



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การศึกษาภาคสนามสภาพอุทกพลศาสตร์วิกฤต

สำหรับการปลูกต้นไม้ป่าชายเลน

Field study of critical hydrodynamic conditions

for mangrove planting

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมบุญ รัศมีมาสเมือง

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้

จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2560A10802195

สัญญาเลขที่ 112/2560

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การศึกษาภาคสนามสภาพอุทกพลศาสตร์วิกฤต

สำหรับการปลูกต้นไม้ป่าชายเลน

Field study of critical hydrodynamic conditions

for mangrove planting

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนุญ รัศมีมาสเมือง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กันยายน 2562

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 112/2560

Acknowledgement

This work was financially supported by the Research Grant of Burapha University through National Research Council of Thailand (Grant no. 112/2560)

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอุทกพลศาสตร์ ได้แก่ ระดับน้ำ คลื่น และกระแสน้ำ กับการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและอัตราการรอดตายของต้นกล้าของต้นไม้ป่าชายเลนที่นำไปปลูกในพื้นที่ชายฝั่งทะเลจริง และเพื่ออธิบายในเชิงปริมาณเกี่ยวกับสภาพอุทกพลศาสตร์วิกฤตอันเนื่องมาจากแรงกระทำทางอุทกพลศาสตร์สะสมที่มีผลต่อการรอดตายของต้นกล้าป่าชายเลน

ต้นกล้าป่าชายเลน 2 ชนิด ได้แก่ ต้นโกงกางใบใหญ่และต้นโกงกางใบเล็ก จำนวนทั้งหมด 240 ต้น ถูกนำไปปลูกในพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณสะพานเสียบชายฝั่งจังหวัดชลบุรี พร้อมทั้งมีการติดตั้งเครื่องวัดคลื่นและกระแสน้ำในบริเวณพื้นที่ศึกษา การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สนใจ ได้แก่ จำนวนใบ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูง และปริมาตรตัวแทนของต้นกล้า ระยะเวลาการศึกษาประมาณ 2 เดือน

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นชัดเจนว่า สภาพทางอุทกพลศาสตร์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนอย่างชัดเจน พื้นที่บริเวณที่สภาพทางอุทกพลศาสตร์รุนแรงกว่า คือ บริเวณพื้นที่โซนนอกฝั่ง ต้นกล้ามีการเติบโตมากกว่าเพื่อการเอาตัวรอด แต่ในขณะเดียวกันมีอัตราการตายสูงกว่าเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นกล้าใบใหญ่กับต้นโกงกางใบเล็ก พบว่า ต้นโกงกางใบเล็กมีการเติบโตที่รวดเร็วและมีอัตราการตายที่น้อยกว่า แสดงให้เห็นว่า ต้นโกงกางใบเล็กทนต่อสภาพทางอุทกพลศาสตร์ได้ดีกว่าต้นโกงกางใบใหญ่

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางอุทกพลศาสตร์สะสมกับอัตราการตายพบว่า ทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์กันชัดเจนทั้งในต้นกล้าทั้งสองชนิด ความสัมพันธ์นี้สามารถช่วยในการประมาณสภาพทางอุทกพลศาสตร์วิกฤตต่อการตายของต้นกล้าที่ปลูกใหม่ได้ การหามาตรการช่วยป้องกันแรงกระทำเหล่านี้จะส่งเสริมให้อัตราการรอดตายของต้นกล้าและความสำเร็จในการฟื้นฟูป่าชายเลนเพิ่มสูงขึ้น

Abstract

This research describes the relationship between the hydrodynamic factors (water level, waves and currents) and the physical characteristic changes and the survival rate of mangrove sprouts newly planted in the real site, together with quantitatively expresses accumulated hydrodynamic force influencing the survival rate of the mangrove sprouts.

Two types of the mangrove sprouts – *Rhizophora mucronata* and *Rhizophora apiculata* – of 240 trees in total were planted in tidal flat near the bridge road along Chon Buri coast. A wave gauge and a current meter were installed to measure the data at the site throughout 2 months approximately. The interested physical characteristics are number of leaves, diameter of tree trunk, height and representative volume of sprouts.

The study result clearly shows that the hydrodynamic condition has effects on the changes of the sprout physical characteristics. In offshore zone where the more severe hydrodynamic condition exists, the sprouts grow up faster for survival; however, the rate of death is consequently high due to the more severe conditions. In comparison between *Rhizophora mucronata* and *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora apiculata* is able to physically develop themselves faster and survive better than *Rhizophora mucronata* do.

Analysis results also indicates that the accumulated hydrodynamic forces influence the death rate of the sprouts obviously for both of sprout types. This relationship help in estimating the critical condition for reforestation of the mangroves trees and in considering the measures to protect the forces to increase the survival rate of the sprouts.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
Acknowledgement	ii
บทคัดย่อ	iii
Abstract	iv
สารบัญ	v
สารบัญตาราง	vi
สารบัญรูป	vii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ผลประโยชน์ที่จะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ลักษณะทั่วไปของป่าชายเลน	4
2.2 ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์	13
2.3 การศึกษาที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	40
3.1 พื้นที่ศึกษา	40
3.2 ขั้นตอนการศึกษา	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล	48
4.1 ลักษณะทางศาสตร์บริเวณพื้นที่ศึกษา	48
4.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน	52
4.3 ความสัมพันธ์ทางศาสตร์กับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	61
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	68
5.1 สรุปผลการศึกษา	68
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต	69
บรรณานุกรม	70
ภาคผนวก ก ผลผลิต	73
ภาคผนวก ข ประวัตินักวิจัย	74

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.1	อัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละของจำนวนใบแบบแยกชนิด	53
ตารางที่ 4.2	อัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละของจำนวนใบแบบเชิงพื้นที่	53
ตารางที่ 4.3	อัตราการตายของต้นกล้าป่าชายเลน	56

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	รูปแบบป่าชายเลน	5
รูปที่ 2.2	ตัวอย่างพืชพรรณป่าชายเลน	6
รูปที่ 2.3	ลักษณะการขับเกลือออกทางใบ	7
รูปที่ 2.4	ลักษณะรากไม้ของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน	8
รูปที่ 2.5	พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทย พ.ศ. 2504-2557	10
รูปที่ 2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างยอดผู้เสียชีวิตหลังจากเกิดสึนามิ ในวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 กับ พื้นที่ของต้นไม้ชายฝั่งทะเล	16
รูปที่ 2.7	พื้นที่ชายฝั่งทวิฮายและทวิจวง	18
รูปที่ 2.8	ความสามารถในการลดทอนคลื่นในแต่ละพื้นที่	18
รูปที่ 2.9	สถานที่ทำการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น	19
รูปที่ 2.10	อัตราการลดทอนคลื่น (r) ในพื้นที่ป่าชายเลน และพื้นที่ไม่มีป่าชายเลน	20
รูปที่ 2.11	แบบจำลองทางกายภาพที่ใช้ในการศึกษา	20
รูปที่ 2.12	รายละเอียดการศึกษาของ Tuyen and Hung	21
รูปที่ 2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงคลื่นกับสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น (R)	21
รูปที่ 2.14	การจัดเรียงต้นโกงกางจำลองแบบแนวเดียวกัน (Tandem) และแบบเหลื่อมกัน (Staggered)	22
รูปที่ 2.15	ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของป่าชายเลนกับเปอร์เซ็นต์การลดทอนคลื่น	23
รูปที่ 2.16	พื้นที่ศึกษาภาคสนาม E1 ถึง E5 ที่มีค่าระดับต่างกัน	24
รูปที่ 2.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับแต่ละพื้นที่กับ A.การเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพ ประจำปี (a) (Annual biomass increment), B.จำนวนต้นไม้ที่เพิ่มขึ้น (b) (population productivity) และ C.อัตราส่วนของน้ำหนักของส่วน ของต้นไม้ที่โผล่พื้นดินกับราก (c) (Shoot/Root ratio)	25
รูปที่ 2.18	ลักษณะการทดลองกลางแจ้งโดยใช้แท่งกั้นน้ำ	25

รูปที่ 2.19	ความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาน้ำท่วมราก (กราฟแท่งสีดำ) และท่วมต้น (กราฟแท่งสี ขาว) กับ A.ชีวมวลรวม (a) (Total biomass), B.พื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักแห้ง (b) (Specific leaf area (SLA)), C.อัตราส่วนของน้ำหนักของส่วนของต้นไม้ที่โผล่พ้นดินกับราก (c) (Shoot/Root ratio)	26
รูปที่ 2.20	พื้นที่ศึกษาที่อ่าวอิงลัว ประเทศจีน	27
รูปที่ 2.21	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับต่อความสูงของต้นไม้มทั้ง 4 ชนิด	28
รูปที่ 2.22	ความสัมพันธ์ของระดับพื้นที่ต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นไม้มทั้ง 4 ชนิด	28
รูปที่ 2.23	พื้นที่ป่าชายเลน 4 แห่งบริเวณแม่น้ำทันซุช	30
รูปที่ 2.24	พื้นที่ศึกษาอัตราการรอดตาย และการเจริญเติบโตของต้นโกงกางใบเล็ก และโกงกางใบใหญ่ที่มีความเข้มแสงต่างกัน	31
รูปที่ 2.25	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นโกงกางใบเล็กที่มีความเข้มแสงต่างกัน	32
รูปที่ 2.26	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นโกงกางใบใหญ่ที่มีความเข้มแสงต่างกัน	32
รูปที่ 2.27	พื้นที่ศึกษาบนชายฝั่งตะวันตกของคาบสมุทรมาเลเซีย	33
รูปที่ 2.28	การเพิ่มขึ้นของตะกอนหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นนอกฝั่งตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552	34
รูปที่ 2.29	การทดลองผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน	35
รูปที่ 2.30	การทดลองผลกระทบของกระแสน้ำต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน	35
รูปที่ 2.31	การทดลองผลกระทบของระดับน้ำต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน	36
รูปที่ 2.32	การทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน	37
รูปที่ 3.1	พื้นที่ศึกษาบริเวณสะพานเลียบชายทะเล จังหวัดชลบุรี	41
รูปที่ 3.2	แปลงการทดลอง	42

รูปที่ 3.3	เครื่องวัดคลื่นและเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า	42
รูปที่ 3.4	ตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดข้อมูลและแปลงทดลอง	43
รูปที่ 3.5	การเก็บลักษณะของต้นกล้าป่าชายเลน ก่อนและหลังการทดลอง	43
รูปที่ 3.6	การเก็บลักษณะของต้นกล้าป่าชายเลนแบบต่อเนื่อง	44
รูปที่ 4.1	ข้อมูลระดับน้ำ ระหว่างวันที่ 2 กันยายน ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2561	49
รูปที่ 4.2	ข้อมูลระดับน้ำ ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม ถึงวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2561	49
รูปที่ 4.3	ข้อมูลความสูงคลื่น ระหว่างวันที่ 2 กันยายน ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2562	50
รูปที่ 4.4	ข้อมูลความสูงคลื่น ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2562	50
รูปที่ 4.5	ข้อมูลกระแสน้ำ ระหว่างวันที่ 2 กันยายน ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2561	51
รูปที่ 4.6	ข้อมูลกระแสน้ำ ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2561	51
รูปที่ 4.7	ร้อยละจำนวนใบรายสัปดาห์ของต้นกล้า	54
รูปที่ 4.8	ร้อยละของจำนวนใบที่เปลี่ยนแปลงไปของต้นกล้าป่าชายเลนแบบเชิงพื้นที่	55
รูปที่ 4.9	ร้อยละของจำนวนใบที่เปลี่ยนแปลงไปของต้นโกงกางใบเล็ก และต้นโกงกางใบใหญ่	55
รูปที่ 4.10	อัตราการตายของต้นกล้าป่าชายเลนเชิงพื้นที่	57
รูปที่ 4.11	อัตราการตายของต้นโกงกางใบเล็กและต้นโกงกางใบใหญ่	57
รูปที่ 4.12	อัตราการเพิ่มขึ้นของเส้นผ่านศูนย์กลาง	58
รูปที่ 4.13	ร้อยละของเส้นผ่าศูนย์กลางของต้นกล้าภายในพื้นที่ศึกษา	59
รูปที่ 4.14	ความสูงเฉลี่ยของต้นโกงกางแบบเชิงพื้นที่	60
รูปที่ 4.15	ร้อยละความสูงของต้นกล้าป่าชายเลนภายในพื้นที่ศึกษา	60
รูปที่ 4.16	อัตราการเพิ่มขึ้นของตัวแทนปริมาตร	62
รูปที่ 4.17	ร้อยละปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลนภายในพื้นที่ศึกษา	62
รูปที่ 4.18	แรงที่กระทำต่อต้นกล้า	63
รูปที่ 4.19	แรงกระทำสะสมทางชลศาสตร์ต่อต้นกล้าป่าชายเลน	64
รูปที่ 4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายกับจำนวนใบที่เปลี่ยนแปลง	66
รูปที่ 4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำสะสมกับอัตราการตายของต้นกล้าป่าชายเลน	66

รูปที่ 4.22 สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายกับแรงกระทำสะสม
ของต้นกล้าโก่งกางใบเล็กและต้นกล้าโก่งกางใบใหญ่

67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันแล้วว่า ป่าชายเลนมีความสำคัญมาก ไม่เพียงแต่เป็นระบบนิเวศชายฝั่งทะเล เป็นแหล่งที่อยู่ของสัตว์และพืชบริเวณชายฝั่งทะเล แต่ยังเป็นแนวป้องกันชายฝั่งทะเลตามธรรมชาติอีกด้วย ระบบรากและลำต้นที่ซับซ้อนและหนาแน่นช่วยสลายพลังงานของคลื่นลมหรือคลื่นพายุต่างๆ ที่พัดผ่านเข้ามาในพื้นที่ป่าชายเลน ในขณะที่กิ่ง ก้าน และใบไม้ของต้นไม้ป่าชายเลนเป็นแนวกำบังลมที่เป็นกำลังเสริมของคลื่นน้ำต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลของประเทศไทยหลายแห่ง เช่น แนวชายฝั่งทะเลของกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม สมุทรปราการ และฉะเชิงเทรา พื้นที่ป่าชายเลนลดลงเป็นจำนวนมากในช่วงสามสิบปีที่ผ่านมา ด้วยสาเหตุหลัก คือ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์พื้นที่ โดยบุกรุกทำลายพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อใช้เป็นพื้นที่นาเกลือหรือที่พักอาศัย เป็นต้น การลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนจำนวนมากนี้ส่งผลให้แนวกำบังคลื่นลมตามธรรมชาติหายไปหรือมีศักยภาพในการลดพลังงานคลื่นลดลง และเป็นผลทำให้เกิดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งรุนแรงในพื้นที่ดังกล่าว ดังนั้นแนวความคิดในการฟื้นฟูป่าชายเลนที่เสื่อมโทรมหรือถูกทำลายไปให้กลับมาเป็นแนวป้องกันชายฝั่งทะเลตามธรรมชาติและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจึงเป็นการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและป้องกันภัยพิบัติอย่างยั่งยืน

แต่อย่างไรก็ตาม การปลูกต้นไม้ป่าชายเลนให้รอดตายและเติบโตกลับขึ้นมาเป็นป่าชายเลนนั้นไม่ใช่สิ่งที่จะกระทำได้ง่าย เนื่องจากเหตุผลหลายประการด้วยกัน เช่น การขาดความรู้ความเข้าใจในการปลูกต้นไม้ป่าชายเลน และปัจจัยทางอุตุ-อุทกพลศาสตร์ (ลม คลื่น และกระแสน้ำ) ยังเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการรอดตายของต้นไม้ป่าชายเลน ผลสำเร็จในการปลูกต้นไม้ป่าชายเลนจึงยังเป็นเรื่องที่ไม่น่าพึงพอใจเท่าที่ควร อัตราการรอดตายของต้นกล้าของต้นไม้ป่าชายเลนค่อนข้างต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการปลูกต้นไม้ซ้ำแล้วซ้ำอีกในพื้นที่เดิม

ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ ได้แก่ คลื่นและกระแสน้ำ เป็นตัวแปรสำคัญที่กำหนดความอยู่รอดของต้นไม้ป่าชายเลนที่ได้รับการปลูกใหม่ ดังกล่าวข้างต้น คลื่นสูงและกระแสน้ำที่ไหลรุนแรงเป็นแรงกดดันให้

ต้นกล้าของต้นไม้ป่าชายเลนล้ม หักโค่น และถูกถอนรากถอนโคนจากพื้นดินได้ หากเราเข้าใจสภาพทางอุทกพลศาสตร์วิกฤติที่เป็นเส้นแบ่งระหว่างความอยู่รอดกับความล้มตายของต้นไม้ป่าชายเลนที่นำไปปลูกในพื้นที่ชายฝั่งได้ ก็จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาแนวทางหรือวิธีการเพิ่มอัตราการรอดตายในการปลูกต้นไม้ป่าชายเลนได้

โครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอุทกพลศาสตร์กับอัตราการรอดตายของต้นกล้าของต้นไม้ป่าชายเลนที่นำไปปลูกในพื้นที่ชายฝั่งทะเลจริง เพื่อเข้าใจถึงสภาพอุทกพลศาสตร์วิกฤติสำหรับการปลูกต้นไม้ป่าชายเลน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาวิธีเพิ่มอัตราการรอดตายของต้นกล้าต้นไม้ป่าชายเลนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

- (1) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอุทกพลศาสตร์ ได้แก่ คลื่นและกระแสน้ำ กับอัตราการรอดตายของต้นกล้าต้นไม้ป่าชายเลนที่ถูกปลูกในพื้นที่ชายฝั่งทะเลจริง
- (2) เพื่ออธิบายสภาพอุทกพลศาสตร์วิกฤติสำหรับการปลูกต้นไม้ป่าชายเลนในเชิงปริมาณระหว่างปัจจัยกระทำทางอุทกพลศาสตร์กับร้อยละการตายได้

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพทางอุทกพลศาสตร์กับอัตราการรอดตายของต้นกล้าต้นไม้ป่าชายเลนที่ได้รับการปลูกในพื้นที่ชายฝั่งทะเลจริง โดยมีขอบเขตของโครงการวิจัย ดังนี้

- (1) การศึกษาดำเนินการในภาคสนามที่เป็นพื้นที่ป่าชายเลนจริง เช่น ป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี
- (2) พันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ให้ความสนใจในการศึกษา คือ พันธุ์ไม้ที่เป็นพันธุ์ไม้ดั้งเดิมในพื้นที่และเป็นพันธุ์ไม้ที่นิยมปลูกในประเทศไทย คือ ต้นโกงกางใบใหญ่ และต้นโกงกางใบเล็ก
- (3) สภาพทางอุทกพลศาสตร์ให้ความสนใจ คือ คลื่น กระแสน้ำ และระดับน้ำ ซึ่งเกิดขึ้นในพื้นที่จริงตามฤดูกาล

1.4 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ผลสำเร็จของงานวิจัยนี้เป็นผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ ได้แก่

- (1) ความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างสภาพอุทกพลศาสตร์กับอัตราการรอดตายของต้นกล้าต้นไม้ป่าชายเลนที่ถูกปลูกในพื้นที่ชายฝั่งทะเลจริง
- (2) ความสามารถบ่งชี้อัตราการตายของต้นไม้ป่าชายเลนที่ปลูกใหม่เนื่องจากปัจจัยกระทำทางอุทกพลศาสตร์ได้

บทที่ 2

การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้นำเสนอการทบทวนงานวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยเริ่มจากความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับป่าชายเลน ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ และการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทั่วไปของป่าชายเลน

ป่าชายเลน (Mangrove forests) เป็นป่าไม้ที่อาศัยและเจริญเติบโตอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำ หรืออ่าวที่มีน้ำทะเลท่วมถึงในช่วงที่น้ำทะเลขึ้นสูงสุดอย่างสม่ำเสมอ โดยป่าชายเลนประกอบด้วยพันธุ์พืช และสัตว์ หลากหลายชนิด ซึ่งพืชส่วนใหญ่ในป่าชายเลนเป็นพันธุ์ไม้โกงกาง (Rhizophora) ดังนั้นป่าชายเลนจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ป่าโกงกาง

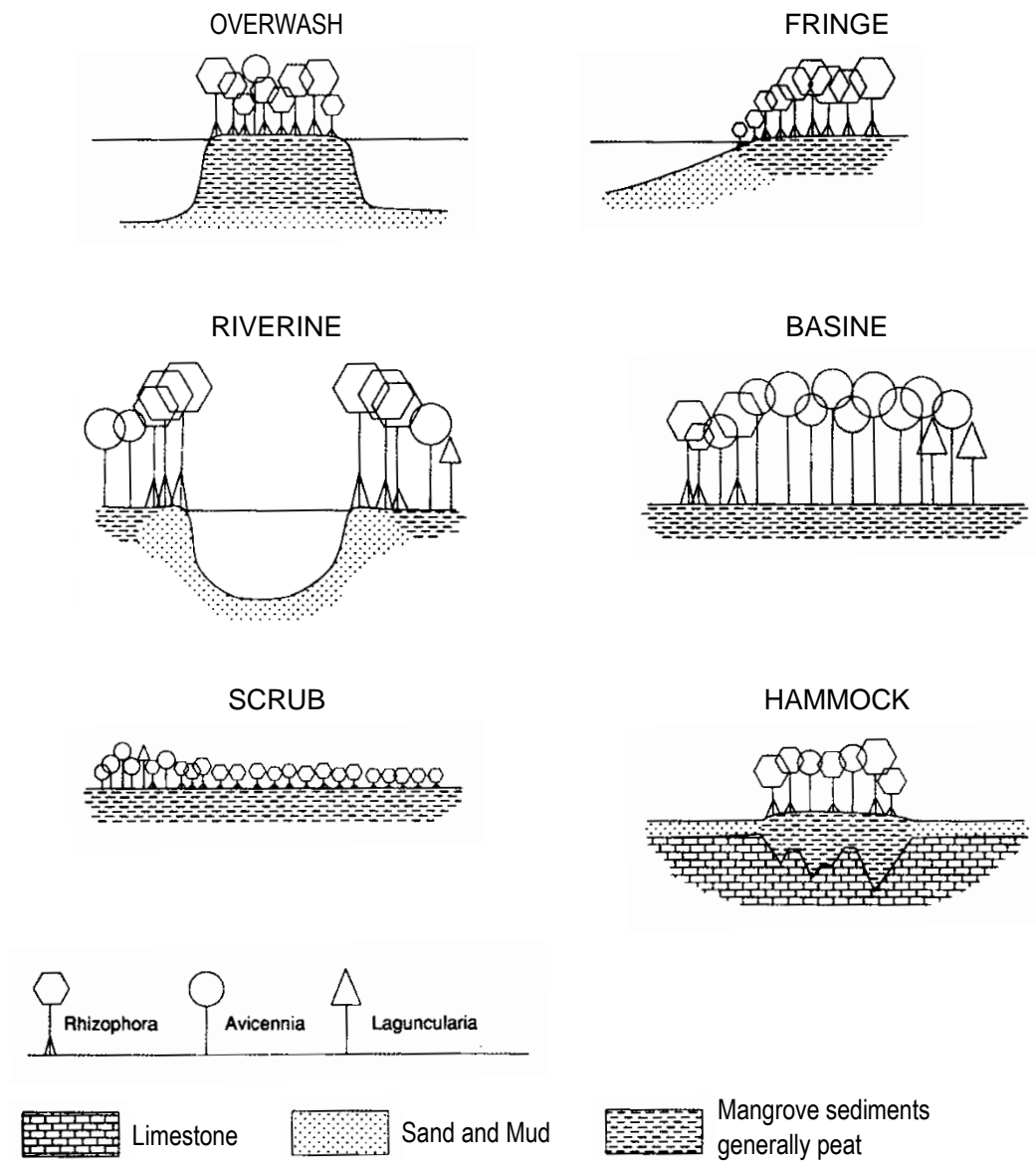
2.1.1 ลักษณะโครงสร้างป่าชายเลน

ลักษณะโครงสร้างป่าชายเลนส่วนใหญ่เป็นป่าไม้แบบหมู่ไม้เบิกนำ (Pioneer) โดยมีพันธุ์ไม้แซมอยู่บริเวณนอกสุดออกจากชายฝั่งที่มีลักษณะของดินเป็นดินเลนงอกใหม่ และมีพันธุ์ไม้โกงกางอยู่บริเวณถัดเข้ามาในชายฝั่ง แต่ในสวนพื้นที่มีลักษณะเป็นดินเลนแข็งเป็นเขตของพันธุ์ไม้ถั่ว ตะบูน และพังกาหัวสุ่ม ทั้งนี้ หมู่ไม้เบิกนำเป็นหมู่ไม้ที่มีขนาดลำต้นใกล้เคียงกัน ไม่มีพื้นล่าง (Under growth) มีเรือนยอดเพียงชั้นเดียว และเป็นพันธุ์ไม้ไม่ทนร่มที่ไม่สามารถเจริญเติบโตและมีชีวิตอยู่ได้ในที่ร่ม (สรายุทธ บุษยะเวชชิวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554)

Lugo and Snedaker (1974) ได้จำแนกป่าชายเลนตามลักษณะการไหลของน้ำ ลักษณะธรณีวิทยา ตามรูปแบบของป่าชายเลนทางตอนใต้ของรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา ดังนี้ (รูปที่ 2.1)

(1) เกาะป่าชายเลน (Overwash forest) เป็นเกาะขนาดเล็กที่ป่าชายเลนขึ้นครอบคลุมทั่วทั้งเกาะ เนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้น-น้ำลง ทำให้ป่าชายเลนมีน้ำท่วมถึงอย่างสม่ำเสมอ

(2) ป่าชายเลนตามขอบชายฝั่ง (Fringing forest) เป็นป่าชายเลนตามแนวชายฝั่ง และมีน้ำท่วมถึงบ่อยครั้ง เนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้น-น้ำลง



รูปที่ 2.1 รูปแบบป่าชายเลน (Woodroffe, 1992)

(3) ป่าชายเลนริมฝั่งแม่น้ำ (Riverine forest) เป็นป่าชายเลนที่พบตามร่องน้ำหรือริมฝั่งแม่น้ำ ได้รับน้ำจืดจากต้นน้ำอย่างสม่ำเสมอ เป็นป่าชายเลนที่มีความอุดมสมบูรณ์มาก

(4) ป่าชายเลนในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Basin forest) เป็นป่าชายเลนที่พบได้ตามพื้นที่ชุ่มน้ำ เช่น บึง ป่าชายเลนในบริเวณนี้ส่วนใหญ่มีลักษณะเตี้ย

(5) ป่าชายเลนบนโคกในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Hammock forest) เป็นป่าชายเลนที่มีลักษณะคล้ายกับป่าชายเลนในพื้นที่ชุ่มน้ำ แต่ต่างตรงที่พื้นที่ป่าชายเลนจะขึ้นอยู่บนโคกเนินที่สูงกว่าระดับบึง

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

พรรณไม้ป่าชายเลนเป็นพืชที่มีความทนทานต่อสภาพความเค็มได้ดี พันธุ์ไม้ที่ขึ้นอยู่ในป่าประเภทนี้จึง เป็นการเจริญเติบโตภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างไปจากพืชชนิดอื่น ดังนั้นจำเป็นต้องมีการปรับตัว และเปลี่ยนแปลงลักษณะของระบบรากลำต้น ใบ ดอก และผลทั้งลักษณะภายในและภายนอกให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ป่าชายเลนประกอบไปด้วยพรรณไม้นานาชนิด สามารถพบเห็นได้ทั้งไม้ยืนต้น พืชกาฝาก เถาวัลย์ และสาหร่าย พรรณไม้ในป่าชายเลนเกือบทั้งหมดเป็นไม้ไม่ผลัดใบ ทั้งนี้ประเทศไทยมีพรรณไม้ในป่าชายเลน 74 ชนิด ซึ่งพรรณไม้ที่เด่นและเป็นไม้ที่สำคัญในป่าชายเลนของไทยนั้น ได้แก่ โกงกาง แสม โปรง ถั่ว ลำพู ลำแพน และตะบูน เป็นต้น (ตัวอย่างดังรูปที่ 2.2) พรรณไม้เหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสมดุลของระบบนิเวศป่าชายเลน



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างพืชพรรณป่าชายเลน (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2548)

2.1.2 การปรับตัวของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน

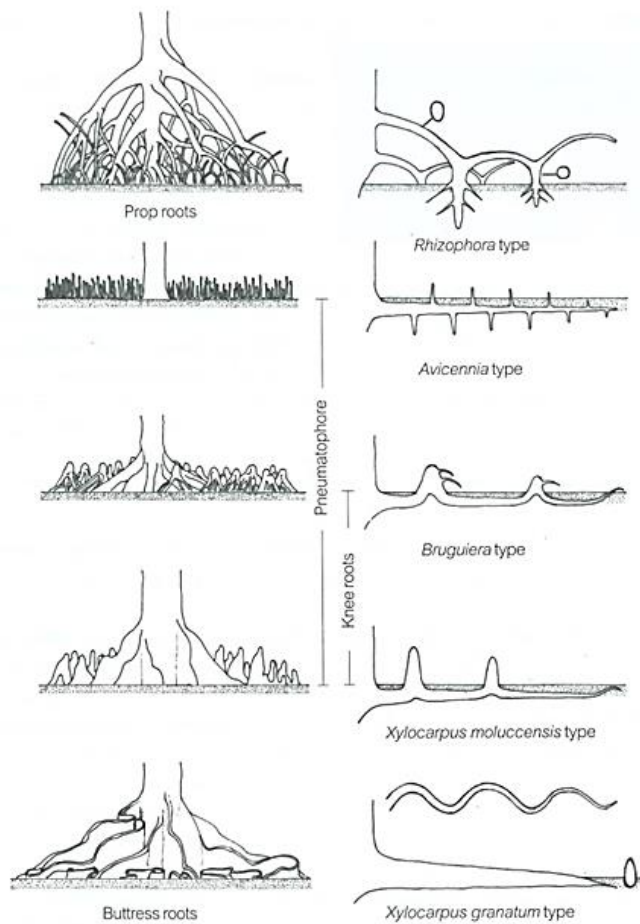
ป่าชายเลนเป็นป่าไม้ที่มีการเจริญเติบโตท่ามกลางสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เช่น ปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลง กระแสน้ำ อุณหภูมิ แร่ธาตุ หรือออกซิเจนในน้ำ ซึ่งสภาพแวดล้อมเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการอยู่รอด และการเจริญเติบโตของต้นไม้ในป่าชายเลนทั้งสิ้น ดังนั้นป่าชายเลนจึงมีการปรับตัวเพื่อให้สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น การจัดการกับความเค็ม การหายใจ หรือแม้กระทั่งการขยายพันธุ์ เป็นต้น

การปรับตัวของป่าชายเลนที่ทำให้สามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำเค็ม โดยมีการจัดการกับปริมาณเกลือที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม 3 กลไก ประกอบด้วย 1) สามารถในการทนต่อปริมาณความเข้มข้นของเกลือในน้ำเลี้ยง (Sap) สูงกว่าพันธุ์ไม้บก 2) สามารถขับเกลือออกทางใบ (รูปที่ 2.3) และ 3) รากของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนสามารถหลีกเลี่ยงการดูดเกลือได้ จากกลไกความสามารถในการหลีกเลี่ยงการดูดเกลือและการขับเกลือออกทางใบ สามารถแบ่งพันธุ์ไม้ป่าชายเลนออกเป็น 2 กลุ่มอย่างกว้าง ๆ กลุ่มแรกเป็นกลุ่มพันธุ์ไม้ที่สามารถขับเกลือออกทางใบได้ด้วยต่อมขับเกลือ เมื่อรากดูดน้ำที่มีเกลือเข้ามา เช่น พันธุ์ไม้สกุลแสม (Avicennia) พันธุ์ไม้สกุลเล็บมือนาง (Aegiceras) และพันธุ์ไม้สกุลเหงือกปลาหมอ (Acanthus) กลุ่มที่สองเป็นกลุ่มพันธุ์ไม้ที่รากสามารถหลีกเลี่ยงการดูดเกลือได้ ทำให้ปริมาณเกลือที่เข้าไปในต้นน้อย เช่น พันธุ์ไม้สกุลโกงกาง (Rhizophora) พันธุ์ไม้สกุลพังกาหัวสุ่ม (Bruguiera) พันธุ์ไม้สกุลโปรง (Ceriops) และพันธุ์ไม้สกุลลำแพน (Sonneratia) (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554)



รูปที่ 2.3 ลักษณะการขับเกลือออกทางใบ

การปรับตัวของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนอย่างชัดเจนประการหนึ่ง คือ มีการพัฒนาระบบราก โดยมีทั้ง รากอากาศที่มีลักษณะรูปร่างพิเศษในรูปแบบที่ต่าง ๆ กัน (รูปที่ 2.4) เพื่อให้สามารถอยู่รอดใน สภาพแวดล้อมในป่าชายเลนได้ เช่น สามารถดูดธาตุอาหาร น้ำ และหายใจในดินเลนที่มีออกซิเจนต่ำ และมี รากในการพยุงลำต้นและแผ่กระจายออกไปรอบด้านในระดับดิน เพื่อให้สามารถดำรงอยู่ในดินเลนซึ่งมี ลักษณะเป็นดินอ่อนนุ่มได้ เช่น พันธุ์ไม้แสมเป็นพันธุ์ไม้ที่อาศัยอยู่บริเวณนอกสุดที่เป็นดินเลนเหลว ทำให้มี รากแบบแผ่กว้างรอบด้าน ระดับดิน และแทงโผล่ขึ้นมาเหนือพื้นดิน ลักษณะเป็นทรงกรวยเรียวยาวเล็ก โดย เรียกรากหายใจของต้นแสมนี้ว่า นิวมาโตพอร์ (Pneumatophores) และพันธุ์ไม้สกุลโกงกางมีรากลักษณะ คล้ายสะพานโค้ง งอกออกจากด้านข้างของลำต้นส่วนล่างและปักในดิน เรียกว่า รากค้ำยัน (Still or prop roots) ส่วนพันธุ์ไม้ในสกุลฟังกาหัวส้ม (Bruguiera) และสกุลโปรง (Ceriops) มีระบบรากเป็นแบบแขนงอยู่ ใต้ดินและโผล่ขึ้นเหนือดินคล้ายกับรากหายใจนิวมาโตพอร์ของพันธุ์ไม้แสม แต่มีรูปร่างคล้ายหัวเข่า (Knee roots)



รูปที่ 2.4 ลักษณะรากไม้ของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน (สรายุทธ บุนยยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554)

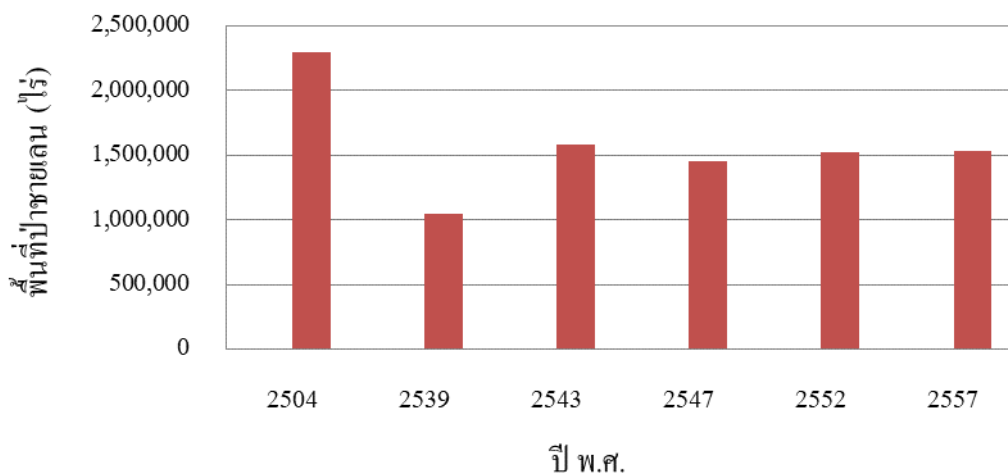
นอกจากนี้ การปรับตัวของป่าชายเลนที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การปรับตัวทางด้านการขยายพันธุ์ เช่น พันธุ์ไม้โกงกางมีการพัฒนาฝักให้งอกตั้งแต่อยู่บนต้นและมีลักษณะเป็นปลายแหลม เพื่อให้สามารถปักลงบนดินเลนได้ง่ายในขณะที่หล่นจากต้น และพันธุ์ไม้แสมและพันธุ์ไม้ลำแพน มีการพัฒนาเมล็ดที่สามารถลอยน้ำได้และงอกตั้งแต่บนต้น เป็นต้น

2.1.3 ประโยชน์ของป่าชายเลน

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

ประโยชน์ทางอ้อมของป่าชายเลนแบบทางอ้อม คือ การช่วยรักษาระบบนิเวศน์และสมดุลทางธรรมชาติบริเวณชายฝั่งกับแผ่นดินและทะเล ระบบรากของป่าชายเลนสามารถช่วยกรองสิ่งของเสียหรือสิ่งปฏิกูลที่ถูกพัดมาจากแหล่งที่อยู่อาศัยให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นก่อนลงสู่ทะเล นอกจากนี้ป่าชายเลนยังมีบทบาทสำคัญในการช่วยลดความรุนแรงหรือสลายพลังงานของคลื่นที่เกิดขึ้นจาก พายุ หรือคลื่นสึนามิได้

การสำรวจพื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยครั้งแต่เริ่มขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2504 พบว่าพื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยมีประมาณ 2,299,375 ไร่ ซึ่งต่อมาพื้นที่ป่าชายเลนมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จากการบุกรุกพื้นที่ป่าชายเลนทั้งทำที่อยู่อาศัย ทำนาเกลือ ทำนากุ้ง ส่งผลให้พื้นที่ป่าชายเลนลดลงอย่างรวดเร็ว โดยในปี พ.ศ. 2539 พื้นที่ป่าชายเลนลดลงมากที่สุด เหลือเพียง 1,047,309 ไร่ ทำให้มีนโยบายฟื้นฟูป่าชายเลนเกิดขึ้นในปี 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 ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2558) การปลูกป่าชายเลนที่ไม่มีประสิทธิผลอาจเป็นเพราะปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัย อาทิเช่น คลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำ รวมไปถึงการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนที่ผิดวิธี



รูปที่ 2.5 พื้นที่ปายาเลนในประเทศไทย พ.ศ. 2504-2557 (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2558)

2.1.4 การปลูกปายาเลน

พันธุ์ไม้ปายาเลนเป็นพันธุ์ไม้ที่มีการปรับตัวด้านการขยายพันธุ์ เพื่อให้สามารถอยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมของปายาเลน โดยการขยายพันธุ์หลากหลายรูปแบบ บางชนิดขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด บางชนิดขยายพันธุ์ด้วยผล และบางชนิดขยายพันธุ์ด้วยฝัก ดังนั้นหากต้องฟื้นฟูพื้นที่ปายาเลนด้วยการปลูกปายาเลน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการศึกษาการปลูกปายาเลน เพื่อให้มีประสิทธิผลในการปลูกปายาเลนมากยิ่งขึ้น

การปลูกพันธุ์ไม้ปายาเลนโดยใช้ฝัก พันธุ์ไม้ปายาเลนที่ใช้ฝักในการขยายพันธุ์สามารถนำฝักไปปลูกในพื้นที่เลย 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 พังกาหัวสุมดอกแดง ถั่วขาว และโปรงแดง ใช้วิธีจับฝักห่างจากโคนหนึ่งในสามส่วนเช่นเดียวกับแบบฝักยาว แต่ลักษณะการจับแตกต่างกัน โดยแบบฝักสั้นใช้วิธีการจับแบบจับปากกา แล้วปักลงไปในดินประมาณหนึ่งในสามส่วนของความยาวฝักเช่นเดียวกับแบบฝักยาว หากในพื้นที่ที่ปลูกมีลักษณะเป็นดินแข็งหรือดินปนทรายแน่น ควรนำร่องด้วยไม้หรืออะไรก็ได้ที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือ

ใกล้เคียงกับฝัก เพื่อลดการเสียดสีและการกระทบกระเทือนระหว่างฝักกับผิวดิน และเพื่อป้องกันการโยก
โคนของฝัก จากแรงกระทำของคลื่นหรือลม ควรกดดินบริเวณรอบโคนหลุมให้แน่นหลังจากนำฝักลงหลุม
เรียบร้อยแล้ว

การปลูกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนโดยใช้เมล็ดนั้นไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากเมล็ดของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน
นั้นถูกพัดพาไปตามกระแสน้ำได้ง่าย พันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด จึงควรนำเมล็ดไปเพาะ
ชำ เพื่อเตรียมกล้าไม้ให้แข็งแรงก่อนนำไปปลูกในพื้นที่จริง พันธุ์ไม้ที่ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด ได้แก่ ตะบูน
ขาว (*Xylocarpus granatum*) ตะบูนดำ (*Xylocarpus moluccensis*) แสมขาว (*Avicennia alba*) แสม
ทะเล (*Avicennia marina*) เป็นต้น

การเพาะชำต้นกล้าป่าชายเลนก่อนนำไปปลูกในพื้นที่จริง เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน
เนื่องจากการเพาะชำต้นกล้าก่อนไปปลูกมีโอกาสรอดตายมากกว่าการปลูกด้วยเมล็ดหรือฝักที่ไม่ได้เพาะ
ชำ อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการถูกทำลายจากลิงแสมหรือปูแสมได้ สนิท อักษรแก้ว, สนใจ หะวานนท์ และ
ชาติรี มากนวล (2539) มีเทคนิคการเพาะชำต้นกล้าพันธุ์ไม้ป่าชายเลนนั้นจะเพาะชำในโรงเพาะชำที่มีตา
ข่ายพรางแสงประมาณ 50% ถึง 70% ใช้ดินเลนผสมกับแกลบเผา โดยตัวแกลบเผาช่วยเก็บความชื้นในดิน
ไว้ได้นานขึ้น หรือทรายผสมดินเลนหรือใช้ทรายล้วนก็ได้ การรดน้ำให้ใช้น้ำกร่อยรดอย่างสม่ำเสมอหรือทำ
แปลงเพาะชำใกล้กับบริเวณที่มีน้ำทะเลท่วมถึง การเพาะชำต้นกล้าด้วยฝักควรเลือกฝักที่เหมาะสมในการ
เพาะชำ เช่น ฝักของโกงกางควรเป็นฝักที่แก่จัดใกล้แตกใบอ่อน และต้องเป็นฝักที่สมบูรณ์ไม่ได้ถูกรบกวน
จากแมลงหรือมอดเจาะ การเพาะชำต้นกล้าจากเมล็ดส่วนใหญ่ใช้เมล็ดแก่ที่หล่นจากต้นและเลือกเมล็ดที่
สมบูรณ์มาเพาะชำ

2.1.5 ปัจจัยแวดล้อมในป่าชายเลน

ปัจจัยแวดล้อมของป่าชายเลนนั้นมีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ในป่าชายเลน
ความแตกต่างของโครงสร้างป่าชายเลนไม่ว่าเป็นชนิด และการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้หรือสัตว์ก็ตามเป็นผล
มาจากอิทธิพลของปัจจัยแวดล้อมทั้งสิ้น ปัจจัยแวดล้อมในป่าชายเลนที่สำคัญ ประกอบด้วย ดิน ความเค็ม
ของน้ำ ภูมิอากาศ น้ำขึ้น-น้ำลง คลื่น และกระแสน้ำ

ดินป่าชายเลนส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่ไหลมาจากแหล่งที่มาต่าง ๆ เช่น
จากแม่น้ำ หรือแผ่นดิน ลักษณะของดินที่มาทับถมบริเวณชายฝั่งและป่าชายเลนนั้นจะมีลักษณะแตกต่างกัน
ตามแหล่งกำเนิดของตะกอนนั้น ๆ เช่น ถ้าตะกอนมาจากแม่น้ำลำคลองอาจจะเป็นดินโคลนละเอียด หรือ

ดินที่มาจากชายฝั่งอาจจะเป็นทรายส่วนมาก นอกจากนี้ดินยังเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโต ชนิด และการกระจายของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน ซึ่งดินในป่าชายเลนส่วนใหญ่มักมีลักษณะเป็นดินที่มีการระบายน้ำต่ำ เค็ม และมีออกซิเจนต่ำ

ความเค็มของน้ำ (Water salinity) และความเค็มของน้ำในดิน (Soil water salinity) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การรอดตาย และการกระจายของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน พันธุ์ไม้ป่าชายเลนสามารถแบ่งกลุ่มตามความทนทานต่อความเค็มได้ 2 กลุ่ม กลุ่มแรก เป็นกลุ่มพันธุ์ไม้ที่มีช่วงความทนทานต่อความเค็มกว้าง (0 ถึง 80‰) เช่น โกงกางทะเล (*Rhizophora stylosa*) และกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มพันธุ์ไม้ที่มีช่วงความทนทานต่อความเค็มแคบ (<40‰) เช่น โกงกางใบใหญ่ พังกาหัวสุมดอกขาว ลำพู ตะบูนขาว และฝาดดอกแดง เป็นต้น แต่พันธุ์ไม้ป่าชายเลนบางชนิด เช่น พังกาหัวสุมดอกขาว จำกัดการกระจายในพื้นที่ที่มีความเค็มต่ำกว่า 33‰ พันธุ์ไม้ป่าชายเลนส่วนใหญ่สามารถอยู่ในที่มีความเค็มสูงกว่าความเค็มเฉลี่ยในรอบปีเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ (สราวุธ บุญยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554)

ปัจจัยทางด้านภูมิอากาศต่อการเจริญเติบโตของพืชในป่าชายเลนไม่ว่าจะเป็นปัจจัยจากฝนหรือแสงแดดล้วนมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน ปริมาณน้ำฝน และระยะเวลาที่ฝนตก เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ โครงสร้างหมู่ไม้ และการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน เช่น โครงสร้างป่าชายเลนในบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยหรือในพื้นที่แห้งแล้งจะมีลักษณะโครงสร้างป่าชายเลนที่ซับซ้อนน้อยกว่าโครงสร้างป่าชายเลนในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมาก โดยหมู่ไม้จะมีความหนาแน่นสูง (จำนวนต้นต่อพื้นที่สูง) แต่หมู่ไม้จะเตี้ยมีพื้นที่หน้าตัดรวมต่ำ ชีวะมวลต่ำ และจำนวนชนิดพันธุ์ไม้ไม่มาก ในส่วนปัจจัยเรื่องแสงเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชสีเขียว และมีบทบาทสำคัญต่ออัตราการรอดตาย การเจริญเติบโตของกล้าไม้ โดยเฉพาะพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่เป็นไม้ไม่ทนร่ม เช่น โกงกางใบเล็ก โกงกางใบใหญ่ และแสม เป็นต้น

ปัจจัยแวดล้อมเนื่องจากน้ำขึ้น-น้ำลงเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการแบ่งเขตของพันธุ์ไม้ เนื่องจากการเกิดน้ำขึ้นน้ำลงมีผลต่อการท่วมของน้ำในพื้นที่และระยะเวลาในการท่วมของป่าชายเลนที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มของน้ำ นอกจากนี้ระยะเวลาการขึ้นลงของน้ำทะเลยังส่งผลกับความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลนอีกด้วย เช่น บริเวณป่าชายเลนที่มีลักษณะน้ำขึ้น-น้ำลงวันละครั้งหรือเรียกว่าแบบน้ำเดี่ยว (Diurnal tide) จะมีความสมบูรณ์ของป่าแตกต่างจากป่าชายเลนที่มีลักษณะน้ำขึ้นน้ำลงแบบวันละสองครั้ง หรือน้ำคู่ (Semi-diurnal tide) และบริเวณที่มีน้ำขึ้นน้ำลงแบบผสม (Mixed tide) ปัจจัยแวดล้อมเนื่องจากคลื่น และกระแสน้ำ คลื่นและกระแสน้ำเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง

ลักษณะโครงสร้าง และกิจกรรมในระบบนิเวศป่าชายเลน เช่น การกัดเซาะพื้นที่ชายฝั่งเนื่องจากคลื่นที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่อาศัยของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน การช่วยแพร่กระจายของพันธุ์ไม้และการช่วยพัดพาธาตุอาหารจากป่าชายเลนออกสู่ชายฝั่งทะเลของกระแสน้ำ เป็นต้น นอกจากนี้จากการไปศึกษาและสัมภาษณ์ผู้มีความรู้ในพื้นที่ป่าชายเลน ผู้วิจัยพบว่า คลื่น กระแสน้ำ และระดับน้ำนอกจากมีผลต่อการกัดเซาะดินบริเวณชายฝั่ง การพัดพาธาตุอาหาร การแพร่กระจายของพันธุ์ไม้ และการตกตะกอนบริเวณชายฝั่ง ยังส่งผลในเรื่องของการเจริญเติบโตของต้นกล้าป่าชายเลนไม่มากนักน้อย ซึ่งในการศึกษาที่เกี่ยวกับผลกระทบของคลื่น กระแสน้ำ และระดับน้ำท่วมต้นที่มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตหรือการตายของต้นกล้าป่าชายเลนในปัจจุบันนั้นมีข้อมูลอยู่ไม่มาก ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาผลกระทบของคลื่น กระแสน้ำ และระดับน้ำท่วมต้นต่อลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลน เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาการปลูกป่าชายเลนให้มีประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น

2.2 ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์

ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการตายหรือการเจริญเติบโตของต้นกล้าป่าชายเลน ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ที่สนใจในงานวิจัยนี้ คือ น้ำขึ้น-น้ำลง คลื่น และกระแสน้ำ (สุวิจน์ ธีธรรส, 2550)

2.2.1 น้ำขึ้น-น้ำลง (Tide)

น้ำขึ้น-น้ำลงเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติ ที่เกิดจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์และแรงดึงดูดของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อโลก ส่งผลให้ระดับน้ำทะเลมีการเพิ่มขึ้นและลดลง ดวงจันทร์เป็นตัวการที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลงอย่างมาก โดยดวงจันทร์จะกระทำแรงดึงดูดต่อโลกในขณะที่โคจรรอบ ๆ แรงที่ดวงจันทร์กระทำต่อโลกมีอยู่ด้วยกัน 2 แรง คือ แรงเหวี่ยง (Centrifugal force) เกิดจากการหมุนรอบมวลที่เป็นจุดศูนย์กลาง และแรงดึงดูด (Gravitation force of attraction) ระหว่างโลกและดวงจันทร์ที่กระทำต่อต้านแรงเหวี่ยงเพื่อรักษาให้คงที่ นอกจากอิทธิพลของดวงจันทร์ก็มีอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ด้วย ช่วงเวลาที่เกิดน้ำขึ้นสูงสุดหรือที่เรียกกันว่า น้ำเกิด (Spring tide) เกิดเมื่อโลกดวงอาทิตย์ และดวงจันทร์โคจรมาอยู่ในแนวเดียวกัน และช่วงเวลาที่น้ำลงสูงสุดหรือที่เรียกกันว่า น้ำตาย (Neap tide) เกิดขึ้นเมื่อโลก ดวงอาทิตย์ และดวงจันทร์โคจรอยู่คนละแนวเดียวกันและจะเกิดน้ำลงสูงสุดเมื่อโลก ดวงอาทิตย์

และดวงจันทร์โคจรมาตั้งฉากซึ่งกันและกัน รูปแบบการขึ้นลงของน้ำ (Tide patterns) การเกิดน้ำขึ้น-น้ำลงบนโลกมีความแตกต่างกัน การขึ้นลงของน้ำจะปรากฏขึ้นชัดเจนในเขตน้้ำตื้นแนวชายฝั่ง ระยะเวลาสูงระหว่างน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุดจะแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ทั่วโลก ซึ่งได้แบ่งรูปแบบการขึ้นลงของน้ำออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่

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

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

(3) Mixed tide pattern บางพื้นที่มีลักษณะการขึ้นลง 4 ครั้งต่อวัน โดยมีน้ำขึ้น 2 ครั้ง และน้ำลง 2 ครั้ง แต่ระดับความสูงของน้ำระหว่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ไม่เท่ากัน

2.2.2 คลื่น (Wave)

คลื่นเกิดจากแรงสร้าง (Generating force) และแรงกู่กลับ (Restoring force) กระทบต่อผิวน้ำ แรงสร้างเป็นแรงกระทำที่เกิดจากกระแสลมพัด วัตถุที่เคลื่อนที่ลงในน้ำ ภูเขาไฟระเบิด และแผ่นดินไหวใต้ทะเล เป็นต้น แรงเหล่านี้จะทำให้เกิดคลื่นบนผิวน้ำจากนั้นก็เคลื่อนที่ออกไปจากจุดเดิม ส่วนแรงกู่กลับที่กระทำให้เกิดคลื่นในน้ำเกิดจากความแตกต่างกันของแรงตึงผิว (Surface tension) และความถ่วงจำเพาะ (Gravity) คลื่นที่เกิดขึ้นในน้ำส่วนใหญ่เกิดจากแรงสร้าง คือ ลมพัดเหนือผิวน้ำ การสัมผัสกันระหว่างกระแสลมกับผิวน้ำทำให้เกิดคลื่นที่เรียกว่า ชิปปิลส์ (Ripples) หรือ คาปิลลารี เวฟ (Capillary wave) และมีแรงกู่กลับเป็นตัวเสริม คือ แรงตึงผิว พื้นที่ขนาดเล็กของคาปิลลารี เวฟสามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งบนผิวน้ำได้อย่างรวดเร็ว เมื่อมีพลังงานถูกถ่ายทอดลงสู่มวลน้ำมากคลื่นก็ยังมีขนาดใหญ่ขึ้น ผิวน้ำก็มีความปั่นป่วนมากขึ้น

2.2.3 กระแสน้ำ (Current)

กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งนั้นเกิดมาจากลม การไหลหลากมาจากแม่น้ำในช่วงฤดูฝนและน้ำขึ้น-น้ำลง แต่กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งที่พบเห็นโดยทั่ว ๆ ไปและมีบทบาทสำคัญมักเกิดจากการแตกตัวของคลื่นที่เคลื่อนที่เข้ามาฝั่งเข้าหาแนวชายฝั่ง กระแสน้ำเลียบฝั่ง และแรงจากการกระทำจากคลื่นเป็นปัจจัยสำคัญในการเคลื่อนที่ของตะกอนหรือทรายบริเวณชายฝั่ง ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งที่ทำให้พื้นที่ป่าชายเลน

ลดลง กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งนั้นมีอยู่ 3 ประเภทด้วยกัน คือ หนึ่งกระแสน้ำเรียบชายฝั่ง (Longshore current) เป็นกระแสน้ำที่เคลื่อนที่ขนานกับแนวชายฝั่ง เกิดขึ้นเมื่อคลื่นน้ำเคลื่อนที่เข้ามาฝั่งเข้าสู่แนวชายฝั่ง และความไม่สม่ำเสมอของความเร็วคลื่นที่แตกตามแนวชายฝั่งจากกระบวนการหักเหหรือการเลี้ยวเบนของคลื่นในน้ำตื้น สองกระแสน้ำขวางฝั่ง (Cross-shore current) กระแสน้ำขวางฝั่งจะเป็นกระแสน้ำที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งฉาก และสามารถกระแสน้ำย้อนกลับ (Rip current) เป็นกระแสน้ำที่พัดในแนวตั้งฉากกับแนวชายฝั่งคล้าย ๆ กับกระแสน้ำขวางฝั่ง โดยเกิดจากการที่น้ำทะเลถูกอุปสรรคได้น้ำปิดกั้นไว้ไม่ให้ไหลกลับคืนท้องทะเลได้สะดวก หรือเกิดจากการที่น้ำไหลมาปะทะแนวชายฝั่งแล้วไหลย้อนกลับออกไปในทะเล อุปสรรค เช่น แนวหิน แนวปะการัง หรือสันทรายที่อยู่ใต้น้ำแนวหินหรือแนวปะการังมักจะอยู่คงที่

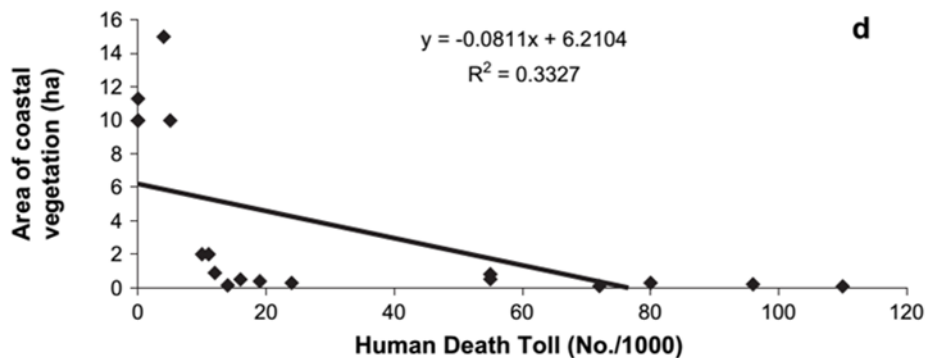
2.3 การศึกษาที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้ได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับป่าชายเลนในหลายส่วน ๆ ด้วยกันไม่ว่าจะเป็นเรื่องผลกระทบจากคลื่นสึนามิ การป้องกันคลื่นหรือการลดทอนคลื่นมีทั้งในส่วนของงานวิจัยในห้องปฏิบัติการแบบจำลองและภาคสนาม รวมไปถึงปัจจัยที่มีผลต่อการอยู่รอดหรือรอดตาย การเจริญเติบโตของป่าชายเลน เช่น แสง ระดับน้ำทะเล ความเค็ม เป็นต้น

2.3.1 การศึกษาเกี่ยวกับการลดทอนคลื่นในป่าชายเลน

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% ของต้นโกงกางที่มีเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 25 ถึง 30 เซนติเมตร รอดตายจากคลื่นสึนามิ ในขณะที่ต้นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ถึง 20 เซนติเมตร รอดตายเพียง 19% และได้จำลองคลื่นสึนามิโดยใช้ทฤษฎีคลื่นน้ำตื้นแบบไม่สม่ำเสมอเพื่อจำลองเหตุการณ์คลื่นสึนามิการเกิดน้ำท่วมที่ไหลเข้าไปในแผ่นดิน เพื่อศึกษาโมเมนต์ตัดที่กระทำต่อต้นโกงกาง 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) ได้ศึกษาจำนวนผู้เสียชีวิตของผู้คนในชุมชนตามแนวชายฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศอินเดียที่ได้รับผลจากคลื่นสึนามิ ซึ่งเกิดจากแผ่นดินไหวใต้ทะเลขนาดใหญ่วัดได้ 9.3 ริกเตอร์ ทำให้มวลน้ำขนาดใหญ่ของมหาสมุทรอินเดียเคลื่อนที่ให้เกิดคลื่นแพร่กระจายไปในทุกทิศทาง โดยคลื่นเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 800 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และคลื่นขนาดมหึมานี้ได้คร่าชีวิตผู้คนไปมากกว่า 200,000 คน และส่งผลให้เกิดการสูญเสียเงินกว่า 6 พันล้านดอลลาร์สหรัฐใน 13 ประเทศ โดยผู้ทำการวิจัยได้ทำการศึกษาในระยะทางประมาณ 25 กิโลเมตรตามแนวชายฝั่งที่เมืองพารังจีเพตไต (Parangipettai) จังหวัดทามิลนาฑู (Tamil Nadu) ประเทศอินเดีย ซึ่งประกอบไปด้วย ชุมชนชาวประมงทั้งหมด 18 หมู่บ้าน โดยพื้นที่ตั้งส่วนใหญ่ของชุมชนอยู่ห่างจากแนวชายฝั่งในช่วง 0.1 ถึง 2.5 กิโลเมตร และค่าระดับของพื้นดินบริเวณชุมชนเหล่านี้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 4 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผล ดังรูปที่ 2.6

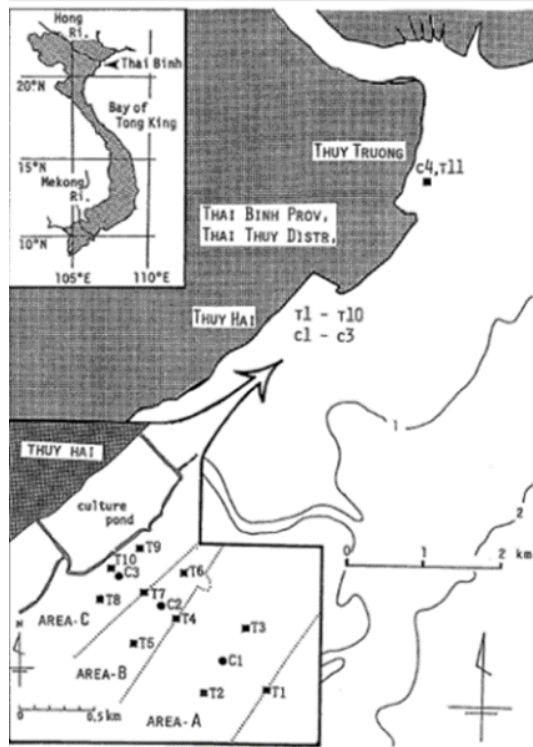


รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างยอดผู้เสียชีวิตหลังจากเกิดสึนามิในวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 กับ พื้นที่ของต้นไม้ชายฝั่งทะเล (Kathiresan & Rajendran 2005)

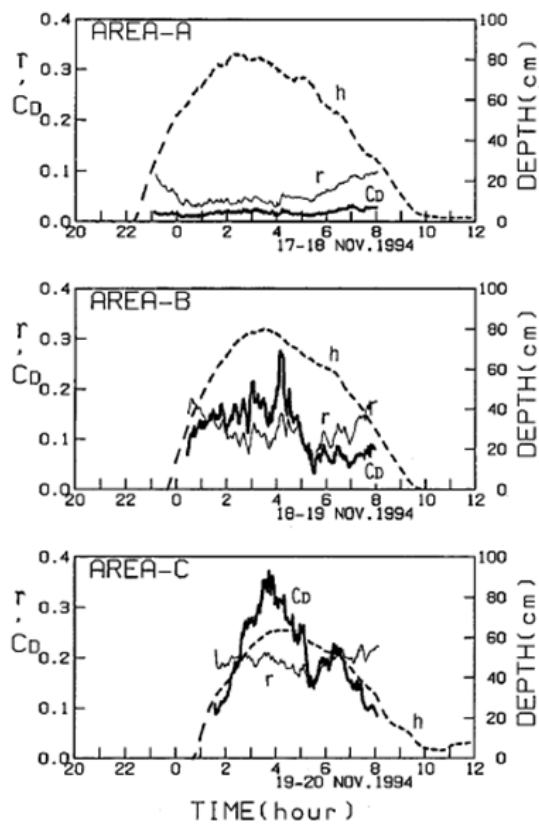
รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณชายฝั่งมีมากขึ้นยอดผู้เสียชีวิตก็จะลดลง กล่าวได้ว่าพื้นที่ป่าชายเลนเป็นเหมือนกับเกราะกำบังคลื่น และมีบทบาทสำคัญในการช่วยปกป้องทั้งชีวิตและทรัพย์สิน จากการทบทวนงานวิจัยทำให้เห็นว่าป่าชายเลนนั้นนอกจากจะเป็นระบบนิเวศที่สำคัญต่อพื้นที่ชายฝั่งแล้วยังสามารถช่วยป้องกันหรือลดทอนคลื่นและความเสียหายจากภัยธรรมชาติได้อีกด้วยส่งผลให้ผู้คนเริ่มเห็นบทบาทและประโยชน์ของป่าชายเลนมากยิ่งขึ้น และเริ่มสนใจศึกษาความสามารถในการป้องกันหรือลดทอนคลื่นของป่าชายเลนมากขึ้น Liu, Zhang, Li and Xie (2013) ได้ศึกษาความอ่อนไหวของป่าชายเลนในการลดทอนคลื่นพายุซัดฝั่ง (Storm surge) และภาวะน้ำท่วมชายฝั่งจากลักษณะพายุทางใต้ของรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา การศึกษานี้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการเปลี่ยนลักษณะความรุนแรงของพายุ เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ ความเร็วลม และทิศทางเคลื่อนที่ของพายุ จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลในภาคสนาม ซึ่งผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าป่าชายเลนมีผลต่อการลดระดับน้ำท่วมบนฝั่งของพายุที่เคลื่อนที่เร็วและมีขนาดเล็กได้ดีกว่าพายุที่เคลื่อนที่ช้า และมีขนาดใหญ่

นอกจากการศึกษารลดทอนคลื่นด้วยแบบจำลองแล้วยังมีการศึกษารลดทอนคลื่นของป่าชายเลนโดยการศึกษาภาคสนาม Mazda, Magi, Kogo and Hong (1997) ได้ศึกษารลดทอนคลื่นในป่าชายเลนที่มีต้นรังกะแท้ (*Kandelia candel*) ในพื้นที่ชายฝั่งทวิฮาย (Thuy Hai) และทวิจวง (Thuy Truong) ประเทศเวียดนาม พื้นที่ชายฝั่งทวิฮายปลูกต้นรังกะแท้กว้าง 1.5 กิโลเมตร ยาว 3 กิโลเมตร แบ่งพื้นที่ออกเป็นสามส่วน (ดังแสดงใน รูปที่ 2.7) 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

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าในพื้นที่ชายฝั่งส่วนที่สาม (Area C) มีความสามารถในการลดทอนคลื่น (r) ได้มากที่สุด เนื่องจากอายุของต้นรังกะแท้ที่มีอายุมาก และมีขนาดใหญ่ที่สุด (5 ถึง 6 ปี) (ดังแสดงในรูปที่ 2.10) รองลงมา คือ พื้นที่ส่วนที่สอง (Area B) และพื้นที่ส่วนที่หนึ่ง (Area A) ตามลำดับ โดยส่วนที่หนึ่งพบว่าการลดทอนคลื่นส่วนใหญ่เกิดจากแรงต้านของพื้นที่เพียงอย่างเดียวเท่านั้นเนื่องจากต้นไม้ป่าชายเลนในส่วนที่หนึ่งยังมีขนาดเล็กมากจึงลดทอนพลังงานคลื่นได้น้อย



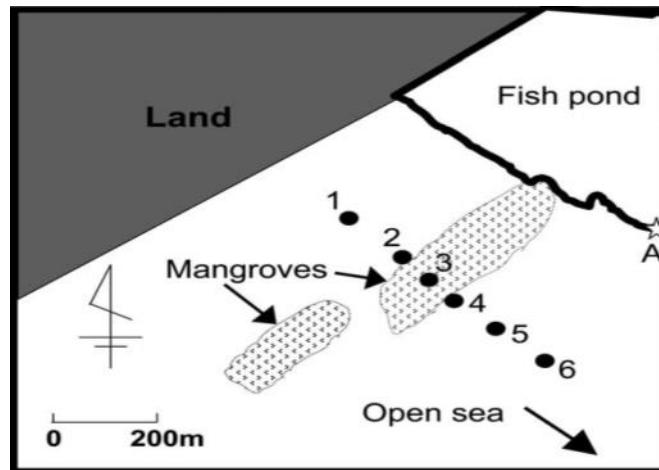
รูปที่ 2.7 พื้นที่ชายฝั่งทวิฮายและทวิจวง (Mazda et al., 1997)



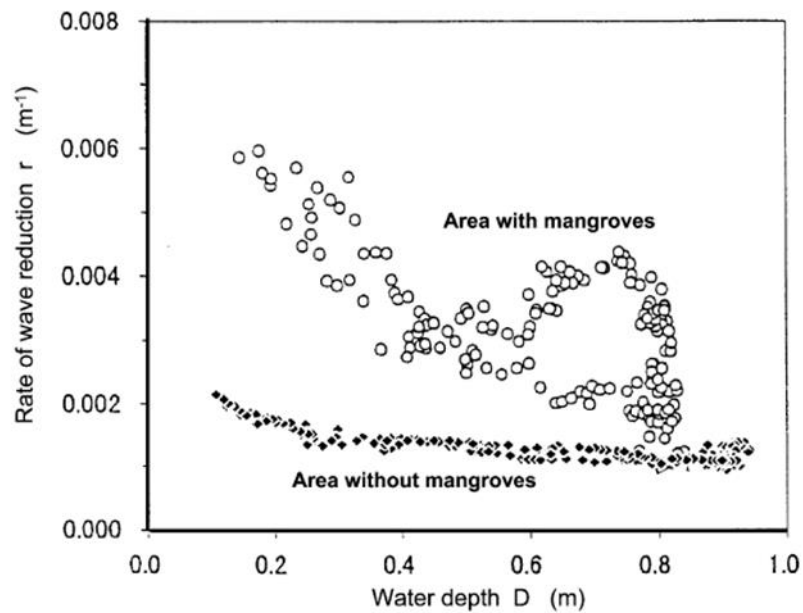
รูปที่ 2.8 ความสามารถในการลดทอนคลอรีนในแต่ละพื้นที่ (Mazda et al., 1997)

นอกจากนี้ Mazda, Magi, Ikeda, Kurokawa and Asano (2006). ก็ได้ศึกษาการลดทอนคลื่นของต้นลำพู (Sonneratia sp.) ที่บริเวณชายฝั่งเวียดนามฮาง (Vinh Quang) ทางตอนเหนือของเวียดนามเพื่อรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณทางกายภาพของต้นลำพูในการลดทอนคลื่น ทำการศึกษาในช่วงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูมรสุมของเวียดนามโดยทำการติดตั้งเครื่องวัดคลื่น 6 สถานี (รูปที่ 2.9) เพื่อจดบันทึกค่าความสูงของระดับน้ำ (h) ผู้วิจัยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ การลดทอนคลื่นเนื่องจากต้นไม้ป่าชายเลน และสองการลดทอนคลื่นบริเวณที่ไม่มีป่าชายเลน ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่ไม่มีป่าชายเลนการลดทอนคลื่นเกินจากแรงต้านของพื้น (Bottom friction) โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (CD) เท่านั้น ส่วนในพื้นที่ที่มีป่าชายเลนต้นลำพูสามารถลดทอนคลื่นได้สองส่วน คือ ส่วนที่เป็นรากหายใจ (Pneumatophores) และส่วนที่เป็นก้านและใบ (ที่ความสูง 0.6 เมตร) ของต้นลำพู (รูปที่ 2.10) ซึ่งอัตราการลดทอนคลื่น (r) หาได้จากสมการที่ 2-1

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

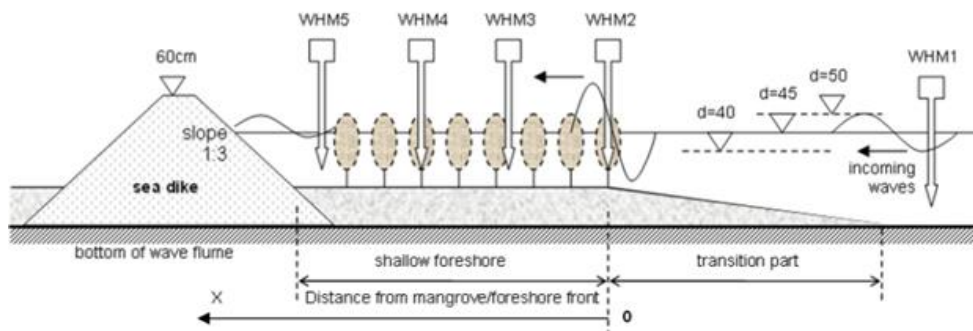


รูปที่ 2.9 สถานที่ทำการศึกษาระยะชายฝั่งเวียดนามฮาง (Mazda et al. 2006)



รูปที่ 2.10 อัตราการลดทอนคลื่น (r) ในพื้นที่ป่าชายเลน และพื้นที่ที่ไม่มีป่าชายเลน (Mazda et al. 2006)

ในส่วนการศึกษาการลดทอนคลื่นในห้องปฏิบัติการ Tuyen and Hung (2009) ได้ศึกษาการลดทอนคลื่นในห้องปฏิบัติการโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่มีการย่อมาตราส่วนลง (รูปที่ 2.11) 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 20×10 เซนติเมตร และ แบบหนาแน่นน้อย 20×20 เซนติเมตร รายละเอียดการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 2.12

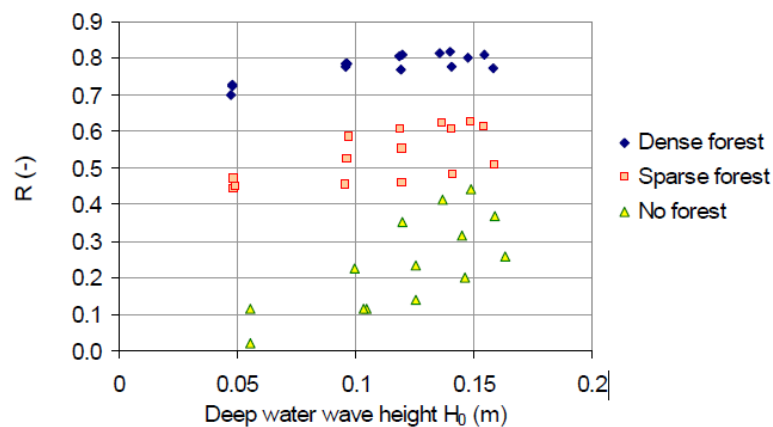


รูปที่ 2.11 แบบจำลองทางกายภาพที่ใช้ในการศึกษา (Tuyen & Hung, 2009)

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

รูปที่ 2.12 รายละเอียดการศึกษาของ Tuyen and Hung (2009)

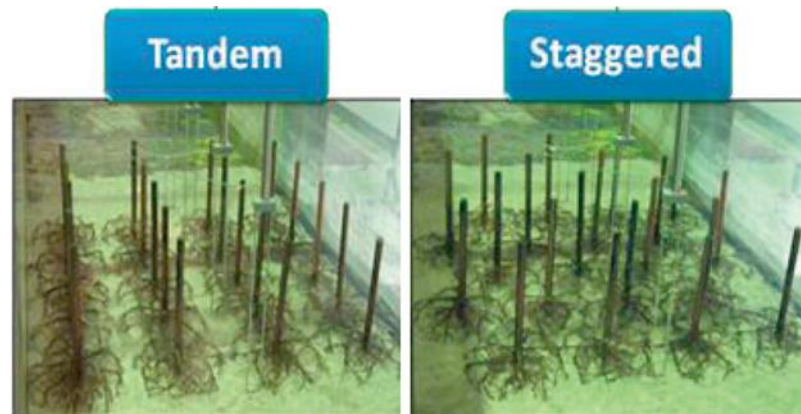
ผลการศึกษารลดทอนคลื่นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ พบว่าปัจจัยในด้านความหนาแน่นของป่าชายเลนมีผลต่อการลดทอนคลื่นมากที่สุด โดยสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ในการลดทอนคลื่น (R) ได้จากสมการ $R = (H_0 - H_i) / H_0$ ป่าชายเลนที่มีความหนาแน่นมากมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น 0.7 ถึง 0.8 ส่วนป่าชายเลนที่มีความหนาแน่นน้อยมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น 0.3 ถึง 0.55 และในส่วนของพื้นที่ไม่มีป่าชายเลนเป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นที่ได้จากปัจจัยทางด้านพื้นที่ด้านหน้าชายฝั่งอย่างเดียว มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นอยู่ที่ 0.4 (รูปที่ 2.13)



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงคลื่นกับสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น (R)

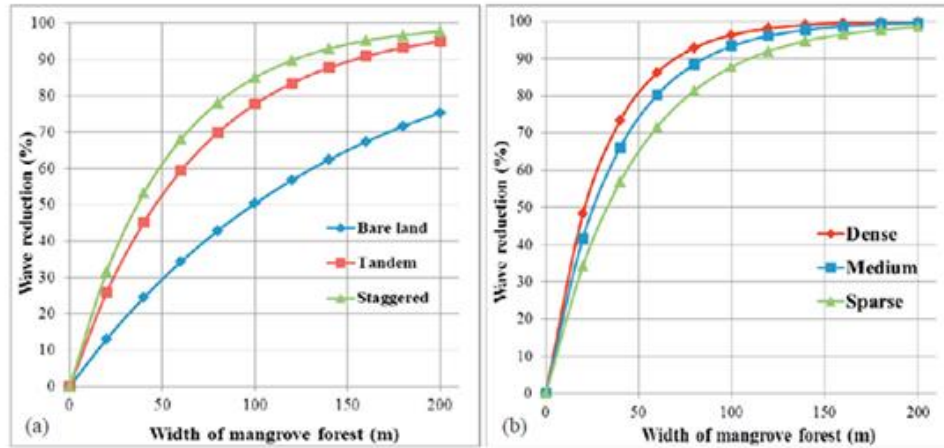
(Tuyen & Hung, 2009)

Hashim and Catherine (2013) ศึกษาการลดทอนคลื่นเนื่องจากป่าชายเลน เพื่อหาความสามารถในการลดทอนคลื่นที่เปลี่ยนไปตามความหนาแน่น และการจัดเรียงของต้นไม้ป่าชายเลน ผู้วิจัยได้จำลองต้นโกงกางโดยการย่อขนาดต้นโกงกางอายุ 20 ปี ที่อัตราส่วนแบบจำลองต่อของจริงเท่ากับ 1 : 10 ต้นโกงกางจำลองทำจากเหล็ก และทดสอบในรางจำลองคลื่น มีการจัดเรียง 2 แบบ คือ แบบเรียงเป็นแนวเดียวกัน (Tandem) และแบบเหลื่อมกัน (Staggered) (รูปที่ 2.14) ซึ่งแตกต่างตรงช่องว่างระหว่างต้นโกงกางจำลอง ในการศึกษาที่มีการจัดเรียงความหนาแน่น 3 แบบ คือ 11 ต้นต่อตารางเมตร (Sparse) 16 ต้นต่อตารางเมตร (Medium) และ 22 ต้นต่อตารางเมตร (Dense) ใช้ความลึกน้ำที่ 0.15 เมตร และความสูงคลื่นที่ 0.05 เมตรในการศึกษา



รูปที่ 2.14 การจัดเรียงต้นโกงกางจำลองแบบแนวเดียวกัน (Tandem) และแบบเหลื่อมกัน (Staggered)
(Hashim & Catherine, 2013)

ผลการศึกษาพบว่าการจัดเรียงต้นโกงกางจำลองแบบแนวเดียวกัน และแบบเหลื่อมกันนั้นมีความสามารถในการลดทอนคลื่นได้ไม่ต่างกัน แต่ความหนาแน่นมีผลต่อการลดทอนคลื่น (รูปที่ 2.15) การจัดเรียงแบบ 22 ต้นต่อตารางเมตร (Dense) สามารถลดทอนคลื่นได้ที่สุดถึง 81% รองลงมาคือ 16 ต้นต่อตารางเมตร (Medium) และ 11 ต้นต่อตารางเมตร (Spares) ตามลำดับ



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของป่าชายเลนกับเปอร์เซ็นต์การลดทอนคลื่น

(Hashim & Catherine, 2013)

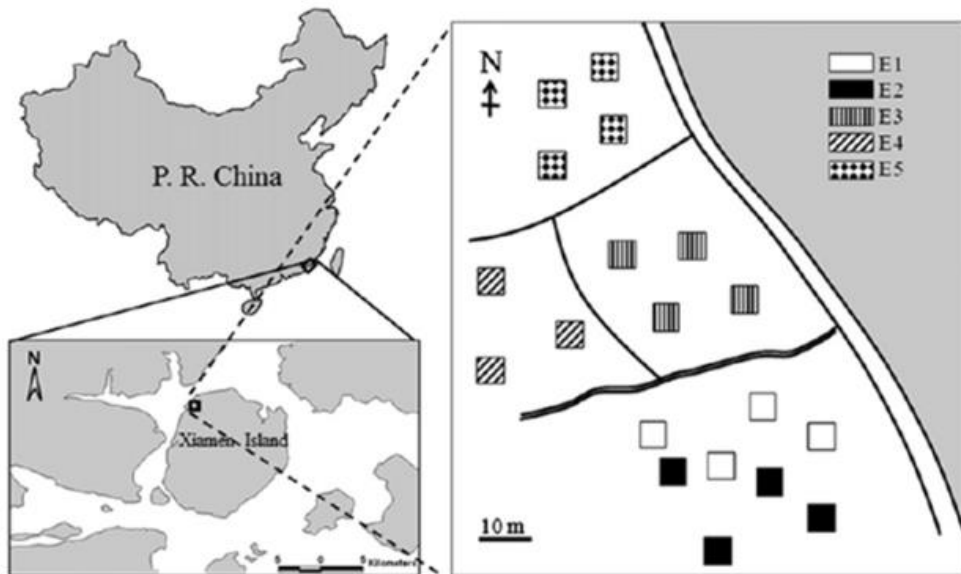
จากการศึกษาการลดทอนคลื่นไม่ว่าจะเป็นการศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในสนาม หรือในห้องปฏิบัติการ คุณสมบัติของต้นไม้ที่มีผลต่อการลดทอนคลื่นไม่ทางตรงก็ทางอ้อม คณะวิจัยของ Feagin et al. (2011) ได้มีการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยนำตัวอย่างพืช 3 ชนิด มาจากประเทศอังกฤษ และสหรัฐอเมริกา พืชสองชนิดแรก ได้แก่ สปาติมา มารีติมา (*Spartina maritima*) และ อาทิเพลค พอตุลาคอย (*Atriplex portulacoides*) ได้รับตัวอย่างมาจากประเทศอังกฤษ ส่วนชนิดที่สาม สปาติน่า อัลเทอนิฟอรา (*Spartina alterniflora*) ได้รับตัวอย่างมาจากประเทศสหรัฐอเมริกา จากการศึกษาของ Feagin et al. (2011) พบว่า คุณสมบัติทางวิศวกรรม ได้แก่ มวล ความหนาแน่น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ระยะห่างของลำต้น ค่ามอดูลัสของยัง และค่าการโก่งตัวของพืช คุณสมบัติเหล่านี้มีผลต่อการลดทอนคลื่นในพื้นที่ชุ่มน้ำ และเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดลักษณะของพืช เหล่านี้ในการศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการศึกษาในห้องปฏิบัติการต่อไป

2.3.2 การศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลน

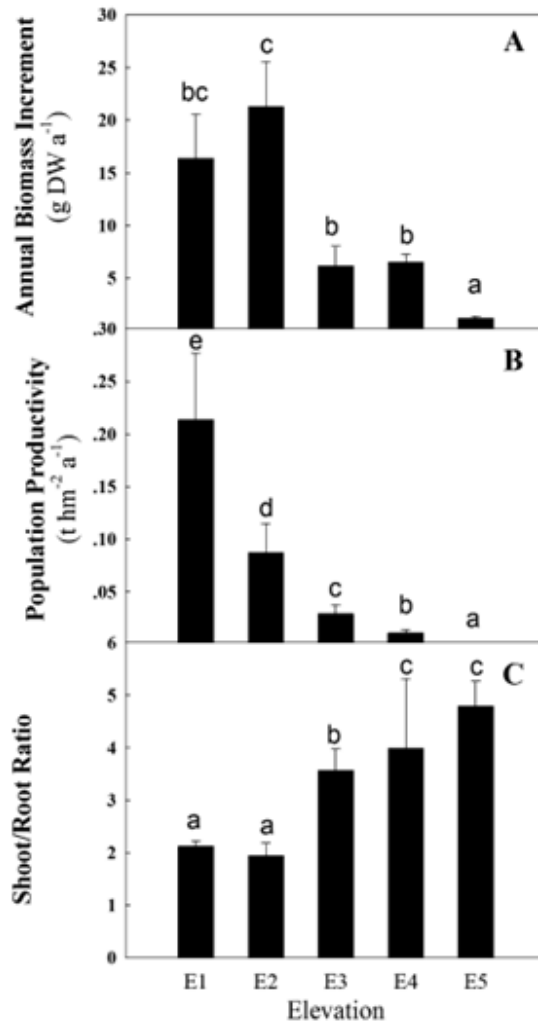
Lu, Chen, Wang, Tam and Lin (2013) ได้ศึกษาผลกระทบของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อลักษณะ โครงสร้าง และการเจริญเติบโตของต้นแสมทะเล (*Avicennia marina*) โดยศึกษาทั้งในภาคสนาม และห้องทดลองกลางแจ้งที่เกาะเซียเหมิน (Xiamen island) ประเทศจีน ในภาคสนามได้สำรวจ 5 พื้นที่ที่มีค่าระดับ 105 95 65 55 และ 45 เซนติเมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางจากที่สูงไปที่ต่ำ (E1 ถึง E5) (รูปที่

2.16) พบว่า ต้นแสมทะเลเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงจากระดับน้ำได้ดีกว่าพื้นที่ต่ำ ซึ่งเห็นได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับแต่ละพื้นที่กับจำนวนต้นไม้ที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (รูปที่ 2.17)

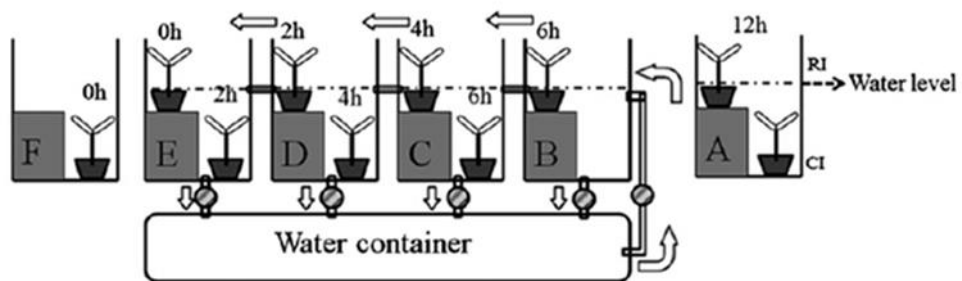
การศึกษาผลกระทบของความลึกน้ำต่อการเจริญเติบโตของต้นแสมทะเลในห้องปฏิบัติการกลางแจ้งด้วยแท่งก้นน้ำ ทำการศึกษาโดยแบ่งความลึกน้ำออกเป็น 2 ส่วน คือ ความลึกน้ำท่วมราก และความลึกน้ำท่วมต้น แบ่งคาบในการจมน้ำออกเป็น 5 คาบ คือ 0 2 4 6 และ 12 ชั่วโมง (รูปที่ 2.18) ทำการศึกษาเป็นเวลา 100 วัน พบว่าระดับน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นแสมทะเล โดยกรณีระดับน้ำลึกท่วมต้นมีผลด้านลบมากกว่ากรณีระดับน้ำลึกท่วมราก ซึ่งดูได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาน้ำท่วมราก และท่วมต้นกับค่าชีวมวล เมื่อคาบเวลาน้ำท่วมเพิ่มขึ้นต้นไม้ที่ระดับน้ำท่วมต้นจะมีค่าชีวมวลน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 2.19)



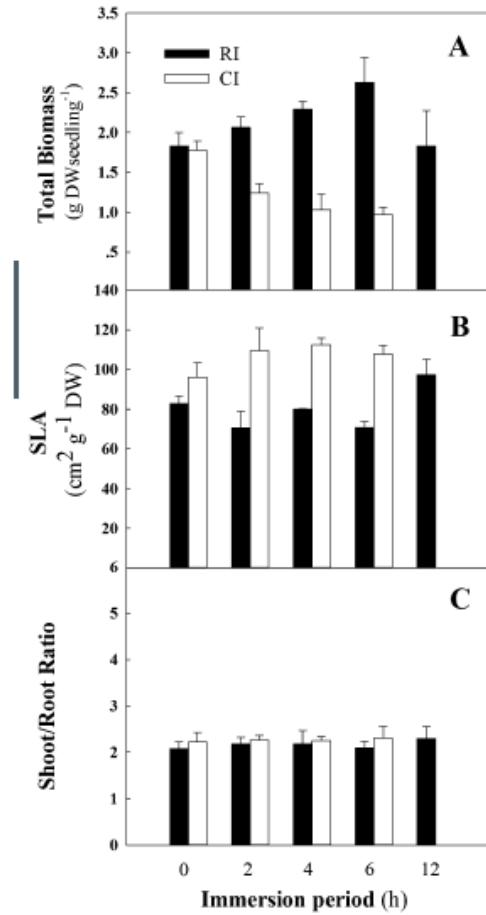
รูปที่ 2.16 พื้นที่ศึกษาภาคสนาม E1 ถึง E5 ที่มีค่าระดับต่างกัน (Lu et al., 2013)



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับแต่ละพื้นที่กับ A.การเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพประจำปี (a) (Annual biomass increment), B.จำนวนต้นไม้ที่เพิ่มขึ้น (b) (population productivity) และ C. อัตราส่วนของน้ำหนักของส่วนของต้นไม้ที่โผล่พ้นดินกับราก (c) (Shoot/Root ratio) (Lu et al., 2013)



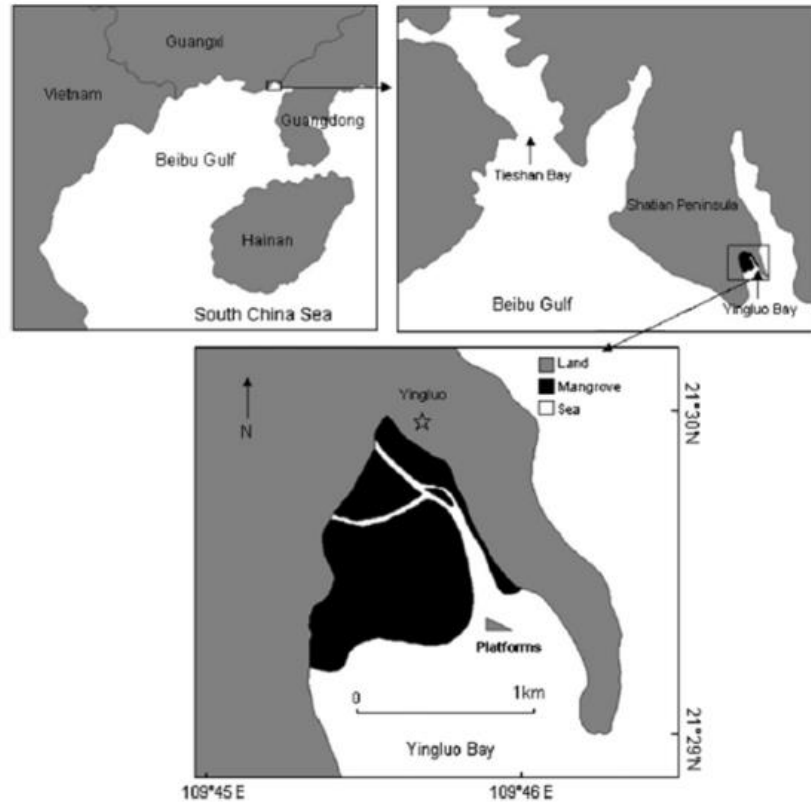
รูปที่ 2.18 ลักษณะการทดลองกลางแจ้งโดยใช้แท็งก์น้ำ (Lu et al., 2013)



รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาน้ำท่วมราก (กราฟแท่งสีดำ) และท่วมต้น (กราฟแท่งสีขาว) กับ A.ชีวมวลรวม (a) (Total biomass), B.พื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักแห้ง (b) (Specific leaf area (SLA)), C. อัตราส่วนของน้ำหนักของส่วนของต้นไม้ที่โผล่พ้นดินกับราก (c) (Shoot/Root ratio) (Lu et al., 2013)

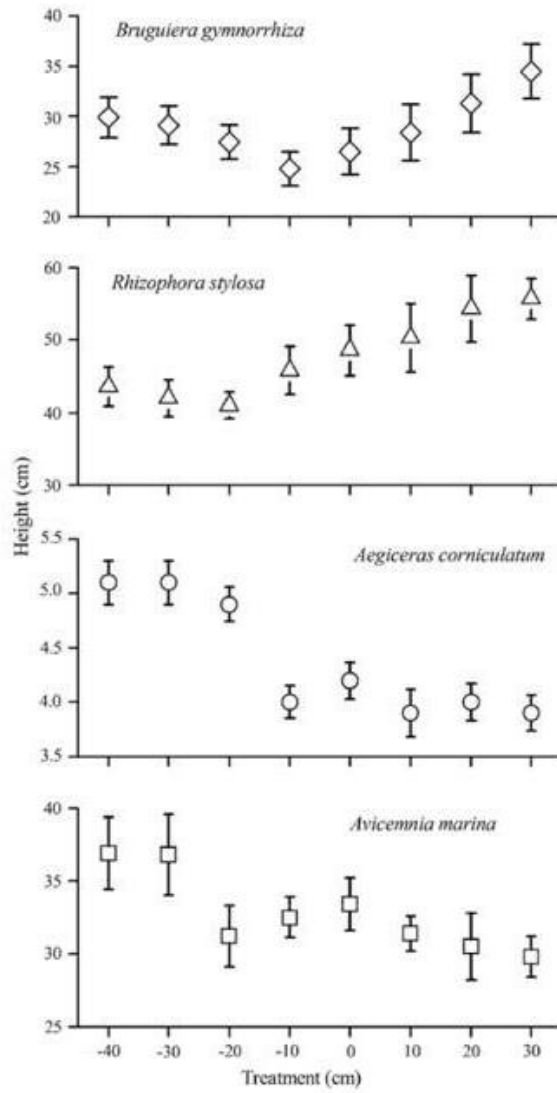
He, Lai, Fan, Wang and Zheng (2007) ได้ศึกษาความสามารถในการทนน้ำท่วมของต้นไม้ป่าชายเลนที่อ่าวยिंगลัว (Yingluo) ประเทศจีน (รูปที่ 2.20) ในภาคสนาม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการรอดตาย และการเจริญเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลนในบริเวณระดับการปลูกที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยได้ทดลองโดยเลือกชนิดของต้นไม้ป่าชายเลนในพื้นที่ ได้แก่ เล็บมีอนาง (*Aegiceras corniculatum*, Ac), แสมทะเล (*Avicennia marina*, Am), พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*, Bg) และโกงกางทะเล (*Rhizophora stylosa*, Rs) จากนั้นได้ทำแปลงทดลองสามแปลงเพื่อปลูกต้นไม้ป่าชายเลนทั้ง 4 ชนิด มีค่าระดับ 8 ระดับ คือ -40, -30, -20, -10, 0, 10, 20 และ 30 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลปาน

กลาง โดยค่าระดับที่ติดลบแสดงถึงพื้นที่แปลงทดลองที่อยู่ต่ำจะมีการท่วมของน้ำสูง ค่าระดับที่เป็นบวกแสดงถึงพื้นที่ปลูกที่อยู่สูงกว่าและมีการท่วมน้อยกว่า ใช้เวลาในการศึกษาเป็นเวลา 1 ปี

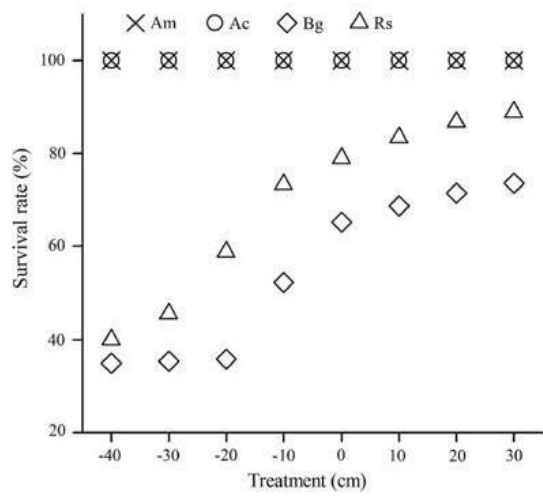


รูปที่ 2.20 พื้นที่ศึกษาที่อ่าวยี่งอ ประเทศจีน (He et al., 2007)

ผลการศึกษาพบว่า ต้นแสมทะเลและต้นเล็บบี๋มีอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงได้ดีเมื่อปลูกในพื้นที่ที่มีค่าระดับติดลบหรือในพื้นที่ต่ำ ส่วนต้นโกงกางทะเลและพังกาหัวสุมดอกแดงมีอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงได้ดีเมื่อปลูกในพื้นที่ที่มีค่าระดับเป็นบวกหรือในพื้นที่สูง (รูปที่ 2.21) ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการรอดตาย คือ ต้นแสมทะเลและต้นเล็บบี๋มีอัตราการรอดตาย 100% ในทุกค่าระดับ ส่วนต้นโกงกางทะเลและต้นพังกาหัวสุมดอกแดงจะมีอัตราการรอดตายสูงขึ้นเมื่ออยู่ในพื้นที่สูง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทนน้ำท่วมของต้นไม้ป่าชายเลนทั้ง 4 ชนิด โดยผู้วิจัยสรุปผลความสามารถในการทนน้ำท่วมออกมาดังนี้ ต้นแสมทะเลมีความสามารถทนน้ำท่วมได้ดีที่สุด รองลงมา คือ ต้นเล็บบี๋มีอนาง โกงกางทะเล และพังกาหัวสุมดอกแดง ตามลำดับ (รูปที่ 2.22)



รูปที่ 2-21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับต่อความสูงของต้นไม้ทั้ง 4 ชนิด (He et al., 2007)



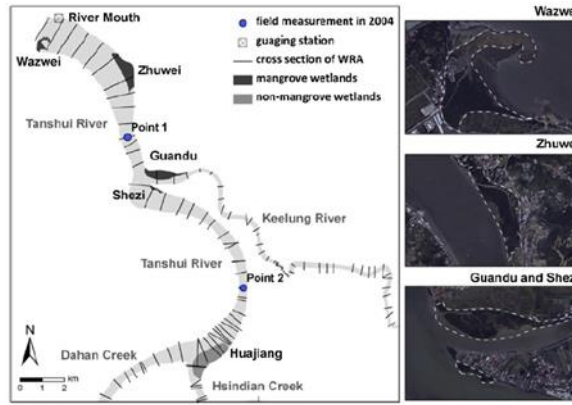
รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ของระดับพื้นที่ต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นไม้ทั้ง 4 ชนิด

(He et al., 2007)

Adam and Human (2016) ได้ศึกษาการตอบสนองของต้นไม้ป่าชายเลนในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันบริเวณทะเลสาบเซนต์ลูเชีย (Lake St. Lucia.) ในสาธารณรัฐแอฟริกาใต้ ซึ่งผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลในภาคสนามโดยวัดจำนวนต้นไม้ และลักษณะของตะกอนจำนวน 4 ตำแหน่งในปี ค.ศ. 2010, 2013 และ 2014 ตำแหน่งที่ 1 พื้นด้านหลังที่เชื่อมต่อระหว่างแม่น้ำมโฟลิซี (Mfolizi River) กับทะเลสาบเซนต์ลูเชีย และถูกเลือกให้เป็นตัวแทนของพื้นที่น้ำท่วมในปี ค.ศ. 2010 ตำแหน่งที่ 2 ที่อ่าวชาร์ก (Shark Bay) ลักษณะพื้นที่เป็นดินที่มีน้ำจืดท่วมขังลักษณะของตะกอนมีความเค็มต่ำมาก ตำแหน่งที่ 3 เป็นพื้นที่ที่มีต้นแสมทะเล (*Avicennia marina*) เจริญเติบโตบริเวณมุมของทางน้ำไหลที่โค้งฮันนีมูน (Honeymoon Bend) ในปี ค.ศ. 2013 และในปี ค.ศ. 2014 ระดับน้ำสูงส่งผลให้ต้นไม้ในพื้นที่น้ำจืดอย่างถาวร และตายในที่สุด ตำแหน่งที่ 4 เป็นพื้นที่แคบ และเป็นตัวแทนของพื้นที่แห้งแล้งในปี ค.ศ. 2010 ซึ่งทั้ง 4 ตำแหน่งต้นแสมทะเลเป็นตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน ยกเว้นพื้นที่ 2 มีต้นพังกาหัวสุมดอกแดง (*Btuguiera gymnoriza*) ในพื้นที่ด้วย

ผลการสำรวจภาคสนามแสดงให้เห็นว่าอนุภาคของตะกอนมีการผันผวนมากกว่าดินเหนียว และทราย โดยมีสาเหตุมาจากความชื้น และน้ำในแม่น้ำมโฟลิซีที่เคลื่อนตัวมายังในพื้นที่ส่งผลให้ค่าความชื้นในดิน ค่าสารอินทรีย์ และระดับน้ำนั้นเพิ่มสูงขึ้น จากผลที่ระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นผนวกกับฝนที่ตกอย่างรุนแรงในปี ค.ศ. 2014 ทำให้ระดับน้ำท่วมต้นไม้อย่างถาวรและส่งผลให้ต้นไม้ตายในที่สุด การศึกษานี้พบว่าต้นแสมทะเลสามารถทนค่าความเค็มที่ 5 ถึง 35 ppt ได้ นอกจากนี้จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของระบบนิเวศน์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 ถึง 2014 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแต่ละพื้นที่ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลนอย่างแน่นอนไม่ว่าจะเป็นความชื้น ปริมาณสารอินทรีย์ ความเค็ม และระดับน้ำ

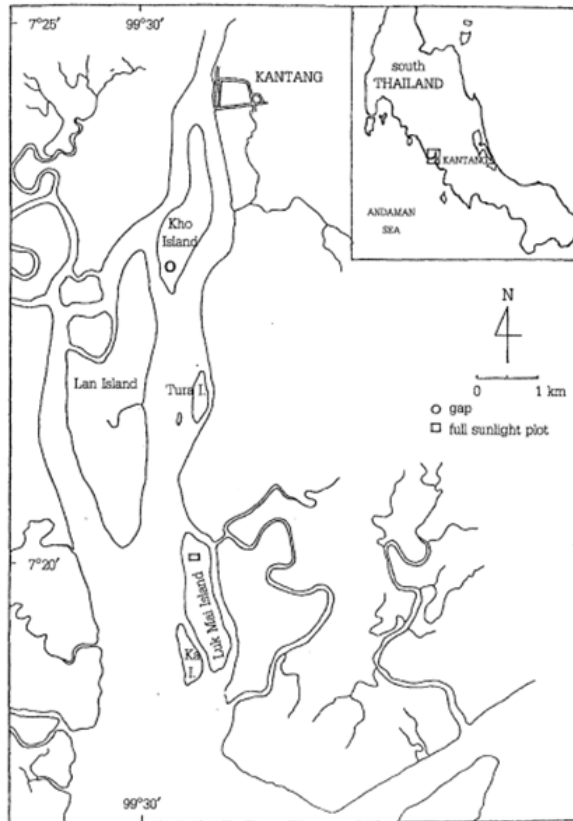
Yang et al. (2013) ได้ศึกษาอิทธิพลของการท่วมและความเค็มของป่าชายเลน ที่แม่น้ำทันซุย (Tanshui River) ทางตอนเหนือของประเทศไต้หวัน ผู้วิจัยได้ศึกษาพื้นที่ป่าชายเลน 4 แห่ง คือ วาจเวย์ (Wazwei) จูเวย์ (Zhuwei) กวานตู (Guandu) และ ฉะเจี (Shezi) (รูปที่ 2.23) ที่มีต้นไม้ป่าชายเลนเพียงชนิดเดียว คือ คานเดเลีย ออโบวาทา (*Kandelia obovata*) ใกล้เคียงแม่น้ำทันซุยในปี ค.ศ. 2009 ที่มีค่าระดับความเค็ม และระยะเวลาในการท่วมแตกต่างกันเนื่องจากพื้นที่ศึกษามีค่าระดับที่แตกต่างกันโดยพื้นที่บริเวณวาจเวย์อยู่ระดับพื้นที่สูงสุดรองลงมาคือ จูเวย์ กวานตู และฉะเจี ตามลำดับ ทำการศึกษาด้วยแบบจำลอง เพื่อคำนวณความถี่ของการท่วม และค่าความเค็มในแต่ละพื้นที่ศึกษาล่วงหน้าในปี ค.ศ. 2100



รูปที่ 2.23 พื้นที่ป่าชายเลน 4 แห่งบริเวณแม่น้ำทั้นซุย (Yang et al, 2013)

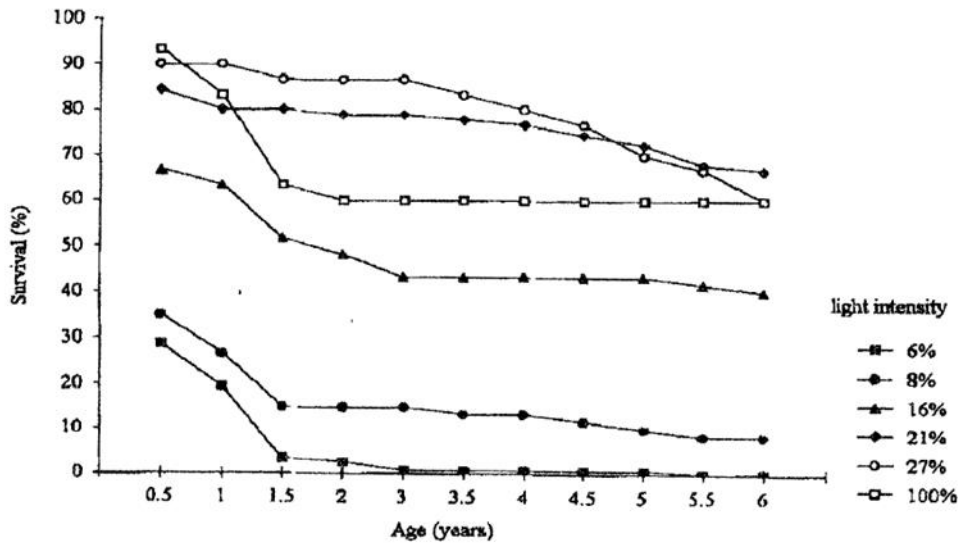
ผลการศึกษาพบว่า ต้นคานเดเลีย ออโบวาตา (*Kandelia obovata*) ที่ถูกน้ำท่วม 0.08 ถึง 0.531, 0.44 ถึง 6.00, 0.90 ถึง 9.60 และ 1.38 ถึง 9.18 ชั่วโมงต่อวัน และมีค่าเฉลี่ยความเค็มอยู่ที่ 28.57, 21.30, 11.98 และ 10.01 ppt มีการเจริญเติบโต 0.35% ถึง 22.11%, 1.82% ถึง 24.99%, 3.75% ถึง 39.99%, และ 5.73% ถึง 38.25% ที่วางเว่ย จูเว่ย กวานตู และ เฉอจี ตามลำดับ จากการศึกษาแสดงให้เห็นค่าความเค็มมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ถูกน้ำท่วม และระยะเวลาในการท่วมมีความสัมพันธ์กับค่าระดับในแต่ละพื้นที่โดยบริเวณใดที่ถูกน้ำท่วมซึ่งเป็นเวลานานจะส่งผลให้ค่าความเค็มลด นอกจากนี้เมื่อค่าความเค็มลดลงต้นคานเดเลีย ออโบวาตา มีการเจริญเติบโตมากขึ้น

สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน, ธนิตย์ หนุ่ยยิ้ม และ โชวโซ นากามูระ (2540) ได้ศึกษาอัตราการรอดตายและการเจริญเติบโตของโกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) และโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) ที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน ทำการศึกษาโดยใช้แปลงขนาด 2.0 × 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 (รูปที่ 2.24) ผู้วิจัยทำการศึกษาโดยการวัดความสูง ซึ่งนำหน้ากวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter at breast height, DBH) และสำรวจอัตราการรอดตายในแต่ละความเข้มแสงเป็นเวลา 6 ปี



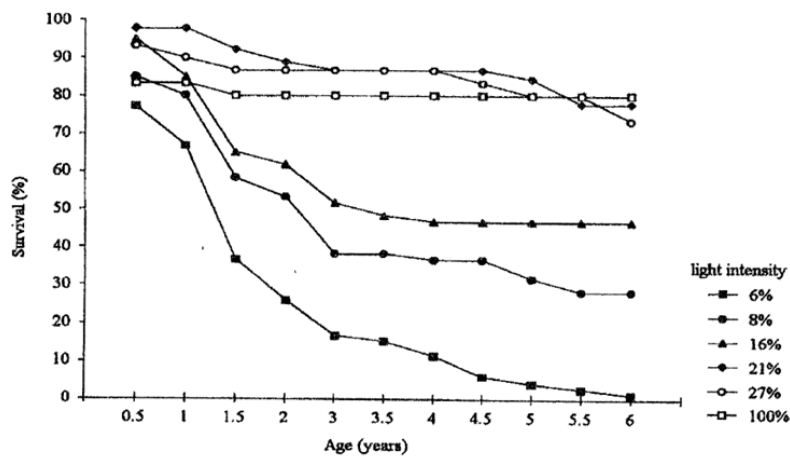
รูปที่ 2.24 พื้นที่ศึกษาอัตราการรอดตาย และการเจริญเติบโตต้นโกงกางใบเล็ก และโกงกางใบใหญ่ที่มีความเข้มแสงต่างกัน (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และคณะ, 2540)

จากการศึกษาผู้วิจัยพบว่าต้นโกงกางใบเล็กที่ปลูกในช่องว่างมีอัตราการรอดตายสูงที่สุด (>70%) ที่มีความเข้มแสง 21% ถึง 27% ขณะที่แปลงปลูกใต้เรือนยอดที่มีความเข้มแสง 5 ถึง 8% มีอัตราการรอดตายน้อยกว่า 15% เมื่ออายุ 2 ปี และแปลงกลางแจ้งที่มีความเข้มแสง 100% มีอัตราการรอดตายคงที่ที่ (60%) ตั้งแต่อายุ 2 ถึง 6 ปี (รูปที่ 2.25) ในส่วนของความสูงพบว่าโกงกางใบเล็กที่ปลูกในช่องว่างที่มีความเข้มแสง 27% เจริญเติบโตด้านความสูงได้ดีที่สุดในสามปีแรก และตั้งแต่อายุ 4-6 ปี แปลงที่ปลูกกลางแจ้งเติบโตด้านความสูงดีที่สุด ด้านเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และมวลชีวภาพพบว่า ที่ความเข้มแสงมากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และมวลชีวภาพจะมากตามไปด้วย



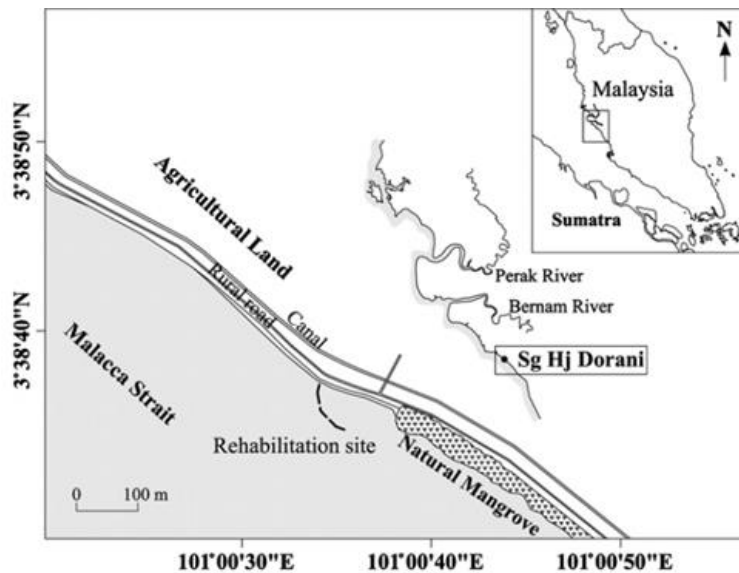
รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นโกงกางใบเล็กที่มี
ความเข้มแสงต่างกัน (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และคณะ, 2540)

การศึกษานี้ผู้วิจัยพบว่าต้นโกงกางใบใหญ่พบว่าแปลงปลูกในช่องว่างที่มีความเข้มแสง 21% และ 27% มีอัตราการรอดตายสูงสุดมากกว่า 80% ในช่วยอายุ 1 ถึง 5 ปี แปลงที่ปลูกใต้เรือนยอดจะมีอัตราการรอดตาย 67% ถึง 80% ในช่วง 1 ปีแรกและลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ว่าปี 2 เป็นต้นไป ขณะที่ความเข้มแสง 100% มีอัตราการรอดตาย 80% ตั้งแต่อายุ 2 ปี (รูปที่ 2.26) ด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง และมวลชีวภาพพบว่า เมื่อความเข้มแสงมาก ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และมวลชีวภาพจะมากตามไปด้วย



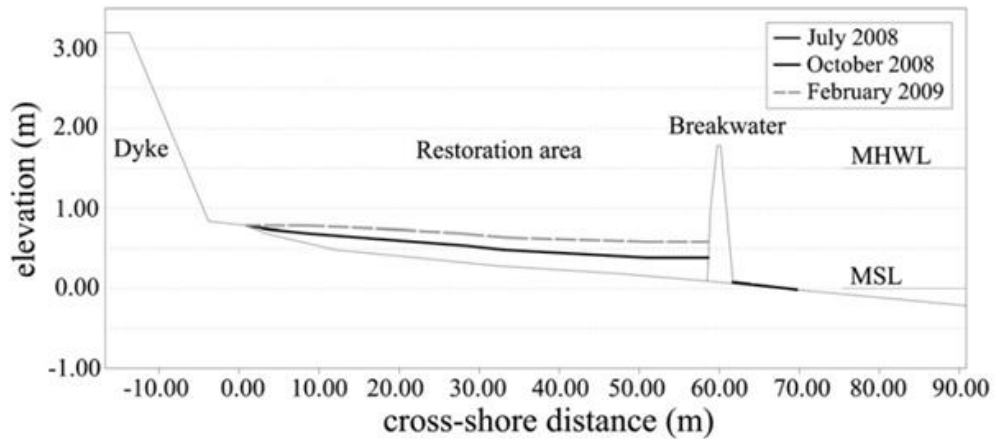
รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นโกงกางใบใหญ่ที่มีความเข้มแสง
ต่างกัน (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และคณะ, 2540)

Hashim, Kamali, Tamin and Zakari (2010) ได้ศึกษาวิธีในการฟื้นฟูป่าชายเลน และชายฝั่งทะเลที่เกิดการกัดเซาะโดยใช้โครงสร้างป้องกันคลื่น ผู้วิจัยทำการศึกษาที่ซันไก ฮาจิ โดรานิ (Sg Hj Dorani) ตอนเหนือของกรุงกัวลาลัมเปอร์ (Kuala Lumpur) อยู่ทางตะวันตกของคาบสมุทรมลายู ดังแสดงในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 พื้นที่ศึกษานชายฝั่งตะวันตกของคาบสมุทรมลายู (Hashim et al., 2010)

ผู้วิจัยได้เพาะชำต้นกล้าป่าชายเลนเป็นเวลา 6 เดือนในเรือนเพาะชำจากนั้นนำมาปลูกในพื้นที่ที่มีการสร้างเขื่อนกันคลื่นนอกฝั่งเพื่อลดพลังงานของคลื่นที่จะเข้าไปปะทะต้นกล้าป่าชายเลน และเพิ่มการสะสมของตะกอนในพื้นที่ จากการศึกษหลังจากการปลูกป่าชายเลนด้านหลังเขื่อนกันคลื่นนอกฝั่งเป็นเวลา 8 เดือน พบว่า พื้นที่บริเวณศึกษามีการสะสมตัวของตะกอนมากขึ้นจากการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นนอกฝั่ง (รูปที่ 2.28) แต่จำนวนต้นกล้าป่าชายเลนที่รอดตายมีประมาณ 30% ซึ่งมีสาเหตุมาจากการย้ายที่การปลูกจากเรือนเพาะชำมาเป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน เช่น แสงแดด ดิน ความเค็ม สารอาหารในดิน คลื่น และการท่วมของน้ำ



รูปที่ 2.28 การเพิ่มขึ้นของตะกอนหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นนอกฝั่งตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2551 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552

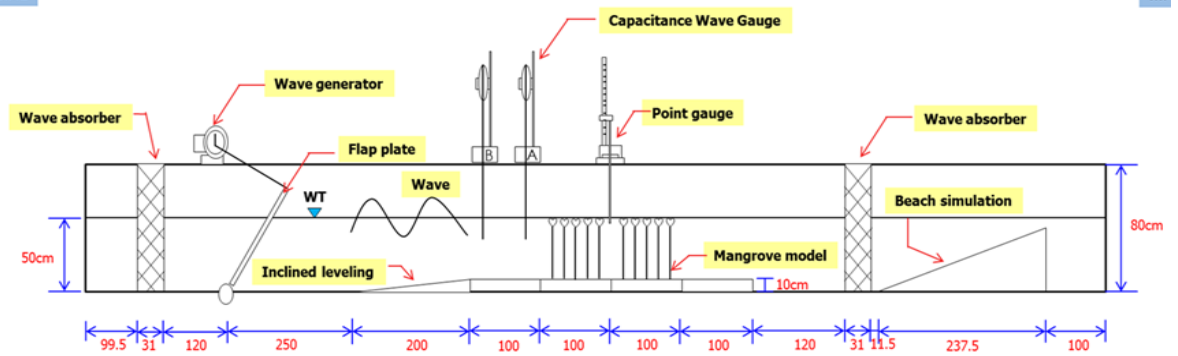
กมลพล ชัยนหา (2560) ทำการทดลองและศึกษาในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์เกี่ยวกับผลกระทบของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกป่าชายเลน ต้นไม้ที่ใช้ในการศึกษามี 2 ชนิด คือ ต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสม ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน คือ

1) การศึกษาผลกระทบของคลื่น ทำการทดลองผลกระทบของคลื่นในรางน้ำจำลองคลื่นมีความยาว 16 เมตร หน้าตัดกว้าง 60 เซนติเมตร และ ลึก 80 เซนติเมตร ต้นกล้าป่า ชายเลนถูกนำลงไปใ้ในรางเพื่อรับแรงกระทำจากคลื่น ความสูงของระดับน้ำที่ใช้ในการทดลอง 50 เซนติเมตร คลื่นที่ใช้ในการทดลองเป็นคลื่นแบบสม่ำเสมอที่มีคาบคลื่น 1 วินาที และความสูงคลื่นแตกต่างกัน 3 ค่า คือ 7.73, 10.57 และ 12.29 เซนติเมตร ใช้เวลาในการทดลองกรณีละ 2 ชั่วโมงต่อวัน ทดลองต่อเนื่องกันเป็นเวลา 30 วัน ดังรูปที่ 2.29

2). การศึกษาผลกระทบของกระแสน้ำ ทำการทดลองในรางน้ำจำลองการไหล ขนาดเท่ากับรางน้ำจำลองคลื่น (รางจำลองคลื่นถูกเปลี่ยนเป็นรางจำลองการไหล) ต้นกล้าป่าชายเลนถูกนำลงไปใ้ในรางเพื่อรับแรงกระทำจากกระแสน้ำ ความสูงของระดับน้ำในการทดลอง 50 เซนติเมตร ความเร็วกระแสน้ำที่ใช้ในการทดลองแตกต่างกัน 3 ค่า คือ 0.11, 0.23 และ 0.37 เมตรต่อวินาที ใช้เวลาในการทดลองกรณีละ 2 ชั่วโมงต่อวัน ทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน ดังแสดงในรูปที่ 2.30

ปลาบ

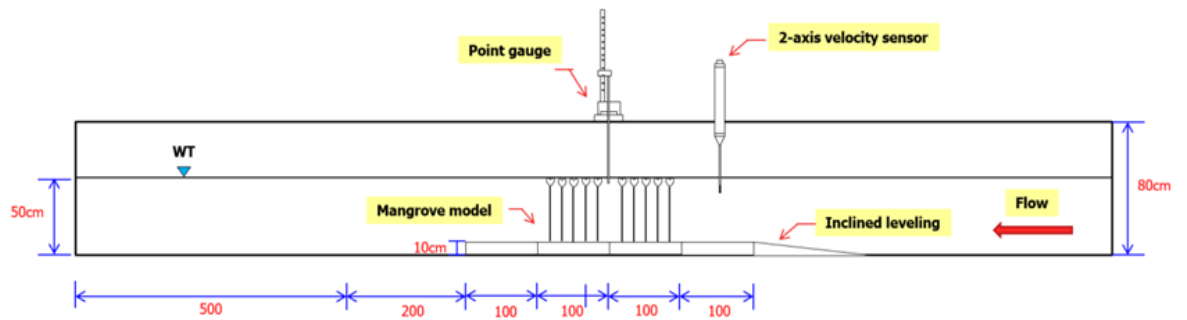
ดิน



รูปที่ 2.29 การทดลองผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน
(กมลพล ชัยนทา, 2560)

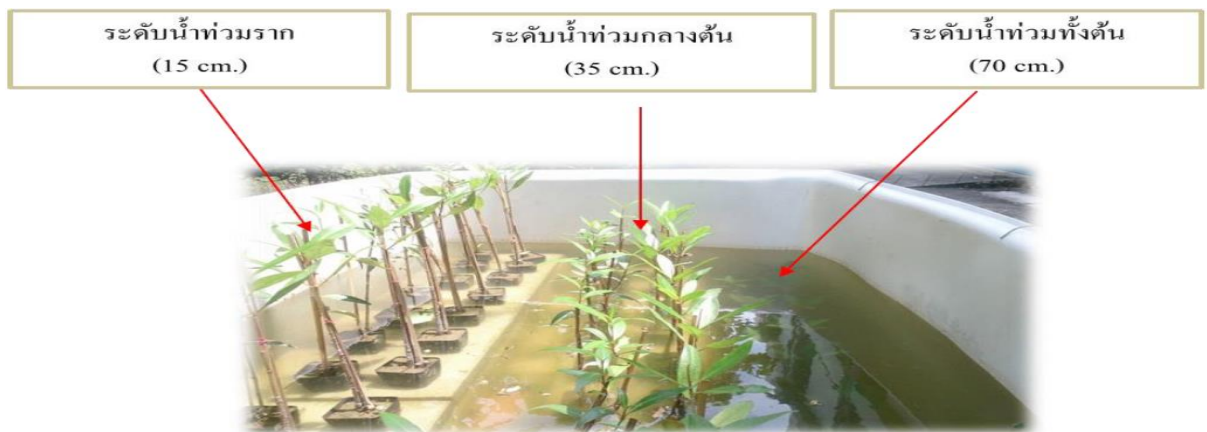
ปลาบ

ดิน



รูปที่ 2.30 การทดลองผลกระทบของกระแสน้ำต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน
(กมลพล ชัยนทา, 2560)

3) การศึกษาผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น ทำการทดลองในกระบะพลาสติกสี่เหลี่ยม ลึก 107 เซนติเมตร กว้าง 116 เซนติเมตร และ ยาว 198 เซนติเมตร ภายในมีชั้นบันไดเพื่อจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนที่ระดับน้ำท่วมแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร) ระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร) และ ระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร) ทดลองโดยการจำลองน้ำขึ้น-น้ำลงด้วยการสูบน้ำเข้ากระบะทดลองให้ได้ระดับน้ำภายในกระบะทดลองที่ 70 เซนติเมตร แซ่ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง แล้วสูบน้ำออกทุกวัน ทดลองต่อเนื่องกันเป็นเวลา 60 วัน



รูปที่ 2.31 การทดลองผลกระทบของระดับน้ำต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน (กมลพล ชัยนหา, 2560)

4) การศึกษาผลกระทบของความเค็มของน้ำ ทำการทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำในกระบะพลาสติกสี่เหลี่ยม กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 85 เซนติเมตร ลึก 51 เซนติเมตร 3 กระบะ โดยการเติมน้ำเกลือที่มีค่าความเค็มต่างกัน 3 ค่า คือ 5, 25 และ 35 psu ลงในกระบะทดลองจนเต็ม จากนั้นนำต้นกล้าป่าชายเลนทั้ง 2 ชนิดมาแช่ในกระบะทดลองเป็นเวลา 4 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อครบเวลาแล้วจึงยกออกมาวางด้านนอกกระบะ ทำการทดลองต่อเนื่องกันเป็นเวลา 60 วัน ดังรูปที่ 2.32

การทดลองทั้ง 4 ส่วน ทำการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพทั้งหมด 5 ข้อมูล คือ ข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ข้อมูลความสูงของลำต้น ข้อมูลจำนวนใบ ข้อมูลน้ำหนักมวลชีวภาพ และ ข้อมูลจำนวนต้นกล้าที่ตาย



รูปที่ 2.32 การทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน
(กมลพล ขยันหา, 2560)

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า คลื่นมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าโกงกางน้อยมาก แต่คลื่นมีผลทำให้จำนวนใบของต้นกล้าโกงกางลดลง เพราะว่าต้นกล้าโกงกางมีลักษณะใบใหญ่และแข็ง จึงเกิดแรงต้านแรงกระทำเนื่องจากคลื่นมาก ส่งผลให้ใบของต้นกล้าโกงกางหลุด และคลื่นส่งผลให้ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้นตามความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น แต่คลื่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพความสูงของลำต้นและน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าแสมน้อยมาก นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมสามารถทนผลกระทบเนื่องจากคลื่นได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกาง

กรณีของผลกระทบเนื่องจากกระแสน้ำ พบว่า กระแสน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น และน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางน้อยมาก ส่วนการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของจำนวนใบคงเหลือ พบว่า ที่ความเร็วกระแสน้ำที่ 0.37 เมตรต่อวินาที มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงจำนวนใบคงเหลือของ ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางลดลงอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าโกงกางสามารถทนผลกระทบเนื่องจากความเร็วกระแสน้ำได้ดีกว่าต้นกล้าแสม เพราะว่าต้นกล้าโกงกางมีลำต้นขนาดใหญ่ทำให้ต้านแรงกระทำตลอดแนวหน้าตัดจากกระแสน้ำได้ดีกว่าต้นกล้าแสมที่มีลำต้นขนาดเล็ก

กรณีระดับน้ำ พบว่า ระดับน้ำท่วมต้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้า แสมและต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน โดยที่ระดับน้ำท่วมทั้งต้นส่งผลให้ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของความเสี่ยงเพิ่มขึ้นมากที่สุด แต่ว่าทำให้การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลงมากที่สุดเช่นกัน อาจเป็นเพราะว่าต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง มีการปรับตัวเนื่องจากผลกระทบของระดับน้ำท่วมทั้งต้น ส่งผลให้ต้นกล้าทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงขนาดความสูงของลำต้นก่อนการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของจำนวนใบคงเหลือและน้ำหนักมวลชีวภาพของทั้งต้นกล้าทั้งสองชนิด นอกจากนี้ยังพบว่า ต้นกล้าแสม และต้นกล้าโกงกางมีการเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูง (กรณีระดับน้ำท่วมรากและท่วมกลางต้น) มากกว่าพื้นที่ต่ำ (กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น)

ในกรณีผลกระทบของความเค็มของน้ำ พบว่า ความเค็มของน้ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูงของลำต้น และน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าโกงกาง แต่ว่าความเค็มของน้ำมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน เพราะว่าความเค็มของน้ำที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ใบของ ต้นกล้าโกงกางขับเกลือออกเพิ่มขึ้น เมื่อต้นกล้าโกงกางขับเกลือออกทางใบถึงจุดหนึ่ง ใบของ ต้นกล้าโกงกางจะเริ่มเปลี่ยนสีและหลุดออก ส่งผลให้จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าโกงกางลดลงตามความเค็มของน้ำที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของต้นกล้าแสม พบว่าความเค็มของน้ำมีผล ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าแสมอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ค่าความเค็มของน้ำมากทำให้การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและความสูง ของลำต้นของต้นกล้าแสมลดลง แต่ว่าความเค็มของน้ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของจำนวนใบและน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าแสม นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่าต้นกล้าโกงกางมีความสามารถทนผลกระทบจากความเค็มของน้ำ ได้ดีกว่าต้นกล้าแสม

จากการทบทวนงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทราบว่าต้นไม้ป่าชายเลนมีบทบาทสำคัญในการช่วยในการลดทอนคลื่น โดยความสามารถในการลดทอนคลื่นหรือการสลายพลังงานของคลื่นนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของราก ความหนาแน่นต้นไม้ อายุต้นไม้ ความสูงต้นไม้ ความกว้างของพื้นที่ป่าชายเลน ความยาวของพื้นที่ป่าชายเลน และการจัดเรียงตัวของป่าชายเลน ล้วนมีผลต่อการลดทอนคลื่นหรือการสลายพลังงานของคลื่นทั้งสิ้น แต่ปัจจุบันพื้นที่ป่าชายเลนมีการลดลง ซึ่งสาเหตุการลดลงจากการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า สาเหตุมาจากปัจจัยในเรื่องของการเพิ่มขึ้นของน้ำทะเลที่ส่งผลให้ต้นไม้ป่าชายเลนนั้นมีการ

จมน้ำท่วมและระยะเวลาในการท่วมมากขึ้น เป็นผลให้ต้นไม้ป่าชายเลนตายในที่สุด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยในเรื่องของความเค็มและแสงที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตหรือการอยู่รอดของต้นไม้ป่าชายเลนอีกด้วย ผู้วิจัยได้นำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยในส่วนของระดับน้ำที่พบว่า ระดับน้ำท่วมต้นมีผลต่อการเจริญเติบโตและการตายของต้นไม้ป่าชายเลนมากที่สุด มาใช้ในการออกแบบการทดลองในการศึกษาปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ที่มีผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ไม่ว่าจะเป็นเรื่องคลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำ และความเค็มของน้ำที่ผู้วิจัยสนใจ โดยมีการกำหนดระดับน้ำในการทดลองในทุกเรื่องเป็นที่ระดับน้ำท่วมต้นทั้งหมดเพื่อให้เห็นผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนในการศึกษาชัดเจนมากที่สุด

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากาสนามเกี่ยวกับผลกระทบของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ต่อการรอดตายของต้นกล้าป่าชายเลน ซึ่งผู้ศึกษาได้ค้นคว้าเพื่อกำหนดเป้าหมายในการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่สนใจศึกษาที่มีผลต่อการรอดตายของต้นไม้ป่าชายเลน ซึ่งเป็นผลมาจากคลื่น กระแสน้ำ กระแสลม และระดับน้ำ พร้อมทั้งศึกษาจากพื้นที่จริง

3.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณสะพานเลียบชายทะเลเมืองชลบุรี ตั้งอยู่ทางชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทยมีแนวถนนอยู่ในบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวชลบุรี ซึ่งด้านหลังสะพานเลียบชายทะเลมีต้นไม้ป่าชายเลนถูกปลูกพอสมควร ชายฝั่งทะเลนี้ความยาวประมาณ 80 กิโลเมตร วางตัวในแนวทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งแม่น้ำบางปะกงจะไหลออกทะเลทางทิศเหนือ จึงทำให้อ่าวบริเวณนี้มีการทับถมของโคลนที่ถูกพัดพามาจากแม่น้ำ ชายหาดมีลักษณะเป็นเลนค่อนข้างตื้น ความลาดชันของพื้นที่องทะเลมีน้อย น้ำทะเลบริเวณนี้มีลักษณะเป็นแบบผสม ระดับน้ำเฉลี่ยสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายนถึงมกราคม แต่ระดับน้ำเฉลี่ยต่ำสุดจะเกิดขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม ส่วนในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะมีอิทธิพลต่อคลื่นในอ่าวไทยทำให้คลื่นมีกำลังแรงมาก โดยบริเวณดังกล่าว มีสภาพเปิดโล่ง ติดทะเล ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.2 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนในการศึกษาวิจัยมีดังต่อไปนี้

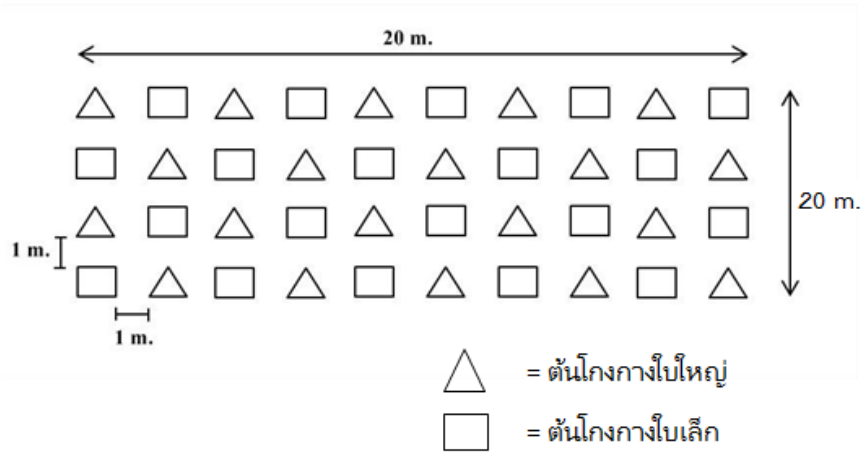
1) รวบรวมข้อมูลของพื้นที่ศึกษา เช่น ข้อมูลที่ตั้ง ลักษณะภูมิอากาศ ลักษณะภูมิประเทศ และข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลง เป็นต้น รวมทั้งศึกษางานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 3.1 พื้นที่ศึกษาระเบียงสะพานเลียบชายทะเล จังหวัดชลบุรี

2) วางแปลงทดลอง โดยวางแนวแบบระยะการปลูกห่าง 1 x 1 เมตร จำนวนต้นไม้ป่าชายเลน ประมาณ 240 ต้น (รูปที่ 3.2) หลังนำต้นกล้าลงปลูก ทางผู้วิจัยทำการผูกลำต้นต้นกล้าติดกับหลักไม้ที่เตรียมไว้เพื่อป้องกันการพัดพาโดยกระแสน้ำหรือคลื่นก่อนที่รากพืชเติบโตยึดดินเลนและไม้ให้ลำต้นเกิดการงอหรือหัก จากนั้นจะทำการนับจำนวนใบ วัดขนาดลำต้นและความสูงของต้นกล้าเพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลหลังการปลูก

3) การติดตั้งสถานีตรวจวัดคลื่น และกระแสน้ำ (รูปที่ 3.3) เพื่อทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2561 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 โดยจะติดตั้งเครื่องมือวัดคลื่น 2 ตัว วัดกระแสน้ำ 1 ตัว ในบริเวณพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลตัวอย่างทุกวันในระยะเวลา 2 เดือน



รูปที่ 3.2 แปลงการทดลอง

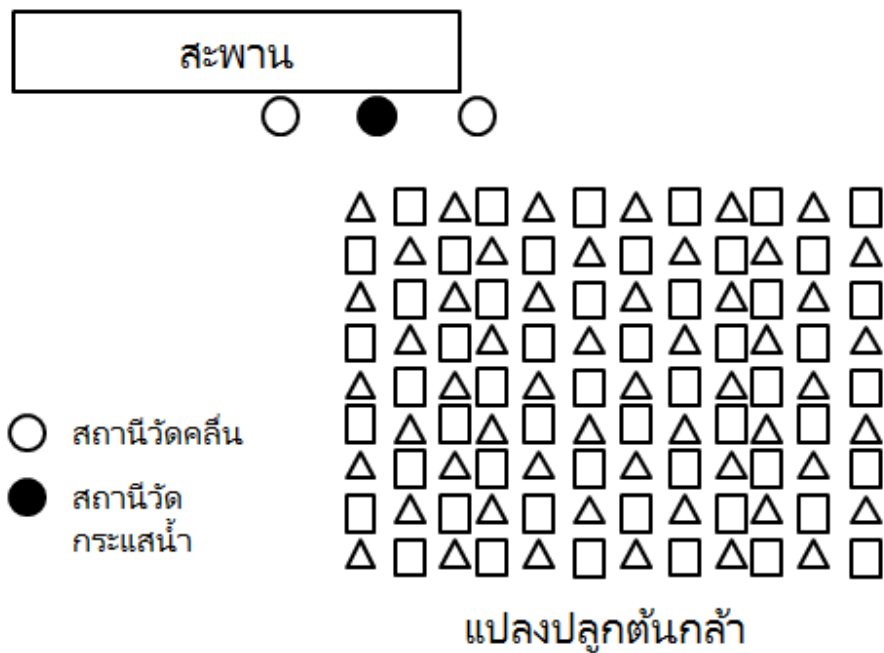


เครื่องวัดกระแสน้ำ



เครื่องวัดคลื่น

รูปที่ 3.3 เครื่องวัดคลื่นและเครื่องวัดกระแสน้ำ



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดข้อมูลและแปลงทดลอง

4) การติดตามทางกายภาพหลังการปลูกต้นไม้ป่าชายเลน โดยวัดการเจริญเติบโตจากการนับจำนวนใบ และการรอดตายจากจำนวนของต้นกล้าอาทิตย์ละ 1 ครั้ง โดยวัดการเจริญเติบโตก่อนปลูกจนกระทั่งย้ายไปปลูกในพื้นที่การศึกษา ซึ่งได้แก่ ความสูง ขนาดของลำต้น และจำนวนใบ (ดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6) แล้ววัดการเจริญเติบโตอีกครั้งเมื่อสิ้นสุดการศึกษา



รูปที่ 3.5 การเก็บลักษณะของต้นกล้าป่าชายเลน ก่อนและหลังการทดลอง



รูปที่ 3.6 การเก็บลักษณะของต้นกล้าป่าชายเลนแบบต่อเนื่อง

4.1) การวัดความสูงลำต้น ใช้วิธีวัดด้วยสายวัดหรือเชือก ถ้านำเชือกมาวัดแล้วหลังจากนั้นค่อยนำเชือกไปเทียบกับสายวัดเพื่ออ่านค่าความยาว โดยวัดความสูงจากโคนต้นกล้า บริเวณที่ไหล่พื้นพื้นดินจนถึงปลายยอดสุดท้าย

4.2) การวัดขนาดของลำต้น ใช้วิธีเดียวกันกับการวัดความสูงลำต้น แต่การวัดขนาดลำต้นต้องระบุตำแหน่งก่อนและวัดตำแหน่งเดียวกันทุกครั้ง การอ่านสเกลหลักในระดับเซนติเมตรก่อน แล้วจึงค่อยอ่านให้ละเอียดในระดับมิลลิเมตร

4.3) การนับจำนวนใบ โดยทำการนับจากจำนวนใบทั้งหมดที่ปรากฏบนต้นกล้าไม้แต่ละต้น บันทึกจำนวนใบทั้งหมด และสังเกตลักษณะใบ

5) การวิเคราะห์และประเมินผล โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์อัตราการรอดตายและการเปลี่ยนแปลงของต้นไม้ป่าชายเลน ได้แก่ ความสูง จำนวนใบ และขนาดของลำต้น ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ ดังต่อไปนี้

5.1) การหาค่าเฉลี่ยทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกล้าป่าชายเลนที่ปลูกในแปลงทดลอง ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3-1)

$$\bar{\phi}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N \phi(t)_i}{N} \quad (3-1)$$

เมื่อ $\bar{\phi}(t)$ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของลำต้น (เซนติเมตร)
 $\sum \phi$ คือ ผลรวมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น (เซนติเมตร)
 N คือ จำนวนต้นกล้าทั้งหมด (ต้น)

5.2) การหาค่าเฉลี่ยทางความสูงของต้นกล้าป่าชายเลนที่ปลูกในแปลงทดลอง ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 3-2

$$h(t)_{\text{avg}} = \frac{\sum_{i=1}^N h(t)_i}{N} \quad (3-2)$$

เมื่อ $h(t)_{\text{avg}}$ คือ ความสูงเฉลี่ยของลำต้น (เซนติเมตร)
 $\sum h(t)$ คือ ผลรวมของความสูงลำต้น (เซนติเมตร)
 N คือ จำนวนต้นกล้าทั้งหมด (ต้น)

5.3) การหาค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มการทดลองจนกระทั่งจบการทดลอง จากนั้นนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงด้วยสมการที่ 3-3

$$\Delta P_t = \frac{\sum_{i=1}^N \left[\frac{P(A)_i - P(B)_i}{P(B)_i} \times 100 \right]_t}{N} \quad (3-3)$$

เมื่อ ΔP_t คือ การเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพของต้นกล้า (%)
 $P(t)_B$ คือ ลักษณะทางกายภาพก่อนการทดลอง
 $P(t)_A$ คือ ลักษณะทางกายภาพหลังการทดลอง

โดยที่ i คือค่าของข้อมูลตัวที่ 1 ถึง ข้อมูลตัวที่ N

5.4) การหาจำนวนใบ (Number of Leaf, L_t) เก็บข้อมูลจำนวนใบก่อนการทดลองและหลังการทดลอง ข้อมูลจำนวนใบที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบเป็นข้อมูลจำนวนใบคงเหลือ ซึ่งหาได้จากสมการที่ 3-4

$$L_t = \frac{L_{t,A}}{L_{t,B}} \times 100 \quad (3-4)$$

เมื่อ	L_t	คือ จำนวนใบคงเหลือ (%)
	$L_{t,B}$	คือ จำนวนใบไม้ก่อนการทดลอง (ใบ)
	$L_{t,A}$	คือ จำนวนใบไม้หลังการทดลอง (ใบ)

5.5) การหาอัตราการตายของต้นกล้าป่าชายเลน (R_s) ในการเก็บข้อมูลลักษณะการตายของต้นกล้าป่าชายเลนที่เกิดขึ้น ซึ่งพิจารณาจากลักษณะภายนอกของต้นกล้า คือ ใบและลำต้น มีลักษณะเหี่ยวเฉา และเปลี่ยนสีเป็นสีดำ โดยได้ข้อมูลการตายของต้นกล้าป่าชายเลนจากการนับจำนวนต้นของต้นกล้าป่าชายเลนก่อนการทดลองและหลังการทดลอง โดยสามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์อัตราการตายของต้นกล้าป่าชายเลนได้จากสมการที่ 3-5

$$R_s = \frac{N_{R_s,B}}{N_{R_s,A}} \times 100 \quad (3-5)$$

เมื่อ	R_s	คือ อัตราการตายของต้นกล้าป่าชายเลน (%)
	$N_{R_s,B}$	คือ จำนวนต้นกล้าที่ตายก่อนการทดลอง (ต้น)
	$N_{R_s,A}$	คือ จำนวนต้นกล้าที่ตายหลังการทดลอง (ต้น)

6) การหาแรงกระทำทางกลศาสตร์ในเชิงสะสม (F_t) โดยการรวมปัจจัยทางอุทกศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบแรงกระทำที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนทางลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน คือ จำนวนใบ ความสูง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น โดยได้ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนก่อนและหลังทำการทดลอง โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณแรงกระทำ ดังสมการที่ 3-6 เมื่อสมมุติให้ต้นไม่มีรูปทรงเป็นทรงกระบอก คลื่นเป็นแรงอุทกสถิต โดยที่ด้านหลังของต้นกล้าไม้ค้ำยันถึงแรงอุทกสถิตที่เกิดจากคลื่น

$$\sum F = F_t = F_1 - F_2 - F_3 \quad (3-6)$$

เมื่อ	F_t	คือ แรงรวมทางชลศาสตร์ต่อหนึ่งหน่วยความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง (kN)
	F_1	คือ แรงอุทกสถิตยที่ด้านหน้าของต้นกล้า (kN)
	F_2	คือ แรงอุทกสถิตยที่ด้านหลังของต้นกล้า (kN)
	F_3	คือ แรงลากเนื่องจากกระแสน้ำ (kN)

โดยที่ $F_1 = \frac{1}{2} \gamma (h + H)^2 \frac{\pi D}{2}$ (3-7)

$F_2 = \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{\pi D}{2}$ (3-8)

$F_3 = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d \frac{\pi D}{2} h$ (3-9)

เมื่อ	γ	คือ น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (kN/m^3)
	ρ	คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
	h	คือ ความสูงของระดับน้ำ (m)
	H	คือ ความสูงของคลื่น (m)
	V	คือ กระแสน้ำ (m/s)
	D	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของต้นกล้าป่าชายเลน
	C_d	คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เกิดจากแรงลากจูง โดยสมมติให้ต้นกล้าเป็นรูป

ทรงกระบอกผิวเรียบ

7) การเปรียบเทียบผลกระทบของปัจจัยทางอุทกศาสตร์ ได้แก่ คลื่น ระดับน้ำ และกระแสน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน โดยการสร้างพารามิเตอร์ตัวแทนของปัจจัยอุทกศาสตร์ขึ้นมา เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่พิจารณา ซึ่งเกิดการจับกลุ่มของตัวแปรที่ส่งผลกระทบ ซึ่งมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เปอร์เซ็นต์อัตราการตายของต้นกล้า ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าความหนาแน่นของน้ำ(ρ) ความเร็วกระแสน้ำ(V) ความสูงคลื่น(H) ความสูงของต้นกล้า (h_t) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย($\phi(t)_{avg}$) และเวลา (T) ที่ต้นกล้าได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทางอุทกศาสตร์

บทที่ 4

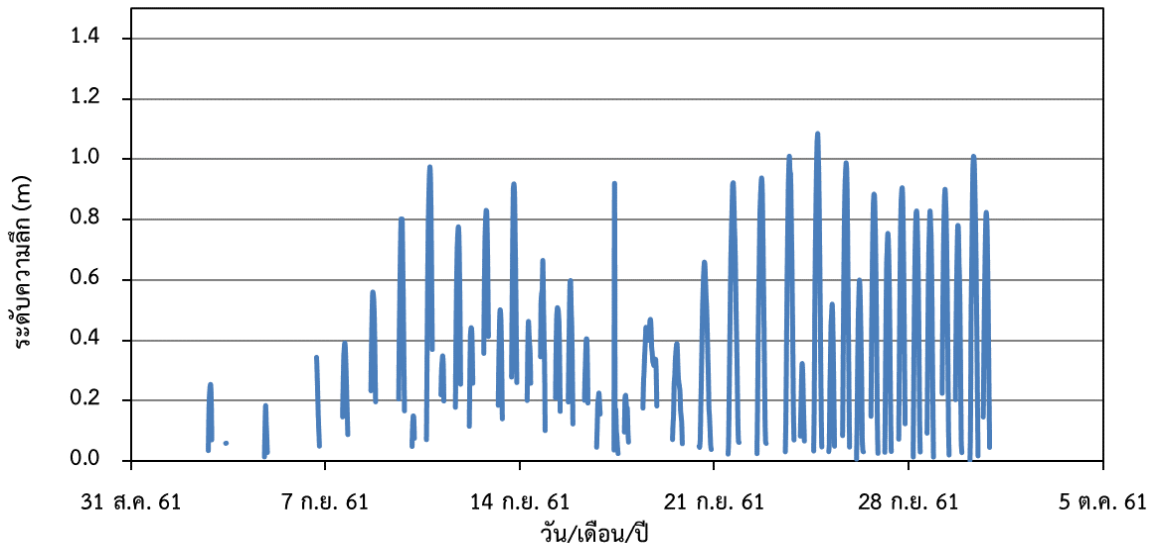
ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

บทนี้กล่าวถึงผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้ทำการศึกษาในพื้นที่เก็บข้อมูล บริเวณป่าชายเลนบริเวณสะพานเรียบชายฝั่งของจังหวัดชลบุรี จากการศึกษาและทำการทดลองเกี่ยวกับผลกระทบทางด้านชลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการรอดตายของต้นกล้าป่าชายเลนในภาคสนาม ได้นำผลการทดลองรวบรวมไว้ในบทนี้ ซึ่งแบ่งอธิบายเป็นสามส่วนคือ ส่วนแรกกล่าวถึงการรายงานผลของลักษณะทางชลศาสตร์บริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งได้แก่ ระดับน้ำ คลื่น และกระแสน้ำ ส่วนที่สองกล่าวถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ได้แก่ จำนวนใบ เส้นผ่านศูนย์กลาง อัตราการตาย ปริมาตรตัวแทน และในส่วนที่สามกล่าวถึงความสัมพันธ์ทางชลศาสตร์กับการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

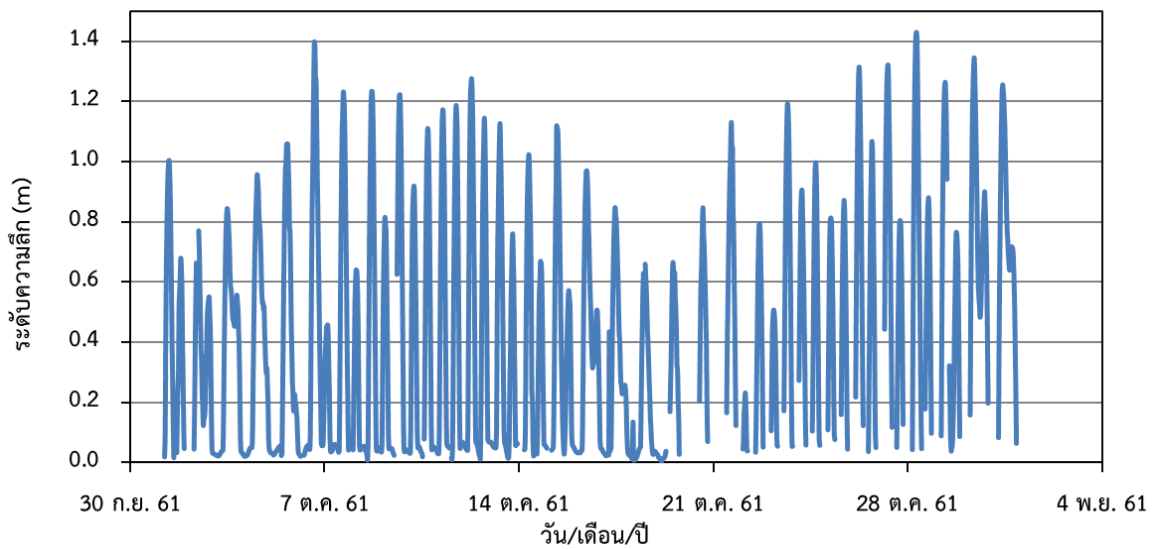
4.1 ลักษณะทางชลศาสตร์บริเวณพื้นที่ศึกษา

4.1.1 ผลการศึกษาเรื่องระดับน้ำ

ข้อมูลระดับน้ำที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ที่ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำเพื่อเก็บข้อมูล โดยเก็บข้อมูลในทุกครึ่งชั่วโมง เป็นเวลาต่อเนื่องตลอดการทดลอง โดยวางเครื่องมือวัดไว้บริเวณสะพาน ด้านหน้าแปลงการทดลองเป็นจำนวน 2 เครื่อง จากการศึกษาได้ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดเดือนกันยายนมีค่า 1.085 เมตร และ 0.002 เมตร และค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดเดือนตุลาคม มีค่า 1.430 เมตร และ 0.006 เมตร ซึ่งการทดลองทั้งหมดได้เก็บข้อมูลระดับน้ำที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา ระหว่างวัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



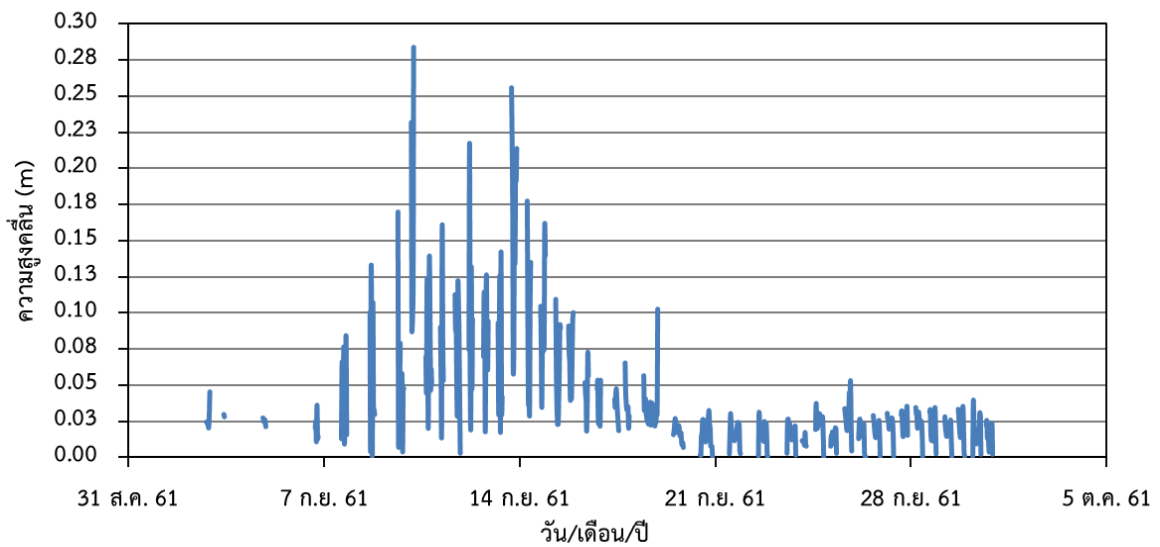
รูปที่ 4.1 ข้อมูลระดับน้ำ ระหว่างวันที่ 2 กันยายน ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2561



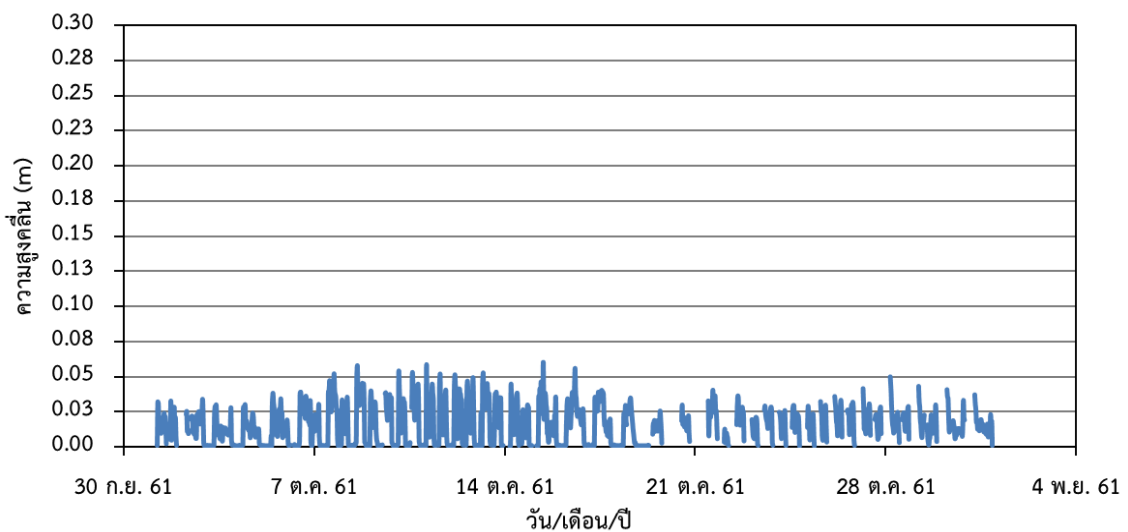
รูปที่ 4.2 ข้อมูลระดับน้ำ ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม ถึงวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2561

4.1.2 ผลการศึกษาเรื่องความสูงคลื่น

ผลการศึกษาความสูงคลื่นที่ได้มาจากการสำรวจภาคสนาม ที่ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดคลื่นเพื่อเก็บข้อมูล โดยเก็บข้อมูลในทุกครึ่งชั่วโมง เป็นเวลาต่อเนื่องตลอดการทดลอง โดยวางเครื่องมือวัดไว้บริเวณกลางสะพานด้านหน้าแปลงการทดลอง จากการเก็บข้อมูล ได้ค่าความสูงคลื่น (H_{max}) เท่ากับ 0.284 เมตร ความสูงคลื่นสูงสุด 1/10 ($H_{1/10}$) เท่ากับ 0.074 เมตร และความสูงคลื่นนัยสำคัญ ($H_{1/3}$) เท่ากับ 0.043 เมตร แสดงได้ดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4



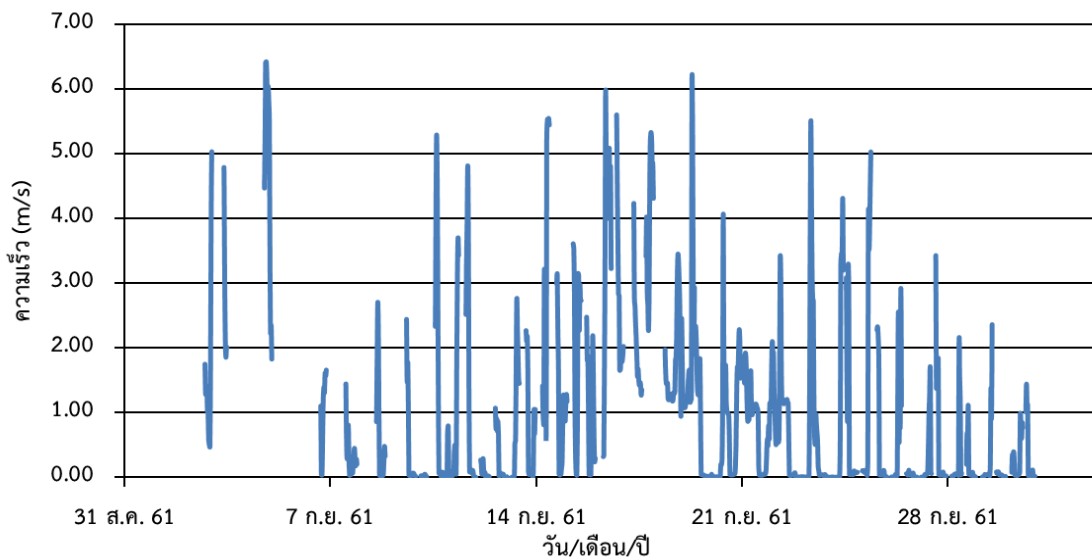
รูปที่ 4.3 ข้อมูลความสูงคลื่น ระหว่างวันที่ 2 กันยายน ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2562



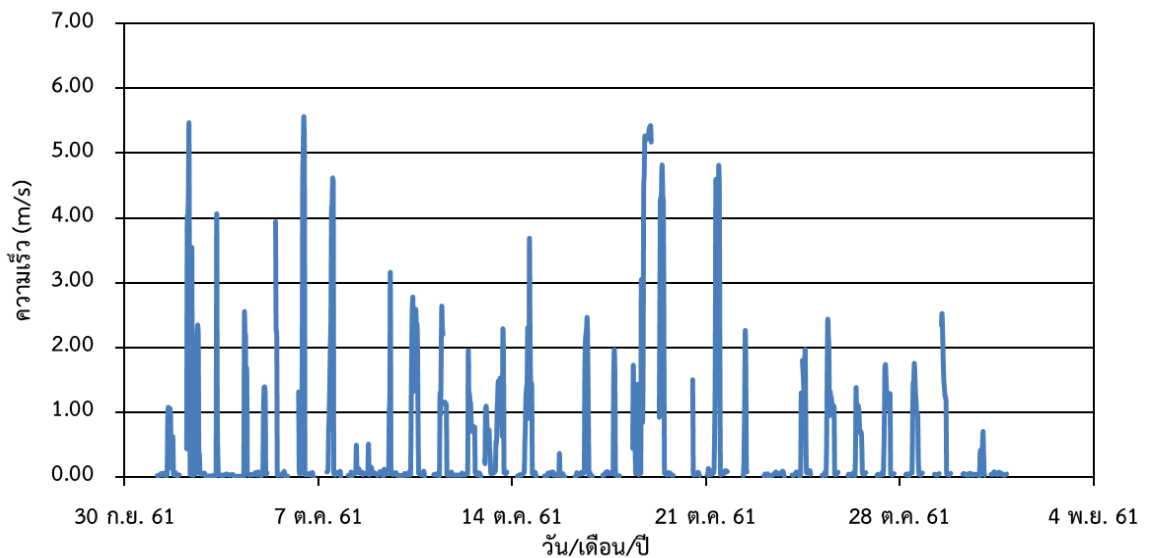
รูปที่ 4.4 ข้อมูลความสูงคลื่น ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2562

4.1.3 ผลการศึกษาเรื่องความเร็วกระแสน้ำ

ผลการศึกษาความเร็วกระแสน้ำที่ได้มาจากการสำรวจภาคสนาม ที่ได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ โดยเก็บข้อมูลในทุกครึ่งชั่วโมง เป็นเวลาต่อเนื่องตลอดการทดลอง โดยวางเครื่องมือวัดไว้บริเวณสะพานด้านหน้าแปลงการทดลอง จากการเก็บข้อมูล ได้ค่าความเร็วกระแสน้ำสูงสุดเดือนกันยายน มีค่า 6.423 m/s และค่าความเร็วกระแสน้ำสูงสุดเดือนตุลาคม มีค่า 5.569 m/s แสดงได้ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 ข้อมูลกระแสน้ำ ระหว่างวันที่ 2 กันยายน ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2561



รูปที่ 4.6 ข้อมูลกระแสน้ำ ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2561

4.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

การศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนนั้น สามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ การเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่อง และการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการศึกษา สาเหตุเนื่องมาจากไม่สามารถลงไปเก็บข้อมูลทางกายภาพ เช่น ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ได้อย่างต่อเนื่อง เพราะเป็นการรบกวนการเจริญเติบโตของต้นกล้าป่าชายเลนด้วย ต่างจากจำนวนใบและอัตราการตายที่เราสามารถเก็บข้อมูลโดยกล้องสำรวจได้จากบริเวณโดยรอบของพื้นที่ที่ทำการศึกษา

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพแบบต่อเนื่อง

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพแบบต่อเนื่อง คือ การเก็บข้อมูลของต้นกล้าป่าชายเลนแบบรายสัปดาห์ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของจำนวนใบของต้นกล้าป่าชายเลน และอัตราการตายของต้นกล้าป่าชายเลน

(1) การเปลี่ยนแปลงจำนวนใบของต้นกล้าป่าชายเลน

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงจำนวนใบของต้นกล้าป่าชายเลนนั้น แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การศึกษาแบบแยกชนิดของต้นโกงกาง และการศึกษาแบบเชิงพื้นที่ ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ดังตารางที่ 4.1 ตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละของจำนวนใบแบบแยกชนิด

ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี	วันที่	จำนวนใบคงเหลือของต้นโกก้าง			
			ใบเล็ก (ใบ)	ใบเล็ก (%)	ใบใหญ่ (ใบ)	ใบใหญ่ (%)
1	2/9/2018 0:00 น.	1	669	100	601	100
2	10/9/2018 0:00 น.	9	395	59.04	473	78.70
3	17/9/2018 0:00 น.	16	407	60.84	484	80.53
4	24/9/2018 0:00 น.	23	388	58.00	414	68.89
5	11/10/2018 0:00 น.	40	380	56.80	418	69.55
6	5/11/2018 0:00 น.	65	339	50.67	386	64.23
7	8/11/2018 0:00 น.	68	335	50.07	342	56.91
8	17/12/2018 0:00 น.	107	348	52.02	338	56.24
9	14/1/2019 0:00 น.	135	345	51.57	332	55.24
10	26/1/2019 0:00 น.	147	325	48.58	454	75.54

ตารางที่ 4.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละของจำนวนใบแบบเชิงพื้นที่

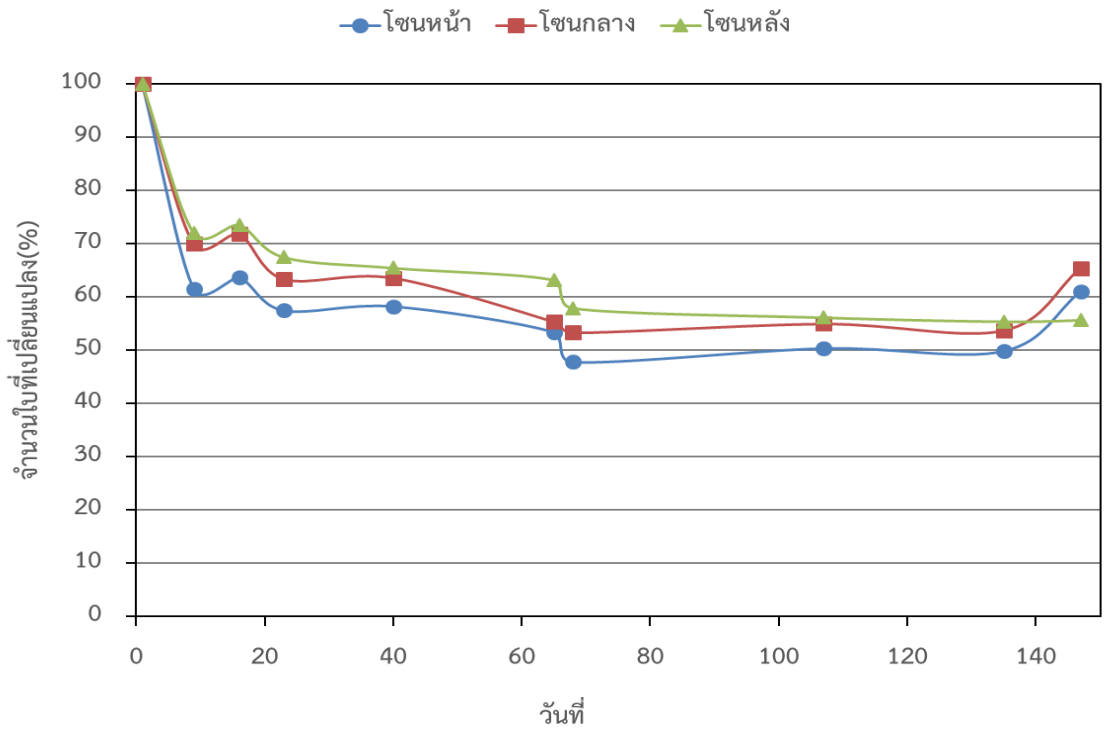
ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี	วันที่	จำนวนใบคงเหลือ(%)			
			ทั้งหมด	โซนหน้า	โซนกลาง	โซนหลัง
1	2/9/2018 0:00 น.	1	100	100	100	100
2	10/9/2018 0:00 น.	9	68	62	70	72
3	17/9/2018 0:00 น.	16	70	64	72	74
4	24/9/2018 0:00 น.	23	63	58	63	68
5	11/10/2018 0:00 น.	40	63	58	64	65
6	5/11/2018 0:00 น.	65	57	53	55	63
7	8/11/2018 0:00 น.	68	53	48	53	58
8	17/12/2018 0:00 น.	107	54	50	55	56
9	14/1/2019 0:00 น.	135	53	50	54	55
10	26/1/2019 0:00 น.	147	61	61	65	56

F1	25	67	25	75	67	100	33	38	50	13	150	100	17	100	33	67
F2	133	50	150	13	38	57	125	50	75	67	100	33	100	67	100	33
F3	67	100	0	100	57	29	50	100	67	67	33	0	0	120	0	0
F4	120	50	180	0	0	57	150	75	175	75	0	33	83	100	150	57
M1	57	100	75	100	63	0	50	100	50	150	83	50	50	33	83	100
M2	83	33	0	33	100	67	150	33	100	0	100	57	0	25	67	33
M3	25	150	25	275	33	67	57	67	67	100	38	67	0	33	100	25
M4	67	50	67	50	150	63	100	50	120	83	67	86	100	38	200	0
M5	75	0	33	150	100	100	0	100	67	100	100	100	50	67	67	50
B1	50	100	100	50	57	67	80	100	67	50	33	100	33	120	25	50
B2	100	0	133	75	33	67	40	80	0	67	60	67	50	133	67	50
B3	100	25	67	60	17	100	50	67	50	67	25	67	17	100	0	0
B4	50	50	33	33	100	25	80	29	100	22	80	38	67	25	100	67
	แถว 1	แถว 2	แถว 3	แถว 4	แถว 5	แถว 6	แถว 7	แถว 8	แถว 9	แถว 10	แถว 11	แถว 12	แถว 13	แถว 14	แถว 15	แถว 16

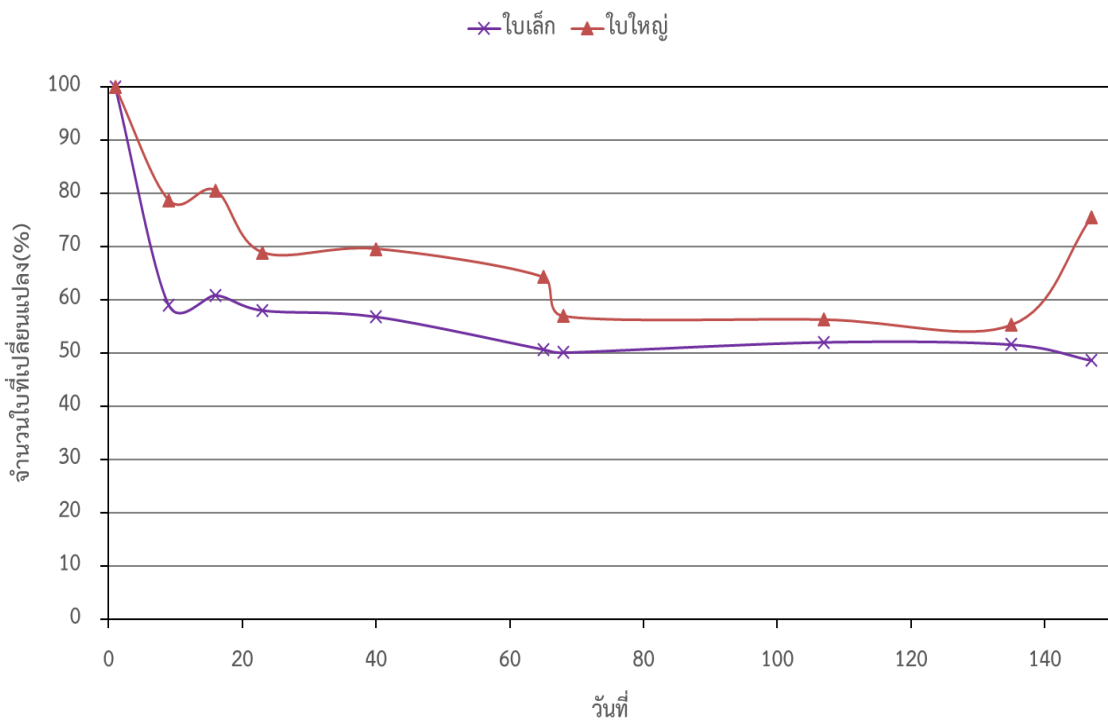
สีแสดงการเพิ่มลดจำนวนใบจากมากไปน้อย					เมื่อ
< 180 %	180% - 150%	150% - 67 %	> 67%	F =	โซนหน้า
	ตันตาย			M =	โซนกลาง
	ตันล้ม			B =	โซนหลัง
	ตันหัก				

รูปที่ 4.7 ร้อยละจำนวนใบรายสัปดาห์ของต้นกล้า

ข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 สามารถแสดงด้วยกราฟการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้ดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 4.8 ร้อยละของจำนวนใบที่เปลี่ยนแปลงไปของต้นกล้าป่าชายเลนแบบเชิงพื้นที่



รูปที่ 4.9 ร้อยละของจำนวนใบที่เปลี่ยนแปลงไปของต้นโกงกางใบเล็กและต้นโกงกางใบใหญ่

รูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงแรกหรือสัปดาห์แรกจำนวนใบมีอัตราการลดลงอย่างมาก และค่อยเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 แล้วเริ่มคงที่ โดยความเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสอดคล้องกันทั้ง 3 โซน และมีอัตราการลดของจำนวนใบในโซนด้านหน้ามากที่สุด ถัดรองลงไปคือโซนกลางและโซนหลัง ตามลำดับ

รูปที่ 4.9 พบว่าทั้งต้นโกก้างใบเล็กและต้นโกก้างใบใหญ่ มีอัตราการลดลงของจำนวนใบมากในช่วงสัปดาห์แรกแล้วเริ่มคงที่ และในสัปดาห์สุดท้ายโกก้างใบเล็กมีแนวโน้มของการลดลงของจำนวนใบที่มากขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับต้นโกก้างใบใหญ่ที่มีแนวโน้มอัตราการเพิ่มของจำนวนใบที่มากขึ้น

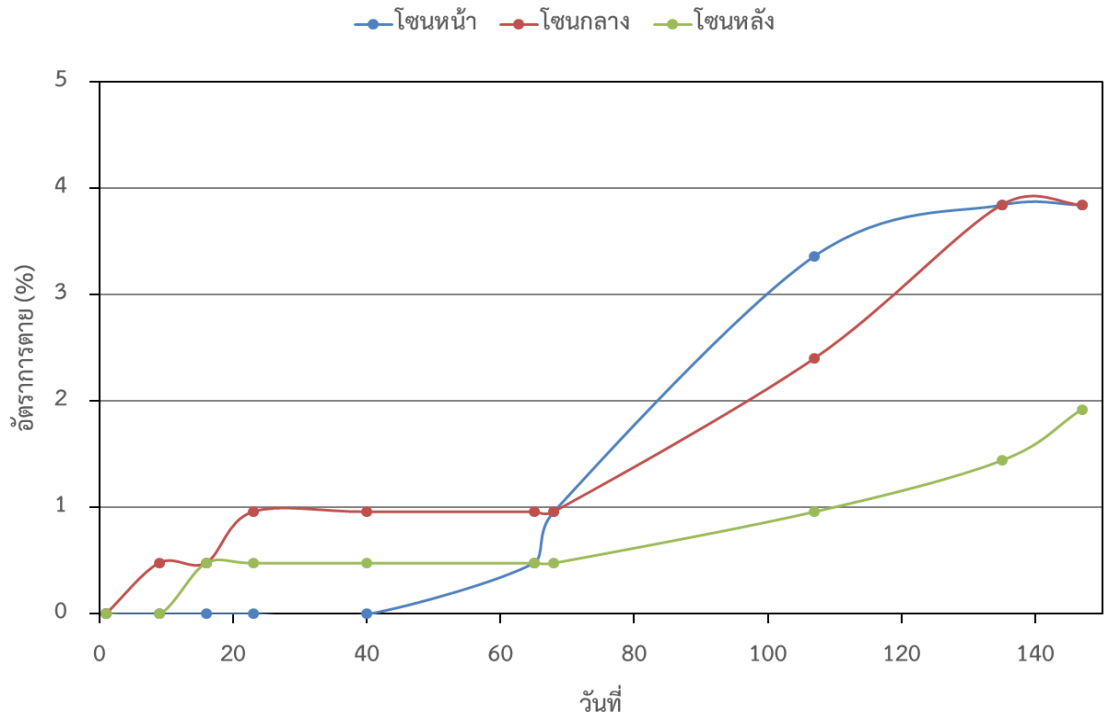
(2) อัตราการตายของต้นกล้าโกก้าง

การศึกษาอัตราการตายของต้นกล้าป่าชายเลนนั้น แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบได้แก่ การศึกษาแบบแยกชนิดของต้นโกก้าง และการศึกษาแบบเชิงพื้นที่ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

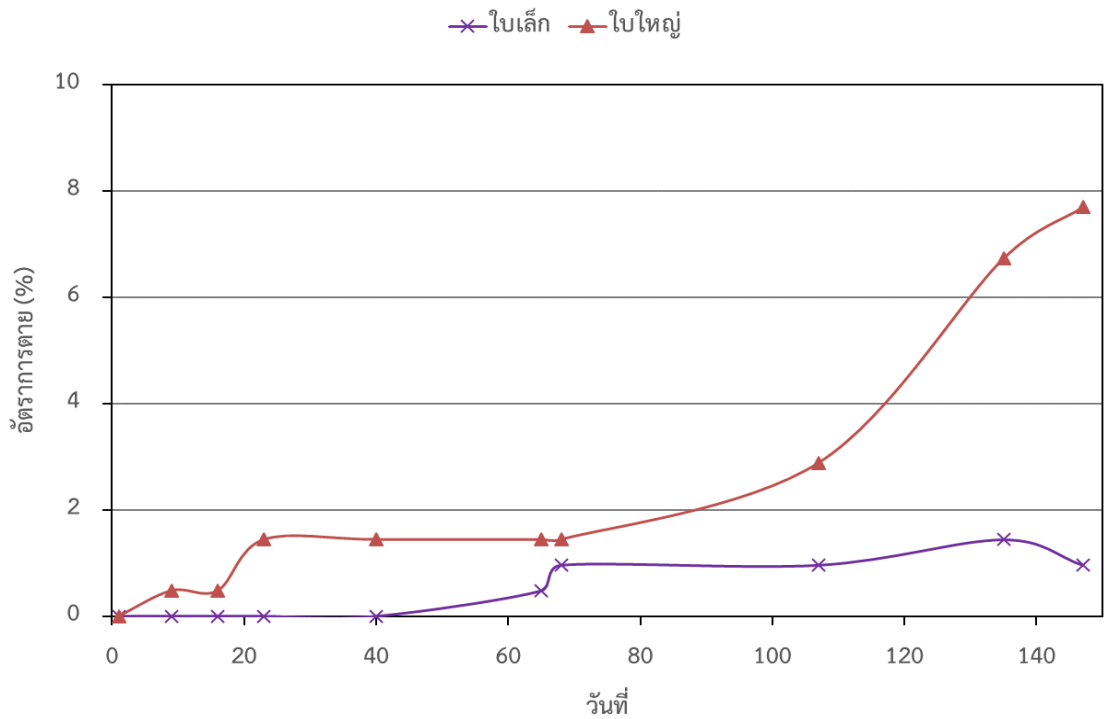
ตารางที่ 4.3 อัตราการตายของต้นกล้าป่าชายเลน

ครั้งที่	วันที่	วันที่	ต้นไม้ทั้งหมด	อัตราการตาย(%)				
				ใบเล็ก	ใบใหญ่	โซนหน้า	โซนกลาง	โซนหลัง
1	2/9/2018 0:00 น.	1	208	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	10/9/2018 0:00 น.	9	208	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0
3	17/9/2018 0:00 น.	16	208	0.0	0.5	0.0	0.5	0.5
4	24/9/2018 0:00 น.	23	208	0.0	1.4	0.0	1.0	0.5
5	11/10/2018 0:00 น.	40	208	0.0	1.4	0.0	1.0	0.5
6	5/11/2018 0:00 น.	65	208	0.5	1.4	0.5	1.0	0.5
7	8/11/2018 0:00 น.	68	208	1.0	1.4	1.0	1.0	0.5
8	17/12/2018 0:00 น.	107	208	1.0	2.9	3.4	2.4	1.0
9	14/1/2019 0:00 น.	135	208	1.4	6.7	3.8	3.8	1.4
10	26/1/2019 0:00 น.	147	208	1.0	7.7	3.8	3.8	1.9

ข้อมูลอัตราการตายของต้นกล้าโกก้างสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 อัตราการตายของต้นกล้าป่าชายเลนเชิงพื้นที่



รูปที่ 4.11 อัตราการตายของต้นโกงกางใบเล็กและต้นโกงกางใบใหญ่

รูปที่ 4.10 แสดงอัตราการตายแบบแบ่งโซน พบว่า เมื่อระยะเวลาทดลองเพิ่มขึ้นอัตราการตายของต้นกล้าโกงกางมีอัตราการตายเพิ่มขึ้นเหมือนกัน โซนหน้าและโซนกลางมีอัตราการตายของต้นกล้าโกงกางที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่โซนหลังซึ่งอยู่ด้านในสุดมีอัตราการตายที่น้อยที่สุด

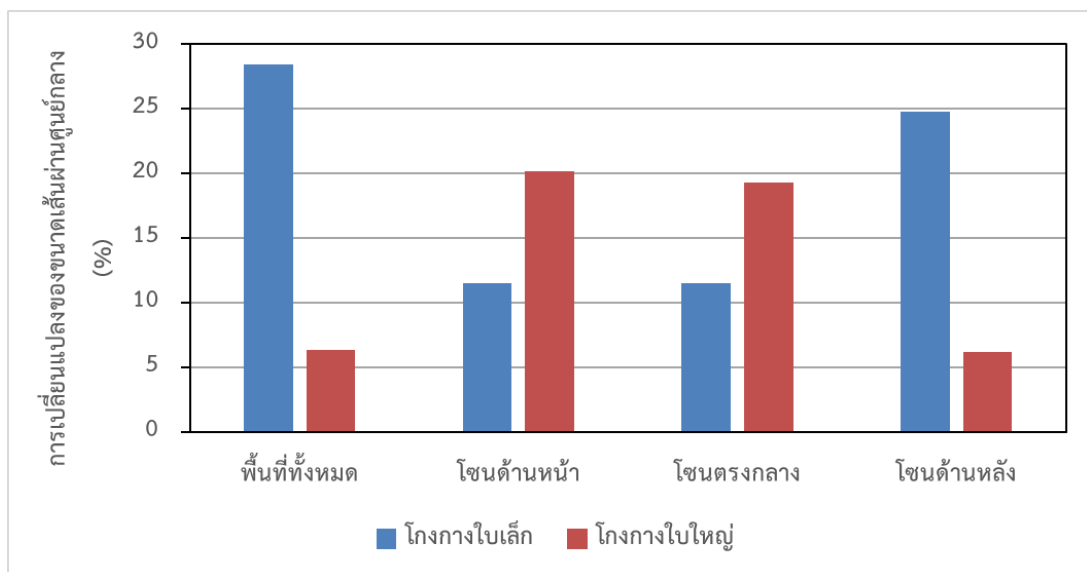
รูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงเดือนแรกต้นโกงกางใบใหญ่มีอัตราการตายที่สูงขึ้น ในขณะที่ต้นโกงกางใบเล็กมีอัตราการตายที่คงที่ และเริ่มมีอัตราการตายที่เพิ่มขึ้นในเดือนที่สองและเริ่มคงที่ ส่วนต้นโกงกางใบใหญ่ พบว่า เมื่อเข้าเดือนที่สามต้นโกงกางใบใหญ่มีอัตราการตายที่สูงขึ้นต่อเนื่อง

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพแบบก่อนและหลังการศึกษา

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพแบบก่อนและหลังการศึกษา คือ การเก็บข้อมูลของต้นกล้าป่าชายเลนก่อนและหลังการศึกษา ได้แก่ จำนวนใบ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูง อีกทั้งยังสามารถนำขนาดและเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงมาคำนวณหาปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน เพื่อนำมาวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

(1) การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกล้าป่าชายเลน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกล้าป่าชายเลนนั้น เราทำการศึกษาในแบบเชิงพื้นที่ เมื่อทำการเก็บข้อมูลแล้วสามารถนำมาสร้างแผนภูมิและตารางแสดงการเติบโตโดยใช้วิธีการแบ่งควอไทล์ ดังรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 อัตราการเพิ่มขึ้นของเส้นผ่านศูนย์กลาง

F1	29	5	43	5	22	5	30	40	34	36	2	5	25	43	27	36
F2	14	31	2	39	39	7	19	20	37	26	3	25	3	19	10	23
F3	28	22		3	41	24	4	2	26	6	18			6		
F4	14	26	16			23	11	53	5	49		44	6	42	5	45
M1	25	8	41	9	43		51	3	21	2	11	24	40	2	50	5
M2	9	27		45	8	37	9	34	11		3	30		31	9	19
M3	9	0	39	12	2	4	37	2	32	3	36	29		31	15	39
M4	6	15	1	21	6	30	9	36	4	36	11	52	0	14	8	
M5	37		36	2	22	9		6	13	8	44	3	45	5	4	43
B1	9	2	6	25	18	8	24	6	5	17	24	10	42	9	21	34
B2	11		7	40	0	2	16	5		5	17	4	33	8	33	3
B3	14	10	33	9	27	3	36	4	20	7	18	17	34	15		
B4	11	25	6	27	4	36	0	28	5	35	2	33	0	27	2	37
	แถว 1	แถว 2	แถว 3	แถว 4	แถว 5	แถว 6	แถว 7	แถว 8	แถว 9	แถว 10	แถว 11	แถว 12	แถว 13	แถว 14	แถว 15	แถว 16

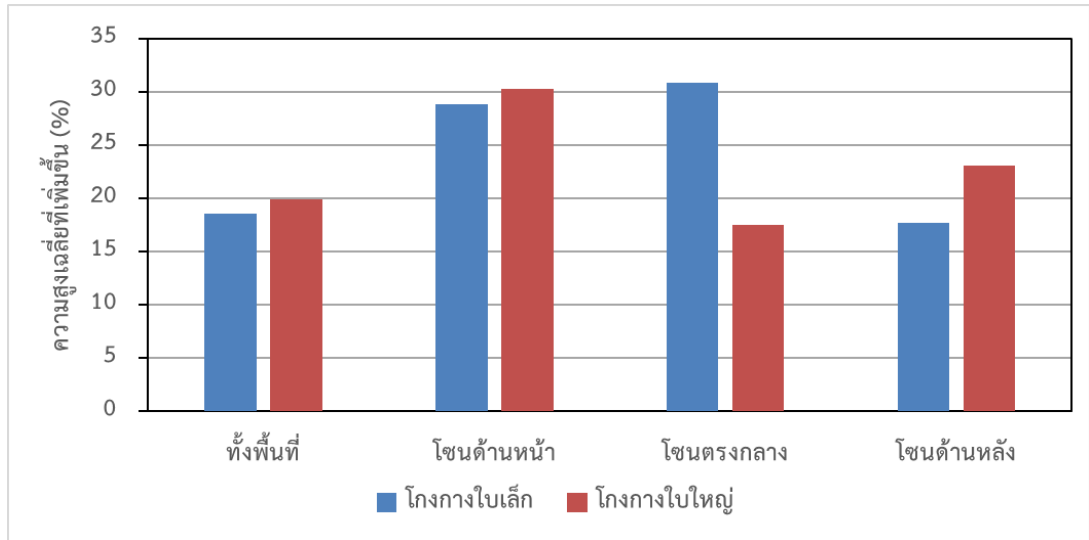
สื่อบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่เพิ่มขึ้นมากไปน้อย				เมื่อ
> 32 %	32% - 16%	16% - 5.3%	< 5.3 %	F = โชนหน้า
	ต้นตาย			M = โชนกลาง
				B = โชนหลัง

รูปที่ 4.13 ร้อยละของเส้นผ่าศูนย์กลางของต้นกล้าภายในพื้นที่ศึกษา

รูปที่ 4.12 เมื่อพิจารณาพื้นที่ที่ทั้งแปลงการทดลองพบว่า ต้นโกก่างใบเล็กมีอัตราการเพิ่มของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากกว่าต้นโกก่างใบใหญ่ ในขณะที่โชนด้านหน้าและโชนกลางต้นโกก่างใบใหญ่มีอัตราการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าต้นโกก่างใบเล็ก แต่ในโชนด้านหลังของแปลงการทดลองต้นโกก่างใบเล็กมีอัตราการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมากกว่าต้นโกก่างใบใหญ่

(2) การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลนนั้น เราทำการศึกษาในแบบเชิงพื้นที่ เมื่อทำการเก็บข้อมูลแล้วสามารถนำมาสร้างแผนภูมิและตารางแสดงการเติบโตโดยใช้วิธีการแบ่งควอไทด์ ดังรูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 ความสูงเฉลี่ยของต้นโกงกางแบบเชิงพื้นที่

F1	28	12	28	14	26	46	31	22	34	23	41	24	23	44	44	35
F2	47	43	53	28	25	54	37	61	69	48	30	50	21	51	28	55
F3	29	34		27	35	6	28	41	15	43	11			28		
F4	28	20	37			34	21	41	43	50		21	33	33	22	31
M1	40	9	51	31	43		37	6	36	29	8	41	37	21	36	33
M2	1	25		30	13	17	37	20	23		5	33		23	14	6
M3	13	29	19	33	20	41	28	7	13	33	16	31		18	19	31
M4	1	5	15	41	29	35	23	30	19	40	24	49	30	45	29	
M5	53		16	32	37	41		1	11	29	34	5	40	21	3	47
B1	27	26	15	26	18	19	11	17			9	20	7	10	6	34
B2	23		25	47	1	10	9	29		36	28	27	18	32	34	29
B3	17	21	12	30	8	13	40	27	18	19	12	13	2	36		
B4	41	30	3	34	37	12	28	19	25	27	39	4	17	21	22	17
	แถว 1	แถว 2	แถว 3	แถว 4	แถว 5	แถว 6	แถว 7	แถว 8	แถว 9	แถว 10	แถว 11	แถว 12	แถว 13	แถว 14	แถว 15	แถว 16

สื่อบอกความสูงต้นไม้ที่เพิ่มขึ้นมากไปน้อย					เมื่อ
> 36 %	36 - 28 %	28 - 17 %	< 17 %	F =	โซนหน้า
	ต้นตาย			M =	โซนกลาง
				B =	โซนหลัง

รูปที่ 4.15 ร้อยละความสูงของต้นกล้าป่าชายเลนภายในพื้นที่ศึกษา

รูปที่ 4.21 พบว่าทั้งพื้นที่การทดลองต้นกลางโงกทางใบใหญ่มีอัตราการสูงเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นมากกว่าต้นโงกทางใบเล็ก เช่นเดียวกับโซนด้านหน้าและโซนด้านหลัง ส่วนโซนตรงกลางพบว่าต้นโงกทางใบเล็กมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงมากกว่าต้นโงกทางใบใหญ่

(3) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของต้นกล้าป่าชายเลน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของต้นกล้าป่าชายเลนนั้น ดำเนินการเช่นเดียวกับข้อมูลอื่น คือ การศึกษาในแบบเชิงพื้นที่ เมื่อทำการเก็บข้อมูลแล้วสามารถนำมาสร้างแผนภูมิและตารางแสดงการเติบโตโดยใช้วิธีการแบ่งควอไทด์ ดังรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17

จากรูปที่ 4.16 พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของตัวแทนปริมาตรทั้งพื้นที่พบว่าต้นโงกทางใบเล็กมีอัตราการเพิ่มขึ้นของตัวแทนปริมาตรมากกว่าต้นโงกทางใบใหญ่เช่นเดียวกับพื้นที่โซนหน้า โซนกลางและโซนหลัง

4.3 ความสัมพันธ์ทางชลศาสตร์กับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

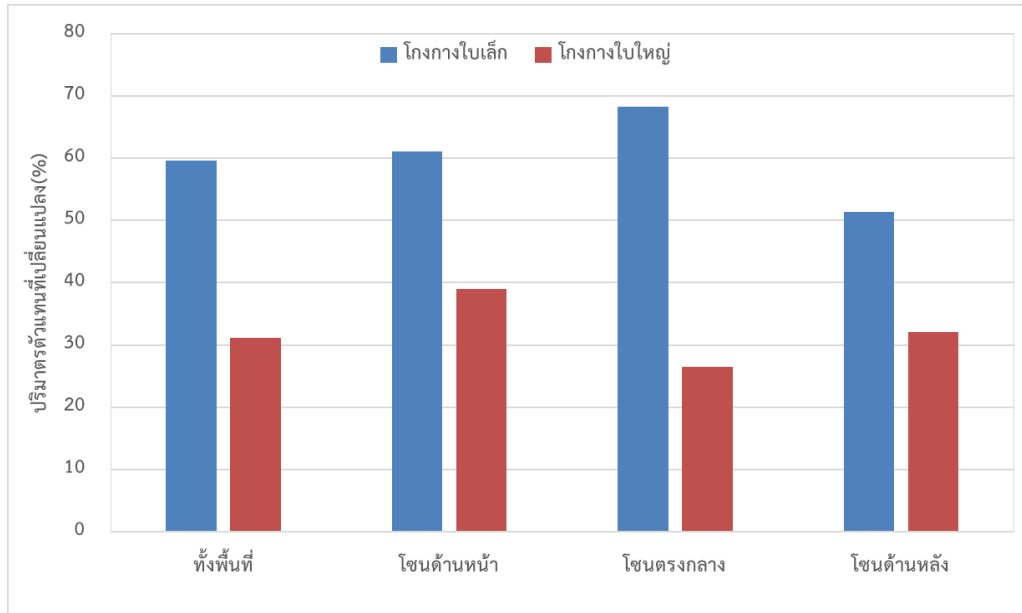
4.3.1 แรงกระทำสะสมทางชลศาสตร์

ข้อมูลทางชลศาสตร์แบบต่อเนื่องสามารถทำให้คำนวณหาแรงกระทำต่อต้นกล้าป่าชายเลนในเชิงสะสม โดยสมมุติให้ ต้นกล้าป่าชายเลนมีรูปทรงเป็นทรงกระบอก ข้อมูลคลื่นเป็นแรงสถิตทางชลศาสตร์ และที่ด้านหลังของต้นไม่มีเฉพาะแรงกระทำของระดับน้ำ (รูปที่ 4-18) ได้ตั้งสมการดังนี้

$$F_t = F_1 - F_2 + F_3 \quad (4-1)$$

โดยที่

- F_t = แรงกระทำต่อต้นกล้าป่าชายเลน
- F_1 = แรงสถิตทางชลศาสตร์ที่ด้านหน้าของต้นกล้า
- F_2 = แรงสถิตทางชลศาสตร์ที่ด้านหลังของต้นกล้า
- $F_3 = F_D$ = แรงลากทางชลศาสตร์เนื่องจากกระแส

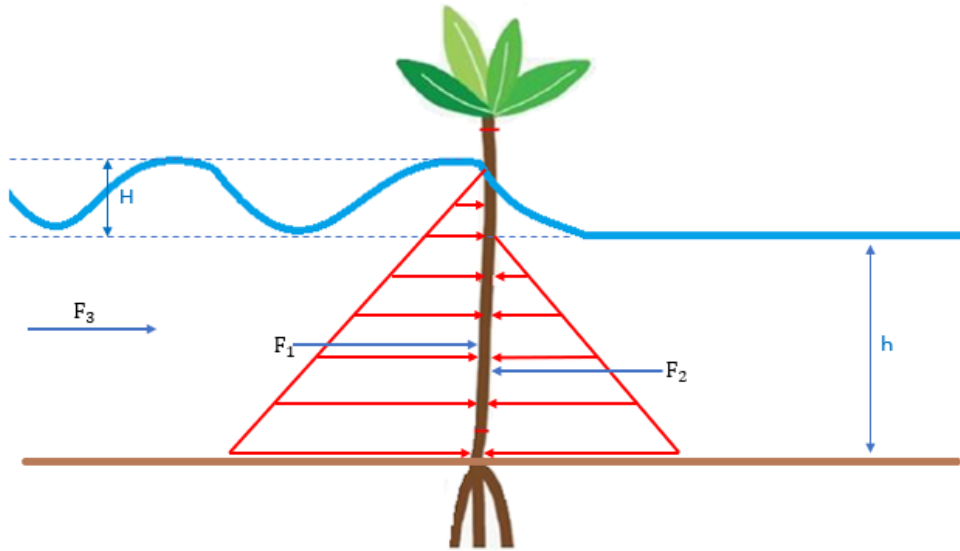


รูปที่ 4.16 อัตราการเพิ่มขึ้นของตัวแทนปริมาตร

F1	64	21	76	22	61	51	66	72	71	69	43	32	56	82	66	73
F2	61	73	55	74	72	60	59	75	88	71	35	72	27	68	42	73
F3	63	60		31	78	46	33	43	54	50	41			37	42	
F4	46	57	55			61	38	87	48	87		75	41	77	29	79
M1	67	23	83	43	82		85	12	60	32	26	66	77	24	86	39
M2	17	59		79	26	67	47	65	38		10	67		64	29	45
M3	27	29	69	86	51	45	77	11	60	37	65	65		69	41	74
M4	13	31	16	63	38	69	36	71	26	76	40	88	30	59	10	
M5	81		65	34	79	51		12	33	39	79	11	82	28	10	83
B1	40	30	25	58	46	31	49	26	35	51	47	36	69	25	42	71
B2	39		35	81	1	14	36	36		42	51	33	63	43	70	34
B3	38	36	60	43	52	18	75	33	48	29	41	40	58	54		
B4	53	60	15	65	42	64	28	58	33	70	41	56	17	58	24	67
	แถว 1	แถว 2	แถว 3	แถว 4	แถว 5	แถว 6	แถว 7	แถว 8	แถว 9	แถว 10	แถว 11	แถว 12	แถว 13	แถว 14	แถว 15	แถว 16

สื่อกตัวแทนปริมาตรที่เพิ่มขึ้นมากไปน้อย				เมื่อ
< 71 %	71 - 50 %	50 - 35 %	> 35%	F = โชนหน้า
	ตันตาย			M = โชนกลาง
				B = โชนหลัง

รูปที่ 4.17 ร้อยละปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลนภายในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.18 แรงที่กระทำต่อต้นกล้า

ซึ่ง

$$F_1 = \gamma \bar{y}_1 A_1 = \gamma \left(\frac{h+H}{2} \right) \left[(h+H) \left(\frac{\pi D}{2} \right) \right] \quad (4-2)$$

$$= \frac{1}{2} \gamma (h+H)^2 \left(\frac{\pi D}{2} \right) \quad (4-3)$$

$$F_2 = \gamma \bar{y}_2 A_2 = \gamma \left(\frac{h}{2} \right) \left[(h) \left(\frac{\pi D}{2} \right) \right] \quad (4-4)$$

$$= \frac{1}{2} \gamma h^2 \left(\frac{\pi D}{2} \right) \quad (4-5)$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d A = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d \left(\frac{\pi D}{2} \right) h \quad (4-6)$$

$$= \frac{1}{2} \rho V^2 C_d D h \quad (4-7)$$

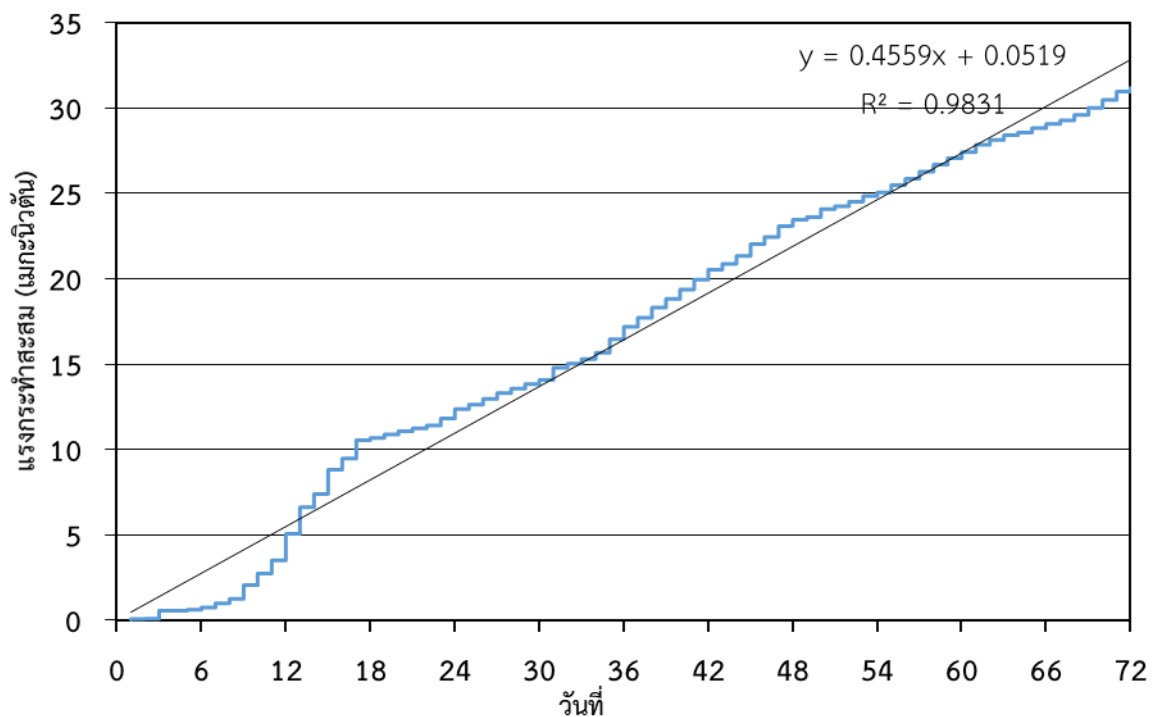
ได้สมการดังนี้

$$\frac{F_t}{D} = \frac{1}{2} \rho g (2hH + H^2) + \frac{1}{2} \rho V^2 C_d h \quad (4-8)$$

โดย $\frac{F_t}{D}$ = แรงกระทำทางชลศาสตร์ต่อหนึ่งหน่วยความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น
 h = ความสูงของระดับน้ำในพื้นที่ศึกษา
 H = ความสูงของคลื่นในพื้นที่ศึกษา
 V = ความเร็วของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษา
 ρ = ความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1000 kg/m^3
 g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2
 C_d = สัมประสิทธิ์ของแรงลาก (สัมประสิทธิ์ของรูปทรงกระบอกผิวเรียบเท่ากับ 0.49)

เมื่อทำการคำนวณแรงกระทำทั้งหมด แล้วนำมาทำการเขียนแผนภูมิแรงกระทำสะสมได้ดังรูปที่

4.19



รูปที่ 4.19 แรงกระทำสะสมทางชลศาสตร์ต่อต้นกล้าป่าชายเลน

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายกับจำนวนใบของต้นกล้าป่าชายเลน

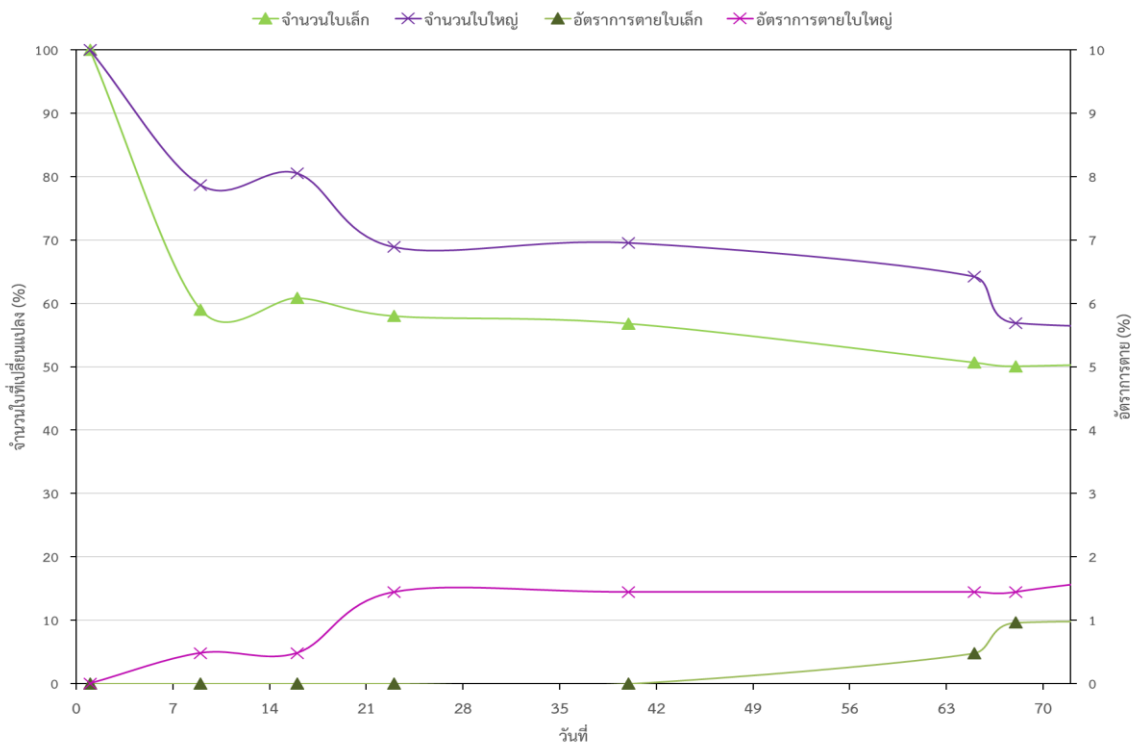
ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนแบบต่อเนื่องในพื้นที่ศึกษา ถูกนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอัตราการตายกับจำนวนใบ ได้ดังรูปที่ 4.20 พบว่า ในส่วนของต้นโกงกางใบใหญ่ นั้น อัตราการตายกับจำนวนใบนั้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน คือ เมื่อจำนวนใบลดลง อัตราการตายก็เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน แต่ในส่วนของต้นโกงกางใบเล็กนั้น พบว่าในช่วงแรกของการศึกษาเมื่อจำนวนใบมีการลดลง อัตราการตายกลับไม่เพิ่มขึ้น จนถึงประมาณช่วงวันที่ 40 ของวันที่ทำการศึกษา พบว่าเมื่อจำนวนใบลดลง อัตราการตายจึงค่อยเพิ่มขึ้น

4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำสะสมกับอัตราการตายของต้นกล้าป่าชายเลน

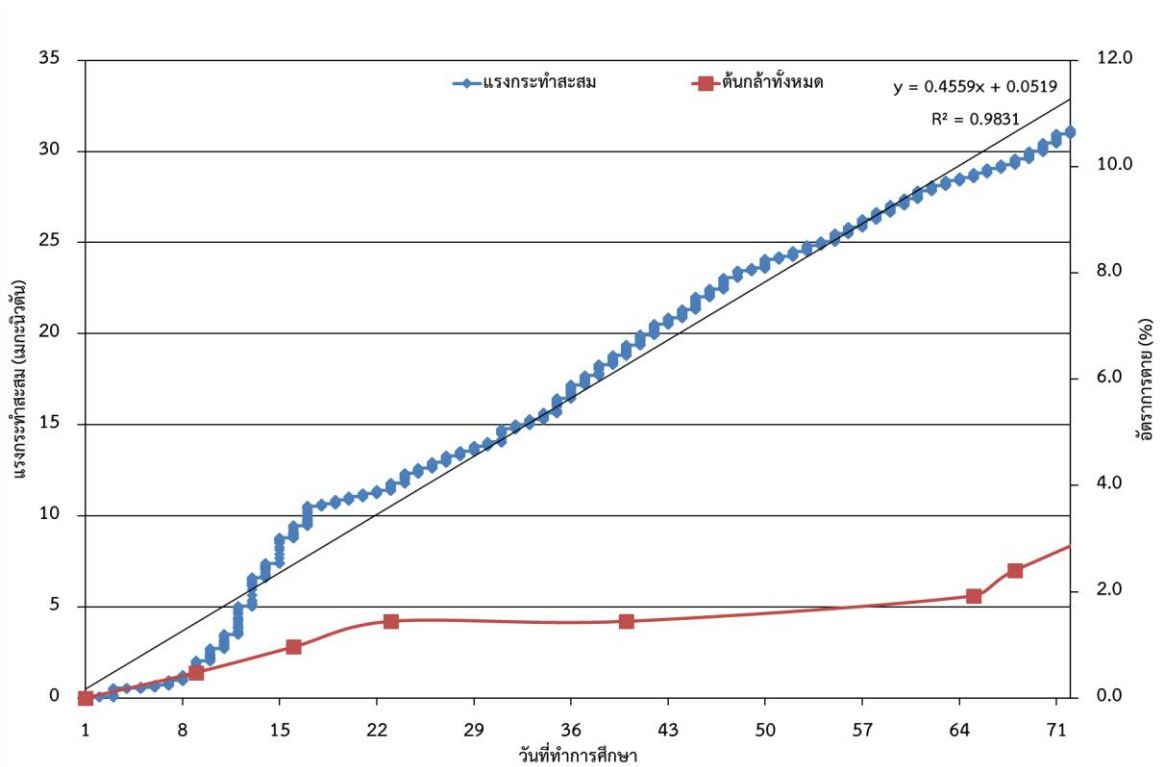
การศึกษาพบว่าในช่วงที่มีแรงกระทำสะสมสม่ำเสมอ ต้นโกงกางมีการเพิ่มขึ้นของอัตราการตายที่น้อยมาก ต่างจากในช่วงที่มีแรงกระทำไม่สม่ำเสมอ จะเห็นได้ว่า ต้นโกงกางมีอัตราการตายเพิ่มขึ้นอย่างมากจนเห็นได้ชัดเจนจากรูปที่ 4.21 ซึ่งแสดงได้ว่าต้นโกงกางนั้นสามารถทนต่อแรงกระทำที่สม่ำเสมอได้ดีกว่า

4.3.4 สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำสะสมกับอัตราการตายของต้นกล้าป่าชายเลน

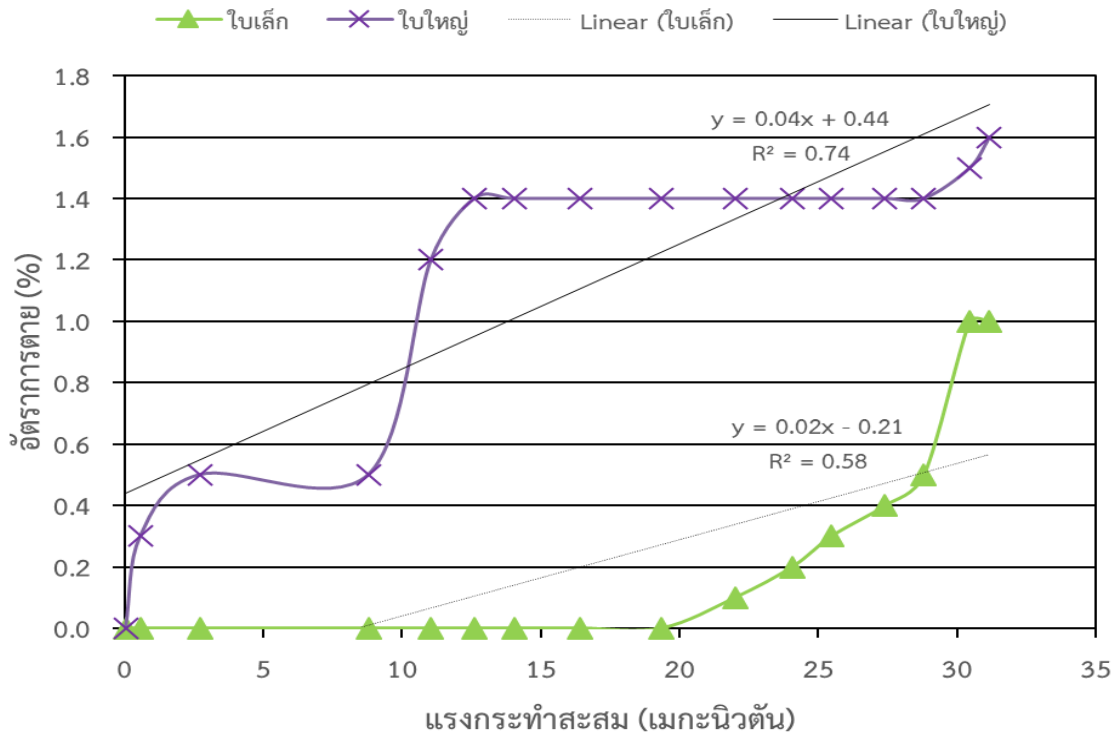
ข้อมูลความสัมพันธ์ของอัตราการตายกับแรงกระทำสะสมในทุก 5 วัน ถูกนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ พบว่าในช่วง 25 วันแรกต้นโกงกางใบใหญ่มีอัตราการตายเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก แล้วอัตราการตายจึงคงที่ ซึ่งต่างจากต้นโกงกางใบเล็กที่ไม่มีอัตราการตายเลยในช่วง 40 วันแรก แล้วจึงค่อยมีอัตราการตายเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ สามารถสรุปได้ว่า ต้นโกงกางใบใหญ่จำเป็นต้องใช้เวลาในการปรับตัวเพื่อรับแรงกระทำทางชลศาสตร์ จึงสามารถรับแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นได้ ต่างจากต้นโกงกางใบเล็กที่ไม่จำเป็นต้องปรับตัวเพื่อรับแรงกระทำทางชลศาสตร์ในช่วงแรก แต่เมื่อแรงกระทำสะสมทางชลศาสตร์เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ต้นโกงกางใบเล็กจึงค่อยมีอัตราการตายเพิ่มมากขึ้น แต่ยังคงมีอัตราการตายน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการตายของต้นโกงกางใบใหญ่ ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายกับจำนวนใบที่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำสะสมกับอัตราการตายของต้นกล้าป่าชายเลน



รูปที่ 4.22 สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายกับแรงกระทำสะสม
ของต้นกล้าโกงกางใบเล็กและต้นกล้าโกงกางใบใหญ่

สมการความสัมพันธ์ของแรงกระทำกับอัตราการตายของต้นกล้าโกงกางใบใหญ่และต้นกล้า
โกงกางใบเล็กดังนี้

$$R_{D/T} = 0.04 \sum \frac{F_t}{D} + 0.44 \quad (4-9)$$

$$R_{D/t} = 0.02 \sum \frac{F_t}{D} - 0.21 \quad (4-10)$$

เมื่อ $R_{D/T}$ = อัตราการตายของต้นโกงกางใบใหญ่
 $R_{D/t}$ = อัตราการตายของต้นโกงกางใบเล็ก
 $\sum \frac{F_t}{D}$ = แรงกระทำทางชลศาสตร์ต่อหนึ่งหน่วยเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นสะสม

สมการดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้เพื่อส่งเสริมให้การปลูกต้นไม้ออกงามประสบความสำเร็จมาก
ยิ่งขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้สนใจอิทธิพลของปัจจัยอุทกพลศาสตร์ทางกายภาพต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนที่ปลูกใหม่ในสภาพแวดล้อมจริง ข้อมูลระดับน้ำ คลื่น และกระแสน้ำ ถูกตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดบริเวณแปลงทดลองซึ่งปลูกต้นโกงกางใบเล็กและต้นโกงกางใบใหญ่จำนวน 240 ต้น ตลอดระยะเวลาการทดลองประมาณสองเดือน ลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าถูกบันทึกผลไว้ การเจริญเติบโตหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ได้แก่ ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง ปริมาตรตัวแทน จำนวนใบและการตาย ถูกนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์และแรงกระทำทางอุทกพลศาสตร์ต่อต้นกล้าป่าชายเลน โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดแตกต่างกันเชิงพื้นที่อย่างชัดเจน บริเวณพื้นที่นอกฝั่งติดทะเลมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าบริเวณพื้นที่ในฝั่ง เนื่องจากต้นกล้าบริเวณพื้นที่นอกฝั่งได้รับผลกระทบจากปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์มากกว่าพื้นที่ในฝั่งอย่างชัดเจน

การเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มในสองลักษณะ คือ แนวโน้มการเติบโต กล่าวคือ ต้นกล้าพยายามเติบโตเพื่อการเอาตัวรอด ความสูงของลำต้นและเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ส่งผลให้ปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่แนวโน้มอีกด้านหนึ่ง คือ แนวโน้มการตาย กล่าวคือ การตายของต้นโกงกางสัมพันธ์กับจำนวนใบที่หลุดร่วงไปอย่างชัดเจน จำนวนใบที่หลุดร่วงไปเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากการปรับตัวของต้นกล้า ส่งผลให้การตายสูงขึ้น แนวโน้มทั้งสองลักษณะนี้มีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ตามที่กล่าวข้างต้นชัดเจน แสดงให้เห็นว่า เป็นผลเนื่องจากปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์อย่างชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นกล้าใบใหญ่กับต้นโกงกางใบเล็ก พบว่า ต้นโกงกางใบเล็กมีการเติบโตที่รวดเร็วกว่าผ่านความสูงที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางยังเปลี่ยนแปลงไม่มาก เนื่องมาจากต้องการสูงเพื่อให้พ้นระดับน้ำและต้องการสังเคราะห์แสงให้ดีขึ้น ทำให้ปริมาตรตัวแทนเพิ่มขึ้น

เร็วกว่าต้นโกงกางใบใหญ่ด้วย ส่วนต้นโกงกางใบใหญ่เติบโตทั้งด้านความกว้างของลำต้นและความสูงไปพร้อมกัน ในส่วนประเด็นอัตราการตายพบว่า ต้นโกงกางใบใหญ่มีอัตราการตายสูงกว่าต้นโกงกางใบเล็ก ดังอธิบายข้างต้นว่า การตายมีความสัมพันธ์กับจำนวนใบที่ลดลงมาก ต้นโกงกางใบใหญ่มีใบขนาดใหญ่กว่าและแข็ง ทำให้เกิดแรงต้านแรงกระทำมากกว่า จำนวนใบจึงหลุดร่วงมากกว่าและส่งผลให้อัตราการตายสูงกว่าตามมาด้วย

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางอุทกพลศาสตร์สะสมกับอัตราการตายพบว่า ทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์กันชัดเจนทั้งในต้นกล้าทั้งสองชนิด ความสัมพันธ์นี้สามารถช่วยในการประมาณสภาพทางอุทกพลศาสตร์วิกฤตต่อการตายของต้นกล้าที่ปลูกใหม่ได้ การหามาตรการช่วยป้องกันแรงกระทำเหล่านี้จะส่งเสริมให้อัตราการรอดตายของต้นกล้าและความสำเร็จในการฟื้นฟูป่าชายเลนเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

- (1) เพิ่มกรณีศึกษาและระยะเวลาการทดลองผลกระทบทางอุทกพลศาสตร์ให้มากขึ้นเพื่อเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนยิ่งขึ้น
- (2) ศึกษาต้นกล้าป่าชายเลนหลากหลายชนิดมากขึ้น เช่น ต้นกล้าแสม เพื่อเป็นการสนับสนุนว่าเมื่อแรงกระทำสะสมที่มีค่ามากขึ้นส่งผลให้จำนวนใบคงเหลือลดลงและอัตราการตายเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน
- (3) เพิ่มการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยของลม ทั้งเรื่องความเร็วและทิศทางของลม เพื่อนำมาวิเคราะห์ และสรุปร่วมกับผลการศึกษาทางอุทกพลศาสตร์
- (4) พัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลทางกายภาพแบบต่อเนื่องเพื่อให้ได้ข้อมูลทางกายภาพแบบต่อเนื่องเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้พบความสัมพันธ์ด้านอื่นมากขึ้น

บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2558). *พื้นที่ป่าชายเลนในอดีต*. เข้าถึงได้จาก
http://marinegiscenter.dmcr.go.th/km/mangroves_doc08#.WVFD0Y7yphPY
- ศุภวุฒ ชูชาติเจริญพร. (2559, 8 ตุลาคม). สัมภาษณ์
- ศูนย์อุตุนิยมิวิทยา. (2560). *สถานะภาพคลื่นในทะเลตามเส้นทางการเดินเรือ*. เข้าถึงได้จาก
<http://www.marine.tmd.go.th/thai/ships00.html>
- สนธิ อักษรแก้ว, สนใจ หะวานนท์ และ ชาตรี มากนวล. (2539). *คู่มือการปลูกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน*.
กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนพันธ์ุนี้พับลิชชิ่ง
- สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และ รุ่งสุริยา บัวสาลี. (2554). *ป่าชายเลน: นิเวศวิทยาและพรรณไม้*. พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน)
- สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน, ธนิตย์ หนูยิ้ม และ โชวโซ นากามูระ. (2540). อัตราการรอดตาย และการ
เจริญเติบโตของโกงกางใบเล็ก และโกงกางใบใหญ่ที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน. ใน *การประชุม
ทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35* (หน้า 573-585).
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุวัจน์ ธีรสร. (2550). *วิทยาศาสตร์ทางทะเลเบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์
โอเดียนสโตร์
- อุทัย จื่อเหลียง. (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.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- GUNT (2001b). *Instruction Manual HM161.41 Wave Generator Flap-Type*. Germany: G.U.N.T. Gerätebau Gerätebau GmbH.
- 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 Gauge*. 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

บรรณานุกรม (ต่อ)

- 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.
- Tuyen, N.B., & Hung, H.V. (2009). An Experimental Study on Wave Reduction Efficiency of Mangrove Forest, *Proceeding of the 5th 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.