



## KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

## การลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน

## Wave attenuation in mangrove forests

ธรรมบุญ รัศมีมาสเมือง\*

Thamnoon Rasmeemasuang\*

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

Received April 2012

Accepted June 2012

## บทคัดย่อ

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศชายฝั่งทะเลที่สำคัญมาก นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นแนวกำบังคลื่นบริเวณชายฝั่งทะเลและลดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลอีกด้วย บทความนี้เป็นบทความทางวิชาการที่ทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน โดยบทความนำเสนอความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับป่าชายเลน ทบทวนกลไกการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน แนววิธีการศึกษารื่องดังกล่าว และนำเสนอผลการศึกษากับศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่น ในรูปของสัมประสิทธิ์การลดคลื่น นอกจากนี้ผู้เขียนได้วิเคราะห์การศึกษาที่ผ่านมาและให้ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีอื่นทั่วไปได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ :** การลดทอนของคลื่น การสลายพลังงานคลื่น สัมประสิทธิ์การลดคลื่น ป่าชายเลน

## Abstract

Mangrove forest is very important coastal ecosystem. Furthermore, it functions as the shelter for waves in the vicinity of coastal zones and mitigates coastal erosion problems. This paper presents the literature review regarding the wave attenuation in mangrove forests. Firstly, the paper introduces the basic knowledge about mangrove forests; then reviews the mechanism of the wave attenuation in mangrove forests as well as the methodology of previous studies. The paper shows the previous outcomes regarding the potential of mangrove forests in reducing wave energy, in term of the wave reduction coefficient. Finally author analyzes those previous researches and tenders the recommendations for future studies in order to be capable applying the results for other general cases.

**Keywords :** Wave attenuation, Wave energy dissipation, Wave reduction coefficient, Mangrove forests

\* Corresponding author. Tel.: +66-3810-2222 ext. 3358

Email address: thamnoon@bouu.ac.th

## 1. บทนำ

ป่าชายเลนเป็นพืชพรรณที่อยู่บริเวณแนวชายฝั่งทะเลซึ่งเป็นขอบเขตระหว่างแผ่นดินกับทะเล (รูปที่ 1 ก) ต้นไม้ป่าชายเลนมีลักษณะพิเศษที่สามารถอยู่ในสภาวะน้ำขึ้น-น้ำลงของน้ำทะเลหรือน้ำกร่อยได้ ปัจจุบันมีการศึกษาจำนวนมากได้ยืนยันถึงความสำคัญของป่าชายเลนในแง่มุมต่างๆ อย่างชัดเจน เช่น เป็นแหล่งอาหารและแหล่งที่อยู่ของพืชและสัตว์จำนวนมาก เป็นแหล่งประมงชายฝั่งที่สำคัญ เป็นต้น [1] นอกจากนี้ด้วยลักษณะพิเศษของระบบรากและลำต้นของต้นไม้ในป่าชายเลนที่มีจำนวนมาก มีความซับซ้อนและยึดโยงกับพื้นโคลนอย่างเหนียวแน่น (รูปที่ 1 ข) ทำให้ป่าชายเลนเป็นแนวลดพลังงานคลื่นลมและกระแสน้ำ [2] สร้างเสถียรภาพของตะกอนชายฝั่ง และป้องกันชายฝั่งทะเลถูกกัดเซาะได้ด้วย [3,4] โดยปกติเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าใกล้ชายฝั่ง คลื่นจะมีการลดทอน (Wave attenuation) เนื่องจากแรงต้านต่างๆ อยู่แล้ว และหากบริเวณชายฝั่งทะเลนั้นอุดมไปด้วยป่าชายเลน ระบบรากและลำต้นที่ซับซ้อนนี้ยิ่งทำให้คลื่นมีการสูญเสียพลังงานมากขึ้นอีก [5]

บทความนี้เป็นการนำเสนอความรู้ความเข้าใจที่ได้จากการศึกษาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน เริ่มจากความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับป่าชายเลน โดยเฉพาะอย่างยิ่งป่าชายเลนในประเทศไทย เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกการลดทอนของคลื่นและการศึกษาการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลนตามด้วยผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่น

## 2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับป่าชายเลน

ป่าชายเลน (Mangroves) เป็นป่าไม้ไม่ผลัดใบ (Evergreen forest) ที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งเป็นแนวเขต



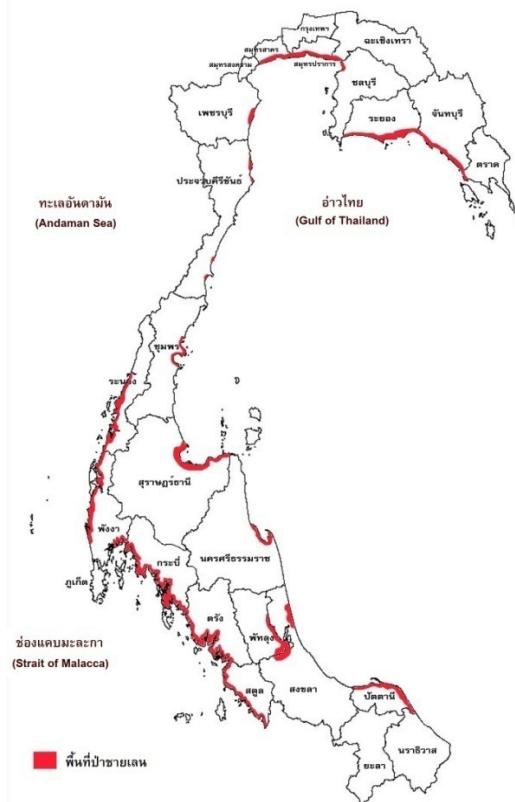
รูปที่ 1 ป่าชายเลนบริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลน เพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดชลบุรี (ภาพถ่ายโดย ธรรมบุญ รัศมีมาสเมือง)

ระหว่างแผ่นดินกับทะเลในเขตร้อน (Tropics) หรือเขตกึ่งร้อน (Subtropics) สามารถทนอยู่ในสภาวะที่น้ำขึ้น-น้ำลงได้ เมื่อน้ำขึ้น รากและลำต้นบางส่วนของต้นไม้ป่าชายเลนจะจมอยู่ในน้ำ และไหลผ่านน้ำเมื่อน้ำลง พันธุ์ไม้ในป่าชายเลนสามารถอยู่กับสภาพน้ำเค็มหรือน้ำกร่อยบนที่ราบผืนเลน (Tidal flat) ได้ ระบบนิเวศป่าชายเลนมีลักษณะพิเศษ คือ เป็นแหล่งที่อยู่ร่วมกันทั้งสัตว์บก สัตว์น้ำ และสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ ทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์และความสมดุลของระบบนิเวศเป็นอย่างดี

ในป่าชายเลนมีพันธุ์ไม้แท้จริงจำนวนไม่มาก เพียง 67 ชนิด จาก 16 วงศ์ ซึ่งเกือบทั้งหมดเป็นไม้ที่มีความสูงปานกลางและไม้พุ่ม ในประเทศไทยมีพันธุ์ไม้ป่าชายเลน 40 ชนิด จาก 14 วงศ์ และประมาณครึ่งหนึ่งของไม้ต้นและไม้พุ่มที่เป็นพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจากวงศ์ที่สำคัญเพียง 3 วงศ์เท่านั้น [6] คือ วงศ์เหียงอกปลาหมอบ (Acanthaceae) 6 ชนิด ได้แก่ แสมขาว (*Avicennia alba*) แสมดำ (*Avicennia officinalis*) แสมขน (*Avicennia lanata*) แสมทะเล (*Avicennia marina*) เหียงอกปลาหมอบดอกขาว (*Acanthus ebracteatus*) และเหียงอกปลาหมอบดอกม่วง (*Acanthus ilicifolius*) วงศ์ไม้โกงกาง (*Rhizophoraceae*) 10 ชนิด ได้แก่ โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) โกงกางใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) พังกาหัวสุมดอกขาว (*Bruguiera sexangula*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorhiza*) พังกาหัวสุมดอกช่อ (*Bruguiera hainesii*) ถั่วขาว (*Bruguiera cylindrical*) ถั่วดำ (*Bruguiera parviflora*) ไปรงขาว (*Ceriops decandra*) ไปรงแดง (*Ceriops tagal*) และรังกะแท้ (*Kandelia candel*) และวงศ์ไม้ตะแบก (*Lythaceae*) 5 ชนิด ได้แก่ ลำพู (*Sonneratia caseolaris*) ลำแพน (*Sonneratia ovata*) ลำแพนทะเล (*Sonneratia alba*) ลำแพนหิน (*Sonneratia griffithii*) และเทียนทะเล (*Pemphis acidula*) ทั่วโลกมีพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 105 ล้านไร่ โดยประเทศอินโดนีเซียมีพื้นที่ป่าชายเลนมากที่สุด ประมาณ 26 ล้านไร่ รองลงมาคือประเทศบราซิล ประมาณ 15 ล้านไร่ และประเทศออสเตรเลีย ประมาณ 7 ล้านไร่ ส่วนประเทศไทยมีพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 1.4 ล้านไร่ [6] กระจายตามชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคใต้ ดังรูปที่ 2 และตารางที่ 1

ระบบรากเป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน รากจะมีรูปร่างประหลาด บางส่วนโผล่พื้นดินขึ้นมา มีการพัฒนากลไกให้สามารถดูดธาตุอาหารน้ำ หายใจ ยึดและค้ำยันในดินเลนได้เป็นอย่างดี ระบบรากสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม (รูปที่ 3) คือ (1) กลุ่มรากค้ำยัน (Prop roots) เช่น พวกสกุลโกงกาง (2) กลุ่มรากหายใจ (Pneumatophore) เช่น พวกสกุลแสม และจะมีกลุ่มรากรูปหัวเข่าเป็นกลุ่มย่อย เช่น พวกสกุลพังกาหัวสุม และพวกตะบูนดำ (*Xylocarpus moluccensis*)

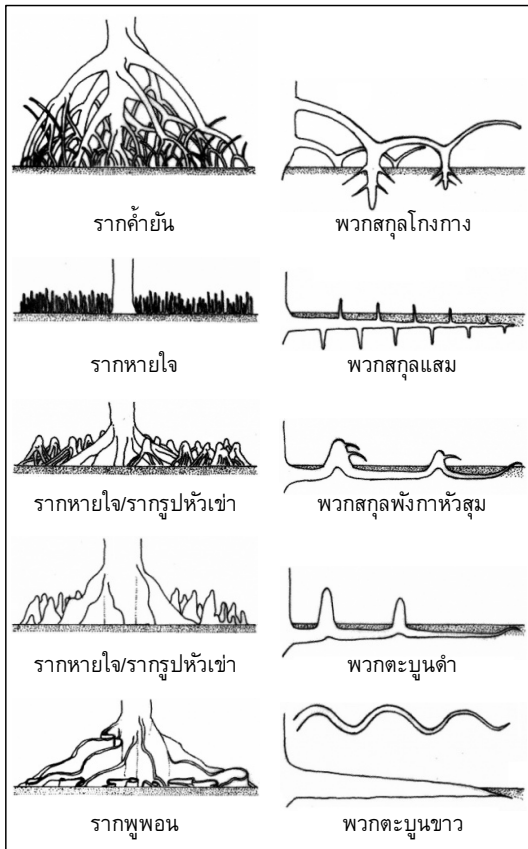
(3) กลุ่มรากพูกอน (Buttress roots) เช่น พวกตะบูนขาว (*Xylocarpus granatum*) ระบบรากที่ซับซ้อน ยึดแน่น ค้ำยัน และโผล่พื้นดินของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนเช่นนี้ เป็นกลไกสำคัญประการหนึ่งในกระบวนการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลนซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 2 พื้นที่ป่าชายเลนตามจังหวัดชายฝั่งทะเลในประเทศไทย [7]

ตารางที่ 1 พื้นที่ป่าชายเลนของประเทศไทยแบ่งตามภาค [8]

| ภาค             | พ.ศ. 2518 | พ.ศ. 2529 | พ.ศ. 2539 | พ.ศ. 2547 |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                 | (ไร่)     | (ไร่)     | (ไร่)     | (ไร่)     |
| กลาง            | 228,125   | 195,200   | 34,057    | 49,979    |
| ตะวันออก        | 306,250   | 174,879   | 79,113    | 152,247   |
| ใต้ฝั่งตะวันออก | 221,875   | 122,772   | 103,571   | 170,922   |
| ใต้ฝั่งตะวันตก  | 1,198,125 | 923,674   | 830,650   | 1,085,026 |
| รวม             | 1,954,375 | 1,416,525 | 1,047,391 | 1,458,174 |



รูปที่ 3 ระบบรากของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน[ดัดแปลงจาก [6] ]

### 3. กลไกการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน

โดยปกติเมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าใกล้ชายฝั่ง คลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Wave transformation) อยู่แล้ว ปรากฏการณ์หลักที่เกิดขึ้น คือ การเข้าสู่หน้าดินของคลื่น (Wave shoaling) ซึ่งทำให้ความสูงของคลื่นเพิ่มขึ้น จนถึงจุดจำกัด คลื่นจะแตกตัว (Wave breaking) และคลายพลังงานออกมา [9] แต่อย่างไรก็ตาม ในบทความนี้จะเน้นเฉพาะการลดทอนของคลื่นหรือการที่พลังงานของคลื่นถูกสลายไป เมื่อคลื่นเคลื่อนผ่านป่าชายเลน โดยสมมติว่าตลอดแนวป่าชายเลนค่าความลึกของน้ำ ซึ่งเป็นค่าระดับตั้งแต่พื้นถึงระดับน้ำนิ่ง (SWL: Still water level) คงที่ และไม่พิจารณาผลกระทบเนื่องจากกระแสน้ำ

กลไกการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก (ดูรูปที่ 4 ประกอบ) ได้แก่

#### 3.1 พลังงานคลื่นถูกสลายด้วยแรงต้านเนื่องจากลำต้นและราก

อนุภาคน้ำ (Water particles) ของคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่อยู่มีการเคลื่อนที่แบบวงโคจร (Orbital motion) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าไปในป่าชายเลนที่มีชั้นน้ำ (Water body) อยู่ในช่วงระดับลำต้นและราก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รากที่มีลักษณะเป็นรากค้ำยัน (รูปที่ 3) อนุภาคของน้ำจะเคลื่อนที่กระทบกับลำต้นและราก ทำให้เกิดเป็นแรงต้านหรือแรงลากต้านการเคลื่อนที่แบบวงโคจรดังกล่าว ทำให้พลังงานของคลื่นค่อยๆ สลายไป

#### 3.2 พลังงานคลื่นถูกสลายด้วยแรงเสียดทานที่พื้น

พื้นดินบริเวณป่าชายเลนมีลักษณะเป็นพื้นดินเลนหรือพื้นดินโคลน (Mud bed) เป็นแนวที่รากของต้นไม้ป่าชายเลนแบบต่างๆ เช่น รากค้ำยัน และรากพุดอง ยึดกับแผ่นดิน และยังเป็นแนวที่รากหายใจโผล่ขึ้นมาจากพื้นสู่ชั้นน้ำด้วย (รูปที่ 3) ด้วยระบบรากที่ซับซ้อนและมีจำนวนมากทั่วทั้งพื้นที่ป่าชายเลนเช่นนี้ ทำให้บริเวณพื้นของป่าชายเลนมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction coefficient) สูงกว่าพื้นดินเลนเปล่าที่ไม่มีต้นไม้ป่าชายเลน [10] แรงเสียดทานที่เกิดบริเวณพื้นจะมีปริมาณมากและเป็นปัจจัยที่ทำให้พลังงานคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านป่าชายเลนสลายตัวลง

นอกจากลักษณะพิเศษของระบบรากของต้นไม้ป่าชายเลนแล้ว ลักษณะพื้นดินโคลนยังสลายพลังงานคลื่นได้เป็นอย่างดี เนื่องจากลักษณะที่เป็นชั้นโคลนของไหล (Fluid mud layer) จะมีความสามารถในการหน่วงการเคลื่อนที่ของคลื่นและทำให้พลังงานคลื่นสลายตัวไป [11]

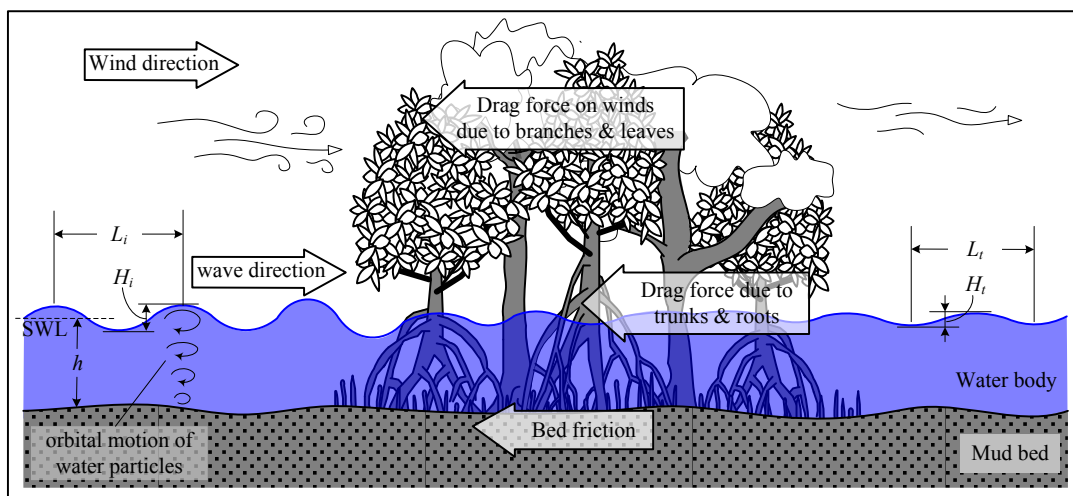
#### 3.3 แรงลมเสริมถูกกีดขวางด้วยกิ่งก้านและใบ

โดยปกติเมื่อลมพัดผิวน้ำด้วยระยะทางและระยะเวลาที่เพียงพอแล้ว คลื่นจะถูกสร้างขึ้นโดย สมบูรณ์และเคลื่อนที่ออกจากบริเวณลมพัดไปด้วยรูปร่างนั้น [12] แต่ในบางกรณีอาจจะมีลมพัดเสริมทำให้คลื่นที่ถูกสร้างขึ้นโดยสมบูรณ์แล้วมีการพัฒนาตัวและความสูงคลื่นเพิ่มขึ้นอีกได้ อย่างไรก็ตามใน บริเวณพื้นที่ป่าชายเลน ต้นไม้ป่าชายเลนที่มีกิ่งก้านและใบจำนวนมากจะทำหน้าที่เป็นเกราะกำบังลมไม่ว่าจะเป็นลมที่กำลังสร้างคลื่นใหม่หรือลมที่กำลังพัดเสริม

ก็ตาม โดยป้องกันไม่ให้แรงลมถ่ายทอดพลังงาน ไปยังผิวน้ำ หรือคลื่นที่กำลังคลื่นที่อยู่ใต้ กลไกนี้ไม่ใช่ กลไกการลดทอน ของคลื่นโดยตรง แต่เป็นกลไกที่สำคัญที่ทำให้คลื่นในบริเวณ ป่าชายเลนมีความสูงหรือมีพลังงานน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นบริเวณรอบนอกป่าชายเลน

ด้วยทั้งสามกลไกหลักนี้ พลังงานคลื่นที่เคลื่อนที่ เข้าสู่ป่าชายเลนถูกลดทอนลงไป ทำให้ความสูงคลื่นก่อนเข้า

สู่ป่าชายเลน  $H_i$  ลดลงเหลือเท่ากับความสูงคลื่นหลังออก จากป่าชายเลน  $H_t$  เท่านั้น ความสูงคลื่นหรือพลังงานที่ลดลงนี้มีความสำคัญต่อกระบวนการทางกายภาพของพื้นที่ชายฝั่ง บริเวณนั้นเป็นอย่างมาก เช่น การลดการเคลื่อนที่ของตะกอน การส่งเสริมให้เกิดการตกตะกอนมากขึ้น [13] และการลด ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล [14] เป็นต้น



รูปที่ 4 แผนภาพกลไกการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน

#### 4. การศึกษาการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน

การศึกษการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลนยังมีไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในชายหาดทั่วไป ซึ่งมีมายาวนานกว่าสามสิบปี [15] แม้กระทั่งเปรียบเทียบกับ การศึกษการลดทอนของคลื่นบนแนวหินโสโครก บนชายฝั่งโคลนโล่งไร้ต้นไม้ บนพื้นหญ้าทะเล หรือในพรวน้ำเค็ม อย่างไรก็ตามความสนใจในการศึกษการลดทอนของคลื่นเนื่องจากต้นไม้ชายฝั่ง (Coastal vegetation) เช่น ป่าชายเลน มีเพิ่มขึ้นมากในช่วงทศวรรษ ค.ศ. 1990 เป็นต้นมา ในส่วนนี้จะนำเสนอการทบทวนการศึกษาเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

การศึกษการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน รวมถึงการศึกษการศึกษกายภาพของต้นไม้ป่าชายเลนในการทำหน้าที่เป็นเกาะกำบังคลื่นต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น คลื่นลม (Wind waves)

คลื่นพายุซัดฝั่ง (Storm surges) หรือคลื่นสึนามิ (Tsunamis) มีแนวทางและระเบียบวิธีวิจัยที่หลากหลายแตกต่างกันพอสมควร แต่พอจัดแบ่งได้เป็นสามกลุ่ม ดังนี้

##### 4.1 การศึกษาภาคสนาม

กลุ่มแรกเป็นการศึกษการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลนที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่จริง โดยแบ่งได้เป็นสองกลุ่ม คือ (1) การทดลองในภาคสนามและเก็บข้อมูลปฐมภูมิ และ (2) รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิในภาคสนามมาวิเคราะห์

(1) การทดลองในภาคสนามเป็นการศึกษาตามสภาพจริง โดยส่วนใหญ่จะติดตั้งเครื่องมือวัดคลื่นเพื่อวัดคลื่นที่กำลังจะเคลื่อนที่เข้าสู่แนวต้นไม้ชายฝั่งทะเลหรือป่าชายเลน และคลื่นหลังจากที่ผ่านออกมาจากแนวต้นไม้ เหล่านั้น (อาจจะมีเครื่องวัด คลื่นในแนวต้นไม้ ด้วย) จากนั้นจึงวิเคราะห์พฤติกรรมของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านแนวต้นไม้ และ/หรือ



วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การลดคลื่น (Wave reduction coefficient) (ดูเพิ่มเติมหัวข้อที่ 5) [3, 5, 10, 16-19] คลื่นในการทดลองภาคสนามนี้เกือบทั้งหมดจะมีลักษณะเป็นคลื่นลมเท่านั้น เนื่องจากการวัดคลื่นพายุซัดฝั่งหรือคลื่นสึนามิทำได้ยากเกินไป ส่วนพันธุ์หรือชนิดของต้นไม้ก็จะขึ้นอยู่กับพื้นที่จริง ส่วนมากจะมีต้นไม้หลายพันธุ์ผสมกัน โดยบางพื้นที่จะมีพันธุ์เด่นที่มีจำนวนมากที่สุด เช่น โกงกาง [16] ลำพู [5,10] แสม [10] รังกะแต้ [10] และแฝก [19] เป็นต้น ข้อดีของการทดลองในภาคสนาม คือ การได้เห็นพฤติกรรมของคลื่นที่ถูกสลายพลังงานในพื้นที่และภายใต้สภาพแวดล้อมจริง ส่วนข้อเสีย คือ การไม่สามารถกำหนดตัวแปรต้น เช่น ความหนาแน่นของต้นไม้ ลักษณะของคลื่น ได้ ทำให้ข้อมูลหรือผลการศึกษาที่ได้จะเชื่อถือได้เฉพาะในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น การนำผลการศึกษาไปใช้ยังพื้นที่อื่นต้องกระทำอย่างระมัดระวัง

(2) การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิหรือข้อมูลแวดล้อมในภาคสนามเพื่อมาวิเคราะห์ประเมินหาศักยภาพในการลดพลังงานคลื่นของต้นไม้ป่าชายเลน ข้อมูลที่ถูกรวบรวมอาจจะเป็นข้อมูลจริงในพื้นที่ เช่น ข้อมูลความเสียหายหลังจากเกิดคลื่นพายุซัดฝั่งหรือคลื่นสึนามิ [20] เป็นต้น หรือเป็นข้อมูลที่มีลักษณะเป็นข้อมูลการสำรวจระยะไกล (Remote sensing) เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม [21] เป็นต้น โดยวิธีการวิเคราะห์มีทั้งวิธีทางสถิติเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่สนใจ [18,20] และวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) ในการหาคำตอบสมการทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายกระบวนการทางกายภาพของการสลายพลังงานของคลื่น [21] (รายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อ 4.3) วิธีการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิหรือข้อมูลแวดล้อมเช่นนี้นิยมใช้กับกรณีของคลื่นที่มีความรุนแรงอย่างคลื่นพายุซัดฝั่งหรือสึนามิซึ่งยากที่จะเก็บข้อมูลขณะเวลาจริง

#### 4.2 การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาหัวข้อนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยสร้างคลื่นในรางจำลองคลื่น (Wave flume) หรืออ่างจำลองคลื่น (Wave basin) ให้คลื่นเคลื่อนที่ผ่านแบบจำลองต้นไม้ชายฝั่งทะเล ซึ่งแบบจำลองต้นไม้ชายฝั่งอาจจะเป็นต้นไม้จริงที่นำมา จากพื้นที่จริง [22-23] หรือเป็นแบบจำลองที่ทำจากวัสดุอื่น เช่น แท่งเหล็กยึดติดกับพื้น เป็นต้น [24]

ข้อจำกัดประการหนึ่งของการศึกษาในห้องปฏิบัติการ คือ มาตรฐาน เนื่องจากแบบจำลองในห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องถูกย่อส่วนให้มีขนาดเล็กลงทำให้อาจจะมีขนาดคลาดเคลื่อนในกระบวนการที่เกิดขึ้นกับขนาดจริงได้ สำหรับข้อดีของการศึกษาแบบนี้ คือ ผู้ศึกษาสามารถกำหนดหรือจำลองลักษณะหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ตามความต้องการ เช่น ลักษณะคลื่นรูปลักษณะของต้นไม้ ความหนาแน่นของต้นไม้ เป็นต้น ในเรื่องของลักษณะของคลื่นก็สามารถจำลองได้หลายรูปแบบ ทั้งคลื่นลม [22] คลื่นพายุซัดฝั่ง [23] หรือสึนามิ [24] แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในห้องปฏิบัติการยังมีจำนวนไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอีกสองแบบ

#### 4.3 การศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษากการสลายพลังงานของคลื่นเนื่องจากต้นไม้ชายฝั่งทะเลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เริ่มมากกว่าสามสิบปีแล้ว [25] การศึกษาหัวข้อนี้จะมีสองลักษณะ คือ (1) การศึกษาเฉพาะกระบวนการเปลี่ยนแปลงของคลื่นและ(2)การศึกษาดูทกพลศาสตร์(Hydrodynamics)ของมวลน้ำทั้งหมดโดยการศึกษาทั้งสองลักษณะจะมีสมการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ สมการต่อเนื่อง หรือ สมการอนุรักษ์มวล (Continuity equation or mass conservation equation) สมการอนุรักษ์โมเมนตัม(Momentum conservation equation) และสมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy conservation equation) ในการศึกษาที่สนใจเฉพาะกระบวนการเปลี่ยนแปลงของคลื่น [25] มักจะมีหลักการว่า พลังงานของคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านต้นไม้จะถูกสลายลงเรื่อยๆ ด้วยอัตราการสลายพลังงานเนื่องจากแรงต้านของต้นไม้โดยมีรูปแบบทั่วไปของสมการอนุรักษ์พลังงาน คือ

$$\frac{\partial EC_s}{\partial x} = -\varepsilon \quad (1)$$

เมื่อ  $E$  คือ พลังงานคลื่น,  $C_s$  คือ ความเร็วกลุ่มคลื่น และ  $\varepsilon$  คือ อัตราการสลายพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งเกิดจากแรงต้านของต้นไม้ ซึ่งมีการจำลองพารามิเตอร์  $\varepsilon$  ต่างกันไป [26]

สำหรับการศึกษาที่สนใจกระบวนการอุทกพลศาสตร์ของมวลน้ำทั้งหมด จะพิจารณาทั้งในส่วนของคุณลักษณะและการไหลของน้ำด้วย [27,28] ในส่วนนี้สมการต่อเนื่องและสมการอนุกรมโมเมนตัมจะถูกหาผลเฉลยร่วมกัน โดยมีการจำลองแรงต้านเนื่องจากต้นไม้ในรูปของสัมประสิทธิ์การลาก (Drag coefficient) ในรูปแบบต่างๆ [29] นอกจากการศึกษาด้านอุทกพลศาสตร์พื้นที่ชายฝั่งทะเลแล้วยังมีการจำลองภาวะน้ำท่วมเนื่องจากคลื่นยาวอย่างสึนามิและผลการลดคลื่นเนื่องจากป่าชายเลนอีกด้วย (เช่น [21]) การศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งสองลักษณะมีการหาผลเฉลยด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ (Analytical method) [28] และวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) [26,27] การศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นวิธีประหยัดเวลา งบประมาณ และสามารถจำลองสถานการณ์ได้หลากหลายรูปแบบ จึงเป็นที่นิยมมาก แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็จำเป็นต้องมีข้อมูลจากภาคสนามหรือการทดลองในห้องปฏิบัติการประกอบการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งเป็นเรื่องที่ขาดไม่ได้

## 5. ศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่น

จากผลการศึกษาส่วนใหญ่ได้ข้อสรุปที่คล้ายคลึงกันว่า ป่าชายเลนหรือต้นไม้ชายฝั่งทะเลมี ศักยภาพในการช่วยสลายพลังงานคลื่นที่กำลังเกิดขึ้นโดยลมธรรมชาติหรือมรสุม [3-5,10] แต่ในส่วนของคลื่นยาวและมีพลังงานมากอย่างสึนามิ มีผู้ให้ความเห็นว่าป่าชายเลนมีศักยภาพในการลดพลังงานของคลื่นสึนามิ [20,21] แต่นักวิจัยบางส่วนได้วิพากษ์วิจารณ์โต้แย้งหรือยังมีข้อสงสัย [30] โดยมีเหตุผลหลักอธิบายว่า คลื่นสึนามิมีพลังงานมากเกินกว่าต้นไม้ป่าชายเลนจะต้านทานหรือลดพลังงานของสึนามิลงได้อย่างมีนัยยะสำคัญ ในทางตรงกันข้าม เมื่อต้นไม้เหล่านี้โค่นลงเนื่องจากแรงปะทะของคลื่น ก็จะกลายเป็นซากปรักหักพังที่ถูกพัดไหลไปกับมวลน้ำและทวีความรุนแรงในการปะทะยังผลให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินมากยิ่งขึ้น ถึงแม้ว่าแต่ละฝ่ายจะแสดงเหตุผลที่แตกต่างกัน แต่ป่าชายเลนคงไม่มีศักยภาพในการลดพลังงานจากคลื่นสึนามิโดยตรง แต่ป่าชายเลนยังคงเป็นระบบนิเวศชายฝั่งที่สำคัญมากและต้องอนุรักษ์ พื้นฟู และดูแลให้เป็นแนวกำบังคลื่นลม ป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งต่อไป

ศักยภาพในการลดพลังงานคลื่นของป่าชายเลนขึ้นกับปัจจัยหลายประการด้วยกัน เช่น ความหนาแน่นของต้นไม้ ขนาดลำต้นและราก ความกว้างของแนวป่าชายเลน ระดับน้ำในป่าชายเลนขณะนั้น และลักษณะของคลื่นที่เข้าปะทะ เป็นต้น การนำเสนอผลการลดคลื่นเนื่องจากป่าชายเลนมักแสดงเป็น (1) สัมประสิทธิ์การลดคลื่น (Wave reduction coefficient) คือ ร้อยละของความสูงคลื่นที่ลดลงเมื่อคลื่นผ่านป่าชายเลนเทียบกับความสูงคลื่นก่อนเคลื่อนที่เข้าป่าชายเลน ดังสมการที่ 2 และ (2) อัตราส่วนการลดคลื่น (Wave reduction ratio) คือ อัตราส่วนของความสูงคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านป่าชายเลนต่อความสูงคลื่นก่อนเคลื่อนที่เข้าป่าชายเลน ดังสมการที่ 3

สัมประสิทธิ์การลดคลื่น ( $R$ ):

$$R(\%) = \frac{H_i - H_t}{H_i} \times 100 \quad (2)$$

อัตราส่วนการลดคลื่น ( $R'$ ):

$$R' = \frac{H_t}{H_i} \quad (3)$$

เมื่อ  $H_i$  คือ ความสูงคลื่นก่อนเข้าสู่ป่าชายเลน และ  $H_t$  คือ ความสูงคลื่นหลังออกจากป่าชายเลน

ตารางที่ 2 นำเสนอตัวอย่างของผลการลดคลื่นในรูปของสัมประสิทธิ์การลดคลื่นที่มีการนำเสนอในการศึกษาที่ผ่านมา จากข้อมูลจะเห็นได้ชัดเจนว่า สัมประสิทธิ์การลดคลื่นมีช่วงที่กว้างมาก ตั้งแต่ 20% ถึง 90% แสดงว่า ผลการลดคลื่นที่ได้จากการศึกษาในแง่มุมต่างกันขึ้นกับเงื่อนไขของการศึกษานั้นๆ เป็น อย่างมาก การนำข้อมูลไปอ้างอิงจึงควรตรวจสอบเงื่อนไขของการศึกษานั้นอย่างละเอียดรอบคอบ

## 6. ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาศักยภาพของป่าชายเลน ในการลดพลังงานคลื่น

จากผลการศึกษาศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่นในหัวข้อที่แล้วจะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดคลื่นมีช่วงที่กว้างมาก และขึ้นกับเงื่อนไขในการศึกษาการนำไปประยุกต์ในกรณีอื่นทั่วไปจึงไม่สะดวกนัก ผู้เขียนได้วิเคราะห์การศึกษาที่ผ่านมาและมีข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคตเพื่อให้ผลการศึกษาคอบคลุมกรณีอื่นทั่วไปมากขึ้น ดังนี้

ตารางที่ 2 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การลดคลื่น R (เรียงลำดับตามค่า R )

| ที่มา | วิธีการศึกษา <sup>1</sup> | ชนิดคลื่นที่ศึกษา | เงื่อนไขในการศึกษา <sup>2</sup>                       | R (%)                                                         |
|-------|---------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| (3)   | F                         | คลื่นพายุ         | $W = 100$ m, $T = 5 - 8$ s, พวงกังกะแท้               | 20                                                            |
| (28)  | M                         | สึนามิ            | $W = 500$ m, $H = 1$ m, $L = 10$ km, พวงแสม           | 45                                                            |
| (4)   | F                         | คลื่นลม           | $W = 100$ m, พวงลำพู                                  | 50                                                            |
| (31)  | M                         | สึนามิ            | $W = 100$ m, ต้นไม้จำลอง                              | 50                                                            |
| (21)  | M                         | สึนามิ            | $W = 400, 1000$ m, $H = 3$ m, $T = 30$ min, พวงโกงกาง | 45-57                                                         |
| (23)  | E                         | คลื่นพายุ         | $W = 3, 6$ m, $H = 5 - 17.5$ cm, พวงลำพู              | 70 - 80<br>(กรณีป่าหนาแน่น)<br>35 - 55<br>(กรณีป่าไม่หนาแน่น) |
| (32)  | M                         | คลื่นลม           | $W = 50$ m, $H = 0.6$ m, พวงโกงกางและโปรง             | 70 - 90                                                       |

หมายเหตุ 1. F = การศึกษามาสนาม M = การศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ E = การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

2.  $W$  = ความกว้างของป่าชายเลน  $H$  = ความสูงคลื่น  $L$  = ความยาวคลื่น  $T$  = คาบคลื่น

(1) ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเฉพาะของป่าชายเลนกับศักยภาพการลดพลังงานคลื่น ลักษณะเฉพาะของป่าชายเลน (นอกเหนือจากชนิดของป่าชายเลน) เช่น ความหนาแน่นของป่าชายเลน ในการศึกษาของ [4] และ [36] เกี่ยวข้องกับความหนาแน่นของป่าชายเลนอยู่บ้าง แต่ระบุเพียงว่าพื้นที่ศึกษาเป็นป่าหนาแน่นหรือไม่หนาแน่น แต่ในอนาคตควรศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นเชิงปริมาณ เพื่อให้ทราบว่าการป่ามีความหนาแน่นเท่านี้จะมีศักยภาพในการลดพลังงานคลื่นเท่าใด นอกจากนี้ความกว้างของป่าชายเลนก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจ ควรมีการศึกษารลดทอนของคลื่นที่ความกว้างของป่าหลายๆ ค่าแล้วนำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานต่อไป

(2) ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างลักษณะเฉพาะทางอุทกพลศาสตร์กับศักยภาพการลดพลังงานคลื่น ลักษณะเฉพาะทางอุทกพลศาสตร์ เช่น ความชันคลื่น (ความสูงคลื่นต่อความยาวคลื่น) หรือ ความลึกของน้ำ เป็นต้น สำหรับความลึกของน้ำควรศึกษาในรูปของความลึกของน้ำต่อความสูงของรากหรือลำต้นของต้นไม้

เพื่อทราบ ว่าระดับน้ำลึกมากน้อยเพียงใดเมื่อเปรียบเทียบกับต้นไม้ ทำให้สะดวกในการนำไปใช้งานในกรณีต้นไม้ขนาดต่างกัน

(3) ควรมีการศึกษากลิ่กที่แรงลมเสริมถูกกัดขวางด้วยกิ่งก้านและใบของต้นไม้ป่าชายเลน (หัวข้อ 3.3) เนื่องจากยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้เท่าใดนัก ทั้งที่ไม่ว่าจะเป็นกรณีของคลื่นลมหรือคลื่นพายุ ลมเป็นแรงขับเคลื่อนที่สำคัญที่สุด หากเราเข้าใจกลไกนี้ย่อมทำให้การประเมินศักยภาพการลดพลังงานคลื่นมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

## 7. บทสรุป

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่สำคัญมาก เนื่องจากทำหน้าที่หลายประการ เช่น เป็นแหล่งที่อยู่และแหล่งอาหารของสิ่งมีชีวิตจำนวนมาก นอกจากนี้บทบาทที่สำคัญอีกประการหนึ่งของป่าชายเลน คือ ทำหน้าที่เป็นเกาะกักบังคลื่น ลม และกระแสน้ำบริเวณแนวชายฝั่งทะเล ช่วยสนับสนุนการตกตะกอนและลดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล เมื่อคลื่น เคลื่อนที่เข้าสู่ป่าชายเลนจะมีกลไกที่ทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ ทำให้พลังงานคลื่นค่อยๆ สลาย



ตัวลง เป็นผลให้ความสูงของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านป่าชายเลนไปแล้วลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญ

การศึกษาการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลนเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ทำให้เข้าใจกระบวนการทางกายภาพ และสามารถประมาณศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่น ซึ่งส่งผลให้การประยุกต์ใช้ป่าชายเลนเป็นเกาะกำบังชายฝั่งทะเลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาทั้งในภาคสนาม ในห้องปฏิบัติการและการศึกษาด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ต่างก็เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต้องการข้อมูลในการกำหนดหรือจำลองพารามิเตอร์จำนวนมาก ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะได้จากการทดลองในภาคสนามและ/หรือในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้แล้วข้อมูลจากภาคสนามและห้องปฏิบัติการถูกใช้ในการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองด้วย

ความเข้าใจและความสามารถในการประเมินศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่นเป็นสิ่งสำคัญในการสนับสนุนให้มีการอนุรักษ์หรือการฟื้นฟูป่าชายเลนเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นแนวป้องกันชายฝั่งทะเลอย่างยั่งยืนต่อไป

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Robertson AI, Alongi DM (Ed.). Tropical mangrove ecosystem. American Geophysical Union, Washington; 1992.
- [2] Christensen SM, Tarp P, Hjortso CN. Mangrove forest management planning in coastal buffer and conservation zones, Vietnam: A multimethodological approach incorporating multiple stakeholders. Ocean & Coastal Mgmt. 2008;51: 712-726.
- [3] Mazda Y, Magi M, Kogo M, Hong PN. Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King Delta, Vietnam. Mangroves & Salt Marches. 1997;1: 127-135.
- [4] Thampanya U, Vermaat JE, Sinsakul S, Panapitukkul N. Coastal erosion and mangrove progradation of Southern Thailand. Estuarine Coastal & Shelf Sci. 2006;68: 75-85.
- [5] Mazda Y, Magi M, Ikeda Y, Kurokawa T, Asano T. Wave reduction in a mangrove forest dominated by *Sonneratia* sp. Wetlands Ecology and Mgmt. 2006: 14: 365-378.
- [6] Bunyavejchewin S, Buasalee R. Mangrove forests: ecology and vegetations. Bangkok; 2011.
- [7] Aksornkoae S. Population and coastal resources. Thailand Research Fund; 2002. (In Thai).
- [8] Department of Marine and Coastal Resources. Mangroves Forests. Pamphlet (In Thai).
- [9] Dean RG, Dalrymple RA. Water wave mechanics for engineers and scientists, World Scientific; 1991.
- [10] Quartel S, Kroon A, Augustinus PGEF, Van Santen P, Tri NH. Wave attenuation in coastal mangroves in the Red River Delta, Vietnam. J of Asian Earth Sci. 2007;29: 567-584.
- [11] Winterwerp JC, Van Kesteren WGM. An introduction to the physical processes of cohesive sediment in the marine environment. Elsevier, Developments in Sedimentology vol. 56; 2004.
- [12] U.S. Army Corps of Engineers. Coastal Eng Manual. Washington, D.C.; 2002.
- [13] Furukawa K, Wolanski E, Sedimentation in mangrove forests. Mangroves and Salt Marshes. 1996;1: 3-10.
- [14] Winterwerp JC, Borst WG, De Vries MB. Pilot study on the erosion and rehabilitation of a mangrove mud coast. J of Coastal Res. 2005;21: 223-230.
- [15] Battjes JA, Janssen JPFM. Energy loss and set-up due to breaking random waves. Proc. of the 16th Intl Conf on Coastal Eng; 1992. p. 569-587.

- [16] Brickman RM, Massel SR, Ridd PV, Furukawa K. Surface wave attenuation in mangrove forest. *Proc. of the 13th Australasian Coastal & ocean Eng Conf*; 1997. p. 941-946.
- [17] de Vos WJ. Wave attenuation in mangrove wetlands, Red River Delta, Vietnam [MSc Thesis]. Delft Univ of Technology; 2004.
- [18] Feagin RA, Möller JLI, Williams AM, Colón-Rivera RJ, Mousavi M.E. Short communication: Eng properties of wetland plants with application to wave attenuation. *Coastal Eng.* 2011;58: 251-255.
- [19] Möller I, Mantilla-Contreras J, Spencer T, Hayes A. Micro-tidal coastal reed beds: Hydro-morphological insights and observations on wave transformation from the southern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal & Shelf Sci.* 2011;92: 424-436.
- [20] Kathiresan K, Rajendran N. Coastal mangrove forests mitigated tsunامي. *Estuarine, Coastal & Shelf Sci.* 2005;65: 601-606.  
Yanagisawa H, Koshimura S, Goto K, Miyagi T, Imamura F, Ruangrassamee A, Tanavud C. The reduction effects of mangrove forest on a tsunami based on field surveys at Pakarang Cape, Thailand & numerical analysis. *Estuarine Coastal & Shelf Sci.* 2009;81: 601-606.
- [22] Dubi AM, Tørum A. Wave damping by kelp vegetation. *Proc.s of the 24th Intl Conf on Coastal Eng*; 1994. p. 142-156.  
Tuyen NB, Hung H.V. An experimental study on wave reduction efficiency of mangrove forests. *Proc. of the 5th Intl Conf on Asian and Pacific Coasts*; 2009.
- [24] Fernando HJS, Samarawickrama SP, Balasubramanian S, Hettiarachchi SSL, Voropayev S. Effects of porous barriers such as coral reefs on coastal wave propagation. *J of Hydro-Environment Res.* 2008;1: 187-194.
- [25] Kobayashi N, Raichlen AW, Asano T. Wave attenuation by vegetation. *J of Waterway, Port, Coastal & Ocean Eng.* 1993;119: 30-48.
- [26] Suzuki T, Zijlema M, Burger B, Meijer MC, Narayan S. Wave dissipation by vegetation with layer schematization in SWAN, *Coastal Eng.* doi:10.1016/j.coastaleng. 2011.07.006; 2011.
- [27] Massel SR, Furukawa K, Brinkman RM. Surface wave propagation in mangrove forests. *Fluid Dyn. Res.* 1999;24: 219-249.
- [28] Teh SY, Koh HL, Liu PLF, Ismail AIM, Lee HL. Analytical and numerical simulation of tsunami mitigation by mangroves in Penang, Malaysia. *J of Asian Earth Sci.* 2009;36: 38-46.
- [29] Myrhaug D, Holmedal LE. Drag force on a vegetation field due to long-crested and short-crested nonlinear random waves. *Coastal Eng.* 2011;58: 562-566.
- [30] Shuto N. The effectiveness and limit of tsunami control forests. *Coastal Eng in Japan.* 1987;30: 143-153.
- [31] Hirashi T, Harada K. Greenbelt tsunami prevention in South-Pacific region, [http://eqtap.edm.bosai.go.jp/useful\\_outputs/report/hiraishi/data/paper/greenbelt.pdf](http://eqtap.edm.bosai.go.jp/useful_outputs/report/hiraishi/data/paper/greenbelt.pdf); 2003.
- [32] Hadi S, Latief H, Muliddin. Analysis of surface wave attenuation in mangrove forests, *Proc. of ITB Eng Sci*; 2003: 35 B. p. 89-108.