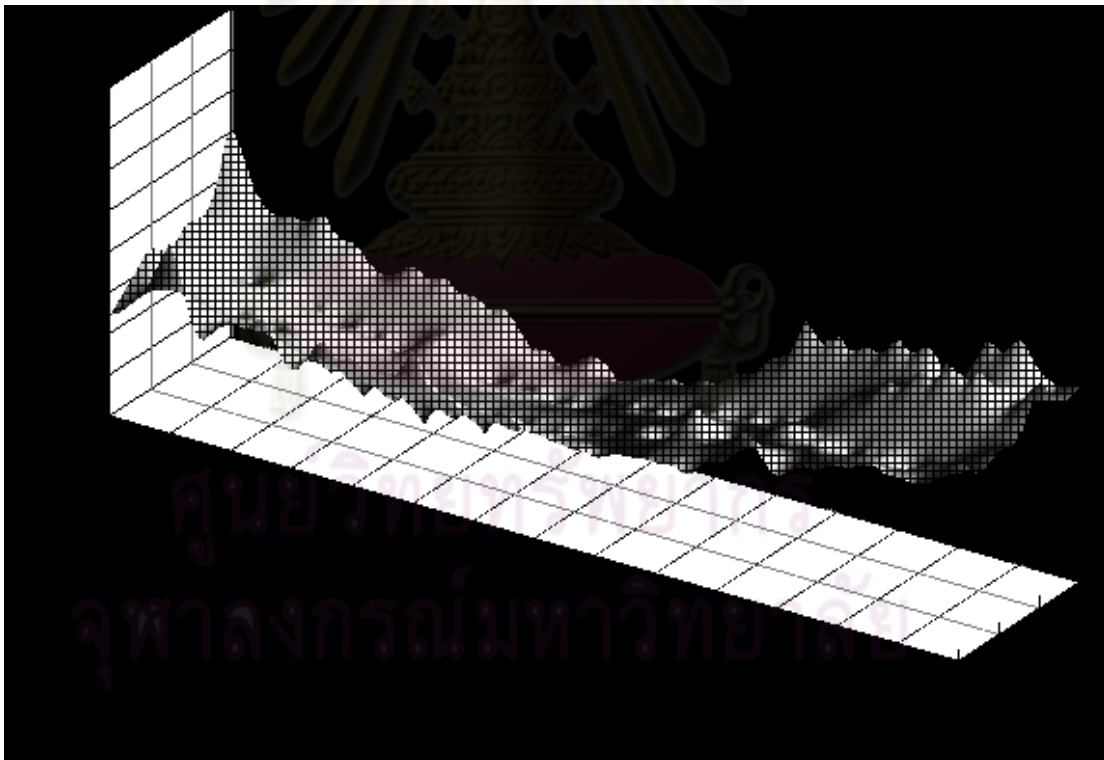
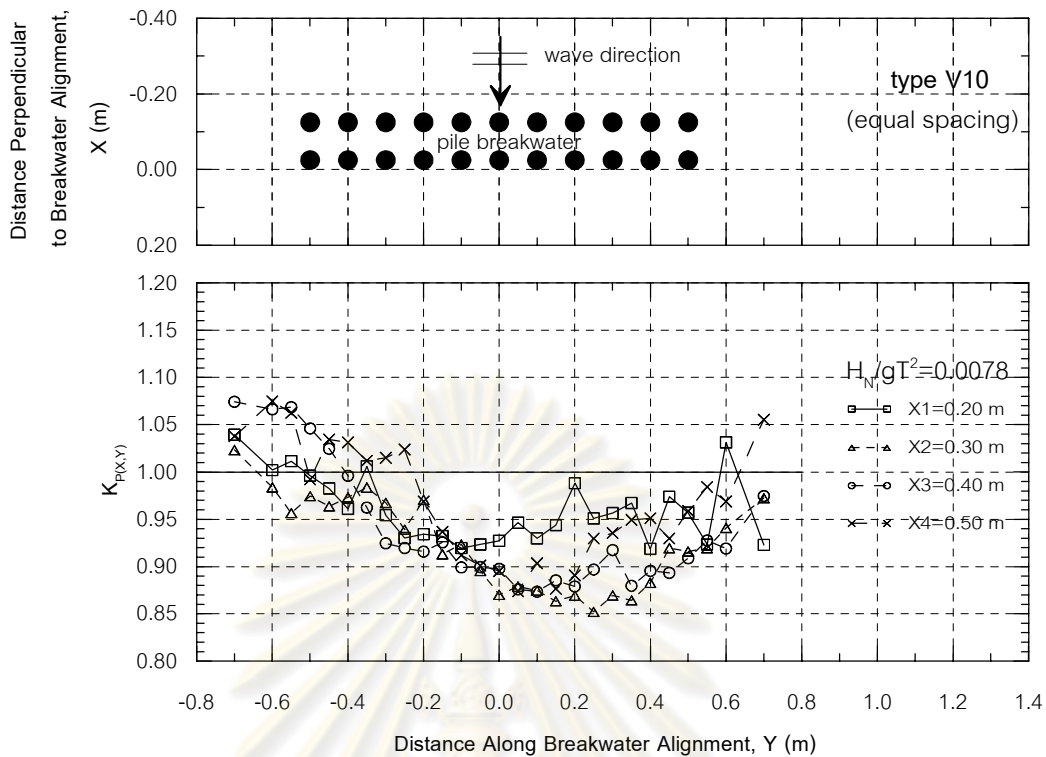
รูปแบบ V6

รูปที่ ง-4 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_N/gT^2 เท่ากับ 0.0078 (ต่อ)



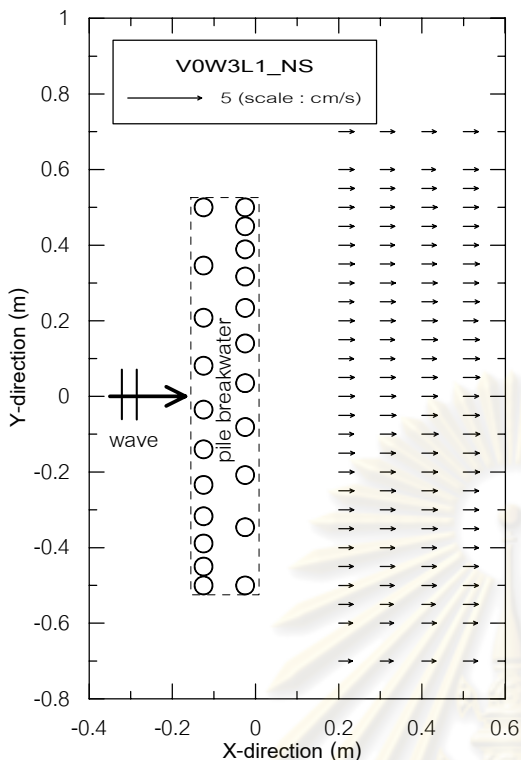
รูปแบบ V8

รูปที่ ง-4 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0078 (ต่อ)

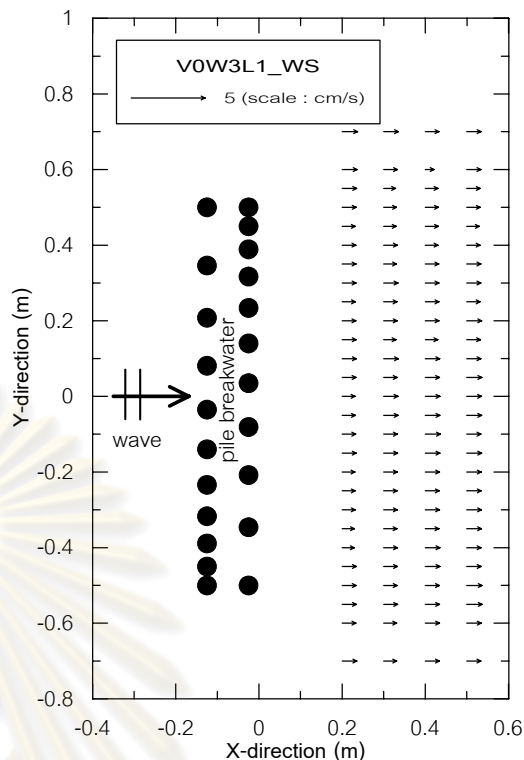


รูปแบบ V10

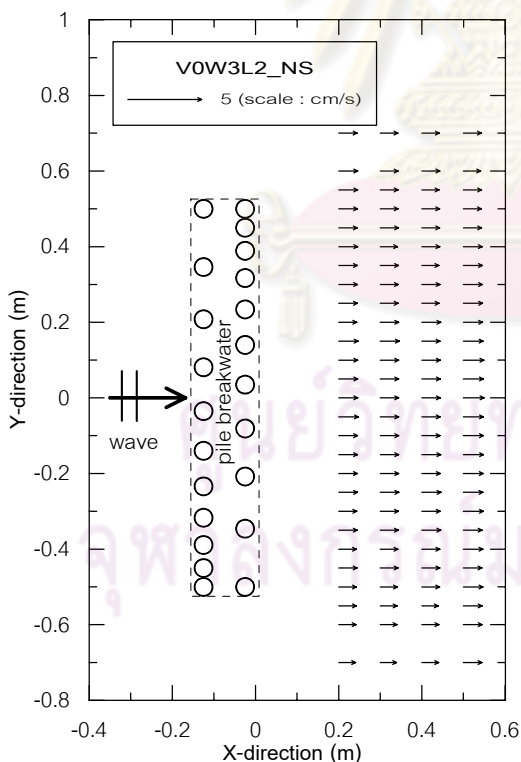
รูปที่ ง-4 ค่า K_p และพื้นที่ผิวด้านหลังเขื่อนกันคลื่น กรณี H_n/gT^2 เท่ากับ 0.0078 (ต่อ)



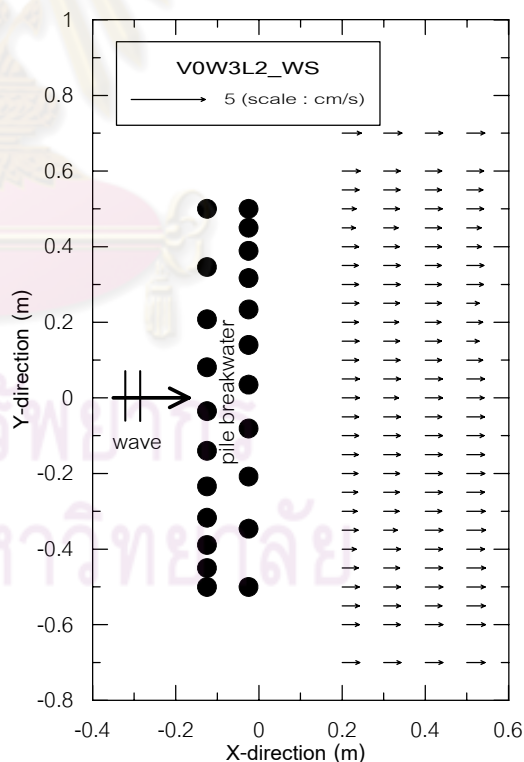
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

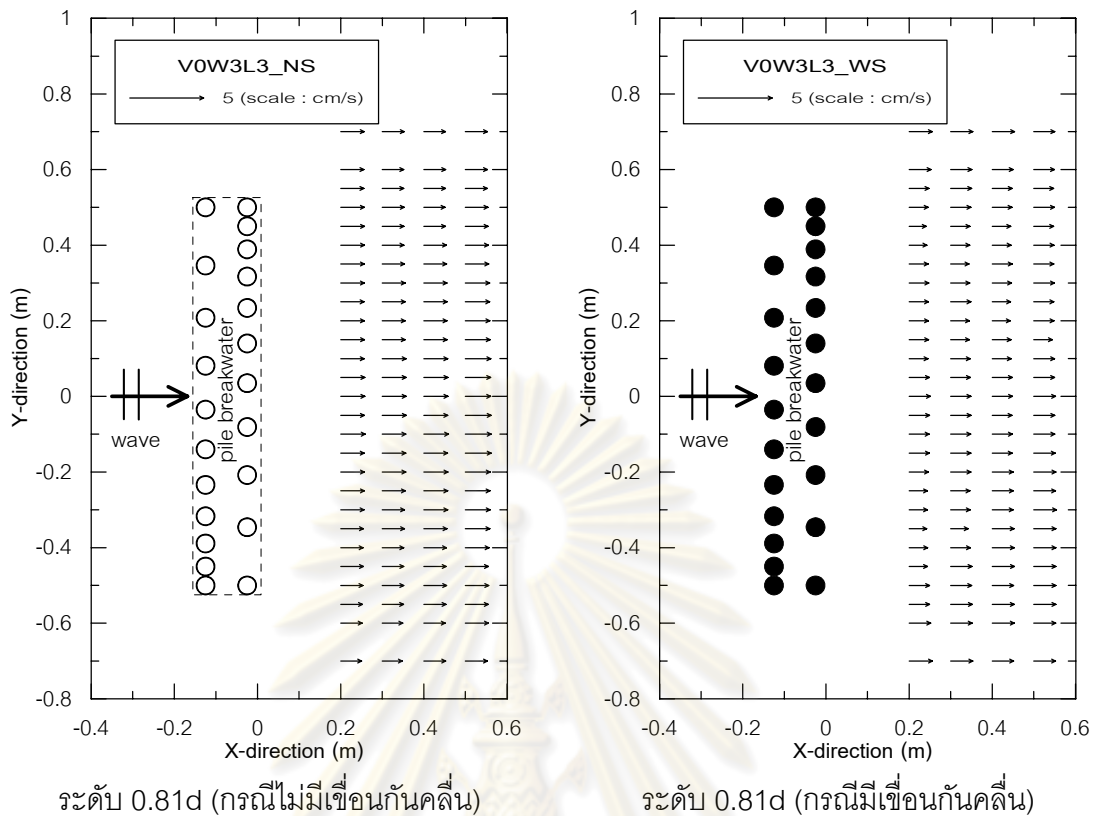


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



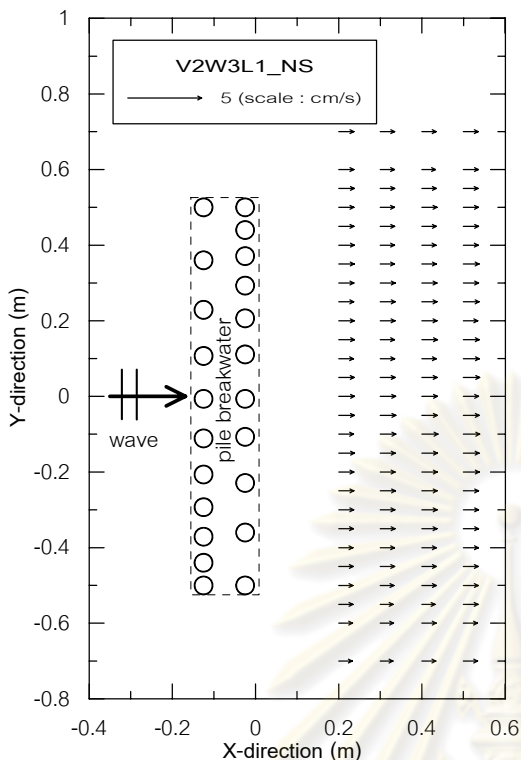
ระดับ 0.64d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

รูปที่ 5-5 เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด
ของเขื่อนกันคลื่น VO ความชันคลื่น(H_v/gT^2) เท่ากับ 0.0078

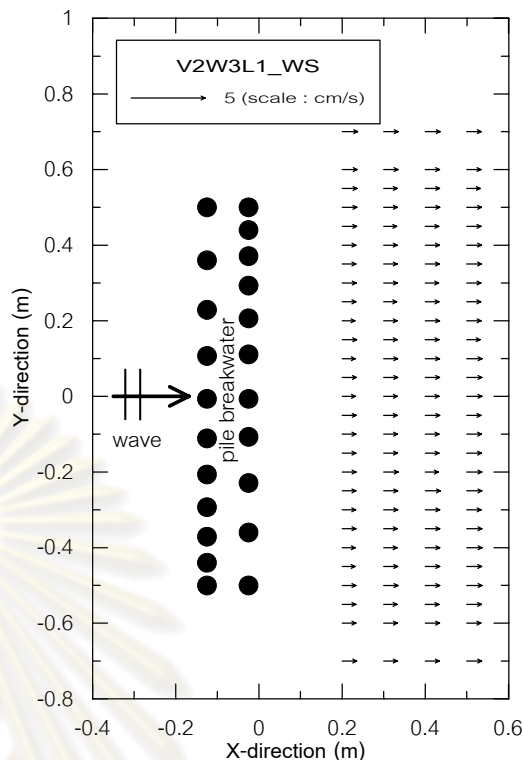


รูปที่ ง-5 เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด
ของเขื่อนกันคลื่น V0 ความชันคลื่น (H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0078 (ต่อ)

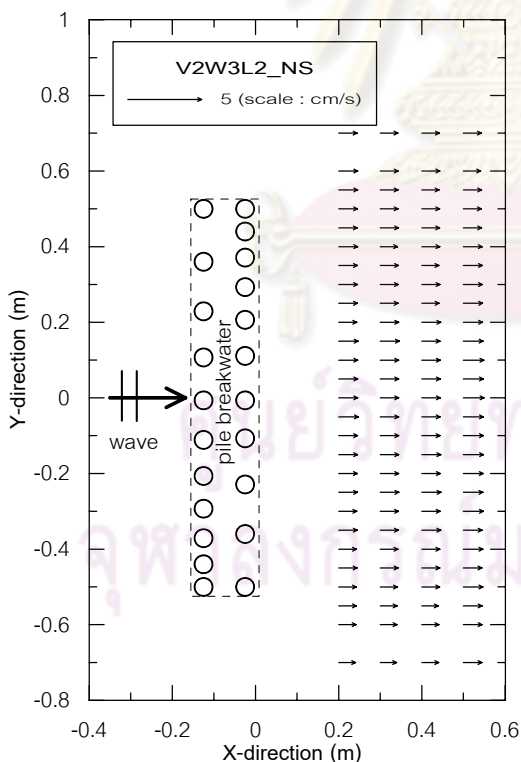
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



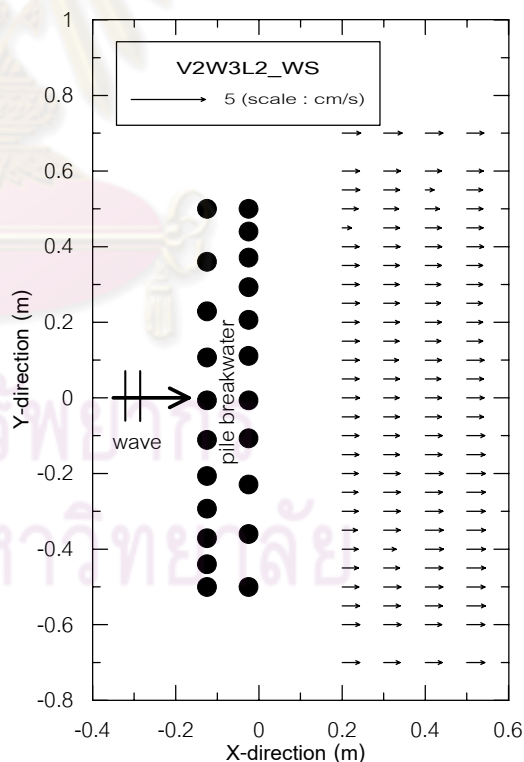
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

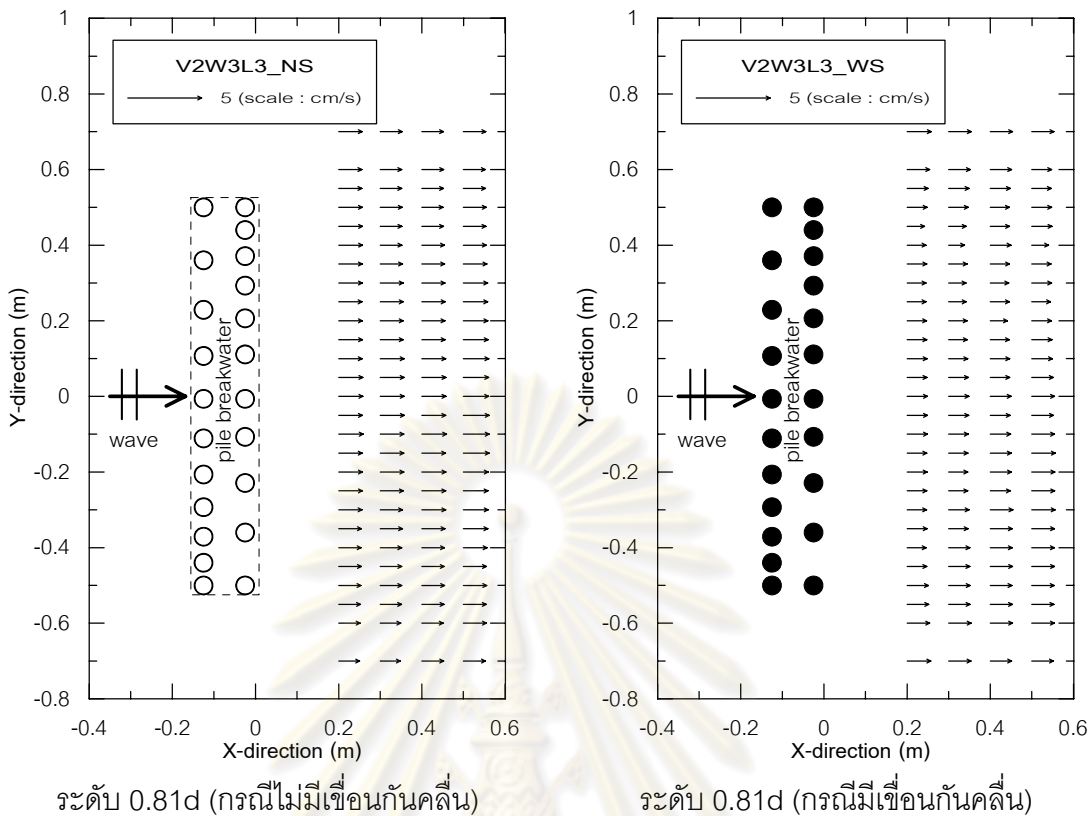


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



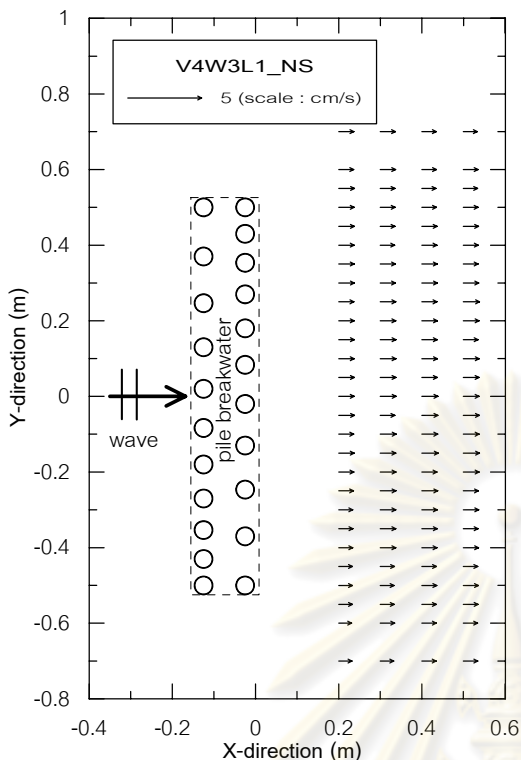
ระดับ 0.64d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

รูปที่ 6- เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด
ของเขื่อนกันคลื่น V2 ความชันคลื่น(H_w/gT^2) เท่ากับ 0.0078

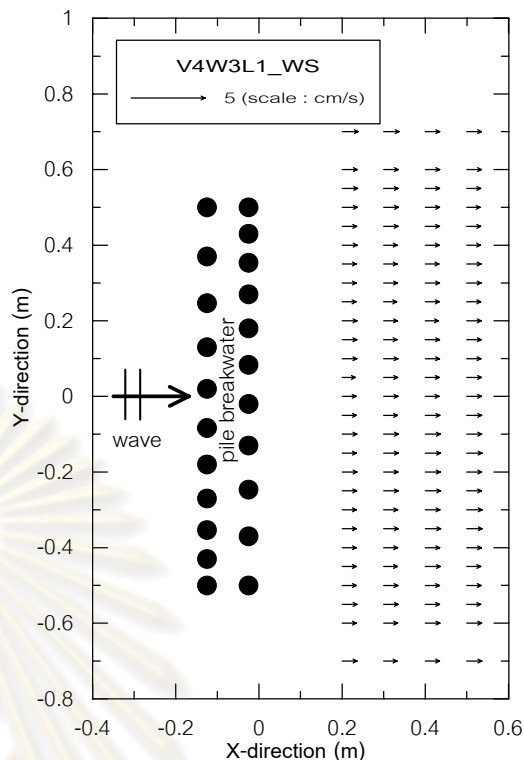


รูปที่ ง-6 เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด
ของเขื่อนกันคลื่น V2 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0078 (ต่อ)

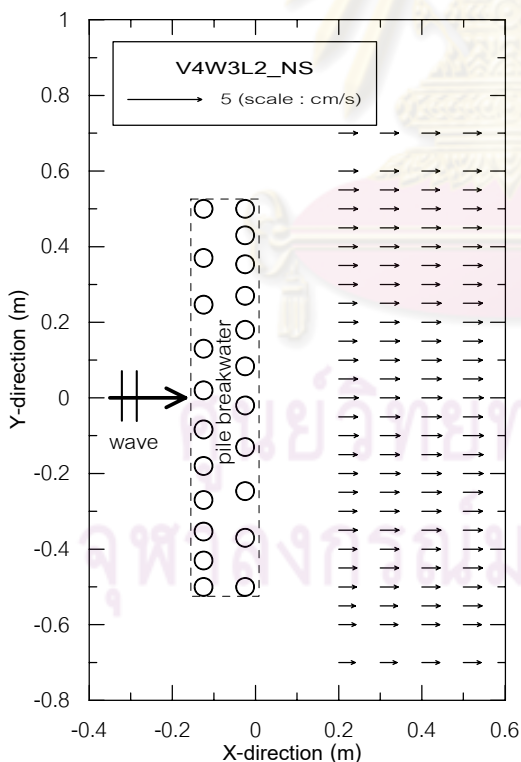
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



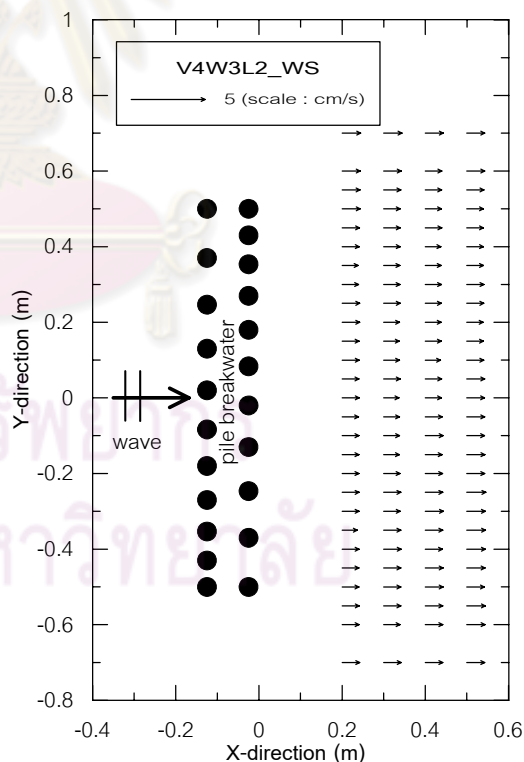
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเชื่อมกันคลื่น)

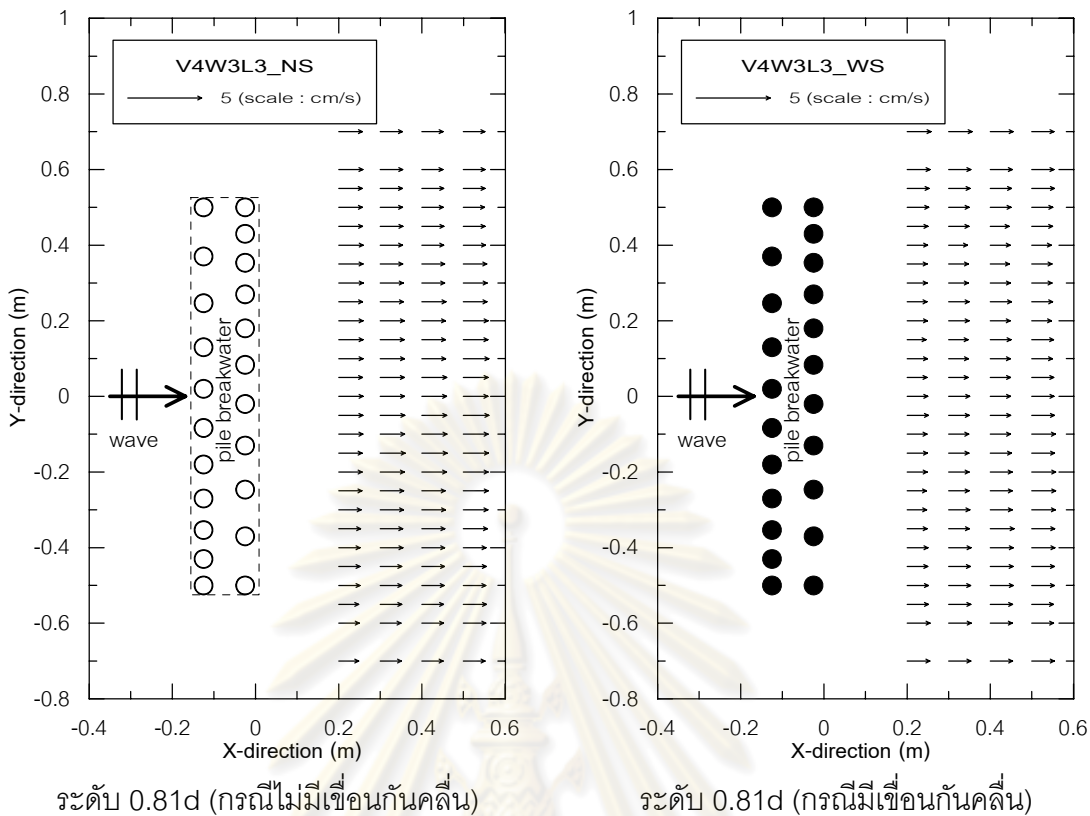


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น)



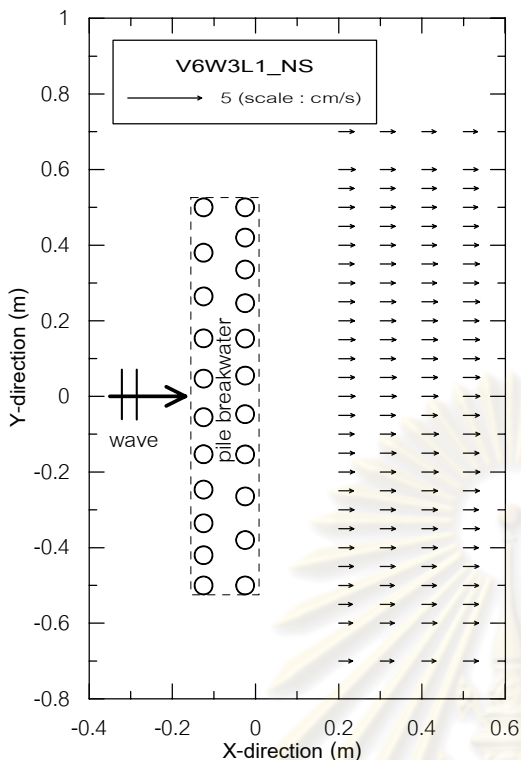
ระดับ 0.64d (กรณีมีเชื่อมกันคลื่น)

รูปที่ ง-7 เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด
ของเขื่อนกันคลื่น V4 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0078

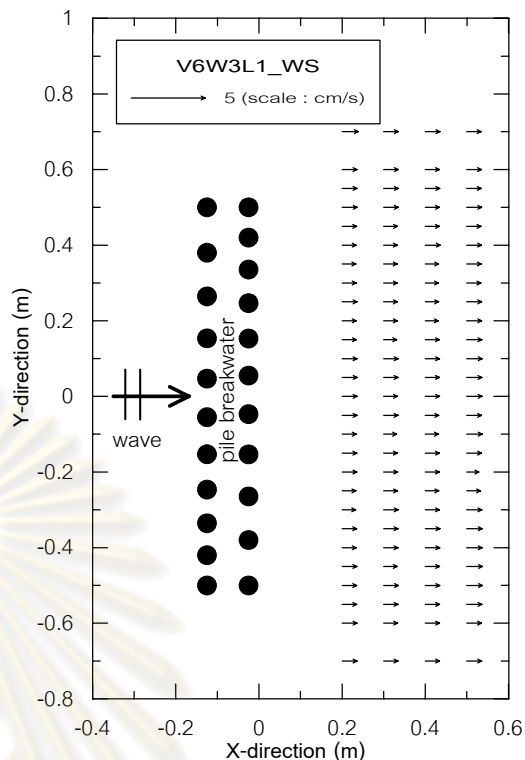


รูปที่ ง-7 เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด
ของเขื่อนกันคลื่น V4 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0078 (ต่อ)

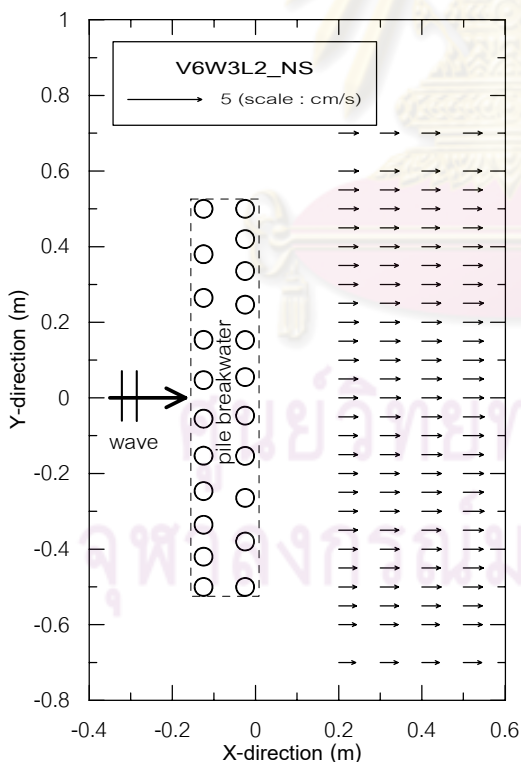
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



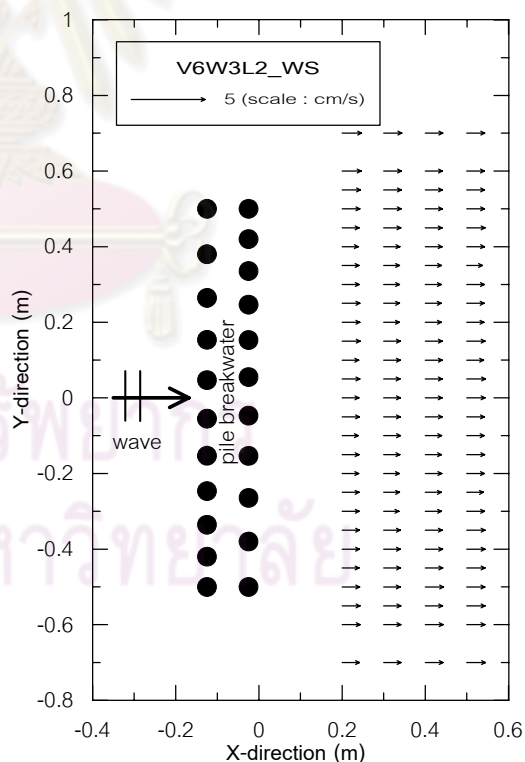
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

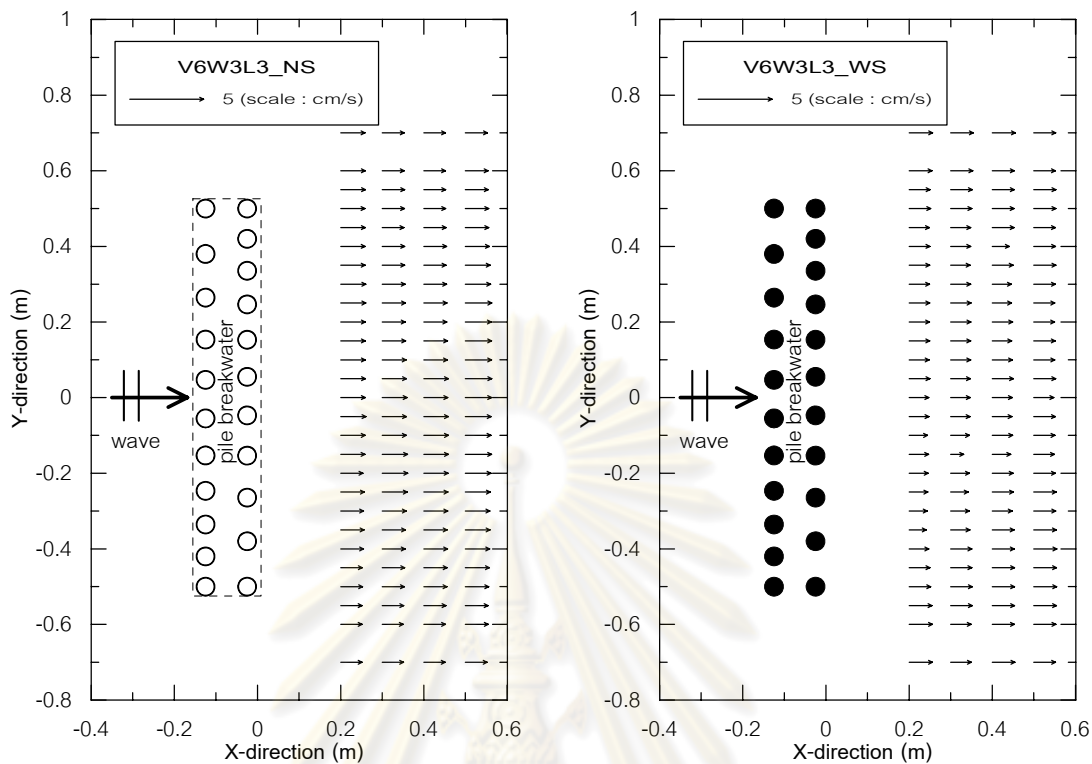


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.64d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

รูปที่ 8- เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด
ของเขื่อนกันคลื่น V6 ความชันคลื่น(H_w/gT^2) เท่ากับ 0.0078

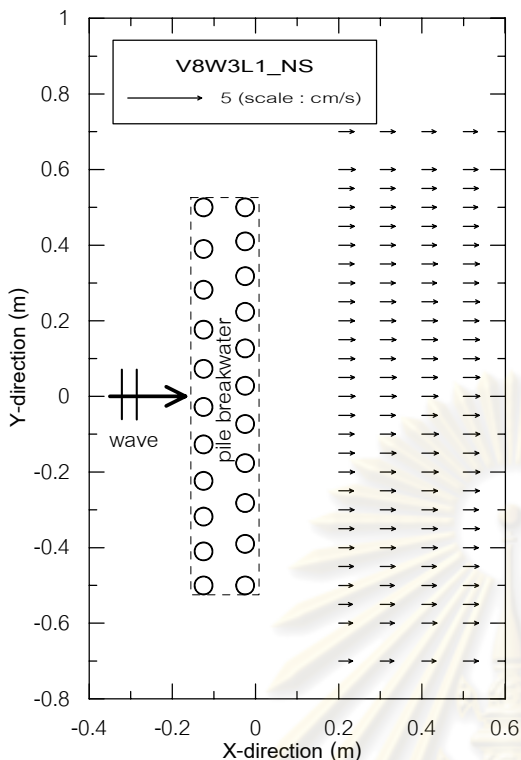


ระดับ 0.81d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)

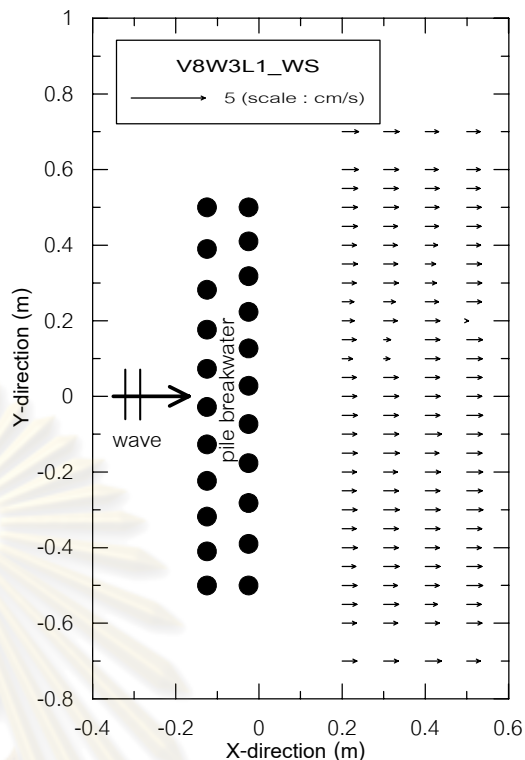
ระดับ 0.81d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

รูปที่ ง-8 เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด
ของเขื่อนกันคลื่น V6 ความชันคลื่น (H_p/gT^2) เท่ากับ 0.0078 (ต่อ)

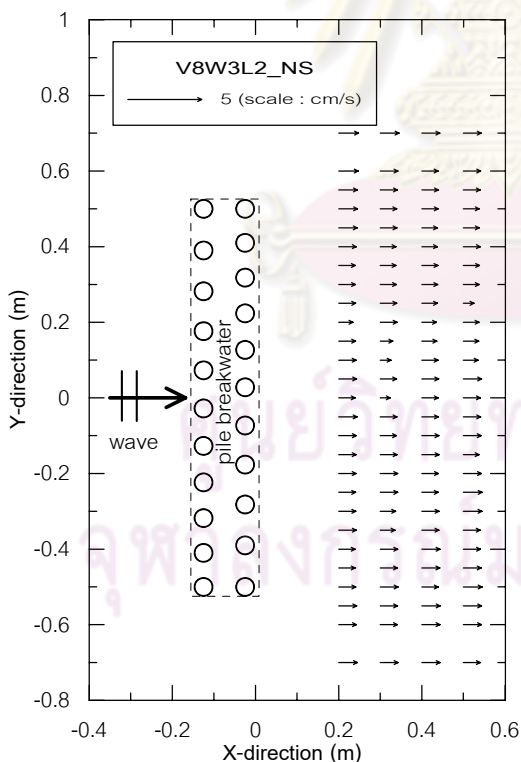
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



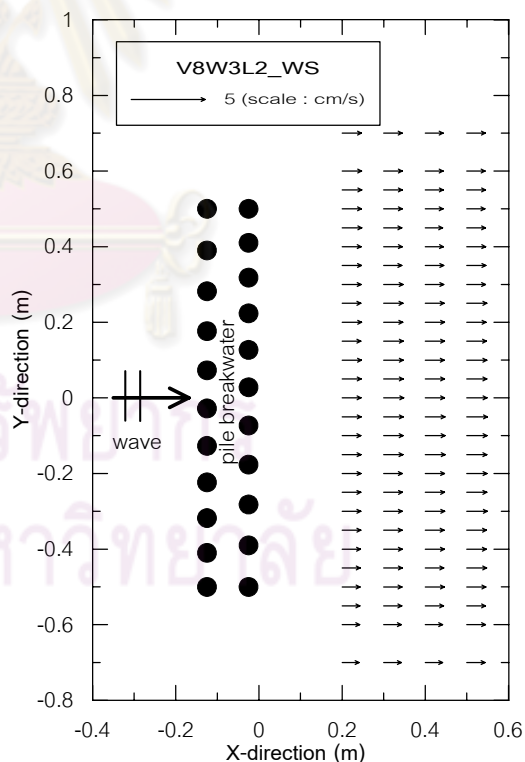
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

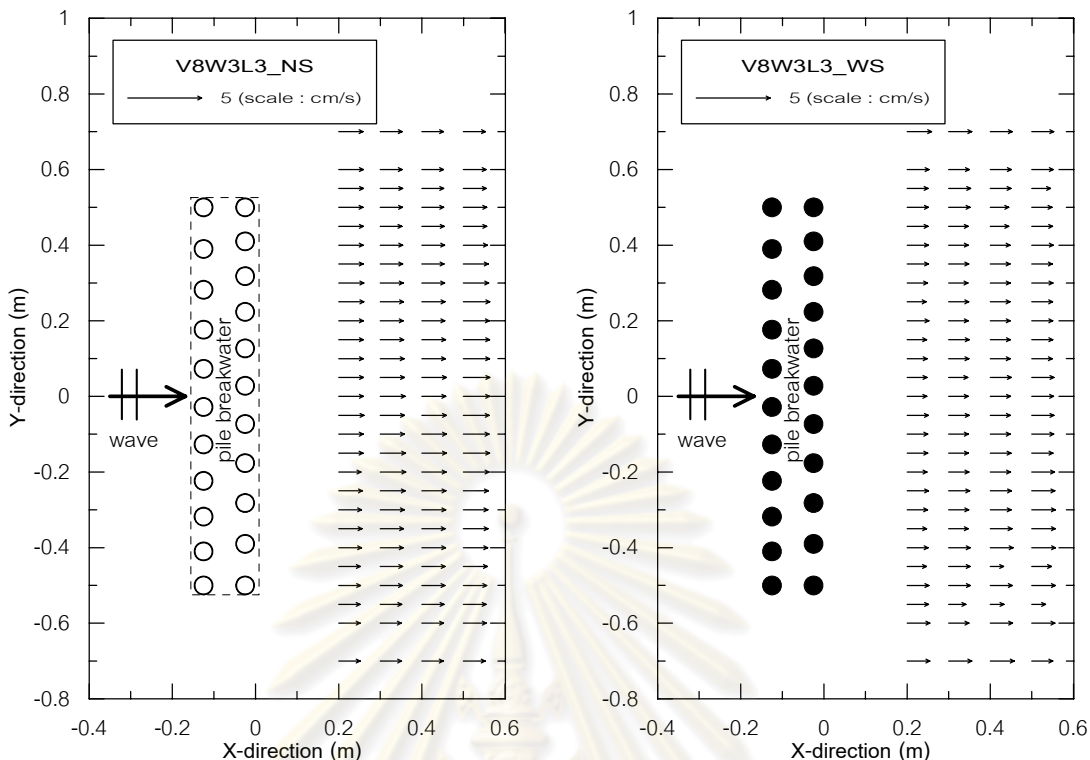


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)



ระดับ 0.64d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

รูปที่ 9-9 เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด
ของเขื่อนกันคลื่น V8 ความชันคลื่น(H_w/gT^2) เท่ากับ 0.0078

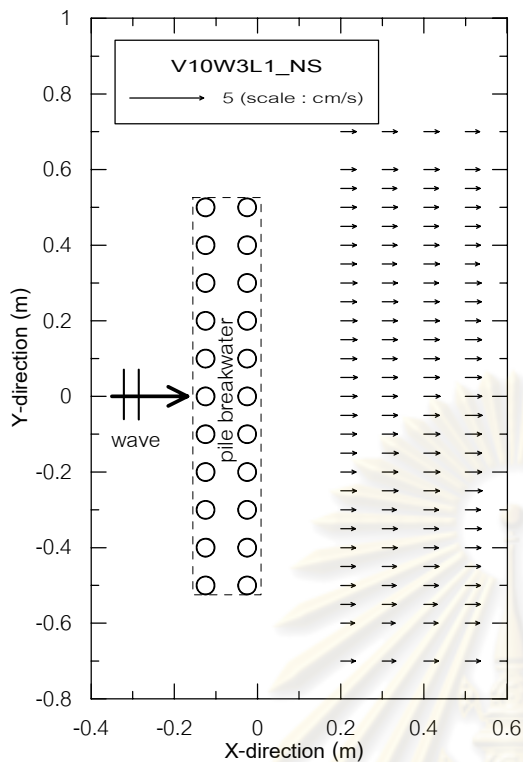


ระดับ 0.81d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)

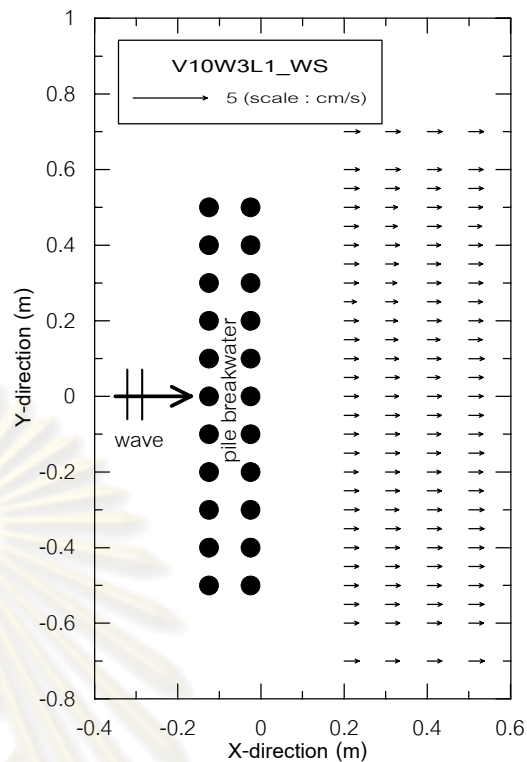
ระดับ 0.81d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

รูปที่ ง-9 เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด
ของเขื่อนกันคลื่น V8 ความชันคลื่น(H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0078 (ต่อ)

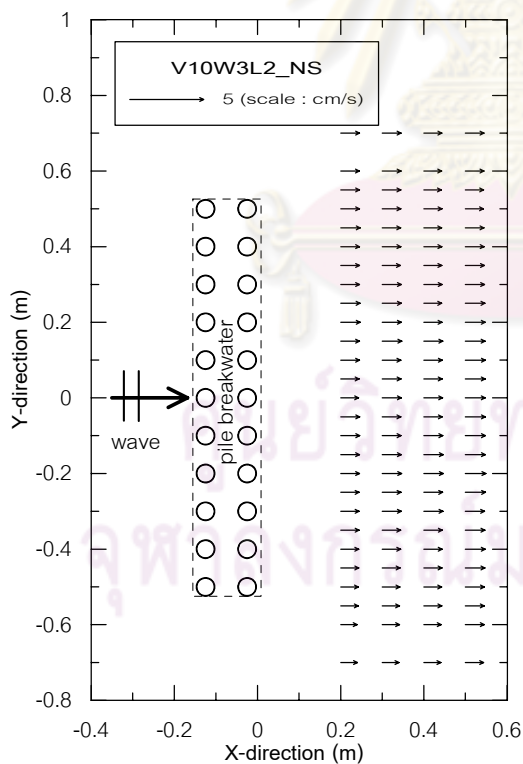
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



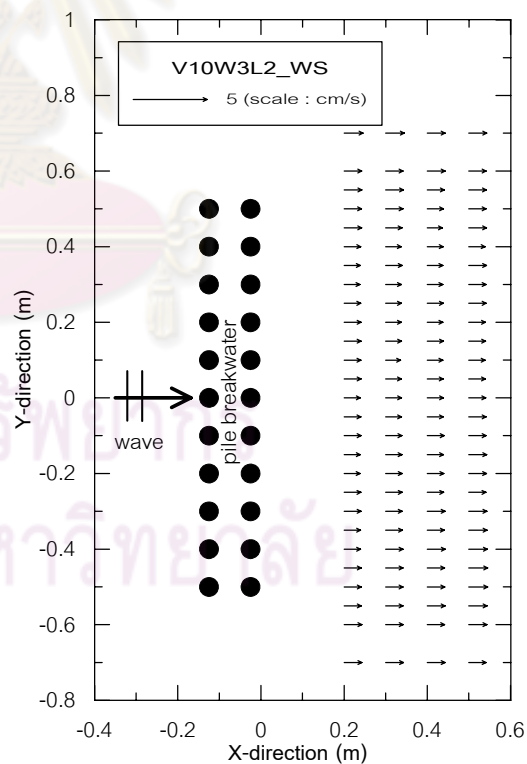
ระดับ 0.5d (กรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น)



ระดับ 0.5d (กรณีมีเชื่อมกันคลื่น)

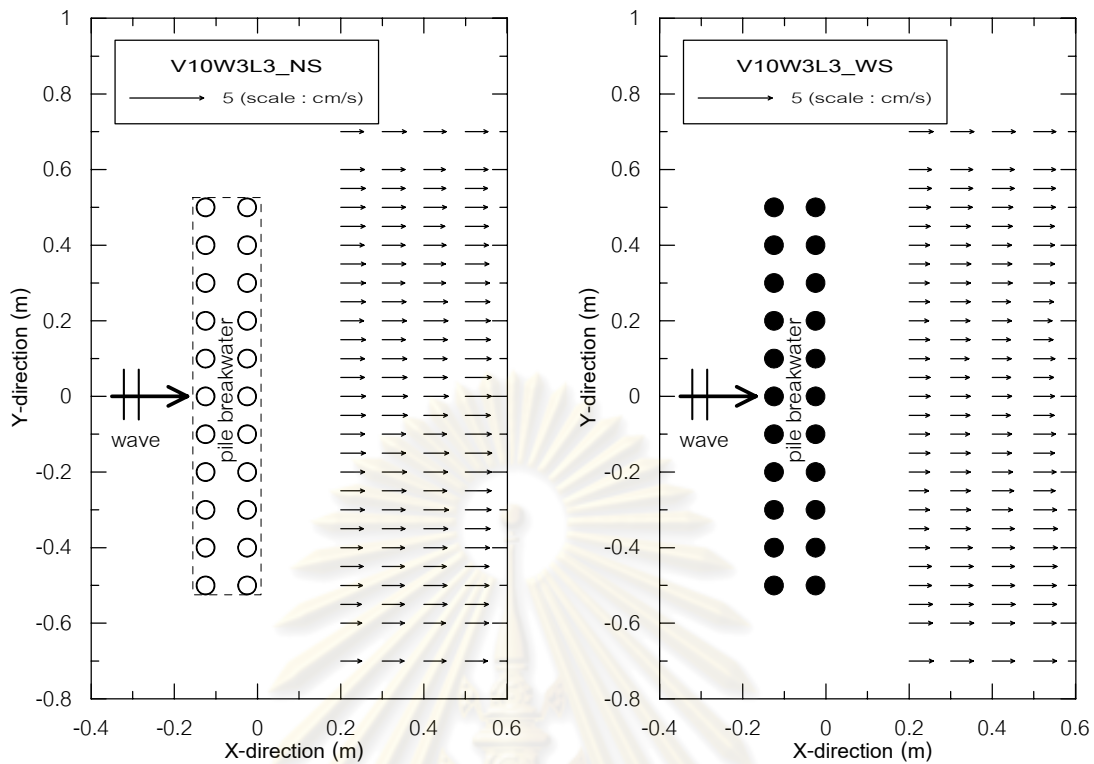


ระดับ 0.64d (กรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น)



ระดับ 0.64d (กรณีมีเชื่อมกันคลื่น)

รูปที่ 10 เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด
ของเขื่อนกันคลื่น V10 ความชันคลื่น (H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0078

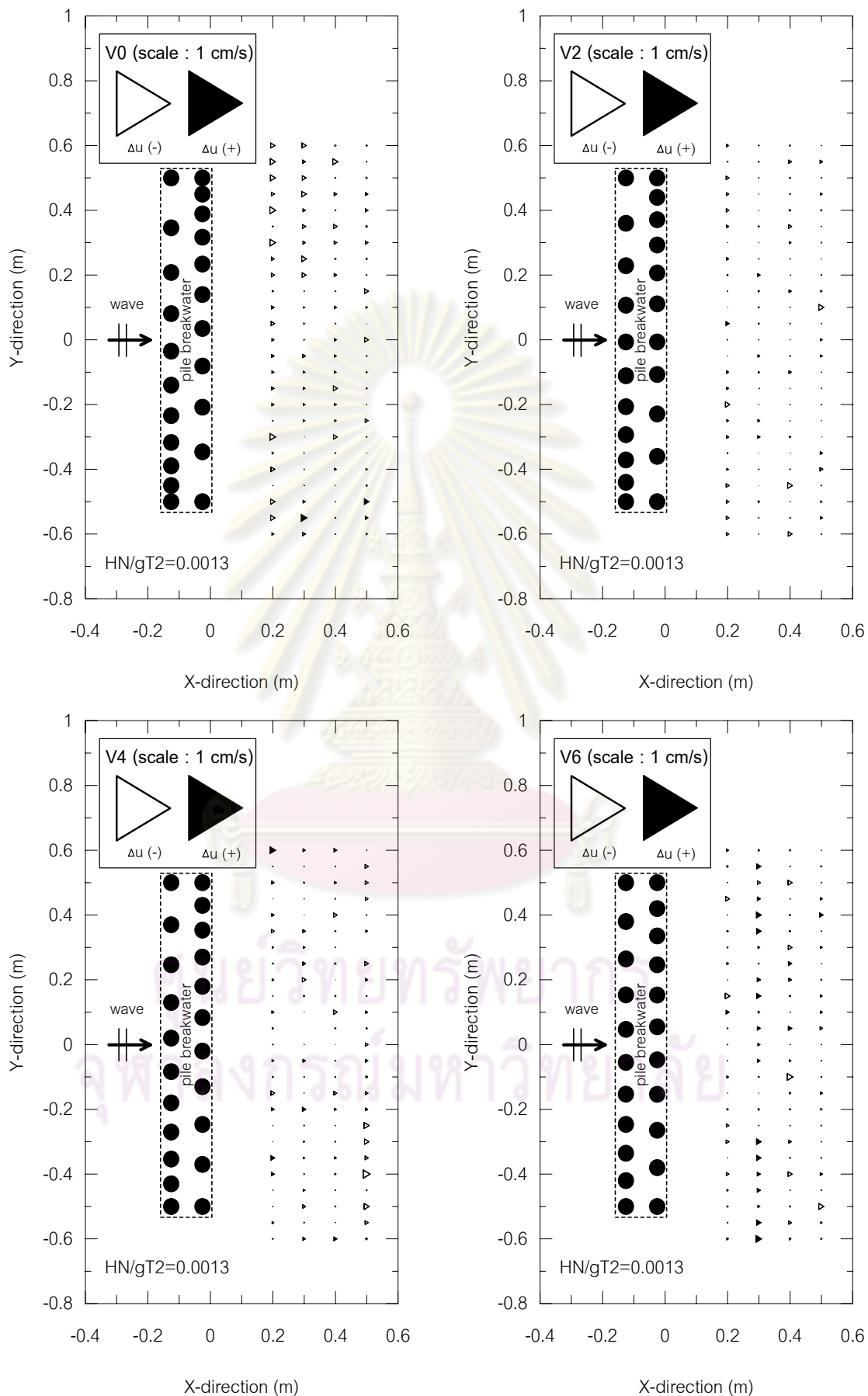


ระดับ 0.81d (กรณีไม่มีเขื่อนกันคลื่น)

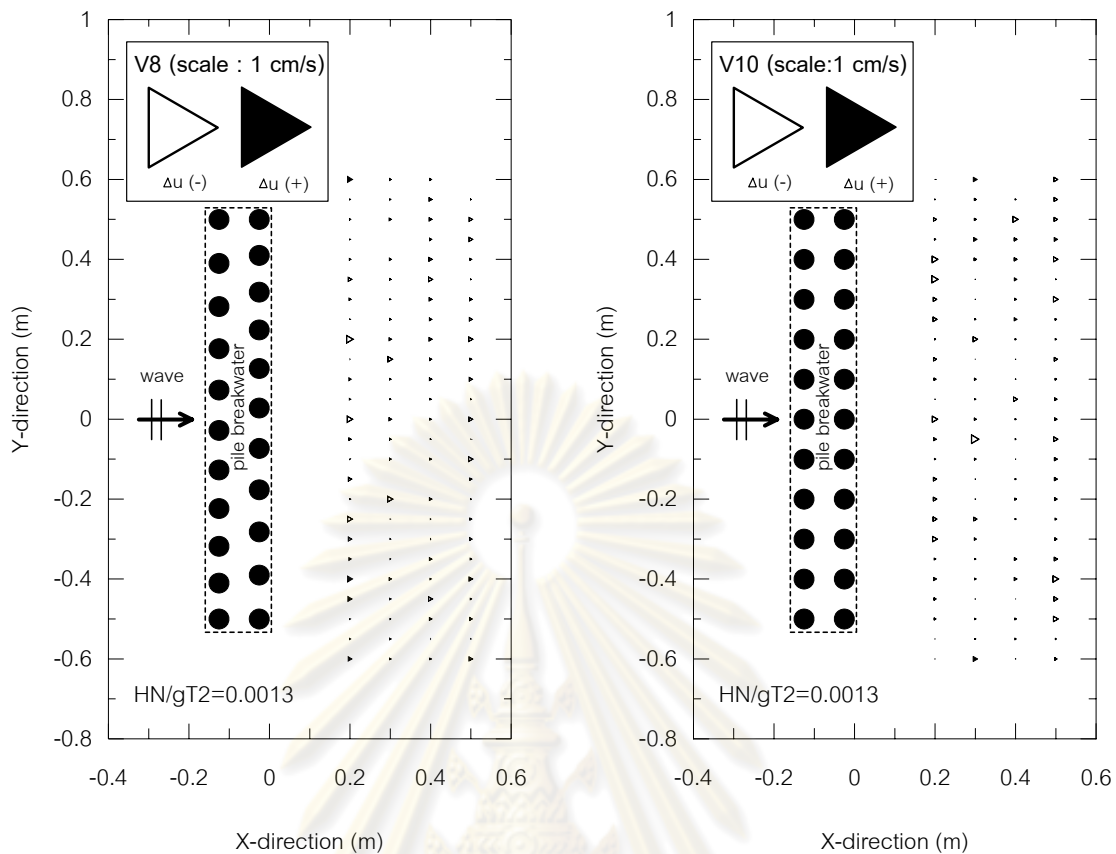
ระดับ 0.81d (กรณีมีเขื่อนกันคลื่น)

รูปที่ ง-10 เวกเตอร์ความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุด
ของเขื่อนกันคลื่น V10 ความชันคลื่น (H_N/gT^2) เท่ากับ 0.0078 (ต่อ)

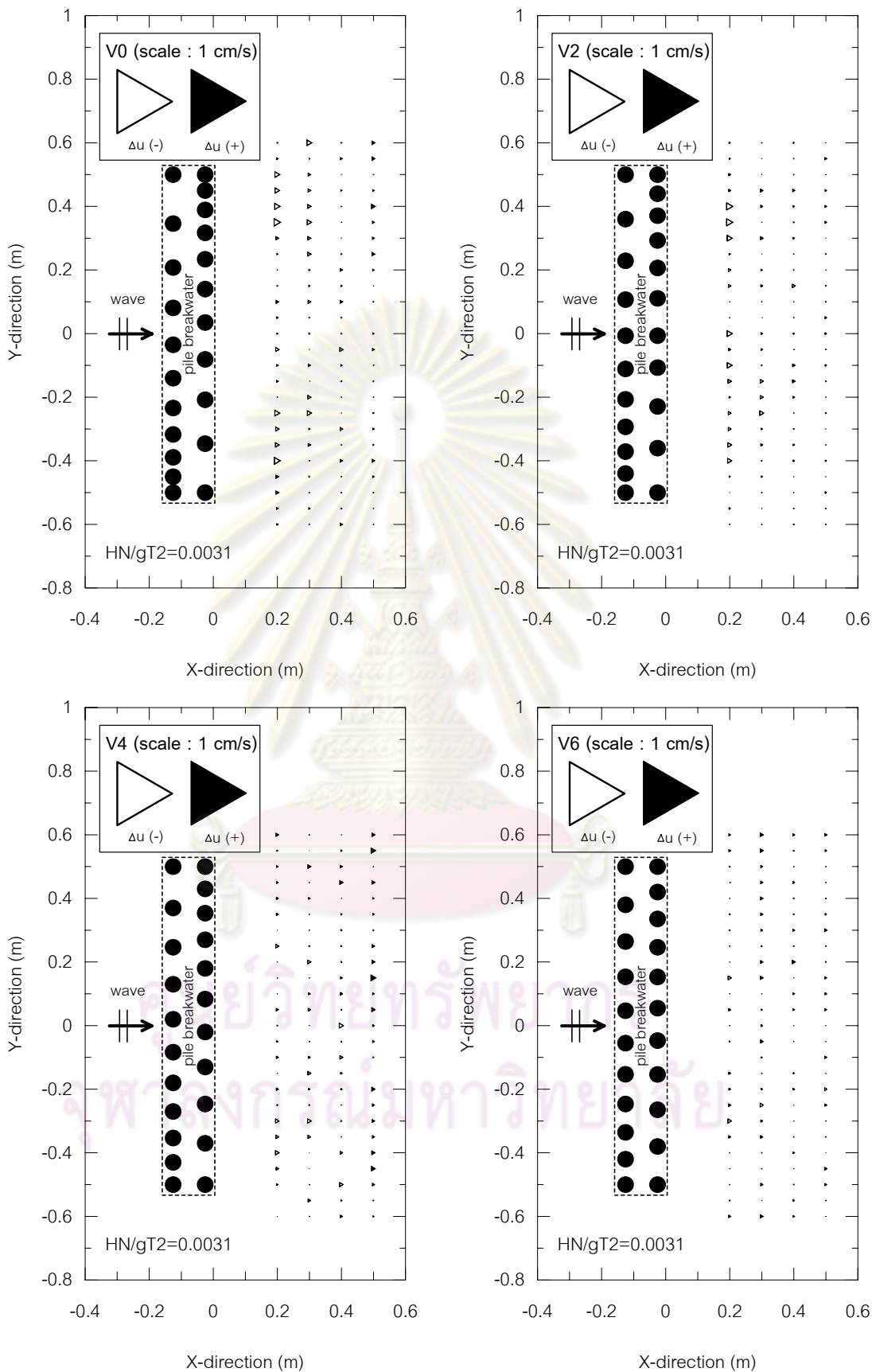
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



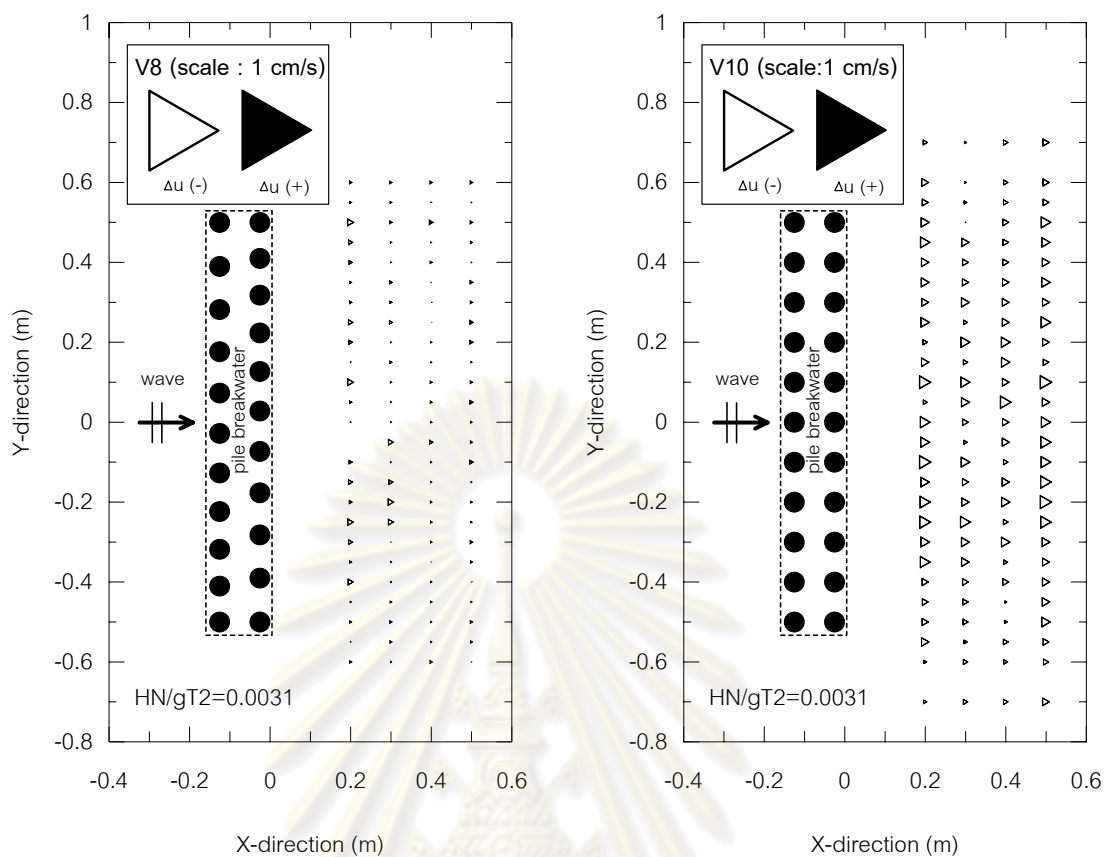
รูปที่ ง-11 ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดตามทิศทางคลื่น กรณีความชันคลื่นเท่ากับ 0.0013



รูปที่ ง-11 ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดตามทิศทางคลื่น กรณีความชันคลื่นเท่ากับ 0.0013(ต่อ)

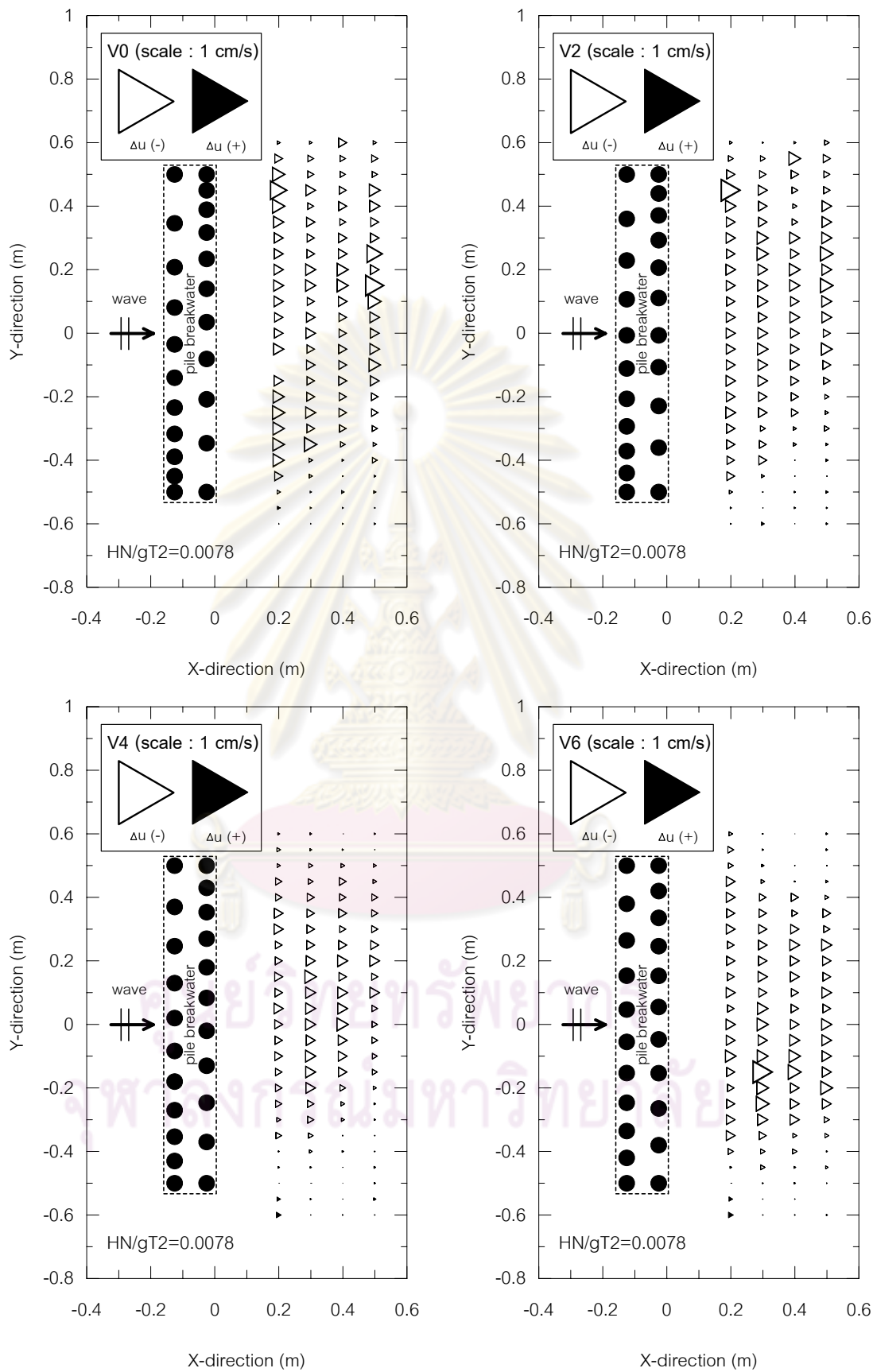


รูปที่ ง-12 ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดตามทิศทางคลื่น กรณีความชันคลื่นเท่ากับ 0.0031

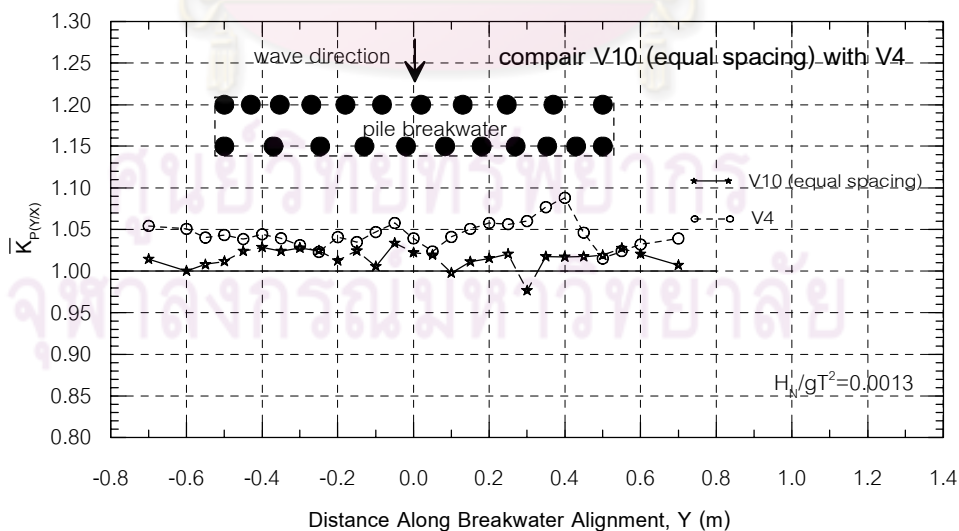
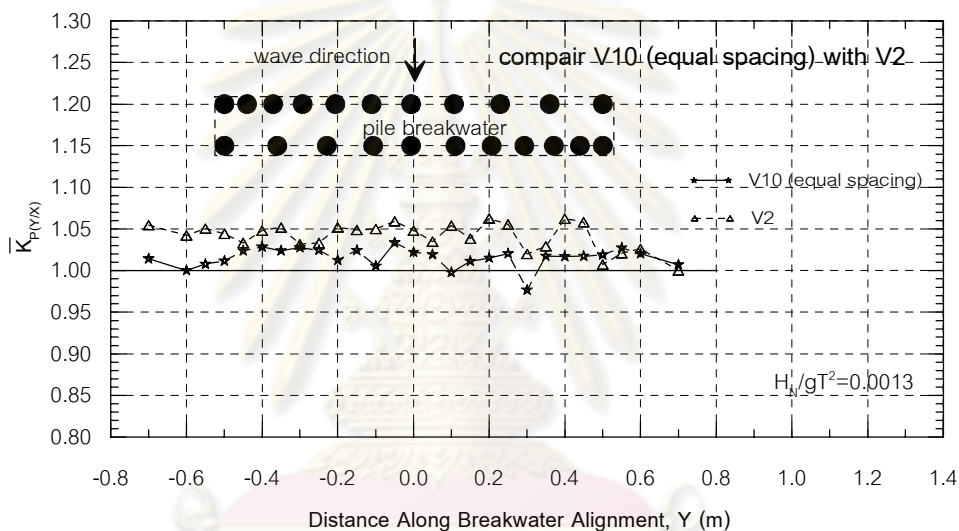
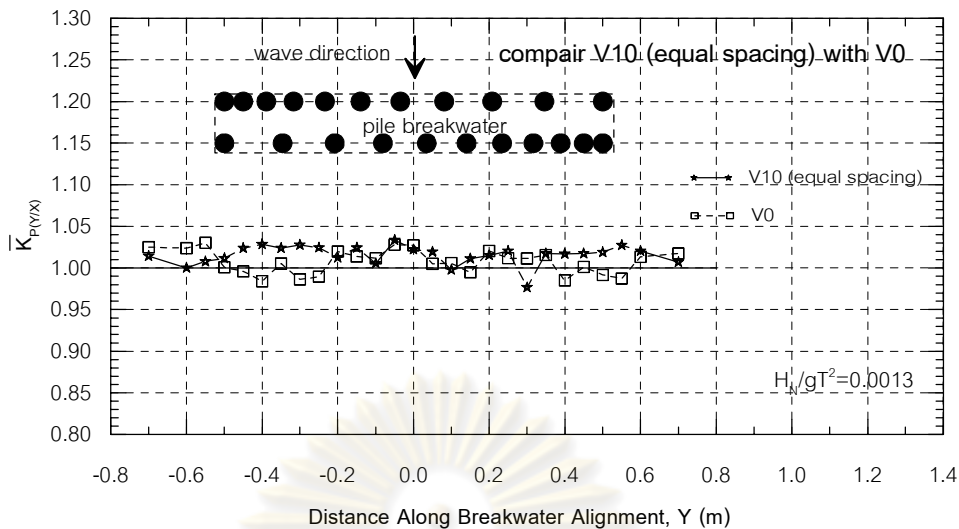


รูปที่ ง-12 ผลต่างความเร็วอนุภาคน้ำสูงสุดตามทิศทางคลื่น กรณีความชันคลื่นเท่ากับ 0.0031(ต่อ)

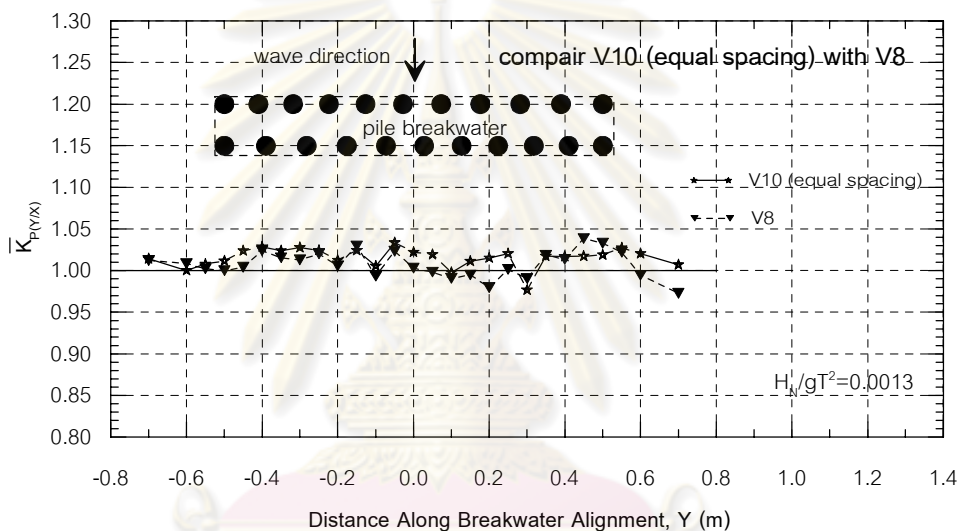
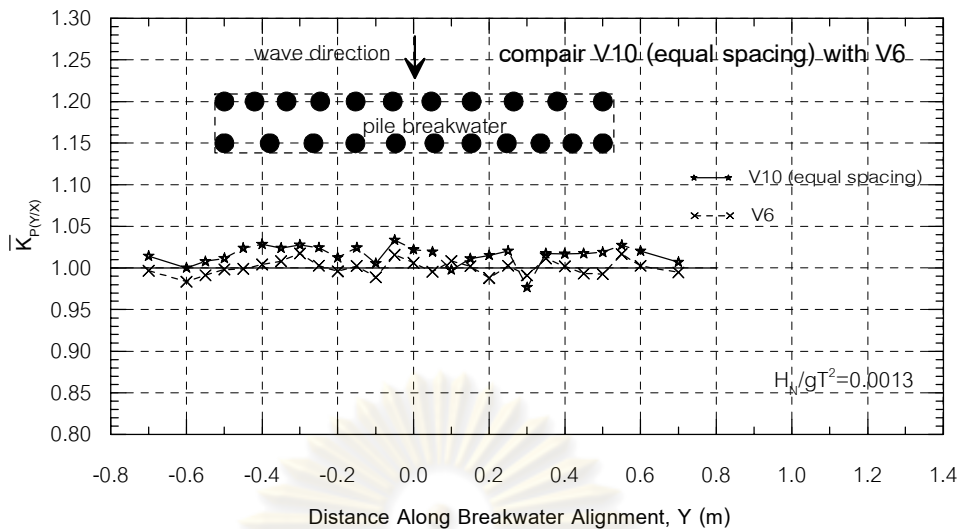
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง-13 ผลต่างความเร็วขนาดน้ำสูงสุดตามทิศทางคลื่น กรณีความชันคลื่นเท่ากับ 0.0078

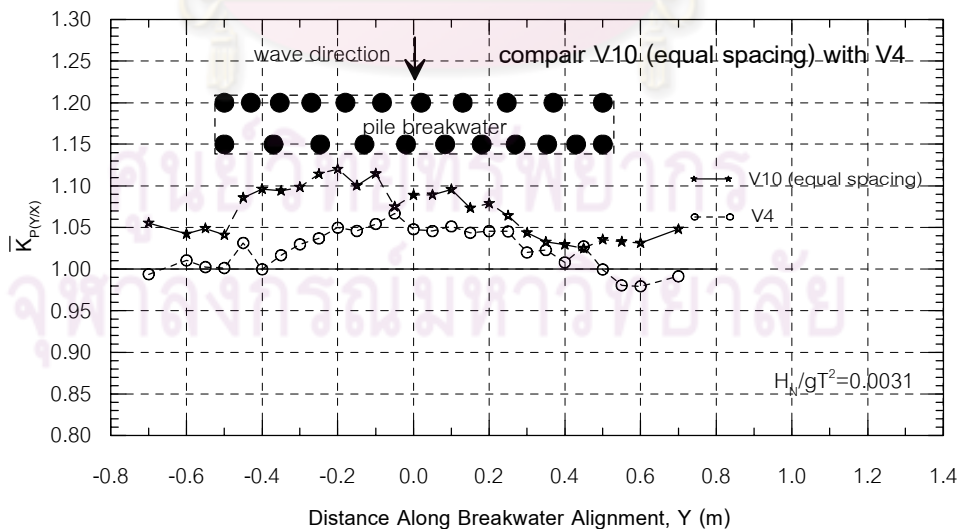
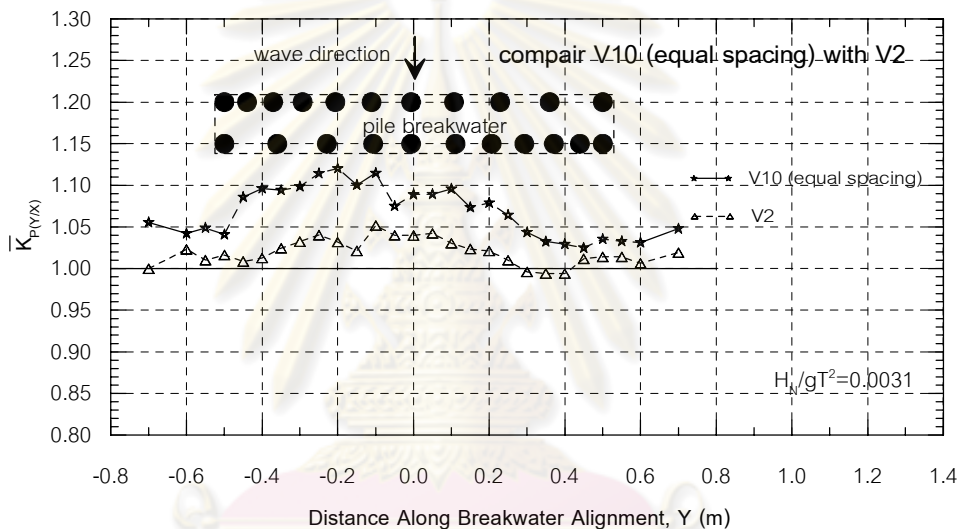
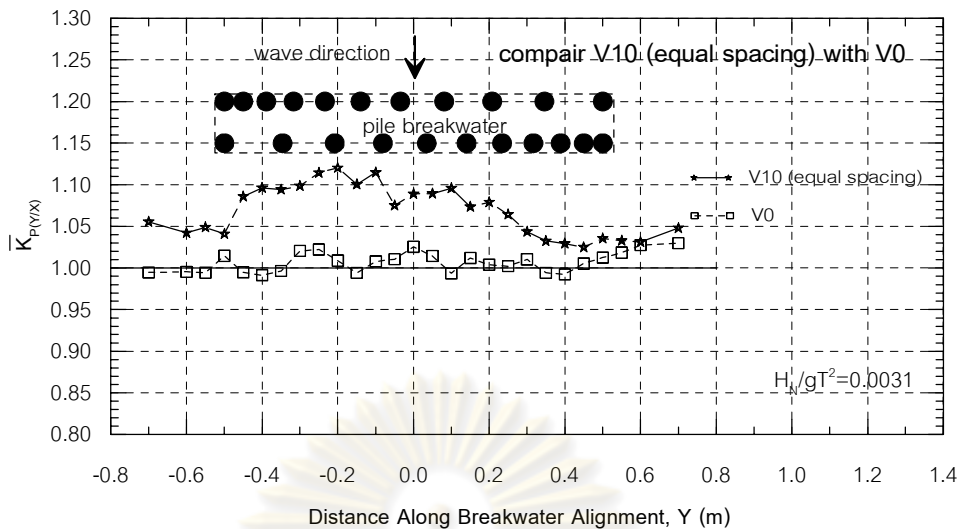


รูปที่ ง-14 เปรียบเทียบค่า $\bar{K}_{p(Y/X)}$ ของการจัดเรียงเสาเข็มเท่ากับไม่เท่ากัน
กรณี $H_n/gT^2 = 0.0013$

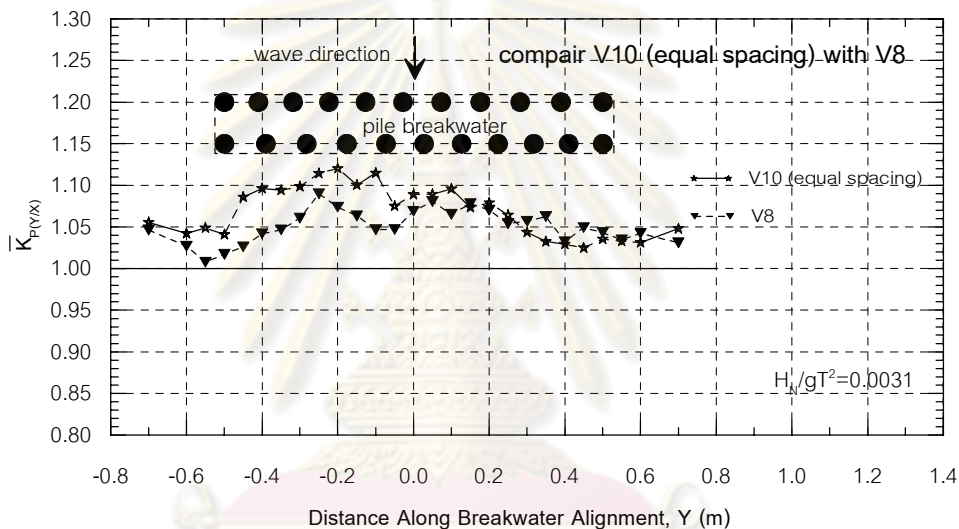
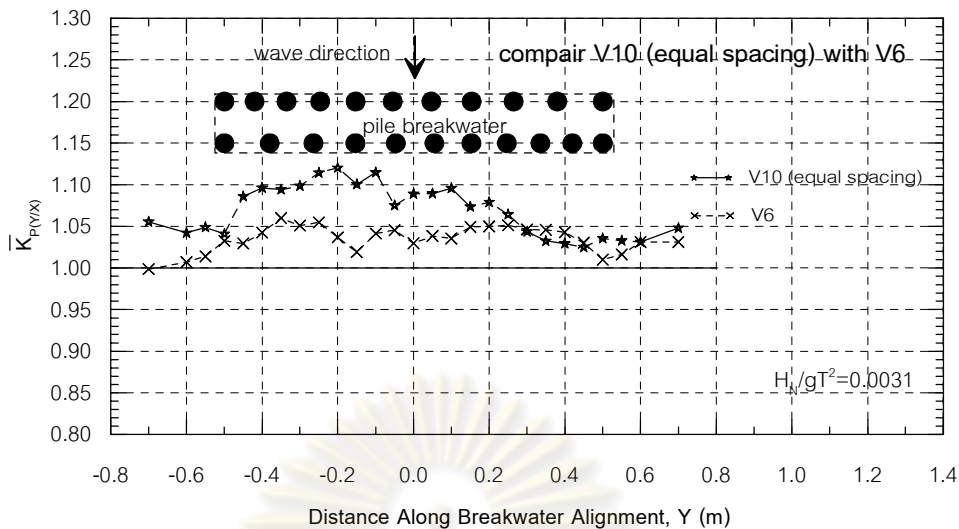


รูปที่ ง-14 เปรียบเทียบค่า $\bar{K}_{P(Y,X)}$ ของการจัดเรียงเสาเข็มเท่ากันกับไม่เท่ากัน
กรณี $H_n/gT^2 = 0.0013$ (ต่อ)

ศูนย์วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

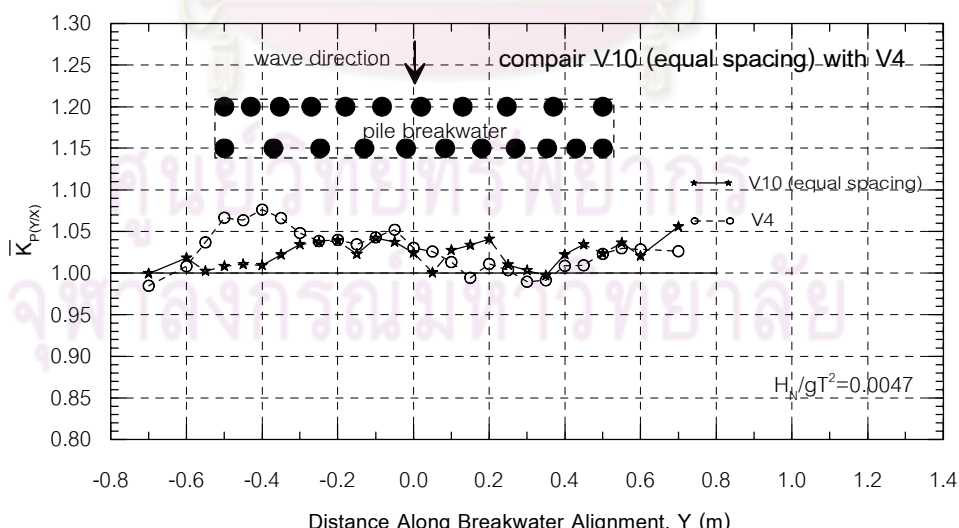
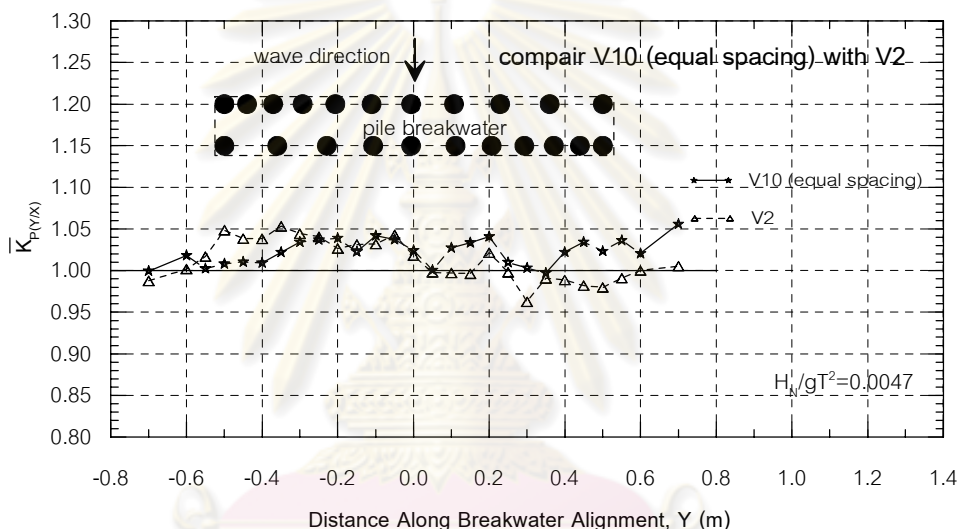
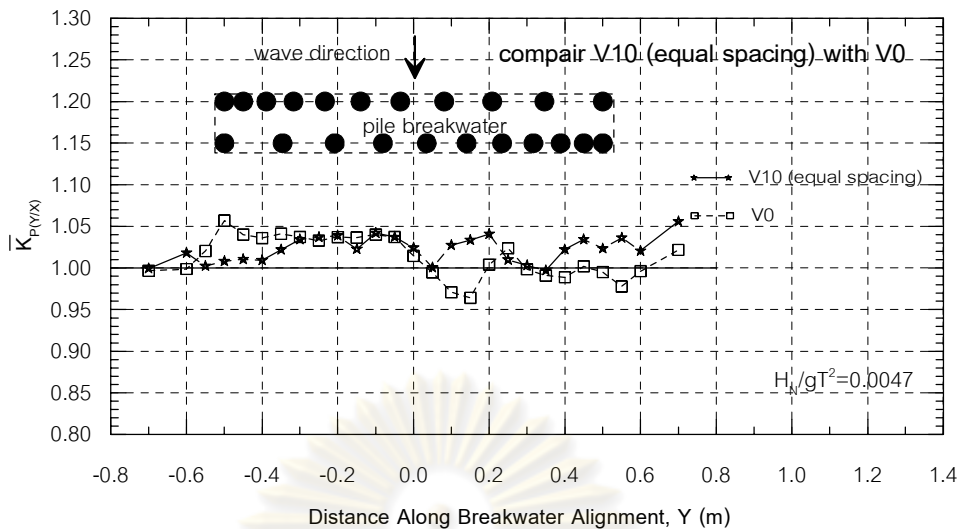


รูปที่ 15-15 เปรียบเทียบค่า $\bar{K}_{p(Y/X)}$ ของการจัดเรียงเสาเข็มเท่ากับไม่เท่ากัน
กรณี $H_n/gT^2 = 0.0031$

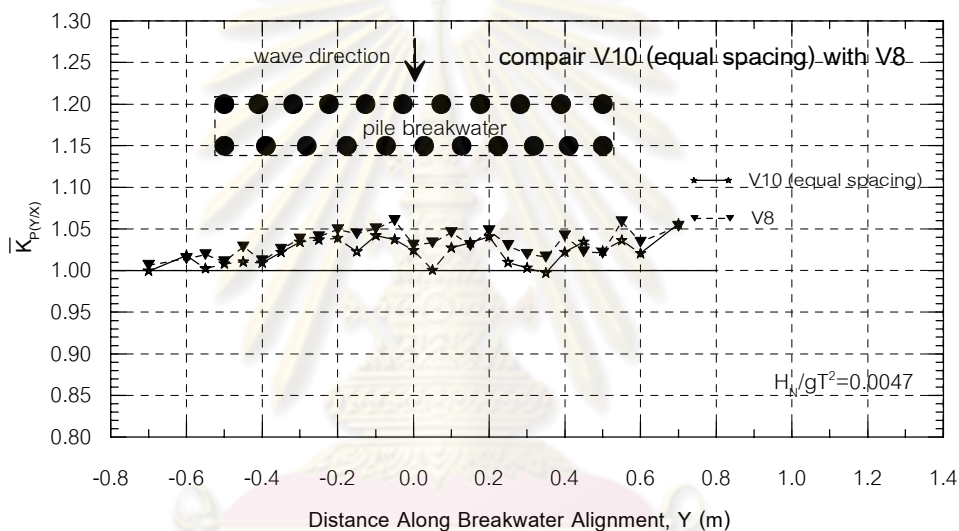
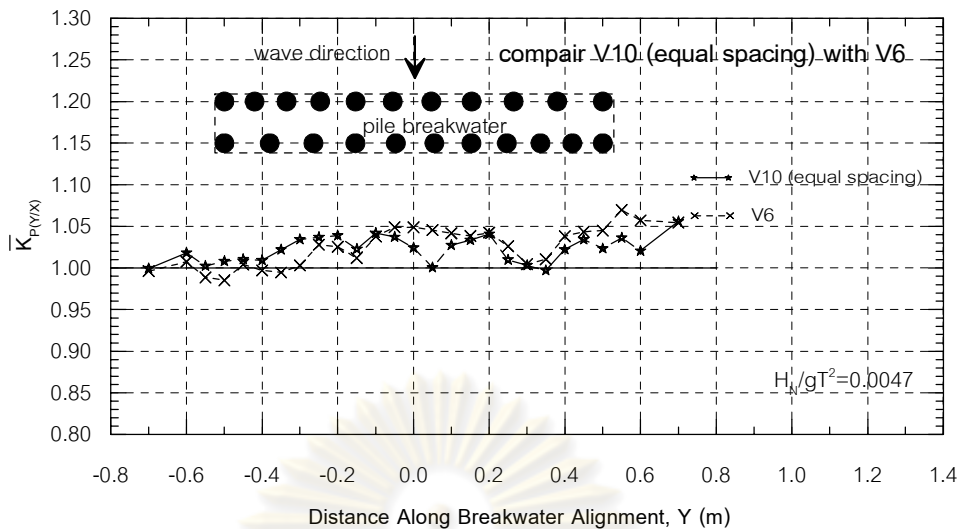


รูปที่ ง-15 เปรียบเทียบค่า $\bar{K}_{P(Y,X)}$ ของการจัดเรียงเสาเข็มเท่ากันกับไม่เท่ากัน
กรณี $H_n/gT^2 = 0.0031$ (ต่อ)

ศูนย์วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

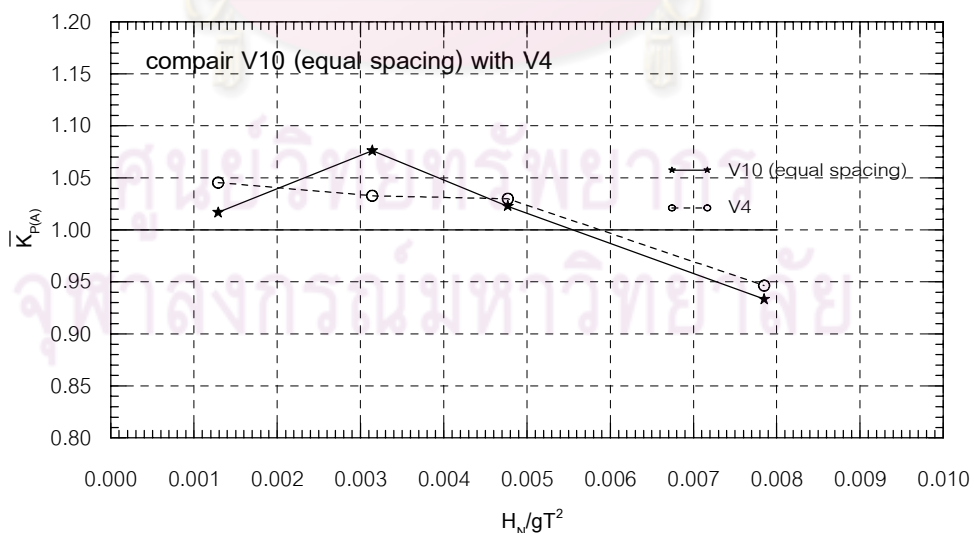
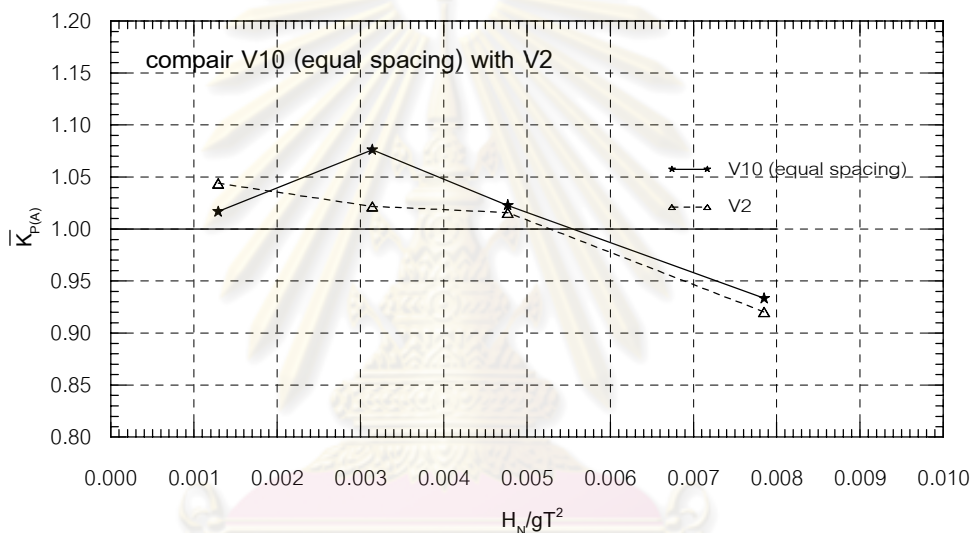
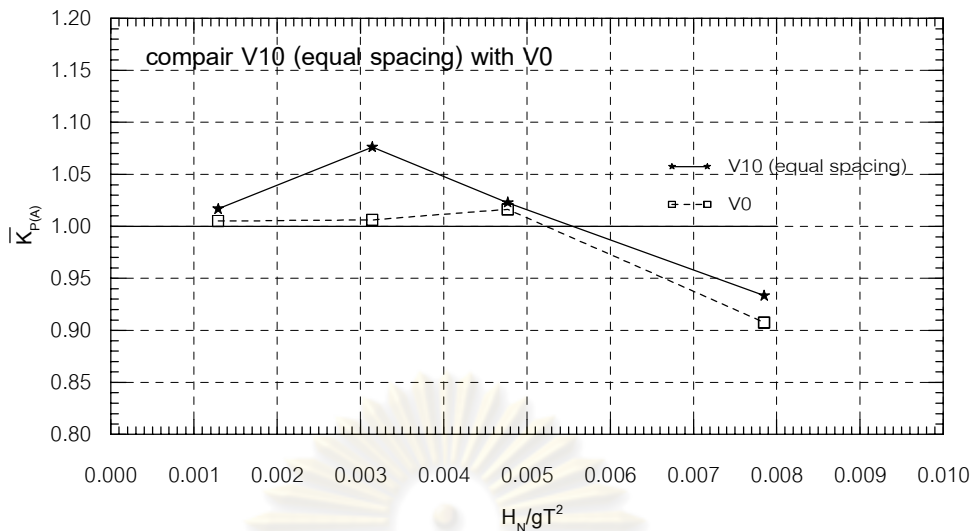


รูปที่ ง-16 เปรียบเทียบค่า $\bar{K}_{P(Y/X)}$ ของการจัดเรียงเสาเข็มเท่ากันกับไม่เท่ากัน
กรณี $H_n/gT^2 = 0.0047$

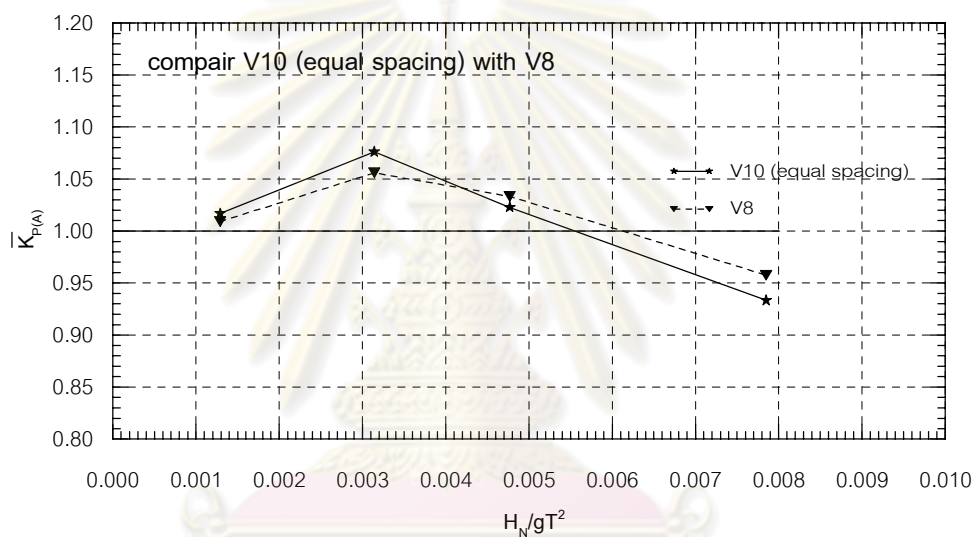
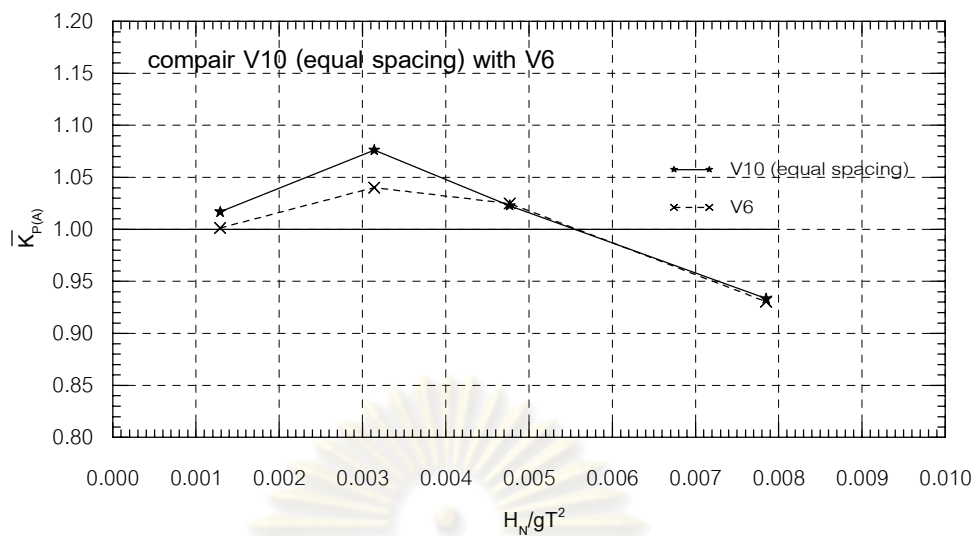


รูปที่ ง-16 เปรียบเทียบค่า $\bar{K}_{P(Y,X)}$ ของการจัดเรียงเสาเข็มเท่ากันกับไม่เท่ากัน
กรณี $H_N/gT^2 = 0.0047$ (ต่อ)

ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

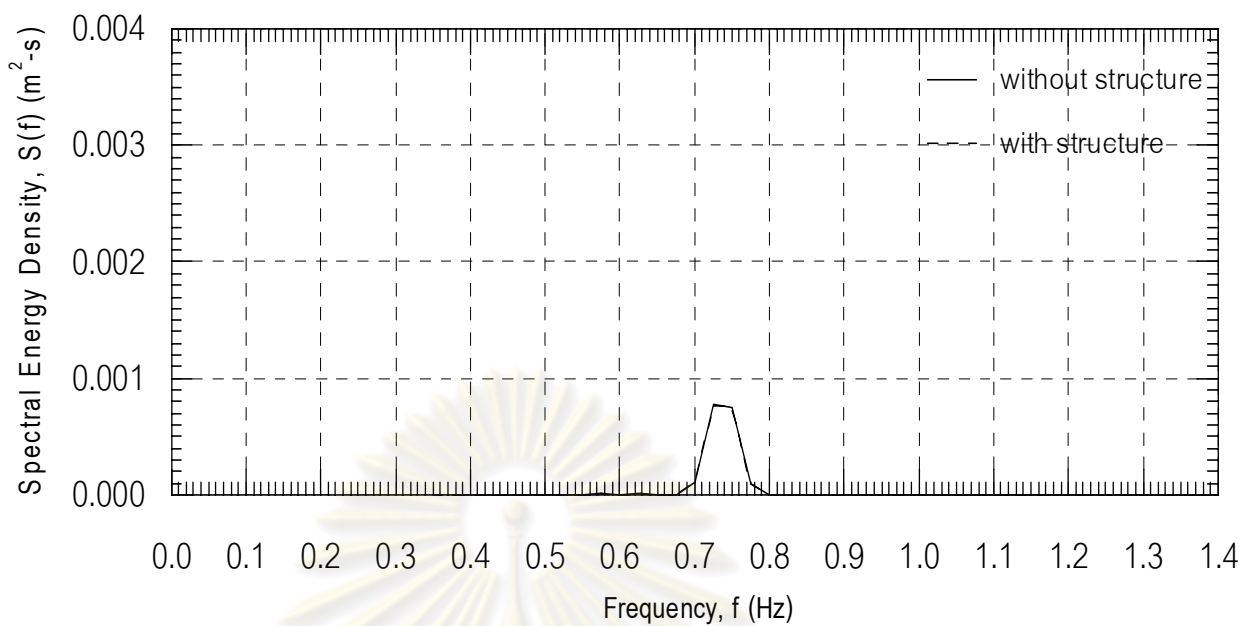


รูปที่ ง-17 เปรียบเทียบค่า ($\bar{K}_{P(A)}$) การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) และเสาเข็มไม่เท่ากัน ตามความชันคลื่น




รูปที่ ง-17 เปรียบเทียบค่า ($\bar{K}_{P(A)}$) การจัดเรียงเขื่อนกันคลื่นที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากัน (V10) และเสาเข็มไม่เท่ากัน ตามความชันคลื่น

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง-18 รูปตัวอย่าง พลังงานคลื่นจากการวิเคราะห์ความถี่ของความชื้นคลื่นเท่ากับ 0.0013 เปรียบเทียบกรณีมีเขื่อน และไม่มีเขื่อนกันคลื่น ของ การจัดเรียงที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน แบบจำลอง VO

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ
สรุปผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเชือกกันคลื่นแบบเสาเข็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

สรุปผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม

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

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง จ-1 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็ม

ผู้ศึกษา, ปีการศึกษา	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 มีช่องว่างระหว่างต้นของเสาเข็มต่อความกว้างของเสาเข็มตั้งแต่ 0 ถึง 1 และเปลี่ยนแปลงความหนาของเสาเข็ม ทดลองในอ่างคลื่น เปลี่ยนแปลงความชันคลื่นและทิศทางของคลื่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (K_T) เพิ่มขึ้นเมื่อช่องว่างระหว่างต้นเพิ่มขึ้น ความหนาของเสาเข็มลดลง และความชันคลื่นลดลง และการส่งผ่านคลื่นลดลงเมื่อคลื่นกระทำไม่ตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น (β เท่ากับ 0) โดยลดลงเมื่อมุมที่กระทำมากขึ้น (β 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)	ใช้เสาเข็มรูปทรงกระบอกจัดเรียงเป็นแถวเดียว 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	ใช้เสาเข็มสี่เหลี่ยมผืนผ้าจัดเรียงเป็นแถวเดียว ค่าความพรุนอยู่ในช่วง 5 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และเปลี่ยนแปลงระยะจุมของเสาเข็มจากผิวน้ำต่อความลึกน้ำ (y/h) เท่ากับ 0.5 และ 1 ทดลองในรางน้ำ เปลี่ยนแปลงความชันคลื่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (K_T) เพิ่มขึ้น และสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น (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 แถวลดคลื่นได้มากกว่าแบบแถวเดียวเพียงเล็กน้อย 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) ลดลงและสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น (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) ลดลงและสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น (K_R) เพิ่มขึ้น เมื่อระยะจมนของส่วนที่บิบน้ำมากขึ้น ส่วนช่องว่างของเสาเข็มไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า K_T ลดลงและค่า K_R อย่างมีนัยสำคัญ

ผู้ศึกษา, ปีที่ศึกษา	เรื่องที่ศึกษา	รูปแบบและวิธีที่ศึกษา	ผลการศึกษา สรุป และหมายเหตุ
Suh, Shin and Cox, 2006	คุณลักษณะของ เชื้อกันกลิ่นแบบ ผสมที่มีลักษณะ เป็นกำแพงและ รองรับด้วยเสาเข็ม สี่เหลี่ยมจัตุรัส	เป็นเชื้อกันกลิ่นแบบ ผสมที่มีส่วนที่บับน้ำบริเวณ ด้านบนเป็นกำแพงและ รองรับด้วยเสาเข็ม สี่เหลี่ยมจัตุรัส ทดลอง โดยเปลี่ยนแปลงระยะจุม ของส่วนที่บับน้ำอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.6 และใช้ ช่องว่างของเสาเข็ม เท่ากับความกว้างของ เสาเข็มวางน้ำ เปลี่ยนแปลงความสูงและ คาบเวลาของกลิ่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านกลิ่น (K_T) ลดลง และสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลิ่น (K_R) เพิ่มขึ้น เมื่อระยะจุมของส่วนที่บับน้ำมาก ขึ้น
Yagci, Kirca, Kabdasli, Celik, Unal and Aydingakko, 2006	การส่งผ่านกลิ่น และการวัด ความเร็วหลังแนว กันกลิ่น	ใช้เสาเข็มรูปทรงกระบอก จัดเรียงแถวเดียว ที่มี b/D เท่ากับ 0.17 ทดลองใน รางน้ำ เปลี่ยนแปลงความ สูงและคาบเวลาของกลิ่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านกลิ่น (K_T) เพิ่มขึ้น เมื่อความยาวกลิ่นเพิ่มขึ้น โดยค่า K_T อยู่ใน ช่วง 0.3 ถึง 0.75 และยังคงพบว่าคุณสมบัติ ของอนุภาคน้ำใต้ดินลดลงมากบริเวณ ใกล้กับผิวหน้าแต่บริเวณใกล้กับท้องน้ำ ความสูงกลิ่นลดลงเล็กน้อย
Huang, 2007	การกระทำของ กลิ่นกับเสาเข็ม สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ จัดเรียงแถวเดียว หรือ 2 แถว	ใช้เสาเข็มสี่เหลี่ยมผืนผ้า จัดเรียงเป็นแถวเดียวและ 2 แถว กรณีแถวเดียวใช้ ความพรุนตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.29 และกรณี 2 แถว ความพรุนเท่ากับ 0.21 ทดลองในรางน้ำใช้คาบ กลิ่นเท่ากับ 1.1 วินาที และเปลี่ยนแปลงความสูง กลิ่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านกลิ่น (K_T) ลดลง และสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลิ่น (K_R) เพิ่มขึ้น เมื่อความพรุนลดลง และยังพบว่า ค่า K_T ลดลงและค่า K_R เพิ่มขึ้น เมื่อความ สูงของกลิ่นเพิ่มขึ้น

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

ผู้ศึกษา, ปีที่ศึกษา	เรื่องที่ศึกษา	รูปแบบและวิธีที่ศึกษา	ผลการศึกษา สรุป และหมายเหตุ
เมธาฤทธิ์ แนมลัย, 2552	การเปลี่ยนแปลง ความสูงคลื่นและ พลังงานคลื่นจาก ผลของการจัดเรียง เสาเข็มรูป ทรงกระบอก	เป็นเขื่อนกันคลื่นแบบ เสาเข็มรูปทรงกระบอก จัดเรียงแบบ 2 แถวตรง และสลับ เปลี่ยนแปลง ช่องว่างระหว่างแถว รวมถึงเปลี่ยนแปลงความ ชันคลื่น	การลดลงของความสูงคลื่นเพิ่มขึ้นเมื่อ ความชันคลื่นเพิ่มขึ้นและช่องว่างระหว่าง แถวลดลง จากการศึกษาพบว่า การ จัดเรียงแบบ 2 แถวสลับไม่ส่งผลต่อการ ลดลงของความสูงคลื่นแตกต่างจากแบบ 2 แถวตรงอย่างมีนัยสำคัญ โดยการจัดเรียง ทั้ง 2 แบบลดความสูงคลื่นประมาณ 6.5 เปอร์เซ็นต์



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ฉ

สรุปลักษณะที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ
สรุปสัญลักษณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ตารางที่ จ-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 หรือพลังงานคลื่นกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น
E_{loss}	พลังงานคลื่นที่สูญเสียจากตัวเชื่อมกันคลื่น
E_R	พลังงานคลื่นสะท้อน
E_N	พลังงานคลื่นหลังเชื่อมกันคลื่นกรณีมีเชื่อมกันคลื่น
ΔE	พลังงานคลื่นที่เชื่อมกันคลื่นสลาย
g	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก
H	ความสูงของคลื่น
H_i	ความสูงคลื่นที่เข้ากระทบ
H_N	ความสูงคลื่นกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่น
H_r	ความสูงคลื่นสะท้อน
\bar{H}	ความสูงคลื่นเฉลี่ย
H_{rms}	ความสูงคลื่นเฉลี่ยรากกำลังสอง
H_s or $H_{1/3}$	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ
H_p	ความสูงคลื่นกรณีมีเชื่อมกันคลื่น
H_t	ความสูงคลื่นที่ส่งผ่าน
K_E	พลังงานจลน์รวมของคลื่น
K_p	อัตราส่วนลดความสูงคลื่น
$K_{p(x,y)}$	ค่าอัตราส่วนลดความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งใดๆ

ตารางที่ ๑-1 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
α_0	ทิศทางของคลื่น
η	ระดับผิวน้ำอิสระของคลื่น
ρ	ความหนาแน่นของน้ำ
ν	ค่าความหนืด (kinematics viscosity) ของน้ำ
ϕ_H	ค่าการลดลงของความสูงคลื่น
ϕ_E	การสลายพลังงานคลื่น
b/D	อัตราส่วนช่องว่างระหว่างต้นตอขนาดเสาเข็ม
B/D	อัตราส่วนระหว่างช่องว่างระหว่างแถวต่อขนาดเสาเข็ม
B'/D	อัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างแถวต่อขนาดเสาเข็ม
$\Delta E/E_i$	อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่สลายต่อพลังงานที่เข้ากระทบ
H_i/gT^2	ความชันคลื่นกระทบแบบไร้มิติ
H_N/gT^2	ความชันคลื่นกรณีไม่มีเชื่อมกันคลื่นแบบไร้มิติ

ตารางที่ ๑-1 สัญลักษณ์และคำอธิบายที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

X/L _B	อัตราส่วนระหว่างระยะทางตามแนวตั้งฉากต่อความยาวของเข็อนกันคลื่น
Y/L _B	อัตราส่วนระหว่างระยะทางตามแนวนอนต่อความยาวของเข็อนกันคลื่น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

- ชื่อ นางสาววันวิสา มะมา
- เกิด 26 มีนาคม 2528 จังหวัด กรุงเทพมหานคร
- การศึกษา ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วศ.บ. ทรัพยากรน้ำ)
ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ปีการศึกษา 2550 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.)
ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ประสบการณ์ 2551-2553 ได้รับทุนผู้ช่วยสอน ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 2552-2553 ได้รับทุนวิจัย ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 2553 ตีพิมพ์บทความ คุณลักษณะทางชลศาสตร์ของเขื่อนกันคลื่นแบบ
เสาเข็มที่จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาระหว่างเสาเข็มไม่เท่ากัน.
การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15. ปี 2553. 415
- 2554 ตีพิมพ์บทความ การส่งผ่านคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบเสาเข็มที่
จัดเรียงระยะห่างระหว่างเสาไม่เท่ากัน. การประชุมวิชาการวิศวกรรม
โยธาแห่งชาติครั้งที่ 16. ปี 2554

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย