

สูตรทำนายการลดทอนคลื่นเนื่องจากแนวไม้ไผ่กันคลื่น

A Predictive Formula for Wave Reduction due to Bamboo Breakwaters

ธรรมณูญ รัชมีมาสเมือง^{1,*} ทรัพย์อนันท์ วงศ์สุรินทร์² นพอนนต์ พิสิฐพงษ์ธร³ วุฒินันท์ คำเอี่ยม⁴ จินธนมรรคพล ศรีจริยา⁵

สุธิดา พรหมเจดีย์⁶ พรรณปิติมพ์ โกมารพิมพ์⁷ ธนวัฒน์ รื่นรมย์⁸ ธนายุต กฤษฎากมล⁹

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

*Corresponding author; E-mail address: thamnoon@eng.buu.ac.th

บทคัดย่อ

แนวไม้ไผ่กันคลื่นถูกใช้เป็นเครื่องมือป้องกันชายฝั่งที่เป็นหาดโคลนอยู่ในหลายพื้นที่ของประเทศไทย ทำหน้าที่สลายพลังงานคลื่น ส่งเสริมการตกตะกอน และเป็นแนวกำบังบริเวณพื้นที่ป่าชายเลน แม้มีความแนะนำในการปักแนวไม้ไผ่เหล่านี้อยู่บ้าง แต่ก็ยังไม่มีแนวทางทางวิศวกรรมในการออกแบบโครงสร้างประเภทนี้อย่างชัดเจน การศึกษานี้ได้ทำการทดลองการลดทอนคลื่นเนื่องจากแนวไม้ไผ่กันคลื่นในรางจำลองคลื่น โดยใช้คลื่นที่มีความสูงและความถี่แตกต่างกันจำนวน 25 กรณี และแบบจำลองแนวไม้ไผ่กันคลื่นที่มีจำนวนแถวแตกต่างกันจำนวน 4 กรณี ทำให้ได้การทดลองทั้งหมด 140 กรณี จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดลองมาสร้างเป็นสูตรทำนายการลดทอนคลื่นเนื่องจากแนวไม้ไผ่กันคลื่น ที่คำนึงถึงของลักษณะของคลื่นเข้ากระทบและลักษณะของแนวไม้ไผ่กันคลื่น เพื่อใช้เป็นเครื่องมือประกอบการออกแบบทางวิศวกรรมในการประยุกต์แนวไม้ไผ่กันคลื่นเพื่อสลายคลื่นตามแนวชายฝั่งต่อไป

คำสำคัญ: การลดทอนคลื่น, แนวไม้ไผ่กันคลื่น, ความชันคลื่น, การป้องกันชายฝั่งทะเล, หาดโคลน

Abstract

Bamboo breakwaters have been employed as coastal protection measures for muddy coasts in several areas of Thailand. These structures serve to dissipate wave energy, promote sediment deposition, and provide a sheltered zone for mangrove reforestation. Although general guidelines for installing bamboo breakwaters exist, there is still no clear engineering methodology for designing such structures. This study conducted wave reduction experiments on bamboo breakwaters in a wave flume, utilizing 35 test cases with varying wave heights and frequencies, along with 4 cases of bamboo breakwater configurations with differing numbers of rows. A total of 140 experimental cases were performed. The experimental results were then used to develop a predictive formula for wave

reduction by bamboo breakwaters, accounting for the characteristics of the incident waves and the configuration of the breakwaters. The formula aims to serve as an engineering tool for designing bamboo breakwaters for wave dissipation along the coastline.

Keywords: Wave reduction, Bamboo breakwaters, Wave steepness, Coastal protection, Muddy coasts

1. บทนำ

ชายฝั่งทะเลตลอดแนวของอ่าวไทยตอนบน (the upper Gulf of Thailand) เป็นชายฝั่งแบบหาดโคลน (muddy coasts) บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งมีแม่น้ำสำคัญหลายสายไหลเข้าสู่บริเวณดังกล่าวนำตะกอนจำนวนมากสู่ระบบหาด เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำบางปะกง และแม่น้ำแม่กลอง ทำให้ในอดีตมีพื้นที่ป่าชายเลนปกคลุมตามแนวชายฝั่งเป็นจำนวนมาก [1, 2] แนวป่าชายเลนเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นแนวป้องกันชายฝั่งตามธรรมชาติ ช่วยลดพลังงานคลื่น กระแสน้ำ และแรงลม ตลอดจนส่งเสริมให้เกิดการตกตะกอนของตะกอนดินที่พื้นมากขึ้น [3] ในปัจจุบันพื้นที่ป่าชายเลนเหล่านี้ลดลงเป็นจำนวนมากด้วย [4] ทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งทะเลอย่างรุนแรงในหลายพื้นที่ การกัดเซาะชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีสาเหตุมาจากหลากหลายปัจจัย ทั้งปัจจัยตามธรรมชาติและปัจจัยที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ [5] ในขณะที่ยังมีการแก้ไขปัญหายังเป็นระบบยังไม่ชัดเจน มีการนำมาตรการป้องกันและแก้ไขหลากหลายวิธีมาทดลองใช้ในพื้นที่โดยทั้งหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชน ไม่ว่าจะเป็น เขื่อนเรียงหินริมฝั่ง (rock revetments) เขื่อนกันคลื่นนอกฝั่ง (detached breakwater) แนวไม้ไผ่กันคลื่น (bamboo breakwaters) เขื่อนเสาเข็มสลายกำลังคลื่น (concrete-pile breakwaters) แนวเสาไฟฟ้าสวมยางรถยนต์กันคลื่น (tire-clad electrical pole breakwaters) การปลูกป่าชายเลน (mangrove reforestation) ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของมาตรการยังคงเป็นเรื่องที่มีการอภิปรายและศึกษาเปรียบเทียบกันอย่างต่อเนื่อง [6] ตลอดจนแนวทางทางวิศวกรรมในการประยุกต์ใช้มาตรการบางอย่าง (เช่น แนวไม้ไผ่กันคลื่น แนวเสาไฟฟ้าสวม

ยางรถยนต์) ที่มีหลักการและข้อมูลทางวิชาการสนับสนุนยังจำเป็นต้องมีการศึกษาและพัฒนาเพิ่มเติม

แม้ว่าการปลูกป่าชายเลนฟื้นฟูป่ากลับคืนให้มากขึ้นเช่นเดิมเสมือนเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและแก้ไขปัญหาได้อย่างยั่งยืนโดยไม่สร้างผลกระทบต่อระบบนิเวศและก่อให้เกิดปัญหาใหม่ให้ตามแก้ไข แต่อัตราความสำเร็จของการปลูกต้นไม้ป่าชายเลนยังอยู่ในระดับที่ต่ำ เหตุผลประการหนึ่งคือ ต้นกล้าของต้นไม้ป่าชายเลนไม่สามารถทนแรงทางอุทกพลศาสตร์ (hydrodynamic forces) ที่เกิดจากกระแสน้ำ คลื่น และระดับน้ำขึ้น-น้ำลงได้มากพอที่จะรอดตายและเติบโตเป็นต้นไม้ที่แข็งแรง [7] ด้วยเหตุนี้ในหลายพื้นที่ที่มีการประยุกต์แนวไม้ไผ่กั้นคลื่นบูรณาการกับการปลูกป่าชายเลนโดยมีหลักการที่ให้น้ำไม่ไหลเป็นโครงสร้างชั่วคราวในการลดพลังงานคลื่นและกระแสน้ำ พร้อมทั้งดักตะกอนดินที่พื้นให้สะสมและหนาแน่นมากพอสำหรับรากต้นไม้ป่าชายเลนหยั่งรากเสริมความแข็งแรงไว้ได้ เมื่อต้นไม้ป่าชายเลนเติบโต แข็งแรงเพียงพอที่จะทนคลื่นและกระแสน้ำชายฝั่งได้แล้ว แนวไม้ไผ่เหล่านี้คงพื้ตามสภาพไปและหมดอายุการใช้งานไป

การใช้แนวไม้ไผ่ปักตามแนวชายฝั่งเพื่อสลายพลังงานคลื่นสามารถพบได้ทั่วไปในแนวชายฝั่งที่เป็นหาดโคลน ทั้งในประเทศไทย [8] ดังรูปที่ 1 และต่างประเทศ อย่างประเทศเวียดนาม เป็นต้น [9] เพราะต้นทุนในการก่อสร้างต่ำกว่าเมื่อเทียบกับหลายวิธีที่มีความคงทนถาวรมากกว่า จึงทำให้บางครั้งในบางพื้นที่ภาคประชาชนดำเนินการก่อสร้างด้วยตนเอง อีกทั้งการใช้โครงสร้างที่มีน้ำหนักมากอย่างพวกเขื่อนหินในพื้นที่หาดโคลนมักพบปัญหาการทรุดตัวของโครงสร้างจมลงในชั้นโคลนเร็ว ทำให้อายุการใช้งานของโครงสร้างเหล่านั้นไม่ยาวนานเพียงพอต่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และประสิทธิภาพทางวิศวกรรม แต่อย่างไรก็ตาม แนวทางทางวิศวกรรมในการประยุกต์ใช้แนวไม้ไผ่กั้นคลื่นเพื่อสลายพลังงานคลื่นบริเวณชายฝั่งทะเลยังคงมีอยู่อย่างจำกัด

แนวทางการปักไม้ไผ่เพื่อชะลอคลื่นตามพื้นที่หาดโคลนในประเทศไทยมีการแนะนำอยู่บ้าง แต่แนวทางเหล่านั้นมักเป็นการกำหนดรูปแบบที่ตายตัว เช่น จำนวนแถวของไม้ไผ่กั้นที่ [10] ดังนั้น เมื่อแนวไม้ไผ่ถูกใช้งานในพื้นที่ที่มีลักษณะของคลื่นแตกต่างกันย่อมให้ผลการลดทอนคลื่นแตกต่างกัน หากมีแนวทางในการปักไม้ไผ่ตามตัวแปรของพื้นที่นั้น จะทำให้การประยุกต์ใช้ไม้ไผ่มีประสิทธิภาพในการลดทอนคลื่นได้ดี และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วย กล่าวคือ ไม่ปักน้อยเกินไปจนลดทอนคลื่นในพื้นที่ไม่ได้ และไม่ปักมากเกินไปจนเปลืองค่าก่อสร้าง การศึกษามีวัตถุประสงค์ในการนำผลการทดลองการลดทอนคลื่นเนื่องจากแนวไม้ไผ่กั้นคลื่นที่ได้จากห้องปฏิบัติการมาสร้างเป็นสูตรในการลดทอนคลื่นที่มีค่าถึงตัวแปรที่สำคัญ คือ ลักษณะของคลื่นที่เข้ากระทบและความหนาของแนวไม้ไผ่กั้นคลื่น เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบแนวไม้ไผ่ในการใช้งานจริง



(ก) ชายฝั่ง ต.บางทราย อ.เมืองฯ จ.ชลบุรี



(ข) ชายฝั่ง ต.คลองตำหรุ อ.เมืองฯ จ.ชลบุรี



(ค) ชายฝั่ง ต.บางปู อ.เมืองฯ จ.สมุทรปราการ



(ง) ชายฝั่ง ต.โคกขาม อ.เมืองฯ จ.สมุทรสาคร



(จ) ชายฝั่ง ต.บางแก้ว อ.เมืองฯ จ.สมุทรสงคราม

รูปที่ 1 ตัวอย่างการใช้แนวไม้ไผ่กั้นคลื่น
ตามแนวชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน

2. วิธีการศึกษา

2.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

การศึกษานี้เริ่มจากการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ที่สำคัญที่สุดในการลดทอนคลื่น คือ ลักษณะของคลื่นเข้ากระทบ ประกอบด้วย ความสูงคลื่นเข้ากระทบ (Incident wave height, H_i) กับ ความยาวคลื่นเข้ากระทบ (Wavelength, L_i) และลักษณะของแนวไม้ไผ่กั้นคลื่น คือ จำนวนแถวของไม้ไผ่ที่ปักหรือความหนาของแนวไม้ไผ่ (L_b) การทดลองใช้รางจำลองคลื่นขนาดความยาว 1,600 cm ขนาดหน้าตัดกว้าง 60 cm และลึก 80 cm ระดับน้ำ (h) คงที่ตลอดรางที่ 50 cm ดังรูปที่ 2 ปลายด้านหนึ่งของรางมีเครื่องกำเนิดคลื่นแบบสม่ำเสมอ (Regular wave generator) สร้างคลื่นสม่ำเสมอที่มีความเร็วรอบจำนวน 7 ค่า คือ 60, 70, 80, 85, 90, 95 และ 100 รอบต่อนาที ทำให้เกิดคลื่นที่มีคาบคลื่น (Wave period, T) เท่ากับ 1.00, 0.86, 0.75, 0.71, 0.67, 0.63 และ 0.60 วินาที ตามลำดับ ด้วยใบพัดแบบบานพับ (Flap-type wave paddle) ซึ่งปรับระยะคันชักข้อเหวี่ยงจำนวน 6 ค่า คือ ระยะ 6, 8, 10, 12 และ 14 cm จากจุดศูนย์กลางข้อเหวี่ยง ด้วยการปรับความเร็วรอบและระยะคันชักข้อเหวี่ยงในการสร้างคลื่นทำให้ได้คลื่นที่มีความสูงคลื่นและความยาวคลื่นแตกต่างกันจำนวน 35 กรณี

คลื่นที่เคลื่อนที่ก่อนเข้าและหลังจากออกจากแบบจำลองแนวไม้ไผ่กั้นคลื่น ถูกวัดด้วยเครื่องวัดคลื่นแบบวัดความต้านทาน (Resistance wave gauges) ด้วยความช่วงระยะเวลาการบันทึกค่า 0.1 วินาที บริเวณปลายทั้งสองข้างของรางจำลองคลื่นมีตัวสลายคลื่น (Wave absorbers) ติดตั้งอยู่เพื่อสลายคลื่นที่ผ่านกรวดและลดคลื่นสะท้อนภายในรางจำลองคลื่น

แบบจำลองแนวไม้ไผ่กั้นคลื่นทำจากไม้ไผ่รวกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 cm (มาตราส่วนระหว่างแบบจำลองต่อของจริงเท่ากับ 1:5) จัดเรียงห่างกันต้นเว้นต้น สลับหว่างเลียนแบบการปักในพื้นที่จริง แบบจำลองแนวไม้ไผ่จัดเรียงด้วยจำนวนแถวที่ต่างกัน 4 กรณี ได้แก่ 5, 10, 15 และ 20 แถว ดังแสดงในรูปที่ 3 เมื่อสร้างคลื่นจำนวน 35 กรณีดังอธิบายข้างต้น ทำให้ได้การทดลองทั้งหมด 140 กรณี

2.2 การสร้างสูตรการลดทอนคลื่น

ในการพิจารณาปริมาณพลังงานคลื่นที่ลดลงหรือพลังงานที่สลายไปเนื่องจากแนวไม้ไผ่กั้นคลื่นสามารถใช้ร้อยละของความสูงคลื่นที่ลดลงเมื่อคลื่นผ่านแนวไม้ไผ่ (Transmitted wave height, H_t) เทียบกับความสูงคลื่นก่อนเคลื่อนที่เข้าป่าชายเลน หรือเรียกว่า สัมประสิทธิ์การลดทอน (Wave reduction coefficient, R) โดยนิยมแสดงเป็นค่าร้อยละ ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$R(\%) = \frac{H_i - H_t}{H_i} \times 100 \quad (1)$$

พลังงานของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านแนวไม้ไผ่กั้นคลื่นจะสูญเสียพลังงานจากแรงเสียดทานที่พื้น (f_{bed}) และแรงเสียดทานที่ไม้ไผ่ การสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานที่ไม้ไผ่เกิดขึ้นมากบริเวณผิวน้ำที่อนุภาคน้ำเคลื่อนที่แบบวงโคจรกว้างที่สุด ดังนั้นลักษณะของคลื่นทั้งความสูงและความยาวที่ทำให้การเคลื่อนที่แบบวงโคจรนี้ต่างกันจึงส่งผลต่อการสลายพลังงานด้วย จำนวนไม้ไผ่หรือจำนวนแถวของไม้ไผ่ที่แตกต่างกันย่อมทำให้เกิดแรงเสียดทานมากน้อยต่างกันด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงสามารถกล่าวได้ว่า $R(\%)$ เป็นฟังก์ชันของตัวแปรดังต่อไปนี้

$$R(\%) = f^n(H_i, L_i, h, f_{bed}, L_b) \quad (2)$$

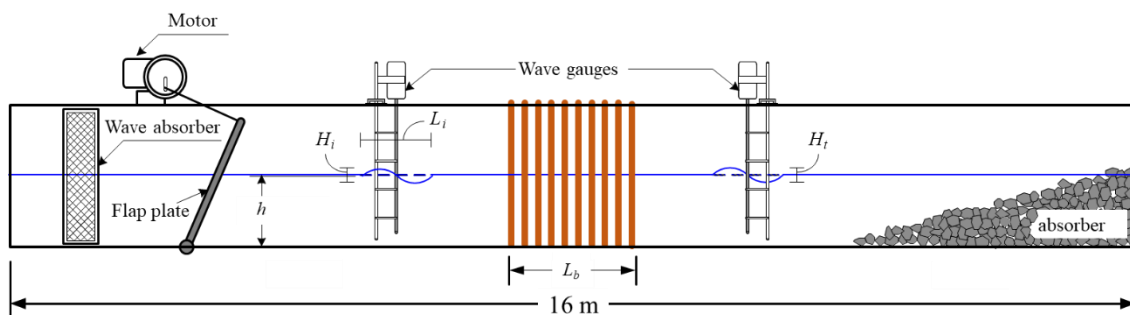
ในการศึกษานี้ยังไม่ได้พิจารณาผลกระทบจากพื้นและกำหนดระดับน้ำคงทุกกรณีทดลอง จึงได้ว่า

$$R(\%) = f^n(H_i, L_i, L_b) \quad (3)$$

จากการวิเคราะห์เชิงมิติและสร้างฟังก์ชันความสัมพันธ์ของตัวแปรไว้มิติจะได้

$$R(\%) = f^n\left(\frac{H_i}{L_i}, \frac{L_b}{L_i}\right) \quad (4)$$

เมื่อ H_i/L_i คือ ความชันคลื่น (Wave steepness) และ L_b/L_i คือ ความยาวสัมพันธ์ระหว่างความหนาแนวไม้ไผ่ต่อความยาวคลื่น



รูปที่ 2 การติดตั้งการทดลอง

การศึกษานี้ใช้สมการ 2 รูปแบบในการสร้างสูตรการลดทอนคลื่นเนื่องจากแนวไม้ไผ่กันคลื่น คือ สมการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple linear regression equation) และสมการยกกำลัง (Power equation) ดังแสดงในสมการที่ (5) และ (6)

$$R(\%) = a' \frac{H_i}{L_i} + b' \frac{L_b}{L_i} + c' \quad (5)$$

$$R(\%) = c'' \left(\frac{H_i}{L_i} \right)^{a''} \left(\frac{L_b}{L_i} \right)^{b''} \quad (6)$$

เมื่อ $a', b', c', a'', b'', c''$ คือ สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง

ความแม่นยำของสมการทั้งสองรูปแบบเปรียบเทียบกับกันด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, r) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Determination coefficient, r^2) หรือ R-square และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)

3. ผลการศึกษา

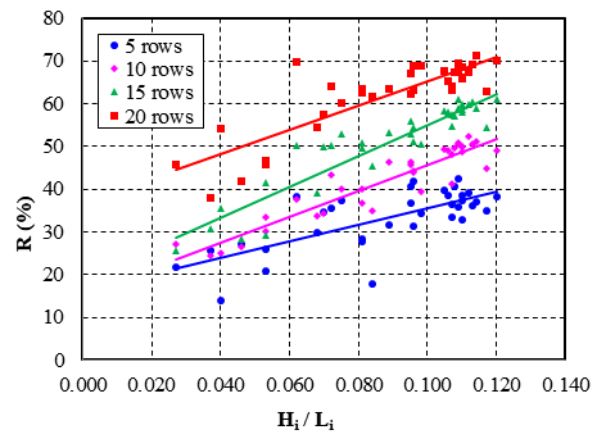
การสร้างคลื่นด้วยเครื่องกำเนิดแบบสม่ำเสมอที่ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์และระยะคันชักข้อเหวี่ยงที่แตกต่างกันจำนวน 35 กรณีทำให้เกิดความสูงคลื่นและความยาวคลื่นแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการสร้างคลื่นเข้ากระทบในรางจำลองคลื่น

H_i (cm)		L_i (cm)		H_i/L_i	
max	min	max	min	max	min
10.8	4.1	151	56	0.120	0.027

ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น (R) กับความชันคลื่นเข้ากระทบ (H_i/L_i) แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า คลื่นที่มีความชันมากกว่า (คลื่นสั้นกว่า) เกิดการลดทอนคลื่นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นที่มีความชันน้อยกว่า (คลื่นยาวกว่า) พฤติกรรมนี้เกิดเนื่องจากอนุภาคของน้ำบริเวณโซนผิวน้ำสำหรับคลื่นที่มีความชันมากหรือคลื่นสั้นเคลื่อนที่เป็นวงโคจร (orbital motion) ใกล้เคียงกับวงกลม ทำให้มีโอกาสเคลื่อนที่เข้าชนแนวไม้ไผ่มากกว่าอนุภาคของน้ำสำหรับคลื่นที่มีความชันน้อยหรือคลื่นยาวซึ่งมีการเคลื่อนที่คล้ายวงรีเสมือนการไหลผ่านแนวไม้ไผ่ไป การชนกระแทกของอนุภาคน้ำของคลื่นที่มีความชันมากทำให้เกิดสลายพลังงานมากกว่าและการลดทอนคลื่นจึงมากขึ้นตามมาด้วย

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น (R) กับจำนวนแถวของแนวไม้ไผ่พบว่า เมื่อจำนวนแถวของแนวไม้ไผ่ที่เพิ่มขึ้น การลดทอนคลื่นจะเพิ่ม เนื่องจากโอกาสที่คลื่นเคลื่อนที่เข้ามาชนแนวไม้ไผ่เพิ่มขึ้นตามจำนวนแนวไม้ไผ่ที่มีมากขึ้น การชนของอนุภาคน้ำของคลื่นกับไม้ไผ่ที่เพิ่มขึ้นนี้ ทำให้การสลายพลังงานของคลื่นที่ส่งผ่านแนวไม้ไผ่เพิ่มมากขึ้นด้วย การลดทอนคลื่นจึงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นเข้ากระทบ (H_i/L_i) กับสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นเนื่องจากแนวไม้ไผ่กันคลื่น (R)

เมื่อนำข้อมูลการทดลองมาสร้างเป็นสูตรการลดทอนคลื่นเนื่องจากแนวไม้ไผ่กันคลื่น ด้วยสมการทั้งแบบสมการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple linear regression equation) และแบบสมการยกกำลัง (Power equation) จะได้

สูตรแบบเชิงเส้น

$$R(\%) = 116 \frac{H_i}{L_i} + 40 \frac{L_b}{L_i} + 17 \quad (7)$$

สูตรแบบยกกำลัง

$$R(\%) = 114 \left(\frac{H_i}{L_i} \right)^{0.24} \left(\frac{L_b}{L_i} \right)^{0.38} \quad (8)$$

โดย $0.027 < H_i/L_i < 0.120$ และ $0.095 < L_b/L_i < 1.110$

ประสิทธิภาพโดยรวม (Overall performance) ของทั้งสองสูตรเปรียบเทียบกับกันด้วย r , r^2 และ SD ดังสรุปในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสูตรแบบยกกำลังให้ความแม่นยำในการทำนายค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นเนื่องจากแนวไม้ไผ่ฯ ได้ดีกว่าสูตรแบบเชิงเส้น ในช่วงของข้อมูลการทดลองนี้

สูตรทั้งสองแบบตามสมการที่ (7) และ (8) สามารถนำไปใช้ได้สำหรับกรณีพื้นที่จริง โดยเริ่มจากการจัดเตรียมข้อมูลคลื่นในพื้นที่นั้น หาค่าความชันคลื่น (H_i/L_i) ของคลื่นเข้ากระทบซึ่งอาจใช้คลื่นตัวแทนอย่างเช่น คลื่นนัยสำคัญ (significant wave) การใช้สูตรเป็นแนวทางในการออกแบบสามารถทำได้ 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 คือ กำหนดจำนวนแถวของแนวไม้ไผ่ที่จะปัก เพื่อหาความหนาแนวไม้ไผ่ และค่า L_b/L_i จากนั้นใช้สูตร เพื่อประมาณประสิทธิภาพการลดทอนคลื่นที่ได้ หรือ กรณีที่ 2 คือ กำหนดค่าการลดทอนคลื่นที่ต้องการ (R) แล้วใช้สูตรในการออกแบบความหนาแนวไม้ไผ่ หรือจำนวนแถวของแนวไม้ไผ่ต่อไป

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพโดยรวมสูตรการลดทอนคลื่นเนื่องจากแนวไม้ไผ่กันคลื่น
ทั้งสูตรแบบเชิงเส้นและสูตรแบบยกกำลัง

สูตร	r	r^2	SD
สูตรแบบเชิงเส้น	0.918	0.84	12.5
สูตรแบบยกกำลัง	0.921	0.85	12.6

แนวทางการสร้างสูตรทำนายการลดทอนคลื่นเนื่องจากแนวไม้ไผ่กันคลื่นนี้เป็นประโยชน์ในทางปฏิบัติเพื่อนำไปใช้งานจริงมากด้วยความแม่นยำที่ยอมรับได้และความเรียบง่ายของสมการ การศึกษาในอนาคตควรขยายขอบเขตโดยรวมปัจจัยอื่นที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการลดทอนคลื่น เช่น ทิศทางของคลื่น ระดับความลึกน้ำ รูปแบบการปักไม้ไผ่ (เช่น รูปแบบแนวฟันปลา) เป็นต้น และศึกษาผลกระทบของตัวแปรเหล่านั้นประกอบด้วย

4. บทสรุป

การศึกษานี้นำเสนอการสร้างสูตรทำนายการลดทอนคลื่นเนื่องจากแนวไม้ไผ่กันคลื่นจากข้อมูลการทดลองในห้องปฏิบัติการ การทดลองเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนคลื่นกับความชันของคลื่นเข้ากระทบและความหนาของแนวไม้ไผ่กันคลื่นได้ดำเนินการในรางจำลองคลื่นซึ่งมีการสร้างแบบสม่ำเสมอ 35 กรณี คลื่นที่ผ่านแบบจำลองแนวไม้ไผ่ 4 แบบที่มีจำนวนแถวแตกต่างกัน ทำให้ได้ข้อมูลการทดลอง 140 กรณี ข้อมูลการทดลองชุดนี้ถูกนำไปวิเคราะห์และสร้างสูตรด้วยสมการแบบเชิงเส้นและแบบยกกำลัง ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวมของทั้งสองสูตรพบว่า สูตรแบบยกกำลังให้ความแม่นยำในการทำนายดีกว่า สูตรทำนายการลดทอนคลื่นนี้อาจช่วยเป็นเครื่องมือในการประยุกต์ใช้แนวไม้ไผ่กันคลื่นในพื้นที่ที่มีลักษณะคลื่นแตกต่างกันได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และ รุ่งสุริยา บัวสาลี (2554). *ป่าชายเลน: นิเวศวิทยาและพันธุ์ไม้*. อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- [2] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. *ป่าชายเลนในประเทศไทย* (แผ่นพับ).
- [3] Rasmeemasuang, T. and Sasaki, J. (2015). Wave reduction in mangrove forests: General information and case study in

Thailand. in *Handbook of coastal disaster mitigation: Engineering and Planning*, edited by Esteban, M., Takagi, H. and Shibayama, T. Butterworth Heinemann is an imprint of Elsevier.

- [4] อุดม เขยกิจวงศ์ (2555). *ป่าชายเลน*. สำนักพิมพ์แสงดาว.
- [5] Rasmeemasuang, T., Kittitanasuan, W., Rattanapitikon, W., Naksuksakul, S. (2022). Coastal Erosion in Thailand. in *Coastal Disaster Surveys and Assessment for Risk Mitigation*, edited by Shibayama, T. and Esteban, M., CRC Press, Taylor & Francis Group.
- [6] ปรีดา รัศมี และ ธรรมนุญ รัศมีมาสเมือง (2556). การประเมินเชิงเปรียบเทียบมาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลจังหวัดสมุทรปราการ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 5*, เชียงราย, 5-6 กันยายน 2556, บทความหมายเลข WRE65.
- [7] กมลพล ขยันหา, ศุภาพิชญ์ ดะสมุท, พรหมพร เล็งเอียง, นิรัตน์ แยมโอษฐ์ และ ธรรมนุญ รัศมีมาสเมือง (2561). การทดลองในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับผลกระทบของระดับน้ำท่วมต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 2, หน้า 5-16.
- [8] บุญช่วย อรรถวรรณ (2555). การแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งโดยวิธีการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น. *การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล ครั้งที่ 6*, กองบริหารจัดการพื้นที่ชายฝั่ง
- [9] Takagi, H., Sekiguchi, S., Nguyen, D.T., Rasmeemasuang, T. (2020). Do wooden pile breakwater work form community-based coastal protection? *Journal of Coastal Conservation*. 24(3), Article: 31, 11 pp.
- [10] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2558). *การแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง ด้วยการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น โดยประชาชนมีส่วนร่วม*. (ม.ป.ท). คู่มือ.