



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การทดลองในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับ

ผลกระทบของคลื่นต่อต้นกล้าป่าชายเลน

(A laboratory experiment on the effects of waves on  
mangrove sprouts)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนุญ รัศมีมาสเมือง

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้

จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2561A10802271

สัญญาเลขที่ 208/2561

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง การทดลองในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับ

ผลกระทบของคลื่นต่อต้านกล้าป่าชายเลน

(A laboratory experiment on the effects of waves on  
mangrove sprouts)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนุญ รัศมีมาสเมือง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

มีนาคม 2562

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 208/2561

## Acknowledgement

This work was financially supported by the Research Grant of Burapha University through National Research Council of Thailand (Grant no. 208/2561)

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกป่าชายเลน ต้นไม้ที่ใช้ในการศึกษา มี 2 ชนิด คือ ต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสม การศึกษาดำเนินการในรางจำลองคลื่นที่มีหน้าตัดกว้าง 60 เซนติเมตร ลึก 80 เซนติเมตร และยาว 16 เมตร ต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดถูกนำไปปลูกในแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนภายในรางน้ำจำลองคลื่นเพื่อรับผลกระทบจากคลื่น ความสูงของระดับน้ำที่ใช้ในการทดลอง 50 เซนติเมตร คลื่นที่ใช้ในการทดลองเป็นคลื่นแบบสม่ำเสมอที่มีคาบคลื่น 1 วินาที และความสูงคลื่นแตกต่างกัน 3 ค่า คือ 7.73, 10.57 และ 12.29 เซนติเมตร ใช้เวลาในการทดลองกรณีละ 2 ชั่วโมงต่อวัน ทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน

ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการชี้ว่า ความสูงคลื่นมีผลต่อลักษณะทางกายภาพด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและความสูงของต้นกล้าโกงกางเล็กน้อย แต่ความสูงคลื่นมีผลต่อการหลุดร่วงของใบและการตายของต้นกล้าโกงกางอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้นตามความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้นแต่การเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้นลดลง

จากผลการวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกป่าชายเลนได้ โดยสามารถเลือกพื้นที่ปลูกต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสมที่เหมาะสมกับลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้าทั้งสองได้ และสามารถทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางที่นำไปปลูกได้ด้วยสมการที่ได้จากการศึกษา

## Abstract

Purpose of this research is to study the effect of hydrodynamic factors on the physical characteristics and the mortality of mangrove sprouts, in order to be a guideline for increasing the effectiveness of mangrove reforestation. Two types of mangrove sprouts, which are *Avicennia alba* and *Rhizophora apiculata*, were used in the study. The experiments were conducted in a wave flume, of which the size is 16 m. long, 60 cm. wide and 80 cm. deep. The mangrove sprouts were planted in the flume with a uniform water level of 50 cm. Three different wave heights (7.73, 10.57 and 12.29 cm.) of regular waves with the period of 1 sec were applied in the experiment. The tests run for two hours per day for each case continuously for thirty days.

Laboratory results indicate that the waves slightly affect the physical characteristic on diameter and height of *Rhizophora apiculata*. However, the waves influence on leaves and death of *Rhizophora apiculata*. For the case of *Avicennia alba*, as the wave heights increase, the diameter of them increases but their height decreases averagely.

Findings of the research can be used as a guideline for enhancing the effectiveness of mangrove reforestation by selecting appropriate areas for planting the *Rhizophora apiculata* and *Avicennia alba* trees and estimating the possible death percentage of *Rhizophora apiculata* sprouts with the equation proposed by the study.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
Abstract	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vi
สารบัญรูปภาพ	vii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับป้าชายเลน	3
2.2 ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์	12
2.3 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	38
3.1 หลักการความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์	40
3.2 วิธีการทดลองผลกระทบของคลื่น	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	66
4.1 ผลการวัดค่าความสูงคลื่น	66
4.2 ลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป้าชายเลน	66
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเรื่องผลกระทบของคลื่น	70

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	81
5.1 สรุปการทดลองในห้องปฏิบัติการ	81
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาในอนาคต	82
บรรณานุกรม	83
ภาคผนวก ก ผลผลิต	86
ภาคผนวก ข รายงานสรุปการเงิน	93
ภาคผนวก ค ประวัตินักวิจัย	94



## สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 3-1	รายละเอียดประกอบการทดลองเรื่องคลื่น	42
ตารางที่ 3-2	รายละเอียดของร่างชลศาสตร์ในห้องปฏิบัติการทางชลศาสตร์	44
ตารางที่ 3-3	รายละเอียดการทดลองผลกระทบของคลื่น	60
ตารางที่ 4-1	ความสูงคลื่นเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลอง	69
ตารางที่ 4-2	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของคลื่น	70

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2-1 รูปแบบป่าชายเลน	4
ภาพที่ 2-2 ลักษณะการขับเกลือออกทางใบ	5
ภาพที่ 2-3 ลักษณะรากไม้ของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน	6
ภาพที่ 2-4 พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทย พ.ศ. 2504-2557	8
ภาพที่ 2-5 วิธีการปลูกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนโดยใช้ฝัก (a) กรณีฝักมีขนาดยาว (b) กรณีฝักมีขนาดสั้น	9
ภาพที่ 2-6 การเกิดน้ำเกิด (Spring tides) และน้ำตาย (Neap tides)	13
ภาพที่ 2-7 องค์ประกอบของคลื่น	15
ภาพที่ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างยอดผู้เสียชีวิตหลังจากเกิดสึนามิในวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 กับพื้นที่ของต้นไม้ชายฝั่งทะเล	17
ภาพที่ 2-9 พื้นที่ชายฝั่งทวิฮายและทวิจวง	18
ภาพที่ 2-10 ความสามารถในการลดทอนคลื่นในแต่ละพื้นที่	20
ภาพที่ 2-11 สถานที่ทำการศึกษาบริเวณชายฝั่งเวียนฮาง	20
ภาพที่ 2-12 อัตราการลดทอนคลื่น ( $r$ ) ในพื้นที่ป่าชายเลน และพื้นที่ไม่มีป่าชายเลน	21
ภาพที่ 2-13 แบบจำลองทางกายภาพที่ใช้ในการศึกษา	22
ภาพที่ 2-14 รายละเอียดการศึกษาของ	22
ภาพที่ 2-15 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงคลื่นกับสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น ( $R$ )	23
ภาพที่ 2-16 การจัดเรียงต้นโกงกางจำลองแบบแนวเดียวกัน (Tandem) และแบบเหลื่อมกัน	24
ภาพที่ 2-17 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของป่าชายเลนกับเปอร์เซ็นต์การลดทอนคลื่น	24
ภาพที่ 2-18 ต้นไม้ที่ใช้ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพืช (a) ต้นสปลาทิม่า มาริมา (b) ต้นอาทิเพลค พอทุลาคอย (c) ต้นสปลาทิน่า อัลเทอนิฟอรา	25
ภาพที่ 2-19 พื้นที่ศึกษาภาคสนาม E1 ถึง E5 ที่มีค่าระดับต่างกัน	26

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 2-20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับแต่ละพื้นที่กับ A.การเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพประจำปี (a) (Annual biomass increment), B.จำนวนต้นไม้ที่เพิ่มขึ้น (b) (population productivity) และ C.อัตราส่วนของน้ำหนักของส่วนของต้นไม้ที่โผล่พื้นดินกับราก (c) (Shoot/Root ratio)	27
ภาพที่ 2-21 ลักษณะการทดลองกลางแจ้งโดยใช้แท็งก์น้ำ	27
ภาพที่ 2-22 ความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาน้ำท่วมราก (กราฟแท่งสีดำ) และท่วมต้น (กราฟแท่งสีขาว) กับ A.ชีวมวลรวม (a) (Total biomass), B.พื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักแห้ง (b) (Specific leaf area (SLA)), C.อัตราส่วนของน้ำหนักของส่วนของต้นไม้ที่โผล่พื้นดิน กับราก (c) (Shoot/Root ratio)	28
ภาพที่ 2-23 พื้นที่ศึกษาที่อ่าวอิงลัว ประเทศจีน	29
ภาพที่ 2-24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับต่อความสูงของต้นไม้ทั้ง 4 ชนิด	30
ภาพที่ 2-25 ความสัมพันธ์ของระดับพื้นที่ต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นไม้ทั้ง 4 ชนิด	31
ภาพที่ 2-26 พื้นที่ศึกษาบริเวณทะเลสาบเซนต์ลูเซีย	31
ภาพที่ 2-27 พื้นที่ป่าชายเลน 4 แห่งบริเวณแม่น้ำทันซุย	32
ภาพที่ 2-28 พื้นที่ศึกษาอัตราการรอดตาย และการเจริญเติบโตของต้นโกงกางใบเล็ก และโกงกางใบใหญ่ที่มีความเข้มแสงต่างกัน	33
ภาพที่ 2-29 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นโกงกางใบเล็ก ที่มีความเข้มแสงต่างกัน	34
ภาพที่ 2-30 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นโกงกางใบใหญ่ ที่มีความเข้มแสงต่างกัน	35
ภาพที่ 2-31 พื้นที่ศึกษาบนชายฝั่งตะวันตกของคาบสมุทรม	35
ภาพที่ 2-32 การเพิ่มขึ้นของตะกอนหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นนอกฝั่งตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2551 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552	36
ภาพที่ 3-1 กิจกรรมปลูกป่าชายเลนที่ศูนย์อนุรักษ์ป่าชายเลนคลองโค่น วันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2559	39

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3-2 สัมภาษณ์ผู้มีความรู้ที่ศูนย์อนุรักษ์ปลุกป่าชายเลนคลองโคน วันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2559	39
ภาพที่ 3-3 การศึกษาข้อมูลในภาคสนามที่สัตหีบ วันที่ 8 ตุลาคม พ.ศ. 2559	40
ภาพที่ 3-4 บริเวณพื้นที่แหลมญวน	41
ภาพที่ 3-5 รางชลศาสตร์ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา	43
ภาพที่ 3-6 ส่วนประกอบรางจำลองคลื่น	43
ภาพที่ 3-7 เครื่องกำเนิดคลื่น	45
ภาพที่ 3-8 ส่วนประกอบของมอเตอร์และคันชักข้อเหวี่ยง	45
ภาพที่ 3-9 ส่วนประกอบของใบพัดสร้างคลื่น	46
ภาพที่ 3-10 เครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่งและส่วนประกอบ	46
ภาพที่ 3-11 เครื่องวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า	47
ภาพที่ 3-12 ชุดพื้นแปลงทดลองที่ประกอบไปด้วยพื้นเอียงและพื้นเรียบปรับระดับ สำหรับปรับความเสถียรคลื่นก่อนเข้าสู่แปลงทดลอง	48
ภาพที่ 3-13 ชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนในรางน้ำจำลองคลื่น	48
ภาพที่ 3-14 เหล็กเส้น RB 6 มิลลิเมตร สำหรับทำแปลงทดลอง	49
ภาพที่ 3-15 เม็ดโฟมซีเบาสำหรับผสมคอนกรีตให้มีน้ำหนักเบา	50
ภาพที่ 3-16 กระบะสังกะสีพร้อมเสาค้ำยันสำหรับใส่แปลงทดลองคอนกรีต	50
ภาพที่ 3-17 ท่อพีวีซีสำหรับสร้างช่องปลูกต้นกล้าในแปลงทดลองคอนกรีต	50
ภาพที่ 3-18 ต้นไม้ที่ใช้ในการทดลอง (ก) ต้นกล้าแสม และ (ข) ต้นกล้าโกงกาง	51
ภาพที่ 3-19 ผ้าใบสำหรับปิดผิวหน้าแปลงทดลองคอนกรีต	51
ภาพที่ 3-20 ซิลิโคนสำหรับยึดแผ่นผ้าใบกับผิวหน้าแปลงทดลองคอนกรีต	51
ภาพที่ 3-21 ลักษณะชุดแปลงทดลองคอนกรีต	52
ภาพที่ 3-22 กระบะใส่ชุดแปลงทดลองคอนกรีต	52
ภาพที่ 3-23 การตัดท่อพีวีซีสำหรับใช้ทำแปลงทดลองคอนกรีต	53

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3-24 การผูกเหล็กตะแกรงสำหรับเพิ่มความแข็งแรงแปลงทดลองคอนกรีตและช่วยยึดแนวท่อพีวีซี	54
ภาพที่ 3-25 การตัดไม้แบบสำหรับทำชุดแปลงทดลองคอนกรีต	54
ภาพที่ 3-26 การผสมคอนกรีตกับเม็ดโพลีเมอร์ซีเมนต์เพื่อให้ชุดแปลงทดลองคอนกรีตมีน้ำหนักเบา	54
ภาพที่ 3-27 การเทคอนกรีตทำชุดแปลงทดลองคอนกรีต	55
ภาพที่ 3-28 ชุดแปลงทดลองสำหรับจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลน	55
ภาพที่ 3-29 การคัดต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าเสม	56
ภาพที่ 3-30 การจัดเรียงต้นกล้าป่าชายเลนแบบสลับฟันปลา	56
ภาพที่ 3-31 การติดแผ่นผ้าใบที่ผิวหน้าชุดแปลงทดลองคอนกรีต	57
ภาพที่ 3-32 การผูกต้นกล้าป่าชายเลนเข้ากับแนวเสาด้วย	57
ภาพที่ 3-33 อ่างน้ำควบคุมสำหรับทดลองกรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำ	58
ภาพที่ 3-34 ตัวสลายพลังงานคลื่น	58
ภาพที่ 3-35 พื้นเอียงสลายพลังงานคลื่น	59
ภาพที่ 3-36 ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์การทดลองเรื่องคลื่นในรางน้ำชลศาสตร์	60
ภาพที่ 3-37 การติดตั้งชุดพื้นแปลงทดลองในรางจำลองคลื่น	61
ภาพที่ 3-38 การติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่งแบบเข็มชี้และแบบวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า	61
ภาพที่ 3-39 การติดตั้งชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนลงในรางจำลองคลื่น	62
ภาพที่ 3-40 การป้อนน้ำเข้ารางจำลองคลื่นและการวัดค่าระดับน้ำนิ่ง	62
ภาพที่ 3-41 การปรับระยะคันชักข้อเหวี่ยง	63
ภาพที่ 3-42 การเก็บค่าความสูงคลื่นจากเครื่องมือวัดค่าความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์	63
ภาพที่ 3-43 ลักษณะการทดลองกรณีควบคุมที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำ	65
ภาพที่ 3-44 การนำต้นกล้าป่าชายเลนออกจากชุดแปลงทดลองไปล้างน้ำ	65
ภาพที่ 3-45 การแบ่งส่วนต้นกล้าแล้วนำไปอบ	65

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4-1 ลักษณะการตายของต้นกล้าป่าชายเลน	69
ภาพที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ( $\Delta\phi_L$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น	72
ภาพที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ( $\Delta\phi_M$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น	72
ภาพที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ( $\Delta\phi_U$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น	74
ภาพที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ( $\Delta\phi_{av}$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น	74
ภาพที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน ( $\Delta h_t$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น	76
ภาพที่ 4-7 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน ( $\Delta Vol$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น	76
ภาพที่ 4-8 จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน ( $N_{RL}$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น	77
ภาพที่ 4-9 น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ( $B_M$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น	78
ภาพที่ 4-10 เปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกาง ( $R_D$ ) กับความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้น ( $\frac{H}{h_t}$ )	80

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ป่าชายเลนเป็นป่าไม้ที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากทั้งในด้านระบบนิเวศน์ที่เป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตทั้งคน สัตว์ และ พืช ด้านเศรษฐกิจ เช่น การท่องเที่ยว การเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ การทำนาโกง เป็นต้น นอกจากนี้ป่าชายเลนยังเป็นเสมือนแนวป้องกันชายฝั่งตามธรรมชาติที่ช่วยผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่ง รวมไปถึงลดผลกระทบที่เกิดจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ

ป่าชายเลนมีประโยชน์อย่างมากทั้งทางตรงและทางอ้อม ทำให้พื้นที่ป่าชายเลนถูกบุกรุกเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ส่งผลให้พื้นที่ป่าชายเลนที่มีแต่เดิมในอดีตเสื่อมโทรมและลดลงเป็นจำนวนมาก จากปี พ.ศ. 2504 ถึงปี พ.ศ. 2539 พื้นที่ป่าชายเลนลดลงไปถึงประมาณ 55% การลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์บริเวณชายฝั่ง เศรษฐกิจ รวมไปถึงการกัดเซาะชายฝั่งและความสามารถในการป้องกันภัยธรรมชาติจากลมพายุและคลื่นของป่าชายเลนลดลง ส่งผลให้เริ่มมีนโยบายเพื่อฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนที่สูญเสียไปเกิดขึ้น เช่น การรณรงค์ปลูกป่าชายเลนทดแทน แต่ว่าประสิทธิผลที่ได้จากการฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนนั้นยังไม่ได้เท่าที่ควร ซึ่งอาจมีสาเหตุจากหลายส่วนไม่ว่าจากการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนที่ผิดวิธี หรือ จากปัจจัยแวดล้อมตามธรรมชาติ เช่น คลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำ แสง ความเค็ม คุณภาพดิน เป็นต้น ที่ส่งผลให้การฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนไม่มีประสิทธิผล

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีการศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลต่อการเจริญเติบโตต้นไม้ป่าชายเลนอยู่บ้าง แต่การศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านอุทกพลศาสตร์ เช่น คลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำท่วมต้น และความเค็มของน้ำ ต่อลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลนนั้นยังถือว่ามียุ่่น้อยมาก จึงเป็นที่มาและวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ คือ ต่อลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกป่าชายเลน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลน ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักมวลชีวภาพ และการตายของต้นกล้าป่าชายเลน

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน
2. ใช้เป็นข้อมูลในการเลือกพื้นที่สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการปลูกป่าชายเลนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
3. เป็นแนวทางสำหรับคิดค้นวิธีลดผลกระทบจากคลื่นต่อการปลูกต้นกล้าป่าชายเลน

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ โดยมีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

- (1) การทดลองถูกดำเนินการในรางจำลองคลื่น หน้าตัดกว้าง 60 เซนติเมตร ลึก 80 เซนติเมตร ยาว 16 เมตร พร้อมด้วยเครื่องกำเนิดคลื่น ในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์
- (2) คลื่นที่ใช้ในการศึกษาเป็นคลื่นแบบสม่ำเสมอ (Regular wave) ที่สร้างคลื่นด้วยความถี่ 60 รอบต่อนาที ระยะเวลาชักข้อเหวี่ยงของใบพัดคลื่น 120, 160 และ 200 มิลลิเมตร ความสูงของคลื่นถูกวัดด้วยเครื่องวัดความสูงคลื่นแบบวัดความต้านทาน การตั้งความถี่ของคลื่นและระยะเวลาชักข้อเหวี่ยงของใบพัดคลื่นเช่นนี้ทำให้ได้คลื่นที่มีความสูงคลื่นเท่ากับ 7.73, 10.57 และ 12.29 เซนติเมตร
- (3) ชนิดของต้นไม้อป่าชายเลนที่ใช้ในการศึกษามี 2 ชนิด คือ ต้นโกงกาง และต้นแสม
- (4) การศึกษาครั้งนี้ไม่ครอบคลุมสภาพพื้นดินในพื้นที่จริง



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับป่าชายเลน

ป่าชายเลน (Mangrove forests) เป็นป่าไม้ที่อาศัยและเจริญเติบโตอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำ หรืออ่าวที่มีน้ำทะเลท่วมถึงในช่วงที่น้ำทะเลขึ้นสูงสุดอย่างสม่ำเสมอ โดยป่าชายเลนประกอบด้วยพันธุ์พืช และสัตว์ หลากหลายชนิด ซึ่งพืชส่วนใหญ่ในป่าชายเลนเป็นพันธุ์ไม้โกงกาง (*Rhizophora*) ดังนั้น ป่าชายเลนจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ป่าโกงกาง

##### 1. ลักษณะโครงสร้างป่าชายเลน

ลักษณะโครงสร้างป่าชายเลนส่วนใหญ่เป็นป่าไม้แบบหมูไม้เบิกนำ (Pioneer) โดยมีพันธุ์ไม้แซมอยู่บริเวณนอกสุดออกจากชายฝั่งที่มีลักษณะของดินเป็นดินเลนงอกใหม่ และมีพันธุ์ไม้โกงกางอยู่บริเวณถัดเข้ามาในชายฝั่ง แต่ในส่วนพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นดินเลนแข็งเป็นเขตของพันธุ์ไม้ถั่ว ตะบูน และพังกาหัวสุม ทั้งนี้ หมูไม้เบิกนำเป็นหมูไม้ที่มีขนาดลำต้นใกล้เคียงกัน ไม่มีพื้นล่าง (Under growth) มีเรือนยอดเพียงชั้นเดียว และเป็นพันธุ์ไม้ที่ทนร่มที่ไม่สามารถเจริญเติบโตและมีชีวิตอยู่ได้ในที่ร่ม (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554)

Lugo and Snedaker (1974) ได้จำแนกป่าชายเลนตามลักษณะการไหลของน้ำ ลักษณะธรณีวิทยา ตามรูปแบบของป่าชายเลนทางตอนใต้ของรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา ดังนี้ (ภาพที่ 2-1)

1.1 เกาะป่าชายเลน (Overwash forest) เป็นเกาะขนาดเล็กที่ป่าชายเลนขึ้นครอบคลุมทั่วทั้งเกาะ เนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นและน้ำลง ทำให้ป่าชายเลนมีน้ำท่วมถึงอย่างสม่ำเสมอ

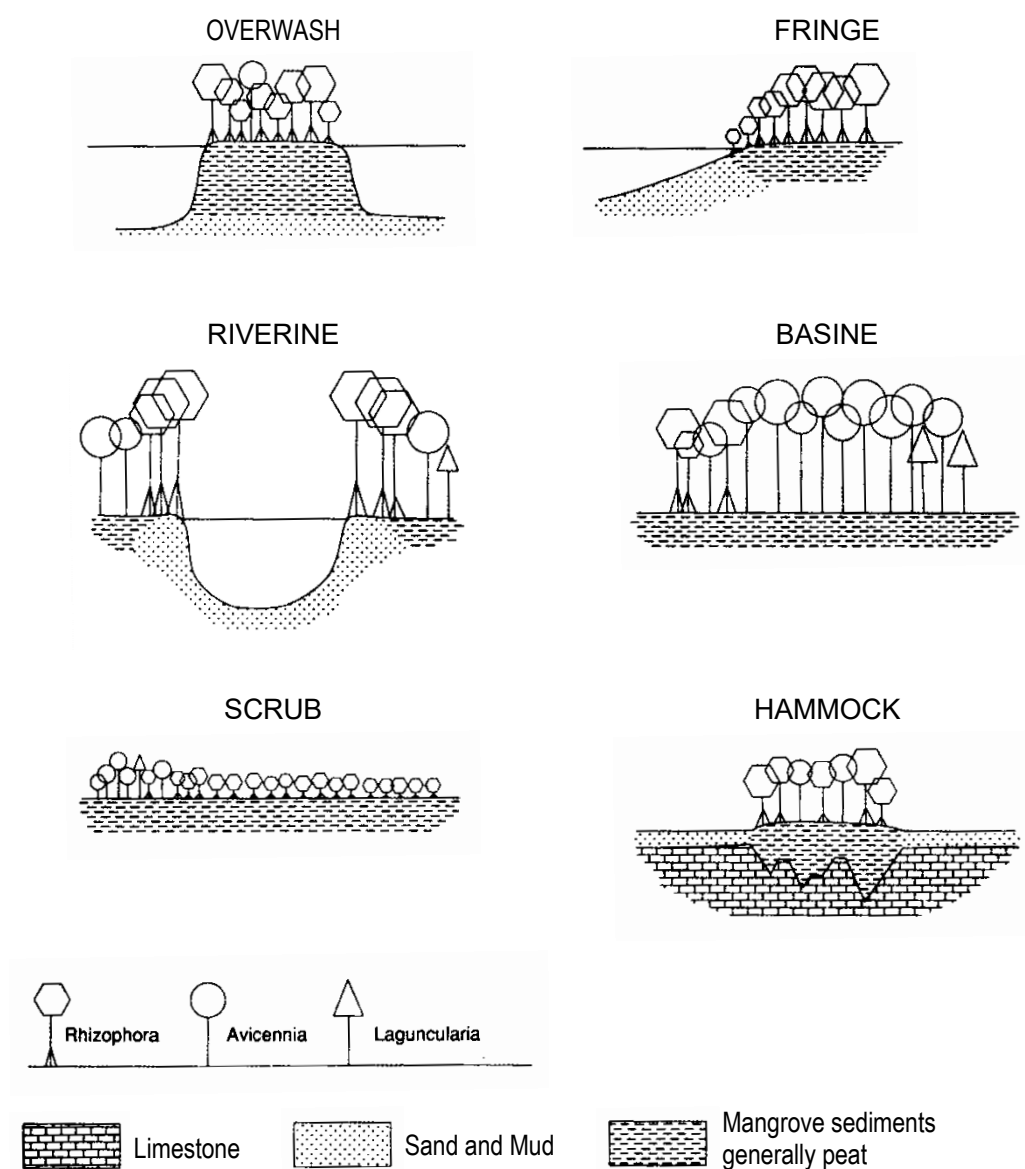
1.2 ป่าชายเลนตามขอบชายฝั่ง (Fringing forest) เป็นป่าชายเลนตามแนวชายฝั่ง และมีน้ำท่วมถึงบ่อยครั้ง เนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นและน้ำลง

1.3 ป่าชายเลนริมฝั่งแม่น้ำ (Riverine forest) เป็นป่าชายเลนที่พบตามร่องน้ำหรือริมฝั่งแม่น้ำ ได้รับน้ำจืดจากต้นน้ำอย่างสม่ำเสมอ เป็นป่าชายเลนที่มีความอุดมสมบูรณ์มาก

1.4 ป่าชายเลนในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Basin forest) เป็นป่าชายเลนที่พบได้ตามพื้นที่ชุ่มน้ำ เช่น บึง ป่าชายเลนในบริเวณนี้ส่วนใหญ่มีลักษณะเตี้ย

1.5 ป่าชายเลนบนโคกในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Hammock forest) เป็นป่าชายเลนที่มีลักษณะคล้ายกับป่าชายเลนในพื้นที่ชุ่มน้ำ แต่ต่างตรงที่พื้นที่ป่าชายเลนจะขึ้นอยู่บนโคกเนินที่สูงกว่าระดับบึง

1.6 ป่าชายเลนแคระ (Scrub or dwarf forest) เป็นป่าชายเลนที่พบตามที่ราบชายฝั่งที่มีธาตุอาหารต่ำ ต้นไม้ในป่าชายเลนแคระมีความสูงน้อยกว่า 1.50 เมตร



ภาพที่ 2-1 รูปแบบป่าชายเลน (Woodroffe, 1992)

## 2. การปรับตัวของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน

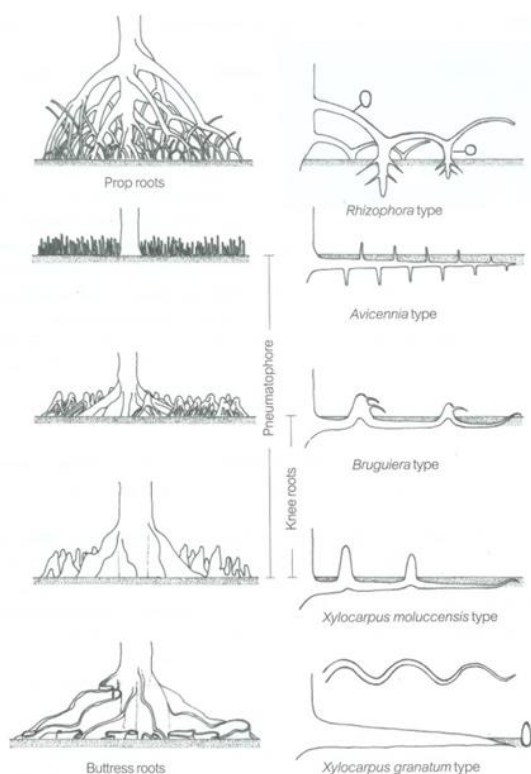
ป่าชายเลนเป็นป่าไม้ที่มีการเจริญเติบโตท่ามกลางสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เช่น ปรากฏการณ์น้ำขึ้นและน้ำลง กระแสน้ำ อุณหภูมิ แร่ธาตุ หรือออกซิเจนในน้ำ ซึ่งสภาพแวดล้อมเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการอยู่รอด และการเจริญเติบโตของต้นไม้ในป่าชายเลนทั้งสิ้น ดังนั้นป่าชายเลนจึงมีการปรับตัวเพื่อให้สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น การจัดการกับความเค็ม การหายใจ หรือแม้กระทั่งการขยายพันธุ์ เป็นต้น

การปรับตัวของป่าชายเลนที่ทำให้สามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำเค็ม โดยมีการจัดการกับปริมาณเกลือที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม 3 กลไก ประกอบด้วย 1) สามารถในการทนต่อปริมาณความเข้มข้นของเกลือในน้ำเลี้ยง (Sap) สูงกว่าพันธุ์ไม้บก 2) สามารถขับเกลือออกทางใบ (ภาพที่ 2-2) และ 3) รากของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนสามารถหลีกเลี่ยงการดูดเกลือได้ จากกลไกความสามารถในการหลีกเลี่ยงการดูดเกลือและการขับเกลือออกทางใบ สามารถแบ่งพันธุ์ไม้ป่าชายเลนออกเป็น 2 กลุ่มอย่างกว้าง ๆ กลุ่มแรกเป็นกลุ่มพันธุ์ไม้ที่สามารถขับเกลือออกทางใบได้ด้วยต่อมขับเกลือ เมื่อรากดูดน้ำที่มีเกลือเข้ามา เช่น พันธุ์ไม้สกุลแสม (Avicennia) พันธุ์ไม้สกุลเลื้อยมือนาง (Aegiceras) และพันธุ์ไม้สกุลเหงือกปลาหมา (Acanthus) กลุ่มที่สองเป็นกลุ่มพันธุ์ไม้ที่รากสามารถหลีกเลี่ยงการดูดเกลือได้ ทำให้ปริมาณเกลือที่เข้าไปในต้นน้อย เช่น พันธุ์ไม้สกุลโกงกาง (Rhizophora) พันธุ์ไม้สกุลพังกาหัวสุ่ม (Bruguiera) พันธุ์ไม้สกุลโปรง (Ceriops) และพันธุ์ไม้สกุลลำแพน (Sonneratia) (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาตี, 2554)



ภาพที่ 2-2 ลักษณะการขับเกลือออกทางใบ

การปรับตัวของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนอย่างชัดเจนประการหนึ่ง คือ มีการพัฒนาระบบราก โดยมีทั้งรากอากาศที่มีลักษณะรูปร่างพิเศษในรูปแบบที่ต่าง ๆ กัน (ภาพที่ 2-3) เพื่อให้สามารถอยู่รอดในสภาพแวดล้อมในป่าชายเลนได้ เช่น สามารถดูดธาตุอาหาร น้ำ และหายใจในดินเลนที่มีออกซิเจนต่ำ และมีรากในการพยุงลำต้นและแผ่กระจายออกไปรอบด้านในระดับตื้น เพื่อให้สามารถดำรงอยู่ในดินเลนซึ่งมีลักษณะเป็นดินอ่อนนุ่มได้ เช่น พันธุ์ไม้แสมเป็นพันธุ์ไม้ที่อาศัยอยู่บริเวณนอกสุดที่เป็นดินเลนเหลว ทำให้มีรากแบบแผ่กว้างรอบด้าน ระดับตื้น และแทงโผล่ขึ้นมาเหนือพื้นดิน ลักษณะเป็นทรงกรวยเรียวยาวเล็ก โดยเรียกรากหายใจของต้นแสมนี้ว่า นิวมมาโตพอร์ (Pneumatophores) และพันธุ์ไม้สกุลโกงกางมีรากลักษณะคล้ายสะพานโค้ง งอกออกจากด้านข้างของลำต้นส่วนล่างและปักในดิน เรียกว่า รากค้ำยัน (Still or prop roots) ส่วนพันธุ์ไม้ในสกุลพังก้าหัวส้ม (Bruguiera) และสกุลโปรง (Ceriops) มีระบบรากเป็นแบบแขนงอยู่ใต้ดินและโผล่ขึ้นมาเหนือดิน คล้ายกับรากหายใจนิวมมาโตพอร์ของพันธุ์ไม้แสม แต่มีรูปร่างคล้ายหัวเข่า (Knee roots)



ภาพที่ 2-3 ลักษณะรากไม้ของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554)

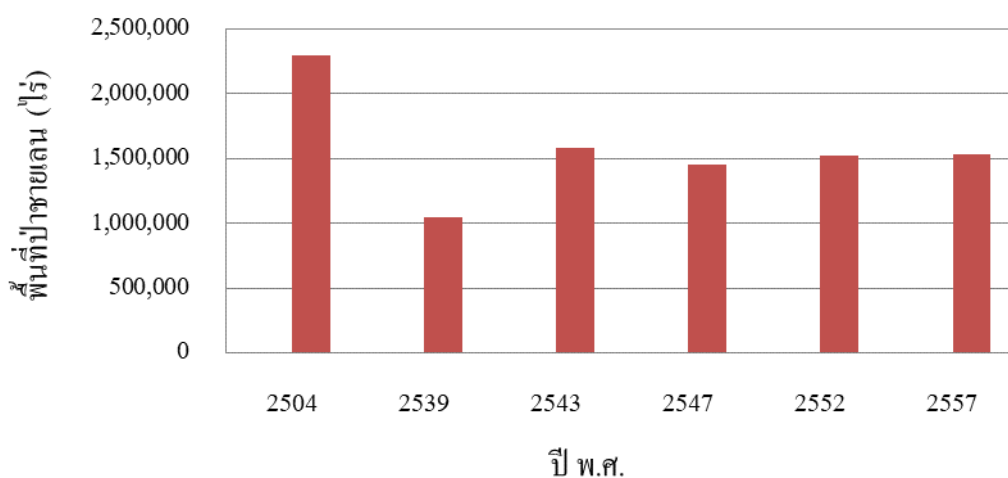
นอกจากนี้ การปรับตัวของป่าชายเลนที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การปรับตัวทางด้านการขยายพันธุ์ เช่น พันธุ์ไม้โกงกางมีการพัฒนาฝักให้งอกตั้งแต่อยู่บนต้นและมีลักษณะเป็นปลายแหลม เพื่อให้สามารถปลงบนดินเลนได้ง่ายในขณะหล่นจากต้น และพันธุ์ไม้เสมและพันธุ์ไม้ลำแพน มีการพัฒนาเมล็ดที่สามารถลอยน้ำได้และงอกตั้งแต่บนต้น เป็นต้น

### 3. ประโยชน์ของป่าชายเลน

ระบบนิเวศป่าชายเลนมีความสำคัญและคุณค่าต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสัตว์อย่างมหาศาล ทั้งทางตรงและทางอ้อม กล่าวคือ ประโยชน์ทางตรง ไม้ป่าชายเลนสามารถนำมาใช้สอยในด้านต่าง ๆ เช่น การก่อสร้าง (บ้านเรือน เสาโป๊ะ เสาเลี้ยงหอยแมลงภู่ ทำกระชัง ฯลฯ) ถ่านไม้โกงกางเป็นถ่านไม้คุณภาพดีที่สามารถให้ความร้อนสูง ไม้พินใช้สำหรับในการหุงต้มหรือดำรงชีวิตประจำวันของผู้คนที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่ง การทำหมึก/ สีย้อมอวนจากการสกัดสารแทนนินที่ได้จากเปลือกไม้ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในกระชัง และการทำนาเกลือ

ประโยชน์ทางอ้อมของป่าชายเลนแบบทางอ้อม คือ การช่วยรักษาระบบนิเวศน์และสมดุลทางธรรมชาติบริเวณชายฝั่งกับแผ่นดินและทะเล ระบบรากของป่าชายเลนสามารถช่วยกรองสิ่งของเสียหรือสิ่งปนื้อกที่ถูกร้างมาจากแหล่งที่อยู่อาศัยให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นก่อนลงสู่ทะเล นอกจากนี้ป่าชายเลนยังมีบทบาทสำคัญในการช่วยลดความรุนแรงหรือสลายพลังงานของคลื่นที่เกิดขึ้นจาก พายุหรือคลื่นสึนามิได้

การสำรวจพื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยครั้งแต่เริ่มขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2504 พบว่าพื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยมีประมาณ 2,299,375 ไร่ ซึ่งต่อมาพื้นที่ป่าชายเลนมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจากการบุกรุกพื้นที่ป่าชายเลนทั้งทำที่อยู่อาศัย ทำนาเกลือ ทำนากุ้ง ส่งผลให้พื้นที่ป่าชายเลนลดลงอย่างรวดเร็ว โดยในปี พ.ศ. 2539 พื้นที่ป่าชายเลนลดลงมากที่สุด เหลือเพียง 1,047,309 ไร่ ทำให้มีนโยบายฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2539 เช่น โครงการปลูกป่าทดแทนและการลดการบุกรุกทำลายป่า จากข้อมูลการสำรวจพื้นที่ป่าชายเลนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 ถึง ปี พ.ศ. 2557 พบว่าถึงแม้มีการรณรงค์ปลูกป่าชายเลน แต่พื้นที่ป่าชายเลนกลับเพิ่มขึ้นแค่เพียงช่วงแรกเท่านั้น โดยหลังจากปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2557 พื้นที่ป่าชายเลนมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าการฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนไม่มีประสิทธิผลเท่าที่ควร ดังแสดงในภาพที่ 2-4 (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2558) การปลูกป่าชายเลนที่ไม่มีประสิทธิผลอาจเป็นเพราะปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัย อาทิเช่น คลื่น กระแสน้ำระดับน้ำ รวมไปถึงการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนที่ผิดวิธี



ภาพที่ 2-4 พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทย พ.ศ. 2504-2557 (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2558)

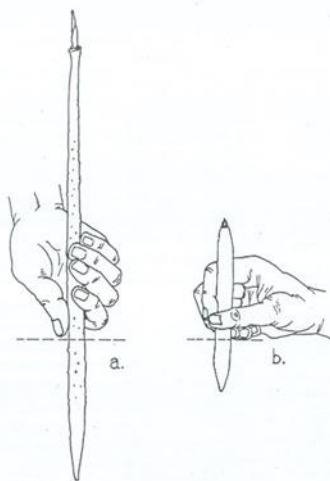
#### 4. การปลูกป่าชายเลน

พันธุ์ไม้ป่าชายเลนเป็นพันธุ์ไม้ที่มีการปรับตัวด้านการขยายพันธุ์ เพื่อให้สามารถอยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมของป่าชายเลน โดยการขยายพันธุ์หลากหลายรูปแบบ บางชนิดขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด บางชนิดขยายพันธุ์ด้วยผล และบางชนิดขยายพันธุ์ด้วยฝัก ดังนั้นหากต้องฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนด้วยการปลูกป่าชายเลน จึงจำเป็นต้องอย่างี่ที่ต้องมีการศึกษาการปลูกป่าชายเลน เพื่อให้มีประสิทธิผลในการปลูกป่าชายเลนมากยิ่งขึ้น

การปลูกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนโดยใช้ฝัก พันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ใช้ฝักในการขยายพันธุ์สามารถนำฝักไปปลูกในพื้นที่เลย ได้แก่ โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) รังกะแต้ (*Kandelia candel*) โปรงแดง (*Ceriops tagal*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) พังกาหัวสุมดอกขาว (*Bruguiera sexangula*) ถั่วขาว (*Bruguiera cylindrica*) เป็นต้น โดยแต่ละพันธุ์ไม้จะมีความยาวฝักไม่เท่ากัน สำหรับพันธุ์ไม้ที่มีขนาดฝักยาว เช่น โกงกางใบใหญ่ โกงกางใบเล็ก และโปรงแดง โดยการปลูกให้จับฝักห่างจากโคนประมาณหนึ่งส่วนสามของความยาวฝัก ใช้วิธีการจับแบบคว่ำมือให้นิ้วหัวแม่มือชี้ไปทางโคนฝัก จากนั้นปักลงดินเป็นแนวตั้งให้นิ้วหัวแม่มือสัมผัสกับดิน สำหรับพันธุ์ไม้ที่มีขนาดฝักสั้น เช่น พังกาหัวสุมดอกขาว

พังกาหัวสุ่มดอกแดง ถั่วขาว และโปรงแดง ใช้วิธีจับฝักห่างจากโคนหนึ่งในสามส่วนเช่นเดียวกับแบบฝักยาว แต่ลักษณะการจับแตกต่างกัน โดยแบบฝักสั้นใช้วิธีการจับแบบจับปากกา แล้วปักลงไปในประมาณหนึ่งในสามส่วนของความยาวฝักเช่นเดียวกับแบบฝักยาว (ภาพที่ 2-5) หากในพื้นที่ที่ปลูกมีลักษณะเป็นดินแข็งหรือดินปนทรายแน่น ควรนำร่องด้วยไม้หรืออะไรก็ได้ที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือใกล้เคียงกับฝัก เพื่อลดการเสียดสีและการกระทบกระเทือนระหว่างฝักกับผิวดิน และเพื่อป้องกันการโยกโคนของฝัก จากแรงกระทำของคลื่นหรือลม ควรกดดินบริเวณรอบโคนหลุมให้แน่นหลังจากนำฝักลงหลุมเรียบร้อยแล้ว

การปลูกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนโดยการใช้เมล็ดนั้นไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากเมล็ดของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนนั้นถูกพัดพาไปตามกระแสน้ำได้ง่าย พันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ขยายพันธุ์โดยการใช้เมล็ด จึงควรนำเมล็ดไปเพาะชำ เพื่อเตรียมกล้าไม้ให้แข็งแรงก่อนนำไปปลูกในพื้นที่จริง พันธุ์ไม้ที่ขยายพันธุ์โดยการใช้เมล็ด ได้แก่ ตะบูนขาว (*Xylocarpus granatum*) ตะบูนดำ (*Xylocarpus moluccensis*) แสมขาว (*Avicennia alba*) แสมทะเล (*Avicennia marina*) เป็นต้น



ภาพที่ 2-5 วิธีการปลูกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนโดยการใช้ฝัก (a) กรณีฝักมีขนาดยาว (b) กรณีฝักมีขนาดสั้น (สนิท อักษรแก้ว, สนใจ หะวานนท์ และชาติรี มากนวล, 2539)

การเพาะชำต้นกล้าป่าชายเลนก่อนนำไปปลูกในพื้นที่จริง เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก ในปัจจุบัน เนื่องจากการเพาะชำต้นกล้าก่อนไปปลูกมีโอกาสรอดตายมากกว่าการปลูกด้วยเมล็ด หรือฝักที่ไม่ได้เพาะชำ อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการถูกทำลายจากลิงแสมหรือปูแสมได้ สนิท อักษรแก้ว, สนใจ หะวานนท์ และชาติรี มากนวล (2539) มีเทคนิคการเพาะชำต้นกล้าพันธุ์ไม้ป่าชายเลนนั้นจะเพาะชำในโรงเพาะชำที่มีตาข่ายพรางแสงประมาณ 50% ถึง 70% ใช้ดินเลนผสมกับแกลบเผา โดยตัวแกลบเผาช่วยเก็บความชื้นในดินไว้ได้นานขึ้น หรือทรายผสมดินเลนหรือใช้ทรายล้วนก็ได้ การรดน้ำให้ใช้น้ำกร่อยรดอย่างสม่ำเสมอหรือทำแปลงเพาะชำใกล้กับบริเวณที่มีน้ำทะเลท่วมถึง การเพาะชำต้นกล้าด้วยฝักควรเลือกฝักที่เหมาะสมในการเพาะชำ เช่น ฝักของโกงกางควรเป็นฝักที่แก่จัดใกล้แตกใบอ่อน และต้องเป็นฝักที่สมบูรณ์ไม่ได้ถูกรบกวนจากแมลงหรือมอดเจาะ การเพาะชำต้นกล้าจากเมล็ดส่วนใหญ่ใช้เมล็ดแก่ที่หล่นจากต้นและเลือกเมล็ดที่สมบูรณ์มาเพาะชำ

### 5. ปัจจัยแวดล้อมในป่าชายเลน

ปัจจัยแวดล้อมของป่าชายเลนนั้นมีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ในป่าชายเลน ความแตกต่างของโครงสร้างป่าชายเลนไม่ว่าเป็นชนิด และการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้หรือสัตว์ก็ตามเป็นผลมาจากอิทธิพลของปัจจัยแวดล้อมทั้งสิ้น ปัจจัยแวดล้อมในป่าชายเลนที่สำคัญประกอบด้วย ดิน ความเค็มของน้ำ ภูมิอากาศ น้ำขึ้น-น้ำลง คลื่น และกระแสน้ำ

ดินป่าชายเลนส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่ไหลมาจากแหล่งที่มาต่าง ๆ เช่น จากแม่น้ำ หรือแผ่นดิน ลักษณะของดินที่มาทับถมบริเวณชายฝั่งและป่าชายเลนนั้นจะมีลักษณะแตกต่างกัน ตามแหล่งกำเนิดของตะกอนนั้น ๆ เช่น ถ้าตะกอนมาจากแม่น้ำลำคลองอาจจะเป็นดินโคลนละเอียด หรือดินที่มาจากชายฝั่งอาจจะเป็นทรายส่วนมาก นอกจากนี้ดินยังเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโต ชนิด และการกระจายของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน ซึ่งดินในป่าชายเลนส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินที่มีการระบายน้ำต่ำ เค็ม และมีออกซิเจนต่ำ

ความเค็มของน้ำ (Water salinity) และความเค็มของน้ำในดิน (Soil water salinity) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การรอดตาย และการกระจายของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน พันธุ์ไม้ป่าชายเลนสามารถแบ่งกลุ่มตามความทนทานต่อความเค็มได้ 2 กลุ่ม กลุ่มแรก เป็นกลุ่มพันธุ์ไม้ที่มีช่วงความทนทานต่อความเค็มกว้าง (0 ถึง 80‰) เช่น โกงกางทะเล (*Rhizophora stylosa*) และกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มพันธุ์ไม้ที่มีช่วงทนทานต่อความเค็มแคบ (<40‰) เช่น โกงกางใบใหญ่ พังกาหัวสุมดอกขาว ลำพู ตะบูนขาว และฝาดดอกแดง เป็นต้น แต่พันธุ์ไม้ป่าชายเลนบางชนิด เช่น พังกาหัว



สุมดอกขาว จำกัดการกระจายในพื้นที่ที่มีความเค็มต่ำกว่า 33‰ พันธุ์ไม้ป่าชายเลนส่วนใหญ่สามารถอยู่ในที่มีความเค็มสูงกว่าความเค็มเฉลี่ยในรอบปีเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และ รุ่งสุริยา บัวสาตี, 2554)

ปัจจัยทางด้านภูมิอากาศต่อการเจริญเติบโตของพืชในป่าชายเลนไม่ว่าจะเป็นปัจจัยจากฝนหรือแสงแดดล้วนมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน ปริมาณน้ำฝน และระยะเวลาที่ฝนตก เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ โครงสร้างหมูไม้ และการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน เช่น โครงสร้างป่าชายเลนในบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยหรือในพื้นที่แห้งแล้งจะมีลักษณะโครงสร้างป่าชายเลนที่ซับซ้อนน้อยกว่าโครงสร้างป่าชายเลนในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมาก โดยหมูไม้จะมีความหนาแน่นสูง (จำนวนต้นต่อพื้นที่สูง) แต่หมูไม้จะเตี้ยมีพื้นที่หน้าตัดรวมต่ำ ชีวะมวลต่ำ และจำนวนชนิดพันธุ์ไม้ต่ำ ในส่วนปัจจัยเรื่องแสงเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชสีเขียว และมีบทบาทสำคัญต่ออัตราการรอดตาย การเจริญเติบโตของกล้าไม้ โดยเฉพาะพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่เป็นไม้ไม่ทนร่ม เช่น โกงกางใบเล็ก โกงกางใบใหญ่ และแสม เป็นต้น

ปัจจัยแวดล้อมเนื่องจากน้ำขึ้นและน้ำลงเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการแบ่งเขตของพันธุ์ไม้ เนื่องจากการเกิดน้ำขึ้นน้ำลงมีผลต่อการท่วมของน้ำในพื้นที่และระยะเวลาในการท่วมของป่าชายเลนที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มของน้ำ นอกจากนี้ระยะเวลาการขึ้นลงของน้ำทะเลยังส่งผลกับความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลนอีกด้วย เช่น บริเวณป่าชายเลนที่มีลักษณะน้ำขึ้นและน้ำลงวันละครั้งหรือเรียกว่าแบบน้ำเตี้ย (Diurnal tide) จะมีความสมบูรณ์ของป่าแตกต่างจากป่าชายเลนที่มีลักษณะน้ำขึ้นน้ำลงแบบวันละสองครั้ง หรือน้ำคู่ (Semi-diurnal tide) และบริเวณที่มีน้ำขึ้นน้ำลงแบบผสม (Mixed tide)

ปัจจัยแวดล้อมเนื่องจากคลื่น และกระแสน้ำ คลื่นและกระแสน้ำเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้าง และกิจกรรมในระบบนิเวศป่าชายเลน เช่น การกัดเซาะพื้นที่ชายฝั่งเนื่องจากคลื่นที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่อาศัยของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน การช่วยแพร่กระจายของพันธุ์ไม้และการช่วยพัดพาธาตุอาหารจากป่าชายเลนออกสู่ชายฝั่งทะเลของกระแสน้ำ เป็นต้น นอกจากนี้จากการไปศึกษาและสัมภาษณ์ผู้มีความรู้ในพื้นที่ป่าชายเลน ผู้วิจัยพบว่า คลื่น กระแสน้ำ และระดับน้ำนอกจากมีผลต่อการกัดเซาะดินบริเวณชายฝั่ง การพัดพาธาตุอาหาร การแพร่กระจายของพันธุ์ไม้ และการตกตะกอนบริเวณชายฝั่ง ยังส่งผลในเรื่องของการเจริญเติบโตของต้นกล้า

ป่าชายเลนไม่มากนัก ซึ่งในการศึกษาที่เกี่ยวกับผลกระทบของคลื่น กระแสน้ำ และระดับน้ำท่วม ต้นที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตหรือการตายของต้นกล้าป่าชายเลนในปัจจุบันนี้มีข้อมูลอยู่ไม่มาก ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาผลกระทบของคลื่น กระแสน้ำ และระดับน้ำท่วมต้นต่อ ลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลน เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาการปลูกป่าชายเลนให้มีประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น

## 2.2 ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์

ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการตายหรือการเจริญเติบโตของต้นกล้าป่าชายเลน ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ที่สนใจในงานวิจัยนี้ คือ น้ำขึ้นและน้ำลง คลื่น และ กระแสน้ำ (สุวัจน์ ธัญรส, 2550)

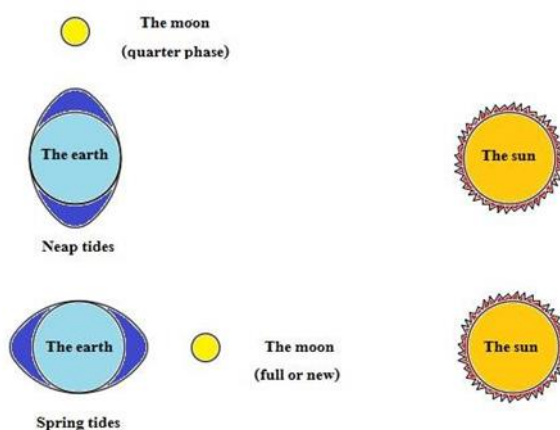
### 1. น้ำขึ้นและน้ำลง (Tide)

น้ำขึ้นและน้ำลงเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติ ที่เกิดจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์และแรงดึงดูดของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อโลก ส่งผลให้ระดับน้ำทะเลมีการเพิ่มขึ้นและลดลง ดวงจันทร์เป็นตัวการที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปรากฏการณ์น้ำขึ้นและน้ำลงอย่างมาก โดยดวงจันทร์จะกระทำแรงดึงดูดต่อโลกในขณะที่โคจรรอบ ๆ แรงที่ดวงจันทร์กระทำต่อโลกมีอยู่ด้วยกัน 2 แรง คือ แรงเหวี่ยง (Centrifugal force; FC) เกิดจากการหมุนรอบมวลที่เป็นจุดศูนย์กลาง และแรงดึงดูด (Gravitation force of attraction; FG) ระหว่างโลกและดวงจันทร์ที่กระทำต่อต้านแรงเหวี่ยงเพื่อรักษาให้คงที่ นอกจากอิทธิพลของดวงจันทร์ก็มีอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ด้วย ช่วงเวลาที่เกิดน้ำขึ้นสูงสุดหรือที่เรียกกันว่า น้ำเกิด (Spring tide) เกิดเมื่อโลกดวงอาทิตย์ และดวงจันทร์โคจรมาอยู่ในแนวเดียวกัน และช่วงเวลาที่น้ำลงสูงสุดหรือที่เรียกกันว่า น้ำตาย (Neap tide) เกิดขึ้นเมื่อโลก ดวงอาทิตย์ และดวงจันทร์โคจรอยู่คนละแนวเดียวกันและจะเกิดน้ำลงสูงที่สุดเมื่อโลก ดวงอาทิตย์ และดวงจันทร์โคจรมาตั้งฉากซึ่งกันและกัน (ภาพที่ 2-6) รูปแบบการขึ้นลงของน้ำ (Tide patterns) การเกิดน้ำขึ้นและน้ำลงบนโลกมีความแตกต่างกัน การขึ้นลงของน้ำจะปรากฏขึ้นชัดเจนในเขตน้้ำตื้นแนวชายฝั่ง ระยะความสูงระหว่างน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุดจะแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ทั่วโลก ซึ่งได้แบ่งรูปแบบการขึ้นลงของน้ำออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่

1.1 Diurnal tide pattern มีลักษณะการขึ้นลงของน้ำ 2 ครั้งต่อวัน โดยมีน้ำขึ้น 1 ครั้ง และน้ำลง 1 ครั้ง รอบน้ำขึ้น-น้ำลง ใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมง 50 นาที

1.2 Semidiurnal tide pattern มีลักษณะการขึ้นลง 4 ครั้งต่อวัน โดยมีน้ำขึ้น 2 ครั้ง และ น้ำลง 2 ครั้ง รอบน้ำขึ้น-น้ำลง จะใช้ระยะเวลา 12 ชั่วโมง 25 นาที

1.3 Mixed tide pattern บางพื้นที่มีลักษณะการขึ้นลง 4 ครั้งต่อวัน โดยมีน้ำขึ้น 2 ครั้ง และน้ำลง 2 ครั้ง แต่ระดับความสูงของน้ำระหว่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ไม่เท่ากัน



ภาพที่ 2-6 การเกิดน้ำเกิด (Spring tides) และน้ำตาย (Neap tides)

## 2. คลื่น (Wave)

คลื่นเกิดจากแรงสร้าง (Generating force) และแรงกู่กลับ (Restoring force) กระทำต่อผิวน้ำ แรงสร้างเป็นแรงกระทำที่เกิดจากกระแสลมพัด วัตถุที่เคลื่อนที่ลงในน้ำ ภูเขาไฟระเบิด และแผ่นดินไหวใต้ทะเล เป็นต้น แรงเหล่านี้จะทำให้เกิดคลื่นบนผิวน้ำจากนั้นก็เคลื่อนที่ออกไปจากจุดเดิม ส่วนแรงกู่กลับที่กระทำให้เกิดคลื่นในน้ำเกิดจากความแตกต่างกันของแรงตึงผิว (Surface tension) และความถ่วงจำเพาะ(Gravity) คลื่นที่เกิดขึ้นในน้ำส่วนใหญ่เกิดจากแรงสร้าง คือ ลมพัดเหนือผิวน้ำ การสัมผัสกันระหว่างกระแสลมกับผิวน้ำทำให้เกิดคลื่นที่เรียกว่า ชิปเปิลส์ (Ripples) หรือ คาปิลลารี เวฟ (Capillary wave) และมีแรงกู่กลับเป็นตัวเสริม คือ แรงตึงผิว พื้นที่ขนาดเล็กของคาปิลลารี เวฟสามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งบนผิวน้ำได้อย่างรวดเร็ว เมื่อมีพลังงานถูกถ่ายทอดลงสู่มวลน้ำมากคลื่นก็ยังมีขนาดใหญ่ขึ้น ผิวน้ำก็มีความปั่นป่วนมากขึ้น คลื่นประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ (ภาพที่ 2-7)

2.1 จุดสูงสุดของคลื่น เรียกว่า ยอดคลื่น (Crest)

2.2 จุดต่ำสุดของคลื่น เรียกว่า ท้องคลื่น (Trough)

2.3 ระยะทางในแนวราบระหว่างยอดคลื่น 2 ลูก หรือท้องคลื่น 2 ลูก เรียกว่า ความยาวคลื่น (Wavelength;  $L$ ) หน่วยเป็นเมตร

2.4 ระยะทางในแนวตั้งจากยอดคลื่นถึงท้องคลื่น เรียก ความสูงคลื่น (Wave height;  $H$ )

2.5 ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของคลื่น 1 ลูก หรือ 1 ความยาวคลื่นผ่านจุดที่กำหนด เรียกว่า คาบคลื่น (Wave period;  $T$ ) มักจะวัดเป็นหน่วยวินาที/รอบ (รอบ = 1 Wavelength)

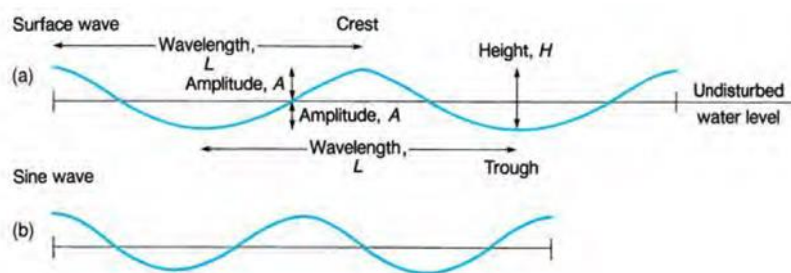
2.6 ความเร็วคลื่น (Wave speed;  $C$ ) หน่วยเป็นเมตร/วินาที สามารถหาได้จาก  $C=LT$

2.7 ระยะทางในแนวตั้งระหว่างยอดคลื่น หรือท้องคลื่นถึงจุด Equilibrium surface เรียกว่า Wave amplitude ( $a$ ) หรือมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความสูงคลื่น (Wave height)  $a=H/2$

2.8 จำนวนความยาวคลื่น (Wavelength) ผ่านจุดที่กำหนดต่อหน่วยเวลา เรียกว่า ความถี่ของคลื่น (Wave frequency;  $W$ ) ความถี่ของคลื่นจะวัดเป็น รอบ/วินาที  $W=2\pi/T$

2.9 อนุภาคน้ำ (Partical) จะเคลื่อนที่หมุนเป็นวงกลมตามผิวหน้า ด้วยความเร็ว เรียกว่า Velocity ( $V$ )

2.10 ความชัน (Stepness;  $S$ ) เป็นอัตราส่วนระหว่างความสูงคลื่นกับความยาวคลื่น  $S=\pi H/L$



ภาพที่ 2-7 องค์ประกอบของคลื่น (Duxbury & Duxbury, 1997)

### 3. กระแสน้ำ (Current)

กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งนั้นเกิดมาจากลม การไหลหลากมาจากแม่น้ำในช่วงฤดูฝน และน้ำขึ้น-น้ำลง แต่กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งที่พบเห็นโดยทั่ว ๆ ไปและมีบทบาทสำคัญมักเกิดจากการแตกตัวของคลื่นที่เคลื่อนที่ท่ามมูเอียงเข้าหาแนวชายฝั่ง กระแสน้ำเลียบฝั่ง และแรงจากการกระทำจากคลื่นเป็นปัจจัยสำคัญในการเคลื่อนที่ของตะกอนหรือทรายบริเวณชายฝั่ง ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งที่ทำให้พื้นที่ป่าชายเลนลดลง กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งนั้นมีอยู่ 3 ประเภทด้วยกัน คือ หนึ่งกระแสน้ำเรียบชายฝั่ง (Longshore current) เป็นกระแสน้ำที่เคลื่อนที่ขนานกับแนวชายฝั่ง เกิดขึ้นเมื่อคลื่นน้ำเคลื่อนที่ท่ามมูเอียงเข้าสู่แนวชายฝั่ง และความไม่สม่ำเสมอของความสูงคลื่นที่แตกตามแนวชายฝั่งจากกระบวนการหักเหหรือการเลี้ยวเบนของคลื่นในน้ำตื้น สองกระแสน้ำขวางฝั่ง (Cross-shore current) กระแสน้ำขวางฝั่งจะเป็นกระแสน้ำที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งฉาก และสามกระแสน้ำย้อนกลับ (Rip current) เป็นกระแสน้ำที่พัดในแนวตั้งฉากกับแนวชายฝั่งคล้าย ๆ กับกระแสน้ำขวางฝั่ง โดยเกิดจากการที่น้ำทะเลถูกอุปสรรคได้น้ำปิดกั้นไว้ไม่ไห้ไหลกลับคืนท้องทะเลได้สะดวก หรือเกิดจากการที่น้ำไหลมาปะทะแนวชายฝั่งแล้วไหลย้อนกลับออกไปในทะเล อุปสรรค เช่น แนวหิน แนวปะการัง หรือสันทรายที่อยู่ใต้น้ำแนวหินหรือแนวปะการังมักจะอยู่คงที่

### 2.3 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

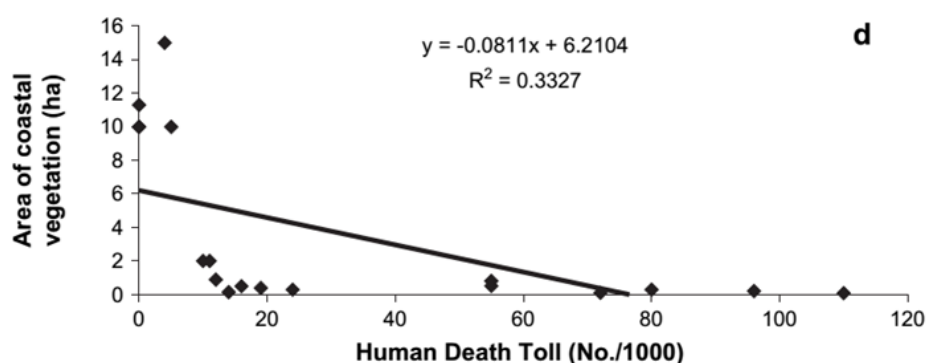
การศึกษานี้ได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับป่าชายเลนในหลายส่วน ๆ ด้วยกันไม่ว่าจะเป็นเรื่องผลกระทบจากคลื่นสึนามิ การป้องกันคลื่นหรือการลดทอนคลื่นมีทั้งในส่วนของงานวิจัยใน

ห้องปฏิบัติการ แบบจำลองและภาคสนาม รวมไปถึงปัจจัยที่มีผลต่อการรอดหรือรอดตาย การเจริญเติบโตของป่าชายเลน เช่น แสง ระดับน้ำทะเล ความเค็ม เป็นต้น

### 1. งานวิจัยเรื่องการลดทอนคลื่นในป่าชายเลน

พื้นที่ป่าชายเลนในปัจจุบันนั้นเมื่อเทียบกับอดีตมีการลดลงเป็นอย่างมาก สาเหตุของการลดลงของป่าชายเลนนั้นมีด้วยกันหลายสาเหตุไม่ว่าจะเป็นด้วยฝีมือของมนุษย์ เช่น การบุกรุกทำลายป่า การทำนาเกลือ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นต้น การลดลงเนื่องจากธรรมชาติ เช่น ภัยแล้ง พายุ หรือ สึนามิ ในปี พ.ศ. 2547 ได้เกิดคลื่นสึนามิขึ้นในมหาสมุทรอินเดียสร้างความเสียหายต่อทรัพย์สินและประชาชนเป็นอย่างมาก นอกจากนี้พื้นที่ป่าชายเลนเองก็ถูกทำลายไปจำนวนมากด้วยเช่นกัน คณะวิจัยของ Yanakisawa et al. (2009) ได้ศึกษาผลกระทบจากคลื่นสึนามิในมหาสมุทรอินเดียต่อป่าชายเลน บริเวณแหลมปะการังจังหวัดพังงาประเทศไทยปี พ.ศ. 2547 โดยได้ทำการเปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศทั้งก่อน และหลังเกิดคลื่นสึนามิพบว่า 70% ของป่าชายเลนถูกทำลายโดยคลื่นสึนามิ การสำรวจภาคสนามพบว่า อัตราการรอดตายของป่าชายเลนเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของลำต้นเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 72% ของต้นโกงกางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ถึง 30 เซนติเมตร รอดตายจากคลื่นสึนามิ ในขณะที่ต้นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ถึง 20 เซนติเมตร รอดตายเพียง 19% และได้จำลองคลื่นสึนามิโดยใช้ทฤษฎีคลื่นน้ำตื้นแบบไม่สม่ำเสมอเพื่อจำลองเหตุการณ์คลื่นสึนามิการเกิดน้ำท่วมที่ไหลเข้าไปในแผ่นดิน เพื่อศึกษาโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อต้นโกงกาง ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บ่งบอกว่า คลื่นสึนามิท่วมพื้นที่ตามแนวอ่าวที่มีต้นโกงกางมีความเร็วกระแสน้ำมากถึง 5 เมตรต่อวินาที แบบจำลองยังแสดงให้เห็นว่า ป่าชายเลนที่เป็นต้นโกงกางด้วยความหนาแน่น 0.2 ต้นต่อตารางเมตร ความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 15 เซนติเมตร และความกว้างของป่าชายเลน 400 เมตร สามารถลดการท่วมจากระดับความลึกของคลื่นสึนามิที่ 3 เมตรได้ 30% แต่ 50% ของต้นไม้ป่าชายเลนถูกทำลายด้วยคลื่นสึนามิที่มีระดับความลึกตั้งแต่ 4.5 เมตร และเกือบทั้งหมดของป่าชายเลนถูกทำลายโดยระดับความลึกของคลื่นสึนามิที่เกิน 6 เมตร นอกจากนี้ยังมีกลุ่มนักวิจัย Kathiresan and Rajendran (2005) ได้ศึกษาจำนวนผู้เสียชีวิตของผู้นอนในชุมชนตามแนวชายฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศอินเดียที่ได้รับผลจากคลื่นสึนามิ ซึ่งเกิดจากแผ่นดินไหวใต้ทะเลขนาดใหญ่วัดได้ 9.3 ริคเตอร์ ทำให้มวลน้ำขนาดใหญ่ของมหาสมุทรอินเดียเคลื่อนที่ทำให้เกิดคลื่นแพร่กระจายไปในทุกทิศทาง โดยคลื่นเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 800 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และคลื่นขนาดมหึมานี้ได้คร่าชีวิตผู้คนไปมากกว่า 200,000 คน และส่งผลให้เกิดการสูญเสียเงินกว่า 6 พันล้าน

ดอลลาร์สหรัฐใน 13 ประเทศ โดยผู้ทำการวิจัยได้ทำการศึกษาในระยะทางประมาณ 25 กิโลเมตร ตามแนวชายฝั่งที่เมืองพารังจีเพ็ตไต (Parangipettai) จังหวัดทามิลนาดู (Tamil Nadu) ประเทศอินเดีย ซึ่งประกอบไปด้วย ชุมชนชาวประมงทั้งหมด 18 หมู่บ้าน โดยพื้นที่ตั้งส่วนใหญ่ของชุมชนอยู่ห่างจากแนวชายฝั่งในช่วง 0.1 ถึง 2.5 กิโลเมตร และค่าระดับของพื้นดินบริเวณชุมชนเหล่านี้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 4 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผล

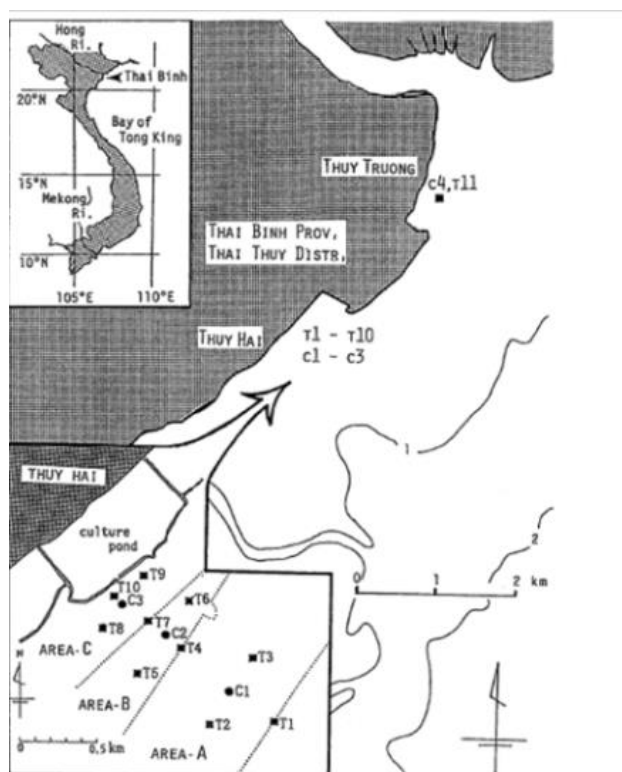


ภาพที่ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างยอดผู้เสียชีวิตหลังจากเกิดสึนามิในวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 กับ พื้นที่ของต้นไม้ชายฝั่งทะเล (Kathiresan & Rajendran 2005)

ภาพที่ 2-8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณชายฝั่งมีมากขึ้นยอดผู้เสียชีวิตก็จะลดลง กล่าวได้ว่าพื้นที่ป่าชายเลนเป็นเหมือนกับเกราะกำบังคลื่น และมีบทบาทสำคัญในการช่วยปกป้องทั้งชีวิตและทรัพย์สิน จากการทบทวนงานวิจัยทำให้เห็นว่าป่าชายเลนนั้นนอกจากจะเป็นระบบนิเวศที่สำคัญต่อพื้นที่ชายฝั่งแล้วยังสามารถช่วยป้องกันหรือลดทอนคลื่นและความเสียหายจากภัยธรรมชาติได้อีกด้วยส่งผลให้ผู้คนเริ่มเห็นบทบาทและประโยชน์ของป่าชายเลนมากยิ่งขึ้น และเริ่มสนใจศึกษาความสามารถในการป้องกันหรือลดทอนคลื่นของป่าชายเลนมากขึ้น Liu, Zhang, Li and Xie (2013) ได้ศึกษาความอ่อนไหวของป่าชายเลนในการลดทอนคลื่นพายุซัดฝั่ง (Storm surge) และภาวะน้ำท่วมชายฝั่งจากลักษณะพายุทางใต้ของรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา การศึกษานี้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการเปลี่ยนลักษณะความรุนแรงของพายุ เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ ความเร็วลม และทิศทางเคลื่อนที่ของพายุ จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลใน

ภาคสนาม ซึ่งผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าป่าชายเลนมีผลต่อการลดระดับน้ำท่วมบนฝั่งของพายุที่เคลื่อนที่เร็วและมีขนาดเล็กได้ดีกว่าพายุที่เคลื่อนที่ช้า และมีขนาดใหญ่

นอกจากการศึกษาการลดทอนคลื่นด้วยแบบจำลองแล้วยังมีการศึกษาการลดทอนคลื่นของป่าชายเลนโดยการศึกษาภาคสนาม Mazda, Magi, Kogo and Hong (1997) ได้ศึกษาการลดทอนคลื่นในป่าชายเลนที่มีต้นรังกะแท้ (*Kandelia candel*) ในพื้นที่ชายฝั่งทวิฮาย (Thuy Hai) และทวิจวง (Thuy Truong) ประเทศเวียดนาม พื้นที่ชายฝั่งทวิฮายปลูกต้นรังกะแท้กว้าง 1.5 กิโลเมตร ยาว 3 กิโลเมตร แบ่งพื้นที่ออกเป็นสามส่วน (ดังแสดงใน ภาพที่ 2-9) ส่วนที่หนึ่ง (Area-A) ประกอบด้วยต้นรังกะแท้อายุครึ่งปี ส่วนที่สอง (Area-B) อายุ 2 ถึง 3 ปี และส่วนที่สาม (Area-C) อายุ 5 ถึง 6 ปี แต่ในพื้นที่ชายฝั่งทวิจวงมีการปลูกต้นลำพู (*Sonneratia caseolaris*) อายุ 2 เดือน ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำ (T1 ถึง T11) 11 สถานี และติดตั้งเครื่องวัดกระแส (C1 ถึง C4) 4 สถานี



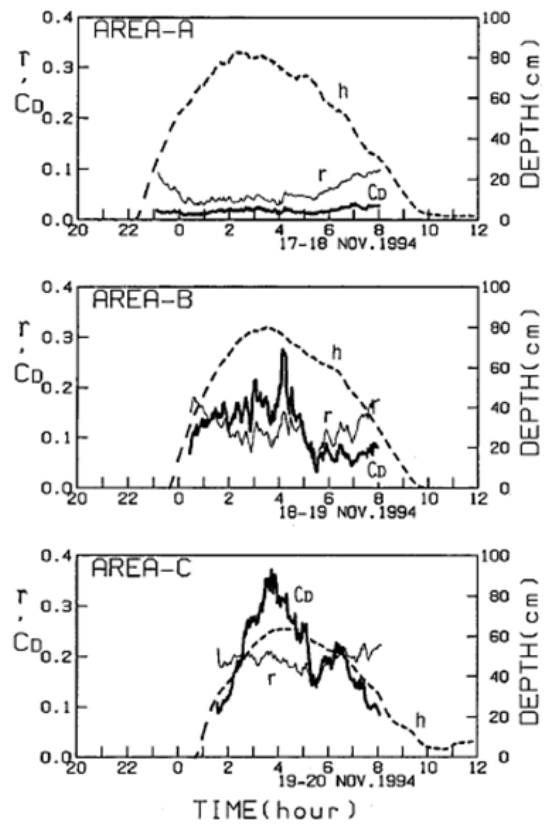
ภาพที่ 2-9 พื้นที่ชายฝั่งทวิฮายและทวิจวง (Mazda et al., 1997)



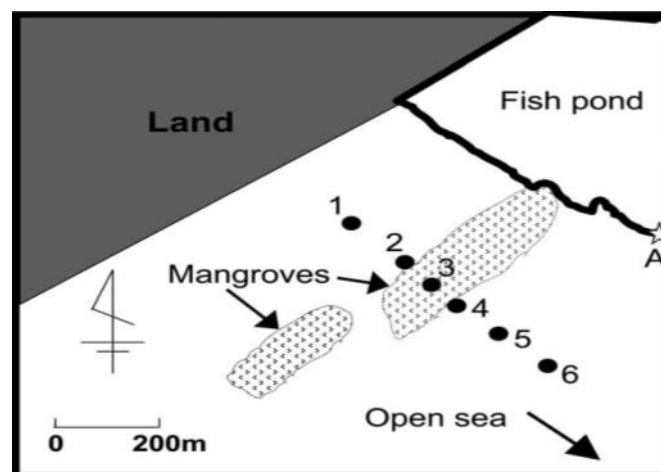
ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าในพื้นที่ชายฝั่งส่วนที่สาม (Area C) มีความสามารถในการลดทอนคลื่น ( $r$ ) ได้มากที่สุด เนื่องจากอายุของต้นรังกะแท้วที่มีอายุมาก และมีขนาดใหญ่ที่สุด (5 ถึง 6 ปี) (ดังแสดงในภาพที่ 2-10) รองลงมา คือ พื้นที่ส่วนที่สอง (Area B) และพื้นที่ส่วนที่หนึ่ง (Area A) ตามลำดับ โดยส่วนที่หนึ่งพบว่าการลดทอนคลื่นส่วนใหญ่เกิดจากแรงต้านของพื้นเพียงอย่างเดียวเท่านั้นเนื่องจากต้นไม้ป่าชายเลนในส่วนที่หนึ่งยังมีขนาดเล็กมากจึงลดทอนพลังงานคลื่นได้น้อย

นอกจากนี้ Mazda, Magi, Ikeda, Kurokawa and Asano (2006). ก็ได้ศึกษาการลดทอนคลื่นของต้นลำพู (*Sonneratia sp.*) ที่บริเวณชายฝั่งเวียดนามฮาง (Vinh Quang) ทางตอนเหนือของเวียดนามเพื่อรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณทางกายภาพของต้นลำพูในการลดทอนคลื่น ทำการศึกษาในช่วงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูมรสุมของเวียดนามโดยทำการติดตั้งเครื่องวัดคลื่น 6 สถานี (ภาพที่ 2-11) เพื่อจดบันทึกค่าความสูงของระดับน้ำ ( $h$ ) ผู้วิจัยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ การลดทอนคลื่นเนื่องจากต้นไม้ป่าชายเลน และสองการลดทอนคลื่นบริเวณที่ไม่มีป่าชายเลน ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่ไม่มีป่าชายเลนการลดทอนคลื่นเกินจากแรงต้านของพื้น (Bottom friction) โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $C_D$ ) เท่านั้น ส่วนในพื้นที่มีป่าชายเลนต้นลำพูสามารถลดทอนคลื่นได้สองส่วน คือ ส่วนที่เป็นรากหายใจ (Pneumatophores) และส่วนที่เป็นก้านและใบ (ที่ความสูง 0.6 เมตร) ของต้นลำพู (ภาพที่ 2-12) ซึ่งอัตราการลดทอนคลื่น ( $r$ ) หาได้จากสมการที่ 2-1

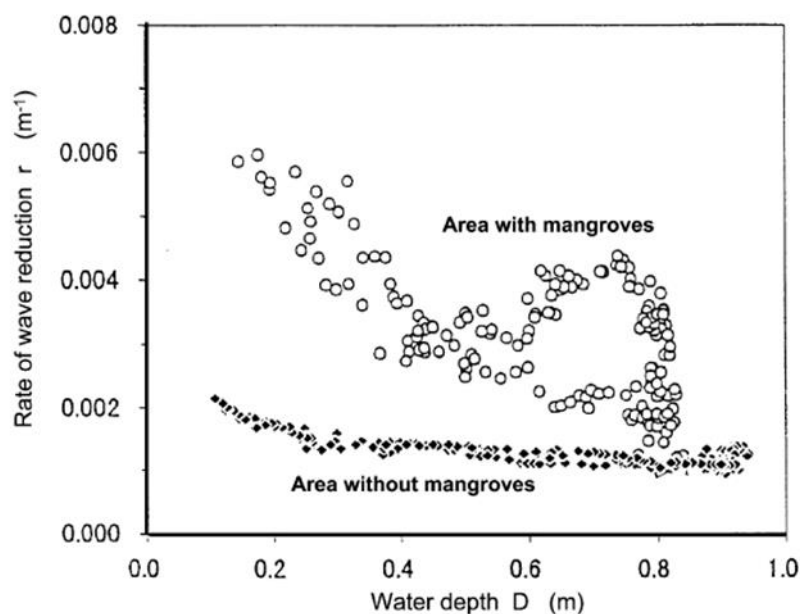
$$r = -\frac{\Delta X}{H} \frac{1}{\Delta X} \quad (2-1)$$



ภาพที่ 2-10 ความสามารถในการลดทอนคลื่นในแต่ละพื้นที่ (Mazda et al., 1997)

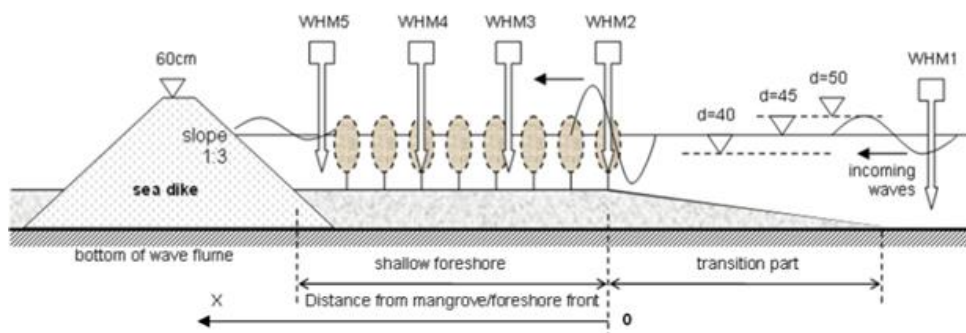


ภาพที่ 2-11 สถานที่ทำการศึกษาระยะชายฝั่งเวียงฮาง (Mazda et al. 2006)



ภาพที่ 2-12 อัตราการลดทอนคลื่น ( $r$ ) ในพื้นที่ป่าชายเลน และพื้นที่ไม่มีป่าชายเลน (Mazda et al. 2006)

ในส่วนการศึกษาการลดทอนคลื่นในห้องปฏิบัติการ Tuyen and Hung (2009) ได้ศึกษาการลดทอนคลื่นในห้องปฏิบัติการโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่มีการย่อมาตราส่วนลง (ภาพที่ 2-13) จากข้อมูลการสำรวจในภาคสนามจริงที่ประเทศเวียดนาม ผู้วิจัยได้กำหนดค่าต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดทอนคลื่น คือ ความลึกของน้ำ (Water depth) เท่ากับ 40 45 และ 50 เซนติเมตร ความยาวของด้านหน้าชายฝั่ง (Fore shore) เท่ากับ 3 และ 6 เมตร ความสูงของคลื่น เท่ากับ 5 10 12.5 15 และ 17.5 เซนติเมตร และความหนาแน่นของต้นลำพู (*Sonneratia*) ที่อายุ 2 ปี ความหนาแน่นของต้นลำพูมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบหนาแน่นมาก  $20 \times 10$  เซนติเมตร และแบบหนาแน่นน้อย  $20 \times 20$  เซนติเมตร รายละเอียดการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 2-14

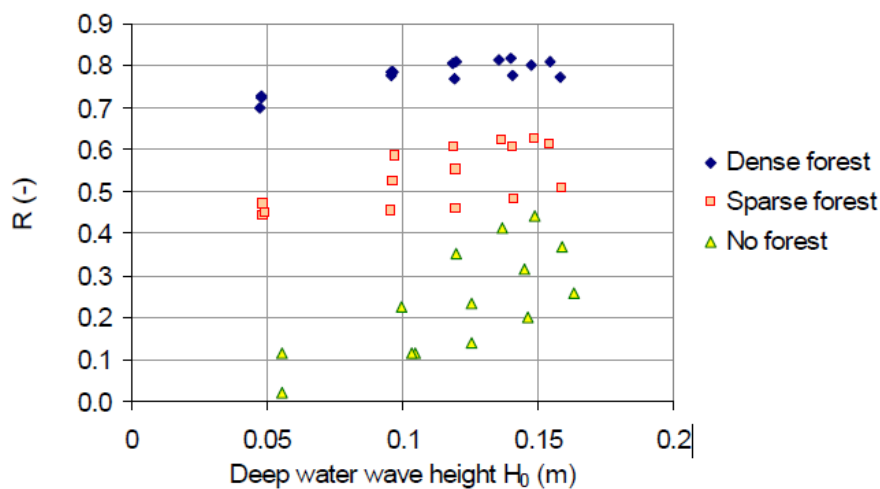


ภาพที่ 2-13 แบบจำลองทางกายภาพที่ใช้ในการศึกษา (Tuyen & Hung, 2009)

Foreshore/Forest	Water depth	Wave Height	Foreshore/Forest	Water depth	Wave Height	Foreshore/Forest	Water depth	Wave Height	Foreshore/Forest	Water depth	Wave Height												
-	(cm)	(cm)	-	(cm)	(cm)	-	(cm)	(cm)	-	(cm)	(cm)												
SHORT/Dense (20x10)	40	10	LONG/Dense (20x10)	40	5	LONG/Dense (20x10)	45	5	LONG/Dense (20x10)	50	5												
		12.5			10			10			10												
		15			12.5			12.5			12.5												
		17.5			15			15			15												
Foreshore/Forest	Water depth	Wave Height	Foreshore/Forest	Water depth	Wave Height	Foreshore/Forest	Water depth	Wave Height	Foreshore/Forest	Water depth	Wave Height												
												-	(cm)	(cm)	-	(cm)	(cm)	-	(cm)	(cm)			
												SHORT/Dense (20x10)	45	10	LONG/Sparse (20x20)	40	5	LONG/Sparse (20x20)	45	5	LONG/Sparse (20x20)	50	5
														12.5			10			10			10
15	12.5	12.5	12.5																				
17.5	15	15	15																				

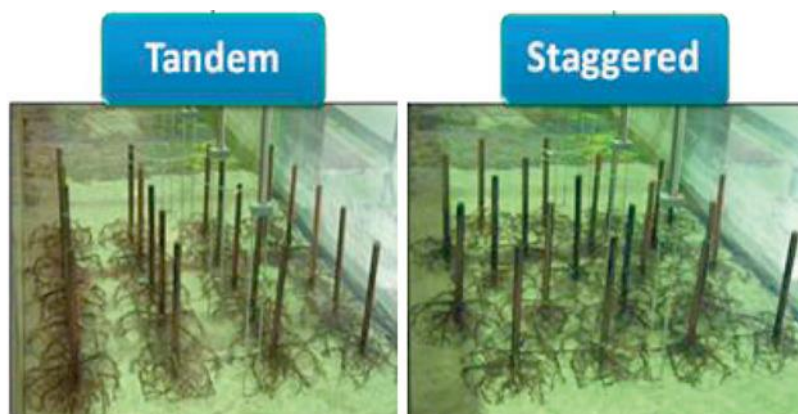
ภาพที่ 2-14 รายละเอียดการศึกษาของ Tuyen and Hung (2009)

ผลการศึกษาลดทอนคลื่นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ พบว่าปัจจัยในด้านความหนาแน่นของป่าชายเลนมีผลต่อการลดทอนคลื่นมากที่สุด โดยสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ในการลดทอนคลื่น (R) ได้จากสมการ  $R = (H_0 - H_i) / H_0$  ป่าชายเลนที่มีความหนาแน่นมากมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น 0.7 ถึง 0.8 ส่วนป่าชายเลนที่มีความหนาแน่นน้อยมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น 0.3 ถึง 0.55 และในส่วนของพื้นที่ไม่มีป่าชายเลนเป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นที่ได้จากปัจจัยทางด้านพื้นที่ด้านหน้าชายฝั่งอย่างเดียว มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นอยู่ที่ 0.4 (ภาพที่ 2-15)



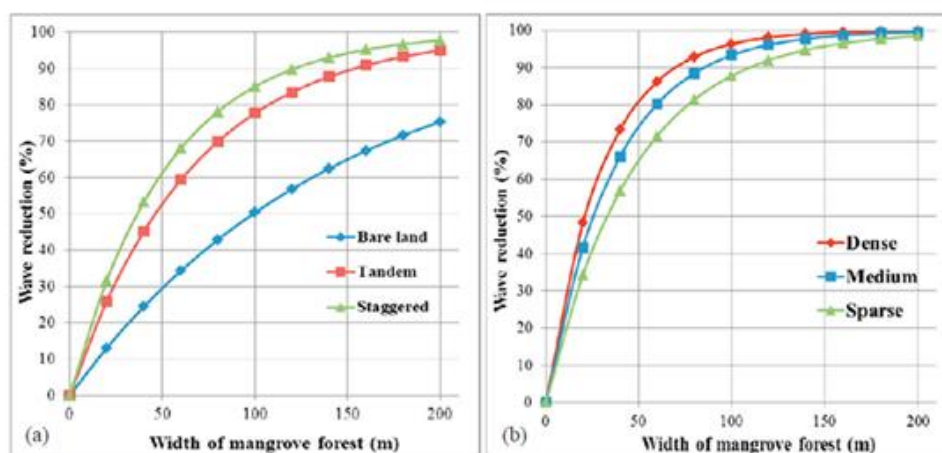
ภาพที่ 2-15 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงคลื่นกับสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น (R)  
(Tuyen & Hung, 2009)

Hashim and Catherine (2013) ศึกษาการลดทอนคลื่นเนื่องจากป่าชายเลน เพื่อหาความสามารถในการลดทอนคลื่นที่เปลี่ยนไปตามความหนาแน่น และการจัดเรียงของต้นไม้ป่าชายเลน ผู้วิจัยได้จำลองต้นโกงกางโดยการย่อขนาดต้นโกงกางอายุ 20 ปี ที่อัตราส่วนแบบจำลองต่อของจริงเท่ากับ 1 : 10 ต้นโกงกางจำลองทำจากเหล็ก และทดสอบในรางจำลองคลื่น มีการจัดเรียง 2 แบบ คือ แบบเรียงเป็นแนวเดียวกัน (Tandem) และแบบเหลื่อมกัน (Staggered) (ภาพที่ 2-16) ซึ่งแตกต่างตรงช่องว่างระหว่างต้นโกงกางจำลอง ในการศึกษาที่มีการจัดเรียงความหนาแน่น 3 แบบ คือ 11 ต้นต่อตารางเมตร (Sparse) 16 ต้นต่อตารางเมตร (Medium) และ 22 ต้นต่อตารางเมตร (Dense) ใช้ความลึกน้ำที่ 0.15 เมตร และ ความสูงคลื่นที่ 0.05 เมตรในการศึกษา



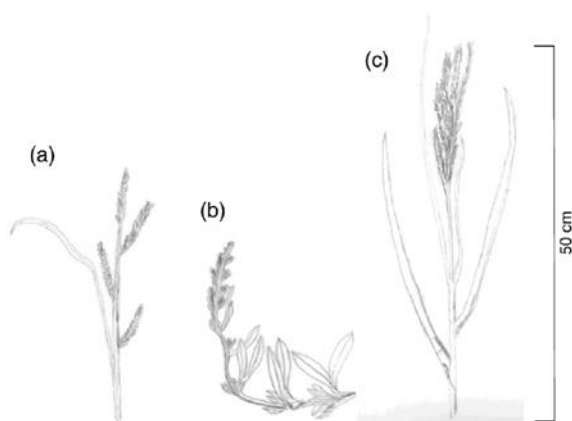
ภาพที่ 2-16 การจัดเรียงต้นโกงกางจำลองแบบแนวเดียวกัน (Tandem) และแบบเหลื่อมกัน (Staggered) (Hashim & Catherine, 2013)

ผลการศึกษาพบว่าการจัดเรียงต้นโกงกางจำลองแบบแนวเดียวกัน และแบบเหลื่อมกันนั้น มีความสามารถในการลดทอนคลื่นได้ไม่ต่างกัน แต่ความหนาแน่นมีผลต่อการลดทอนคลื่น (ภาพที่ 2-17) การจัดเรียงแบบ 22 ต้นต่อตารางเมตร (Dense) สามารถลดทอนคลื่นได้ดีที่สุดถึง 81% รองลงมาคือ 16 ต้นต่อตารางเมตร (Medium) และ 11 ต้นต่อตารางเมตร (Spares) ตามลำดับ



ภาพที่ 2-17 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของป่าชายเลนกับเปอร์เซ็นต์การลดทอนคลื่น (Hashim & Catherine, 2013)

จากการศึกษาการลดทอนคลื่นไม่ว่าจะเป็นการศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในสนาม หรือในห้องปฏิบัติการ คุณสมบัติของต้นไม้ที่มีผลต่อการลดทอนคลื่นไม่ว่าทางตรงก็ทางอ้อม คณะวิจัยของ Feagin et al. (2011) ได้มีการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยนำตัวอย่างพืช 3 ชนิด มาจากประเทศอังกฤษ และสหรัฐอเมริกา พืชสองชนิดแรก ได้แก่ สปาติมา มารีทิมา (*Spartina maritima*) และ อาทิเพลค พอตุลาคอย (*Atriplex portulacoides*) ได้รับตัวอย่างมาจากประเทศอังกฤษ ส่วนชนิดที่สาม สปาตินา อัลเทอนิฟอร่า (*Spartina alterniflora*) ได้รับตัวอย่างมาจากประเทศสหรัฐอเมริกา (ภาพที่ 2-18)



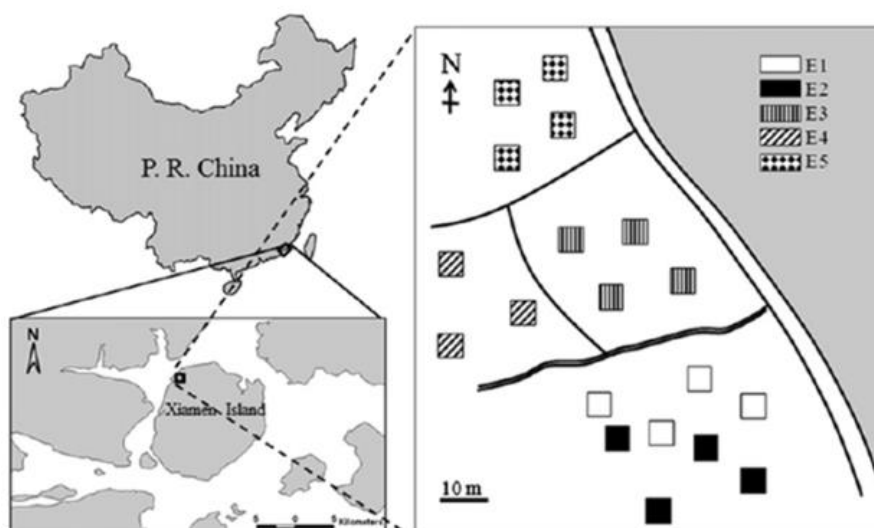
ภาพที่ 2-18 ต้นไม้ที่ใช้ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพืช (a) ต้นสปาทิมา มารีมา (b) ต้นอาทิเพลค พอตุลาคอย (c) ต้นสปาทินา อัลเทอนิฟอร่า (Feagin et al., 2011)

จากการศึกษาของ Feagin et al. (2011) พบว่า คุณสมบัติทางวิศวกรรม ได้แก่ มวล ความหนาแน่น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ระยะห่างของลำต้น ค่ามอดุลัสของยัง และค่าการโก่งตัวของพืช คุณสมบัติเหล่านี้มีผลต่อการลดทอนคลื่นในพื้นที่ชุ่มน้ำ และเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดลักษณะของพืชเหล่านี้ในการศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการศึกษาในห้องปฏิบัติการต่อไป

## 2. งานวิจัยเรื่องปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของป่าชายเลน

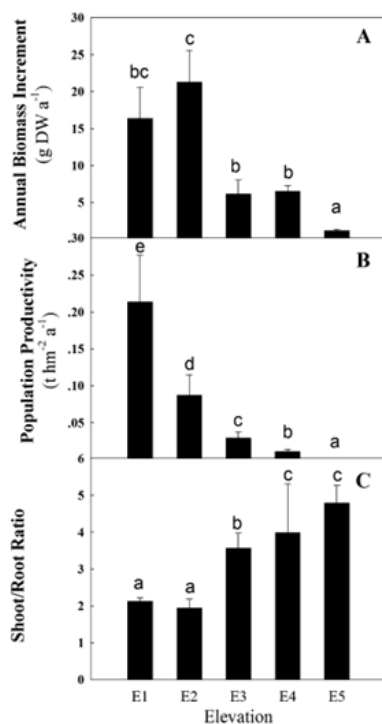
Lu, Chen, Wang, Tam and Lin (2013) ได้ศึกษาผลกระทบของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อลักษณะโครงสร้าง และการเจริญเติบโตของต้นแสมทะเล (*Avicennia marina*) โดยศึกษาทั้งในภาคสนาม และห้องทดลองกลางแจ้งที่เกาะเซี่ยเหมิน (Xiamen island) ประเทศจีน ในภาคสนามได้สำรวจ 5 พื้นที่ที่มีค่าระดับ 105 95 65 55 และ 45 เซนติเมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางจากที่สูงไปที่ต่ำ (E1 ถึง E5) (ภาพที่ 2-19) พบว่า ต้นแสมทะเลเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงจากระดับน้ำได้ดีกว่าพื้นที่ต่ำ ซึ่งเห็นได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับแต่ละพื้นที่กับจำนวนต้นไม้ที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (ภาพที่ 2-20 (B))

การศึกษผลกระทบของความลึกน้ำต่อการเจริญเติบโตของต้นแสมทะเลในห้องปฏิบัติการกลางแจ้งด้วยแท้งก์น้ำ ทำการศึกษาโดยแบ่งความลึกน้ำออกเป็น 2 ส่วน คือ ความลึกน้ำท่วมราก และความลึกน้ำท่วมต้น แบ่งคาบในการจมน้ำออกเป็น 5 คาบ คือ 0 2 4 6 และ 12 ชั่วโมง (ภาพที่ 2-21) ทำการศึกษาเป็นเวลา 100 วัน พบว่าระดับน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นแสมทะเล โดยกรณีระดับน้ำลึกท่วมต้นมีผลด้านลบมากกว่ากรณีระดับน้ำลึกท่วมราก ซึ่งดูได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาน้ำท่วมราก และท่วมต้นกับค่าชีวมวล เมื่อคาบเวลาน้ำท่วมเพิ่มขึ้นต้นไม้ที่ระดับน้ำท่วมต้นจะมีค่าชีวมวลน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 2-22)

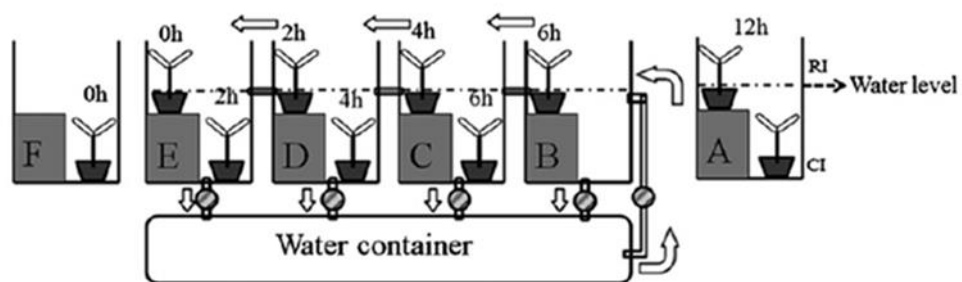


ภาพที่ 2-19 พื้นที่ศึกษาภาคสนาม E1 ถึง E5 ที่มีค่าระดับต่างกัน (Lu et al., 2013)

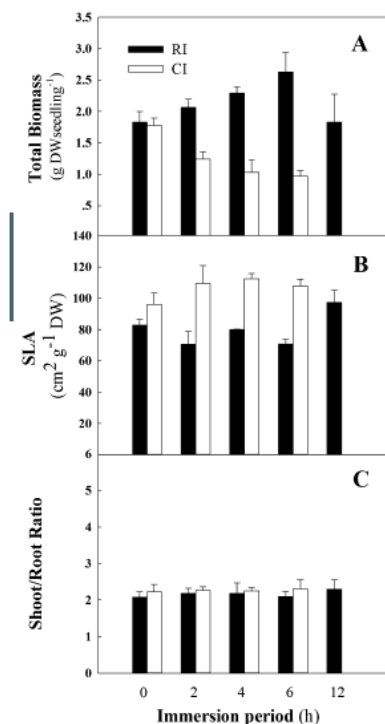




ภาพที่ 2-20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับแต่ละพื้นที่กับ A.การเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพประจำปี (a) (Annual biomass increment), B.จำนวนต้นไม้ที่เพิ่มขึ้น (b) (population productivity) และ C.อัตราส่วนของน้ำหนักของส่วนของต้นไม้วางพื้นดินกับราก (c) (Shoot/Root ratio) (Lu et al., 2013)



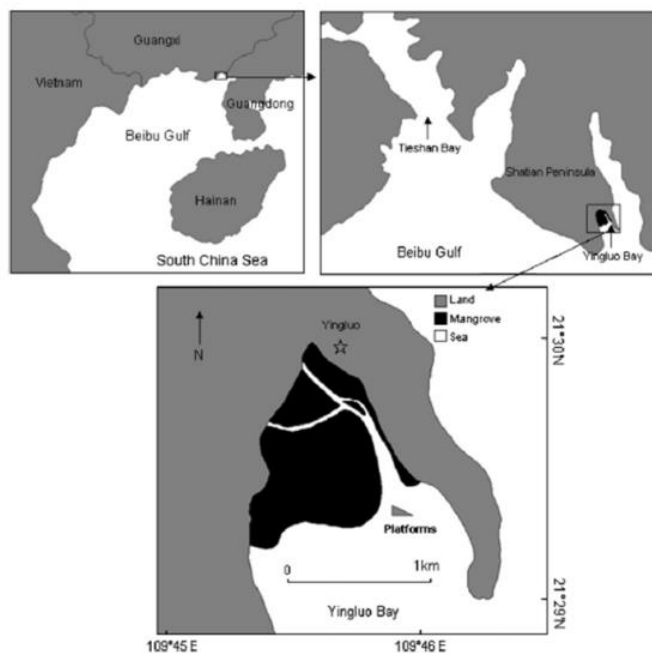
ภาพที่ 2-21 ลักษณะการทดลองกลางแจ้งโดยใช้แท็งก์น้ำ (Lu et al., 2013)



ภาพที่ 2-22 ความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาน้ำท่วมราก (กราฟแท่งสีดำ) และท่วมต้น (กราฟแท่งสีขาว) กับ A.ชีวมวลรวม (a) (Total biomass), B.พื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักแห้ง (b) (Specific leaf area (SLA)), C.อัตราส่วนของน้ำหนักของส่วนของต้นไม้ที่โผล่พื้นดินกับราก (c) (Shoot/Root ratio) (Lu et al., 2013)

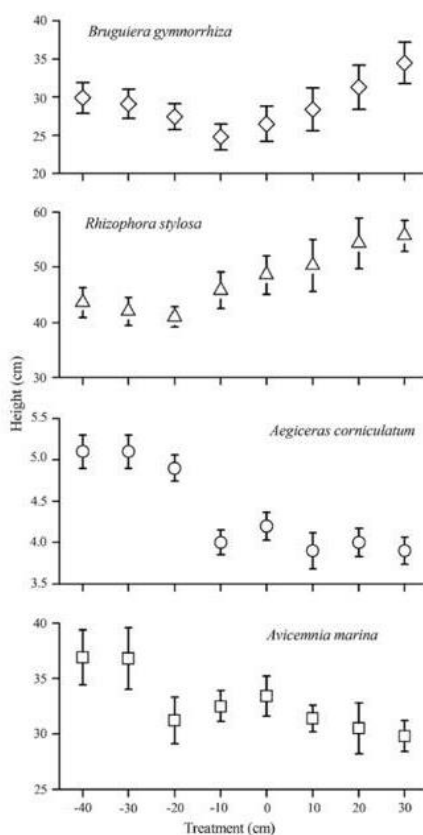
He, Lai, Fan, Wang and Zheng (2007) ได้ศึกษาความสามารถในการทนน้ำท่วมของต้นไม้ป่าชายเลนที่อ่าวยงลัว (Yingluo) ประเทศจีน (ภาพที่ 2-23) ในภาคสนาม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการรอดตาย และการเจริญเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลนในบริเวณระดับการปลูกที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยได้ทดลองโดยเลือกชนิดของต้นไม้ป่าชายเลนในพื้นที่ ได้แก่ เล็บมีอนาง (*Aegiceras corniculatum*, Ac), แสมทะเล (*Avicennia marina*, Am), พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorhiza*, Bg) และโกงกางทะเล (*Rhizophora stylosa*, Rs) จากนั้นได้ทำแปลงทดลองสามแปลงเพื่อปลูกต้นไม้ป่าชายเลนทั้ง 4 ชนิด มีค่าระดับ 8 ระดับ คือ -40 -30 -20 -10 0 10 20 และ 30 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยค่าระดับที่ติดลบแสดงถึงพื้นที่แปลงทดลองที่

อยู่ต่ำจะมีการท่วมของน้ำสูง ค่าระดับที่เป็นบวกลงแสดงถึงพื้นที่ปลูกที่อยู่สูงกว่าและมีการท่วมน้อยกว่า  
ใช้เวลาในการศึกษาเป็นเวลา 1 ปี



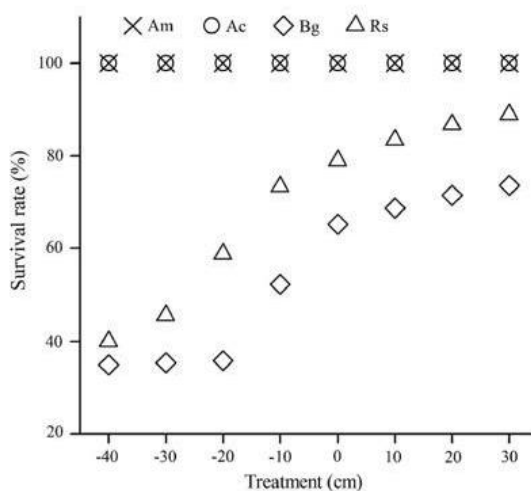
ภาพที่ 2-23 พื้นที่ศึกษาที่อ่าวยี่หลัว ประเทศจีน (He et al., 2007)

ผลการศึกษาพบว่า ต้นแสมทะเลและต้นเล็บบี๋มีองามมีการเจริญเติบโตด้านความสูงได้ดีเมื่อปลูกในพื้นที่ที่มีค่าระดับติดลบหรือในพื้นที่ต่ำ ส่วนต้นโกงกางทะเลและพังกาหัวส้มดอกแดงมีเจริญเติบโตด้านความสูงได้ดีเมื่อปลูกในพื้นที่ที่มีค่าระดับเป็นบวกหรือในพื้นที่สูง (ภาพที่ 2-24) ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการรอดตาย คือ ต้นแสมทะเลและต้นเล็บบี๋มีองามมีอัตราการรอดตาย 100% ในทุกค่าระดับ ส่วนต้นโกงกางทะเลและต้นพังกาหัวส้มดอกแดงจะมีอัตราการรอดตายสูงขึ้นเมื่ออยู่ในพื้นที่สูง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทนน้ำท่วมของต้นไม้ป่าชายเลนทั้ง 4 ชนิด โดยผู้วิจัยสรุปผลความสามารถในการทนน้ำท่วมออกมาดังนี้ ต้นแสมทะเลมีความสามารถทนน้ำท่วมได้ดีที่สุด รองลงมา คือ ต้นเล็บบี๋มีองาม โกงกางทะเล และพังกาหัวส้มดอกแดง ตามลำดับ (ภาพที่ 2-25)

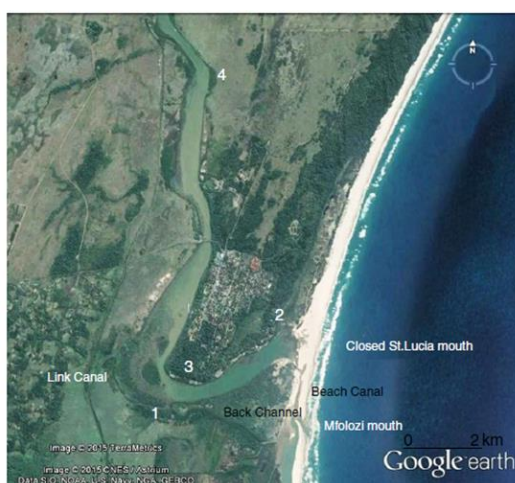


ภาพที่ 2-24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับต่อความสูงต้นไม้ทั้ง 4 ชนิด (He et al., 2007)

Adam and Human (2016) ได้ศึกษาการตอบสนองของต้นไม้ป่าชายเลนในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันบริเวณทะเลสาบเซนต์ลูเชีย (Lake St. Lucia.) ในสาธารณรัฐแอฟริกาใต้ ซึ่งผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลในภาคสนามโดยวัดจำนวนต้นไม้ และลักษณะของตะกอนจำนวน 4 ตำแหน่งในปี ค.ศ. 2010, 2013 และ 2014 (ภาพที่ 2-26) ตำแหน่งที่ 1 พื้นด้านหลังที่เชื่อมต่อระหว่างแม่น้ำมโฟลิซี (Mfolizi River) กับทะเลสาบเซนต์ลูเชีย และถูกเลือกให้เป็นตัวแทนของพื้นที่น้ำท่วมในปี ค.ศ. 2010 ตำแหน่งที่ 2 ที่อ่าวชาร์ก (Shark Bay) ลักษณะพื้นที่เป็นดินที่มีน้ำจืดท่วมขังลักษณะของตะกอนมีความเค็มต่ำมาก ตำแหน่งที่ 3 เป็นพื้นที่ที่มีดินแสมทะเล (*Avicennia marina*) เจริญเติบโตบริเวณมุมของทางน้ำไหลที่โค้งฮันนีมูน (Honeymoon Bend) ในปี ค.ศ. 2013 และในปี ค.ศ. 2014 ระดับน้ำสูงส่งผลให้ต้นไม้ในพื้นที่น้ำจืดอย่างถาวร และตายในที่สุด ตำแหน่งที่ 4 เป็นพื้นที่แคบและเป็นตัวแทนของพื้นที่แห้งแล้งในปี ค.ศ. 2010 ซึ่งทั้ง 4 ตำแหน่งดินแสมทะเลเป็นตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน ยกเว้นพื้นที่ 2 มีต้นพังกาหัวสุ่มดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) ในพื้นที่ด้วย



ภาพที่ 2-25 ความสัมพันธ์ของระดับพื้นที่ต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นไม้ทั้ง 4 ชนิด (He et al., 2007)

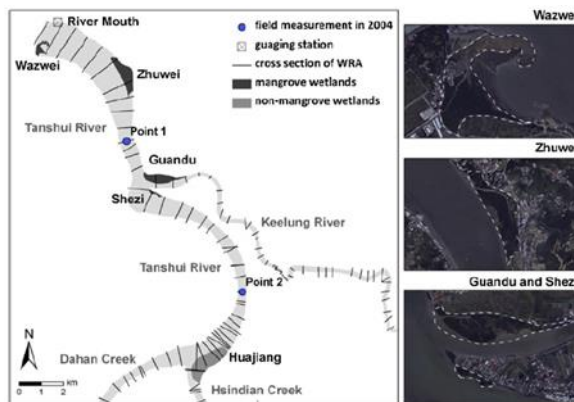


ภาพที่ 2-26 พื้นที่ศึกษาบริเวณทะเลสาบเซนต์ลูเชีย (Adam & Human, 2016)

ผลการสำรวจภาคสนามแสดงให้เห็นว่าอนุภาคของตะกอนมีการผันผวนมากกว่าดินเหนียว และทราย โดยมีสาเหตุมาจากความชื้น และน้ำในแม่น้ำมโพลีซีที่เคลื่อนตัวมายังในพื้นที่ ส่งผลให้ค่าความชื้นในดิน ค่าสารอินทรีย์ และระดับน้ำนั้นเพิ่มสูงขึ้น จากผลที่ระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น ผนวกกับฝนที่ตกอย่างรุนแรงในปี ค.ศ. 2014 ทำให้ระดับน้ำท่วมต้นไม้อย่างถาวรและส่งผลให้ต้นไม้

ตายในที่สุด การศึกษานี้พบว่าต้นแสมทะเลสามารถทนค่าความเค็มที่ 5 ถึง 35 ppt ได้ นอกจากนี้จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของระบบนิเวศน์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 ถึง 2014 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแต่ละพื้นที่ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลนอย่างแน่นอนไม่ว่าจะเป็นความชื้น ปริมาณสารอินทรีย์ ความเค็ม และระดับน้ำ

Yang et al. (2013) ได้ศึกษาอิทธิพลของการท่วมและความเค็มของป่าชายเลน ที่แม่น้ำทันซุย (Tanshui River) ทางตอนเหนือของประเทศไต้หวัน ผู้วิจัยได้ศึกษาพื้นที่ป่าชายเลน 4 แห่ง คือ วาจเวย์ (Wazwei) จูเวย์ (Zhuwei) กวานตู (Guandu) และ शेจี (Shezi) (ภาพที่ 2-27) ที่มีต้นไม้ป่าชายเลนเพียงชนิดเดียว คือ คานเดเลีย ออโบวตา (*Kandelia obovata*) ใกล้แม่น้ำทันซุยในปี ค.ศ. 2009 ที่มีค่าระดับความเค็ม และระยะเวลาในการท่วมแตกต่างกันเนื่องจากพื้นที่ศึกษามีค่าระดับที่ต่างกันโดยพื้นที่บริเวณวาจเวย์อยู่ระดับพื้นที่สูงสุดรองลงมาคือ จูเวย์ กวานตู และ शेจี ตามลำดับ ทำการศึกษาด้วยแบบจำลอง เพื่อคำนวณความถี่ของการท่วม และค่าความเค็มในแต่ละพื้นที่ศึกษาล่วงหน้าในปี ค.ศ. 2100

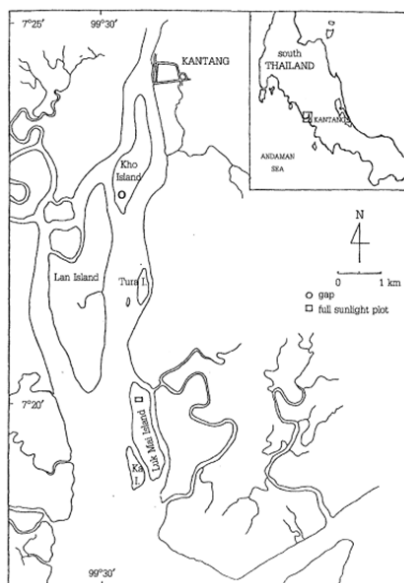


ภาพที่ 2-27 พื้นที่ป่าชายเลน 4 แห่งบริเวณแม่น้ำทันซุย (Yang et al, 2013)

ผลการศึกษาพบว่า ต้นคานเดเลีย ออโบวตา (*Kandelia obovata*) ที่ถูกน้ำท่วม 0.08 ถึง 0.531, 0.44 ถึง 6.00, 0.90 ถึง 9.60 และ 1.38 ถึง 9.18 ชั่วโมงต่อวัน และมีค่าเฉลี่ยความเค็มอยู่ที่ 28.57, 21.30, 11.98 และ 10.01 ppt มีการเจริญเติบโต 0.35% ถึง 22.11%, 1.82% ถึง 24.99%, 3.75% ถึง 39.99%, และ 5.73% ถึง 38.25% ที่วาจเวย์ จูเวย์ กวานตู และ शेจี

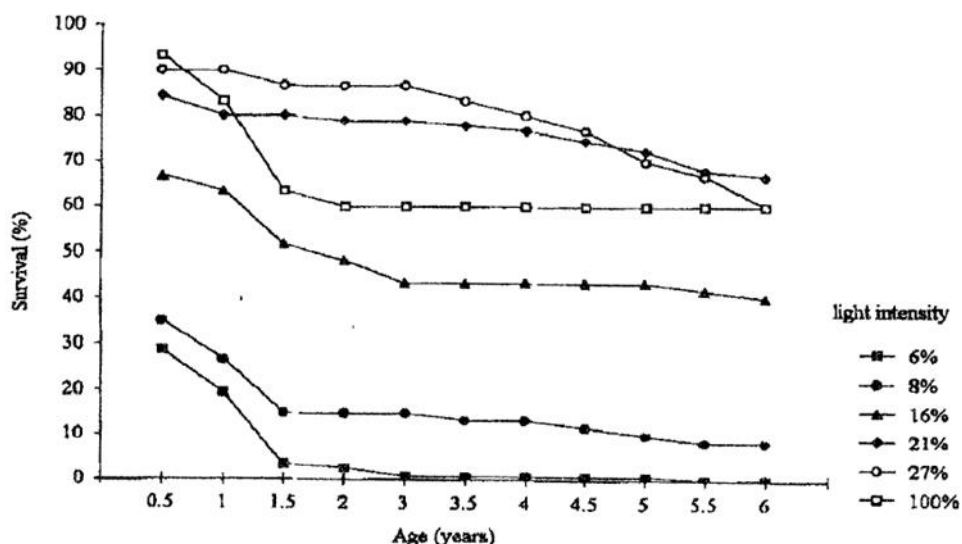
ตามลำดับ จากการศึกษาแสดงให้เห็นค่าความเค็มมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ถูกน้ำท่วม และระยะเวลาในการท่วมมีความสัมพันธ์กับระดับในแต่ละพื้นที่โดยบริเวณใดที่ถูกน้ำท่วมซึ่งเป็นเวลานานจะส่งผลให้ค่าความเค็มลด นอกจากนี้เมื่อค่าความเค็มลดลงต้นคานเดเลีย ออโบวาทา มีการเจริญเติบโตมากขึ้น

สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน, ธนิตย์ หนูยิ้ม และ โชวโซ นากามูระ (2540) ได้ศึกษาอัตราการรอดตาย และการเจริญเติบโตของโกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) และโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) ที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน ทำการศึกษาโดยใช้แปลงขนาด  $2.0 \times 4.0$  เมตร ทั้งหมด 14 แปลง โดยแบ่งเป็นที่มีความเข้มแสง 6% และ 8% อยู่ใต้ต้นโกงกางใบเล็กจำนวน 7 แปลง ทำการศึกษาที่เกาะค้อ ที่มีความเข้มแสง 16% 21% และ 27% จำนวน 6 แปลงทดลองในช่องว่าง (Gap) ทำการศึกษาที่สถานีวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้กันตัง อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง และสุดท้ายที่ความเข้มแสง 100% จำนวน 1 แปลง ทดลองกลางแจ้งศึกษาที่เกาะลูกไม้ (ภาพที่ 2-28) ผู้วิจัยทำการศึกษาโดยการวัดความสูง ชั่งน้ำหนัก วัดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter at breast height, DBH) และสำรวจอัตราการรอดตายในแต่ละความเข้มแสงเป็นเวลา 6 ปี



ภาพที่ 2-28 พื้นที่ศึกษาอัตราการรอดตาย และการเจริญเติบโตของต้นโกงกางใบเล็ก และโกงกางใบใหญ่ที่มีความเข้มแสงต่างกัน (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และคณะ, 2540)

จากการศึกษาผู้วิจัยพบว่าต้นโกก่างใบเล็กที่ปลูกในช่องว่างมีอัตราการรอดตายสูงที่สุด (>70%) ที่มีความเข้มแสง 21% ถึง 27% ขณะที่แปลงปลูกใต้เรือนยอดที่มีความเข้มแสง 5 ถึง 8% มีอัตราการรอดตายน้อยกว่า 15% เมื่ออายุ 2 ปี และแปลงกลางแจ้งที่ความเข้มแสง 100% มีอัตราการรอดตายคงที่ที่ (60%) ตั้งแต่อายุ 2 ถึง 6 ปี (ภาพที่ 2-29) ในส่วนของความสูงพบว่าโกก่างใบเล็กที่ปลูกในช่องว่างที่ความเข้มแสง 27% เจริญเติบโตด้านความสูงได้ดีที่สุดในสามปีแรก และตั้งแต่อายุ 4-6 ปี แปลงที่ปลูกกลางแจ้งเติบโตด้านความสูงดีที่สุด ด้านเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและมวลชีวภาพพบว่า ที่ความเข้มแสงมากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และมวลชีวภาพจะมากตามไปด้วย

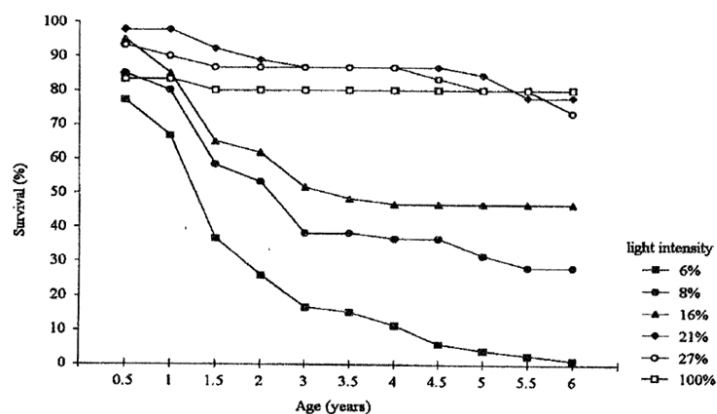


ภาพที่ 2-29 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นโกก่างใบเล็กที่มีความเข้มแสงต่างกัน (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และคณะ, 2540)

การศึกษานี้ผู้วิจัยพบว่าต้นโกก่างใบใหญ่พบว่าแปลงปลูกในช่องว่างที่มีความเข้มแสง 21% และ 27% มีอัตราการรอดตายสูงที่สุดมากกว่า 80% ในช่วยอายุ 1 ถึง 5 ปี แปลงที่ปลูกใต้เรือนยอดจะมีอัตราการรอดตาย 67% ถึง 80% ในช่วง 1 ปีแรกและลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ปีที่ 2 เป็นต้นไป ขณะที่ความเข้มแสง 100% มีอัตราการรอดตาย 80% ตั้งแต่อายุ 2 ปี (ภาพที่ 2-30) ด้านความสูง

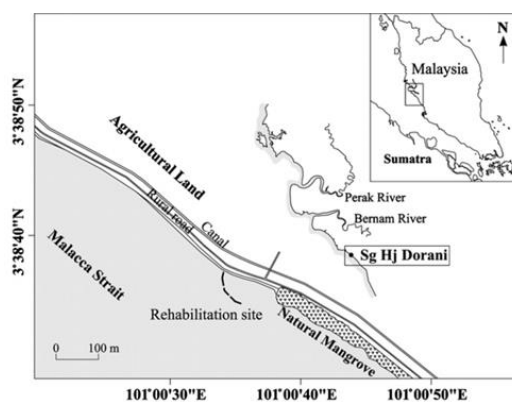


เส้นผ่านศูนย์กลาง และมวลชีวภาพพบว่า เมื่อความเข้มแสงมาก ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง เพียงอก และมวลชีวภาพจะมากตามไปด้วย



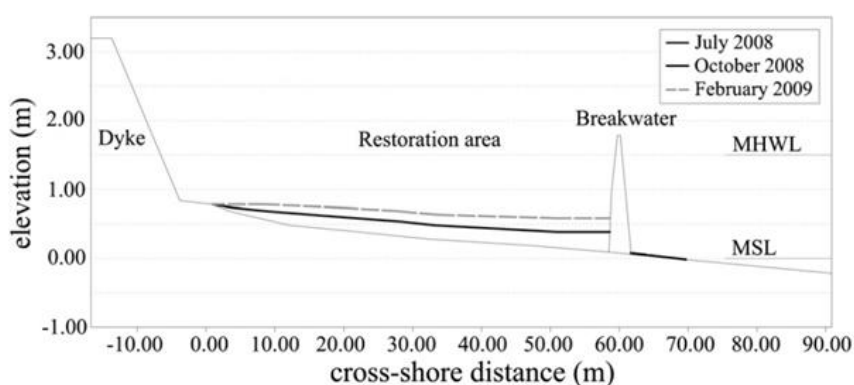
ภาพที่ 2-30 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นโกงกางใบใหญ่ที่มีความเข้มแสงต่างกัน (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และคณะ, 2540)

Hashim, Kamali, Tamin and Zakari (2010) ได้ศึกษาวิธีในการฟื้นฟูป่าชายเลน และชายฝั่งทะเลที่เกิดการกัดเซาะโดยใช้โครงสร้างป้องกันคลื่น ผู้วิจัยทำการศึกษาที่ซันไก ฮาจิ โดรานิ (Sg Hj Dorani) ตอนเหนือของกรุงกัวลาลัมเปอร์ (Kuala Lumpur) อยู่ทางตะวันตกของคาบสมุทรมาเลย์ (ดังแสดงในภาพที่ 2-31)



ภาพที่ 2-31 พื้นที่ศึกษาบนชายฝั่งตะวันตกของคาบสมุทรมาเลเซีย (Hashim et al., 2010)

ผู้วิจัยได้เพาะชำต้นกล้าป่าชายเลนเป็นเวลา 6 เดือนในเรือนเพาะชำจากนั้นนำมาปลูกในพื้นที่ที่มีการสร้างเขื่อนกันคลื่นนอกฝั่งเพื่อลดพลังงานของคลื่นที่จะเข้าไปปะทะต้นกล้าป่าชายเลน และเพิ่มการสะสมของตะกอนในพื้นที่ จากการศึกษาหลังจากการปลูกป่าชายเลนด้านหลังเขื่อนกันคลื่นนอกฝั่งเป็นเวลา 8 เดือน พบว่า พื้นที่บริเวณศึกษามีการสะสมตัวของตะกอนมากขึ้นจากการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นนอกฝั่ง (ภาพที่ 2-32) แต่จำนวนต้นกล้าป่าชายเลนที่รอดตายมีประมาณ 30% ซึ่งมีสาเหตุมาจากการย้ายที่การปลูกจากเรือนเพาะชำมาเป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน เช่น แสงแดด ดิน ความเค็ม สารอาหารในดิน คลื่น และการท่วมของน้ำ



ภาพที่ 2-32 การเพิ่มขึ้นของตะกอนหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นนอกฝั่งตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2551 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552

จากการทบทวนงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทราบว่าต้นไม้อายุต้นกล้าป่าชายเลนมีบทบาทสำคัญในการช่วยในการลดทอนคลื่น โดยความสามารถในการลดทอนคลื่นหรือการสลายพลังงานของคลื่นนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของราก ความหนาแน่นต้นไม้ อายุต้นไม้ ความสูงต้นไม้ ความกว้างของพื้นที่ป่าชายเลน ความยาวของพื้นที่ป่าชายเลน และการจัดเรียงตัวของป่าชายเลน ล้วนมีผลต่อการลดทอนคลื่นหรือการสลายพลังงานของคลื่นทั้งสิ้น แต่ปัจจุบันพื้นที่ป่าชายเลนมีการลดลง ซึ่งสาเหตุการลดลงจากการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า สาเหตุมาจากปัจจัยในเรื่องของการเพิ่มขึ้นของน้ำทะเลที่ส่งผลให้ต้นไม้อายุต้นกล้าป่าชายเลนนั้นมีการจมน้ำท่วมและระยะเวลาในการท่วมมากขึ้น เป็นผลให้ต้นไม้อายุต้นกล้าป่าชายเลนตายในที่สุด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยในเรื่องของความเค็มและแสงที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตหรือการอยู่รอดของต้นไม้อายุต้นกล้าป่าชายเลนอีกด้วย ผู้วิจัยได้นำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยในส่วน

ของระดับน้ำที่พบว่า ระดับน้ำท่วมต้นมีผลต่อการเจริญเติบโตและการตายของต้นไม้ป่าชายเลนมากที่สุด มาใช้ในการออกแบบการทดลองในการศึกษาปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ที่มีผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ไม่ว่าจะเป็นเรื่องคลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำ และความเค็มของน้ำที่ผู้วิจัยสนใจ โดยมีการกำหนดระดับน้ำในการทดลองในทุกเรื่องเป็นที่ระดับน้ำท่วมต้นทั้งหมดเพื่อให้เห็นผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนในการศึกษาชัดเจนมากที่สุด

## บทที่ 3

### วิธีการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic factors) ที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ซึ่งผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาในปัจจัยเรื่องคลื่น ที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ และการตายของต้นกล้าป่าชายเลน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการศึกษาดังต่อไปนี้

ก่อนเริ่มการทดลองในห้องปฏิบัติการในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยและคณะได้มีการรวบรวมข้อมูลในภาคสนามเบื้องต้น เพื่อนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการออกแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยได้ไปรวบรวมข้อมูลภาคสนามเบื้องต้นจาก 2 สถานที่ คือ 1) ศูนย์อนุรักษ์ปลูกป่าชายเลนคลองโคกน จังหวัดสมุทรสงคราม อำเภอคลองโคกน ในวันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2559 ผู้วิจัยและคณะได้เข้าร่วมกิจกรรมปลูกป่าชายเลน (ภาพที่ 3-1) เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนและกรรมวิธีในการปลูกป่าชายเลน และได้สัมภาษณ์นายอุทัย จือเหลียง ซึ่งเป็นวิทยากรประจำศูนย์อนุรักษ์ปลูกป่าชายเลนคลองโคกน (ภาพที่ 3-2) จากการให้สัมภาษณ์ของนายอุทัย พบว่าการปลูกต้นไม้ป่าชายเลนแต่ละชนิดนั้นมีอัตราการรอดตายที่แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ไม้ พันธุ์ไม้ที่ปลูกในพื้นที่อนุรักษ์ปลูกป่าชายเลนคลองโคกนมีอยู่ด้วยกัน 3 พันธุ์ไม้ คือ พันธุ์ไม้ลำพู พันธุ์ไม้เสม และพันธุ์ไม้โกงกาง พันธุ์ไม้ลำพูมีอัตราการรอดตายประมาณ 90% พันธุ์ไม้เสมมีอัตราการรอดตายประมาณ 40% และพันธุ์ไม้โกงกางมีอัตราการรอดตายประมาณ 0% สาเหตุการตายส่วนใหญ่มีด้วยกันหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็น อุณหภูมิ ความเค็ม แสงแดด เปรียง คลื่น กระแสน้ำ หรือ ระดับน้ำ แต่สาเหตุหลักๆ ที่นายอุทัยได้กล่าวไว้ คือ เปรียง คลื่น กระแสน้ำ และระดับน้ำ นายอุทัยได้ให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนของระดับน้ำว่า หากระดับน้ำในพื้นที่ปลูกมีระดับน้ำที่ท่วมต้นเป็นระยะเวลาานส่งผลให้ต้นกล้าป่าชายเลนตาย แต่หากได้มีการท่วมเป็นบางเวลาส่งผลให้ต้นกล้าป่าชายเลนเจริญเติบโตได้ดีมากยิ่งขึ้น 2) พิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยาเกาะและทะเลไทย ตำบลเสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี วันที่ 8 ตุลาคม 2559 ได้รับการอนุเคราะห์จาก ร.ท.ศุภวุฒ ชูชาติเจริญพร (ภาพที่ 3-3) เป็นผู้ให้ความรู้ พื้นที่บริเวณนี้เป็นพื้นที่แปลกไม่เหมือนกับพื้นที่ป่าชายเลนทั่วไป โดยลักษณะพื้นที่มีลักษณะเป็นหิน ซึ่งผู้ดูแลได้ใช้พันธุ์ไม้โกงกางใบใหญ่ในการปลูกในพื้นที่นี้ และประสบผลสำเร็จ จากการเฝ้าดูแลผู้ให้ความรู้ พบว่าหากต้นไม้ป่าชายเลนจมน้ำเป็นเวลานานส่งผลให้ต้นเหี่ยวเฉา และตาย

ซึ่งตรงกับความรู้ที่ได้จากศูนย์อนุรักษ์ปลูกป่าชายเลนคลองโคนที่กล่าวไว้ข้างต้น การปลูกพันธุ์ไม้  
 โกงกางในพื้นที่ผู้ดูแลได้มีการประยุกต์วิธีการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น  
 โดยการใช้ท่อคอนกรีตปักลงไปบนดินแล้วปลูกต้นกล้าป่าชายเลนในท่อคอนกรีตเพื่อยกระดับของต้น  
 กล้าให้สูงพ้นน้ำ โดยผู้ให้ความรู้พบว่า สามารถช่วยให้ต้นกล้าป่าชายเลนรอดได้ดีขึ้นถึง 100%

จากการออกไปรวบรวมข้อมูลภาคสนามทำให้ได้ทราบข้อมูลที่ช่วยในการออกแบบ  
 การทดลองในห้องปฏิบัติการ คือ พันธุ์ไม้ที่ใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยเลือกพันธุ์ไม้แสมและพันธุ์ไม้  
 โกงกางมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากพันธุ์ไม้ทั้งสองชนิดมีอัตราการรอดตายที่ต่ำ และเป็นที่  
 นิยมในการนำไปปลูกป่าชายเลน และเรื่องของระดับน้ำที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการศึกษาผลกระทบของ  
 คลื่น โดยใช้ค่าระดับน้ำที่ระดับท่วมต้นในการศึกษา เนื่องจากการรวบรวมข้อมูลภาคสนามเบื้องต้น  
 และการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าที่ระดับน้ำท่วมต้นมีผลกระทบต่อต้นกล้าป่าชายเลนมาก  
 ที่สุด



ภาพที่ 3-1 กิจกรรมปลูกป่าชายเลนที่ศูนย์อนุรักษ์ป่าชายเลนคลองโคน  
 วันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2559



ภาพที่ 3-2 สัมภาษณ์ผู้มีความรู้ที่ศูนย์อนุรักษ์ปลูกป่าชายเลนคลองโคน  
 วันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2559



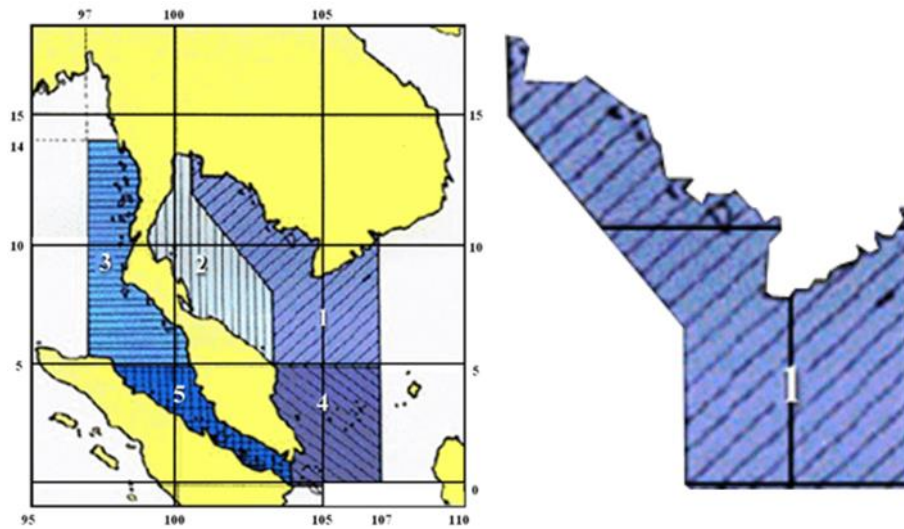
ภาพที่ 3-3 การศึกษาข้อมูลในภาคสนามที่สัตหีบ วันที่ 8 ตุลาคม พ.ศ. 2559

### 3.1 หลักการความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์

การวิเคราะห์ปัญหาทางชลศาสตร์บางโครงการประสบปัญหาในการอธิบายพฤติกรรมของไหลสำหรับปัญหาที่ซับซ้อนมีจำนวนตัวแปรมากมาเกี่ยวข้อง ทำให้ไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมของไหลที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด จึงต้องสร้างแบบจำลองทางชลศาสตร์ (Hydraulic model) โดยให้มีสภาพคล้ายคลึงกับของจริงเพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงได้ ซึ่งจำเป็นต้องประยุกต์ใช้หลักการความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์ (Hydraulic similitude)

#### 1. การจำลองคลื่น

การจำลองคลื่นในรางน้ำชลศาสตร์นั้นมีการรวบรวมข้อมูลสถานภาพคลื่นในทะเลตามเส้นทางการเดินเรือจากศูนย์อุตุวิทยาทงทะเลสภาพคลื่นบริเวณแหลมญวน (ภาพที่ 3-4) มีความสูงคลื่นนัยสำคัญประมาณ 0.25 ถึง 0.5 เมตร (ความสูงคลื่นนัยสำคัญ คือ ค่าเฉลี่ยของความสูงคลื่นสูงที่สุดหนึ่งในสามส่วนของคลื่นที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด) โดยนำหลักการความคล้ายคลึงทางเรขาคณิต (Geometric similitude) มาประยุกต์ใช้ในการการจำลองคลื่นในห้องปฏิบัติการนี้ ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3-4 บริเวณพื้นที่แหลมญวน (ศูนย์อุตุวิทยาทะเล)

การคำนวณหาความสูงคลื่นทดลองในร่างน้ำชลศาสตร์

$H_p$  = ความสูงคลื่นจริง = 0.25 เมตร

$h_{t-p}$  = ความสูงต้นกล้าที่นำไปปลูกจริง = 0.80 เมตร

$h_{t-m}$  = ความสูงต้นกล้าที่ใช้ในแบบจำลอง = 0.40 เมตร

$H_m$  = ความสูงคลื่นที่ใช้ในแบบจำลอง

$H_r$  = อัตราส่วนของความสูง (Scale ratio)

จากสมการ 
$$H_r = \frac{h_{t-m}}{h_{t-p}} = \frac{H_m}{H_p}$$

$$\frac{0.4}{0.8} = \frac{H_m}{0.25} = 0.125$$

ดังนั้นจึงต้องใช้ความสูงคลื่นทดลอง ( $H_m$ ) เท่ากับ 0.125 เมตร

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดประกอบการทดลองเรื่องคลื่น

การทดลองเรื่องคลื่น			
ข้อมูล	สภาพจริง	แบบจำลองในห้องปฏิบัติการ	มาตราส่วนของแบบจำลองต่อสภาพจริง
ความสูงต้นกล้า (เซนติเมตร)	60 – 80	40 – 50	1 : 2
ความสูงคลื่น (เซนติเมตร)	25 – 50	12.5	

### 3.2 วิธีการทดลองผลกระทบของคลื่น

การทดลองผลกระทบของคลื่นถูกดำเนินการในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องปฏิบัติการทางชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ลักษณะสภาพแวดล้อมในการทดลองเป็นการทดลองในพื้นที่รมี่แสงแดดส่องผ่านเข้ามาได้เล็กน้อย การทดลองผลกระทบของคลื่นมีรายละเอียดของเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และขั้นตอนในการทดลองผลกระทบของคลื่นดังต่อไปนี้

#### 1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองผลกระทบของคลื่น

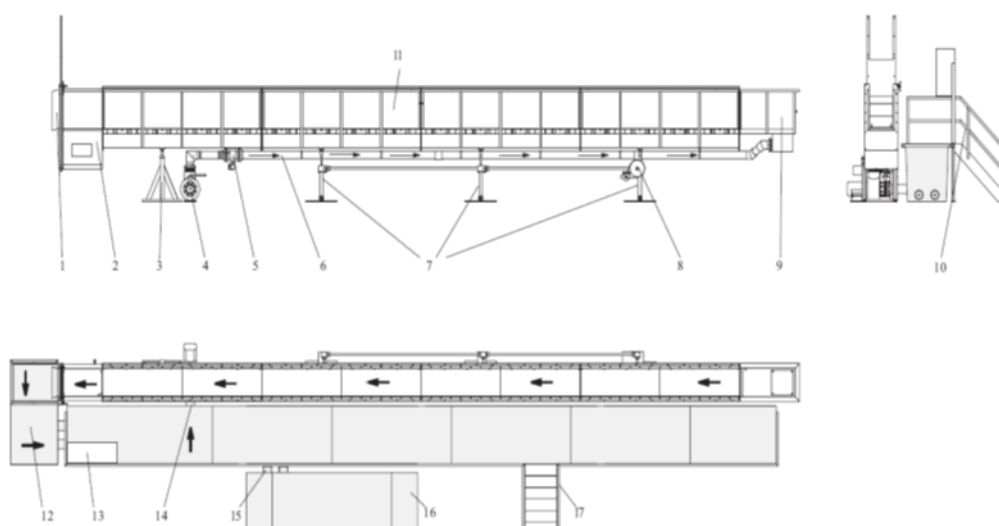
1.1 รางจำลองคลื่น (Wave flume) คือ เครื่องมือการทดลองทางชลศาสตร์ ซึ่งสามารถใช้เป็นรางจำลองคลื่นและรางทดลองการไหลได้ (ภาพที่ 3-5) รางน้ำจำลองคลื่นมีขนาดความยาว 16 เมตร ลึก 80 เซนติเมตร และหน้าตัดกว้าง 60 เซนติเมตร มีถังเก็บน้ำและเครื่องสูบน้ำสำหรับสร้างการไหลผ่านรางและวนกลับมาที่ถัง สามารถสร้างอัตราการไหลสูงสุดที่ประมาณ 330 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือประมาณ 5,500 ลิตรต่อนาที ตัวรางสามารถปรับความลาดเอียงของรางน้ำได้

ในกรณีการใช้รางเป็นรางจำลองคลื่นนั้น ตัวรางจะถูกทำให้เป็นระบบปิด โดยการปิดกั้นประตูด้านต้นน้ำและท้ายน้ำ ติดตั้งเครื่องกำเนิดคลื่น (สำหรับรายละเอียดของเครื่องกำเนิดคลื่นถูกอธิบายในหัวข้อถัดไป) จากนั้นสูบน้ำเข้าไปในรางจนได้ความลึกน้ำที่ต้องการ และทำการสร้างคลื่นโดยลักษณะทางกายภาพของรางจำลองคลื่นแสดงดังตารางที่ 3-2 และส่วนประกอบของรางจำลองคลื่นดังภาพที่ 3-6





ภาพที่ 3-5 ร่างลศาสตร์ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา



ภาพที่ 3-6 ส่วนประกอบรางจำลองคลื่น (GUNT, 2001a)

- หมายเลข 1 : ช่องทางน้ำไหลออก (Chanel outlet)
- หมายเลข 2 : แผ่นดักตะกอน (Sediment trap)
- หมายเลข 3 : ฐานรองรับ (Fixed bearing)
- หมายเลข 4 : ปั๊มน้ำ (Pump unit)
- หมายเลข 5 : ไบพีด (Flow meter)
- หมายเลข 6 : ท่อส่งน้ำ (Delivery line)
- หมายเลข 7 : ตัวปรับความลาดเอียง (Inclination adjustment)
- หมายเลข 8 : มอเตอร์ปรับความลาดเอียง (Motor drive Inclination adjustment)

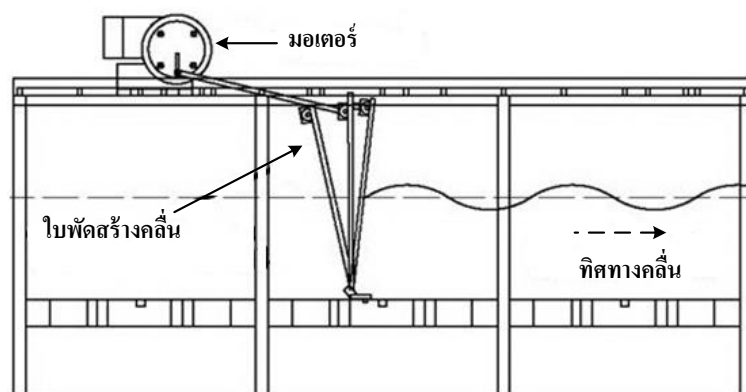
- หมายเลข 9 : ช่องทางน้ำเข้า (Inlet element)
- หมายเลข 10 : ราวกันตก (Railing)
- หมายเลข 11 : ส่วนที่ใช้วัดค่า (Measuring section)
- หมายเลข 12 : ถังกักเก็บน้ำ (Collecting tank)
- หมายเลข 13 : ตู้แผงวงจร (Switch box)
- หมายเลข 14 : แนวของเครื่องสูบน้ำ (Pump Suction line)
- หมายเลข 15 : ท่อเชื่อมระหว่างถังเก็บน้ำ (Pipe connection)
- หมายเลข 16 : ถังกักเก็บน้ำสำรอง (Return tank)
- หมายเลข 17 : บันไดทางขึ้น (Gallery stairway)

ตารางที่ 3-2 รายละเอียดของรางชลศาสตร์ในห้องปฏิบัติการทางชลศาสตร์

ความยาวของรางชลศาสตร์	21.0	m
ความยาวของรางชลศาสตร์	16.0	m
ความสูงของรางชลศาสตร์	2.1	m
ความกว้างของรางชลศาสตร์	0.6	m
ความลึกของรางชลศาสตร์	0.8	m
น้ำหนักของรางชลศาสตร์ (ไม่มีน้ำ)	4.0	ton
ความจุของถังกักเก็บน้ำ	2.3	m <sup>3</sup>
ความจุของถังกักเก็บน้ำสำรอง	4.3	m <sup>3</sup>

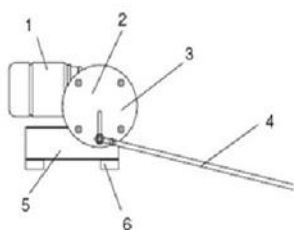
1.2 เครื่องกำเนิดคลื่น (Wave generator) เครื่องกำเนิดคลื่นมีสลักเกลียวเพื่อนำไปติดตั้งกับรางจำลองคลื่น คันชักเชื่อมต่อกับจุดยึดของใบพัดที่ทำจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (Paddle and blocking plate) ดังภาพที่ 3-7 เครื่องกำเนิดคลื่นขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ โดยที่ลำดับของความเร็วในการหมุนมีหลากหลายขึ้นอยู่กับความถี่ อุปกรณ์มีความเร็วในการหมุนตั้งแต่ 0 ถึง 114 รอบต่อนาที ซึ่งเท่ากับความถี่ของคลื่นที่ 0 ถึง 1.9 เฮิรตซ์ ความสูงของคลื่นที่ถูกสร้างขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะคันชักข้อเหวี่ยงซึ่งสามารถปรับได้ตั้งแต่ 40 ถึง 200 มิลลิเมตรและระดับน้ำ

ในร่าง ส่วนประกอบของมอเตอร์และคันชักข้อเหวี่ยงดังภาพที่ 3-8 และส่วนประกอบของใบพัดสร้างคลื่นดังภาพที่ 3-9 เครื่องกำเนิดคลื่นถูกใช้เพื่อการสร้างคลื่นในรูปแบบต่าง ๆ โดยใช้ร่วมกับรางจำลองคลื่น



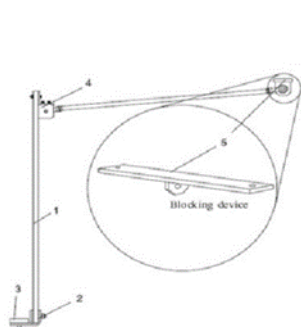
ภาพที่ 3-7 เครื่องกำเนิดคลื่น (GUNT, 2001b)

#### ส่วนประกอบของมอเตอร์และคันชักข้อเหวี่ยง



- หมายเลข 1 : มอเตอร์ (Worm gear motor)
- หมายเลข 2 : ตัวปรับระยะคันชักข้อเหวี่ยง (Stroke adjustment)
- หมายเลข 3 : จานข้อเหวี่ยง (Crank disk)
- หมายเลข 4 : คันชัก (Push rod)
- หมายเลข 5 : หมอนรองมอเตอร์ (Motor support)
- หมายเลข 6 : คานยึดหมอนรองมอเตอร์ (Cross bar)

ภาพที่ 3-8 ส่วนประกอบของมอเตอร์และคันชักข้อเหวี่ยง (GUNT, 2001b)

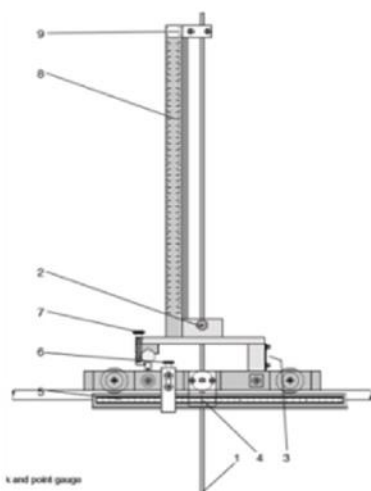


#### ส่วนประกอบของใบพัดสร้างคลื่น

- หมายเลข 1 : ใบพัดสร้างคลื่น (Paddle and blocking plate)
- หมายเลข 2 : แผ่นประกบยางสำหรับยึดใบพัดกับพื้นราง (Flexible rubber bearing for connecting the plate to the channel bed)
- หมายเลข 3 : อุปกรณ์สำหรับยึดแผ่นประกบยางกับพื้นราง (Cramping device for fixing the rubber bearing to the channel bed)
- หมายเลข 4 : ตัวยึดคั่นชักรับใบพัด (Holder for connecting the pushing rod to the paddle and blocking plate)
- หมายเลข 5 : อุปกรณ์สำหรับยึดใบพัดให้กลายเป็นแผ่นกั้นน้ำ (Device for blocking the plate)

ภาพที่ 3-9 ส่วนประกอบของใบพัดสร้างคลื่น (GUNT, 2001c)

1.3 เครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่งแบบเข็มชี้ (Point gauge) เครื่องมือจะติดตั้งบนราง มีลักษณะเป็นแท่งโลหะปลายแหลม และมีลูกล้อสามารถใช้เลื่อนบนรางจำลองคลื่นได้ ใช้วัดระดับน้ำเมื่อเปิดน้ำเข้ารางจำลองคลื่นถึงระดับที่ต้องการ รายละเอียดของส่วนประกอบต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 3-10



#### รายละเอียดเครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่ง

- หมายเลข 1 : จุดชี้ตำแหน่ง (Scanning point)
- หมายเลข 2 : สกรูยึดระดับความสูง (Knurled screw to fix height)
- หมายเลข 3 : จุดอ่านความกว้าง (Read-off point point for travel width)
- หมายเลข 4 : จุดอ่านความยาว (Read-off point point for travel length)
- หมายเลข 5 : แถบวัดความยาว (Scale for travel length)
- หมายเลข 6 : สกรูยึดด้านยาว (Knurled screw to fix length)
- หมายเลข 7 : สกรูยึดด้านกว้าง (Knurled screw to fix width)
- หมายเลข 8 : แถบวัดความสูง (Scale for height)
- หมายเลข 9 : จุดอ่านความสูง (Read-off point for height)

ภาพที่ 3-10 เครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่งและส่วนประกอบ (GUNT, 2001d)

1.4 เครื่องวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitance wave gauge)  
 ดังภาพที่ 3-11 มีรูปแบบการทำงานโดยการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของน้ำที่กระทบกับหลอดวัดค่า  
 ความต่างศักย์ที่สัมผัสกับผิวน้ำ โดยสามารถอ่านค่าความสูงคลื่นจากโปรแกรมด้วยคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 3-11 เครื่องวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า

1.5 ชุดพื้นแปลงทดลอง (Experimental floor) ชุดพื้นแปลงทดลองเป็นชุดพื้นที่  
 ติดตั้งอยู่ในรางจำลองคลื่น ทำหน้าที่เป็นตัวปรับสภาพคลื่นก่อนจะเข้าสู่แปลงทดลองปลูกต้นกล้า  
 โกงกางและต้นกล้าแสม ชุดพื้นแปลงทดลองประกอบไปด้วยสองส่วนด้วยกัน ส่วนที่หนึ่งเป็นพื้นเอียง  
 ปรับระดับ (Incline level) ยาว 200 เซนติเมตร กว้าง 58 เซนติเมตร และเอียงสูงขึ้นจากพื้นราง 10  
 เซนติเมตร คิดเป็นความลาด 0.05 ทำหน้าที่เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความลึกน้ำอย่าง  
 ฉับพลันที่จะส่งผลกระทบต่อคลื่นก่อนเข้าสู่แปลงทดลอง ส่วนที่สองอยู่ถัดมาจากพื้นเอียงปรับระดับมีลักษณะ  
 เป็นพื้นเรียบปรับระดับ (Flat leveling) ยาว 100 เซนติเมตร กว้าง 58 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร  
 (ภาพที่ 3-12) ทำหน้าที่คล้ายกับพื้นเอียง คือ ช่วยปรับสภาพความเสถียรคลื่นให้มากขึ้น



ภาพที่ 3-12 ชุดพื้นแปลงทดลองที่ประกอบไปด้วยพื้นเอียงและพื้นเรียบปรับระดับสำหรับปรับความเสถียรคลื่นก่อนเข้าสู่แปลงทดลอง

1.6 ชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลน (Experimental batch) ชุดแปลงทดลองเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งเข้ากับชุดพื้นแปลงทดลอง เพื่อใช้สำหรับจำลองการปลูกต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสมในรางจำลองคลื่น (ภาพที่ 3-13) เพื่อทดลองผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 3-13 ชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนในรางน้ำจำลองคลื่น

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำแปลงทดลองมีดังต่อไปนี้

1.6.1 เหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ยาวทั้งหมด 11 เมตร ต่อ 1 กระจับะ ตัดแบ่งวางตามแนวยาว 6 เส้น ยาวเส้นละ 91 เซนติเมตร และวางตามแนวขวาง 10 เส้น ยาวเส้นละ 52 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-14

1.6.2 เม็ดโฟมซีเบา (Cebau) ใช้เป็นส่วนผสมทำแปลงทดลองคอนกรีตเพื่อให้มีน้ำหนักเบาพอที่สามารถยกเข้าและยกออกจากรางจำลองคลื่นได้ ดังภาพที่ 3-15

1.6.3 ปูนซีเมนต์สำหรับทำแปลงทดลองคอนกรีต

1.6.4 ทรายสำหรับผสมคอนกรีต

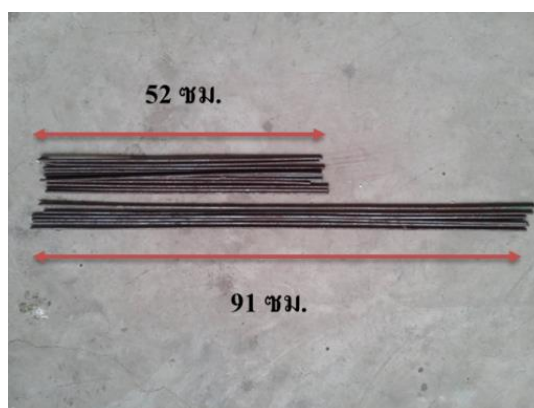
1.6.5 กระจับะสังกะสีสำหรับใส่ชุดแปลงทดลองคอนกรีต ดังภาพที่ 3-16

1.6.6 ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสองนิ้วครึ่ง สูง 10 เซนติเมตร สำหรับสร้างช่องปลูกต้นกล้าในแปลงทดลองคอนกรีต ดังภาพที่ 3-17

1.6.7 ต้นแสม และต้นโกงกางสำหรับใช้ในการทดลองผลกระทบของคลื่น ดังภาพที่ 3-18

1.6.8 ผ้าใบใช้สำหรับปิดผิวหน้าชุดแปลงทดลองคอนกรีต เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของดินในแปลงทดลอง ดังภาพที่ 3-19

1.6.9 ซิลิโคนที่ใช้สำหรับติดแผ่นผ้าใบกับผิวหน้าชุดแปลงทดลองคอนกรีต ดังภาพที่ 3-20



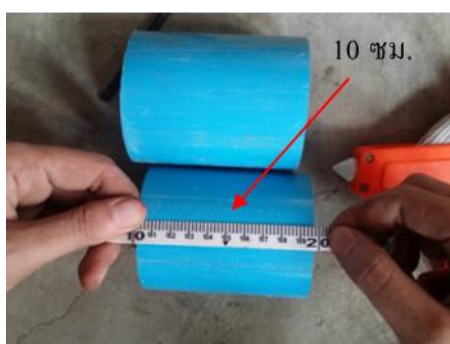
ภาพที่ 3-14 เหล็กเส้น RB 6 มิลลิเมตร สำหรับทำแปลงทดลอง



ภาพที่ 3-15 เม็ดโฟมซีเบาสำหรับผสมคอนกรีตให้มีน้ำหนักเบา



ภาพที่ 3-16 กระบะสังกะสีพร้อมเสาค้ำยันสำหรับใส่แปลงทดลองคอนกรีต



ภาพที่ 3-17 ท่อพีวีซีสำหรับสร้างช่องปลูกต้นกล้าในแปลงทดลองคอนกรีต





ภาพที่ 3-18 ต้นไม้ที่ใช้ในการทดลอง (ก) ต้นกล้าแสม และ (ข) ต้นกล้าโกงกาง



ภาพที่ 3-19 ผ้าใบสำหรับปิดผิวหน้าแปลงทดลองคอนกรีต

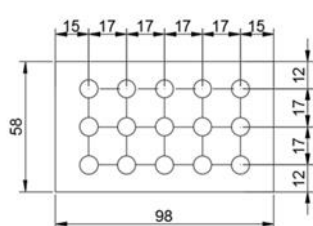


ภาพที่ 3-20 ซีลีโคนสำหรับยึดแผ่นผ้าใบกับผิวหน้าแปลงทดลองคอนกรีต

ขั้นตอนการทำชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลน

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบขนาดแปลงทดลองคอนกรีตสำหรับใส่ต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสม ให้มีขนาดความยาว 98 เซนติเมตร กว้าง 59 เซนติเมตร สูงจากพื้น 10 เซนติเมตร มีช่องสำหรับ

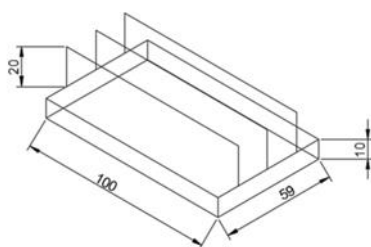
ใส่ถุงชำปลุกต้นกล้าป่าชายเลนทั้งหมด 15 ช่อง ต่อ 1 ชุดแปลงทดลอง โดยสร้างจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสองนิ้วครึ่ง สูง 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-21 ในการศึกษาแต่ละกรณีใช้ 2 ชุดแปลงทดลอง ดังนั้นจะมีช่องสำหรับปลุกต้นกล้าป่าชายเลนในแต่ละกรณีทั้งหมด 30 ช่องต่อกรณี



หน่วย : เซนติเมตร

ภาพที่ 3-21 ลักษณะชุดแปลงทดลองคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบชุดกระบะสำหรับใส่ชุดแปลงทดลองคอนกรีต กระบะมีขนาดยาว 100 เมตร กว้าง 59 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร มีค้ำยัน 3 แถว ผ่านแนวช่องปลุกต้นกล้าป่าชายเลนสำหรับปลูกต้นกล้าป่าชายเลนกับค้ำยันให้มีสภาพเหมือนการปลูกป่าชายเลนในพื้นที่จริง ค้ำยันทำจากเหล็ก RB 6 มิลลิเมตร ค้ำยันมีระดับความสูงจากพื้นกระบะ 30 เซนติเมตร หรือประมาณกึ่งกลางต้นของต้นกล้าป่าชายเลนพอดี ค้ำยันลากยาวจากด้านหน้ากระบะถึงด้านหลังกระบะ ดังภาพที่ 3-22



หน่วย : เซนติเมตร

ภาพที่ 3-22 กระบะใส่ชุดแปลงทดลองคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 3 ตัดท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสองนิ้วครึ่งให้มีความสูง 10 เซนติเมตร ซึ่งเท่ากับขนาดความสูงของกระบะใส่แปลงทดลองคอนกรีตพอดี จำนวน 30 ท่อน ต่อ 1 กรณีศึกษา ดังภาพที่ 3-23



ภาพที่ 3-23 การตัดท่อพีวีซีสำหรับใช้ทำแปลงทดลองคอนกรีต

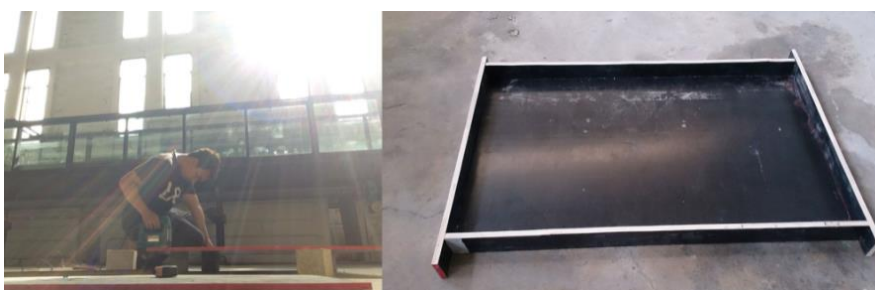
ขั้นตอนที่ 4 นำเหล็กเส้น RB 6 มิลลิเมตร มาตัดให้มีขนาดความยาวเส้นละ 91 เซนติเมตร จำนวน 6 เส้น และยาวเส้นละ 52 เซนติเมตร จำนวน 10 เส้น เพื่อนำมาผูกเป็นตะแกรง สำหรับใช้เป็นเหล็กตะแกรงเสริมความแข็งแรงของแปลงทดลองคอนกรีตและใช้เป็นตัวยึดแนวท่อพีวีซีให้ได้ตำแหน่งตามที่ออกแบบ ดังภาพที่ 3-24

ขั้นตอนที่ 5 ตัดไม้แบบสำหรับทำชุดแปลงทดลองคอนกรีตดังภาพที่ 3-25

ขั้นตอนที่ 6 ผสมคอนกรีตเข้ากับส่วนผสมพิเศษ คือ เม็ดโพลีเมอร์ เพื่อลดน้ำหนักของชุดแปลงทดลองคอนกรีตให้สามารถยกแปลงทดลองเข้า-ออกรางน้ำชลศาสตร์ได้สะดวกมากขึ้น แต่ชุดแปลงทดลองคอนกรีตต้องยังคงจมน้ำอยู่เช่นเดิม โดยผสมคอนกรีตในอัตราส่วนต่อปริมาตร ปูนซีเมนต์ : ทราย : เม็ดโพลีเมอร์ เท่ากับ 1 : 2 : 4 (โดยในการทดลองนี้ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.8) ดังภาพที่ 3-26



ภาพที่ 3-24 การผูกเหล็กตะแกรงสำหรับเพิ่มความแข็งแรงแปลงทดลองคอนกรีตและช่วยยึดแนวท่อพีวีซี



ภาพที่ 3-25 การตัดไม้แบบสำหรับทำชุดแปลงทดลองคอนกรีต



ภาพที่ 3-26 การผสมคอนกรีตกับเม็ดโพลีเมอร์เพื่อใหชุดแปลงทดลองคอนกรีตมีน้ำหนักเบา

ขั้นตอนที่ 7 นำเหล็กตะแกรงและท่อพีวีซีมาจัดเรียงในไม้แบบตามที่ออกแบบชุดแปลงทดลองคอนกรีตไว้ข้างต้น ใช้เศษหินขนาดเล็กหุนตะแกรงเหล็ก เพื่อป้องกันไม่ให้เหล็กตะแกรงติด

กับไม้แบบ จากนั้นนำคอนกรีตที่ผสมเตรียมไว้เทลงในไม้แบบให้เรียบร้อยแล้วตกแต่งผิวหน้าให้เรียบ  
ดังภาพที่ 3-27

ขั้นตอนที่ 8 เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วให้แกะไม้แบบออก จากนั้นนำชุดแปลงทดลอง  
คอนกรีตมาใส่ในกระบะ ดังภาพที่ 3-28

ขั้นตอนที่ 9 คัดต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสมที่มีขนาดความสูง 45 ถึง 50 เซนติเมตร  
ชนิดละ 60 ต้น สำหรับใช้ในการทดลองเรื่องผลกระทบของคลื่น ดังแสดงใน  
ดังภาพที่ 3-29



ภาพที่ 3-27 การเทคอนกรีตทำชุดแปลงทดลองคอนกรีต



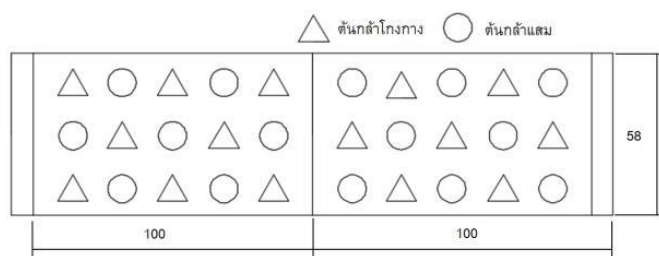
ภาพที่ 3-28 ชุดแปลงทดลองสำหรับจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลน



ภาพที่ 3-29 การคัดต้นกล้าโกกงางและต้นกล้าแสม

ขั้นตอนที่ 10 นำต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกกงางที่คัดความสูงมาจัดเรียงแบบสลับฟันปลา ดังภาพที่ 3-30 เพื่อให้ต้นกล้าป่าชายเลนได้รับผลกระทบจากคลื่น หรือ กระแสน้ำใกล้เคียงกัน จากนั้นนำผ้าใบมากรีดผ่ากลางตามแนวแถวของต้นกล้า จากนั้นติดผ้าใบปิดกับผิวหน้าของชุดแปลง ทดลองคอนกรีตเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของดิน ดังภาพที่ 3-31

ขั้นตอนที่ 11 ผูกต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกกงางติดกับแนวเสาด้วยเชือกฟาง ดังภาพที่ 3-32



ภาพที่ 3-30 การจัดเรียงต้นกล้าป่าชายเลนแบบสลับฟันปลา



ภาพที่ 3-31 การติดแผ่นผ้าใบที่ผิวหน้าชุดแปลงทดลองคอนกรีต



ภาพที่ 3-32 การผูกต้นกล้าป่าชายเลนเข้ากับแนวเสาค้ำยัน

1.7 อ่างน้ำควบคุม (Water basin control) อ่างน้ำสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 110 เซนติเมตร ยาว 160 เซนติเมตร ลึก 54 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-33 ใช้กับกรณีควบคุมเพื่อเปรียบเทียบ

การเจริญเติบโตของต้นกล้าป่าชายเลนที่อยู่ในน้ำนิ่งไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำกับกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำ

1.8 ตัวสลายพลังงานคลื่น (Wave absorber) ตัวสลายพลังงานคลื่น ถูกติดตั้งไว้ท้ายรางจำลองคลื่นก่อนถึงพื้นเอียง สลายพลังงานคลื่นมีลักษณะเป็นตะแกรงขนาดความกว้าง 60 เซนติเมตร และ สูง 80 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-34

1.9 พื้นเอียงสลายพลังงานคลื่น โครงสร้างพื้นเอียงแบบผิวเรียบสำหรับสลายพลังงานคลื่นที่ใช้ในการทดลองทำมาจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) น้ำซึมผ่านไม่ได้มีความยาว 255 เซนติเมตร กว้างเท่ากับความกว้างของรางจำลองคลื่น คือ 60 เซนติเมตร บริเวณฐานพื้นเอียงยึดติดด้วยสลักเกลียว และบริเวณหัวพื้นเอียงถูกยึดด้วยฐานที่มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กสองแกน ซึ่ง

สามารถปรับความลาดชันได้ตามต้องการดังภาพที่ 3-35 พื้นเอียงสลายพลังงานถูกติดตั้งไว้ที่ด้านท้ายสุดของรางจำลองคลื่น เพื่อลดการเกิดคลื่นสะท้อนกลับเข้าสู่แปลงทดลอง ตัวพื้นเอียงช่วยสลายพลังงานคลื่นโดยการลดความลึกของท้องน้ำทำให้อนุภาคของคลื่นถูกรบกวนส่งผลให้คลื่นแตกตัว



ภาพที่ 3-33 อ่างน้ำควบคุมสำหรับทดลองกรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำ



ภาพที่ 3-34 ตัวสลายพลังงานคลื่น

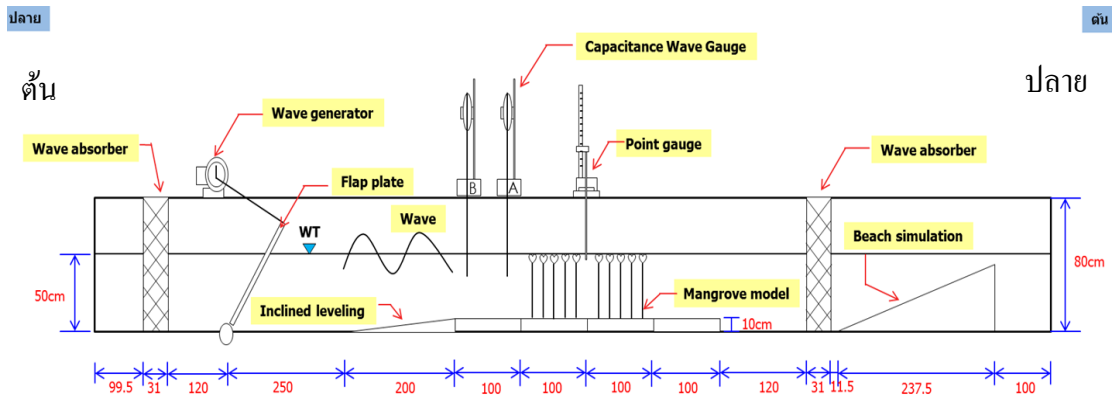




ภาพที่ 3-35 พื้นเอียงสลายพลังงานคลื่น

## 2. ขั้นตอนการทดลองผลกระทบของคลื่น

การทดลองผลกระทบของคลื่นทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยใช้รางจำลองคลื่นที่มีลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ดังภาพที่ 3-36 ในการทดลองผลกระทบของคลื่นกำหนดระดับน้ำที่ 50 เซนติเมตร กำเนิดคลื่นด้วยมอเตอร์และแผ่นใบพัดสร้างคลื่น กำหนดความเร็วรอบมอเตอร์ไว้ที่ 60 รอบต่อนาที และคาบคลื่น 1 วินาที ในทุกกรณี คลื่นที่ได้เป็นคลื่นแบบสม่ำเสมอ ทำการทดลองทั้งหมด 4 กรณี โดยกรณีที่หนึ่งมีความสูงคลื่น 12.5 เซนติเมตร กรณีที่สองมีความสูงคลื่น 10 เซนติเมตร กรณีที่สามมีความสูงคลื่น 7.5 เซนติเมตร และกรณีที่สี่เป็นกรณีควบคุม (C) ที่ไม่ได้รับผลกระทบของคลื่นทำการทดลองด้วยการนำชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนแช่ในอ่างน้ำควบคุมที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น กำหนดระดับน้ำที่ใช้ในกรณีควบคุมที่ 50 เซนติเมตร เช่นเดียวกับกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่น อ่างน้ำควบคุมตั้งอยู่ด้านข้างรางจำลองคลื่นในพื้นที่เดียวกับการทดลองกรณีที่ได้รับผลกระทบของคลื่น ในกรณีผลกระทบจากความสูงคลื่น แต่ละกรณีสามารถเปลี่ยนค่าความสูงคลื่นที่ออกแบบด้วยการปรับระยะคันชักข้อเหวี่ยงระหว่างมอเตอร์กับใบพัดคลื่น โดยปรับระยะคันชักข้อเหวี่ยงที่ 200, 160 และ 120 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ความสูงคลื่นออกแบบ 12.5, 10 และ 7.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ทดลองกรณีละ 2 ชั่วโมงต่อวันต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน รายละเอียดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3-3



ภาพที่ 3-36 ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์การทดลองเรื่องคลื่นในรายน้าชลศาสตร์

ตารางที่ 3-3 รายละเอียดการทดลองผลกระทบของคลื่น

รายละเอียดการทดลอง	
จำนวนต้นกล้าโกงกางจำลอง (ต้น/กรณี)	15
จำนวนต้นกล้าแสมจำลอง (ต้น/กรณี)	15
ความสูงของระดับน้ำ (เซนติเมตร)	50
อัตราการหมุน (รอบ/นาที)	60
ระยะชักข้อเหวี่ยง (มิลลิเมตร)	C, 120, 160, 200
ความสูงคลื่นออกแบบ (เซนติเมตร)	C, 7.5, 10, 12.5
ระยะเวลาทดลอง (ชั่วโมง/วัน/กรณี)	2
ช่วงเวลาการทดลอง (วัน)	30
จำนวนการทดลอง (กรณี)	4

ขั้นตอนที่ 1 ติดตั้งชุดพื้นแปลงทดลองลงในรางจำลองคลื่น ดังภาพที่ 3-37



ภาพที่ 3-37 การติดตั้งชุดพื้นแปลงทดลองในรางจำลองคลื่น

ขั้นตอนที่ 2 ติดตั้งตัวสลายพลังงานคลื่น และพื้นเอียงสลายพลังงานคลื่นบริเวณท้ายรางจำลองคลื่น

ขั้นตอนที่ 3 ติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่งแบบเข็มชี้สำหรับวัดระดับน้ำบริเวณกลางรางจำลองคลื่น และเครื่องมือวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า บริเวณด้านหน้าก่อนคลื่นเข้าสู่แปลงทดลองสำหรับเก็บค่าความสูงคลื่น ดังภาพที่ 3-38



ภาพที่ 3-38 การติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่งแบบเข็มชี้และแบบวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 4 ยกชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนกรณีหนึ่งติดตั้งใน  
รางจำลองคลื่น ดังภาพที่ 3-39

ขั้นตอนที่ 5 ปิดประตูต้นน้ำและท้ายน้ำ เพื่อให้รางน้ำชลศาสตร์เป็นระบบปิดสำหรับ  
จำลองคลื่น จากนั้นปั้มน้ำเข้ารางจำลองคลื่นให้ได้ระดับน้ำที่ 50 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องมือวัดระดับ  
น้ำนิ่งแบบเข็มชี้ (Point gauge) ในการวัดค่าระดับน้ำตามที่ต้องการ ดังภาพที่ 3-40



ภาพที่ 3-39 การติดตั้งชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนลงในรางจำลองคลื่น



ภาพที่ 3-40 การปั้มน้ำเข้ารางจำลองคลื่นและการวัดค่าระดับน้ำนิ่ง

ขั้นตอนที่ 6 ปรับระยะคันชักข้อเหวี่ยงที่ 200 มิลลิเมตร สำหรับกรณีหนึ่ง จากนั้นเปิด  
เครื่องกำเนิดคลื่น โดยกำหนดความเร็วมอเตอร์ที่กล่องควบคุมให้ได้ความเร็ว 60 รอบต่อนาที เพื่อให้

ได้ความสูงคลื่นออกแบบ 12.5 เซนติเมตร ทำการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมงต่อกรณีต่อวัน ต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน ดังภาพที่ 3-41



ภาพที่ 3-41 การปรับระยะคันชักข้อเหวี่ยง

ขั้นตอนที่ 7 ทำการเก็บค่าความสูงคลื่นทั้งหมด 3 ครั้งต่อหนึ่งกรณีด้วยเครื่องมือวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์หลังจากเปิดเครื่องกำเนิดคลื่นผ่านไปแล้ว 5 นาที 1 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง 50 นาที ดังภาพที่ 3-42

ขั้นตอนที่ 8 หลังจากครบ 2 ชั่วโมง ปิดเครื่องกำเนิดคลื่น และเปิดประตูท้ายน้ำเพื่อระบายน้ำออก จากนั้นยกแปลงทดลองจำลองการปลุกต้นกล้าป่าชายเลนออกจากรางจำลองคลื่น



ภาพที่ 3-42 การเก็บค่าความสูงคลื่นจากเครื่องมือวัดค่าความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนที่ 9 สำหรับกรณีที่สองและกรณีที่สามให้ทำซ้ำขั้นตอนที่ 5 ถึง ขั้นตอนที่ 8 แต่เปลี่ยนชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนสำหรับกรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3 ตามลำดับ และเปลี่ยนระยะคันชักข้อเหวี่ยงเป็น 160 และ 120 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ความสูงคลื่นออกแบบ 10 และ 7.5 เซนติเมตร ตามลำดับ และนอกจากนี้ในแต่ละวันที่ทำการทดลองมีการเปลี่ยนลำดับการทดลองของแต่ละกรณีให้สลับวนช่วงเวลาทั้งหมดจนจบการทดลอง เพื่อให้ได้รับผลกระทบทางสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด

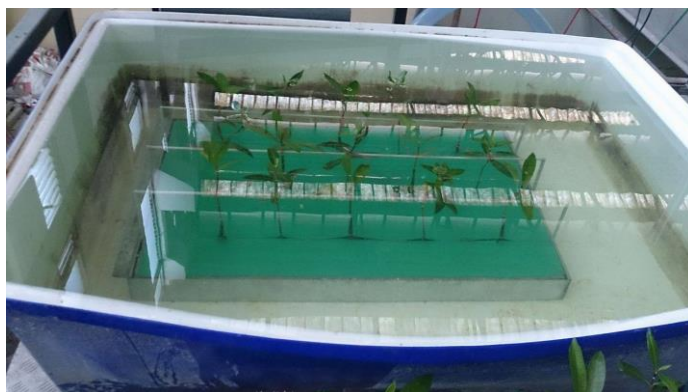
ขั้นตอนที่ 10 กรณีควบคุมเป็นกรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบของคลื่นทำการทดลองในอ่างน้ำควบคุม ทำการทดลองโดยการวางอ่างน้ำควบคุมบริเวณด้านข้างรางจำลองคลื่นที่มีสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกับกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่น จากนั้นปั้มน้ำเข้าอ่างน้ำควบคุมให้ได้ระดับน้ำที่ 50 เซนติเมตร แล้วนำชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมเป็นเวลา 2 ชั่วโมงต่อวัน เท่ากับกรณีอื่น ๆ เมื่อครบ 2 ชั่วโมง แล้วจึงยกออกมาวางด้านนอกข้างอ่างน้ำควบคุมทำการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน และมีการเปลี่ยนช่วงเวลาทดลองตลอดจนจบการทดลอง เพื่อให้ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกับกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่น ดังภาพที่ 3-43

ขั้นตอนที่ 11 บันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง โดยการใช้เวอร์เนีย (Vernier caliper) ส่วนความสูงของลำต้นวัดด้วยการนำเชือกทาบตามลำต้น เนื่องจากลักษณะลำต้นของต้นไม้มีการโค้งงอที่แตกต่างกัน โดยวัดความสูงของลำต้นจากจุดที่ทำสัญลักษณ์ส่วนล่างลำต้นถึงส่วนบนลำต้น จากนั้นนำมาเทียบกับไม้บรรทัด ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 6 วัน และเก็บข้อมูลจำนวนใบก่อนการทดลองและหลังการทดลอง

ขั้นตอนที่ 12 เมื่อทำการทดลองต่อเนื่องกันจนครบ 30 วัน จากนั้นนำต้นกล้าป่าชายเลนออกจากชุดแปลงทดลอง นำไปล้างน้ำเพื่อเอาดินออกอย่างเบามือที่สุด โดยต้องระวังอย่าให้รากขาด แล้วนำไปผึ่งไว้เป็นกลุ่มตามแปลงแต่ละกรณีรอจนกว่าจะแห้งดังภาพที่ 3-44

ขั้นตอนที่ 13 แบ่งต้นกล้าป่าชายเลนเป็นสามส่วน คือ ราก ลำต้น และใบ ใช้กระดาษพอยล์ห่อให้เรียบร้อย นำไปชั่งน้ำหนักก่อนอบ จากนั้นเอาไปเข้าเตาอบ โดยอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3-45

ขั้นตอนที่ 14 เมื่อครบ 120 ชั่วโมง นำชิ้นส่วนต้นกล้าป่าชายเลนพร้อมห่อกระดาษพอยล์ไปชั่งน้ำหนัก และชั่งน้ำหนักกระดาษพอยล์เปล่าอีกครั้ง เพื่อนำไปหาค่าน้ำหนักจริงของชิ้นส่วนต้นกล้าป่าชายเลนก่อนอบและหลังอบ



ภาพที่ 3-43 ลักษณะการทดลองกรณีควบคุมที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำ



ภาพที่ 3-44 การนำต้นกล้าป่าชายเลนออกจากชุดแปลงทดลองไปล้างน้ำ



ภาพที่ 3-45 การแบ่งส่วนต้นกล้าแล้วนำไปอบ

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลการวัดค่าความสูงคลื่น

การวัดค่าความสูงคลื่นในการทดลองใช้เครื่องมือ 2 แบบ ประกอบด้วย

1) เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบเข็ม (Point gauge) ใช้วัดระดับน้ำนิ่ง และวัดความสูงคลื่นแบบหยาบ จำนวน 1 เครื่อง

2) เครื่องมือวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitance wave gauge) ใช้วัดความสูงคลื่นแบบละเอียด

โดยติดตั้งเครื่องมือวัดความสูงคลื่นทั้งสองแบบไว้บริเวณด้านหน้าของชุดแปลงทดลอง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้จำลองคลื่นที่มีความสูงแตกต่างกัน โดยกำหนดความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องกำเนิดคลื่นไว้ที่ 60 รอบต่อวินาที ทำให้เกิดคลื่นแบบสม่ำเสมอที่มีความถี่เท่ากับ 1 วินาที จากนั้นปรับระยะการชักข้อเหวี่ยงของเครื่องกำเนิดคลื่นที่ 120 160 และ 200 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ค่าความสูงคลื่นออกแบบที่ 7.50 10.50 และ 12.50 เซนติเมตร ตรวจวัดจริงได้ 7.73 10.57 และ 12.29 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการศึกษากรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นเป็นกรณีควบคุม ดังตารางที่ 4-1

#### 4.2 ลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มการทดลองจนกระทั่งจบการทดลอง จากนั้นนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงด้วยสมการที่ 4-1

$$\Delta P_c = \frac{\sum_{i=1}^N \left[ \frac{P_{c(E)i} - P_{c(S)i}}{P_{c(S)i}} \times 100 \right]}{N} \quad (4-1)$$

เมื่อ  $\Delta P_c$  คือ การเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพ (Physical characteristic change, %)



$Pc_{(S)}$  คือ ลักษณะทางกายภาพก่อนการทดลอง (Starting physical characteristic value)

$Pc_{(E)}$  คือ ลักษณะทางกายภาพหลังการทดลอง (Ending physical characteristic value)

โดยที่  $i$  คือ ค่าของข้อมูลตัวที่ 1 ถึง ข้อมูลตัวที่  $N$

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการศึกษา ประกอบด้วย

1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (Tree diameter,  $\varnothing$ ) เก็บข้อมูลก่อนการทดลองและทุก ๆ 6 วัน ตลอดการทดลอง โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ส่วน คือ ส่วนบน ( $\varnothing_U$ ) ส่วนกลาง ( $\varnothing_M$ ) และส่วนทำล่าง ( $\varnothing_L$ ) ได้ผลการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (%) ดังตารางที่ 4-2

2) ความสูงของลำต้น (Tree height,  $h_t$ ) เก็บข้อมูลก่อนการทดลองและทุก ๆ 6 วัน ตลอดการทดลอง โดยวัดความสูงจากบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างถึงบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ได้ผลการเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น (%) ดังตารางที่ 4-2

3) ปริมาตรตัวแทน (Representative volume,  $Vol$ ) ข้อมูลปริมาตรตัวแทนได้จากการนำข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยและความสูงของลำต้นมาคำนวณหาปริมาตรทรงกระบอกจากสมการที่ 4-2 และคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงแปลงปริมาตรตัวแทนได้จากสมการที่ 4-3 ได้ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทน (%) ดังตารางที่ 4-2

$$Vol = \left( \frac{\pi \times (\varnothing_{av}^2)}{4} \right) \times (h_t) \quad (4-2)$$

$$\Delta Vol = \frac{\sum_{i=1}^N \left[ \left( \frac{\pi \times (\varnothing_{av}^2)_i}{4} \right) \times (h_t)_i \times 100 \right]}{N} \quad (4-3)$$

เมื่อ  $\Delta Vol$  คือ การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทน (%)

$\varnothing_{av}$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย (Average of tree diameter, เซนติเมตร) คือ ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นโดยรวมของต้นกล้าป่าชายเลน ซึ่งได้จากการนำค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ส่วนกลาง และส่วนบน มาหาค่าเฉลี่ย

$h_t$  คือ ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)

โดยที่  $i$  คือ ค่าของข้อมูลปริมาตรตัวแทนตัวที่ 1 ถึง ค่าข้อมูลปริมาตรตัวแทนตัวที่  $N$

4) จำนวนใบ (Number of leaves,  $N_L$ ) เก็บข้อมูลจำนวนใบก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง ข้อมูลจำนวนใบที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบเป็นข้อมูลจำนวนใบคงเหลือ ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 4-4 ได้ผลจำนวนใบคงเหลือ (%) ดังตารางที่ 4-2

$$N_{RL} = \left( \frac{N_{L(E)}}{N_{L(S)}} \right) \times 100 \quad (4-4)$$

เมื่อ  $N_{RL}$  คือ จำนวนใบคงเหลือ (Number of remaining leaves, %)

$N_{L(E)}$  คือ จำนวนใบหลังการทดลอง (Ending number of leaves, ใบ)

$N_{L(S)}$  คือ จำนวนใบก่อนการทดลอง (Starting number of leaves, ใบ)

5) น้ำหนักมวลชีวภาพ (Biomass,  $B_M$ ) เก็บข้อมูลน้ำหนักมวลชีวภาพหลังจบการทดลอง โดยการแบ่งส่วนน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลนออกเป็น 3 ส่วน คือ น้ำหนักมวลชีวภาพของราก ( $B_{MR}$ ) น้ำหนักมวลชีวภาพของลำต้น ( $B_{MT}$ ) และน้ำหนักมวลชีวภาพของใบ ( $B_{ML}$ ) แล้วนำไปอบ จากนั้นนำค่าน้ำหนักของทั้งสามส่วนมาคิดเป็นน้ำหนักมวลชีวภาพของทั้งต้น สามารถหาค่าน้ำหนักมวลชีวภาพได้จากสมการที่ 4-5 ได้ผลน้ำหนักมวลชีวภาพ (%) ดังตารางที่ 4-2

$$B_M = \left( \frac{B_{M(f)}}{B_{M(i)}} \right) \times 100 \quad (4-5)$$

เมื่อ  $B_M$  คือ น้ำหนักมวลชีวภาพ (%)

$B_{M(i)}$  คือ น้ำหนักมวลชีวภาพหลังการทดลอง ก่อนอบ (Initial biomass, กรัม)

$B_{M(f)}$  คือ น้ำหนักมวลชีวภาพหลังการทดลอง หลังอบ (Final biomass, กรัม)

6) การตายของต้นกล้าป่าชายเลน (Dead tree,  $T_D$ ) ในการเก็บข้อมูลได้นิยามลักษณะการตายของต้นกล้าป่าชายเลนที่เกิดขึ้นซึ่งพิจารณาจากลักษณะภายนอกของต้นกล้า คือ ใบและลำต้นมีลักษณะเหี่ยวเฉาและเปลี่ยนสีเป็นสีดำ ดังภาพที่ 4-1 ได้ข้อมูลการตายของต้นกล้าป่าชายเลนจากการนับจำนวนต้นของต้นกล้าป่าชายเลนก่อนการทดลองและหลังการทดลอง โดยสามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าป่าชายเลนได้จากสมการที่ 4-6 ได้การตายของต้นกล้าป่าชายเลน (%) ดังตารางที่ 4-2

$$T_D = \left( \frac{N_{T_D(E)}}{N_{T(S)}} \right) \times 100 \quad (4-6)$$

เมื่อ  $T_D$  คือ การตายของต้นกล้าป่าชายเลน (%)

$N_{T_D(E)}$  คือ จำนวนต้นกล้าที่ตายหลังการทดลอง (Ending number of tree dead, ต้น)

$N_{T(S)}$  คือ จำนวนต้นกล้าก่อนการทดลอง (Starting number of tree, ต้น)



ภาพที่ 4-1 ลักษณะการตายของต้นกล้าป่าชายเลน

ตารางที่ 4-1 ความสูงคลื่นเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลอง

จำนวนวัน	ระยะคันชัก ข้อเหวี่ยง (มิลลิเมตร)	ความสูงคลื่น ออกแบบ (เซนติเมตร)	ความสูงคลื่นเฉลี่ยจากอุปกรณ์ (เซนติเมตร)	
			แบบประจุไฟฟ้า	แบบเข็ม
30	-	0.00	-	-
	120	7.50	7.73	8.11
	160	10.00	10.57	10.64
	200	12.50	12.29	12.74

ตารางที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของคลื่น

พารามิเตอร์	ความสูงคลื่น							
	12.29 (เซนติเมตร)		10.57 (เซนติเมตร)		7.73 (เซนติเมตร)		0.00 (เซนติเมตร)	
	ต้นกล้า โกงกาง	ต้นกล้า แสม	ต้นกล้า โกงกาง	ต้นกล้า แสม	ต้นกล้า โกงกาง	ต้นกล้า แสม	ต้นกล้า โกงกาง	ต้นกล้า แสม
$\Delta\sigma_L$ (%)	-0.23	1.25	0.91	0.79	0.45	0.28	0.70	-2.63
$\Delta\sigma_M$ (%)	-0.70	4.94	-0.26	-0.33	1.34	-0.11	0.52	-4.61
$\Delta\sigma_U$ (%)	4.99	5.15	2.72	3.43	1.91	0.73	-0.56	-0.46
$\Delta\sigma_{av}$ (%)	0.80	3.78	1.12	1.30	1.23	0.30	0.22	-2.57
$\Delta h_t$ (%)	-0.48	0.06	-0.38	0.68	0.41	0.98	0.16	0.73
$\Delta Vol$ (%)	0.67	6.61	1.49	4.43	2.97	1.02	2.590	-4.43
$N_{RL}$ (%)	50.00	96.45	70.93	94.30	59.77	93.53	90.14	92.21
$B_{ML}$ (%)	25.95	21.44	24.16	21.28	37.04	22.30	24.38	21.33
$B_{MR}$ (%)	34.88	24.74	39.48	24.47	37.1	24.94	38.88	23.08
$B_{MT}$ (%)	61.67	24.95	65.82	24.91	60.15	29.95	66.03	23.69
$B_M$ (%)	55.41	23.83	55.69	23.66	54.39	26.34	57.15	22.81
$R_D$ (%)	33.00	0.00	26.67	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00

### 4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเรื่องผลกระทบของคลื่น

เมื่อนำข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมาวิเคราะห์ผล โดยนำข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักมวลชีวภาพ และการตายของต้นกล้าป่าชายเลนมาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพตามสมการ 4-1 ถึง 4-6 ได้ผลการทดลองดังนี้

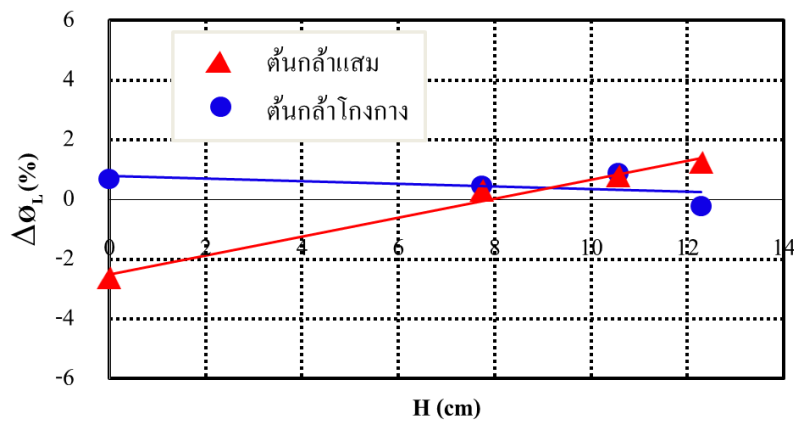
#### 4.3.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ( $\Delta\sigma$ ) โดยวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางกับความสูงคลื่น (H) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 4 ส่วน ได้แก่ การ

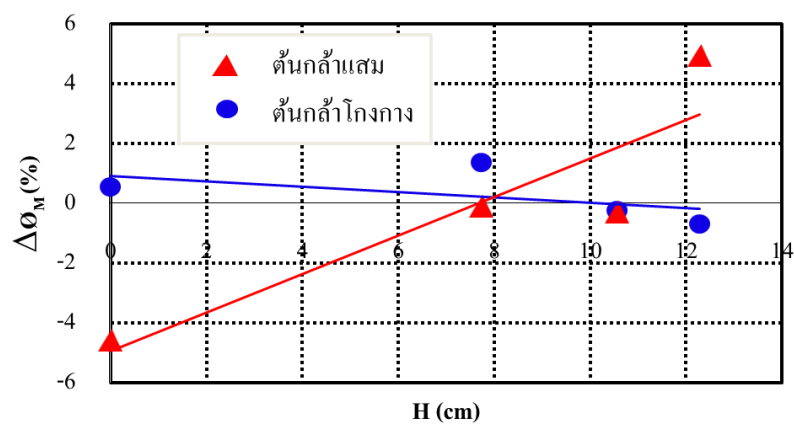
เปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน และการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 4-2 ถึง ภาพที่ 4-5 ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ( $\Delta\sigma_L$ ) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นว่าผลกระทบของความสูงคลื่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าแสม โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีของต้นกล้าโกงกาง พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยตามขนาดความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าทั้งสองชนิด พบว่าต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกาง ส่วนในกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าโกงกางเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพที่ 4-2

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ( $\Delta\sigma_M$ ) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นแนวโน้มในการทำงานเกี่ยวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง กล่าวคือ ความสูงคลื่นมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางของต้นกล้าแสม โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีของต้นกล้าโกงกางแสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนล่าง คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น แต่ว่าการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนกลางของต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดมากกว่าการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนล่าง อาจเป็นเพราะว่าลักษณะเนื้อไม้ของต้นกล้าโกงกางบริเวณลำต้นส่วนกลางมีลักษณะเป็นไม้เนื้ออ่อนกว่าลำต้นส่วนล่าง และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างเห็นได้ชัดในกรณีที่ความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร ส่วนในกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าโกงกางเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ต้นกล้าแสมเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ( $\Delta D_L$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น

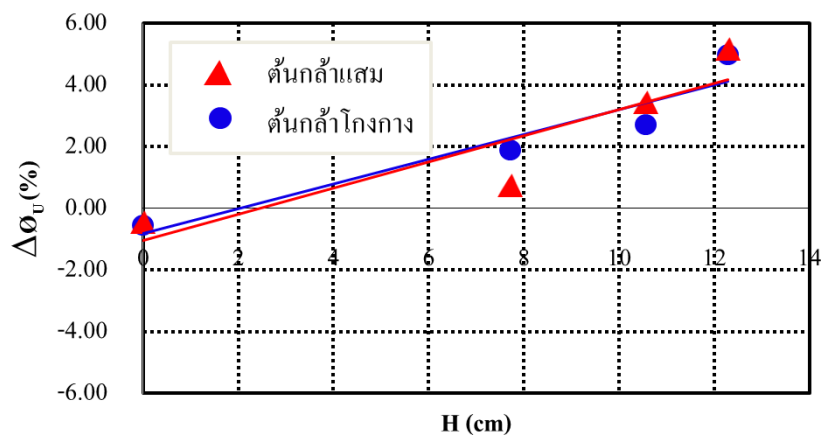


ภาพที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ( $\Delta D_M$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น

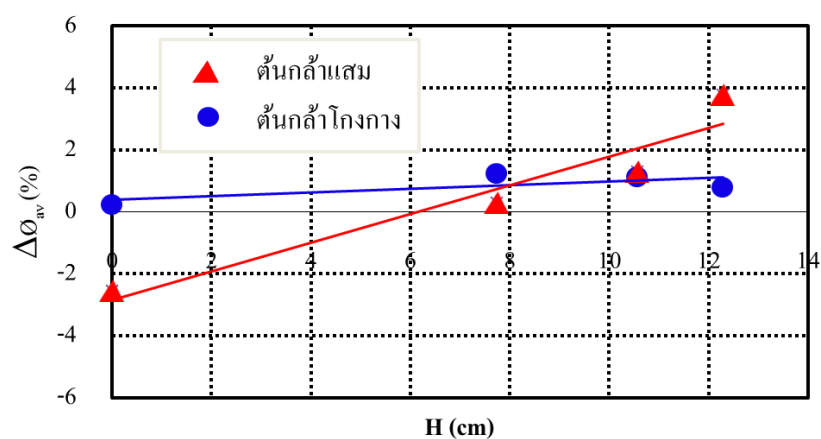
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ( $\Delta\sigma_U$ ) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นว่า ต้นกล้าแสมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนในทำนองเดียวกับลำต้นส่วนกลาง และส่วนล่าง กล่าวคือ ความสูงคลื่นมีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าแสม โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น แต่ในส่วนของต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนที่แตกต่างจากลำต้นส่วนกลาง และส่วนล่าง กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ลำต้นส่วนกลางและส่วนล่างมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลง อาจเป็นเพราะว่าลักษณะเนื้อไม้ของต้นกล้าโกงกางบริเวณส่วนบนมีลักษณะเป็นไม้เนื้ออ่อน สามารถปลิวไหวได้จึงได้รับผลกระทบจากคลื่นน้อยกว่าลำต้นส่วนกลางและส่วนล่างที่มีลักษณะเนื้อไม้แข็งกว่า อีกทั้งลำต้นส่วนบนของต้นไม้โดยทั่วไปแล้วเป็นส่วนที่มีการเจริญเติบโตได้มากที่สุด ส่งผลให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนบนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่าต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนใกล้เคียงกัน ทั้งในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นและกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น ดังภาพที่ 4-4

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ( $\Delta\sigma_{av}$ ) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นแนวโน้มในทำนองเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ส่วนกลาง และส่วนบนของต้นกล้าแสม กล่าวคือ ความสูงคลื่นมีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีของต้นกล้าโกงกาง พบว่าเมื่อพิจารณาผลกระทบของความสูงคลื่นต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นกล้าโกงกาง ความสูงคลื่นมีผลกระทบน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นกล้าโกงกาง และหากพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจนในกรณีที่มีความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร เท่านั้น ส่วนในกรณีความสูงคลื่นที่ 7.73 และ 10.57 เซนติเมตร มีค่าการเปลี่ยนแปลงลำต้นเฉลี่ยใกล้เคียงกันทำให้ไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่า ต้นกล้าแสมสามารถทนผลกระทบของคลื่นได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงต้องพิจารณาในส่วนของ การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพในด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม ส่วนกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นกล้าโกงกางเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ต้นกล้าแสมมีขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยลดลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมมีการเจริญเติบโตแย่ง  
เมื่ออยู่ในสภาพน้ำนิ่งท่วมขังทั้งต้น ดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ( $\Delta\sigma_u$ ) เนื่องจากผลกระทบ  
จากคลื่น



ภาพที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ( $\Delta\sigma_{av}$ ) เนื่องจากผลกระทบ  
จากคลื่น



#### 4.3.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน

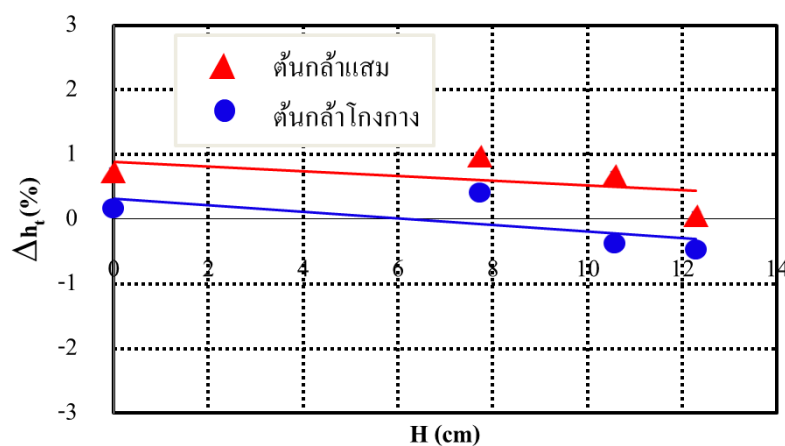
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน ( $\Delta h_t$ ) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นว่า ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้นลดลงเมื่อขนาดความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงความสูงเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่น และในกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น ซึ่งแตกต่างจากการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกรณีไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นลดลงอย่างเห็นได้ชัดทุกกรณี อาจเป็นเพราะว่าต้นกล้าแสมไม่สามารถเจริญเติบโตได้หากอยู่ในสภาพน้ำนิ่งท่วมต้น ทำให้ต้นกล้าแสมปรับตัวต่อสภาพผลกระทบจากการอยู่ในสภาพน้ำนิ่งท่วมทั้งต้นด้วยการพัฒนาการเจริญเติบโตด้านความสูงของลำต้นก่อน ทำให้การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลง ดังภาพที่ 4-6

#### 4.3.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน

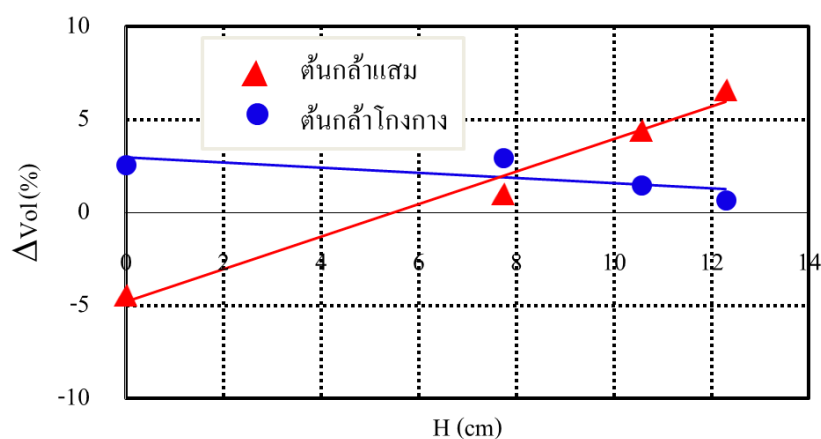
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน ( $\Delta Vol$ ) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าแสมในการทำงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ส่วนกลาง และส่วนบน กล่าวคือ ความสูงคลื่นมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าแสม โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีของต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนลดลงเล็กน้อยตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาควบคู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสามส่วนและความสูงต้นไม้ พบว่ากรณีที่ความสูงคลื่นมากที่สุดในการทดลอง ต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่สุด อาจเป็นไปได้ว่าต้นกล้าโกงกางเริ่มได้รับผลกระทบของคลื่นเมื่อความสูงคลื่นมากกว่าหรือเท่ากับ 12.29 เซนติเมตร และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าทั้งสองชนิด พบว่า ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมสามารถทนผลกระทบของคลื่นได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกาง ส่วนในกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แต่ต้นกล้าแสมเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพที่ 4-7

ผลการศึกษการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางจากผลกระทบของคลื่น แสดงให้เห็นได้ว่าต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของต้นกล้าแสมที่มีลักษณะอ่อนและพลิ้วไหวเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านทำให้ได้รับผลกระทบจากแรงที่คลื่นกระทำน้อยกว่าต้นกล้าโกงกางที่มีลักษณะโครงสร้างลำต้นที่แข็ง ซึ่งสอดคล้องกับหลักทางพฤกษศาสตร์ คือ ต้นกล้าแสมนั้นเป็นพันธุ์ไม้ป่าชาย

เลนประเภทพันธุ์ไม้เบิกนำที่เจริญเติบโตล้าออกจากชายฝั่งมากกว่าพันธุ์ไม้ป่าชายเลนประเภทอื่น (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554) จึงสามารถสรุปได้ว่าต้นกล้าแสมสามารถทนต่อผลกระทบของคลื่นได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกาง



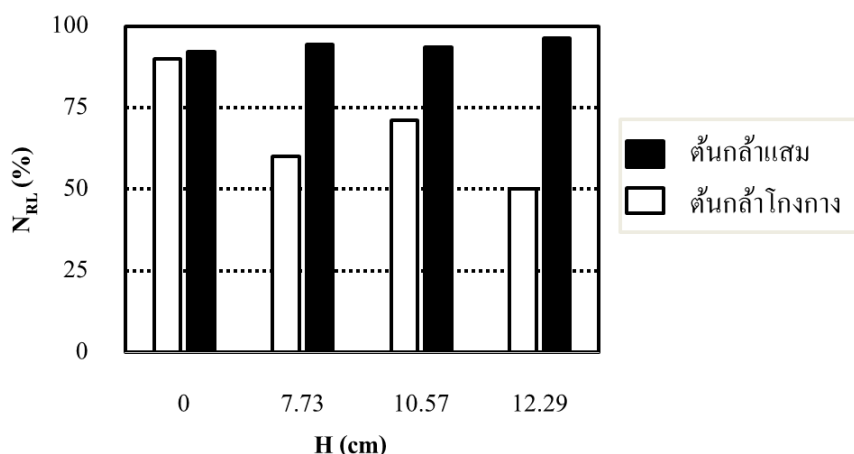
ภาพที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน ( $\Delta h_t$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น



ภาพที่ 4-7 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน ( $\Delta Vol$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น

#### 4.3.4 ผลการวิเคราะห์จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน ( $N_{RL}$ ) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นว่า ความสูงคลื่นไม่มีผลกระทบต่อจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าแสม กล่าวคือ จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในทุกกรณีไม่ว่าจะเป็นกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นและกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่น โดยจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าแสมมีค่ามากกว่า 90% ทุกกรณี ส่วนต้นกล้าโกงกาง พบว่า กรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น ต้นกล้าโกงกางมีจำนวนใบคงเหลือใกล้เคียงกับของต้นกล้าแสม ส่วนในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่น พบว่า คลื่นมีผลกระทบต่อจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าโกงกาง เนื่องจากลักษณะใบของต้นกล้าโกงกางเป็นใบแข็งและไม่ยืดหยุ่นเมื่อเทียบกับต้นกล้าแสมที่มีลักษณะใบที่พลิ้วไหวได้ง่าย ทำให้ใบของต้นกล้าโกงกางเกิดแรงต้านที่กระทำกับคลื่นมากกว่าใบของต้นกล้าแสม ส่งผลให้จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าโกงกางลดลงมากกว่าต้นกล้าแสม แต่จากความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่าคลื่นที่มีความสูงมากขึ้นจะส่งผลให้จำนวนใบคงเหลือลดลงหรือไม่ ดังภาพที่ 4-8

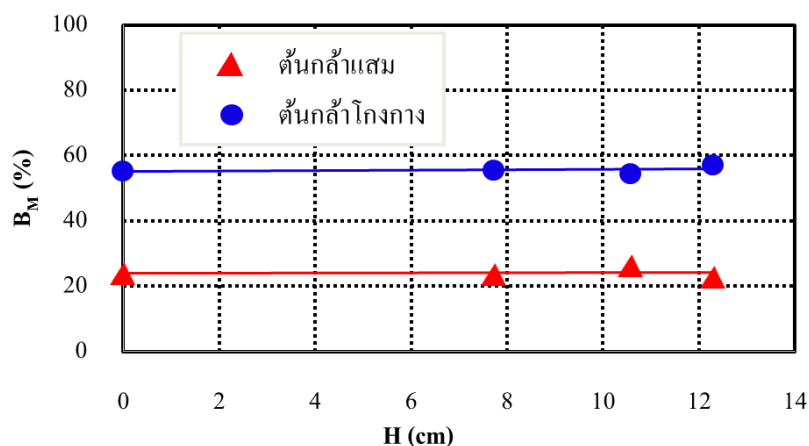


ภาพที่ 4-8 จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน ( $N_{RL}$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น

#### 4.3.5 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักรวมมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวมมวลชีวภาพ ( $B_M$ ) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นว่าคลื่นไม่มีผลต่อน้ำหนักรวมมวลชีวภาพของต้นกล้าทั้งสองชนิด โดยต้นกล้าโกงกางมีน้ำหนักรวมมวลชีวภาพประมาณ 50% ทุกกรณี และต้นกล้าแสมมีน้ำหนักรวมมวลชีวภาพประมาณ 20% ทุกกรณี แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่าต้นกล้าโกงกางมีน้ำหนักรวมมวลชีวภาพมากกว่าต้นกล้า

แสม เนื่องจากว่าต้นกล้าโกงกางมีลักษณะทางกายภาพที่ใหญ่กว่าต้นกล้าแสม เช่น ขนาดลำต้น และขนาดของใบ จึงทำให้น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าโกงกางมากกว่าต้นกล้าแสม ดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ( $B_M$ ) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น

#### 4.3.6 ผลการวิเคราะห์การตายของต้นกล้าป่าชายเลน

การตายของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง ทำการเก็บข้อมูลหลังจบการทดลองเมื่อต้นกล้าทั้งสองชนิดได้รับแรงกระทำจากคลื่นผ่านไปเป็นเวลา 30 วัน พบว่า ต้นกล้าแสมไม่ตายจนจบการทดลอง ส่วนต้นกล้าโกงกางมีจำนวนต้นกล้าที่ตายเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น จากการเก็บข้อมูลการตายของต้นกล้าโกงกางในแต่ละกรณีจึงหาความสัมพันธ์แบบไร้มิติระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกาง (Death percentage of *Rhizophora apiculata* tree,  $R_D$ ) กับความสูงคลื่น ( $H$ ) ส่วนด้วยความสูงของลำต้น ( $h_t$ ) โดยสาเหตุที่เลือกความสัมพันธ์แบบไร้มิติระหว่างความสูงคลื่นและความสูงของลำต้น เพราะว่าความสัมพันธ์ระหว่างความสูงคลื่นและความสูงของลำต้นมีความสัมพันธ์ในมิติแนวตั้งเดียวกัน อีกทั้งเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้จริง เพราะว่าความสูงของลำต้นนั้นสามารถวัดค่าได้ง่ายกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกาง ( $R_D$ ) กับความสูงคลื่น

ส่วนด้วยความสูงของลำต้น ( $\frac{H}{h_t}$ ) แสดงให้เห็นว่าความสูงคลื่นมีผลกระทบกับการตายของต้นกล้า

โกงกางอย่างแน่นอน เพราะว่าในกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นที่อยู่ในสภาพแวดล้อมในการทดลองเหมือนกันทุกประการกับกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นตลอด 30 วัน ไม่มีการตายเกิดขึ้นจนจบการทดลอง แต่ต้นกล้าโกงกางมีจำนวนการตายเพิ่มสูงขึ้นตามความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้นและมีลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นตรง ดังภาพที่ 4-10 จากการศึกษาสามารถสร้างสมการทำนาย

เปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางได้ ดังสมการที่ 4-7 โดยที่อยู่ในขอบเขตความสูงคลื่นส่วนด้วย

ความสูงของลำต้น ( $\frac{H}{h_t}$ ) เท่ากับ 0 ถึง 0.44

$$R_D = 74 \frac{H}{h_t} \quad (4-7)$$

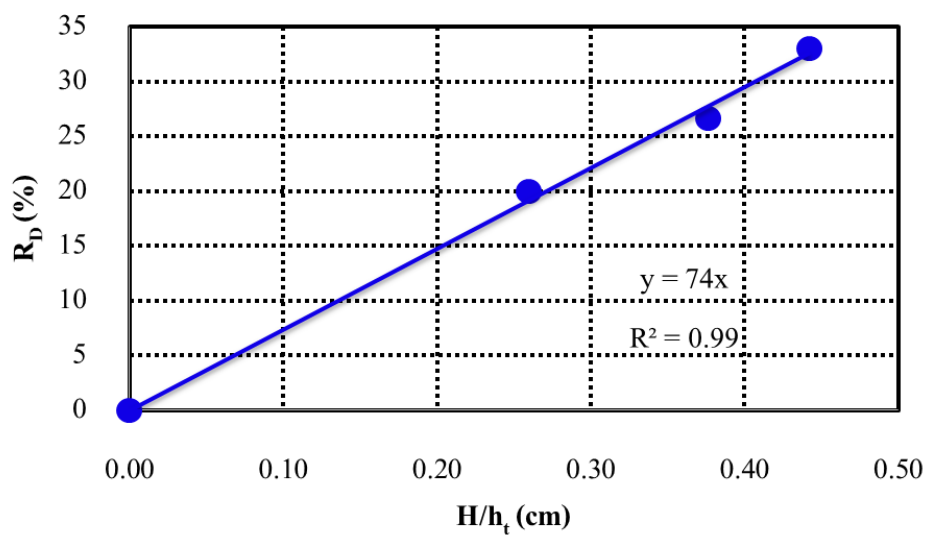
เมื่อ  $R_D$  คือ การตายของต้นกล้าโกงกาง (%)

$H$  คือ ความสูงคลื่น (เซนติเมตร)

$h_t$  คือ ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)

ในการทดลองครั้งนี้ถึงแม้ว่าช่วงความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้นมีค่าอยู่ในช่วงเพียง 0 ถึง 0.44 แต่เพื่อขยายขอบเขตการใช้งาน จึงตั้งสมมุติฐานว่าความสัมพันธ์ระหว่างการตายของต้นกล้าโกงกางกับอัตราส่วนความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้นเป็นเชิงเส้นตรงแม้อยู่นอกช่วงดังกล่าว และสมการที่ 4-7 ยังคงสามารถประยุกต์ใช้ได้ จึงยกตัวอย่างการใช้สมการที่ 4-7 ดังต่อไปนี้ มีการปลูกต้นกล้าโกงกางที่มีความสูง 40 เซนติเมตร ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่มีความสูงคลื่น 50 เซนติเมตร สามารถนำข้อมูลความสูงคลื่น และข้อมูลความสูงของต้นกล้าโกงกาง แทนค่าในสมการที่ 4-7 เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางตายได้ประมาณ 92% ดังนั้นหากต้องการปลูกต้นกล้าโกงกางให้มีการตายเกิดขึ้นเพียง 40% ต้องใช้ต้นกล้าโกงกางสูง 80 เซนติเมตร ในการปลูก

จากการวิเคราะห์ผลที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมมีความสามารถในการปรับตัวและอยู่รอดได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกาง โดยเห็นได้ชัดในหัวข้อของจำนวนใบ และจำนวนต้นกล้าที่ตาย ต้นกล้าแสมนั้นมีใบคงเหลือมากถึง 90% และไม่มีการตายเกิดขึ้นจนจบการทดลอง ส่วนต้นกล้าโกงกางนั้นได้รับผลกระทบจากคลื่นทำให้จำนวนลดลงและเกิดการตายอย่างชัดเจน



ภาพที่ 4-10 เปอร์เซนต์การตายของต้นกล้าโกกวาง ( $R_p$ ) กับความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของ

$$\text{ลำต้น} \left( \frac{H}{h_t} \right)$$

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ซึ่งได้ทำการทดลองในโรงจำลองคลื่น ณ ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา โดยสรุปการทดลองและข้อเสนอแนะ ดังนี้

#### 5.1 สรุปการทดลองในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาค้างนี้ได้ศึกษาผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลนเป็นระยะเวลา 30 วัน สามารถสรุปได้ว่าคลื่นมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าโก่งก้างน้อยมาก แต่คลื่นมีผลทำให้จำนวนใบของต้นกล้าโก่งก้างลดลง เพราะว่าต้นกล้าโก่งก้างมีลักษณะใบใหญ่และแข็ง จึงเกิดแรงต้านแรงกระทำเนื่องจากคลื่นมาก ส่งผลให้ใบของต้นกล้าโก่งก้างหลุด และคลื่นมีผลกระทบต่อการตายของต้นกล้าโก่งก้างอย่างชัดเจน ส่วนต้นกล้าแสม พบว่าต้นกล้าแสมสามารถปรับตัวอยู่ในสภาพได้รับผลกระทบจากคลื่นได้ดีกว่าสภาพน้ำนิ่งท่วมทั้งต้น (กรณีควบคุม) และคลื่นส่งผลให้ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้นตามความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น แต่คลื่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพความสูงของลำต้นและน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าแสมน้อยมาก นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโก่งก้าง พบว่า ต้นกล้าแสมสามารถทนผลกระทบเนื่องจากคลื่นได้ดีกว่าต้นกล้าโก่งก้าง

#### 5.2 สมการและการนำไปใช้

การศึกษารูปแบบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนทำให้ได้สมการทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโก่งก้างที่สามารถนำไปใช้ทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโก่งก้างที่นำไปปลูกป่าชายเลนในแต่ละพื้นที่ได้ สมการทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของ

ต้นกล้าโก่งก้างเนื่องจากผลกระทบของคลื่น โดยที่มีขอบเขตความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้น

$\left(\frac{H}{h_t}\right)$  อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.44

$$R_D = 74 \frac{H}{h_t} \quad (5-1)$$

สมการทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโก่งก้างเนื่องจากผลกระทบของคลื่น สามารถนำไปใช้ทำนายการตายของต้นกล้าโก่งก้างที่ปลูกป่าชายเลนในพื้นที่ได้ โดยใช้ข้อมูลพื้นฐาน 2 ข้อมูล คือ ความสูงคลื่น ( $H$ ) และความสูงของต้นไม้ ( $h_t$ ) ถึงแม้ว่าช่วงความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้นมีค่าอยู่ในช่วงเพียง 0 ถึง 0.44 แต่เพื่อขยายขอบเขตการใช้งาน จึงตั้งสมมุติฐานว่าความสัมพันธ์ระหว่างการตายของต้นกล้าโก่งก้างกับอัตราส่วนความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้นเป็นเชิงเส้นตรงแม้อยู่ในช่วงดังกล่าว และสมการที่ 5-1 ยังคงสามารถประยุกต์ใช้ได้ ยกตัวอย่างการนำไปใช้ เช่น ปลูกต้นกล้าโก่งก้างสูง 50 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่มีความสูงคลื่น 50 เซนติเมตรแทนค่าตัวแปรในสมการที่ 5-1 ทำให้ทราบว่าต้นกล้าโก่งก้างตาย 74% ดังนั้นหากต้องการปลูกต้นกล้าโก่งก้างให้มีเปอร์เซ็นต์การตายลดลงสามารถทำได้สองวิธี คือ หนึ่งเพิ่มความสูงของต้นกล้าโก่งก้าง สองลดแรงกระทำจากความสูงคลื่น เช่น สร้างแนวไม้ไผ่สลายพลังงานคลื่นนอกฝั่ง

## 5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาในอนาคต

1. การทำการทดลองให้มีสภาพเหมือนในธรรมชาติมากที่สุด ควรคำนึงถึงปัจจัยในเรื่องดินเพิ่มเติม ซึ่งดินในพื้นที่ดินธรรมชาติมีปริมาณมาก และมีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า
2. ควรเพิ่มกรณีศึกษา และระยะเวลาในการทดลองผลกระทบของให้มากขึ้นเพื่อที่จะให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนยิ่งขึ้น



## บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2558). *พื้นที่ป่าชายเลนในอดีต*. เข้าถึงได้จาก  
[http://marinegiscenter.dmcr.go.th/km/mangroves\\_doc08#.WVFD0Y7yphPY](http://marinegiscenter.dmcr.go.th/km/mangroves_doc08#.WVFD0Y7yphPY)
- ศุภราช ชูชาติเจริญพร. (2559, 8 ตุลาคม). สัมภาษณ์  
 ศูนย์อุตุนิยมวิทยา. (2560). *สถานะภาพคลื่นในทะเลตามเส้นทางการเดินทางเรือ*. เข้าถึงได้จาก  
<http://www.marine.tmd.go.th/thai/ships00.html>
- สนิท อักษรแก้ว, สนใจ หะวานนท์ และ ชาตรี มากนวล. (2539). *คู่มือการปลูกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน*.  
 กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนพี่น้องบิลิซซิ่ง
- สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาตี. (2554). *ป่าชายเลน: นิเวศวิทยาและพรรณไม้*. พิมพ์  
 ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน)
- สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน, ธนิตย์ หนูยิ้ม และ โชวโซ นากามูระ. (2540). อัตราการรอดตาย และการ  
 เจริญเติบโตของโกงกางใบเล็ก และโกงกางใบใหญ่ที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน. ใน *การ  
 ประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35* (หน้า 573-585).  
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุวัจน์ ธีรุต. (2550). *วิทยาศาสตร์ทางทะเลเบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์  
 โอเดียนสโตร์
- อุทัย จ้อยเหลียง. (2559, 23 เมษายน). สัมภาษณ์
- Adam, J.B. & Human, L.R.D. (2016). Investigation into the mortality of mangroves at St.  
 Lucia Estuary. *South African Journal of Botany*, 107, 121-128.
- Duxbury, A.C. & Duxbury A.B. (1997). An introduction to the world's oceans. Wm. C.  
 Brow Publishers. 504 p
- Feagin, R.A., Irish, J.L., Moller, I., Williams, A.M., Colon-Rivera, R.J., & Mousavi, M.E.  
 (2011). Short Communication: Engineering Properties of Wetland Plant with  
 Application to Wave Attenuation, *Coastal Engineering*, 58, 251-255.
- GUNT (2001a). *Instruction Manual HM161 Large Flow Channel*. Germany: G.U.N.T.  
 Gerätebau GmbH.
- GUNT (2001b). *Instruction Manual HM161.41 Wave Generator Flap-Type*. Germany:  
 G.U.N.T. Gerätebau Gerätebau GmbH.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- GUNT (2001c). *Technical Information HM161.74 Paddle and Blocking Plate*. Germany: G.U.N.T. Gerätebau Gerätebau GmbH.
- GUNT (2001d). *Instruction Manual HM 161.52 Hook and Point Gaufe*. G.U.N.T. Gerätebau GmbH
- Hashim, A.M., & Catherine, M.P. (2013). A Laboratory Study on Wave Reduction by Mangrove Forests, *APCBEE Procedia*, 5, 27-32
- Hashim, R., Kamali B., Tamin, N.M., & Zakaria, R. (2010). An Intergrated Approach to Coastal Rehabilitation: Mangrove restoration in Sugai Haji Dorani, Malaysai,Estuarine, *Coastal and ahelf Science*, 86, 118-124.
- He, B., Lai, T., Fan, H., Wang, W., & Zheng, H. (2007). Comparision of Flooding-Tolerance in Four Mangrove Species in a Diurnal Tidal Zone in the Beibu Gulf, Estuarine, *Coastal and Shelf Science*, 74, 254-262.
- Kathiresan, K., & Rajendran, N. (2005). Coastal Mangrove Forests Mitigated Tsunami, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65, 601-606.
- Liu, H., Zhang, K., Li, Y., & Xie, L. (2013). Numerical Study of the Sensitivity of Mangroves in Reducing Storm Surge and Flooding to Hurricane Characteristics in Southern Florida, *Continental Shelf Research*, 64, 51-65.
- Lu, W., Chen, L., Wang, W., Tam, N.F., & Lin, G. (2013). Effect of Sea Level Rise on Mangrove Avicennia Population Growth, Colonization and Establishment: Evidence from a Field Survey and Greenhouse Manipulation Experiment, *Acta Oecologica*, 49, 83-91.
- Lugo, A.E., & Snedaker, S.C. (1974). The ecology of mangroves. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, 5, 39-64
- Mazda, Y., Magi, M., Ikeda, Y., Kurokawa, T., & Asano, T. (2006). Wave reduction in a mangrove forest dominated by *Sonneratia* sp., *Wetlands Ecology and Management*, 14, 365-378.
- Mazda, Y., Magi, M., Kogo, M., & Hong P.N., (1997). Mangrove as a Coastal Protection from Wave in the Tong King Delta, Vietnam, *Mangrove and Salt Marshes*, 1, 127-135.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- Tuyen, N.B., & Hung, H.V. (2009). An Experimental Study on Wave Reduction Efficiency of Mangrove Forest, *Proceeding of the 5<sup>th</sup> International Conference on Asian Pacific Coast (APAC2009)* (pp. 336-343). Nanyang Technological University (NTU).
- Woodroffe, C. (1992). Mangrove sediments and geomorphology, in Robertson A.I. and Alongi D.M., eds. *Tropical Mangrove Ecosystems, American Geophysical Union. Washington, DC.*, pp. 7-41.
- Yanagisawa, H., Koshimura, S., Goto, K., Miyagi, T., Imamura, F., Ruangrassamee, A., & Tanavud, C. (2009). The Reduction Effect of Mangrove Forest on a Tsunami Based on Field Surveys at Pakarang Cape, Thailand and Numerical Analysis, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81, 27-37.
- Yang, S.C., Shih, S.S., Hwang, G.W., Adams, J.B., Lee, H.Y., & Chen, C.P. (2013). The Salinity Gradient Influences on the Inundation Tolerance Threshold of Mangrove Forest, *Ecological Engineering*, 51, 59-65.



## การทดลองในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับ ผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

### A laboratory experiment on the effects of waves on the physical characteristic of planted mangrove sprouts

กมลพล ชัยนันทา<sup>1</sup>, จตุรงค์ เกาทัณฑ์<sup>2</sup>, กุลชาติ บริบูรณ์นางกูร<sup>3</sup>, ชลธิชา กมลเจริญแสนสุข<sup>4</sup>, นีรติห์ แยมโอษฐ์<sup>5</sup> และ 'ธรรมนุญ รัตมีมาสเมือง'<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,6</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

<sup>5</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและเทคโนโลยี คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพฯ

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

#### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันว่าป่าชายเลนเป็นโครงสร้างป้องกันชายฝั่งทะเลตามธรรมชาติ ทำให้มีการรณรงค์ปลูกป่าชายเลนมากขึ้นแต่ประสิทธิภาพยังไม่ดีเท่าที่ควร ปัจจัยที่ทำให้ความสำเร็จของการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนต่ำมีด้วยกันหลายปัจจัย อาทิ คลื่น และกระแสน้ำที่รุนแรงเกินไป คุณภาพดินที่ไม่ดี ศัตรูพืช เป็นต้น งานวิจัยนี้สนใจปัจจัยเรื่องคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน การศึกษาถูกดำเนินการในรางจำลองคลื่นขนาดความยาว 1,600 ซม. กว้าง 60 ซม. และสูง 80 ซม. ต้นกล้าที่ใช้ในการศึกษามี 2 ชนิด คือ ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางถูกปลูกไว้ในราง ความสูงระดับน้ำที่ 50 ซม. คลื่นที่ใช้ในการทดลองเป็นคลื่นแบบสม่ำเสมอ คาบคลื่น 1 วินาที และความสูงแตกต่างกัน 3 ค่า โดยปรับระยะคันชักที่ 120, 160 และ 200 มม. ซึ่งทำให้เกิดคลื่นสูง 7.7, 10.6, และ 12.3 ซม. การทดลองใช้เวลาการณีสละ 2 ชั่วโมงต่อวัน ทดลองต่อเนื่องกันเป็นเวลา 30 วัน สุดท้ายนำต้นกล้าแต่ละกรณีมาวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปผลการศึกษาพบว่าต้นกล้าแสมที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นที่มีความสูงมากเจริญเติบโตได้ดีกว่ากรณีคลื่นที่มีความสูงน้อย ส่วนต้นกล้าโกงกางเจริญเติบโตได้ดีในกรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น และเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางมีผลมาจากคลื่นอย่างชัดเจน

คำสำคัญ: ความสูงคลื่น, ต้นกล้าป่าชายเลน, การป้องกันชายฝั่งทะเล

#### Abstract

In the present, Mangrove are recognized as the natural coastal-protection structures. Efforts to plant the mangroves have, therefore, been made. However, the effectiveness of those efforts is still very low, due to several factors; e.g. too strong wave and current, low-quality soil, weeds and animals. This study focuses on the effects of waves on the physical characteristics of mangrove sprouts. The study was conducted in a wave flume. Size of the wave flume is 1600 cm. long, 60 cm.

wide and 80 cm. deep. Two types of mangroves sprouts used in the study were *Avicennia alba* and *Rhizophora apiculata* planted in the flume with a uniform water level of 50 cm. Regular waves with the period of 1 sec and 3 different waves heights 7.7, 10.6, and 12.3 cm. were applied. Testing time is 2 hour per day for each case continuously for thirty days. Finally the physical changes of sprouts of each case were observed. The study shows *Avicennia alba* growing up well in the case of the higher wave heights. *Rhizophora apiculata* sprouts grow up well in the case of no wave action and the relationship between the death percentage of *Rhizophora apiculata* and the wave height was clearly observed.

Keywords: Wave height, Mangrove sprouts, Coastal protection

#### 1. บทนำ

ป่าชายเลน (Mangroves) เป็นป่าไม้ที่เจริญเติบโตในเขตพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่มีระดับน้ำทะเลขึ้น-ลง มีความสำคัญอย่างมากในระบบนิเวศน์ชายฝั่ง เนื่องจากเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของทั้งสัตว์บก และ สัตว์น้ำ ในด้านเศรษฐกิจ เช่น การทำถ่านคุณภาพสูงจากต้นโกงกาง การทำนาเกลือ หรือการเพาะพันธุ์เลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ในด้านสังคม เป็นแหล่งศึกษาเรียนรู้ระบบนิเวศน์ชายฝั่ง และสถานที่ท่องเที่ยว นอกจากนี้ป่าชายเลนยังทำหน้าที่เป็นเสมือนแนวป้องกันหรือลดทอนคลื่นจากภัยธรรมชาติได้อีกด้วย มีการศึกษาจำนวนผู้เสียชีวิตตามแนวชายฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศอินเดียที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิ พบว่าบริเวณชายฝั่งที่มีพื้นที่ป่าชายเลนมาก ส่งผลให้จำนวนผู้เสียชีวิตลดลง [1] แสดงให้เห็นว่าป่าชายเลนนั้นสามารถช่วยลดผลกระทบจากภัยพิบัติทางธรรมชาติได้จริง การศึกษาความสามารถในการลดทอนคลื่นของป่าชายเลน มีทั้งการศึกษาในห้องปฏิบัติการ และภาคสนาม การศึกษาในภาคสนามของ [2] ได้ศึกษาการลดทอนคลื่นที่ประเทศเวียดนาม มีพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่ง

ประกอบด้วยต้นรังกะแท้ (*Kandelia candel*) อายุครึ่งปี ส่วนที่สอง ต้นรังกะแท้อายุ 2 ถึง 3 ปี และส่วนสามต้นรังกะแท้อายุ 5 ถึง 6 ปี ทำการศึกษาโดยการติดตั้งเครื่องวัดคลื่น ในพื้นที่ศึกษาทั้งสามส่วน พบว่าพื้นที่ส่วนที่สามที่มีอายุของต้นรังกะแท้มากที่สุด สามารถลดทอนคลื่นได้มากที่สุด เนื่องจากขนาดของต้นไม้ในพื้นที่ส่วนที่สามมีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อดูจากอายุ การศึกษาการลดทอนคลื่นในห้องปฏิบัติการ [3] ได้ศึกษาโดยนำต้นลำพู (*Sonneratia*) มาปลูกในรางน้ำจำลองคลื่น พบว่าพื้นที่ป่าชายเลนที่มีความหนาแน่นมากมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น 70% ถึง 80% พื้นที่ไม่มีป่าชายเลน (พื้นที่ด้านหน้าชายฝั่ง) มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นอยู่ที่ 40% และ การศึกษาของ [4] ได้จำลองรากต้นโกงกางที่ทำจากเหล็ก โดยสนใจในกรณีความหนาแน่น และการจัดเรียงตัวของรากโกงกางที่ต่างกันในพื้นที่ป่าชายเลน พบว่าความหนาแน่นมีผลต่อการลดทอนคลื่นอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการศึกษาของ [3] แต่การจัดเรียงมีผลต่อการลดทอนคลื่นต่างกันไม่มาก นอกจากความหนาแน่นของต้นไม้ป่าชายเลนแล้ว ระดับน้ำ ความชันคลื่น ความยาวของแนวป่าชายเลนยังส่งผลต่อการลดทอนคลื่นเช่นเดียวกัน [5]

ปัจจุบันพื้นที่ป่าชายเลนถูกบุกรุก และทำลายเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางเศรษฐกิจเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ปริมาณพื้นที่ป่าชายเลนนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว การลดลงของป่าชายเลนมีสาเหตุหลัก ๆ มากจากมนุษย์ แต่นอกจากการกระบุกรุก และทำลายของมนุษย์แล้ว ธรรมชาติก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ป่าชายเลนลดลงเช่นกัน เช่น จากภัยธรรมชาติ ในปี ค.ศ. 2004 ที่เกิดคลื่นสึนามิในมหาสมุทรอินเดียบริเวณแหลมปะการัง จังหวัดพังงา ประเทศไทย พบว่าพื้นที่ป่าชายเลน 70% ถูกทำลาย โดยดูจากภาพถ่ายทางอากาศก่อนและหลังเกิดคลื่นสึนามิ [6] นอกจากภัยธรรมชาติที่รุนแรงแล้วยังมีอีกหลายปัจจัยทางธรรมชาติที่ส่งผลให้ป่าชายเลนลดลง อาทิเช่น การเพิ่มขึ้นของน้ำทะเลในปี ค.ศ. 2007 [7] ได้ศึกษาการทนน้ำท่วมของต้นไม้ป่าชายเลนที่ประเทศจีนในภาคสนาม เพื่อตรวจสอบการรอดตาย และการเจริญเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลนในพื้นที่ คือ แสมแดง (*Aegiceras corniculatum*) แสมทะเล (*Avicennia marina*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera Gymnorhiza*) และโกงกางทะเล (*Rhizophora stylosa* Griff) โดยทำแปลงปลูกที่มีความลาดชันต่างกัน 8 ระดับ คือ -40, -30, -20, -10, 0, 10, 20 และ 30 เซนติเมตร เทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง ทำการศึกษาเป็นเวลา 1 ปี พบว่าต้นแสมทะเลสามารถทนน้ำท่วมได้ดีที่สุด รองลงมา คือ ต้นเล็บมือนาง โกงกางทะเล และพังกาหัวสุมดอกแดงตามลำดับ ซึ่งต้นพังกาหัวสุมดอกแดง และโกงกางทะเลเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความลาดสูง การศึกษาของ [8] เกี่ยวกับผลกระทบของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อลักษณะโครงสร้าง และการเจริญเติบโตของต้นแสมทะเลที่ประเทศจีน โดยการสำรวจภาคสนาม 5 พื้นที่ ที่มีระดับ 105, 95, 65, 55 และ 45 ซม. เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง พบว่าต้นแสมทะเลเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลได้ดีกว่าพื้นที่ต่ำ นอกจากการศึกษาในภาคสนามแล้วยังได้ศึกษาในห้องทดลองกลางแจ้ง โดยการนำต้นแสมทะเลมาแช่น้ำในถังที่ระดับน้ำท่วมราก และท่วมต้นที่ระยะเวลาการท่วม 0, 2, 4, 6 และ 12 ชั่วโมง พบว่าต้นแสมทะเลที่แช่น้ำท่วมต้นมีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักมวลชีวภาพ การสังเคราะห์แสง การแลกเปลี่ยนอณูเล็กรอนของใบ และการใช้น้ำน้อยกว่าต้นแสมทะเลที่

แช่น้ำท่วมราก และยิ่งเวลาในการท่วมมาก จะส่งผลต่อน้ำหนักมวลชีวภาพ การสังเคราะห์แสง การแลกเปลี่ยนอณูเล็กรอนของใบ และการใช้น้ำมากตามไปด้วย จากการศึกษาของ [6] และ [7] ถึงแม้ว่าต้นแสมทะเลจะสามารถทนน้ำท่วมได้ดีกว่าต้นไม้ป่าชายเลนชนิดอื่น แต่ก็สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าถ้าอยู่ในพื้นที่ที่สูง ดังนั้นปัจจัยเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ถือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการลดลงของป่าชายเลนโดยธรรมชาติอย่างแน่นอน แต่นอกจากปัจจัยเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกไม่ว่าจะเป็นคลื่น กระแสน้ำ แสง และความเค็ม เป็นต้น

คลื่นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการลดลงของต้นกล้า แต่ปัจจุบันการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของคลื่นต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้านั้นถือว่ายังมีน้อยมาก ดังนั้นในการศึกษานี้ จะศึกษาผลกระทบของคลื่นในรูปแบบของความสูงคลื่นที่แตกต่างกัน ไปต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า โดยทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ชลศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

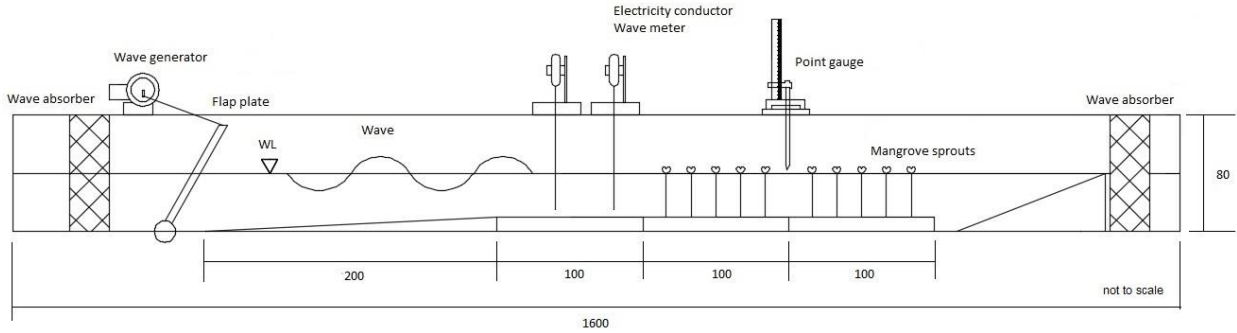
## 2. วิธีการศึกษา

การศึกษานี้มีตัวแปรต้น คือ ความสูงคลื่นที่ต่างกันในแต่ละกรณีศึกษา ตัวแปรควบคุม คือ ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง ดังแสดงในรูปที่ 1 และตัวแปรตาม คือ ลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าที่เปลี่ยนแปลงไป ต้นกล้าที่ใช้ในการปลูกป่าชายเลนในสภาพจริงสูง 60 ถึง 80 ซม. และ คลื่นโดยทั่วไปสูง 0.25 ถึง 50 ซม. ดังนั้นเราจึงเลือกใช้ต้นกล้าที่มีความสูง 45 ถึง 50 ซม. และสร้างคลื่นที่มีความสูงคลื่นสูงสุด 12.3 ซม. เพื่อเป็นการย่อขนาดอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ของสภาพจริงมาทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

การศึกษานี้ดำเนินการทดลองในรางจำลองคลื่น (Wave flume) ที่มีความยาว 1600 ซม. กว้าง 60 ซม. และลึก 80 ซม. สร้างคลื่นโดยใช้มอเตอร์ (Motor) และแผ่นสร้างคลื่น (Paddle plate) กำหนดความเร็วมอเตอร์อยู่ที่ 60 รอบต่อนาที ระดับน้ำสูง 50 ซม. ชุดแปลงทดลองประกอบด้วยพื้นเอียงยาว 200 ซม. กว้าง 58 ซม. และเอียงสูงชันจากพื้นราง 10 ซม. คิดเป็นความลาด 0.05 พื้นเรียบยาวต่อจากพื้นเอียงยาวออกมา 100 ซม. สำหรับปรับระดับพื้นก่อนเข้าสู่แปลงจำลองปลูกต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความลึกน้ำอย่างฉับพลันที่จะส่งผลต่อคลื่น แปลงจำลองปลูกต้นกล้าอยู่ติดกับพื้นเรียบปรับระดับ ดังแสดงในรูป 2

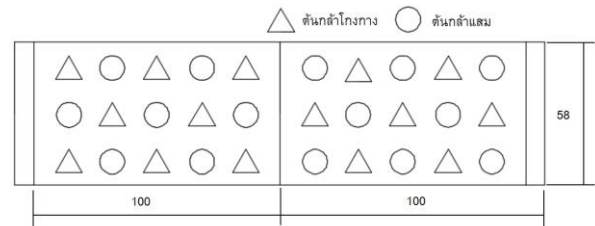


รูปที่ 1 ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง



รูปที่ 2 ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์การทดลอง

แปลงจำลองปลูกต้นกล้าป่าชายเลนประกอบด้วย ก่อสูงสังกะสียาว 100 ซม. กว้าง 58 ซม. และสูง 10 ซม. มีเสาหลักเป็นแนวยาวสำหรับผูกต้นกล้าให้เหมือนกับสภาพการปลูกจริง ด้านในหล่อคอนกรีตผสมโฟม เพื่อให้มีน้ำหนักเบาพอที่จะสามารถยกได้และต้องไม่ลอยน้ำ คอนกรีตมีลักษณะเป็นช่องกลม ๆ ลึก 10 ซม. ทำจากท่อพีวีซี (PVC) ขนาดสองนิ้วครึ่ง ขนาดของท่อพีวีซีพอดีกับถุงชำต้นกล้า ดังแสดงในรูปที่ 3 แปลงทดลอง 1 แปลง มีช่องสำหรับใส่ต้นกล้าได้ 15 ต้นต่อหนึ่งแปลงทดลอง ใน 1 กรณีศึกษาใช้ 2 แปลงทดลอง ใส่ต้นกล้าชนิดละ 15 ต้น รวม 30 ต้น วางต้นกล้าสลับกันไป ดังแสดงในรูปที่ 4 เพื่อให้ต้นกล้าทั้งสองชนิด ได้รับผลกระทบจากคลื่นใกล้เคียงกัน ใน 1 วัน สร้างคลื่นจากเครื่องกำเนิดคลื่น โดยปรับระยะคันชักที่ 120, 160 และ 200 มม. ทำให้ได้ค่าความสูงคลื่น (H) ประมาณ 7.3, 10.6 และ 12.3 ซม. ตามลำดับ คลื่นที่ใช้ศึกษาเป็นคลื่นแบบสม่ำเสมอ มีคาบคลื่น 1 วินาที ทำการทดลองทั้ง 3 กรณี กรณีละ 2 ชั่วโมง รวม 3 กรณีใช้เวลาทดลอง 6 ชั่วโมง (ไม่รวมเวลาติดตั้งและเปลี่ยนอุปกรณ์) ติดต่อกันเป็นเวลา 30 วันและในกรณีของแปลงควบคุมทำการทดลองโดยการแช่ต้นกล้าในกระเบพลาสติก 2 ชั่วโมงต่อวัน โดยไม่มีการกระทำของคลื่น ติดต่อกันเป็นเวลา 30 วันเพื่อเป็นกรณีเปรียบเทียบกับกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นว่ามีการเจริญเติบโต หรือการตายแตกต่างกันอย่างไร รายละเอียดสภาพการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 4 รูปแบบการวางต้นกล้าป่าชายเลนในแปลงจำลอง

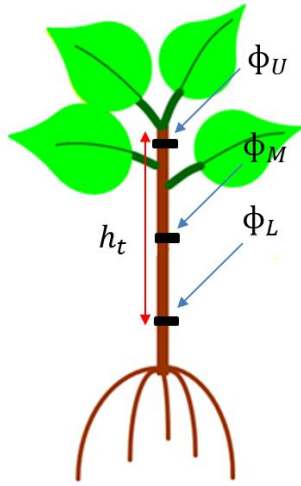
ตารางที่ 1 สภาพการทดลอง

ระยะคันชัก (มิลลิเมตร)	คาบคลื่น (วินาที)	ความสูงคลื่น (เซนติเมตร)	เวลาในการ ทดลอง/วัน (ชั่วโมง)
200	1	12.3	2
160	1	10.6	2
120	1	7.7	2
ควบคุม	-	-	2



รูปที่ 3 แปลงทดลองปลูกต้นกล้าป่าชายเลนในรางจำลองคลื่น

การศึกษานี้แบ่งการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนออกเป็น 4 พารามิเตอร์ คือ 1) เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ทำการเก็บข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนบนลำต้น (Upper diameter,  $\varnothing_U$ ), เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนกลางลำต้น (Middle diameter,  $\varnothing_M$ ), และเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนล่างลำต้น (Lower diameter,  $\varnothing_L$ ) โดยทำสัญลักษณ์ไว้ที่ลำต้น ทำการวัดขนาดด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ (Vernier Caliper) 2) ความสูง วัดความสูงของลำต้น ( $h_t$ ) จากเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนล่างลำต้นถึงเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนบนลำต้นจากตำแหน่งที่ทำสัญลักษณ์ไว้ ดังแสดงในรูปที่ 5 วัดโดยใช้เชือกทาบตามลำต้น และนำไปเทียบกับไม้บรรทัดเหล็ก 3) จำนวนใบ ทำการจดบันทึกจำนวนใบก่อนการทดลอง และหลังการทดลองเพื่อดูผลกระทบจากคลื่นต่อการหลุดของใบ 4) จำนวนต้นกล้าที่ตาย จะดูหลังจากทำการทดลองผ่านไป 30 วัน ว่าต้นกล้าในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นที่มีความสูงต่างกัน และกรณีควบคุมที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นมีจำนวนของต้นกล้าที่ตายแตกต่างกันหรือไม่



รูปที่ 5 พารามิเตอร์ที่ศึกษา

### 3. ผลการทดลอง

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้สร้างคลื่นจากเครื่องกำเนิดคลื่น โดยการปรับระยะคันชักที่ 120, 160 และ 200 มม. เพื่อให้เกิดความสูงคลื่นที่แตกต่างกัน 3 ค่าความสูง วัดความสูงคลื่นโดยใช้เครื่องวัดคลื่นแบบวัดความต้านทาน (Resistance wave gauge) ได้ความสูงคลื่น 7.7, 10.6 และ 12.3 ซม. ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางด้วยการคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโต (Percent growth, %  $G_R$ ) จากผลต่างของข้อมูลทางกายภาพก่อนการทดลอง (Start value,  $S_V$ ) และหลังการทดลอง (End value,  $E_V$ ) ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น เปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตด้านความสูง เปอร์เซ็นต์ใบคงเหลือ และ เปอร์เซ็นต์การตาย โดยคิดเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงจากสมการที่ 1 จากนั้นนำข้อมูลเปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตที่ได้มาศึกษาหาความสัมพันธ์การเจริญเติบโตของต้นกล้าทั้งสองชนิด

$$\frac{E_V - S_V}{S_V} \times 100 = \% G_R \quad (1)$$

#### 3.1 เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกล้าป่าชายเลน

การวิเคราะห์ผลการเจริญเติบโตของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง ในส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางแบ่งออกเป็นสามส่วนด้วยกัน คือ บริเวณส่วนล่างลำต้น ส่วนกลางลำต้น และส่วนบนลำต้น

##### 3.1.1 เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนล่างลำต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนล่างลำต้น ( $\Phi_L$ ) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกางในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่น โดยต้นกล้าแสมมีการเจริญเติบโตในกรณีที่มีความสูงคลื่นมากกว่ากรณีที่มีความสูงคลื่นน้อย ในกรณีของต้นกล้าโกงกางคลื่นที่มีความสูงแตกต่างกัน ไม่ส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนล่างลำต้นมากนัก แต่ในกรณีควบคุมที่

ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นต้นกล้าโกงกางมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นกล้าแสม ดังแสดงในรูปที่ 6

##### 3.1.2 เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนกลางลำต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนกลางลำต้น ( $\Phi_M$ ) กับความสูงคลื่น ซึ่งแสดงในรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าในกรณีต้นกล้าที่ได้รับผลกระทบจากคลื่น ต้นกล้าแสมมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกาง ในกรณีที่มีความสูงคลื่นมาก ต้นกล้าแสมมีการเจริญเติบโตที่กว่ากรณีที่มีความสูงคลื่นน้อย และเมื่อเทียบการเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนล่างลำต้นกับเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนกลางลำต้นแล้ว ต้นกล้าแสมมีการเจริญเติบโตบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนกลางลำต้นมากกว่าบริเวณส่วนล่างลำต้น ในส่วนของกรณีควบคุมต้นกล้าโกงกางมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นกล้าแสมเช่นเดียวกับกรณีเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนล่างลำต้น

##### 3.1.3 เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนบนลำต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนบนลำต้น ( $\Phi_U$ ) กับความสูงคลื่นมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกับด้านเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนล่าง และส่วนกลางของลำต้น คือในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีการเจริญเติบโตในกรณีที่คลื่นที่มีความสูงคลื่นมากได้ดีกว่าคลื่นที่มีความสูงคลื่นน้อย และมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกันในกรณีควบคุมที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น แต่ต้นกล้าแสมมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าต้นกล้าโกงกางในกรณีที่มีความสูงคลื่นมาก ดังแสดงในรูปที่ 8

ผลการทดลองเรื่องเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมนั้นสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกางในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่น เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของต้นกล้าแสมที่มีลักษณะอ่อนและพลิ้วไหว เมื่อคลื่นน้ำเคลื่อนที่ผ่านทำให้ได้รับผลกระทบจากพลังงานของคลื่นน้อยกว่าต้นกล้าโกงกางที่มีลักษณะโครงสร้างลำต้นที่ค่อนข้างแข็งกว่า ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้ศึกษามา คือ ต้นกล้าแสมนั้นมักเป็นพันธุ์ไม้ป่าชายเลนประเภทพันธุ์ไม้เบิกนำ ที่จะเจริญเติบโตล้าออกจากชายฝั่งมากกว่าพันธุ์ไม้ป่าชายเลนประเภทอื่น ส่วนของต้นกล้าโกงกางนั้นมีการเจริญเติบโตค่อนข้างคงที่ทุกความสูงคลื่น หรือเรียกได้ว่าไม่มีเจริญเติบโตในด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเลยในบริเวณส่วนกลางและส่วนล่าง มีเพียงส่วนบนเท่านั้นที่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น อาจจะเป็นเพราะต้นกล้าโกงกางนั้นเป็นพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ขยายพันธุ์แบบฝัก ทำให้เห็นการเจริญเติบโตบริเวณส่วนบนได้ชัดเจนมากกว่าส่วนอื่น

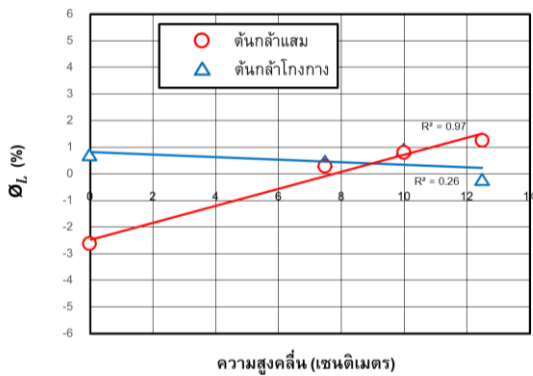
#### 3.2 ความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตด้านความสูงกับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมยังคงมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าต้นกล้าโกงกางเช่นเดียวกับด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น แต่คลื่นที่มีความสูงแตกต่างกันไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นกล้าทั้งสองชนิด สาเหตุที่ผลกระทบของคลื่นต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นกล้าไม่ชัดเจน อาจเป็นเพราะระยะเวลาในการทดลองสั้นเกินไป และสภาพแวดล้อมอาจไม่เหมาะสม เช่น ต้นกล้ายังอยู่ในถุงเพาะชำ

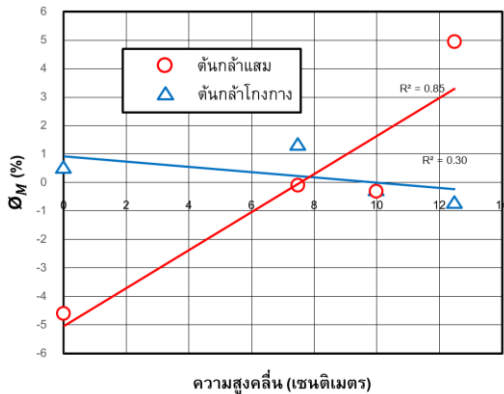
ปริมาณแสงแดดอาจน้อยเกินไป จนทำให้ต้นกล้ายังสูงขึ้นไม่มาก ดังแสดงในรูปที่ 9

3.3 จำนวนใบของต้นกล้าป่าชายเลน

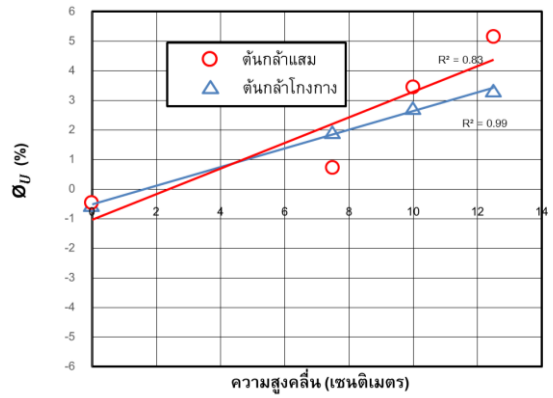
การวิเคราะห์ผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพผ่านจำนวนใบของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง ทำการนับจำนวนใบก่อนการทดลองและหลังการทดลอง จากนั้นนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของจำนวนใบก่อนและหลังมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ใบคงเหลือศึกษาความสัมพันธ์ของคลื่นกับเปอร์เซ็นต์ใบคงเหลือโดยการพล็อตกราฟเพื่อดูผลกระทบของคลื่นต่อการหลุดของใบ ดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่าต้นกล้าโกงกางในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นที่มีความสูงสูงสุดในการทดลองมีใบคงเหลือเพียง 50% เท่านั้นเมื่อเทียบกับต้นกล้าแสมในทุกกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นมีใบคงเหลือมากกว่า 90% เนื่องจากลักษณะใบของต้นกล้าโกงกางนั้นแข็งและไม่ยืดหยุ่นเมื่อเทียบกับต้นกล้าแสมทำให้เกิดแรงต้านกับคลื่นมาก ส่งผลให้เมื่อความสูงคลื่นเพิ่มขึ้นใบของต้นกล้าโกงกางจะได้รับผลกระทบจากพลังงานของคลื่นและหลุดออกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



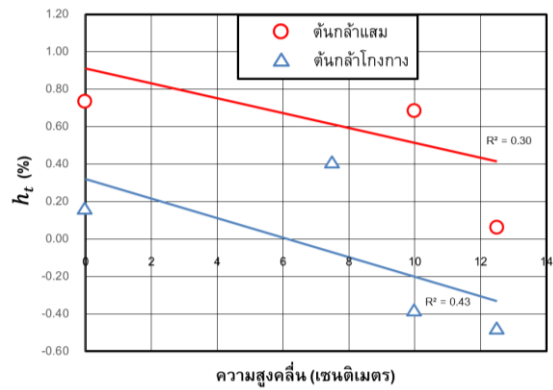
รูปที่ 6 เปอร์เซนต์การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนล่างลำต้น (D<sub>L</sub>)



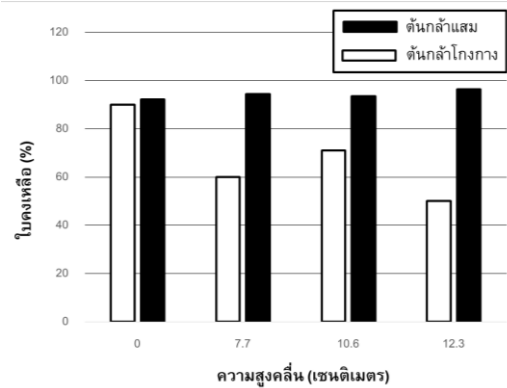
รูปที่ 7 เปอร์เซนต์การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนกลางลำต้น (D<sub>M</sub>)



รูปที่ 8 เปอร์เซนต์การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนบนลำต้น (D<sub>U</sub>)



รูปที่ 9 การเจริญเติบโตด้านความสูง



รูปที่ 10 เปอร์เซนต์ใบคงเหลือต้นกล้าโกงกาง

3.4 จำนวนต้นกล้าป่าชายเลนที่ตาย

ส่วนนี้สนใจการตายของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางเมื่อได้รับแรงกระทำจากคลื่น โดยการเก็บข้อมูลการตายหลังจากการทดลองผ่านไป 30 วัน แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าโกงกางในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นที่มีความสูงมากมีเปอร์เซนต์การตายสูงกว่ากรณีคลื่นที่มีความสูงน้อย นำข้อมูลเปอร์เซนต์การตายของต้นกล้าโกงกาง (Dead Rhizophora apiculata, %R<sub>D</sub>) มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงคลื่นสัมพันธ์ส่วนด้วยความสูงต้นกล้า (H/h<sub>0</sub>) กับเปอร์เซนต์การตายของต้นกล้าโกงกาง (R<sub>D</sub>) มีลักษณะความสัมพันธ์

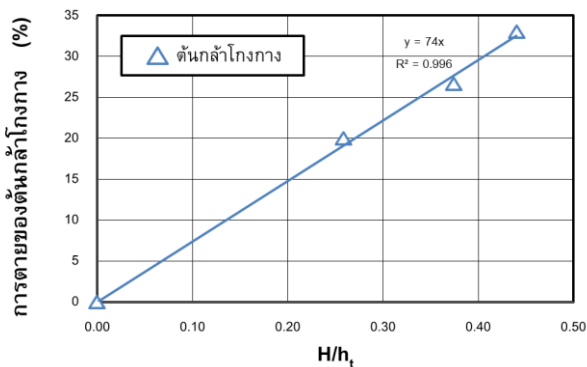


เป็นแบบเส้นตรง (Linear) ดังแสดงในรูปที่ 11 จากการศึกษาสามารถสร้างเป็นสมการทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางได้ตั้งสมการที่ 2 ในส่วนของต้นกล้าแสมนั้นไม่มีการตายเกิดขึ้นเลยจนจบการทดลอง

ยกตัวอย่างการใช้สมการที่ 2 ในการคำนวณ จากข้อมูลพื้นที่ชายฝั่งทะเลแห่งหนึ่งมีความสูงคลื่นเฉลี่ย 50 ซม. นำต้นกล้าโกงกางสูง 40 ซม. ไปปลูกอยากทราบว่าจะมีต้นกล้าตายกี่เปอร์เซ็นต์ นำข้อมูลความสูงคลื่น และความสูงต้นกล้า ไปแทนค่าในสมการที่ 2 พบว่ามีต้นกล้าโกงกางตาย 92% ดังนั้นหากต้องการให้ต้นกล้าที่ปลูกมีการตายเพียง 40% จะต้องใช้ต้นกล้าที่สูง 80 ซม. ในการปลูก

จากการวิเคราะห์ผลที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมนั้นมีความสามารถในการปรับตัวและอยู่รอดได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกาง โดยเห็นได้ชัดในหัวข้อของจำนวนใบและจำนวนต้นกล้าที่ตาย ต้นกล้าแสมนั้นมีใบคงเหลือมากถึง 90% และไม่มีการตายเกิดขึ้นเลยจนจบการทดลอง ส่วนต้นกล้าโกงกางนั้นได้รับผลกระทบจากคลื่นต่อจำนวนใบและการตายอย่างชัดเจน โดยจำนวนใบและการตายของต้นกล้าโกงกางนั้นมีความสัมพันธ์กัน โดยจะเห็นได้จากเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ใบคงเหลือน้อยลง

$$%R_D = 73.88 \frac{H}{h_t} \tag{2}$$



รูปที่ 11 เปอร์เซนต์การตายของต้นกล้าโกงกาง

#### 4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาเรื่องผลกระทบของคลื่นต่อการเจริญเติบโต ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่าต้นกล้าแสมมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกางในกรณีที่ได้รับอิทธิพลจากคลื่น และเจริญเติบโตในกรณีคลื่นที่มีความสูงมากได้ดีกว่ากรณีคลื่นที่มีความสูงน้อย ส่วนต้นกล้าโกงกางเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นกล้าแสมในกรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น ผลการศึกษาอิทธิพลของคลื่นในระยะเวลา 30 วัน เห็นผลเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางชัดเจน แต่เห็นผลทางกายภาพไม่มากนัก การศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบในการปลูกต้นกล้าทั้งสองชนิดได้ อาทิเช่น ต้นกล้าแสมที่มีการปรับตัวต่อคลื่นได้ดีควรปลูกห่างจากชายฝั่งออกไป ส่วนต้นกล้าโกงกางนั้นควรปลูกในบริเวณใกล้ฝั่งเพื่อที่จะได้รับผลกระทบจากคลื่นไม่มากนัก

#### กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา งบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล นอกจากนี้ผู้เขียนคนหนึ่งขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่สนับสนุนทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Kathiresan, K. and Rajendran, N. (2005). Coastal mangrove forests mitigated tsunami. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65, pp. 601-606.
- [2] Mazda, Y., Magi, M., Kogo, M. and Hong, PN. (1997). Mangrove as a coastal protection from waves in the Tong King delta, Vietnam. *Mangroves and Salt Marshes*, 1, pp. 127-135.
- [3] Tuyen, N.B. and Hung, H.V. (2009). An experimental study on wave reduction efficiency of mangrove forests. *Proceeding of the 5<sup>th</sup> International Conference on Asian Pacific Coast (APAC2009)*. Nanyang Technological University (NTU), 13-16 Oct 2009, 4, pp. 336-343.
- [4] Hashim, A.M. and Catherine, S.M.P. (2013). A laboratory study on wave reduction by mangrove forests. *APCBEE Procedia*, 5, pp. 27-32.
- [5] ธนชลด อาจทวีกุล, ชานุกฤษฏ์ ภาพกาญจน์ และ ธรรมบุญ รัตมีมาส เมือง (2558). การทดลองเชิงแนวคิดเกี่ยวกับการทดลองคลื่นเนื่องจากต้นไม้ป่าชายเลน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20, ชลบุรี, 8-10 กรกฎาคม 2558.
- [6] Yanagisawa, H., Koshimura, S., Goto, K., Miyagi, T., Imamura, F., Ruangrassamee, A. and Tanavud, C. (2009). 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*, 81, pp. 27-37.
- [7] He, B., Lai, T., Fan, H., Wang, W. and Zheng, H. (2007). Comparison of flooding-tolerance in four mangrove species in a diurnal tidal zone in the Beibu Gulf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74, pp. 254-262.
- [8] Lu, W., Chen, L., Wang, W., Tam, N.F. and Lin, G. (2012). Effects of sea level rise on mangrove *Avicennia* population growth, colonization and establishment; Evidence from a field survey and greenhouse manipulation experiment. *Acta Oecologica*, 49, pp. 83-91.

**ภาคผนวก ข**  
**รายงานสรุปการเงิน**

เลขที่โครงการ (NRPM 13 หลัก): 2561A10802271 สัญญาเลขที่ 208/2561  
โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561  
มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการ: การทดลองในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับผลกระทบของคลื่นต่อต้านกล้าปาชายเลน  
ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนุญ รัศมีมาสเมือง  
รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2560 ถึง วันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2562  
ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี 6 เดือน

**รายรับ**

จำนวนเงินที่ได้รับ		
เงินงวดที่ 1 (50%)	เป็นจำนวนเงิน	211,500 บาท
เงินงวดที่ 2 (40%)	เป็นจำนวนเงิน	169,200 บาท
เงินงวดที่ 3 (10%)	เป็นจำนวนเงิน	42,300 บาท (ยังไม่ได้เบิก)
	<b>รวม</b>	<b>423,000 บาท</b>

**รายจ่าย**

หมวด	งบประมาณที่ตั้งไว้	งบประมาณที่ใช้จริง	จำนวนเงินคงเหลือ/เกิน
1. ค่าตอบแทน	150,000.00	180,000.00	-30,000.00
2. ค่าจ้าง	6,000.00	-	6,000.00
3. ค่าวัสดุ	31,700.00	380,906.00	31,180.00
4. ค่าใช้สอย	193,000.00	161,820.00	-7,206.00
5. ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
6. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	-	-	-
เงินค่าธรรมเนียมมหาวิทยาลัย	42,300.00	42,300.00	-
<b>รวม</b>	<b>423,000.00</b>	<b>423,026.00</b>	<b>-26.00</b>

.....  
ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

.....  
ลงนามเจ้าหน้าที่การเงินโครงการ