

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเขื่อนกันคลื่น แบบลอยน้ำและแบบหินทิ้ง

Comparison of Efficiency of Floating Breakwater and Rubble Mound Breakwater

ปณพศ์ พลอยประดับ สมปรารถนา ฤทธิพรุ่ง

ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำและแบบหินทิ้ง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเขื่อนกันคลื่นทั้ง 2 ชนิด นอกจากนี้ยังศึกษาอิทธิพลของคลื่นที่มีความสูงคลื่นขนาดต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นหลังเขื่อนกันคลื่น ผู้วิจัยได้ออกแบบเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำ 3 ชนิด คือ 1) เขื่อนกันคลื่นลอยน้ำไบโอบอล 1, 2) เขื่อนกันคลื่นลอยน้ำไบโอบอล 2 (เสริมใยกรองหยาบ) และ 3) เขื่อนกันคลื่นลอยน้ำโฟม เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นของแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำในอ่างจำลองคลื่นที่มีความลึกน้ำ 25 27.5 และ 30 เซนติเมตร ที่ความชันคลื่น 0.025–0.048 นอกจากนี้เขื่อนกันคลื่นลอยน้ำแบบโฟมได้ทำการศึกษาที่ระยะจมน้ำที่ 50% และ 80% ด้วย ผลการทดลองพบว่า เขื่อนกันคลื่นลอยน้ำชนิดโฟมจมน้ำ 80% มีสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น 0.58-0.97 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการป้องกันคลื่นมากที่สุดในเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำ ผลการศึกษาการเปรียบเทียบเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้งกับเขื่อนกันคลื่นลอยน้ำชนิดโฟมจมน้ำ 80% พบว่าเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้งสามารถลดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านได้ดีกว่า (0.35-0.66) เนื่องจากความพรุนของเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำและอัตราส่วนจมน้ำของเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นรวมถึงลักษณะ โครงสร้างที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นพบว่ามีความใกล้เคียงกันในความชันคลื่นบางช่วง

คำสำคัญ : เขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำ เขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้ง สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น อ่างจำลองคลื่น

Abstract

This study aims to design floating breakwater model and the rubble mound breakwater model. The two types of breakwater model were investigated to compare the efficiency. Moreover, the influence of waves at different wave height which affected to the changing of wave characteristics was examined as well. The floating breakwater was designed in three types of structures: the bioball 1, the bioball 2 (with filter mat) and the foam. Wave transmission coefficient (C_t) of three types floating breakwaters were determined in wave basin at 25, 27.5 and 30 cm of the water depth with 0.025-0.048 of wave steepness. Moreover, the foam floating breakwater was investigated at drowning level 50% and 80%. The results in the floating type found the C_t of the foam floating breakwater at drowning level 80% were 0.58-0.97 which represented the highest efficiency for reducing C_t . The result of comparison between the rubble mound breakwater and

the foam drowning level 80% was found that the rubble mound breakwater could reduce C_t better (0.35-0.66) because the porosity and the ratio of drowning level could be affected to C_t . However, C_t from the breakwater were found similarly in some wave steepness.

Key words : floating breakwater, rubble mound breakwater, wave transmission coefficient, wave basin

1. บทนำ

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงและการกัดเซาะชายฝั่งส่งผลให้เกิดการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งที่มีคุณค่า ส่งผลต่อด้านเศรษฐกิจ รวมถึงผลกระทบต่อสมดุลของระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม ซึ่งประเทศไทยนั้นมีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งที่รุนแรงในหลายพื้นที่ เช่น จังหวัดกรุงเทพมหานคร และสมุทรปราการ เป็นต้น จึงก่อให้เกิดความพยายามป้องกันชายฝั่งทะเลทั้งจากภาครัฐและเอกชน โดยเฉพาะการใช้โครงสร้างทางชายฝั่งเพื่อสลายพลังงานคลื่น เช่น เขื่อนกันคลื่น กำแพงกันคลื่น เป็นต้น ซึ่งสาเหตุของการกัดเซาะชายฝั่งนั้นมีสาเหตุมาจากกระบวนการทางธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์

เขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้งและเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำ (Floating Breakwater: FB) เป็นรูปแบบหนึ่งของเขื่อนกันคลื่นที่ใช้เพื่อลดพลังงานของคลื่นที่เข้าปะทะชายฝั่งทะเล ซึ่งในอดีตนิยมใช้เขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้งเพื่อป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง เพราะมีความแข็งแรงไม่ต้องทำการดูแลรักษามากนัก แต่ทำให้สูญเสียทัศนียภาพส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเกิดการกัดเซาะที่บริเวณเขื่อนกันคลื่นตัวสุดท้าย อย่างไรก็ตาม [1] รายงานคุณสมบัติของเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำว่าสามารถใช้ได้กับพื้นที่ที่ฐานรากไม่แข็งแรง สามารถเคลื่อนย้ายหรือรื้อถอนได้ มีขนาดไม่ใหญ่ทำให้ไม่สูญเสียทัศนียภาพ แต่เขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำนั้นยังมีข้อจำกัดในหลายๆด้าน เช่น ไม่เหมาะสมสำหรับคลื่นขนาดใหญ่ และต้องการการดูแลรักษาสูง

ในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำรวมทั้งผลของเขื่อนกันคลื่นต่อการสลายพลังงานคลื่นและสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น ในการศึกษาที่ผู้วิจัยตั้งใจที่จะศึกษา 1) สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแบบลอย

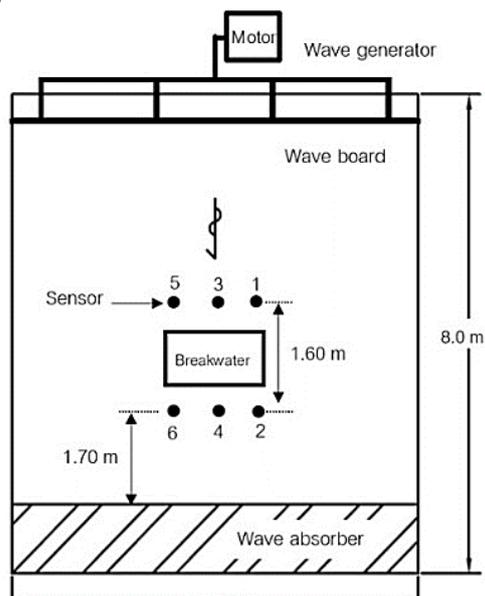
น้ำและเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้งที่ความลึกน้ำและความชันคลื่นต่างๆ 2) เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของคลื่นของเขื่อนกันคลื่นทั้ง 2 ประเภท 3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงลักษณะความชันคลื่นของเขื่อนกันคลื่นทั้ง 2 ประเภท การศึกษานี้เป็นการศึกษาทางกายภาพในระบบจำลองอ่างจำลองคลื่น ณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยศึกษาลักษณะความสูงคลื่น และคาบคลื่น บริเวณพื้นที่ด้านหน้าและด้านหลังเขื่อนกันคลื่น โดยอ่างจำลองคลื่นมีลักษณะท้องน้ำไม่เปลี่ยน ไม่มีความลาดเอียง ไม่มีตะกอน และไม่มีการไหลเวียนของน้ำ คลื่นที่ใช้ในการทดลองเป็นคลื่นที่มีขนาดสม่ำเสมอและทิศทางตั้งฉากกับเขื่อนกันคลื่น โดยคลื่นนี้ถูกสร้างขึ้นด้วยเครื่องกำเนิดคลื่น

2. อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วย

1. แบบจำลองอ่างคลื่น (Wave basin): มีขนาดกว้าง 7 เมตร ยาว 8 เมตร และลึก 0.7 เมตร (รูปที่ 1)
2. เครื่องกำเนิดคลื่น (Wave generator): ชนิดปลายยึดหมุนขับเคลื่อนด้วยการชักของมอเตอร์ และติดตั้งกระดานสร้างคลื่น (wave board) ที่ด้านล่าง
3. เครื่องวัดความสูงคลื่น: เซนเซอร์ eTape level sensor ขนาด 32 นิ้ว จำนวน 6 ตัว โดยแบ่งเซนเซอร์เป็น 2 ชุด คือ แนวหน้าเขื่อนกันคลื่น (เซนเซอร์ 1, 3 และ 5) และแนวหลังเขื่อนกันคลื่น (เซนเซอร์ 2, 4 และ 6) แสดงดังรูปที่ 1
4. เครื่องวัดความลึกน้ำ (Depth gauge)
5. โปรแกรม Water Level Monitor System (WLM) ที่พัฒนาโดยภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ม.

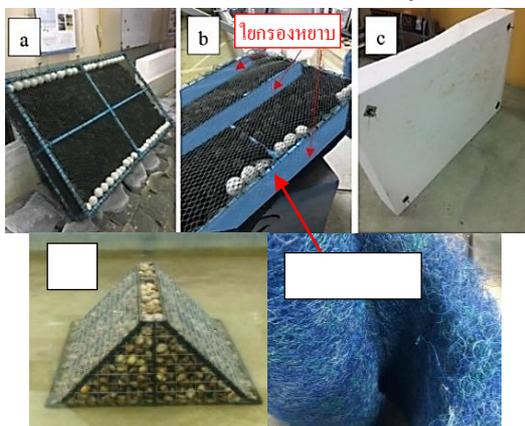
เกษตรศาสตร์ และ โปรแกรม MATLAB สำหรับกรอง
ข้อมูล



รูปที่ 1 แบบจำลองอ่างคลื่น (Wave basin)

6. แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำ แบ่งแบบจำลอง
เขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำเป็น 3 ชนิด โดยทั้ง 3 ชนิด มี
ขนาดกว้าง 1 m ยาว 1.5 m และสูง 0.2 m เขื่อนกันคลื่น
แบบลอยน้ำเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. เขื่อนกันคลื่นลอยน้ำไบโอบอล 1 (FB Bioball 1):
ลูกไบโอบอลมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm แสดงดังรูปที่ 2-a
2. เขื่อนกันคลื่นลอยน้ำไบโอบอล 2 (FB Bioball 2):
เสริมใยกรองหยาบหนา 5 cm (รูปที่ 2-e) ใน FB Bioball
1 แสดงดังรูปที่ 2-b
3. เขื่อนกันคลื่นลอยน้ำโฟม (FB Foam): ศึกษาที่การ
จมน้ำ 50% (FB Foam50) และ 80% (FB Foam80) ใช้
กระสอบทรายในการถ่วงน้ำหนัก แสดงดังรูปที่ 2-c



รูปที่ 2 แบบจำลองเขื่อนกันคลื่น

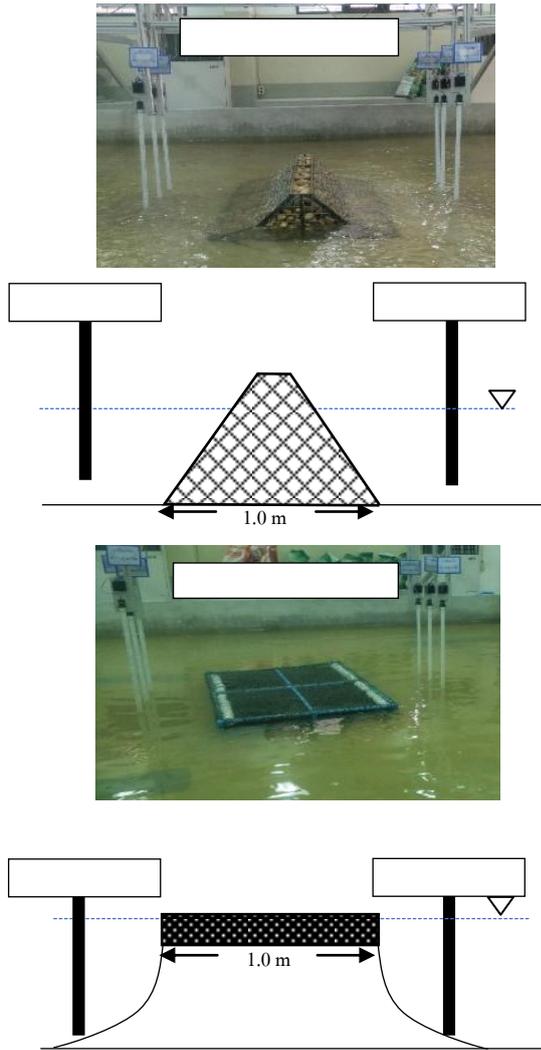
7. แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้ง (RB): จาก [2],
[3] ได้เขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้งขนาดหน้ากว้าง 1 m
ยาว 1.5 m และสูง 0.5 m หินขนาด 5 cm ความลาดเอียง
1:1 โดยความกว้างและความยาวมีขนาดเท่ากับเขื่อนกัน
คลื่นแบบลอยน้ำ แสดงดังรูปที่ 2-d

3. วิธีการศึกษา

1. เลือกความชันคลื่นที่เหมาะสมในการศึกษานี้ โดยหา
ความชันคลื่นที่ความลึกน้ำ 25 27.5 และ 30 cm ขณะ
ทดสอบไม่ได้ติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่น ผล
การศึกษาพบว่าความชันคลื่นที่มีความใกล้เคียงกันจาก
เซนเซอร์ ทั้ง 2 แนวในทั้ง 3 ความลึกน้ำอยู่ในช่วงที่
ความถี่มอเตอร์ 25 – 35 Hz และที่ความถี่มอเตอร์
มากกว่า 35 Hz เกิดการสะท้อนกลับของคลื่น ผู้วิจัยจึง
เลือกใช้ความชันคลื่นที่อยู่ในช่วงความชันคลื่น 0.025 –
0.048 (ความถี่มอเตอร์ 25 – 35 Hz)
2. ติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นและเซนเซอร์วัดความ
สูงคลื่นตามรูปที่ 1 และรูปที่ 3
3. ศึกษาอิทธิพลของแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นต่อการ
เปลี่ยนแปลงความชันคลื่นและสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน
คลื่น
4. ศึกษาความพรุนของเขื่อนกันคลื่น จากวิธีของ [4]
5. กรองสัญญาณข้อมูล เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนใน
ข้อมูลจึงต้องทำการกรองสัญญาณ เพื่อลดสัญญาณ
รบกวนแล้วจึงนำข้อมูล ไปวิเคราะห์ ดังเช่นใน [5]-[7]

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความสูงคลื่น คาบคลื่น ความยาวคลื่น
ความชันคลื่น ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากแบบจำลอง
เขื่อนกันคลื่น และวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น
ของแบบจำลองเขื่อนกันคลื่น โดยค่าความสูงคลื่นและ
คาบคลื่นจะได้จากโปรแกรม WLM และจากการศึกษา
[3],[8] จะได้การคำนวณดังนี้



รูปที่ 3 การติดตั้งแบบจำลองเขื่อนกันคลื่น

1. ความยาวคลื่น (Wave length, L)

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (1)$$

โดย L คือ ความยาวคลื่น (m) g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2) T คือ คาบคลื่น (s) และ d คือ ความลึกน้ำ (m)

2. ความชันคลื่น (S_w)

$$S_w = \frac{H}{L} \quad (2)$$

โดย S_w คือ ความชันคลื่น และ H คือ ความสูงคลื่น (m)

3. สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (C_t)

$$C_t = \frac{H_t}{H_0} \quad (3)$$

โดย C_t คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (Transmission coefficient) H_t คือ ความสูงของคลื่นหลังผ่านโครงสร้าง (m) H_0 คือ ความสูงของคลื่นก่อนผ่านโครงสร้าง (m)

4. อัตราส่วนการจมน้ำของเขื่อนกันคลื่น

$$d_r = \frac{d_d}{d} \quad (4)$$

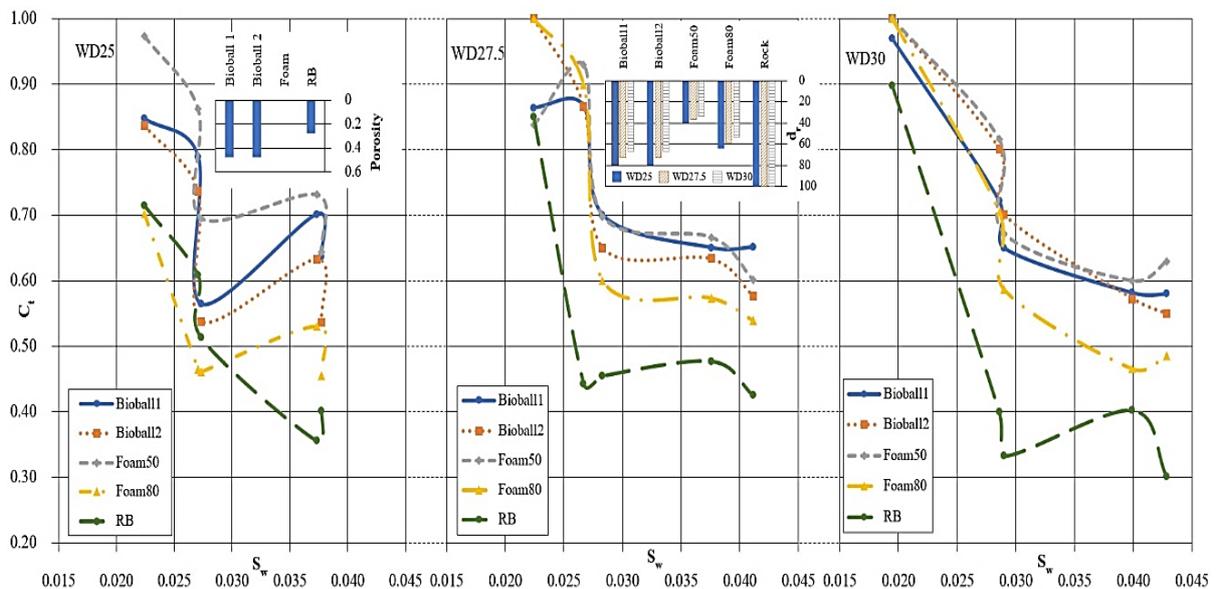
โดย d_r คือ อัตราส่วนการจมน้ำของเขื่อนกันคลื่น d_d คือ ความสูงของเขื่อนกันคลื่นที่จมน้ำ (cm) และ d คือ ความลึกของน้ำ (cm)

5. ความพรุน (Porosity)

$$n = \frac{e}{1+e} \quad (5)$$

โดย n คือ ความพรุน และ e คือ ปริมาณช่องว่าง

5. ผลการศึกษาและวิจารณ์



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นและความชันคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแต่ละชนิดในความลึกต่าง ๆ

1. ผลของความชันคลื่นต่อสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น

ความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่น (S_w) และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (C_t) ของเขื่อนกันคลื่นแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4 และตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า C_t ในระดับน้ำ 25 เซนติเมตร มีค่าน้อยกว่าที่สุด ในเขื่อนกันคลื่นชนิดเดียวกันและความชันคลื่นเดียวกัน โดยค่าเฉลี่ยของ C_t ในช่วง S_w 0.022-0.027 และ 0.027-0.038 มีค่าที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นและความชันคลื่นของเขื่อนกันคลื่นแต่ละชนิดในความลึกต่างๆ

ความลึกน้ำ (cm)	ความชันคลื่น (S_w)	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (C_t)				
		Bioball 1	Bioball 2	Foam50	Foam80	RB
25	0.022	0.847	0.836	0.973	0.702	0.715
	0.027	0.789	0.736	0.862	0.465	0.608
	0.027	0.564	0.538	0.695	0.461	0.513
	0.037	0.701	0.632	0.731	0.530	0.356
	0.038	0.637	0.536	0.643	0.455	0.402
27.5	0.022	0.864	1.000	0.837	1.000	0.849
	0.027	0.866	0.866	0.929	0.898	0.442
	0.028	0.700	0.650	0.698	0.600	0.455
	0.038	0.650	0.634	0.666	0.573	0.477
	0.041	0.651	0.577	0.601	0.539	0.425
30	0.019	0.970	1.000	1.000	1.000	0.898
	0.029	0.723	0.801	0.816	0.706	0.400
	0.029	0.651	0.702	0.672	0.587	0.333
	0.040	0.582	0.573	0.600	0.466	0.403
	0.043	0.580	0.550	0.629	0.486	0.302

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นเฉลี่ยและความชันคลื่นของเขื่อนกันคลื่นเฉลี่ยแต่ละชนิดในความลึกต่างๆ

ความลึกน้ำ (cm)	ความชันคลื่น	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (C_t)				
		Bioball 1	Bioball 2	Foam50	Foam80	RB
25	0.022-0.027	0.818	0.786	0.918	0.583	0.661
	0.027-0.038	0.634	0.569	0.690	0.482	0.423
27.5	0.022-0.027	0.865	0.933	0.883	0.949	0.646
	0.027-0.038	0.667	0.620	0.655	0.570	0.452
30	0.022-0.027	0.847	0.901	0.908	0.853	0.649
	0.027-0.038	0.605	0.608	0.634	0.513	0.346

ที่ความลึกน้ำ 25 cm (WD25) เขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำมีแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่าง C_t และ S_w ที่ใกล้เคียงกันคือ ที่ S_w 0.022-0.027 C_t มีแนวโน้มลดลง และ S_w ในช่วง 0.027-0.037 C_t มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อ S_w 0.037 C_t มีค่าลดลง และเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้ง (RB) ในช่วง S_w 0.022-0.037 C_t มีแนวโน้มลดลง แต่หลังจาก S_w มากกว่า 0.037 C_t มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ที่ความลึกน้ำ 27.5 cm (WD27.5) FB Bioball 1 และ FB Foam50 มีค่า C_t เพิ่มขึ้นในช่วง S_w 0.022-0.027 แต่เมื่อ S_w มากกว่า 0.027 C_t มีค่าลดลง และ FB Bioball 2 และ FB Foam80 มี C_t ลดลงเมื่อ S_w เพิ่มขึ้น โดยเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำ C_t จะลดลงมากในช่วง S_w 0.027 – 0.028 ส่วน RB ค่า C_t จะลดลงในช่วง S_w 0.022 – 0.028 แล้วเพิ่มขึ้นในช่วง S_w 0.028 – 0.038 และลดลงอีกครั้งเมื่อ S_w มากกว่า 0.038

ที่ความลึกน้ำ 30.0 cm (WD30) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ C_t ในเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำแต่ละชนิดมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันคลื่นคือ ในช่วง S_w 0.019-0.040 ค่า C_t มีแนวโน้มการลดลงตาม S_w ที่เพิ่มขึ้นเหมือนกัน และเมื่อ S_w มากกว่า 0.040 ค่า C_t มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ยกเว้น FB Bioball 2 ที่ C_t ลดลงต่อเนื่อง และ RB ค่า C_t จะลดลงในช่วง S_w 0.019-0.029 และในช่วง S_w 0.029-0.040 C_t มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อ S_w มากกว่า 0.040 ค่า C_t จะลดลง

จากงานวิจัย [9] ได้ออกแบบเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำที่มีลักษณะคล้ายม่าน เพื่อศึกษา C_t ซึ่งผลการศึกษาพบข้อสังเกตที่น่าสนใจคือ ในช่วงแรกที่ S_w ต่ำ (0.02 – 0.68) C_t มีค่าเพิ่มขึ้น และจะลดลงหลังจากที่ S_w มากกว่า 0.7 ซึ่งผู้ศึกษาได้เรียกว่าจุดว่านี่ว่า turning point และจากการศึกษาดังกล่าวได้ให้ข้อมูลที่สำคัญว่า คลื่นที่มีขนาดเล็ก ($S_w < 0.7$) สามารถลอดผ่านช่องว่างของเขื่อนกันคลื่นได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลของการศึกษานี้คือ C_t มีค่าสูงในช่วงที่ S_w ต่ำจากนั้นเมื่อ S_w ค่อยๆเพิ่มขึ้น C_t จะลดลง (S_w ในช่วง 0.022-0.027) และเมื่อ S_w เพิ่มขึ้นถึงจุดๆหนึ่ง C_t จะเปลี่ยนจากลดลงเป็นเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ S_w (S_w ในช่วง 0.027-0.038) แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดใน

การปรับ S_w ที่ไม่สามารถปรับได้ละเอียดมากจึงอาจทำให้ค่า turning point ยังไม่ใช่ค่าที่ถูกต้อง ในการศึกษารั้งต่อไปจึงควรปรับปรุงหาสลายพลังงานให้มีประสิทธิภาพในการสลายพลังงานมากขึ้นรวมถึงการเพิ่มความยาวของอ่างจำลองคลื่น เพื่อที่จะสามารถศึกษา S_w ที่มากขึ้นหรือความลึกน้ำที่สูงขึ้นได้

2. ผลของอัตราส่วนจมน้ำต่อสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น

จากรูปที่ 4 และตารางที่ 1 ค่า C_t ของ FB Foam 50 มีค่ามากกว่าของ FB Foam 80 ในทุกๆ S_w และในทุกความลึกน้ำ พบแนวโน้มการลดลงของ C_t ที่ใกล้เคียงกัน

งานวิจัยของ [10] ได้ออกแบบเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำ 4 ชนิด ที่มีความกว้างและความลึกแตกต่างกัน โดยศึกษา C_t จากการเปลี่ยนแปลงคลื่น ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความสูงครีบของเขื่อนกันคลื่นสามารถลด C_t ได้ 10-15% แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนการจมน้ำของแบบจำลองเขื่อนกันคลื่น (d_r) มีผลต่อ C_t โดย C_t มีค่าลดลงเมื่อค่า d_r เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของการศึกษานี้ คือ C_t ของ FB Foam80 มีค่าต่ำกว่าของ FB Foam50 เนื่องจากค่า d_r ของ FB Foam80 มีค่ามากกว่า FB Foam50 ในทุกๆความลึกน้ำแสดงดังตารางที่ 3 จึงกล่าวได้ว่า d_r มีผลต่อ C_t

ตารางที่ 3 อัตราส่วนการจมน้ำและความพรุนของเขื่อนกันคลื่น

เขื่อนกันคลื่น	อัตราส่วนการจมน้ำ (d_r , %) ที่ความลึกน้ำ 25 27.5 และ 30 cm			ความพรุน
	25 cm	27.5 cm	30 cm	
FB Bioball1	80	72.73	66.67	0.480
FB Bioball2	80	72.73	66.67	0.476
FB Foam50	40	36.36	33.33	0
FB Foam80	64	58.18	53.33	0
RB	100	100	100	0.276

3. ผลของความพรุนต่อสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าในความลึกน้ำ 25 และ 27.5 cm ค่า C_t ของ FB Bioball 2 มีค่าต่ำกว่า FB Bioball 1 แต่ในความลึกน้ำ 30 cm ค่า C_t ของ FB Bioball 1 มีค่าต่ำ

กว่า FB Bioball 2 ซึ่งค่าไม่ได้ต่างกันมากนัก และจากตารางที่ 3 จะเห็นว่าค่าความพรุนของ FB Bioball 1 มีค่าต่ำกว่า FB Bioball 2 เล็กน้อย ดังนั้นในวัสดุที่มีค่าความพรุนใกล้เคียงกัน ลักษณะทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ทำเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำน่าจะส่งผลต่อ C_t ซึ่งในการศึกษารั้งต่อไปควรมีศึกษาเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำที่หน้าตาเหมือนกันแต่ความพรุนแตกต่างกันอย่างชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบ C_t ของ FB Bioball 2 กับ FB Foam 80 ที่มีค่าความพรุนแตกต่างกันอย่างชัดเจน (ตารางที่ 3) พบว่า FB Foam 80 มีค่า C_t ต่ำกว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบ FB Foam80 กับ RB จะได้ว่าเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้งมี C_t คลื่นต่ำกว่าอาจเป็นผลจากอัตราส่วนการจมน้ำของเขื่อนกันคลื่นแต่ละชนิด รวมถึงรูปแบบของเขื่อนกันคลื่นอีกด้วย แต่หากพิจารณาในส่วนของเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำ C_t และความพรุนมีแนวโน้มไปทางเดียวกันคือ ความพรุนสูงจะได้ C_t สูง และเมื่อความพรุนต่ำจะได้ C_t ต่ำด้วยเช่นเดียวกัน

งานวิจัยของ [11] ได้ศึกษาเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำ 3 รูปแบบ โดย 2 รูปแบบแรกลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมทึบ และรูปแบบที่ 3 มีลักษณะเป็นตาข่าย ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบตาข่ายมี C_t สูงกว่ารูปแบบที่เป็นกล่องทึบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่ FB Bioball 1 และ 2 มีค่า C_t มากกว่า FB Foam80 ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า ความพรุนของเขื่อนกันคลื่นมีผลต่อ C_t

6. สรุปผลการศึกษา

1. ในการศึกษาสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (C_t) ของเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำและเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้งที่ความลึกน้ำและความชันคลื่นต่างๆ (S_w) พบว่าเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำทุกชนิด (FB) มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของ C_t ตาม S_w ในลักษณะเดียวกันในทุกๆ ความลึกน้ำแต่ในเขื่อนกันคลื่นแบบหินทิ้ง (RB) นั้นมีลักษณะตรงข้ามกับ FB คือ C_t ของ RB นั้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้น S_w ในช่วง S_w 0.029-0.039 นอกจากนี้พบว่าจุด turning point (จุดที่ค่า C_t จะมีค่า

ลดลงหรือเพิ่มขึ้นที่ต่างจากเดิมตามการเพิ่มขึ้น S_w) ของ FB และ RB มีค่าอยู่ในช่วง S_w 0.027-0.029 และเป็น S_w ที่เชื่อมกันคลื่นมี C_t น้อยที่สุด ดังนั้นการนำ FB ไปประยุกต์ใช้งานควรคำนึงถึงความเหมาะสมของ S_w ในพื้นที่ที่ติดตั้ง

2. ในการศึกษาสามารถเรียงลำดับตามสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (C_t) จากต่ำไปสูงของเชื่อมกันคลื่นได้เป็น 1)RB 2)FB Foam80 3)FB Bioball 2 4)FB Bioball 1 และ 5)FB Foam50

3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงลักษณะความชันคลื่นของเชื่อมกันคลื่นแบบลอยน้ำ (FB) และแบบหินทิ้ง (RB) จากการศึกษาพบว่า FB Bioball 2 สามารถป้องกันคลื่นได้มากกว่า FB Bioball 1 เนื่องจาก FB Bioball 2 มีความพรุนต่ำกว่า ทำให้คลื่นผ่านตัวเขื่อนไปได้ยากกว่า แต่ค่าความพรุนไม่ได้ต่างแตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในวัสดุที่มีค่าความพรุนใกล้เคียงกันลักษณะทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ทำเชื่อมกันคลื่นแบบลอยน้ำน่าจะส่งผลค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น สำหรับ FB Foam 80 สามารถป้องกันคลื่นได้มากกว่า FB Foam 50 เนื่องจาก FB Foam 80 มีส่วนที่จมน้ำมากกว่า จึงทำให้คลื่นผ่านตัวเขื่อนไปได้น้อยกว่า ทำให้ C_t ลดลง ดังนั้นความพรุนของเชื่อมกันคลื่นแบบลอยน้ำและอัตราส่วนจมน้ำของเชื่อมกันคลื่นแบบลอยน้ำส่งผลต่อ C_t โดย FB Foam 80 มีประสิทธิภาพในการป้องกันคลื่นมากที่สุดสำหรับเชื่อมกันคลื่นแบบลอยน้ำ

การนำ FB Bioball 2 หรือ FB Foam80 ไปใช้งานอาจจะมีข้อเสียในเรื่องของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหากมีการชำรุดเสียหายของเชื่อมกันคลื่น ดังนั้นควรประยุกต์ใช้วัสดุอุปกรณ์ในการทำเชื่อมกันคลื่นแบบลอยน้ำที่ก่อความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมน้อย อีกทั้งเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ในพื้นที่เพื่อเป็นการประหยัด ทางเลือกต่างๆเหล่านี้จะนำไปสู่การเลือกใช้เชื่อมกันคลื่นให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่องานด้านวิศวกรรมชายฝั่งในประเทศไทย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bruce L. McCartney, "Floating Breakwater Design," Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, vol. 111, pp. 304-318, 1985.
- [2] Saengsupavanich C., "The design of breakwater for coastal protection," Kasetsart University, Bangkok, 2015.
- [3] Saengsupavanich C., "The design of breakwater for coastal protection," Kasetsart University, Bangkok, 2015.
- [4] Chuoikan M., 25 May 2016, "Physical properties of soils," Source: http://krumanit.cmtc.ac.th/main/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=2, 2011.
- [5] D.P. Rizzetta, M. R. Visball and G. A. Blaisdell, "A time-implicit high-order compact differencing and filtering scheme for large-eddy simulation," International Journal for Numerical Methods in Fluids, vol. 42, pp. 665-693, 2003.
- [6] A. Toffoli, M. Onorato, A.V. Babanin, E. Bitner-Greengrassen, A.R. OSBORNE and J. Monbaliu, "Second-Order Theory and Setup in Surface Gravity Waves: A Comparison with Experimental Data," Journal of Physical Oceanography, vol. 37, pp. 2726-2739, 2007.
- [7] T. A. A. Adcock and P. H. TAYLOR. 2009. "Estimating ocean wave directional spreading from an Eulerian surface elevation time history," Proceedings of The Royal Society, The Royal Society, University of Oxford, United Kingdom pp. 3361-3381, 8 November 2009.
- [8] Mama V., "Wave characteristics of un-equally space pile breakwater," Thesis, Chulalongkorn University, 2010.
- [9] H. Wang, H. Xu, P. Liu, J. Duan, H. Chen and B. Wang, "Experimental study on the dissipation

Characteristics of curtain-type flexible floating breakwater,” *Journal of Coastal Research*, vol. 73, pp. 410-414, 2015.

- [10] E. Peña, J. Ferreras and F.S. Tembleque, “Experimental study on wave transmission coefficient, mooring lines and module connector forces with different designs of floating breakwaters,” *Ocean Engineering*, vol. 38, pp. 1150–1160, 2011.
- [11] G. H. Dong, Y.N. Zheng, Y.C. Li, B. Teng, C.T. Guan and D.F. Lin, “Experiments on wave transmission coefficients of floating breakwaters,” *Ocean Engineering*, vol. 35, pp. 931–93, 2008.