รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยเรื่อง
การศึกษาผลกระทบของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ต่อการลดทอนคลื่นในป่าชายเลน
A study of the effect of hydrodynamic factors on the wave reduction in mangroves

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนูญ รัศมีมาสเมือง

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2559A10802198
สัญญาเลขที่ 139/2559

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยเรื่อง
การศึกษาผลกระทบของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์
ต่อการลดทอนคลื่นในป่าชายเลน
A study of the effect of hydrodynamic factors on the wave reduction in mangroves

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนูญ รัศมีมาสเมือง
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กันยายน พ.ศ. 2562

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 139/2559

Acknowledgement

This work was financially supported by the Research Grant of Burapha University through National Research Council of Thailand (Grant no. 139/2559)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลและความสัมพันธ์ของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์และสภาพป่าชายเลนต่อการลดทอนคลื่นในป่าชายเลน และพัฒนาสมการการลดทอนคลื่นในป่าชายเลนที่คำนึงถึงปัจจัยนั้น

การศึกษาได้นำข้อมูลการสำรวจภาคสนาม ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลตรวจวัดทางอุทกพลศาสตร์ ได้แก่ คลื่นและระดับน้ำ และข้อมูลสภาพป่าชายเลน ได้แก่ ความยาวของแนวป่าชายเลน ความลาดชันของพื้นที่ ความหนาแน่นของต้นไม้ ขนาดของต้นไม้ ในบริเวณพื้นที่ศึกษาในป่าชายเลน มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์และความถดถอยเชิงเส้นตรงหลายตัวแปร

ตัวแปรไร้มิติมทางอุทกพลศาสตร์และสภาพป่าชายเลน ได้แก่ ความสูงคลื่นต่อความยาวคลื่นหรือความชันคลื่น (H/L) ความยาวป่าชายเลนต่อความยาวคลื่น (L_m/L) และพื้นที่ลำต้นของต้นไม้ต่อพื้นที่ทั้งหมด (A_m/A) ถูกนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิการลดทอนคลื่น (R(%)) จากผลการวิเคราะห์พบว่า ความสูงคลื่นต่อความยาวคลื่นหรือความชันคลื่น (H/L) ความยาวป่าชายเลนต่อความยาวคลื่น (L_m/L) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับสัมประสิทธิการลดทอนคลื่น ดังนั้นตัวแปรไร้มิติทั้งสองถูกนำมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงหลายตัวแปร และสร้างสมการการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นในป่าชายเลนที่พิจารณาลักษณะทางอุทกพลศาสตร์และสภาพป่าชายเลน

สมการที่นำเสนอสามารถช่วยให้ในการประมาณสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นในสถานการณ์ต่างๆ ซึ่งขึ้นกับสภาพภูมิอากาศของคลื่นได้ และในกรณีของสภาพป่าชายเลนที่แตกต่างกันได้

Abstract

The objectives of this study are to study the influences and relations between hydrodynamics and mangroves factors on the wave reduction in mangrove forests; as well as to develop an equation of the wave reduction in mangroves forests considering those relative factors.

Field data of monitoring the hydrodynamic factors – wave conditions and water level and of surveying mangroves physical characteristics were analyzed with correlation and multiple linear regression analyses

Dimensionless parameters of hydrodynamics and mangroves; the ratio of wave height to wave length or the wave steepness, the ratio of the mangroves length to the wave length and the trunk area of mangrove trees to the total study area are analyzed with correlation analysis with the wave reduction and found that the relations between the ratio of wave height to wave length or the wave steepness and the ratio of the mangroves length to the wave length are significant. The predictive equation of wave reduction considering these factors are developed with the multiple linear regression analysis.

The purposed equation are applied to estimate the wave reduction in mangroves forests in different conditions of wave climate and mangrove forests.

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		i
Acknowledgement		ii
บทคัดย่อ		iii
Abstract		iv
สารบัญ		v
สารบัญตาราง		vi
สารบัญรูป		vii
บทที่ 1 บทนำ		1
	1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
	1.4 ผลประโยชน์ที่จะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		4
	2.1 บทนำ	4
	2.2 ลักษณะของป่าชายเลน	5
	2.3 การลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน	8
	2.4 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน	10
	2.5 ศักยภาพการลดทอนคลื่นของป่าชายเลน	13
	2.6 บทสรุป	14
บทที่ 3 วิธีการศึกษา		17
	3.1 พื้นที่ทดลองภาคสนามและช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล	17
	3.2 การเก็บข้อมูลภาคสนาม	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	25
4.1 ผลการสำรวจภาค	25
4.2 การวิเคราะห์ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ต่อการลดทอนคลื่นในป่าชายเลน	31
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	42
5.1 สรุปผลการศึกษา	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก ก ผลผลิต	49
ภาคผนวก ข ประวัตินักวิจัย	50

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	พื้นที่ป่าชายเลนของประเทศไทยแบ่งตามภาค	7
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การลดคลื่น R (เรียงลำดับตามค่า R)	16
ตารางที่ 3.1	ข้อมูลของช่วงเวลาติดตั้งและเก็บเครื่องวัดคลื่น	19
ตารางที่ 3.2	ข้อมูลของช่วงเวลาเก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน	19
ตารางที่ 4.1	ค่าความต่างระดับของแนวเส้นทางรังวัดในพื้นที่เก็บข้อมูล	28
ตารางที่ 4.2	ข้อมูลปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์และลักษณะป่าชายเลนที่มีผลต่อการลดทอนคลื่น	32
ตารางที่ 4.3	ค่าสหสัมพันธ์ (Correlations) ระหว่างการลดทอนคลื่นและตัวแปรไร้มิติทางอุทกพลศาสตร์และสภาพป่าชายเลน	40

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	ป่าชายเลนบริเวณอำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี	4
รูปที่ 2.2	พื้นที่ป่าชายเลนตามจังหวัดชายฝั่งทะเลในประเทศไทย	6
รูปที่ 2.3	ระบบรากของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน	7
รูปที่ 2.4	แผนภาพกลไกการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน	9
รูปที่ 3.1 (ก)	พื้นที่ศึกษา ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดชลบุรี	17
รูปที่ 3.1 (ข)	พื้นที่เก็บข้อมูล	18
รูปที่ 3.2 (ก)	การติดตั้งเครื่องวัดคลื่น ตำแหน่งนอกฝั่ง (Offshore)	18
รูปที่ 3.2 (ข)	การติดตั้งเครื่องวัดคลื่น ตำแหน่งในฝั่ง (Onshore)	18
รูปที่ 3.3	การวางแนวพื้นที่เก็บข้อมูลด้วยเข็มทิศ และ หลักไม้ผูกเชือก	20
รูปที่ 3.4	การกำหนดพื้นที่เก็บข้อมูลด้วยเข็มทิศ และ หลักไม้ผูกเชือก	20
รูปที่ 3.5	ขอบเขตและขนาดของพื้นที่เก็บข้อมูล	21
รูปที่ 3.6	การสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน	22
รูปที่ 3.7	การกำหนดพื้นที่ (Zone) เพื่อหาความหนาแน่นของต้นไม้	22
รูปที่ 3.8	การวัดค่าระดับพื้นดินบริเวณพื้นที่ศึกษา	23
รูปที่ 3.9	แนวเส้นทางการหาค่าระดับ	24
รูปที่ 4.1	แผนผังตำแหน่งต้นไม้ป่าชายเลนภายในบริเวณพื้นที่เก็บข้อมูล	27
รูปที่ 4.2	เส้นความสูงระดับพื้นดินตามแนวยาวของพื้นที่เก็บข้อมูล	29
รูปที่ 4.3	เส้นระดับความสูงของพื้นที่เก็บข้อมูล (Contour Line)	30
รูปที่ 4.4	การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนที่ได้จากคำนวณ R_{cal} (%) กับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นที่ได้จากสำรวจภาคสนาม R_{obs} (%)	41

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ป่าชายเลน คือ ป่าที่เจริญเติบโตตามแนวพื้นที่ชายฝั่งทะเลซึ่งเป็นขอบเขตระหว่างแผ่นดินกับทะเล ต้นไม้ป่าชายเลนสามารถดำรงอยู่ในพื้นที่มีน้ำทะเลท่วมถึง หรือพื้นที่ที่มีน้ำขึ้น-น้ำลง เมื่อน้ำขึ้น รากของต้นไม้ป่าชายเลนจะจมอยู่ใต้น้ำ และจะโผล่เหนือพื้นน้ำในช่วงน้ำลง นอกจากนี้ต้นไม้ป่าชายเลนดำรงอยู่ได้ภายใต้ความเค็มในน้ำที่เปลี่ยนแปลง ตั้งแต่น้ำจืด น้ำกร่อย จนไปถึงน้ำเค็ม พวกมันดำรงอยู่ได้ภายใต้การแปรผันของกระแสน้ำ ระดับน้ำ อุณหภูมิของน้ำ หรือแม้แต่ออกซิเจนในน้ำ จึงนับได้ว่าป่าชายเลนเป็นสังคมพืชที่สามารถดำรงอยู่ได้ท่ามกลางสภาพแวดล้อมที่แปรผันตลอดเวลา

งานศึกษาจำนวนมากสนับสนุนความสำคัญของป่าชายเลนในการเป็นแนวป้องกันชายฝั่งทะเลตามธรรมชาติ ด้วยความซับซ้อนและหนาแน่นของระบบรากและลำต้น คลื่นลมหรือคลื่นพายุต่างๆ ที่พัดผ่านเข้ามาในพื้นที่ป่าชายเลนจะถูกสลายพลังงานลงเนื่องจากแรงลากที่รากและลำต้น ในขณะที่กิ่ง ก้าน และใบไม้ของต้นไม้ป่าชายเลนเป็นแนวกำลังลมที่เป็นกำลังเสริมของคลื่นน้ำต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

ตลอดแนวชายฝั่งทะเลของประเทศที่มีระยะทางรวมประมาณ 3,148 กิโลเมตร มีแนวชายฝั่งทะเลที่มีลักษณะเป็นหาดเลนหรือป่าชายเลนจำนวนมากพอสมควร พื้นที่ป่าชายเลนของประเทศไทยหลายแห่ง เช่น แนวชายฝั่งทะเลของกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม สมุทรปราการ และฉะเชิงเทรา พื้นที่ป่าชายเลนลดลงเป็นจำนวนมากในช่วงสามสิบปีที่ผ่านมา ด้วยสาเหตุหลัก คือ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์พื้นที่ โดยบุกรุกทำลายพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อใช้เป็นพื้นที่นากุ้งหรือที่พักอาศัย เป็นต้น การลดจำนวนลงของพื้นที่ป่าชายเลนจำนวนมากนี้ส่งผลให้แนวกำบังคลื่นลมตามธรรมชาติหายไปหรือมีศักยภาพในการลดพลังงานคลื่นลดลง และเป็นผลทำให้เกิดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งรุนแรงในพื้นที่ดังกล่าว

ในการใช้ศักยภาพของป่าชายเลนในการป้องกันชายฝั่งทะเล รวมถึงการฟื้นฟูป่าชายเลนที่เสื่อมสลายไป สภาพอุทกพลศาสตร์ภายในพื้นที่ป่าชายเลน และผลกระทบของสภาพอุทกศาสตร์นี้ต่อการลดทอนคลื่นในป่าชายเลน เป็นสิ่งที่ต้องทำการศึกษาและเข้าใจอย่างถ่องแท้เสียก่อน การศึกษาที่ผ่านมาบ่งชี้ความสัมพันธ์เชิงคุณภาพอย่างชัดเจนระหว่างปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ (เช่น ลักษณะของคลื่นน้ำที่เข้า

กระทบ ความลึกน้ำในพื้นที่ เป็นต้น) กับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์เชิงปริมาณที่จะนำไปสู่การคาดคะเนศักยภาพของป่าชายเลนในฐานะของแนวป้องกันชายฝั่งทะเลทางธรรมชาติเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาด้วย

โครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาการลดทอนของคลื่นในพื้นที่ป่าชายเลนจริง โดยพื้นที่ศึกษาต้องเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นลมที่เข้ากระทบ การศึกษาจะศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการลดพลังงานคลื่นกับปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ต่างๆ เช่น ระดับความลึกน้ำ ความยาวและความสูงของคลื่นเข้ากระทบ ในเชิงปริมาณที่สามารถนำไปคาดคะแนศักยภาพของป่าชายเลนในการป้องกันชายฝั่งทะเลได้

1.2 วัตถุประสงค์

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

(1) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนคลื่นกับปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ เช่น ระดับความลึกของน้ำ ความชันของคลื่น (ความสูงของคลื่นต่อความยาวของคลื่น)

(2) เพื่อนำพัฒนาสมการการลดทอนคลื่นในป่าชายเลนที่คำนึงถึงปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะดำเนินการศึกษาการลดทอนของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านแนวป่าชายเลนในภาคสนาม โดยมีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

(1) การศึกษาจะดำเนินการในภาคสนามที่เป็นพื้นที่ป่าชายเลนจริง เช่น ป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี โดยพื้นที่ศึกษาต้องเป็นพื้นที่แนวขอบระหว่างป่าชายเลนและทะเล ได้รับผลกระทบจากความรุนแรงของคลื่นเข้ากระทบโดยตรง

(2) พันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ให้ความสนใจเป็นลำดับแรกในการศึกษา คือ พวกพันธุ์ไม้เบิกนำที่โตเร็ว อัตราการรอดตายสูง เหมาะใช้เป็นแนวหน้าในการกำบังคลื่น เช่น ต้นแสม (Avencenia) ส่วนพันธุ์ไม้อื่นๆ เช่น ลำพู (Sonneratia) หรือ โกงกาง (Rhizophora) จะให้ความสนใจในลำดับรองลงมา

(3) คลื่นที่ให้ความสนใจ คือ คลื่นลมตามฤดูกาล และจะเน้นทำการวัดการลดทอนของคลื่นในทิศทางการเคลื่อนของคลื่น ความสูงของคลื่นจะถูกวัดด้วยเครื่องวัดคลื่นแบบวัดความดันก่อนเข้าและหลังผ่านแนวป่าชายเลนที่ระยะทางต่างๆ กัน

1.4 ผลประโยชน์ที่จะได้รับ

ผลสำเร็จและผลประโยชน์ที่ได้รับและคาดว่าจะได้รับต่อไปสำหรับโครงการวิจัยนี้ คือ ความเข้าใจเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณเกี่ยวกับอิทธิพลของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์บริเวณชายฝั่งทะเลต่อการลดทอนคลื่นในป่าชายเลน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ป่าชายเลนเป็นป่าไม้ของต้นไม้ที่อยู่บริเวณแนวขอบเขตระหว่างแผ่นดินกับทะเล หรือบริเวณปากแม่น้ำที่มีลักษณะน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล ต้นไม้ป่าชายเลนมีลักษณะพิเศษที่สามารถอยู่ในสภาวะน้ำขึ้น-น้ำลงของน้ำทะเลหรือน้ำกร่อยได้ ปัจจุบันมีการศึกษาจำนวนมากได้ยืนยันถึงความสำคัญของป่าชายเลนในแง่มุมต่างๆ อย่างชัดเจน เช่น เป็นแหล่งอาหารและแหล่งที่อยู่ของพืชและสัตว์จำนวนมาก เป็นแหล่งประมงชายฝั่งที่สำคัญ เป็นต้น (Aksornkoae et al., 1999, Robertson & Alongi, 1992) นอกจากนี้ด้วยลักษณะพิเศษของระบบรากและลำต้นของต้นไม้ในป่าชายเลนที่มีจำนวนมาก มีความสลับซับซ้อนและยึดโยงกับพื้นโคลนอย่างเหนียวแน่น (รูปที่ 2.1) ทำให้ป่าชายเลนเป็นแนวลดพลังงานคลื่นลมและกระแสน้ำ (Christensen et al., 2008) สร้างเสถียรภาพของตะกอนชายฝั่ง และป้องกันชายฝั่งทะเลถูกกัดเซาะได้ด้วย (Mazda et al., 1997, Thampanya et al., 2006, Thampanya et al., 2002) โดยปกติเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าใกล้ชายฝั่ง คลื่นจะมีการลดทอน (Wave attenuation) เนื่องจากแรงต้านต่างๆ อยู่แล้ว และหากบริเวณชายฝั่งทะเลนั้นอุดมไปด้วยป่าชายเลน ระบบรากและลำต้นที่ซับซ้อนนี้ยิ่งทำให้คลื่นมีการสูญเสียพลังงานมากขึ้นอีก (Mazda et al., 2006)

รูปที่ 2.1 ป่าชายเลนบริเวณอำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี

ในบทนี้นำเสนอความรู้ความเข้าใจที่ได้จากการศึกษาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน เริ่มจากความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับป่าชายเลน โดยเฉพาะอย่างยิ่งป่าชายเลนในประเทศไทย เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกการลดทอนของคลื่นและการศึกษาการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน ตามด้วยผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่น

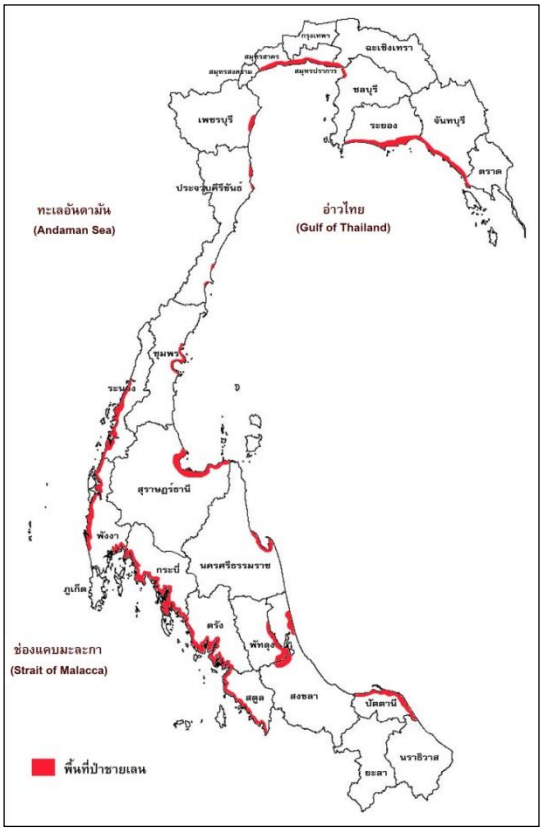
2.2 ลักษณะของป่าชายเลน

ป่าชายเลน (Mangroves) เป็นป่าไม้ไม่ผลัดใบ (Evergreen forest) ที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งเป็นแนวเขตระหว่างแผ่นดินกับทะเลในเขตโซนร้อน (Tropics) หรือเขตกึ่งโซนร้อน (Subtropics) สามารถทนอยู่ในสภาวะที่น้ำขึ้น-น้ำลงได้ เมื่อน้ำขึ้น รากและลำต้นบางส่วนของต้นไม้ป่าชายเลนจะจมอยู่ใต้น้ำ และโผล่พ้นน้ำเมื่อน้ำลง พันธุ์ไม้ในป่าชายเลนสามารถอยู่กับสภาพน้ำเค็มหรือน้ำกร่อยบนที่ราบผืนเลน (Tidal flat) ได้ ระบบนิเวศป่าชายเลนมีลักษณะพิเศษ คือ เป็นแหล่งที่อยู่ร่วมกันทั้งสัตว์บก สัตว์น้ำ และสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ ทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์และความสมดุลของระบบนิเวศเป็นอย่างดี

ในป่าชายเลนมีพันธุ์ไม้แท้จริงจำนวนไม่มาก เพียง 67 ชนิด จาก 16 วงศ์ (Field, 1995) ซึ่งเกือบทั้งหมดเป็นไม้ที่มีความสูงปานกลางและไม้พุ่ม ในประเทศไทยมีพันธุ์ไม้ป่าชายเลน 40 ชนิด จาก 14 วงศ์ และประมาณครึ่งหนึ่งของไม้ต้นและไม้พุ่มที่เป็นพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจากวงศ์ที่สำคัญเพียง 3 วงศ์เท่านั้น (Bunyavejchewin & Buasalee,2011) คือ วงศ์เหงือกปลาหมอ (Acanthaceae) 6 ชนิด ได้แก่ แสมขาว (Avicennia alba) แสมดำ (Avicennia officinalis) แสมขน (Avicennia lanata) แสมทะเล (Avicennia marina) เหงือกปลาหมอดอกขาว (Acanthus ebracteatus) และเหงือกปลาหมอดอกม่วง (Acanthus ilicifolius) วงศ์ไม้โกงกาง (Rhizophoraceae) 10 ชนิด ได้แก่ โกงกางใบเล็ก (Rhizophora apiculata) โกงกางใหญ่ (Rhizophora mucronata) พังกาหัวสุมดอกขาว (Bruguiera sexangula) พังกาหัวสุมดอกแดง (Bruguiera gymnorrhiza) พังกาหัวสุมดอกช่อ (Bruguiera hainesii) ถั่วขาว (Bruguiera cylindrical) ถั่วดำ (Bruguiera parviflora) โปรงขาว (Ceriops decandra) โปรงแดง (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 (Bunyavejchewin & Buasalee,2011) กระจายตามชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคใต้ ดังรูปที่ 2.2 และตารางที่ 2.1

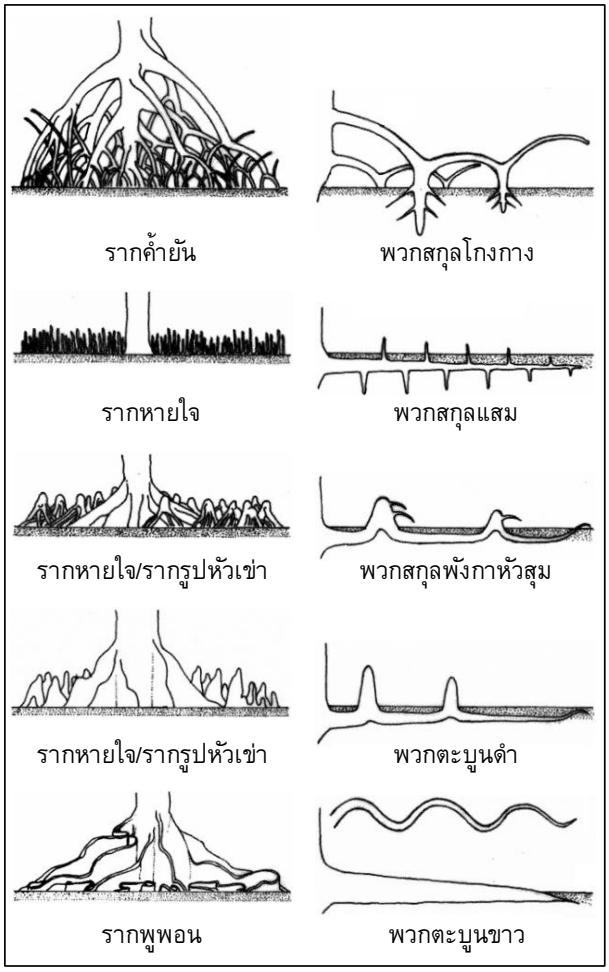
ระบบรากเป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน รากจะมีรูปร่างประหลาด บางส่วนโผล่พ้นผืนดินขึ้นมา มีการพัฒนากลไกให้สามารถดูดธาตุอาหาร น้ำ หายใจ ยึดและค้ำยันในดินเลนได้เป็นอย่างดี ระบบรากสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม (รูปที่ 2.3) คือ [1] กลุ่มรากค้ำยัน (Prop roots) เช่น พวกสกุลโกงกาง [2] กลุ่มรากหายใจ (Pneumatorphore) เช่น พวกสกุลแสม และจะมีกลุ่มรากรูปหัวเข่าเป็นกลุ่มย่อย เช่น พวกสกุลพังกาหัวสุม และพวกตะบูนดำ (Xylocarpus moluccensis) [3] กลุ่มรากพูพอน (Buttress roots) เช่น พวกตะบูนขาว (Xylocarpus granatum) ระบบรากที่ซับซ้อน ยึดแน่น ค้ำยัน และโผล่พ้นผืนดินของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนเช่นนี้ เป็นกลไกสำคัญประการหนึ่งในกระบวนการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลนซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 2.2 พื้นที่ป่าชายเลนตามจังหวัดชายฝั่งทะเลในประเทศไทย (Aksornkoae et al., 2002)

ตารางที่ 2.1 พื้นที่ป่าชายเลนของประเทศไทยแบ่งตามภาค (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง)

ภาค	พ.ศ. 2518 (ไร่)	พ.ศ. 2529 (ไร่)	พ.ศ. 2539 (ไร่)	พ.ศ. 2547 (ไร่)
กลาง	228,125	195,200	34,057	49,976
ตะวันออก	306,250	174,879	79,113	152,274
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 2.3 ระบบรากของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน

[ดัดแปลงจาก (Bunyavejchewin & Buasalee,2011, Tomlinson, 1986)]

2.3 การลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน

โดยปกติเมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าใกล้ชายฝั่ง คลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Wave transformation) อยู่แล้ว ปรากฏการณ์หลักที่เกิดขึ้น คือ การเข้าสู่น้ำตื้นของคลื่น (Wave shoaling) ซึ่งทำให้ความสูงของคลื่นเพิ่มขึ้น จนถึงจุดจำกัด คลื่นจะแตกตัว (Wave breaking) และคลายพลังงานออกมา (Dean.& Dalrymple,1991, Kamphuis, 2000) แต่อย่างไรก็ตาม ในบทความนี้จะเน้นเฉพาะการลดทอนของคลื่นหรือการที่พลังงานของคลื่นถูกสลายไป เมื่อคลื่นเคลื่อนผ่านป่าชายเลน โดยสมมติว่าตลอดแนวป่าชายเลนค่าความลึกของน้ำ ซึ่งเป็นค่าระดับตั้งแต่พื้นถึงระดับน้ำนิ่ง (SWL: Still water level) คงที่ และไม่พิจารณาผลกระทบเนื่องจากกระแสน้ำ

กลไกการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก (ดูรูปที่ 2.4 ประกอบ) ได้แก่

(1) พลังงานคลื่นถูกสลายด้วยแรงต้านเนื่องจากลำต้นและราก

อนุภาคน้ำ (Water particles) ของคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่อยู่มีการเคลื่อนที่แบบวงโคจร (Orbital motion) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าไปในป่าชายเลนที่มีชั้นน้ำ (Water body) อยู่ในช่วงระดับลำต้นและราก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รากที่มีลักษณะเป็นรากค้ำยัน (รูปที่ 2.3) อนุภาคของน้ำจะเคลื่อนที่กระทบกับลำต้นและราก ทำให้เกิดเป็นแรงต้านหรือแรงลากต้านการเคลื่อนที่แบบวงโคจรดังกล่าว ทำให้พลังงานของคลื่นค่อยๆ สลายไป

(2) พลังงานคลื่นถูกสลายด้วยแรงเสียดทานที่พื้น

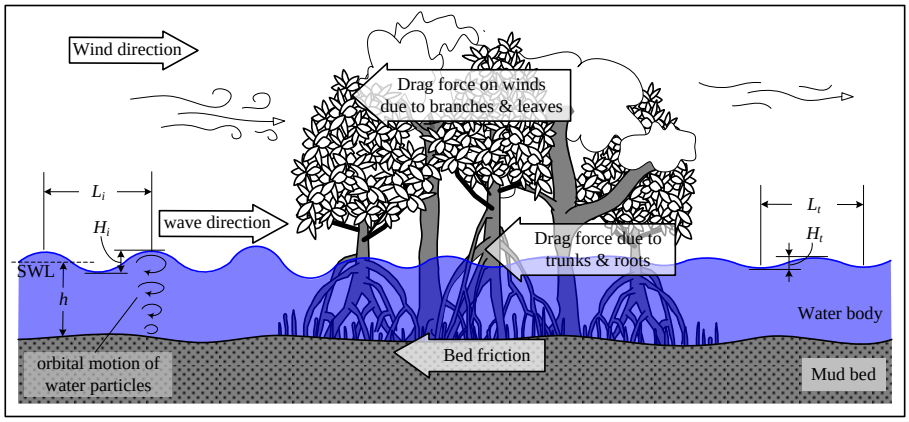
พื้นดินบริเวณป่าชายเลนมีลักษณะเป็นพื้นดินเลนหรือพื้นดินโคลน (Mud bed) เป็นแนวที่รากของต้นไม้ป่าชายเลนแบบต่างๆ เช่น รากค้ำยัน และรากพูพอน ยึดกับแผ่นดิน และยังเป็นแนวที่รากหายใจโผล่ขึ้นมากจากพื้นสู่ชั้นน้ำด้วย (รูปที่ 2.3) ด้วยระบบรากที่ซับซ้อนและมีจำนวนมากทั่วทั้งพื้นที่ป่าชายเลนเช่นนี้ ทำให้บริเวณพื้นของป่าชายเลนมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction coefficient) สูงกว่าพื้นดินเลนเปล่าที่ไม่มีต้นไม้ป่าชายเลน (Quartel et al., 2007) แรงเสียดทานที่เกิดบริเวณพื้นจะมีปริมาณมากและเป็นปัจจัยที่ทำให้พลังงานคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านป่าชายเลนสลายตัวลง

นอกจากลักษณะพิเศษของระบบรากของต้นไม้ป่าชายเลนแล้ว ลักษณะพื้นดินโคลนยังสลายพลังงานคลื่นได้เป็นอย่างดี เนื่องจากลักษณะที่เป็นชั้นโคลนของไหล (Fluid mud layer) จะมีความสามารถในการหน่วงการเคลื่อนที่ของคลื่นและทำให้พลังงานคลื่นสลายตัวไป (Winterwerp & Van,2004, Winterwerp et al., 2007, Holland et al., 2009)

(3) แรงลมเสริมถูกกีดขวางด้วยกิ่งก้านและใบ

โดยปกติเมื่อลมพัดผิวน้ำด้วยระยะทางและระยะเวลาที่เพียงพอแล้ว คลื่นจะถูกสร้างขึ้นโดยสมบูรณ์และเคลื่อนที่ออกจากบริเวณลมพัดไปด้วยรูปร่างนั้น (U.S. Army Corps of Engineers, 2002) แต่ในบางกรณีอาจจะมีลมพัดเสริมทำให้คลื่นที่ถูกสร้างขึ้นโดยสมบูรณ์แล้วมีการพัฒนาตัวและความสูงคลื่นเพิ่มขึ้นอีกได้ อย่างไรก็ตามในบริเวณพื้นที่ป่าชายเลน ต้นไม้ป่าชายเลนที่มีกิ่งก้านและใบจำนวนมากจะทำหน้าที่เป็นเกราะกำบังลม ไม่ว่าจะเป็นลมที่กำลังสร้างคลื่นใหม่หรือลมที่กำลังพัดเสริมก็ตาม โดยป้องกันไม่ให้แรงลมถ่ายทอดพลังงานไปยังผิวน้ำหรือคลื่นที่กำลังคลื่นที่อยู่ได้ กลไกนี้ไม่ใช่กลไกการลดทอนของคลื่นโดยตรง แต่เป็นกลไกที่สำคัญที่ทำให้คลื่นในบริเวณป่าชายเลนมีความสูงหรือมีพลังงานน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นบริเวณรอบนอกป่าชายเลน

ด้วยทั้งสามกลไกหลักนี้ พลังงานคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าสู่ป่าชายเลนจะถูกลดทอนลงไป ทำให้ความสูงคลื่นก่อนเข้าสู่ป่าชายเลน H_i ลดลงเหลือเท่ากับความสูงคลื่นหลังออกจากป่าชายเลน H_t เท่านั้น ความสูงคลื่นหรือพลังงานที่ลดลงนี้มีความสำคัญต่อกระบวนทางกายภาพของพื้นที่ชายฝั่งบริเวณนั้นเป็นอย่างมาก เช่น การลดการเคลื่อนที่ของตะกอน การส่งเสริมให้เกิดการตกตะกอนมากขึ้น (Furukawa & Wolanski,1996) และการลดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล (Winterwerp et al., 2005) เป็นต้น



รูปที่ 2.4 แผนภาพกลไกการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน

2.4 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน

การศึกษาการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลนยังมีไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบการศึกษาในชายหาดทั่วไปซึ่งมีมายาวนานกว่าสามสิบปี (Battjes & Janssen, 1992) แม้กระทั่งเปรียบเทียบกับการศึกษาการลดทอนของคลื่นบนแนวหินโสโครก บนชายฝั่งโคลนโล่งไร้ต้นไม้ บนพื้นหญ้าทะเล หรือในพรุน้ำเค็ม อย่างไรก็ตามความสนใจในการศึกษาการลดทอนของคลื่นเนื่องจากต้นไม้ชายฝั่ง (Coastal vegetation) เช่น ป่าชายเลน มีเพิ่มขึ้นมากในช่วงทศวรรษ ค.ศ. 1990 เป็นต้นมา ในส่วนนี้จะนำเสนอการทบทวนการศึกษาเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

การศึกษาการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน รวมถึงการศึกษาศักยภาพของต้นไม้ป่าชายเลนในการทำหน้าที่เป็นเกาะกำบังคลื่นต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น คลื่นลม (Wind waves) คลื่นพายุซัดฝั่ง (Storm surges) หรือคลื่นสึนามิ (Tsunamis) มีแนวทางและระเบียบวิธีวิจัยที่หลากหลายแตกต่างกันพอสมควร แต่พอจัดแบ่งได้เป็นสามกลุ่ม ดังนี้

2.4.1 การศึกษาภาคสนาม

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

(1) การทดลองในภาคสนามเป็นการศึกษาตามสภาพจริง โดยส่วนใหญ่จะติดตั้งเครื่องมือวัดคลื่นเพื่อวัดคลื่นที่กำลังจะเคลื่อนที่เข้าสู่แนวต้นไม้ชายฝั่งทะเลหรือป่าชายเลน และคลื่นหลังจากที่ผ่านออกมาจากแนวต้นไม้ฯ เหล่านั้น (อาจจะมีเครื่องวัดคลื่นในแนวต้นไม้ฯ ด้วย) จากนั้นจึงวิเคราะห์พฤติกรรมของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านแนวต้นไม้ฯ และ/หรือวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การลดคลื่น (Wave reduction coefficient) (ดูเพิ่มเติมหัวข้อที่ 2.4) (Mazda et al., 1997, Mazda et al., 2006, Quartel & Kroon,2007,. Brickman et al., 1997, Möller et al., 1999, de Vos, 2004, Möller & Spencer, 2002, Möller, 1997, Feagin et al., 2011, Möller & Holmedal, 2011) คลื่นในการทดลองภาคสนามนี้เกือบทั้งหมดจะมีลักษณะเป็นคลื่นลมเท่านั้น เนื่องจากการวัดคลื่นพายุซัดฝั่งหรือคลื่นสึนามิทำได้ยากเกินไป ส่วนพันธุ์หรือชนิดของต้นไม้ก็จะขึ้นอยู่กับพื้นที่จริง ส่วนมากจะมีต้นไม้หลายพันธุ์ผสมกัน โดยบาง

พื้นที่จะมีพันธุ์เด่นที่มีจำนวนมากที่สุด เช่น โกงกาง (Brickman et al., 1997), ลำพู (Mazda et al., 2006, Quartel et al., 2007), แสม (Quartel et al., 2007), รังกะแท้ (Quartel et al., 2007) และแฝก (Möller & Holmedal,2011) เป็นต้น

ข้อดีของการทดลองในภาคสนาม คือ การได้เห็นพฤติกรรมของคลื่นที่ถูกสลายพลังงานในพื้นที่และภายใต้สภาพแวดล้อมจริง ส่วนข้อเสีย คือ การไม่สามารถกำหนดตัวแปรต้น เช่น ความหนาแน่นของต้นไม้ ลักษณะของคลื่น ได้ ทำให้ข้อมูลหรือผลการศึกษาที่ได้จะเชื่อถือได้เฉพาะในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น การนำผลการศึกษาไปใช้ยังพื้นที่อื่นต้องกระทำอย่างระมัดระวัง

(2) การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิหรือข้อมูลแวดล้อมในภาคสนามเพื่อมาวิเคราะห์ประเมินหาศักยภาพในการลดพลังงานคลื่นของต้นไม้ป่าชายเลน ข้อมูลที่ถูกรวบรวมอาจจะเป็นข้อมูลจริงในพื้นที่ เช่น ข้อมูลความเสียหายหลังจากเกิดคลื่นพายุซัดฝั่งหรือคลื่นสึนามิ (Kathiresan & Rajendran,2005) เป็นต้น หรือเป็นข้อมูลที่มีลักษณะเป็นข้อมูลการสำรวจระยะไกล (Remote sensing) เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (Yanagisawa et al., 2009, Dharanirajan et al., 2007) เป็นต้น โดยวิธีการวิเคราะห์มีทั้งวิธีทางสถิติเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่สนใจ (Feagin et al., 2011, Kathiresan & Rajendran, 2005, Vermaat & Thampanya, 2006) และวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) ในการหาคำตอบสมการทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายกระบวนทางกายภาพของการสลายพลังงานของคลื่น (Yanagisawa et al., 2009) (รายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อ 2.3.3) วิธีการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิหรือข้อมูลแวดล้อมเช่นนี้นิยมใช้กับกรณีของคลื่นที่มีความรุนแรงอย่างคลื่นพายุซัดฝั่งหรือสึนามิซึ่งยากที่จะเก็บข้อมูลขณะเวลาจริง

2.4.2 การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาหัวข้อนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยสร้างคลื่นในรางจำลองคลื่น (Wave flume) หรืออ่างจำลองคลื่น (Wave basin) ให้คลื่นเคลื่อนที่ผ่านแบบจำลองต้นไม้ชายฝั่งทะเล ซึ่งแบบจำลองต้นไม้ชายฝั่งอาจจะเป็นต้นไม้จริงที่นำมาจากพื้นที่จริง (Dubi et al., 1994, Løvås et al., 2000, Tuyen et al., 2009) หรือเป็นแบบจำลองที่ทำจากวัสดุอื่น เช่น แท่งเหล็กยึดติดกับพื้น เป็นต้น (Fernando et al., 2008, Augustin et al., 2009,. Noarayanan et al., 2011)

ข้อจำกัดประการหนึ่งของการศึกษาในห้องปฏิบัติการ คือ มาตราส่วน เนื่องจากแบบจำลองในห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องถูกย่อส่วนให้มีขนาดเล็กลงทำให้อาจจะมีความคลาดเคลื่อนในกระบวนการที่เกิดขึ้นกับขนาดจริงได้ สำหรับข้อดีของการศึกษาแบบนี้ คือ ผู้ศึกษาสามารถกำหนดหรือจำลองลักษณะหรือ

พารามิเตอร์ต่างๆ ได้ตามความต้องการ เช่น ลักษณะคลื่น รูปลักษณะของต้นไม้ ความหนาแน่นของต้นไม้ เป็นต้น ในเรื่องของลักษณะของคลื่นก็สามารถจำลองได้หลายรูปแบบ ทั้งคลื่นลม (Dubi & Tørum,1994, Løvås & Tørum, 2000) คลื่นพายุซัดฝั่ง (Tuyen & Hung., 2009) หรือ สึนามิ (Fernando et al., 2008) แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในห้องปฏิบัติการยังมีจำนวนไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบการศึกษาอีกสองแบบ

2.4.3 การศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษาการสลายพลังงานของคลื่นเนื่องจากต้นไม้ชายฝั่งทะเลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เริ่มมากว่าสามสิบปีแล้ว (Dalyrmple et al., 1984, Kobayashi et al., 1993) การศึกษาหัวข้อนี้จะมีสองลักษณะ คือ (1) การศึกษาเฉพาะกระบวนการเปลี่ยนแปลงของคลื่น และ (2) การศึกษาอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamics) ของมวลน้ำทั้งหมด โดยการศึกษาทั้งสองลักษณะจะมีสมการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ได้แก่ สมการต่อเนื่อง หรือ สมการอนุรักษ์มวล (Continuity equation or mass conservation equation) สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum conservation equation) และสมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy conservation equation) (ดูเพิ่มเติม เช่น (Svendsen, 2006))

ในการศึกษาที่สนใจเฉพาะกระบวนการเปลี่ยนแปลงของคลื่น (Dalyrmple et al., 1984, Kobayashi et al., 1993, Mendez & Losada,2004) มักจะมีหลักการว่า พลังงานของคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านต้นไม้จะถูกสลายลงเรื่อยๆ ด้วยอัตราการสลายพลังงานเนื่องจากแรงต้านของต้นไม้โดยมีรูปแบบทั่วไปของสมการอนุรักษ์พลังงาน คือ

$$\frac{\partial EC_g}{\partial x} = -\varepsilon \qquad (2.1)$$

เมื่อ E คือ พลังงานคลื่น, C_R คือ ความเร็วกลุ่มคลื่น และ ε คือ อัตราการสลายพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งเกิดจากแรงต้านของต้นไม้ ซึ่งมีการจำลองพารามิเตอร์ ε ต่างกันไป (Suzuki et al., 2011)

สำหรับการศึกษาที่สนใจกระบวนการอุทก-พลศาสตร์ของมวลน้ำทั้งหมด จะพิจารณาทั้งในส่วนของคลื่นและการไหลของน้ำด้วย (Massel et al., 1999, Hadi et al., 2003, Liu et al., 2003, Vo-Luong & Massel,2008, The SY et al., 2009) ในส่วนนี้สมการต่อเนื่องและสมการอนุรักษ์โมเมนตัมจะถูกหาผลเฉลยร่วมกัน โดยมีการจำลองแรงต้านเนื่องจากต้นไม้ในรูปของสัมประสิทธิ์การลาก (Drag

coefficient) ในรูปแบบต่างๆ (Myrhaung et al., 2011) นอกจากการศึกษาอุทก-พลศาสตร์พื้นที่ชายฝั่งทะเลแล้ว ยังมีการจำลองภาวะน้ำท่วมเนื่องจากคลื่นยาวอย่างสึนามิและผลการลดคลื่นเนื่องจากป่าชายเลนอีกด้วย (เช่น (Yanagisawa et al., 2009, Hirashi et al., 2003)

การศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งสองลักษณะมีการหาผลเฉลยด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ (Analytical method) (Hadi et al., 2003, The SY et al., 2009) และวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) (Suzuki et al., 2011, Massel et al., 1999, Vo-Luong & Massel., 2008) การศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นวิธีประหยัดเวลา งบประมาณ และสามารถจำลองสถานการณ์ได้หลากหลายรูปแบบ จึงเป็นที่นิยมมาก แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็จำเป็นต้องมีข้อมูลจากภาคสนามหรือการทดลองในห้องปฏิบัติการประกอบการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งเป็นเรื่องที่ขาดไม่ได้

2.5 ศักยภาพการลดทอนคลื่นของป่าชายเลน

จากผลการศึกษาส่วนใหญ่ได้ข้อสรุปที่คล้ายคลึงกันว่า ป่าชายเลนหรือต้นไม้ชายฝั่งทะเลมีศักยภาพในการช่วยสลายพลังงานคลื่นที่กำเนิดขึ้นโดยลมธรรมดาหรือมรสุม (Mazda et al., 1997, Thampanya et al., 2006, Mazda et al., 2006, Quartel et al., 2007, Shuto, 1987) แต่ในส่วนของคลื่นยาวและมีพลังงานมากอย่างสึนามิ มีผู้ให้ความเห็นว่าป่าชายเลนมีศักยภาพในการลดพลังงานของคลื่นสึนามิ (Kathiresan & Rajendran,2005, Yanagisawa et al., 2009, Vermaat & Thampanya., 2006) แต่นักวิจัยบางส่วนได้วิพากวิจารณ์โต้แย้งหรือยังมีข้อสงสัย (Dharanirajan et al., 2007, Shuto,1987, Kerr et al., 2006, Cochard et al., 2008) โดยมีเหตุผลหลักอธิบายว่า คลื่นสึนามิมีพลังงานมากเกินกว่าต้นไม้ป่าชายเลนจะต้านทานหรือลดพลังงานของสึนามิลงได้อย่างมีนัยยะสำคัญ ในทางตรงกันข้าม เมื่อต้นไม้เหล่านี้โค่นลงเนื่องจากแรงปะทะของคลื่น ก็จะกลายเป็นซากปรักหักพังที่ถูกพัดไหลไปกับมวลน้ำและทวีความรุนแรงในการปะทะ ยังผลให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินมากยิ่งขึ้น ถึงแม้ว่าแต่ละฝ่ายจะแสดงเหตุผลที่แตกต่างกัน แต่ป่าชายเลนคงไม่มีศักยภาพในการลดพลังงานจากคลื่นสึนามิโดยตรง แต่ป่าชายเลนยังคงเป็นระบบนิเวศชายฝั่งที่สำคัญมากและต้องอนุรักษ์ ฟื้นฟู และดูแลให้เป็นแนวกำบังคลื่นลม ป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งต่อไป

ศักยภาพในการลดพลังงานคลื่นของป่าชายเลนขึ้นกับปัจจัยหลายประการด้วยกัน เช่น ความหนาแน่นของต้นไม้ ขนาดลำต้นและราก ความกว้างของแนวป่าชายเลน ระดับน้ำในป่าชายเลนขณะนั้น

และลักษณะของคลื่นที่เข้าปะทะ เป็นต้น การนำเสนอผลการลดคลื่นเนื่องจากป่าชายเลนมักจะแสดงเป็น (1) สัมประสิทธิ์การลดคลื่น (Wave reduction coefficient) คือ ร้อยละของความสูงคลื่นที่ลดลงเมื่อคลื่นผ่านป่าชายเลนเทียบกับความสูงคลื่นก่อนเคลื่อนที่เข้าป่าชายเลน ดังสมการที่ 2.2 และ (2) อัตราส่วนการลดคลื่น (Wave reduction ratio) คือ อัตราส่วนของความสูงคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านป่าชายเลนต่อความสูงคลื่นก่อนเคลื่อนที่เข้าป่าชายเลน ดังสมการที่ 2.3

สัมประสิทธิ์การลดคลื่น (R):

$$R(\%) = \frac{H_i - H_t}{H_i} \times 100 \tag{2.2}$$

อัตราส่วนการลดคลื่น (R'):

$$R' = \frac{H_t}{H_i} \tag{2.3}$$

ตารางที่ 2.2 นำเสนอตัวอย่างของผลการลดคลื่นในรูปของสัมประสิทธิ์การลดคลื่นที่มีการนำเสนอในการศึกษาที่ผ่านมา จากข้อมูลจะเห็นได้ชัดเจนว่า สัมประสิทธิ์การลดคลื่นมีช่วงที่กว้างมาก ตั้งแต่ 20% ถึง 90% แสดงว่า ผลการลดคลื่นที่ได้จากการศึกษาในแง่มุมต่างกันขึ้นกับเงื่อนไขของการศึกษานั้นๆ เป็นอย่างมาก การนำข้อมูลไปอ้างอิงจึงควรจะตรวจสอบเงื่อนไขของการศึกษานั้นอย่างละเอียดรอบคอบ

2.6 บทสรุป

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่สำคัญมาก เนื่องจากทำหน้าที่หลายประการ เช่น เป็นแหล่งที่อยู่และแหล่งอาหารของสิ่งมีชีวิตจำนวนมาก นอกจากนี้บทบาทที่สำคัญอีกประการหนึ่งของป่าชายเลน คือ ทำหน้าที่เป็นเกาะกำบังคลื่น ลม และกระแสน้ำบริเวณแนวชายฝั่งทะเล ช่วยสนับสนุนการตกตะกอนและลดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่ป่าชายเลนจะมีกลไกที่ทำให้เกิดแรงต้านการ

เคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ ทำให้พลังงานคลื่นค่อยๆ สลายตัวลง เป็นผลให้ความสูงของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านป่าชายเลนไปแล้วลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญ

การศึกษาการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลนเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ทำให้เข้าใจกระบวนการทางกายภาพและสามารถประมาณศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่น ซึ่งส่งผลให้การประยุกต์ใช้ป่าชายเลนเป็นเกาะกำบังชายฝั่งทะเลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาทั้งในภาคสนาม ในห้องปฏิบัติการและการศึกษาด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ต่างก็เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต้องการข้อมูลในการกำหนดหรือจำลองพารามิเตอร์จำนวนมาก ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะได้จากการทดลองในภาคสนามและ/หรือในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้แล้วข้อมูลจากภาคสนามและห้องปฏิบัติการถูกใช้ในการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองด้วย

ความเข้าใจและความสามารถในประเมินศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่นเป็นสิ่งสำคัญในการสนับสนุนให้มีการอนุรักษ์หรือการฟื้นฟูป่าชายเลนเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นแนวป้องกันชายฝั่งทะเลอย่างยั่งยืนต่อไป

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การลดคลื่น R (เรียงลำดับตามค่า R)

ที่มา	วิธีการศึกษา[1]	ชนิดคลื่นที่ศึกษา	เงื่อนไขในการศึกษา[2]	R (%)
Mazda et al., 1997	F	คลื่นพายุ	W = 100 m, T = 5 – 8 s, พวกรังกะแท้	20
The et al., 2009	M	สึนามิ	W = 500 m, H = 1 m, L = 10 km, พวกแสม	45
Mazda et al., 2006	F	คลื่นลม	W = 100 m, พวกลำพู	50
Hirashi & Harada, 2003	M	สึนามิ	W = 100 m , ต้นไม้จำลอง	50
Yanagisawa et al., 2009	M	สึนามิ	W = 400, 1000 m, H = 3 m, T = 30 min, พวกโกงกาง	45 - 57
Tuyen & Hung, 2009	E	คลื่นพายุ	W = 3, 6 m, H = 5 – 17.5 cm, พวกลำพู	70 - 80 (กรณีป่าหนาแน่น) 35 - 55 (กรณีป่าไม่หนาแน่น)
Hadi et al., 2004	M	คลื่นลม	W = 50 m, H = 0.6 m, พวกโกงกางและโปรง	70 - 90

หมายเหตุ

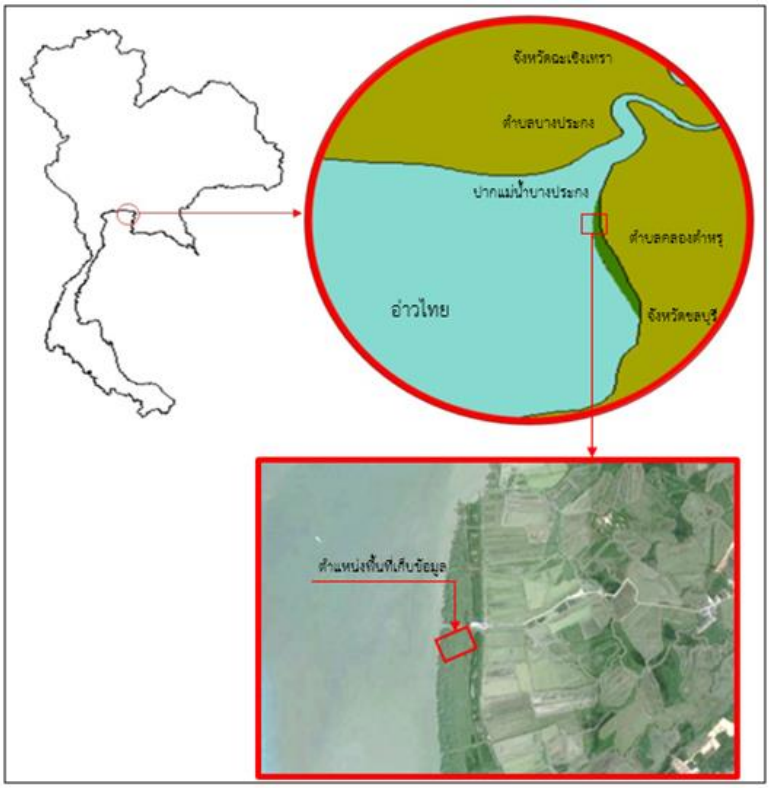
1. F = การศึกษาภาคสนาม, M = การศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์, E = การศึกษาในห้องปฏิบัติการ
2. W = ความกว้างของป่าชายเลน, H = ความสูงคลื่น, L = ความยาวคลื่น, T = คาบคลื่น

บทที่ 3

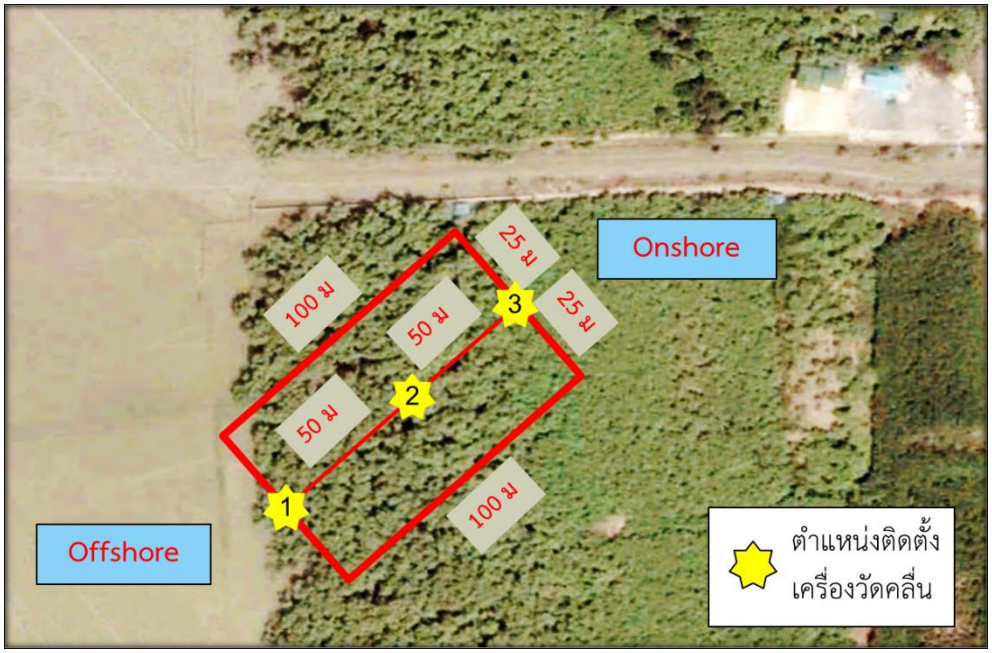
วิธีการศึกษา

3.1 พื้นที่ทดลองภาคสนามและช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล

โครงการศึกษานี้ได้เลือกป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงเป็นพื้นที่ศึกษา จังหวัดชลบุรี ได้มีการกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา คือ บริเวณป่าชายเลน ใกล้ปากแม่น้ำบางประกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ดังรูปที่ 3.1 (ก) และ ทำการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลรายละเอียดของพื้นที่ป่าชายเลน โดยมีพื้นที่เก็บข้อมูลขนาดกว้าง 50 เมตร และยาว 100 เมตร ในทิศทางจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทิศตะวันออกเฉียงเหนือ รวมพื้นที่เก็บข้อมูลทั้งหมด 5000 ตารางเมตร ดังรูปที่ 3.1 (ข) เพื่อวัดคลื่นที่มาจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



รูปที่ 3.1 (ก) พื้นที่ศึกษา ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดชลบุรี



รูปที่ 3.1 (ข) พื้นที่เก็บข้อมูล

การศึกษาได้ทำการเก็บข้อมูลคลื่นน้ำทะเลด้วยการติดตั้งเครื่องวัดคลื่นแบบวัดความดัน ดังรูปที่ 3.2 โดยเลือกช่วงเวลาทำงานติดตั้งอุปกรณ์การเก็บข้อมูลคลื่นได้สรุปช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลคลื่นดังตารางที่ 3.1

(ก)

(ข)

รูปที่ 3.2 การติดตั้งเครื่องวัดคลื่น (ก) ตำแหน่งนอกฝั่ง (Offshore) และ (ข) ตำแหน่งในฝั่ง (Onshore)

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของช่วงเวลาติดตั้งและเก็บกู้เครื่องวัดคลื่น

ครั้งที่	เวลาติดตั้งเครื่องวัดคลื่น		เวลาเก็บกู้เครื่องวัดคลื่น	
	วัน/เดือน/ปี	เวลา	วัน/เดือน/ปี	เวลา
1	8 ก.ค. 2559	10:00	10 ก.ค. 2559	14:00
2	22 ก.ค. 2559	09:00	24 ก.ค. 2559	12:00
3	7 ส.ค. 2559	11:00	9 ส.ค. 2559	12:00

การเก็บข้อมูลป่าชายเลนสามารถเลือกทำช่วงเวลาใดก็ได้ ที่พื้นที่ศึกษา สามารถทำงานได้โดยเลือกช่วงเวลาทำงานจากตารางน้ำขึ้นน้ำลงแล้ว ได้สรุปไว้ใน ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของช่วงเวลาเก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน

ครั้งที่	รายการเก็บข้อมูล	วัน/เดือน/ปี
1	ความหนาแน่นของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา	28 ม.ค. 2558
2	ความหนาแน่นของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา	4 ก.พ. 2558
3	ความหนาแน่นของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา	11 ก.พ. 2558
4	ค่าระดับดินในพื้นที่ศึกษา	21 เม.ย. 2558

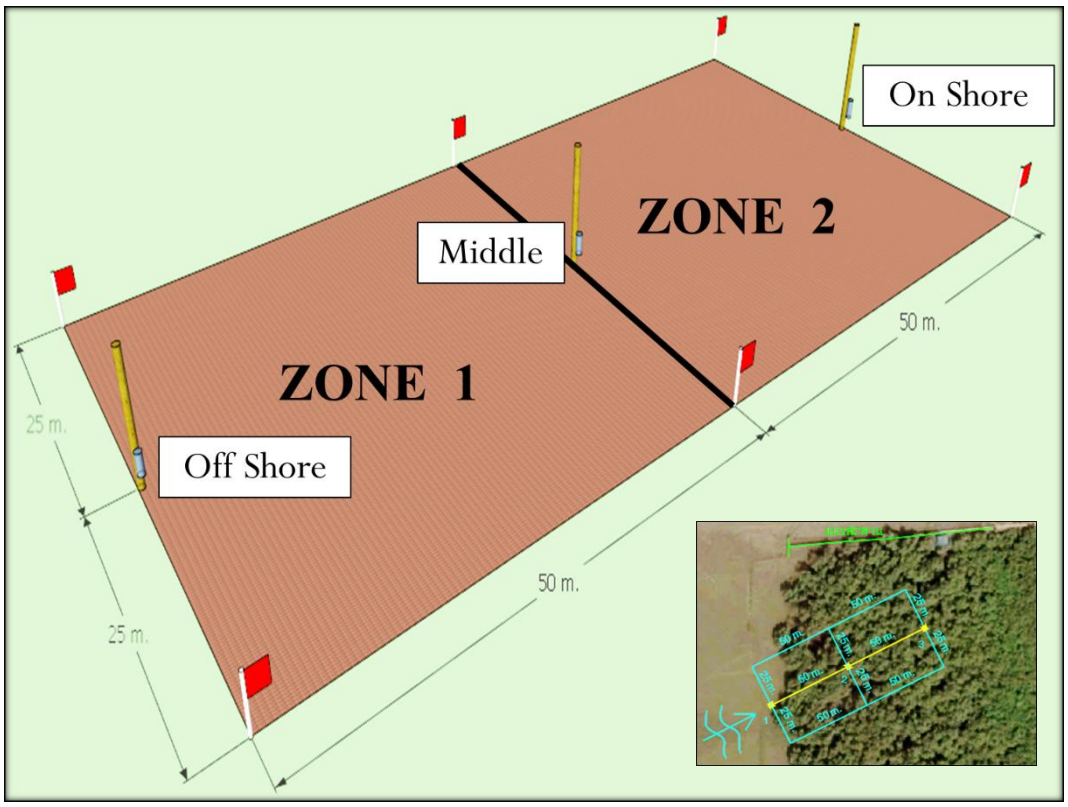
3.2 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

(1) ทำการกำหนดพื้นที่เก็บข้อมูล โดยวัดระยะทางให้ตั้งฉากกับแนวติดตั้งเครื่องวัดคลื่นด้วยเข็มทิศ ดังรูปที่ 3.3 โดยให้มีระยะทาง 25 เมตร จากแนวติดตั้งเครื่องวัดคลื่น ทั้งด้านซ้าย และด้านขวา จะได้พื้นที่ศึกษา กว้าง 50 เมตร แล้วปักหลักไม้ให้เห็นชัดเจนดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.3 การวางแนวพื้นที่เก็บข้อมูลด้วยเข็มทิศ และ หลักไม้ผูกเชือก

รูปที่ 3.4 การกำหนดพื้นที่เก็บข้อมูลด้วยเข็มทิศ และ หลักไม้ผูกเชือก

การหาขอบเขตพื้นที่เก็บข้อมูล สามารถสรุปภาพ การกำหนดขอบเขตพื้นที่การเก็บข้อมูลดัง รูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขอบเขตและขนาดของพื้นที่เก็บข้อมูล

*หมายเหตุ รายละเอียด สัญลักษณ์ของ รูปที่ 3.5

ลูกศรสีฟ้า หมายถึง ทิศทางของคลื่นทะเล ที่คาดว่าจะพัดเข้าหาพื้นที่เก็บข้อมูล

เส้นกรอบสีฟ้า หมายถึง ขอบเขตพื้นที่เก็บข้อมูล กว้างรวม 50 เมตร ยาวรวม 100 เมตร

เส้นสีเหลือง หมายถึง แนวการติดตั้งเครื่องวัดคลื่น

(2) ทำการเดินสำรวจโดยการติดป้ายบอกเลข วัดเส้นรอบวงของลำต้นด้วยสายวัดเอว และกดเครื่อง GPS หาพิกัดของต้นไม้ ดังรูปที่ 3.6 และ จดบันทึกข้อมูล

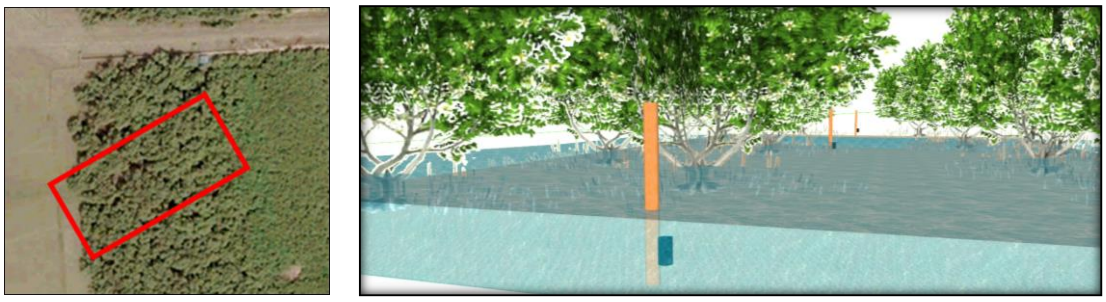
รูปที่ 3.6 การสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน

(3) นำข้อมูลที่บันทึกมาวาดแผนที่

(4) หาความหนาแน่นของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา มีหน่วย คือ ต้นต่อตารางเมตร

การเลือกเก็บข้อมูล จะทำการเลือกเฉพาะต้นไม้ที่มีลักษณะลำต้นใหญ่กว่าขนาดกำมือโดยประมาณ ถ้าลำต้นมีขนาดเล็กว่าเงื่อนไขดังกล่าว จะไม่นำข้อมูลมาบันทึก

การหาความหนาแน่นของต้นไม้ เป็นการนับจำนวนต้นไม้ใน พื้นที่ (Zone) ที่ได้กำหนดไว้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การกำหนดพื้นที่ (Zone) เพื่อหาความหนาแน่นของต้นไม้

วิธีเก็บข้อมูล ค่าระดับดิน ในพื้นที่ศึกษา

เนื่องจากในพื้นที่ป่าชายเลนมีลักษณะพื้นดินเป็นดินเลน ไม่สามารถใช้วิธีการวัดค่าระดับตามหลักวิชาสำรวจได้ จึงต้องประยุกต์ใช้วิธีหาค่าระดับดังนี้

(1) กำหนดแนวเส้นทางการวัดค่าระดับ ให้ขนานใกล้เคียง กับ แนวการติดตั้งเครื่องวัดคลื่น

(2) ตั้งไม้ระดับเบอร์ 1 ตำแหน่งที่จุดเริ่มต้น และตั้งไม้ระดับเบอร์ 2 ที่ตำแหน่งถัดไปตามแนวเส้นทางจากข้อ (1) ด้วยระยะทาง 3 เมตร ตามรูปที่ 3.8 แล้วอ่านค่าระดับน้ำที่ไม้ระดับเบอร์ 1 แล้วจดบันทึกเป็นค่า B.S จากนั้นอ่านค่าระดับน้ำที่ไม้ระดับเบอร์ 2 แล้วจดบันทึกเป็นค่า F.S โดยในการจดบันทึก ให้จดบันทึกข้อมูลลงในตารางข้อมูล

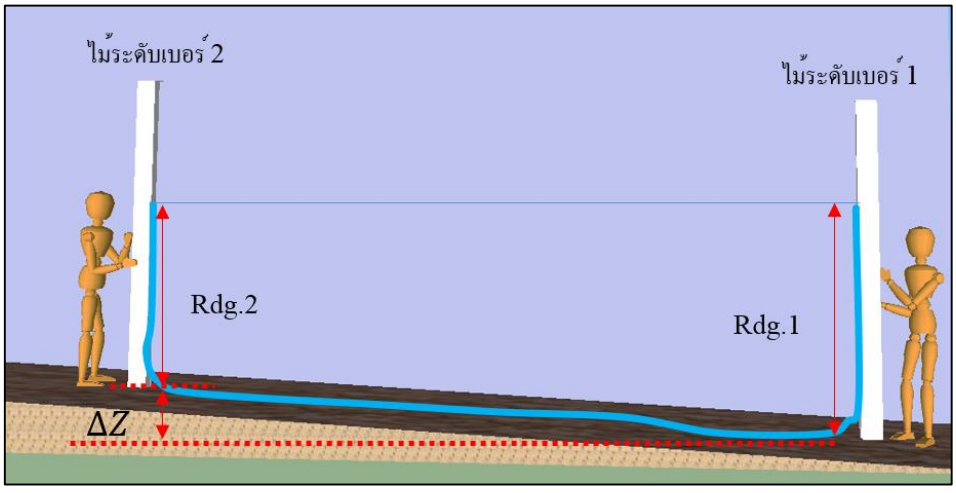
(3) ทำการคำนวณค่าระดับดิน Δz คือ ค่าระดับไม้เบอร์ 1 $(B.S)$ ลบ ค่าระดับไม้เบอร์ 2 $(F.S)$ แสดงในสมการที่ 3.1

$$\Delta z = Rdg.1(B.S) - Rdg.2(F.S) \qquad (3.1)$$

(4) ทำการหาค่าระดับ จำนวน 3 Line ดังรูปที่ 3.9

(5) นำค่าระดับดินที่ได้ ไปเขียนแบบระดับดิน (Profile Leveling)

(6) นำค่าระดับที่ได้ ไปเขียนแบบ เส้นระดับความสูง (Contour Line)



รูปที่ 3.8 การวัดค่าระดับพื้นดินบริเวณพื้นที่ศึกษา

รูปที่ 3.9 แนวเส้นทางการหาค่าระดับ

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ผลการสำรวจภาคสนาม ณ พื้นที่ศึกษาบริเวณป่าชายเลนปากแม่น้ำบางปะกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ได้แก่ ลักษณะของพื้นที่ศึกษา ลักษณะของต้นไม้ป่าชายเลน ลักษณะของคลื่น ถูกนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับการลดทอนคลื่น

4.1 ผลการสำรวจภาค

พื้นที่ศึกษาในการศึกษานี้เป็นพื้นที่ป่าชายเลนใกล้ฝั่งทะเล บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี เป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ทั้งต้นไม้ สัตว์ สิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตมากมาย ข้อมูลปัจจัยจากพื้นที่ที่มีสมมติฐานว่าเกี่ยวข้องกับการลดคลื่น ดังแสดงต่อไปนี้

4.1.1 ลักษณะของต้นไม้ป่าชายเลน

ในพื้นที่ศึกษาต้นไม้ส่วนใหญ่เป็น ต้นแสม โดยมีต้นโกงกางขนาดเล็กจำนวนหนึ่งถึงสองต้น แต่หากถัดจากพื้นที่ศึกษาเข้าไปในฝั่งจะเป็นแนวต้นโกงกางจำนวนมาก แสดงให้เห็นว่า ต้นแสมมีลักษณะเป็นไม้เบิกนำ และเติบโตในแนวชั้นนอกระหว่างฝั่งกับทะเล ในการแสดงผลข้อมูลภาคสนามแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 โซน คือ พื้นที่โซนที่ 1 จากแนวขอบป่าชายเลนด้านนอกฝั่งเข้ามาในพื้นที่ป่าชายเลน 50 เมตร หรืออาจเรียกว่า พื้นที่โซนติดทะเล และพื้นที่โซนที่ 2 จากขอบเขตพื้นที่โซนที่ 1 เข้ามาในพื้นที่ป่าชายเลนอีก 50 เมตร หรืออาจเรียกว่า พื้นที่โซนติดแผ่นดิน

การสำรวจพื้นที่เก็บข้อมูล ทำให้ได้ข้อมูลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของลำต้น ได้ถูกแบ่งบอกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ระหว่าง 0 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 12 เซนติเมตร พื้นที่โซนที่ 1 มีจำนวน 39 ต้น พื้นที่โซนที่ 2 มีจำนวน 48 ต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ระหว่าง 20 เซนติเมตร ถึง 40 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 28.1 เซนติเมตร พื้นที่โซนที่ 1 มีจำนวน 43 ต้น พื้นที่โซนที่ 2 มีจำนวน 42 ต้น และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 40 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 43.1 เซนติเมตร พื้นที่โซนที่ 1

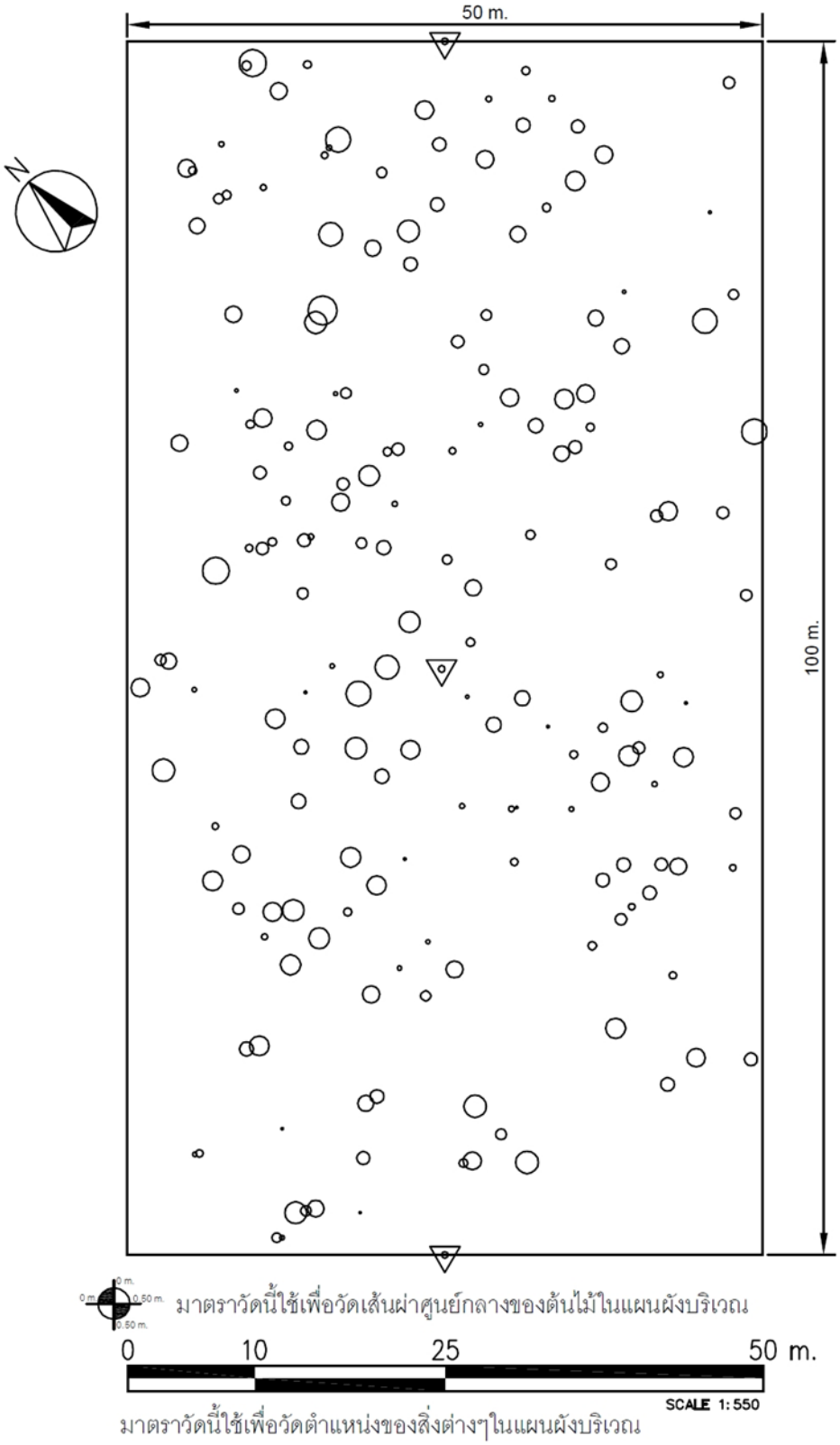
มีจำนวน 0 ต้น พื้นที่โซนที่ 2 มีจำนวน 3 ต้น รวมจำนวนต้นไม้ พื้นที่โซนที่ 1 จำนวน 82 ต้น และพื้นที่โซนที่ 2 จำนวน 93 ต้น

ผลการเก็บข้อมูลตำแหน่งของต้นไม้ ด้วยเครื่องหาพิกัด (GPS) ซึ่งมีข้อมูลดังที่ระบุไว้ในภาคผนวก เมื่อนำค่าพิกัดที่ได้แปลงค่าพิกัด GPS เป็น ค่าพิกัด UTM แล้ว และ ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น มาเขียนแผนผังบริเวณของพื้นที่เก็บข้อมูล เพื่อให้เห็นภาพรวมของพื้นที่เก็บข้อมูล ทำให้ได้แผนผังบริเวณดังรูปที่ 4.1

4.1.2 ลักษณะภูมิประเทศของป่าชายเลน

การสำรวจค่าระดับพื้นที่เก็บข้อมูล พบว่า พื้นที่มีลักษณะเป็นทางลาดลงทะเล ความต่างของค่าระดับในพื้นที่เก็บข้อมูล ตาม 3 แนวเส้นทางที่มีรังวัดค่าระดับ (ดังอธิบายในบทที่ 3) แสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อนำค่าระดับในพื้นที่เก็บข้อมูลมาวาดเส้นระดับตามแนวยาวของพื้นที่เก็บข้อมูล ทำให้ได้รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับและระยะทาง (Profile Line) ดังรูปที่ 4.2

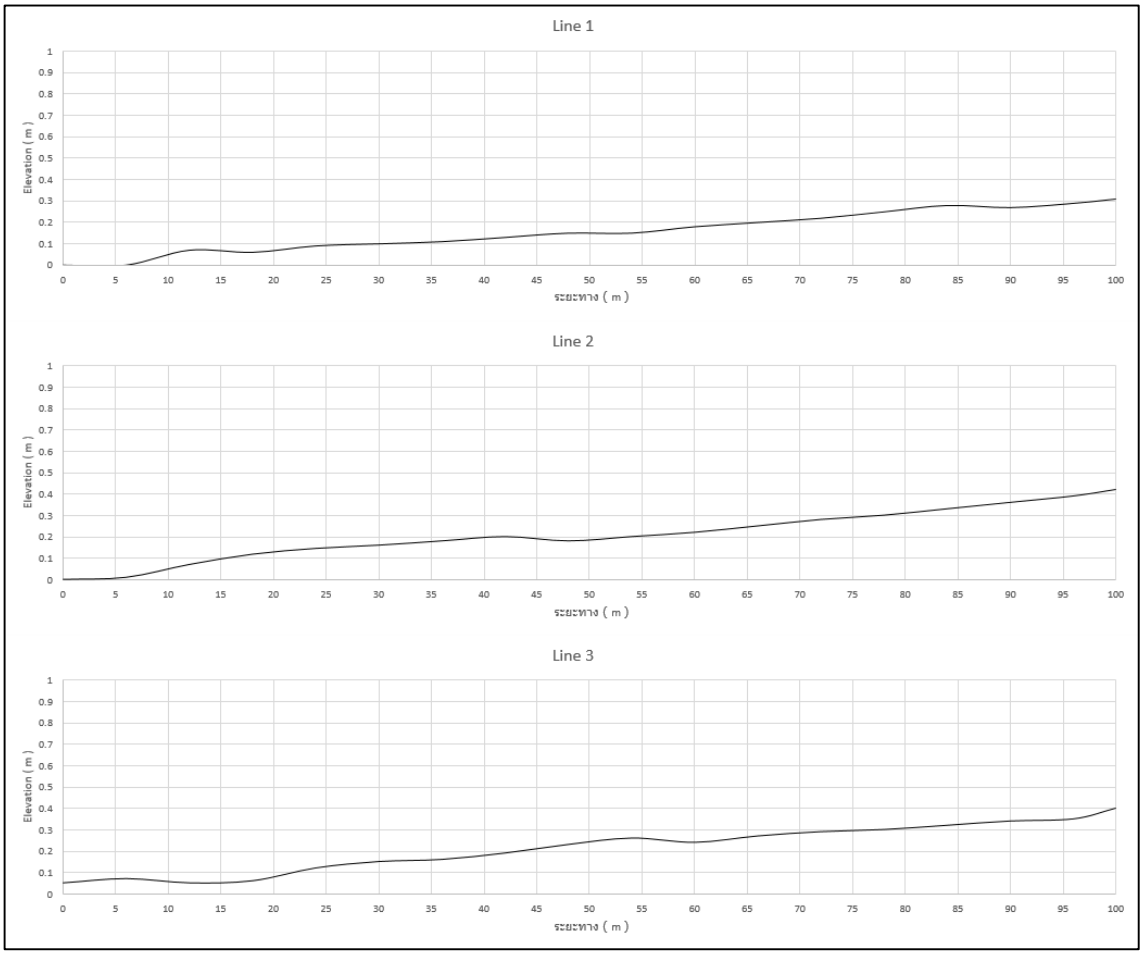
ข้อมูลค่าระดับตามแนวเส้นทางรังวัดถูกนำมาประมวลเพื่อจัดทำแผนที่เส้นชั้นความสูง (Contour Map) แสดงลักษณะความลาดชันของพื้นที่ศึกษา ได้ดังรูปที่ 4.3



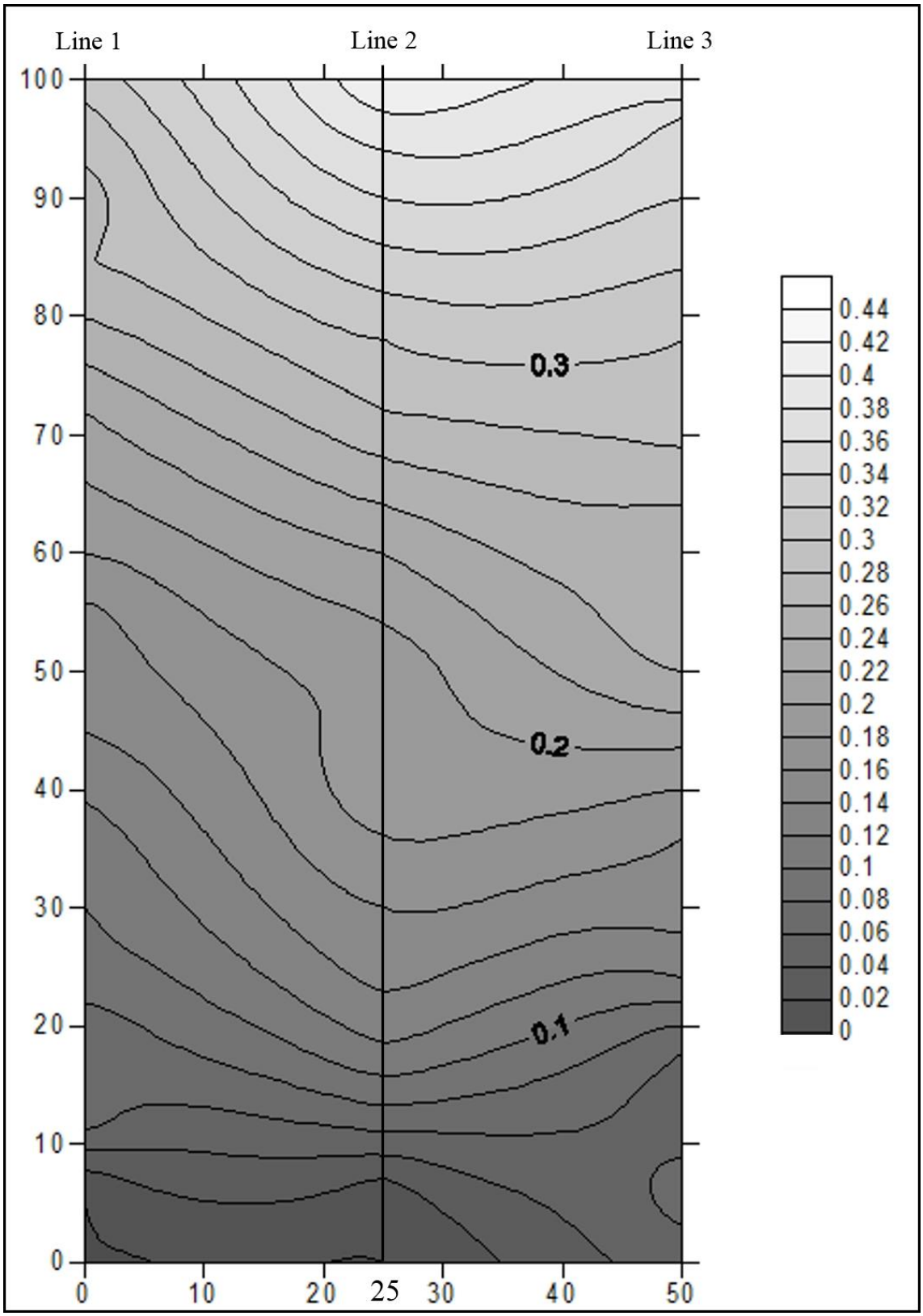
รูปที่ 4.1 แผนผังตำแหน่งต้นไม้ป่าชายเลนภายในบริเวณพื้นที่เก็บข้อมูล

ตารางที่ 4.1 ค่าความต่างระดับของแนวเส้นทางรังวัดในพื้นที่เก็บข้อมูล

ระยะทางจากเส้นแนวชายฝั่งทะเลเข้ามาทางป่าชายเลน	**ค่าต่างระดับตามเส้นแนวรังวัด**		
	แนวที่ 1	**แนวที่ 2**	**แนวที่ 3**
(เมตร)	**(เมตร)**		
0	0	0	0.05
6	0	0.01	0.07
12	0.07	0.07	0.05
18	0.06	0.118	0.06
24	0.09	0.145	0.12
30	0.10	0.16	0.15
36	0.11	0.18	0.16
42	0.13	0.20	0.19
48	0.15	0.18	0.23
54	0.15	0.20	0.26
60	0.18	0.22	0.24
66	0.20	0.25	0.27
72	0.22	0.28	0.29
78	0.25	0.30	0.3
84	0.28	0.33	0.32
90	0.27	0.36	0.34
96	0.29	0.39	0.35
100	0.31	0.42	0.40



รูปที่ 4.2 เส้นความสูงระดับพื้นดินตามแนวยาวของพื้นที่เก็บข้อมูล



รูปที่ 4.3 เส้นระดับความสูงของพื้นที่เก็บข้อมูล (Contour Line)

4.2 การวิเคราะห์ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ต่อการลดทอนคลื่นในป่าชายเลน

การวิเคราะห์ผลการลดทอนพลังงานคลื่นของป่าชายเลนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการด้วยกัน เช่น ความหนาแน่นของต้นไม้ ขนาดลำต้นและราก ความกว้างของแนวป่าชายเลน และลักษณะของคลื่นที่เข้าปะทะ เป็นต้น ในการนำเสนอผลการลดคลื่นเนื่องจากป่าชายเลนนั้นแสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์การลดคลื่น (Wave reduction coefficients) หมายถึง ร้อยละของความสูงคลื่นที่ลดลงเมื่อคลื่นผ่านป่าชายเลนเทียบกับความสูงคลื่นก่อนเคลื่อนที่เข้าป่าชายเลน เป็นสมการที่ได้มาจากการศึกษาของ (Christensen SM et al., 2008 ; Tarp P et al., 2008 ; Hjortso CN et al., 2008) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$R(\%) = \frac{H_i - H_t}{H_i} \times 100 \tag{4.1}$$

โดยที่

$R\%$ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น

H_i คือ ความสูงของคลื่นก่อนเข้าต้นโกงกาง

H_t คือ ความสูงของคลื่นหลังผ่านต้นโกงกาง

ปัจจัยที่ทางอุทกพลศาสตร์และสภาพป่าชายเลนที่ถูกนำมาพิจารณา ได้แก่ ความสูงคลื่น H ความยาวคลื่น L ความยาวของแนวป่าชายเลน L_m ความหนาแน่นของต้นไม้ป่าชายเลน โดยความสูงคลื่น H ความยาวของแนวป่าชายเลน L_m และความหนาแน่นของต้นไม้ป่าชายเลน เป็นข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการตรวจวัดในภาคสนาม สำหรับความยาวคลื่น L ได้จากการคำนวณด้วยทฤษฎีคลื่นเชิงเส้นตรง (Linear Wave Theory) โดยสมมุติให้เป็นคลื่นน้ำลึก

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \tag{4.2}$$

เมื่อ

L คือ ความยาวคลื่น

T คือ คาบคลื่น

d คือ ความลึกของน้ำ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางอุทกพลศาสตร์ด้วยตัวแปรไร้มิติมีประโยชน์ในการนำไปใช้งานมาก การศึกษานี้จึงสร้างตัวแปรไร้มิติของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์และสภาพป่าชายเลนดังต่อไปนี้

H/L คือ ความสูงคลื่นต่อความยาวคลื่น หรือ ความชันคลื่น

L_m/L คือ ความยาวป่าชายเลนต่อความยาวคลื่น

A_m/A คือ พื้นที่ลำต้นของต้นไม้ต่อพื้นที่ทั้งหมด

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลภาคสนามและข้อมูลจากการคำนวณเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่อไป โดยข้อมูลแบ่งเป็นพื้นที่โซนที่ 1 พื้นที่โซนที่ 2 และพื้นรวมทั้งสองโซน

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์และลักษณะป่าชายเลนที่มีผลต่อการลดทอนคลื่น

วันที่	เวลา	Zone	L_m	D_m	H	L	A_m/A	L_m/L	H/L	R
			(m)	(tree/m^2)	(m)	(m)				(%)
8 ก.ค. 60	16:30	1	50	0.0328	0.358	28.228	0.001243	1.771	0.013	17.598
		2	50	0.0372	0.295	28.228	0.001459	1.771	0.010	2.712
		All	100	0.0350	0.287	28.228	0.001351	3.543	0.013	19.832
8 ก.ค. 60	17:00	1	50	0.0328	0.449	27.950	0.001243	1.789	0.016	9.131
		2	50	0.0372	0.408	27.950	0.001459	1.789	0.015	4.902
		All	100	0.0350	0.388	27.950	0.001351	3.578	0.016	13.586
8 ก.ค. 60	17:30	1	50	0.0328	0.450	28.761	0.001243	1.738	0.016	16.222
		2	50	0.0372	0.377	28.761	0.001459	1.738	0.013	19.629
		All	100	0.0350	0.303	28.761	0.001351	3.477	0.016	32.667
8 ก.ค. 60	18:00	1	50	0.0328	0.485	27.686	0.001243	1.806	0.018	6.186

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์และลักษณะป่าชายเลนที่มีผลต่อการลดทอนคลื่น

วันที่	เวลา	Zone	L_m	D_m	H	L	A_m/A	L_m/L	H/L	R
			(m)	(tree/m^2)	(m)	(m)				(%)
		2	50	0.0372	0.455	27.686	0.001459	1.806	0.016	19.341
		All	100	0.0350	0.367	27.686	0.001351	3.612	0.018	24.330
8 ก.ค. 60	18:30	1	50	0.0328	0.482	27.844	0.001243	1.796	0.017	8.921
		2	50	0.0372	0.439	27.844	0.001459	1.796	0.016	15.490
		All	100	0.0350	0.371	27.844	0.001351	3.591	0.017	23.029
8 ก.ค. 60	19:00	1	50	0.0328	0.410	27.647	0.001243	1.809	0.015	23.415
		2	50	0.0372	0.314	27.647	0.001459	1.809	0.011	50.955
		All	100	0.0350	0.154	27.647	0.001351	3.617	0.015	62.439
8 ก.ค. 60	19:30	1	50	0.0328	0.536	27.594	0.001243	1.812	0.019	7.649
		2	50	0.0372	0.495	27.594	0.001459	1.812	0.018	27.273
		All	100	0.0350	0.360	27.594	0.001351	3.624	0.019	32.836
8 ก.ค. 60	20:00	1	50	0.0328	0.426	28.654	0.001243	1.745	0.015	9.390
		2	50	0.0372	0.386	28.654	0.001459	1.745	0.013	30.570
		All	100	0.0350	0.268	28.654	0.001351	3.490	0.015	37.089
8 ก.ค. 60	20:30	1	50	0.0328	0.553	27.936	0.001243	1.790	0.020	1.989
		2	50	0.0372	0.542	27.936	0.001459	1.790	0.019	34.686
		All	100	0.0350	0.354	27.936	0.001351	3.580	0.020	35.986
9 ก.ค. 60	17:30	1	50	0.0328	0.847	24.336	0.001243	2.055	0.035	8.501
		2	50	0.0372	0.775	24.336	0.001459	2.055	0.032	3.226
		All	100	0.0350	0.750	24.336	0.001351	4.109	0.035	11.452
9 ก.ค. 60	18:00	1	50	0.0328	0.664	25.094	0.001243	1.993	0.026	8.283
		2	50	0.0372	0.609	25.094	0.001459	1.993	0.024	7.389
		All	100	0.0350	0.564	25.094	0.001351	3.985	0.026	15.060
9 ก.ค. 60	18:30	1	50	0.0328	0.815	25.244	0.001243	1.981	0.032	6.258
		2	50	0.0372	0.764	25.244	0.001459	1.981	0.030	16.230

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์และลักษณะป่าชายเลนที่มีผลต่อการลดทอนคลื่น

วันที่	เวลา	Zone	L_m	D_m	H	L	A_m/A	L_m/L	H/L	R
			(m)	(tree/m^2)	(m)	(m)				(%)
		All	100	0.0350	0.640	25.244	0.001351	3.961	0.032	21.472
9 ก.ค. 60	19:00	1	50	0.0328	0.820	24.176	0.001243	2.068	0.034	21.829
		2	50	0.0372	0.641	24.176	0.001459	2.068	0.027	1.404
		All	100	0.0350	0.632	24.176	0.001351	4.136	0.034	22.927
9 ก.ค. 60	19:30	1	50	0.0328	0.710	24.360	0.001243	2.053	0.029	9.155
		2	50	0.0372	0.645	24.360	0.001459	2.053	0.026	5.116
		All	100	0.0350	0.612	24.360	0.001351	4.105	0.029	13.803
9 ก.ค. 60	20:00	1	50	0.0328	0.810	24.819	0.001243	2.015	0.033	13.704
		2	50	0.0372	0.699	24.819	0.001459	2.015	0.028	25.179
		All	100	0.0350	0.523	24.819	0.001351	4.029	0.033	35.432
9 ก.ค. 60	20:30	1	50	0.0328	0.964	24.509	0.001243	2.040	0.039	2.282
		2	50	0.0372	0.942	24.509	0.001459	2.040	0.038	5.732
		All	100	0.0350	0.888	24.509	0.001351	4.080	0.039	7.884
9 ก.ค. 60	21:00	1	50	0.0328	0.758	24.906	0.001243	2.008	0.030	13.216
		2	50	0.0372	0.658	24.906	0.001459	2.008	0.026	11.550
		All	100	0.0350	0.582	24.906	0.001351	4.015	0.030	23.239
9 ก.ค. 60	21:30	1	50	0.0328	0.629	24.459	0.001243	2.044	0.026	7.313
		2	50	0.0372	0.583	24.459	0.001459	2.044	0.024	26.415
		All	100	0.0350	0.429	24.459	0.001351	4.088	0.026	31.797
22 ก.ค. 60	16:30	1	50	0.0328	0.207	26.592	0.001243	1.880	0.008	4.831
		2	50	0.0372	0.197	26.592	0.001459	1.880	0.007	10.660
		All	100	0.0350	0.176	26.592	0.001351	3.760	0.008	14.976
22 ก.ค. 60	17:00	1	50	0.0328	0.412	25.774	0.001243	1.940	0.016	7.039
		2	50	0.0372	0.383	25.774	0.001459	1.940	0.015	21.932
		All	100	0.0350	0.299	25.774	0.001351	3.880	0.016	27.427

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์และลักษณะป่าชายเลนที่มีผลต่อการลดทอนคลื่น

วันที่	เวลา	Zone	L_m	D_m	H	L	A_m/A	L_m/L	H/L	R
			(m)	(tree/m^2)	(m)	(m)				(%)
22 ก.ค. 60	17:30	1	50	0.0328	0.588	25.622	0.001243	1.951	0.023	13.095
		2	50	0.0372	0.511	25.622	0.001459	1.951	0.020	8.611
		All	100	0.0350	0.467	25.622	0.001351	3.903	0.023	20.578
22 ก.ค. 60	18:00	1	50	0.0328	0.525	25.888	0.001243	1.931	0.020	24.190
		2	50	0.0372	0.398	25.888	0.001459	1.931	0.015	8.040
		All	100	0.0350	0.366	25.888	0.001351	3.863	0.020	30.286
22 ก.ค. 60	18:30	1	50	0.0328	0.555	26.003	0.001243	1.923	0.021	1.081
		2	50	0.0372	0.549	26.003	0.001459	1.923	0.021	2.732
		All	100	0.0350	0.534	26.003	0.001351	3.846	0.021	3.784
22 ก.ค. 60	19:00	1	50	0.0328	0.368	25.787	0.001243	1.939	0.014	1.087
		2	50	0.0372	0.364	25.787	0.001459	1.939	0.014	11.264
		All	100	0.0350	0.323	25.787	0.001351	3.878	0.014	12.228
22 ก.ค. 60	19:30	1	50	0.0328	0.461	26.284	0.001243	1.902	0.018	30.803
		2	50	0.0372	0.319	26.284	0.001459	1.902	0.012	10.031
		All	100	0.0350	0.287	26.284	0.001351	3.805	0.018	37.744
22 ก.ค. 60	20:00	1	50	0.0328	0.575	26.194	0.001243	1.909	0.022	1.739
		2	50	0.0372	0.565	26.194	0.001459	1.909	0.022	16.460
		All	100	0.0350	0.472	26.194	0.001351	3.818	0.022	17.913
22 ก.ค. 60	20:30	1	50	0.0328	0.473	26.890	0.001243	1.859	0.018	7.188
		2	50	0.0372	0.439	26.890	0.001459	1.859	0.016	10.023
		All	100	0.0350	0.395	26.890	0.001351	3.719	0.018	16.490
23 ก.ค. 60	16:30	1	50	0.0328	0.177	27.215	0.001243	1.837	0.007	32.203
		2	50	0.0372	0.120	27.215	0.001459	1.837	0.004	17.500
		All	100	0.0350	0.099	27.215	0.001351	3.674	0.007	44.068
23 ก.ค. 60	17:00	1	50	0.0328	0.601	26.644	0.001243	1.877	0.023	8.819

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์และลักษณะป่าชายเลนที่มีผลต่อการลดทอนคลื่น

วันที่	เวลา	Zone	L_m	D_m	H	L	A_m/A	L_m/L	H/L	R
			(m)	(tree/m^2)	(m)	(m)				(%)
		2	50	0.0372	0.548	26.644	0.001459	1.877	0.021	6.569
		All	100	0.0350	0.512	26.644	0.001351	3.753	0.023	14.809
23 ก.ค. 60	17:30	1	50	0.0328	0.684	27.084	0.001243	1.846	0.025	35.819
		2	50	0.0372	0.439	27.084	0.001459	1.846	0.016	5.239
		All	100	0.0350	0.416	27.084	0.001351	3.692	0.025	39.181
23 ก.ค. 60	18:00	1	50	0.0328	0.504	26.297	0.001243	1.901	0.019	10.714
		2	50	0.0372	0.450	26.297	0.001459	1.901	0.017	0.667
		All	100	0.0350	0.447	26.297	0.001351	3.803	0.019	11.310
23 ก.ค. 60	18:30	1	50	0.0328	0.392	26.348	0.001243	1.898	0.015	16.582
		2	50	0.0372	0.327	26.348	0.001459	1.898	0.012	1.835
		All	100	0.0350	0.321	26.348	0.001351	3.795	0.015	18.112
23 ก.ค. 60	19:00	1	50	0.0328	0.589	27.045	0.001243	1.849	0.022	11.375
		2	50	0.0372	0.522	27.045	0.001459	1.849	0.019	0.766
		All	100	0.0350	0.518	27.045	0.001351	3.697	0.022	12.054
23 ก.ค. 60	19:30	1	50	0.0328	0.602	27.358	0.001243	1.828	0.022	6.811
		2	50	0.0372	0.561	27.358	0.001459	1.828	0.021	28.342
		All	100	0.0350	0.402	27.358	0.001351	3.655	0.022	33.223
23 ก.ค. 60	20:00	1	50	0.0328	0.651	27.319	0.001243	1.830	0.024	19.508
		2	50	0.0372	0.524	27.319	0.001459	1.830	0.019	5.916
		All	100	0.0350	0.493	27.319	0.001351	3.660	0.024	24.270
23 ก.ค. 60	20:30	1	50	0.0328	0.897	26.683	0.001243	1.874	0.034	25.418
		2	50	0.0372	0.669	26.683	0.001459	1.874	0.025	29.895
		All	100	0.0350	0.469	26.683	0.001351	3.748	0.034	47.715
23 ก.ค. 60	21:00	1	50	0.0328	0.902	26.451	0.001243	1.890	0.034	8.093
		2	50	0.0372	0.829	26.451	0.001459	1.890	0.031	4.946

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์และลักษณะป่าชายเลนที่มีผลต่อการลดทอนคลื่น

วันที่	เวลา	Zone	L_m	D_m	H	L	A_m/A	L_m/L	H/L	R
			(m)	(tree/m^2)	(m)	(m)				(%)
		All	100	0.0350	0.788	26.451	0.001351	3.781	0.034	12.639
23 ก.ค. 60	21:30	1	50	0.0328	0.643	26.864	0.001243	1.861	0.024	8.865
		2	50	0.0372	0.586	26.864	0.001459	1.861	0.022	25.427
		All	100	0.0350	0.437	26.864	0.001351	3.722	0.024	32.037
7 ส.ค. 60	16:30	1	50	0.0328	0.992	20.573	0.001243	2.430	0.048	9.677
		2	50	0.0372	0.896	20.573	0.001459	2.430	0.044	1.116
		All	100	0.0350	0.886	20.573	0.001351	4.861	0.048	10.685
7 ส.ค. 60	17:00	1	50	0.0328	0.630	20.539	0.001243	2.434	0.031	17.460
		2	50	0.0372	0.520	20.539	0.001459	2.434	0.025	10.769
		All	100	0.0350	0.464	20.539	0.001351	4.869	0.031	26.349
7 ส.ค. 60	17:30	1	50	0.0328	0.455	20.562	0.001243	2.432	0.022	1.758
		2	50	0.0372	0.447	20.562	0.001459	2.432	0.022	4.922
		All	100	0.0350	0.425	20.562	0.001351	4.863	0.022	6.593
7 ส.ค. 60	18:00	1	50	0.0328	0.702	20.619	0.001243	2.425	0.034	9.544
		2	50	0.0372	0.635	20.619	0.001459	2.425	0.031	15.748
		All	100	0.0350	0.535	20.619	0.001351	4.850	0.034	23.789
7 ส.ค. 60	18:30	1	50	0.0328	0.518	20.358	0.001243	2.456	0.025	10.039
		2	50	0.0372	0.466	20.358	0.001459	2.456	0.023	13.519
		All	100	0.0350	0.403	20.358	0.001351	4.912	0.025	22.201
7 ส.ค. 60	19:00	1	50	0.0328	0.537	21.132	0.001243	2.366	0.025	17.318
		2	50	0.0372	0.444	21.132	0.001459	2.366	0.021	17.342
		All	100	0.0350	0.367	21.132	0.001351	4.732	0.025	31.657
7 ส.ค. 60	19:30	1	50	0.0328	0.690	20.835	0.001243	2.400	0.033	21.304
		2	50	0.0372	0.543	20.835	0.001459	2.400	0.026	20.626
		All	100	0.0350	0.431	20.835	0.001351	4.800	0.033	37.536

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์และลักษณะป่าชายเลนที่มีผลต่อการลดทอนคลื่น

วันที่	เวลา	Zone	L_m	D_m	H	L	A_m/A	L_m/L	H/L	R
			(m)	(tree/m^2)	(m)	(m)				(%)
7 ส.ค. 60	20:00	1	50	0.0328	0.566	21.018	0.001243	2.379	0.027	1.237
		2	50	0.0372	0.559	21.018	0.001459	2.379	0.027	22.004
		All	100	0.0350	0.436	21.018	0.001351	4.758	0.027	22.968
7 ส.ค. 60	20:30	1	50	0.0328	1.055	21.236	0.001243	2.355	0.050	18.578
		2	50	0.0372	0.859	21.236	0.001459	2.355	0.040	23.283
		All	100	0.0350	0.659	21.236	0.001351	4.709	0.050	37.536
7 ส.ค. 60	21:00	1	50	0.0328	0.871	21.064	0.001243	2.374	0.041	5.281
		2	50	0.0372	0.825	21.064	0.001459	2.374	0.039	0.970
		All	100	0.0350	0.817	21.064	0.001351	4.748	0.041	6.200
7 ส.ค. 60	21:30	1	50	0.0328	0.691	20.562	0.001243	2.432	0.034	21.418
		2	50	0.0372	0.543	20.562	0.001459	2.432	0.026	4.420
		All	100	0.0350	0.519	20.562	0.001351	4.863	0.034	24.891
8 ส.ค. 60	17:30	1	50	0.0328	0.867	21.816	0.001243	2.292	0.040	14.072
		2	50	0.0372	0.745	21.816	0.001459	2.292	0.034	5.772
		All	100	0.0350	0.702	21.816	0.001351	4.584	0.040	19.031
8 ส.ค. 60	18:00	1	50	0.0328	0.916	21.781	0.001243	2.296	0.042	4.258
		2	50	0.0372	0.877	21.781	0.001459	2.296	0.040	8.666
		All	100	0.0350	0.801	21.781	0.001351	4.591	0.042	12.555
8 ส.ค. 60	18:30	1	50	0.0328	0.724	21.722	0.001243	2.302	0.033	10.359
		2	50	0.0372	0.649	21.722	0.001459	2.302	0.030	42.373
		All	100	0.0350	0.374	21.722	0.001351	4.604	0.033	48.343
8 ส.ค. 60	19:00	1	50	0.0328	0.963	22.498	0.001243	2.222	0.043	10.177
		2	50	0.0372	0.865	22.498	0.001459	2.222	0.038	12.601
		All	100	0.0350	0.756	22.498	0.001351	4.445	0.043	21.495
8 ส.ค. 60	19:30	1	50	0.0328	0.759	21.421	0.001243	2.334	0.035	10.277

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์และลักษณะป่าชายเลนที่มีผลต่อการลดทอนคลื่น

วันที่	เวลา	Zone	L_m	D_m	H	L	A_m/A	L_m/L	H/L	R
			(m)	(tree/m^2)	(m)	(m)				(%)
		2	50	0.0372	0.681	21.421	0.001459	2.334	0.032	3.231
		All	100	0.0350	0.659	21.421	0.001351	4.668	0.035	13.175
8 ส.ค. 60	20:00	1	50	0.0328	0.411	22.226	0.001243	2.250	0.018	2.920
		2	50	0.0372	0.399	22.226	0.001459	2.250	0.018	23.810
		All	100	0.0350	0.304	22.226	0.001351	4.499	0.018	26.034
8 ส.ค. 60	20:30	1	50	0.0328	0.720	21.467	0.001243	2.329	0.034	18.056
		2	50	0.0372	0.590	21.467	0.001459	2.329	0.027	19.322
		All	100	0.0350	0.476	21.467	0.001351	4.658	0.034	33.889
8 ส.ค. 60	21:00	1	50	0.0328	0.465	22.391	0.001243	2.233	0.021	14.839
		2	50	0.0372	0.396	22.391	0.001459	2.233	0.018	23.737
		All	100	0.0350	0.302	22.391	0.001351	4.466	0.021	35.054
8 ส.ค. 60	21:30	1	50	0.0328	0.543	21.513	0.001243	2.324	0.025	12.155
		2	50	0.0372	0.477	21.513	0.001459	2.324	0.022	7.128
		All	100	0.0350	0.443	21.513	0.001351	4.648	0.025	18.416

ข้อมูลตัวแปรไร้มิติทางอุทกพลศาสตร์และสภาพป่าชายเลน ได้แก่ ความสูงคลื่นต่อความยาวคลื่นหรือความชันคลื่น (H/L), ความยาวป่าชายเลนต่อความยาวคลื่น (L_m/L) และพื้นที่ลำต้นของต้นไม้ต่อพื้นที่ทั้งหมด (A_m/A) ถูกนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น (R(%)) ค่าสหสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าสหสัมพันธ์ (Correlations) ระหว่างการลดทอนคลื่นและตัวแปรไร้มิติทางอุทกพลศาสตร์และสภาพป่าชายเลน

	R (%)	*H/L*	L_m/L	A_m/A
R (%)	1	-0.322(**)	0.399(**)	0.072
H/L	-0.322(**)	1	-0.038	-0.141
L_m/L	0.399(**)	-0.038	1	0.000
A_m/A	0.072	-0.141	0.000	1

** ค่าสหสัมพันธ์มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

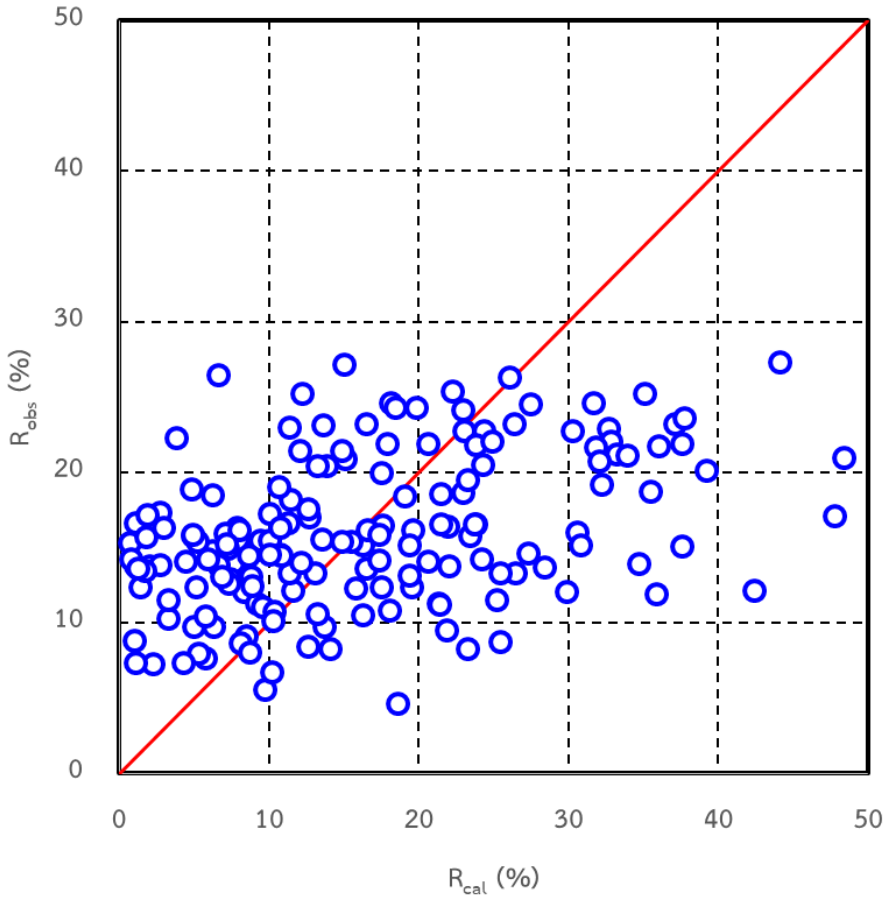
ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติปัจจัยทางอุทกศาสตร์และสภาพป่าชายเลนกับสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งไม่สูงมากนักเนื่องจากชุดข้อมูลเป็นข้อมูลจริงในภาคสนามซึ่งมีตัวแปรมากมายหลายอย่าง ทั้งที่ตัวแปรที่การศึกษาสนใจและตัวแปรยังไม่ได้พิจารณาในครั้งนี้ แต่อย่างไรก็ตาม มีตัวแปรบางตัวที่มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิการลดทอนคลื่นอย่างมีนัยสำคัญ คือ ความสูงคลื่นต่อความยาวคลื่นหรือความชันคลื่น (H/L) และความยาวป่าชายเลนต่อความยาวคลื่น (L_m/L) ในขณะที่พื้นที่ลำต้นของต้นไม้ต่อพื้นที่ทั้งหมด (A_m/A) ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้น ตัวแปรไร้มิติทางอุทกพลศาสตร์และสภาพป่าชายเลนทั้งสองตัว คือ ความสูงคลื่นต่อความยาวคลื่นหรือความชันคลื่น (H/L) และความยาวป่าชายเลนต่อความยาวคลื่น (L_m/L) ถูกนำมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงของตัวแปรหลายตัว โดยมีรูปแบบของสมการสัมประสิทธิการลดทอนคลื่น R (%) ได้ดังสมการ

$$R(\%) = a\left(\frac{L_m}{L}\right) - b\left(\frac{H}{L}\right) + c \qquad (4.3)$$

ซึ่งจากผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง พบว่า a เท่ากับ 4.431 b เท่ากับ -389.578 และ c เท่ากับ 13.581 ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เท่ากับ 0.504 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เท่ากับ 10.2

เมื่อนำสมการการลดทอนคลื่นไปทดสอบในการประมาณค่าสัมประสิทธิการลดทอนคลื่นเทียบกับค่าที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 และผลจากการทดสอบแสดงให้ว่า สมการสามารถทำนายได้ดีพอสมควร โดยเฉพาะช่วงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น ไม่เกิน 20%



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนที่ได้จากคำนวณ R_{cal} (%) กับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นที่ได้จากสำรวจภาคสนาม R_{obs} (%)

สมการที่นำเสนอสามารถช่วยให้ในการประมาณสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นในสถานการณ์ต่างๆ ซึ่งขึ้นกับสภาพภูมิอากาศของคลื่นได้ และในกรณีของสภาพป่าชายเลนที่แตกต่างกันได้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

โครงการนี้ทำการสำรวจภาคสนามโดยการสำรวจลักษณะทางกายภาพของป่าชายเลน เช่น ความยาวของแนวป่าชายเลน ความลาดชันของพื้นที่ ความหนาแน่นของต้นไม้ ขนาดของต้นไม้ ในบริเวณพื้นที่ศึกษาในป่าชายเลน พร้อมทั้งตรวจวัดสภาพทางอุทกพลศาสตร์ ได้แก่ คลื่น ระดับน้ำ จากนั้นนำมาวิเคราะห์การลดทอนคลื่น และหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้

ตัวแปรไร้มิติมทางอุทกพลศาสตร์และสภาพป่าชายเลน ได้แก่ ความสูงคลื่นต่อความยาวคลื่นหรือความชันคลื่น (H/L) ความยาวป่าชายเลนต่อความยาวคลื่น (L_m/L) และพื้นที่ลำต้นของต้นไม้ต่อพื้นที่ทั้งหมด (A_m/A) ถูกนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิการลดทอนคลื่น (R(%)) จากผลการวิเคราะห์พบว่า ความสูงคลื่นต่อความยาวคลื่นหรือความชันคลื่น (H/L) ความยาวป่าชายเลนต่อความยาวคลื่น (L_m/L) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับสัมประสิทธิการลดทอนคลื่น ดังนั้น ตัวแปรไร้มิติทั้งสองถูกนำมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงหลายตัวแปร และได้สมการการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น คือ

$$R(\%) = a\left(\frac{L_m}{L}\right) - b\left(\frac{H}{L}\right) + c$$

เมื่อ a เท่ากับ 4.431 b เท่ากับ -389.578 และ c เท่ากับ 13.581 ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เท่ากับ 0.504 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เท่ากับ 10.2

สมการที่นำเสนอสามารถช่วยให้ในการประมาณสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นในสถานการณ์ต่างๆ ซึ่งขึ้นกับสภาพภูมิอากาศของคลื่นได้ และในกรณีของสภาพป่าชายเลนที่แตกต่างกันได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

(1) ควรมีการทำการศึกษาเพิ่มเติมในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของต้นไม้ป่าชายเลนแตกต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลในการสร้างสมการ เพื่อนำไปใช้ ในการหาการลดทอนคลื่นในพื้นที่จริง เนื่องจากพื้นที่ศึกษาในแต่ละพื้นที่มีความหนาแน่นของต้นไม้ที่แตกต่างกัน

(2) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมกับกลไกการลดทอนคลื่น เช่น ชนิดของต้นไม้ป่าชายเลนอื่น (ต้นโกงกาง) ความหนาแน่นของกิ่งก้านและใบของต้นไม้ แรงเสียดทานเนื่องจากพื้นที่ และการลดลงของแรงลมเสริม เป็นต้น

(3) ควรมีการทำการศึกษาเพิ่มเติมในช่วงเวลาที่แตกต่างมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

Aksornkoae S, et al. Rehabilitation and Development of Mangrove Resources for Sustainable Socio-economics of Thailand [Research report: RTA3980005]. Thailand Research Fund; 1999. (In Thai).

Aksornkoae S, Population and coastal resources. Thailand Research Fund; 2002. (In Thai).

Alongi DM. Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and response to global climate change. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2008:76: 1-13.

Augustin LN, Irish JL, Lynett P.J. Laboratory and numerical studies of wave damping by emergent and near-emergent wetland vegetation. Coastal Engineering. 2009:56: p. 332–340.

Battjes JA, Janssen JPFM. Energy loss and set-up due to breaking random waves. Proceeding of the 16th International Conference on Coastal Engineering; 1992. p. 569-587.

Brickman RM, Massel SR, Ridd PV, Furukawa K, Surface wave attenuation in mangrove forest. Proceeding of the 13th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference; 1997. p. 941-946.

Bunyavejchewin S, Buasalee R. Mangrove forests: ecology and vegetations. Bangkok; 2011.

Christensen SM, Tarp P, Hjortso CN. Mangrove forest management planning in coastal buffer and conservation zones, Vietnam: A multimethodological approach incorporating multiple stakeholders. Ocean and Coastal Management. 2008:51: 712-726.

Cochard R, Ranamukhaarachchi SL, Shivakoti GP, Shipin OV, Edwards PJ, Seeland KT. The 2004 tsunami in Aceh and Southern Thailand: A review on coastal ecosystem, wave hazards and vulnerability. Prospective in Plant Ecology, Evolution and Systematics. 2008:10: 3-40.

Dalyrmple RA, Kirby JT, Hwang PA. Wave refraction due to areas of energy dissipation. Journal of Waterway, Port, Coastal Ocean Engineering. 1984:110: 67–79.

Dean RG, Dalrymple RA. Water wave mechanics for engineers and scientists, World Scientific; 1991.Aksornkoae S. Population and coastal resources. Thailand Research Fund; 2002. (In Thai).

Department of Marine and Coastal Resources. Mangroves Forests. Pamphlet (In Thai).

de Vos WJ. Wave attenuation in mangrove wetlands, Red River Delta, Vietnam [MSc Thesis]. Delft University of Technology; 2004.

Dharanirajan K, Pandian PK, Gurugnanam B, Narayanan RM, Ramachandran S. An integrated study for the assessment of tsunami impacts: A case study of South Andaman Island, India using remote sensing and GIS. Coastal Engineering Journal. 2007:49: 229-266.

Dubi AM, Tørum A. Wave damping by kelp vegetation. Proceedings of the 24th International Conference on Coastal Engineering; 1994. p. 142–156.

Feagin RA, Möller JLI, Williams AM, Colón-Rivera RJ, Mousavi M.E. Short communication: Engineering properties of wetland plants with application to wave attenuation. Coastal Engineering. 2011:58: 251-255.

Fernando HJS, Samarawickrama SP, Balasubramanian S, Hettiarachchi SSL, Voropayev S. Effects of porous barriers such as coral reefs on coastal wave propagation. Journal of Hydro-Environment Research. 2008:1: 187-194.

Field C. Journey amongst mangroves, International Society for Mangrove Ecosystems. Okinawa, Japan: 1995.

Furukawa K, Wolanski E, Sedimentation in mangrove forests. Mangroves and Salt Marshes. 1996:1: 3-10.

Hadi S, Latief H, Muliddin. Analysis of surface wave attenuation in mangrove forests, Proceeding of ITB Engineering Science; 2003: 35 B. p. 89-108.

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; 2003.

Holland KT, Vinzon SB, Calliari LJ. A field study of coastal dynamics on a muddy coast offshore of Cassino beach, Brazil. Continental Shelf Research. 2009:29: 503-514.

Kamphuis JW. Introduction to coastal engineering and management, World Scientific; 2000.

Kathiresan K, Rajendran N. Coastal mangrove forests mitigated tsunami. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2005:65: 601-606.

Kerr AM, Baird AH, Campbell SJ. Comments on “Coastal mangrove forests mitigated tsunami” by K. Kathiresan and N. Rajendran (Estuar. Coast. Shelf Sci. 65 (2005) 601-606), Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2006:67: 539-541.

Kobayashi N, Raichlen AW, Asano T. Wave attenuation by vegetation. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering. 1993:119: 30-48.

Liu WC, Hsu MH, Wang CF, Modeling of flow resistance in mangrove swamp at Mouth of Tidal Keelung River, Taiwan. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering. 2003:129: 86-92.

Løvås SM, Tørum A. Effect of submerged vegetation upon wave damping and run-up on beaches: a case study on Laminaria hyperborean. Proceedings of the 27th International Conference on Coastal Engineering; 2000:1. p. 851–864.

Massel SR, Furukawa K, Brinkman RM. Surface wave propagation in mangrove forests. Fluid Dynamics Research. 1999:24: 219-249.

Mazda Y, Magi M, Ikeda Y, Kurokawa T, Asano T. Wave reduction in a mangrove forest dominated by Sonneratia sp. Wetlands Ecology and Management. 2006: 14: 365-378.

Mazda Y, Magi M, Kogo M, Hong PN. Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King Delta, Vietnam. Mangroves and Salt Marches. 1997:1: 127-135.

Mendez FJ, Losada I.J. An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields. Coastal Engineering. 2004:51: 103-118.

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 and Shelf Science. 2011:92: 424-436.

Möller I. Quantifying saltmarsh vegetation and its effect on wave height dissipation: results from a UK East coast saltmarsh. Estuarine Coastal and Shelf Science. 2006:69: 337–351.

Möller I, Spencer T, French JR, Leggett D, Dixon M. Wave transformation over salt marshes: a field and numerical modelling study from North Norfolk, England. Estuarine Coastal and Shelf Science. 1999:49: 411–426.

Möller I, Spencer T. Wave dissipation over macro-tidal salt marshes: effects of marsh edge typology and vegetation change. Journal of Coastal Research. 2002:SI36: 506–521.

Myrhaung D, Holmedal LE. Drag force on a vegetation field due to long-crested and short-crested nonlinear random waves. Coastal Engineering, 2011:58: 562-566.

Noarayanan L, Murali K, Sundar V. Manning's 'n' co-efficient for flexible emergent vegetation in tandem configuration. Journal of Hydro-Environment Research. 2011: 1-12.

Quartel S, Kroon A, Augustinus PGEF, Van Santen P, Tri NH. Wave attenuation in coastal mangroves in the Red River Delta, Vietnam. Journal of Asian Earth Sciences. 2007:29; 567-584.

Robertson AI, Alongi DM (Ed.). Tropical mangrove ecosystem. American Geophysical Union, Washington; 1992.

Shuto N. The effectiveness and limit of tsunami control forests. Coastal Engineering in Japan. 1987:30: 143-153.

Suzuki T, Zijlema M, Burger B, Meijer MC, Narayan S. Wave dissipation by vegetation with layer schematization in SWAN, Coastal Engineering. doi:10.1016/j.coastaleng. 2011.07.006; 2011.

Svendsen IA. Introduction to nearshore hydrodynamics, World Scientific; 2006.

Thampanya U, Vermaat JE, Sinsakul S, Panapitukkul N. Coastal erosion and mangrove progradation of Southern Thailand. Estuarine Coastal and Shelf Science. 2006:68: 75-85.

Thampanya U, Vermaat JE, Terrados J. The effect of increasing sediment accretion on the seedling of three common Thai mangrove species. Aquatic Botany. 2002:74: 315-325.

The SY, Koh HL, Liu PLF, Ismail AIM, Lee HL. Analytical and numerical simulation of tsunami mitigation by mangroves in Penang, Malaysia. Journal of Asian Earth Sciences. 2009:36: 38-46.

Tomlinson PB. The botany of mangrove. Cambridge University Press, Cambridge; 1986.

Tuyen NB, Hung H.V. An experimental study on wave reduction efficiency of mangrove forests. Proceeding of the 5th International Conference on Asian and Pacific Coasts; 2009.

U.S. Army Corps of Engineers. Coastal Engineering Manual. Washington, D.C.; 2002.

Vermaat JE, Thampanya U. Mangroves mitigate tsunami damage: A further response. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2006:69: 1-3.

Vo-Luong P, Massel S. Energy dissipation in non-uniform mangrove forests of arbitrary depth. Journal of Marine Systems. 2008:74: 603-622.

Winterwerp JC, Borst WG, De Vries MB. Pilot study on the erosion and rehabilitation of a mangrove mud coast. Journal of Coastal Research. 2005:21: 223-230.

Winterwerp JC, de Graaff RF, Groeneweg J, Luijendijk AP, Modelling of wave damping at Guyana mud coast. Coastal Engineering. 2007:54: 249-261.

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.

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 and numerical analysis. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2009:81: 601-606.