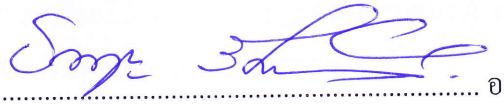
การทดลองในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับผลกระทบของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

กมลพล ขยันหา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
พฤษภาคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ กมลพล ขยันหา ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

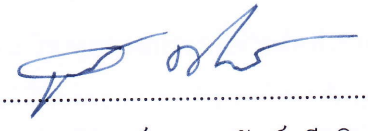
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

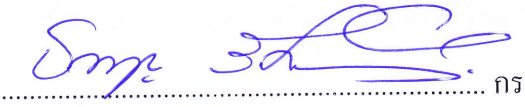
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนูญ รัศมีมาสเมือง)

คณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์



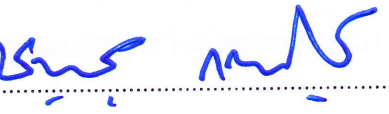
..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์)



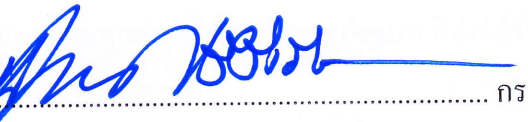
..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนูญ รัศมีมาสเมือง)



..... กรรมการ

(ดร. ชาญยุทธ กาฬกาญจน์)



..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย ศรีวิริยรัตน์)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่ 1 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนูญ รัศมีมาสเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์ อาจารย์ประจำภาควิชาแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา ตรวจแก้ไขและวิจารณ์ผลงาน ทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบ รวมทั้งให้คำแนะนำแก้ไขการวิจัยให้มีคุณภาพ นอกจากนี้ ยังได้รับความอนุเคราะห์จากพี่ ๆ ภาควิชาอุตสาหกรรมที่ช่วยจัดทำอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดลอง และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง รวมถึงน้อง ๆ นิสิตระดับปริญญาตรีปีที่ 4 ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการร่วมทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้ส่วนหนึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยบูรพา งบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล จึงขอขอบพระคุณ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสุวิทย์ คุณแม่กาญจนา ขยันหา และทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

กมลพล ขยันหา

58910225: สาขาวิชา: วิศวกรรมโยธา; วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา)
คำสำคัญ: การป้องกันชายฝั่งทะเล/ การตายของต้นกล้าโกงกาง/ คลื่น/ กระแสน้ำ/ ประสิทธิภาพการปลูกป่าชายเลน

กมลพล ขยันหา: การทดลองในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับผลกระทบของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน (LABORATORY EXPERIMENTS ON THE EFFECTS OF HYDRODYNAMIC FACTORS ON THE PHYSICAL CHARACTERISTICS OF PLANTED MANGROVE SPROUTS) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ธรรมนูญ รัศมีมาสเมือง, D.Eng., 283 หน้า, ปี พ.ศ. 2560.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนและการตายของต้นกล้าป่าชายเลน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกป่าชายเลน ต้นไม้ที่ใช้ในการศึกษามี 2 ชนิด คือ ต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสม ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน คือ 1) การศึกษาผลกระทบของคลื่น ทำการทดลองผลกระทบของคลื่นในรางน้ำจำลองคลื่นมีความยาว 16 เมตร หน้าตัดกว้าง 60 เซนติเมตร และ ลึก 80 เซนติเมตร ต้นกล้าป่าชายเลนถูกนำลงไปในรางเพื่อรับแรงกระทำจากคลื่น ความสูงของระดับน้ำที่ใช้ในการทดลอง 50 เซนติเมตร คลื่นที่ใช้ในการทดลองเป็นคลื่นแบบสม่ำเสมอที่มีคาบคลื่น 1 วินาที และความสูงคลื่นแตกต่างกัน 3 ค่า คือ 7.73, 10.57 และ 12.29 เซนติเมตร ใช้เวลาในการทดลองกรณีละ 2 ชั่วโมงต่อวัน ทดลองต่อเนื่องกันเป็นเวลา 30 วัน 2) การศึกษาผลกระทบของกระแสน้ำ ทำการทดลองในรางน้ำจำลองการไหล ขนาดเท่ากันกับรางน้ำจำลองคลื่น (รางจำลองคลื่นถูกเปลี่ยนเป็นรางจำลองการไหล) ต้นกล้าป่าชายเลนถูกนำลงไปในรางเพื่อรับแรงกระทำจากกระแสน้ำ ความสูงของระดับน้ำในการทดลอง 50 เซนติเมตร ความเร็วกระแสน้ำที่ใช้การทดลองแตกต่างกัน 3 ค่า คือ 0.11, 0.23 และ 0.37 เมตรต่อวินาที ใช้เวลาในการทดลองกรณีละ 2 ชั่วโมงต่อวัน ทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน 3) การศึกษาผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น ทำการทดลองในกระบะพลาสติกสี่เหลี่ยม ลึก 107 เซนติเมตร กว้าง 116 เซนติเมตร และยาว 198 เซนติเมตร ภายในมีขั้นบันไดเพื่อจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนที่ระดับน้ำท่วมแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร) ระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร) และ ระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร) ทดลองโดยการจำลองน้ำขึ้น-น้ำลงด้วยการสูบน้ำเข้ากระบะทดลองให้ได้ระดับน้ำภายในกระบะทดลองที่ 70 เซนติเมตร แช่ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง แล้วสูบน้ำออกทุกวัน ทดลองต่อเนื่องกันเป็นเวลา 60 วัน 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 การทดลองทั้ง 4 ส่วน ทำการเก็บข้อมูล

ลักษณะทางกายภาพทั้งหมด 5 ข้อมูล คือ ข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ข้อมูลความสูงของลำต้น ข้อมูลจำนวนใบ ข้อมูลน้ำหนักมวลชีวภาพ และ ข้อมูลจำนวนต้นกล้าที่ตาย

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การกระทำของคลื่นและกระแสน้ำ มีความสัมพันธ์กับการตายของต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจนเนื่องจากว่า ต้นกล้าโกงกางมีลักษณะใบใหญ่และแข็ง จึงได้รับผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำน้ำมาก ในกรณีของคลื่นพบว่า คลื่นซัดใบของต้นกล้าโกงกางซ้ำแล้วซ้ำอีกจนใบขาดและต้นกล้าตาย ส่วนกรณีของกระแสน้ำพบว่า กระแสน้ำพัดทำให้ใบของต้นกล้าโกงกางหุบเข้าหากันตลอดเวลา ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้และต้นกล้าเฉาตาย ในกรณีของต้นกล้าแสม พบว่าต้นกล้าแสมสามารถทนผลกระทบของคลื่นได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกาง เนื่องจากลักษณะของใบและลำต้นที่สามารถพลิ้วไหวได้ง่ายจึงได้รับผลกระทบจากคลื่นน้อยกว่าต้นกล้าโกงกาง ส่วนกรณีกระแสน้ำ พบว่าต้นกล้าแสมสามารถทนต่อผลกระทบของกระแสน้ำได้น้อยกว่าต้นกล้าโกงกาง เนื่องจากต้นกล้าแสมมีขนาดลำต้นเล็กสามารถรับแรงที่กระทำตลอดแนวของลำต้นอย่างต่อเนื่องได้น้อยกว่าต้นกล้าโกงกางที่มีขนาดลำต้นใหญ่กว่า นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุดในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากระดับน้ำท่วมทั้งต้น และมีการเจริญเติบโตได้ดีหากอยู่ในพื้นที่สูง ความเค็มของน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าแสมมากกว่าต้นกล้าโกงกาง เพราะว่าจากการสังเกตในการทดลอง พบว่าว่าต้นกล้าโกงกางมีการขับเกลือออกทางใบได้มากกว่าต้นกล้าแสม ส่งผลให้ต้นกล้าโกงกางได้รับผลกระทบจากความเค็มของน้ำน้อยกว่า แต่ว่าความเค็มของน้ำมีผลต่อการหลุดล่วงของใบของต้นกล้าโกงกาง คือ เมื่อค่าความเค็มเพิ่มขึ้นส่งผลให้ใบของต้นกล้าโกงกางลดลง เพราะว่าต้นกล้าโกงกางเมื่อมีการขับเกลือออกทางใบระยะหนึ่งแล้ว ใบจะเริ่มมีการเปลี่ยนสีและหลุดออก ทำให้เมื่อค่าความเค็มของน้ำมากจึงส่งผลให้ใบของต้นกล้าโกงกางหลุดออกมากตามไปด้วย

จากผลการวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกป่าชายเลนได้ โดยสามารถเลือกพื้นที่ปลูกต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสมที่เหมาะสมกับลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้าทั้งสองได้ และสามารถทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางที่นำไปปลูกได้ด้วยสมการที่ได้จากการศึกษา การศึกษาในอนาคตควรมีการขยายขอบเขตการศึกษาไปยังภาคสนามเพิ่มเติมต่อไป

58910225: MAJOR: CIVIL ENGINEERING; M.Eng. (CIVIL ENGINEERING)
KEYWORDS: Coastal protection/ Death of Rhizophora apiculata sprots/ Wave/ Current/ Effectiveness of mangrove reforestation

KAMONPOL KAYUNHA: LABORATORY EXPERIMENTS ON THE EFFECTS OF HYDRODYNAMIC FACTORS ON THE PHYSICAL CHARACTERISTICS OF PLANTED MANGROVE SPROUTS. ADVISORY COMMITTEE: THAMNOON RASMEEMASMUANG, D.Eng. 283 P. 2017.

The purpose of this research is to study about the effect of hydrodynamic factors on the physical characteristics and the mortality of mangrove sprouts, in order to be a guideline for increasing the effectiveness of mangrove reforestation. Two types of mangrove sprouts, which are *Avicennia alba* and *Rhizophora apiculata*, were used in the study. The study were divided into four sections. Section one is the study of, the effects due to waves. The experiment was conducted in a wave flume, of which the size is 16 m. long, 60 cm. wide and 80 cm. deep. The mangrove sprouts were planted in the flume with a uniform water level of 50 cm. Three different wave heights (7.73, 10.57 and 12.29 cm.) of regular waves with the period of 1 sec were applied in the experiment. The tests run for 2 hours per day for each case continuously for thirty days. Section two is the study of, the effects due to currents. The experiment was conducted in the flume (but the wave flume was modified to be the flow flume) with the water level of 50 cm. and 3 different current velocity of 0.11, 0.23 and 0.37 m/sec. The tests run for 2 hours per day for each case continuously for thirty days. Section three is the study of, the effects due to flood water levels. The experiment was conducted in a rectangular plastic tank, of which the size is 107 cm. deep, 116 cm. wide and 198 cm. long. In the tank there are 3 steps for simulating the mangrove sprout planted with three different flood levels of 70, 35 and 15 cm. To simulate tide, every day water was pumped into the tank at water level of 70 cm., then immersed the sprouts for three hours, and was finally pumped out. The experiment was continued for 60 days. Section four is, the study of the effects of water salinity. The study were conducted in a rectangular plastic tanks, of which the size is 60 cm. wide, 80 cm. long and 51 cm. deep. Three salinity of the saline water were used in the study, which are 5, 25 and 35 psu. The mangrove sprouts were immersed for 4 hour, then were taken out from the tank. The experiment was continued for 60 days. In all sections, Five

physical characteristics diameter, height, number of leaves, biomass and death number of the mangrove sprouts were measured.

The results show that the influence of wave and current had clearly affect on the death of the *Rhizophora apiculata* sprouts because they have big, thick and strength leaves. The wave forces, impacted repeatedly on the leaves until they dropped out, consequently the sprouts died. In case of the effects of currents. The currents caused the leaves to fold together all the time, thus the leaves cannot be photosynthesized and then the trees died. The results also show that the *Avicennia alba* sprouts can endure with the effects of waves more than the *Rhizophora Apiculata* sprouts can, because the leaves and the trunks of the *Avicennia alba* trees can sway and effectively damp the wave force. However, the *Avicennia alba* sprouts can endure with the effects of currents less than the *Rhizophora Apiculata* sprouts can, because the trunks of the *Rhizophora apiculata* trees is stouter than the *Avicennia alba* trees so the trunks of the *Rhizophora apiculata* trees are able to resist on the current force. In addition the experiments show the *Rhizophora apicula* sprouts and the *Avicennia alba* sprout have the lowest growth with the flood water level of 70 cm., on the other hand they grow well with the lower flood level. Salinity also effects on the *Avicennia alba* sprouts rather than the *Rhizophora apiculata* sprout, because the leaves of the *Rhizophora apiculata* trees are capable of discharging salt better than the *Avicennia alba* trees do. Nevertheless, the salinity effects on the leaves of the *Rhizophora apiculata* trees as well. In case of high salinity, the ability of the salt discharge of the leaves reaches the limit, then the leaves change turned to brown and black and finally failed down.

Finding of the research can be used as a guideline for enhancing the effectiveness of mangrove reforestation by selecting appropriate areas for planting the *Rhizophora apiculata* and *Avicennia alba* trees and estimating the possible death percentage of *Rhizophora apiculata* sprout with equation obtained from the study. In the future the study should be extended into the real fields of the mangrovereforestation.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการทำวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับป่าชายเลน 3

ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ 11

การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14

3 วิธีการศึกษา 36

หลักการความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์ 38

การทดลองผลกระทบของคลื่น 42

การทดลองผลกระทบของกระแสน้ำ 64

การทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น 69

การทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ 76

4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 84

ผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน 84

ผลกระทบของกระแสน้ำต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน 98

ผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน 108

ผลกระทบของความเค็มของน้ำต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน 124

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การเปรียบเทียบผลกระทบของคลื่นและกระแสน้ำต่อเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางด้วยสมการตัวแปรไร้มิติอัตราส่วนของค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้ 140
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 147
สรุปผลการทดลองผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน .. 147
สรุปผลการทดลองผลกระทบของกระแสน้ำต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน 147
สรุปผลการทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน 148
สรุปผลการทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน 148
สมการและการนำไปใช้ 149
ข้อเสนอแนะ 150
บรรณานุกรม 152
ภาคผนวก 155
ภาคผนวก ก 156
ภาคผนวก ข 264
ประวัติย่อผู้วิจัย 283

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3-1 รายละเอียดประกอบการทดลองเรื่องคลื่น 39

3-2 รายละเอียดประกอบการทดลองเรื่องกระแสน้ำ..... 40

3-3 รายละเอียดของรางชลศาสตร์ในห้องปฏิบัติการทางชลศาสตร์ 44

3-4 รายละเอียดการทดลองผลกระทบของคลื่น 58

3-5 รายละเอียดการทดลองผลกระทบของกระแสน้ำ..... 67

3-6 รายละเอียดการทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น 73

3-7 รายละเอียดการทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ..... 80

4-1 ความสูงคลื่นเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลอง 88

4-2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของคลื่น..... 88

4-3 ความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลอง 99

4-4 การเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของกระแสน้ำ..... 99

4-5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน 109

4-6 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน 116

4-7 ค่าความเค็มของน้ำเฉลี่ยที่ 30 วัน และ 60 วัน 124

4-8 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของความเค็มของน้ำ ที่ 30 วัน..... 125

4-9 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของความเค็มของน้ำที่ 60 วัน..... 132

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 รูปแบบของป่าชายเลน 4

2-2 ลักษณะการขับเกลือออกทางใบ 5

2-3 ลักษณะรากไม้ของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน 6

2-4 พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทย พ.ศ. 2504-2557 7

2-5 วิธีการปลูกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนโดยการใช้ฝัก 9

2-6 การเกิดน้ำเกิด (Spring tides) และน้ำตาย (Neap tides) 12

2-7 องค์ประกอบของคลื่น 13

2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างยอดผู้เสียชีวิตหลังจากเกิดสึนามิในวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 กับ พื้นที่ของต้นไม้ชายฝั่งทะเล 16

2-9 พื้นที่ชายฝั่งทวีฮายและทวีจวง 17

2-10 ความสามารถในการลดทอนคลื่นในแต่ละพื้นที่ 18

2-11 สถานที่ทำการศึกษาบริเวณชายฝั่งเวียนฮาง 19

2-12 อัตราการลดทอนคลื่น (r) ในพื้นที่ป่าชายเลน และพื้นที่ไม่มีป่าชายเลน 19

2-13 แบบจำลองทางกายภาพที่ใช้ในการศึกษา 20

2-14 รายละเอียดการศึกษาของ Hung and Tuyen (2009) 20

2-15 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงคลื่นกับสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น (R) 21

2-16 การจัดเรียงต้นโกงกางจำลองแบบแนวเดียวกัน (Tandem) และแบบเหลื่อมกัน (Staggersd) 22

2-17 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของป่าชายเลนกับเปอร์เซ็นต์การลดทอนคลื่น 22

2-18 ต้นไม้ที่ใช้ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพืช (a) ต้นสปาทิมา มาริมา (b) ต้นอาทิเพลค พอทูลาคอย (c) ต้นสปาทิน่า อัลเทอนิฟอร่า 23

2-19 พื้นที่ศึกษาภาคสนาม E1 ถึง E5 ที่มีค่าระดับต่างกัน 24

2-20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับแต่ละพื้นที่กับ A.การเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพประจำปี (A) (Annual biomass increment), B.จำนวนต้นไม้ที่เพิ่มขึ้น (B) (Population productivity) และ C.อัตราส่วนของน้ำหนักของส่วนของต้นไม้ที่โผล่พ้นดินกับราก (C) (Shoot/Root ratio) 25

2-21 ลักษณะการทดลองกลางแจ้งโดยใช้แท็งก์น้ำ 25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2-22 สัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาน้ำท่วมราก (กราฟแท่งสีดำ) และท่วมต้น (กราฟแท่งสีขาว) กับ A.ชีวมวลรวม (A) (Total biomass), B.พื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักแห้ง (B) (Specific leaf area (SLA)), C.อัตราส่วนของน้ำหนักของส่วนของต้นไม้ที่โผล่พ้นดินกับราก (C) (Shoot/Root ratio) 26

2-23 พื้นที่ศึกษาที่อ่าวยิงลัว ประเทศจีน 27

2-24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับต่อความของสูงต้นไม้ทั้ง 4 ชนิด..... 28

2-25 ความสัมพันธ์ของระดับพื้นที่ต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นไม้ทั้ง 4 ชนิด .. 29

2-26 พื้นที่ศึกษาบริเวณทะเลสาบเซนต์ลูเซีย..... 29

2-27 พื้นที่ป่าชายเลน 4 แห่งบริเวณแม่น้ำทั่นชุย 30

2-28 พื้นที่ศึกษาอัตราการรอดตาย และการเจริญเติบของโตต้นกล้าโกงกางใบเล็กและโกงกางใบใหญ่ที่มีความเข้มแสงต่างกัน 31

2-29 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นโกงกางใบเล็กที่มีความเข้มแสงต่างกัน 32

2-30 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นโกงกางใบใหญ่ที่มีความเข้มแสงต่างกัน..... 33

2-31 พื้นที่ศึกษาบนชายฝั่งตะวันตกของคาบสมุทรมาเลเซีย..... 33

2-32 การเพิ่มขึ้นของตะกอนหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นนอกฝั่งตั้งแต่มกราคม พ.ศ. 2551 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552..... 34

3-1 กิจกรรมปลูกป่าชายเลนที่ศูนย์อนุรักษ์ป่าชายเลนคลองโคน วันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2559 37

3-2 สัมภาษณ์ผู้มีความรู้ที่ศูนย์อนุรักษ์ปลูกป่าชายเลนคลองโคน วันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2559 37

3-3 การศึกษาข้อมูลในภาคสนามที่สัตหีบ วันที่ 8 ตุลาคม พ.ศ. 2559 37

3-4 บริเวณพื้นที่แหลมญวน..... 38

3-5 รางชลศาสตร์ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 42

3-6 ส่วนประกอบรางจำลองคลื่น 43

3-7 เครื่องกำเนิดคลื่น 44

3-8 ส่วนประกอบของมอเตอร์และคันชักข้อเหวี่ยง..... 45

3-9 ส่วนประกอบของใบพัดสร้างคลื่น..... 45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-10 เครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่งและส่วนประกอบ 46
3-11 เครื่องวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า 46
3-12 ชุดพื้นแปลงทดลองที่ประกอบไปด้วยพื้นเอียงและพื้นเรียบปรับระดับสำหรับปรับความเสถียรคลื่นก่อนเข้าสู่แปลงทดลอง 47
3-13 ชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนในรางน้ำจำลองคลื่น 48
3-14 เหล็กเส้น RB 6 มิลลิเมตร สำหรับทำแปลงทดลอง 49
3-15 เม็ดโฟมซีเบาสำหรับผสมคอนกรีตให้มีน้ำหนักเบา 49
3-16 กระบะสังกะสีพร้อมเสาค้ำยันสำหรับใส่แปลงทดลองคอนกรีต 49
3-17 ท่อพีวีซีสำหรับสร้างช่องปลูกต้นกล้าในแปลงทดลองคอนกรีต 50
3-18 ต้นไม้ที่ใช้ในการทดลอง (ก) ต้นกล้าแสม และ (ข) ต้นกล้าโกงกาง 50
3-19 ผ้าใบสำหรับปิดผิวหน้าแปลงทดลองคอนกรีต 50
3-20 ซิลิโคนสำหรับยึดแผ่นผ้าใบกับผิวหน้าแปลงทดลองคอนกรีต 51
3-21 ลักษณะชุดแปลงทดลองคอนกรีต 51
3-22 กระบะใส่ชุดแปลงทดลองคอนกรีต 52
3-23 การตัดท่อพีวีซีสำหรับใช้ทำแปลงทดลองคอนกรีต 52
3-24 การผูกเหล็กตะแกรงสำหรับเพิ่มความแข็งแรงแปลงทดลองคอนกรีตและช่วยยึดแนวท่อพีวีซี 53
3-25 การตัดไม้แบบสำหรับทำชุดแปลงทดลองคอนกรีต 53
3-26 การผสมคอนกรีตกับเม็ดโฟมซีเบาเพื่อให้ชุดแปลงทดลองคอนกรีตมีน้ำหนักเบา 53
3-27 การเทคอนกรีตทำชุดแปลงทดลองคอนกรีต 54
3-28 ชุดแปลงทดลองสำหรับจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลน 54
3-29 การคัดต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสม 54
3-30 การจัดเรียงต้นกล้าป่าชายเลนแบบสลับฟันปลา 55
3-31 การติดแผ่นผ้าใบที่ผิวหน้าชุดแปลงทดลองคอนกรีต 55
3-32 การผูกต้นกล้าป่าชายเลนเข้ากับแนวเสาค้ำยัน 55
3-33 อ่างน้ำควบคุมสำหรับทดลองกรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำ 56
3-34 ตัวสลายพลังงานคลื่น 57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-35 พื้นเอียงสลายพลังงานคลื่น 57
3-36 ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์การทดลองเรื่องคลื่นในรางน้ำชลศาสตร์ 58
3-37 การติดตั้งชุดพื้นแปลงทดลองในรางจำลองคลื่น 59
3-38 การติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่งแบบเข็มชี้และแบบวัดความสูงคลื่น แบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า 59
3-39 การติดตั้งชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนลงในรางจำลองคลื่น 60
3-40 การปั๊มน้ำเข้ารางจำลองคลื่นและการวัดค่าระดับน้ำนิ่ง 60
3-41 การปรับระยะคันชักข้อเหวี่ยง 61
3-42 การเก็บค่าความสูงคลื่นจากเครื่องมือวัดค่าความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์ 61
3-43 ลักษณะการทดลองกรณีกรณีควบคุมที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำ 63
3-44 การนำต้นกล้าป่าชายเลนออกจากชุดแปลงทดลองไปล้างน้ำ 63
3-45 การแบ่งส่วนต้นกล้าแล้วนำไปอบ 63
3-46 เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำ 64
3-47 ชุดพื้นแปลงทดลองสำหรับติดตั้งในรางน้ำจำลองการไหล 65
3-48 ชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลน 65
3-49 ลักษณะการจัดวางชุดอุปกรณ์การทดลองผลกระทบของกระแสน้ำ 67
3-50 ลักษณะการทดลองผลกระทบของกระแสน้ำ 68
3-51 เก็บข้อมูลความเร็วกระแสน้ำด้วยคอมพิวเตอร์ 68
3-52 กระบะพลาสติกสี่เหลี่ยมสำหรับทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น 70
3-53 ถังเก็บน้ำกลมสำหรับการทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น 70
3-54 กระถางใส่ต้นกล้าป่าชายเลนสำหรับวางในกระบะพลาสติก 71
3-55 อุปกรณ์สำหรับทำระดับพื้นขั้นบันได (ก) อิฐมวลเบา (ข) ถุงทราย และ (ค) กระเบื้องปูพื้นอย่างหนา สำหรับทำขั้นบันได 71
3-56 เหล็กเส้น RB 16 มิลลิเมตร สำหรับรัดรอบกระบะพลาสติกป้องกันการปริแตก 72
3-57 ปั๊มจุ่มน้ำสแตนเลสสำหรับสูบน้ำจากถังเก็บน้ำเข้ากระบะพลาสติก 72
3-58 ลักษณะการทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น 73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-59 การทำระดับขั้นบันใดเพื่อจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนที่ระดับน้ำท่วมต้นต่างกัน 75

3-60 การจัดเรียงต้นกล้าป่าชายเลนในกระบะพลาสติกสำหรับการทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น 75

3-61 การสูบน้ำเข้ากระบะพลาสติกเพื่อจำลองการเกิดน้ำขึ้น-น้ำลง 75

3-62 กระบะพลาสติกสี่เหลี่ยมสำหรับทดลองผลกระทบความเค็มของน้ำ..... 77

3-63 เกลือสมุทรสำหรับผสมทำน้ำเกลือ 78

3-64 เครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบพกพาสำหรับวัดค่าความเค็มของน้ำ 78

3-65 กระถางปลูกต้นกล้าป่าชายเลนสำหรับการทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ 78

3-66 ไม้ลวกสำหรับทำชุดแปลงทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ 79

3-67 สายรัดพลาสติกสำหรับทำชุดแปลงทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ 79

3-68 ลักษณะการทดลองผลกระทบความเค็มของน้ำ 80

3-69 การนำต้นกล้าออกจากถุงชำมาใส่กระถางเพื่อความสะดวกในการทดลอง..... 82

3-70 ลักษณะชุดแปลงทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำสำหรับยกเข้ากระบะพลาสติก 82

3-71 การผสมเกลือให้ได้ค่าความเค็มของน้ำตามต้องการ 82

3-72 การตรวจวัดค่าความเค็มของน้ำด้วยเครื่องมือวัดคุณภาพน้ำ..... 82

3-73 พื้นที่สำหรับวางชุดแปลงทดลองหลังทำการทดลองเสร็จสิ้นในแต่ละวัน 83

4-1 ลักษณะการตายของต้นกล้าป่าชายเลน..... 87

4-2 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta Ø_L$) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น 90

4-3 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta Ø_M$) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น 90

4-4 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น 92

4-5 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น 92

4-6 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น 94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-7 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น 94

4-8 จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น 95

4-9 น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน (B_M) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น 96

4-10 เปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกาง (R_D) กับความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้น ($\frac{H}{h_t}$)..... 98

4-11 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta Ø_L$) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ..... 101

4-12 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta Ø_M$) เนื่องจาก..... ผลกระทบจากกระแสน้ำ..... 103

4-13 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ..... 103

4-14 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ..... 104

4-15 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ..... 105

4-16 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ..... 105

4-17 จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ ... 106

4-18 น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน (B_M) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ ... 107

4-19 เปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกาง (R_D) กับความเร็วกระแสน้ำและเวลาที่ต้นกล้าได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำส่วนด้วยความสูงของลำต้น ($\frac{VT}{h_t}$)..... 108

4-20 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta Ø_L$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน 111

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-21 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta Ø_M$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน 112

4-22 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน 112

4-23 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน 113

4-24 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน 114

4-25 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน 115

4-26 จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน 115

4-27 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta Ø_L$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน 118

4-28 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta Ø_M$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน 118

4-29 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน 120

4-30 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน 120

4-31 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน 122

4-32 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน 122

4-33 จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน 123

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-34 น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน (B_M) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน 123

4-35 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta Ø_L$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน 126

4-36 ลักษณะการขับเกลือทางใบของต้นกล้าป่าชายเลน 127

4-37 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta Ø_M$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน 127

4-38 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน 128

4-39 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน 129

4-40 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน 130

4-41 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน 131

4-42 จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน 131

4-43 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta Ø_L$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน 134

4-44 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta Ø_M$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน 134

4-45 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน 135

4-46 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน 137

4-47 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน 137

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-48 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน 138

4-49 การเปลี่ยนแปลงจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน 139

4-50 น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน (B_M) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน 139

4-51 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกาง (R_D) กับอัตราส่วนค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้ ($\frac{VHT}{Ø_{av} h_t}$) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำเป็นหลัก 143

บทที่ 1
บทนำ

บทนี้อธิบายถึงความเป็นมา และความสำคัญของปัญหาเกี่ยวกับการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนที่ไม่เห็นผล พร้อมทั้งวัตถุประสงค์ของการวิจัยประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย และขอบเขตของการวิจัย

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ป่าชายเลนเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญอย่างมากในด้านระบบนิเวศน์ต่อสิ่งมีชีวิตทั้งมนุษย์ สัตว์ และพืช ด้านเศรษฐกิจป่าชายเลนยังเป็นแหล่งเศรษฐกิจที่สำคัญแห่งหนึ่ง เช่น การท่องเที่ยว การเพาะพันธ์สัตว์น้ำ การทำประมง การทำนากุ้ง เป็นต้น และนอกจากนี้ป่าชายเลนยังทำหน้าที่เป็นเหมือนแนวป้องกันชายฝั่งตามธรรมชาติที่สำคัญที่สามารถช่วยลดผลกระทบทางภัยพิบัติธรรมชาติ และลดการกัดเซาะชายฝั่งด้วยการช่วยสลายพลังงานของคลื่น

ป่าชายเลนมีประโยชน์อย่างมากทั้งประโยชน์ทางตรงและประโยชน์ทางอ้อม ทำให้พื้นที่ป่าชายเลนถูกบุกรุกเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ส่งผลให้พื้นที่ป่าชายเลนที่มีแต่เดิมในอดีตเสื่อมโทรมและลดลงเป็นจำนวนมาก จากปี พ.ศ. 2504 ถึงปี พ.ศ. 2539 พื้นที่ป่าชายเลนลดลงไปถึงประมาณ 55% การลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนนั้นส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์บริเวณชายฝั่ง เศรษฐกิจ รวมไปถึงการกัดเซาะชายฝั่งและความสามารถในการป้องกันภัยธรรมชาติจากลมพายุ และคลื่นของป่าชายเลน ส่งผลให้เริ่มมีนโยบายเพื่อฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนที่สูญเสียไปเกิดขึ้น เช่น การรณรงค์ปลูกป่าชายเลนทดแทน แต่ว่าประสิทธิผลที่ได้จากการฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนนั้นยังมีประสิทธิผลไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งอาจมีสาเหตุจากหลายส่วน ไม่ว่าจากการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนที่ไม่ถูกวิธี หรือจากปัจจัยแวดล้อมตามธรรมชาติ เช่น คลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำ แสง ความเค็ม คุณภาพดิน เป็นต้น ที่ส่งผลให้การฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนไม่มีประสิทธิผล

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีการศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลต่อการเจริญเติบโตต้นไม้ป่าชายเลนอยู่บ้าง แต่การศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวกับทางด้านอุทกพลศาสตร์ เช่น คลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำท่วมต้น และความเค็มของน้ำ ต่อลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลนนั้นยังถือว่ามีอยู่น้อยมาก จึงเป็นที่มาและวัตถุประสงค์ของผู้วิจัยในการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์จำนวน 4 ปัจจัย คือ คลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำท่วมต้น และความเค็มของน้ำ เพื่อตรวจสอบผลกระทบต่อลักษณะทาง

กายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกป่าชายเลน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ ได้แก่ คลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำท่วมต้น และความเค็มของน้ำต่อลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลน ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักมวลชีวภาพ และการตายของต้นกล้า

ขอบเขตของการทำวิจัย

1. ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ที่สนใจ ได้แก่ คลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำท่วมต้น และความเค็มของน้ำ
2. ชนิดของต้นไม้ป่าชายเลนที่สนใจ ได้แก่ ต้นโกงกาง และต้นแสม
3. การศึกษาไม่ครอบคลุมถึงสภาพพื้นดินในพื้นที่จริง
4. สถานที่ทำการศึกษา คือ ห้องปฏิบัติการทางชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน
2. ใช้เป็นข้อมูลในการเลือกพื้นที่สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการปลูกป่าชายเลนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
3. เป็นแนวทางสำหรับคิดค้นวิธีลดผลกระทบจากปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ต่อการปลูกต้นกล้าป่าชายเลน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับป่าชายเลน

ป่าชายเลน (Mangroves forest) เป็นป่าไม้ที่อาศัยและเจริญเติบโตอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำ หรืออ่าวที่มีน้ำทะเลท่วมถึงในช่วงที่น้ำทะเลขึ้นสูงสุดอย่างสม่ำเสมอ โดยป่าชายเลนประกอบด้วยพันธุ์พืช และสัตว์ หลากหลายชนิด ซึ่งพืชส่วนใหญ่ในป่าชายเลนเป็นพันธุ์ไม้โกงกาง (*Rhizophora*) ดังนั้น ป่าชายเลนจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ป่าโกงกาง

1. ลักษณะโครงสร้างป่าชายเลน

ลักษณะโครงสร้างป่าชายเลนส่วนใหญ่เป็นป่าไม้แบบหมู่ไม้เบิกนำ (Pioneer) โดยมีพันธุ์ไม้แสมอยู่บริเวณนอกสุดออกจากชายฝั่งที่มีลักษณะของดินเป็นดินเลนงอกใหม่ และมีพันธุ์ไม้โกงกางอยู่บริเวณถัดเข้ามาในชายฝั่ง แต่ในส่วนพื้นที่มีลักษณะเป็นดินเลนแข็งเป็นเขตของพันธุ์ไม้ถั่ว ตะบูน และพังกาหัวสุม ทั้งนี้ หมู่ไม้เบิกนำเป็นหมู่ไม้ที่มีขนาดลำต้นใกล้เคียงกัน ไม่มีพื้นล่าง (Under growth) มีเรือนยอดเพียงชั้นเดียว และเป็นพันธุ์ไม้ไม่ทนร่มที่ไม่สามารถเจริญเติบโตและมีชีวิตอยู่ได้ในที่ร่ม (สรายุทธ บุณยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554)

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

1.1 เกาะป่าชายเลน (Overwash forest) เป็นเกาะขนาดเล็กที่ป่าชายเลนขึ้นครอบคลุมทั่วทั้งเกาะ เนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นและน้ำลง ทำให้ป่าชายเลนมีน้ำท่วมถึงอย่างสม่ำเสมอ

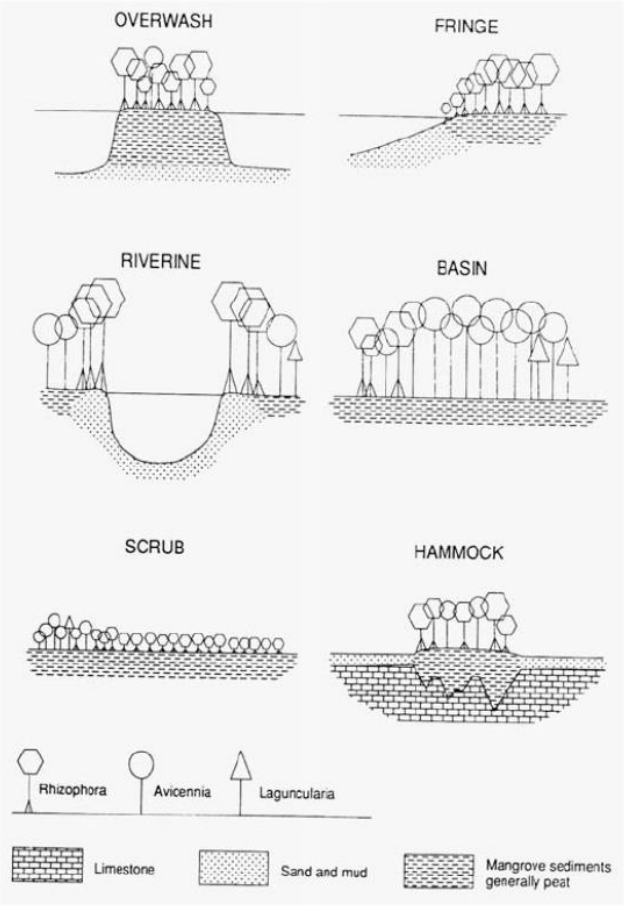
1.2 ป่าชายเลนตามขอบชายฝั่ง (Fringing forest) เป็นป่าชายเลนตามแนวชายฝั่ง และมีน้ำท่วมถึงบ่อยครั้ง เนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นและน้ำลง

1.3 ป่าชายเลนริมฝั่งแม่น้ำ (Riverine forest) เป็นป่าชายเลนที่พบตามร่องน้ำหรือริมฝั่งแม่น้ำ ได้รับน้ำจืดจากต้นน้ำอย่างสม่ำเสมอ เป็นป่าชายเลนที่มีความอุดมสมบูรณ์มาก

1.4 ป่าชายเลนในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Basin forest) เป็นป่าชายเลนที่พบได้ตามพื้นที่ชุ่มน้ำ เช่น บึง ป่าชายเลนในบริเวณนี้ส่วนใหญ่มีลักษณะเตี้ย

1.5 ป่าชายเลนบนโคกในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Hammock forest) เป็นป่าชายเลนที่มีลักษณะคล้ายกับป่าชายเลนในพื้นที่ชุ่มน้ำ แต่ต่างตรงที่พื้นที่ป่าชายเลนจะขึ้นอยู่บนโคกเนินที่สูงกว่าระดับบึง

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



ภาพที่ 2-1 รูปแบบป่าชายเลน (Woodroffe, 1992)

2. การปรับตัวของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน

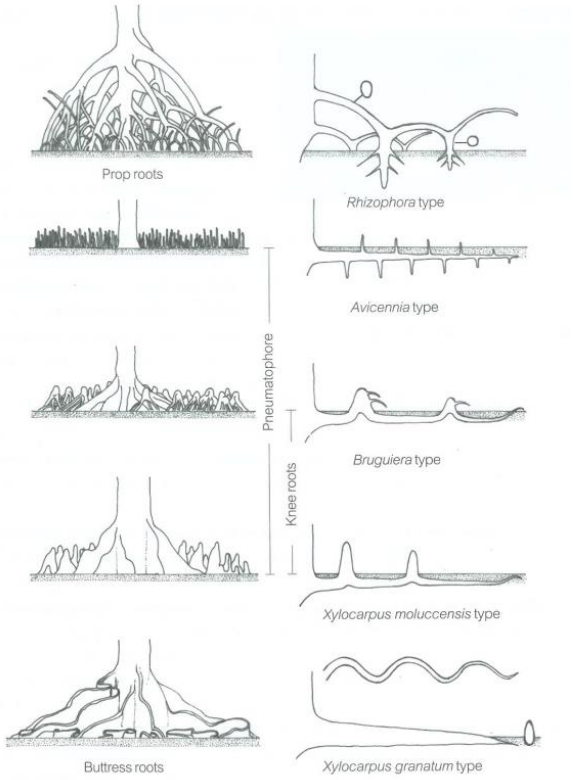
ป่าชายเลนเป็นป่าไม้ที่มีการเจริญเติบโตท่ามกลางสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เช่น ปรากฏการณ์น้ำขึ้นและน้ำลง กระแสน้ำ อุณหภูมิ แร่ธาตุ หรือออกซิเจนในน้ำ ซึ่งสภาพแวดล้อมเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการอยู่รอด และการเจริญเติบโตของต้นไม้ในป่าชายเลนทั้งสิ้น ดังนั้นป่าชายเลนจึงมีการปรับตัวเพื่อให้สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง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

การปรับตัวของป่าชายเลนที่ทำให้สามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำเค็ม โดยมีการจัดการกับปริมาณเกลือที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม 3 กลไก ประกอบด้วย 1) สามารถในการทนต่อปริมาณ

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำเลี้ยง (Sap) สูงกว่าพันธุ์ไม้บก 2) สามารถขับเกลือออกทางใบ (ภาพที่ 2-2) และ 3) รากของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนสามารถหลีกเลี่ยงการดูดเกลือได้ จากกลไกความสามารถในการหลีกเลี่ยงการดูดเกลือและการขับเกลือออกทางใบ สามารถแบ่งพันธุ์ไม้ป่าชายเลนออกเป็น 2 กลุ่มอย่างกว้าง ๆ กลุ่มแรกเป็นกลุ่มพันธุ์ไม้ที่สามารถขับเกลือออกทางใบได้ด้วยต่อมขับเกลือ เมื่อรากดูดน้ำที่มีเกลือเข้ามา เช่น พันธุ์ไม้สกุลแสม (*Avicennia*) พันธุ์ไม้สกุลเล็บมือนาง (*Aegiceras*) และพันธุ์ไม้สกุลเหงือกปลาหมา (*Acanthus*) กลุ่มที่สองเป็นกลุ่มพันธุ์ไม้ที่รากสามารถหลีกเลี่ยงการดูดเกลือได้ ทำให้ปริมาณเกลือที่เข้าไปในต้นน้อย เช่น พันธุ์ไม้สกุลโกงกาง (*Rhizophora*) พันธุ์ไม้สกุลพังกาหัวสุม (*Bruguiera*) พันธุ์ไม้สกุลโปรง (*Ceriops*) และพันธุ์ไม้สกุลลำแพน (*Sonneratia*) (สรายุทธ บุณยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554)

ภาพที่ 2-2 ลักษณะการขับเกลือออกทางใบ

การปรับตัวของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนอย่างชัดเจนประการหนึ่ง คือ มีการพัฒนาระบบรากโดยมีทั้งรากอากาศที่มีลักษณะรูปร่างพิเศษในรูปแบบที่ต่าง ๆ กัน (ภาพที่ 2-3) เพื่อให้สามารถอยู่รอดในสภาพแวดล้อมในป่าชายเลนได้ เช่น สามารถดูดธาตุอาหาร น้ำ และหายใจในดินเลนที่มีออกซิเจนต่ำ และมีรากในการพยุงลำต้นและแผ่กระจายออกไปรอบด้านในระดับตื้น เพื่อให้สามารถดำรงอยู่ในดินเลนซึ่งมีลักษณะเป็นดินอ่อนนุ่มได้ เช่น พันธุ์ไม้แสมเป็นพันธุ์ไม้ที่อาศัยอยู่บริเวณนอกสุดที่เป็นดินเลนเหลว ทำให้มีรากแบบแผ่กว้างรอบด้าน ระดับตื้น และแทงโผล่ขึ้นมาเหนือพื้นดิน ลักษณะเป็นทรงกรวยเรียวเล็ก โดยเรียกรากหายใจของต้นแสมนี้ว่า นิวมาโตฟอร์ (Pneumatophores) และพันธุ์ไม้สกุลโกงกางมีรากลักษณะคล้ายสะพานโค้ง งอกออกจากด้านข้างของลำต้นส่วนล่างและปักในดิน เรียกว่า รากค้ำยัน (Still or prop roots) ส่วนพันธุ์ไม้ในสกุลพังกาหัวสุม (*Bruguiera*) และสกุลโปรง (*Ceriops*) มีระบบรากเป็นแบบแขนงอยู่ใต้ดินและโผล่ขึ้นเหนือดินคล้ายกับรากหายใจนิวมาโตฟอร์ของพันธุ์ไม้แสม แต่มีรูปร่างคล้ายหัวเข่า (Knee roots)



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

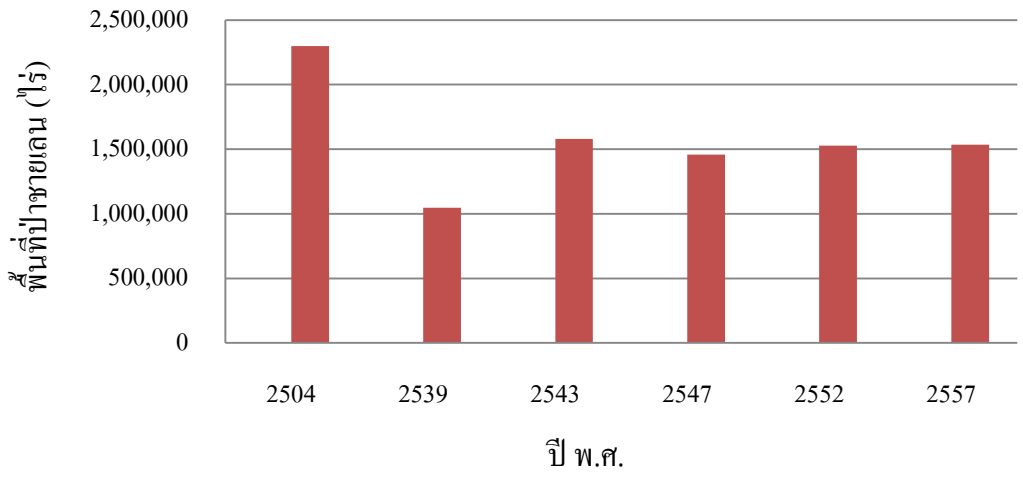
นอกจากนี้ การปรับตัวของป่าชายเลนที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การปรับตัวทางด้านการขยายพันธุ์ เช่น พันธุ์ไม้โกงกางมีการพัฒนาฝักให้งอกตั้งแต่อยู่บนต้นและมีลักษณะเป็นปลายแหลม เพื่อให้สามารถปักลงบนดินเลนได้ง่ายในขณะหล่นจากต้น และพันธุ์ไม้แสมและพันธุ์ไม้ลำแพน มีการพัฒนาเมล็ดที่สามารถลอยน้ำได้และงอกตั้งแต่บนต้น เป็นต้น

3. ประโยชน์ของป่าชายเลน

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

ประโยชน์ทางอ้อมของป่าชายเลนแบบทางอ้อม คือ การช่วยรักษาระแบบนิเวศน์และสมดุลทางธรรมชาติบริเวณชายฝั่งกับแผ่นดินและทะเล ระบบรากของป่าชายเลนสามารถช่วยกรองสิ่งของเสียหรือสิ่งปฏิกูลที่ถูกทิ้งมาจากแหล่งที่อยู่อาศัยให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นก่อนลงสู่ทะเล นอกจากนี้ป่าชายเลนยังมีบทบาทสำคัญในการช่วยลดความรุนแรงหรือสลายพลังงานของคลื่นที่เกิดขึ้นจาก พายุ หรือคลื่นสึนามิได้

การสำรวจพื้นที่ป่ายเลนในประเทศไทยครั้งแต่เริ่มขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2504 พบว่าพื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยมีประมาณ 2,299375 ไร่ ซึ่งต่อมาพื้นที่ป่าชายเลนมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจากการบุกรุกพื้นป่าชายเลนทั้งทำที่อยู่อาศัย 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 แต่พื้นที่ป่าชายเลนกับเพิ่มขึ้นแค่เพียงช่วงแรกเท่านั้น โดยหลังจากปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2557 พื้นที่ป่าชายเลนมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าการฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนไม่มีประสิทธิผลเท่าที่ควร ดังแสดงในภาพที่ 2-4 (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2558) การปลูกป่าชายเลนที่ไม่มีประสิทธิผลอาจเป็นเพราะปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัย อาทิเช่น คลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำ รวมไปถึงการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนที่ผิดวิธี



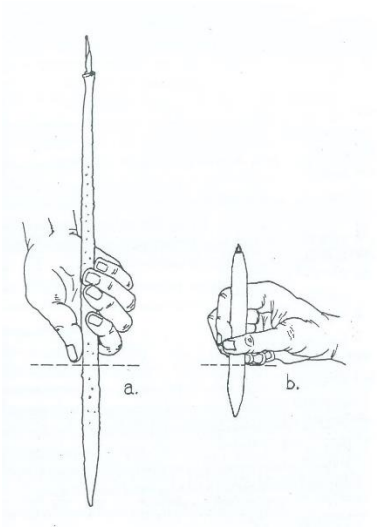
ภาพที่ 2-4 พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทย พ.ศ. 2504-2557 (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2558)

4. การปลูกป่าชายเลน

พันธุ์ไม้ป่าชายเลนเป็นพันธุ์ไม้ที่มีการปรับตัวด้านการขยายพันธุ์ เพื่อให้สามารถอยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมของป่าชายเลน โดยการขยายพันธุ์หลากหลายรูปแบบ บางชนิดขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด บางชนิดขยายพันธุ์ด้วยผล และบางชนิดขยายพันธุ์ด้วยฝัก ดังนั้นหากต้องฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนด้วยการปลูกป่าชายเลน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการศึกษาการปลูกป่าชายเลน เพื่อให้มีประสิทธิผลในการปลูกป่าชายเลนมากยิ่งขึ้น

การปลูกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนโดยการใช้ฝัก พันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ใช้ฝักในการขยายพันธุ์สามารถนำฝักไปปลูกในพื้นที่เลย ได้แก่ โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) รังกะแท้ (*Kandelia candel*) โปรงแดง (*Ceriops tagal*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) พังกาหัวสุมดอกขาว (*Bruguiera sexangula*) ถั่วขาว (*Bruguiera cylindrica*) เป็นต้น โดยแต่ละพันธุ์ไม้จะมีความยาวฝักไม่เท่ากัน สำหรับพันธุ์ไม้ที่มีขนาดฝักยาว เช่น โกงกางใบใหญ่ โกงกางใบเล็ก และโปรงแดง โดยการปลูกให้จับฝักห่างจากโคนประมาณหนึ่งส่วนสามของความยาวฝัก ใช้วิธีการจับแบบคว่ำมือให้นิ้วหัวแม่มือชี้ไปทางโคนฝัก จากนั้นปักลงดินเป็นแนวดิ่งให้นิ้วหัวแม่มือสัมผัสกับดิน สำหรับพันธุ์ที่มีขนาดฝักสั้น เช่น พังกาหัวสุมดอกขาว พังกาหัวสุมดอกแดง ถั่วขาว และโปรงแดง ใช้วิธีจับฝักห่างจากโคนหนึ่งในสามส่วนเช่นเดียวกับแบบฝักยาว แต่ลักษณะการจับแตกต่างกัน โดยแบบฝักสั้นใช้วิธีการจับแบบจับปากกา แล้วปักลึกลงไปประมาณหนึ่งในสามส่วนของความยาวฝักเช่นเดียวกับแบบฝักยาว (ภาพที่ 2-5) หากในพื้นที่ที่ปลูกมีลักษณะเป็นดินแข็งหรือดินปนทรายแน่น ควรนำร่องด้วยไม้หรืออะไรก็ได้ที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือใกล้เคียงกับฝัก เพื่อลดการเสียดสีและการกระทบกระเทือนระหว่างฝักกับผิวดิน และเพื่อป้องกันการโยกโคนของฝัก จากแรงกระทำของคลื่นหรือลม ควรกดดินบริเวณรอบโคนหลุมให้แน่นหลังจากนำฝักลงหลุมเรียบร้อย

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



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

การเพาะชำต้นกล้าป่าชายเลนก่อนนำไปปลูกในพื้นที่จริง เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เนื่องจากการเพาะชำต้นกล้าก่อนไปปลูกมีโอกาสรอดตายมากกว่าการปลูกด้วยเมล็ดหรือฝักที่ไม่ได้เพาะชำ อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการถูกทำลายจากลิงแสมหรือปูแสมได้ สนิท อักษรแก้ว, สนใจ หะวานนท์ และชาตรี มากนวล (2539) มีเทคนิคการเพาะชำต้นกล้าพันธุ์ไม้ป่าชายเลนนั้นจะเพาะชำในโรงเพาะชำที่มีตาข่ายพรางแสงประมาณ 50% ถึง 70% ใช้ดินเลนผสมกับแกลบเผาโดยตัวแกลบเผาช่วยเก็บความชื้นในดินไว้ได้นานขึ้น หรือทรายผสมดินเลนหรือใช้ทรายล้วนก็ได้ การรดน้ำให้ใช้น้ำกร่อยรดอย่างสม่ำเสมอหรือทำแปลงเพาะชำใกล้กับบริเวณที่มีน้ำทะเลท่วมถึง การเพาะชำต้นกล้าด้วยฝักควรเลือกฝักที่เหมาะสมในการเพาะชำ เช่น ฝักของโกงกางควรเป็นฝักที่แก่จัดใกล้แตกใบอ่อน และต้องเป็นฝักที่สมบูรณ์ไม่ได้ถูกรบกวนจากแมลงหรือมอดเจาะ การเพาะชำต้นกล้าจากเมล็ดส่วนใหญ่ใช้เมล็ดแก่ที่หล่นจากต้นและเลือกเมล็ดที่สมบูรณ์มาเพาะชำ

5. ปัจจัยแวดล้อมในป่าชายเลน

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

ดินป่าชายเลนส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่ไหลมาจากแหล่งที่มาต่าง ๆ เช่น จากแม่น้ำ หรือแผ่นดิน ลักษณะของดินที่มาทับถมบริเวณชายฝั่งและป่าชายเลนนั้นจะมี

ลักษณะแตกต่างกัน ตามแหล่งกำเนิดของตะกอนนั้น ๆ เช่น ถ้าตะกอนมาจากแม่น้ำลำคลองอาจจะเป็นดินโคลนละเอียด หรือดินที่มาจากชายฝั่งอาจจะเป็นทรายส่วนมาก นอกจากนี้ดินยังเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโต ชนิด และการกระจายของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน ซึ่งดินในป่าชายเลนส่วนใหญ่มักมีลักษณะเป็นดินที่มีการระบายน้ำต่ำ เค็ม และ มีออกซิเจนต่ำ

ความเค็มของน้ำ (Water salinity) และความเค็มของน้ำในดิน (Soil water salinity) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การรอดตาย และการกระจายของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน พันธุ์ไม้ป่าชายเลนสามารถแบ่งกลุ่มตามความทนทานต่อความเค็มได้ 2 กลุ่ม กลุ่มแรก เป็นกลุ่มพันธุ์ไม้ที่มีช่วงความทนทานต่อความเค็มกว้าง (0 ถึง 80‰) เช่น โกงกางทะเล (*Rhizophora stylosa*) และกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มพันธุ์ไม้ที่มีช่วงทนทานต่อความเค็มแคบ (<40‰) เช่น โกงกางใบใหญ่ พังกาหัวสุม ดอกขาว ลำพู ตะบูนขาว และฝาดดอกแดง เป็นต้น แต่พันธุ์ไม้ป่าชายเลนบางชนิด เช่น พังกาหัวสุม ดอกขาว จำกัดการกระจายในพื้นที่มีความเค็มต่ำกว่า 33‰ พันธุ์ไม้ป่าชายเลนส่วนใหญ่สามารถอยู่ในที่มีความเค็มสูงกว่าความเค็มเฉลี่ยในรอบปีเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ (สรายุทธ บุณยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554)

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

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

ปัจจัยแวดล้อมเนื่องจากคลื่น และกระแสน้ำ คลื่นและกระแสน้ำเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้าง และกิจกรรมในระบบนิเวศป่าชายเลน เช่น การกัดเซาะพื้นที่ชายฝั่งเนื่องจากคลื่นที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่อาศัยของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน การช่วยแพร่กระจายของพันธุ์ไม้และการช่วยพัดพาธาตุอาหารจากป่าชายเลนออกสู่ชายฝั่งทะเลของกระแสน้ำ เป็นต้น นอกจากนี้จากการไปศึกษาและสัมภาษณ์ผู้มีความรู้ในพื้นที่ป่าชายเลน ผู้วิจัยพบว่า คลื่น กระแสน้ำ และระดับน้ำนอกจากมีผลต่อการกัดเซาะดินบริเวณชายฝั่ง การพัดพาธาตุอาหาร การแพร่กระจายของพันธุ์ไม้ และการตกตะกอนบริเวณชายฝั่ง ยังส่งผลในเรื่องของการเจริญเติบโตของต้นกล้าป่าชายเลนไม่มากก็น้อย ซึ่งในการศึกษาที่เกี่ยวกับผลกระทบของคลื่น กระแสน้ำ และระดับน้ำท่วมต้นที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตหรือการตายของต้นกล้าป่าชายเลนในปัจจุบันนั้นมีข้อมูลอยู่ไม่มาก ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาผลกระทบของคลื่น กระแสน้ำ และระดับน้ำท่วมต้นต่อลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลน เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาการปลูกป่าชายเลนให้มีประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น

ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์

ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการตายหรือการเจริญเติบโตของต้นกล้าป่าชายเลน ปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ที่สนใจในงานวิจัยนี้ คือ น้ำขึ้นและน้ำลง คลื่น และกระแสน้ำ (สุวัจน์ ธัญรส, 2550)

1. น้ำขึ้นและน้ำลง (Tide)

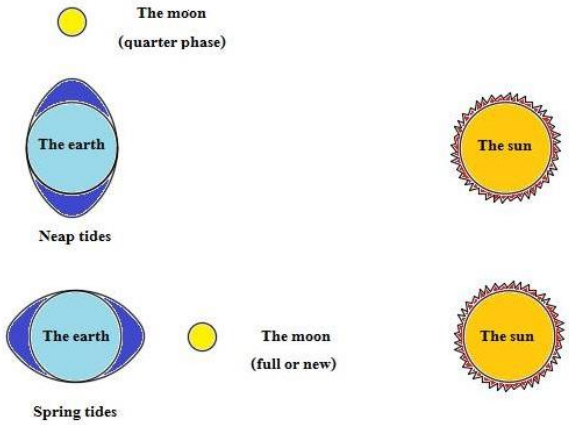
น้ำขึ้นและน้ำลงเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติ ที่เกิดจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์และแรงดึงดูดของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อโลก ส่งผลให้ระดับน้ำทะเลมีการเพิ่มขึ้นและลดลง ดวงจันทร์เป็นตัวการที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปรากฏการณ์น้ำขึ้นและน้ำลงอย่างมาก โดยดวงจันทร์จะกระทำแรงดึงดูดต่อโลกในขณะที่โคจรรอบ ๆ แรงที่ดวงจันทร์กระทำต่อโลกมีอยู่ด้วยกัน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

ระยะความสูงระหว่างน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุดจะแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ทั่วโลก ซึ่งได้แบ่งรูปแบบการขึ้นลงของน้ำออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่

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

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

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



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

2. คลื่น (Wave)

คลื่นเกิดจากแรงสร้าง (Generating force) และแรงกู้กลับ (Restoring force) กระทำต่อผิวน้ำ แรงสร้างเป็นแรงกระทำที่เกิดจากกระแสลมพัด วัตถุที่เคลื่อนที่ลงในน้ำ ภูเขาไฟระเบิด และแผ่นดินไหวใต้ทะเล เป็นต้น แรงเหล่านี้จะทำให้เกิดคลื่นบนผิวน้ำจากนั้นก็จะเคลื่อนที่ออกไปจากจุดเดิม ส่วนแรงกู้กลับที่กระทำให้เกิดคลื่นในน้ำเกิดจากความแตกต่างกันของแรงตึงผิว (Surface tension) และความถ่วงจำเพาะ(Gravity) คลื่นที่เกิดขึ้นในน้ำส่วนใหญ่เกิดจากแรงสร้าง คือ ลมพัดเหนือผิวน้ำ การสัมผัสกันระหว่างกระแสลมกับผิวน้ำทำให้เกิดคลื่นที่เรียกว่า ชิปเปิลส์ (Ripples) หรือ คาปิลลารี่ เวฟ (Capillary wave) และมีแรงกู้กลับเป็นตัวเสริม คือ แรงตึงผิว พื้นที่ขนาดเล็กของคาปิลลารี่ เวฟสามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งบนผิวน้ำได้อย่างรวดเร็ว เมื่อมี

พลังงานถูกถ่ายทอดลงสู่มวลน้ำมากคลื่นก็ยังมีขนาดใหญ่ขึ้น ผิวน้ำก็มีความปั่นป่วนมากขึ้น คลื่นประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ (ภาพที่ 2-7)

2.1 จุดสูงสุดของคลื่น เรียกว่า ยอดคลื่น (Crest)

2.2 จุดต่ำสุดของคลื่น เรียกว่า ท้องคลื่น (Trough)

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

2.4 ระยะทางในแนวดิ่งจากยอดคลื่นถึงท้องคลื่น เรียก ความสูงคลื่น (Wave height; H)

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

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

$$C=LT$$

2.7 ระยะทางในแนวดิ่งระหว่างยอดคลื่น หรือท้องคลื่นถึงจุด Equilibrium surface เรียกว่า Wave amplitude (a) หรือมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความสูงคลื่น (Wave height)

$$a=H/2$$

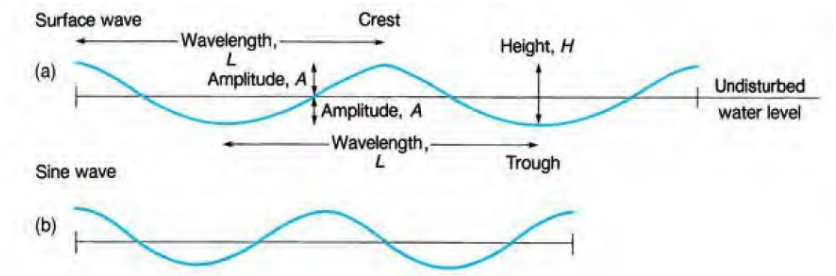
2.8 จำนวนความยาวคลื่น (Wavelength) ผ่านจุดที่กำหนดต่อหน่วยเวลา เรียกว่า ความถี่ของคลื่น (Wave frequency; W) ความถี่ของคลื่นจะวัดเป็น รอบ/วินาที

$$W=2\pi/T$$

2.9 อนุภาคน้ำ (Partical) จะเคลื่อนที่หมุนเป็นวงกลมตามผิวน้ำ ด้วยความเร็ว เรียกว่า Velocity (V)

2.10 ความชัน (Stepness; S) เป็นอัตราส่วนระหว่างความสูงคลื่นกับความยาวคลื่น

$$S=\pi H/L$$



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

3. กระแสน้ำ (Current)

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

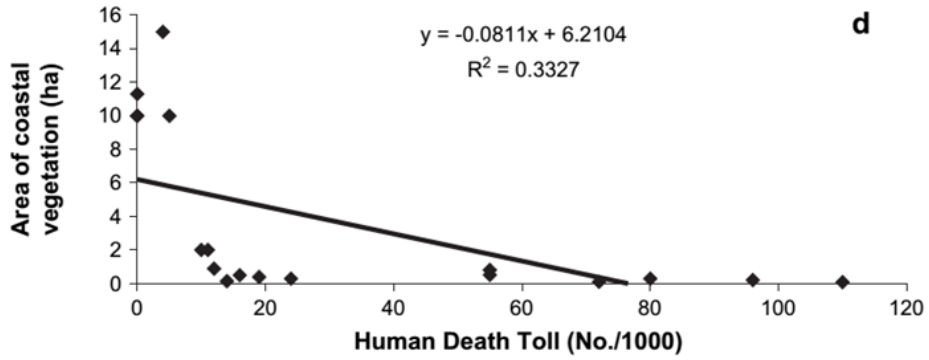
การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้ได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับป่าชายเลนในหลายส่วน ๆ ด้วยกันไม่ว่าจะเป็นเรื่องผลกระทบจากคลื่นสึนามิ การป้องกันคลื่นหรือการลดทอนคลื่นมีทั้งในส่วนของงานวิจัยในห้องปฏิบัติการ แบบจำลองและภาคสนาม รวมไปถึงปัจจัยที่มีผลต่อการอยู่รอดหรือรอดตายการเจริญเติบโตของป่าชายเลน เช่น แสง ระดับน้ำทะเล ความเค็ม เป็นต้น

1. งานวิจัยเรื่องการลดทอนคลื่นในป่าชายเลน

พื้นที่ป่าชายเลนในปัจจุบันนั้นเมื่อเทียบกับอดีตมีการลดลงเป็นอย่างมาก สาเหตุของการลดลงของป่าชายเลนนั้นมีด้วยกันหลายสาเหตุไม่ว่าจะเป็นด้วยฝีมือของมนุษย์ เช่น การบุกรุกทำลายป่า การทำนาเกลือ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นต้น การลดลงเนื่องจากธรรมชาติ เช่น ภัยแล้ง พายุ หรือสึนามิ ในปี พ.ศ. 2547 ได้เกิดคลื่นสึนามิขึ้นในมหาสมุทรอินเดียสร้างความเสียหายต่อทรัพย์สินและประชาชนเป็นอย่างมาก นอกจากนี้พื้นที่ป่าชายเลนเองก็ถูกทำลายไปจำนวนมากด้วยเช่นกัน คณะวิจัยของ Yanakisawa et al. (2009) ได้ศึกษาผลกระทบจากคลื่นสึนามิในมหาสมุทรอินเดียต่อป่าชายเลน บริเวณแหลมปะการังจังหวัดพังงาประเทศไทยปี พ.ศ. 2547 โดยได้ทำการเปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศทั้งก่อน และหลังเกิดคลื่นสึนามิพบว่า 70% ของป่าชายเลนถูกทำลายโดย

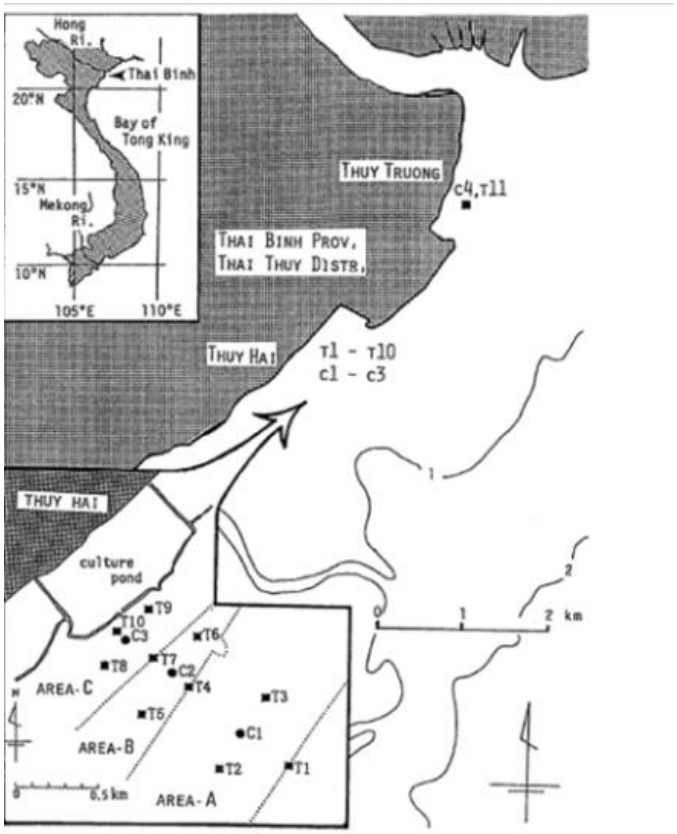
คลื่นสึนามิ การสำรวจภาคสนามพบว่า อัตราการรอดตายของป่าชายเลนเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของลำต้นเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 72% ของต้นโกงกางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ถึง 30 เซนติเมตร รอดตายจากคลื่นสึนามิ ในขณะที่ต้นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ถึง 20 เซนติเมตร รอดตายเพียง 19% และได้จำลองคลื่นสึนามิโดยใช้ทฤษฎีคลื่นน้ำตื้นแบบไม่สม่ำเสมอเพื่อจำลองเหตุการณ์คลื่นสึนามิการเกิดน้ำท่วมที่ไหลเข้าไปในแผ่นดิน เพื่อศึกษาโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อต้นโกงกาง ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บ่งบอกว่า คลื่นสึนามิท่วมพื้นที่ตามแนวอ่าวที่มีต้นโกงกางมีความเร็วกระแสน้ำมากถึง 5 เมตรต่อวินาที แบบจำลองยังแสดงให้เห็นว่า ป่าชายเลนที่เป็นต้นโกงกางด้วยความหนาแน่น 0.2 ต้นต่อตารางเมตร ความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 15 เซนติเมตร และความกว้างของป่าชายเลน 400 เมตร สามารถลดการท่วมจากระดับความลึกของคลื่นสึนามิที่ 3 เมตรได้ 30% แต่ 50% ของต้นไม้ป่าชายเลนถูกทำลายด้วยคลื่นสึนามิที่มีระดับความลึกตั้งแต่ 4.5 เมตร และเกือบทั้งหมดของป่าชายเลนถูกทำลายโดยระดับความลึกของคลื่นสึนามิที่เกิน 6 เมตร นอกจากนี้ยังมีกลุ่มนักวิจัย Kathiresan and Rajendran (2005) ได้ศึกษาจำนวนผู้เสียชีวิตของผู้คนในชุมชนตามแนวชายฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศอินเดียที่ได้รับผลจากคลื่นสึนามิ ซึ่งเกิดจากแผ่นดินไหวใต้ทะเลขนาดใหญ่วัดได้ 9.3 ริกเตอร์ ทำให้มวลน้ำขนาดใหญ่ของมหาสมุทรอินเดียเคลื่อนที่ทำให้เกิดคลื่นแพร่กระจายไปในทุกทิศทาง โดยคลื่นเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 800 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และคลื่นขนาดมหึมานี้ได้คร่าชีวิตผู้คนไปมากกว่า 200,000 คน และส่งผลให้เกิดการสูญเสียเงินกว่า 6 พันล้านดอลลาร์สหรัฐใน 13 ประเทศ โดยผู้ทำการวิจัยได้ทำการศึกษาในระยะทางประมาณ 25 กิโลเมตรตามแนวชายฝั่งที่เมืองพารางจิเพตไต (Parangipettai) จังหวัดทามิลนาดู (Tamil Nadu) ประเทศอินเดีย ซึ่งประกอบไปด้วย ชุมชนชาวประมงทั้งหมด 18 หมู่บ้าน โดยพื้นที่ตั้งส่วนใหญ่ของชุมชนอยู่ห่างจากแนวชายฝั่งในช่วง 0.1 ถึง 2.5 กิโลเมตร และค่าระดับของพื้นดินบริเวณชุมชนเหล่านี้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 4 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผล



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

ภาพที่ 2-8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณชายฝั่งมีมากขึ้นยอดผู้เสียชีวิตก็จะลดลง กล่าวได้ว่าพื้นที่ป่าชายเลนเป็นเหมือนกับเกราะกำบังคลื่น และมีบทบาทสำคัญในการช่วยปกป้องทั้งชีวิตและทรัพย์สิน จากการทบทวนงานวิจัยทำให้เห็นว่าป่าชายเลนนั้นนอกจากจะเป็นระบบนิเวศน์ที่สำคัญต่อพื้นที่ชายฝั่งแล้วยังสามารถช่วยป้องกันหรือลดทอนคลื่นและความเสียหายจากภัยธรรมชาติได้อีกด้วยส่งผลให้ผู้คนเริ่มเห็นบทบาทและประโยชน์ของป่าชายเลนมากยิ่งขึ้นและเริ่มสนใจศึกษาความสามารถในการป้องกันหรือลดทอนคลื่นของป่าชายเลนมากขึ้น Liu, Zhang, Li and Xie (2013) ได้ศึกษาความอ่อนไหวของป่าชายเลนในการลดทอนคลื่นพายุซัดฝั่ง (Storm surge) และภาวะน้ำท่วมชายฝั่งจากลักษณะพายุทางใต้ของรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา การศึกษานี้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการเปลี่ยนลักษณะความรุนแรงของพายุ เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ ความเร็วลม และทิศทางการเคลื่อนที่ของพายุ จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลในภาคสนาม ซึ่งผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าป่าชายเลนมีผลต่อการลดระดับน้ำท่วมบนฝั่งของพายุที่เคลื่อนที่เร็วและมีขนาดเล็กได้ดีกว่าพายุที่เคลื่อนที่ช้า และมีขนาดใหญ่

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



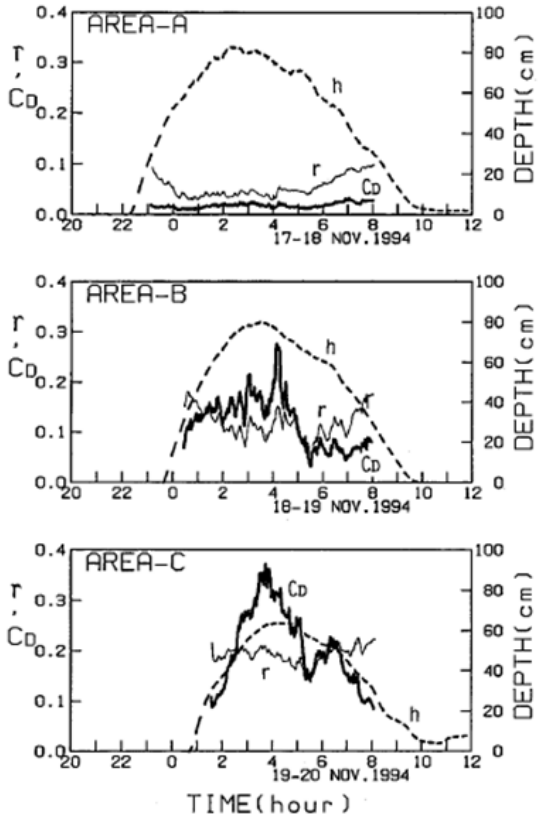
ภาพที่ 2-9 พื้นที่ชายฝั่งทวีฮายและทวีจวง (Mazda et al., 1997)

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

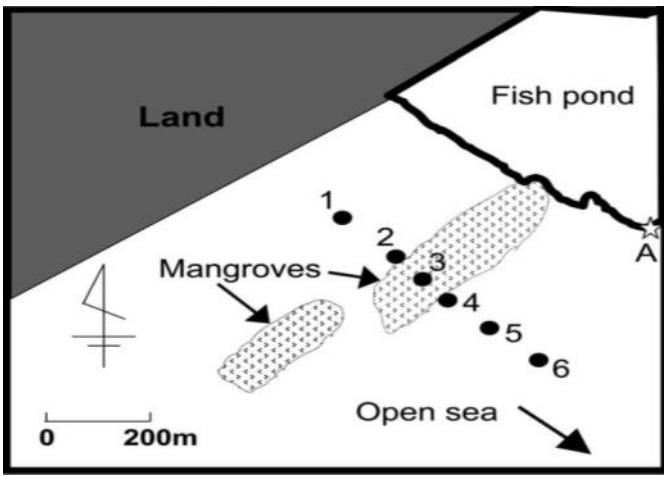
นอกจากนี้ Mazda, Magi, Ikeda, Kurokawa and Asano (2006). ก็ได้ศึกษาการลดทอนคลื่นของต้นลำพู (*Sonneratia sp.*) ที่บริเวณชายฝั่งเวียนฮาง (Vinh Quang) ทางตอนเหนือของเวียดนามเพื่อรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณทางกายภาพของต้นลำพูในการลดทอนคลื่น ทำการศึกษาในช่วงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูมรสุมของเวียดนามโดยทำการติดตั้งเครื่องวัดคลื่น 6 สถานี (ภาพที่ 2-11) เพื่อจดบันทึกค่าความสูงของระดับน้ำ (h) ผู้วิจัยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ การลดทอนคลื่นเนื่องจากต้นไม้ป่าชายเลน และสองการลดทอนคลื่นบริเวณที่ไม่

มีป่าชายเลน ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่ไม่มีป่าชายเลนการลดทอนคลื่นเกินจากแรงต้านของพื้น (Bottom friction) โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (C_D) เท่านั้น ส่วนในพื้นที่มีป่าชายเลนต้นลำพูสามารถลดทอนคลื่นได้สองส่วน คือ ส่วนที่เป็นรากหายใจ (Pneumatophores) และส่วนที่เป็นก้านและใบ (ที่ความสูง 0.6 เมตร) ของต้นลำพู (ภาพที่ 2-12) ซึ่งอัตราการลดทอนคลื่น (r) หาได้จากสมการที่ 2-1

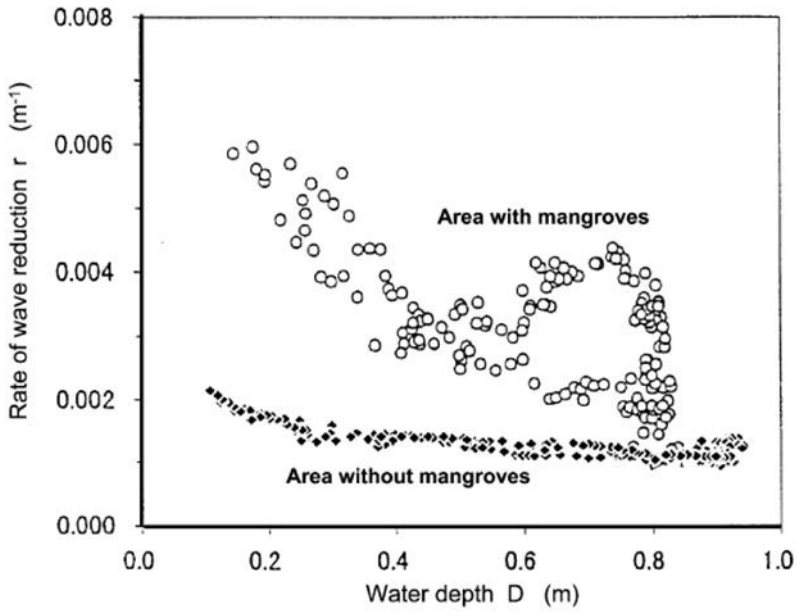
$$r = -\frac{\Delta X}{H}\frac{1}{\Delta X} \tag{2-1}$$



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



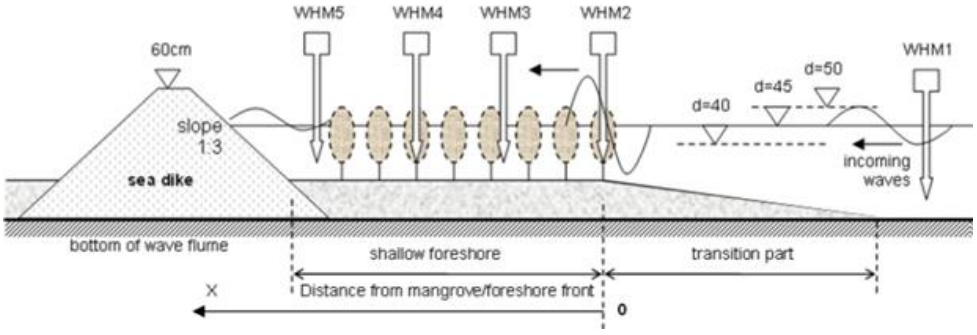
ภาพที่ 2-11 สถานที่ทำการศึกษาบริเวณชายฝั่งเวียนฮาง (Mazda et al. 2006)



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

ในส่วนการศึกษาการลดทอนคลื่นในห้องปฏิบัติการ Tuyen and Hung (2009) ได้ศึกษาการลดทอนคลื่นในห้องปฏิบัติการโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่มีการย่อมาตราส่วนลง (ภาพที่ 2-13) จากข้อมูลการสำรวจในภาคสนามจริงที่ประเทศเวียดนาม ผู้วิจัยได้กำหนดค่าต่าง ๆ

ที่ใช้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดทอนคลื่น คือ ความลึกของน้ำ (Water depth) เท่ากับ 40 45 และ 50 เซนติเมตร ความยาวของด้านหน้าชายฝั่ง (Fore shore) เท่ากับ 3 และ 6 เมตร ความสูงของคลื่นเท่ากับ 5 10 12.5 15 และ 17.5 เซนติเมตร และความหนาแน่นของต้นลำพู (*Sonneratia*) ที่อายุ 2 ปี ความหนาแน่นของต้นลำพูมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบหนาแน่นมาก 20 x 10 เซนติเมตร และแบบหนาแน่นน้อย 20 x 20 เซนติเมตร รายละเอียดการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 2-14



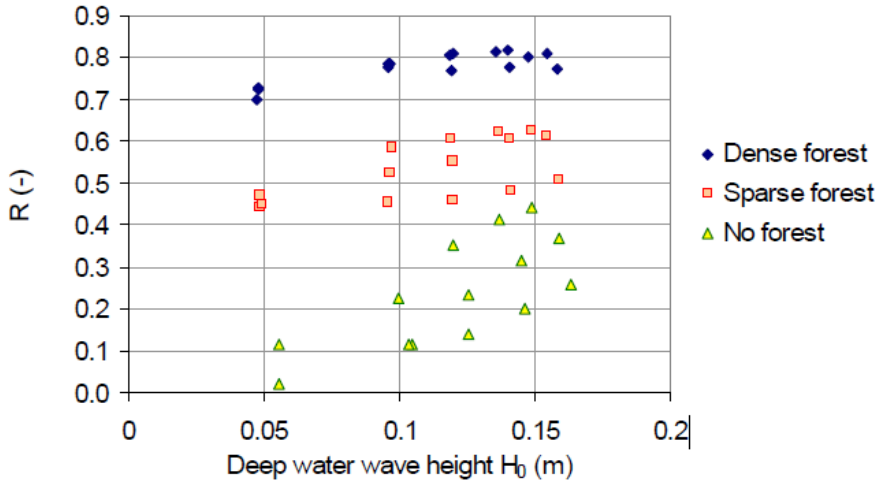
ภาพที่ 2-13 แบบจำลองทางกายภาพที่ใช้ในการศึกษา (Tuyen & Hung, 2009)

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

ภาพที่ 2-14 รายละเอียดการศึกษาของ Tuyen and Hung (2009)

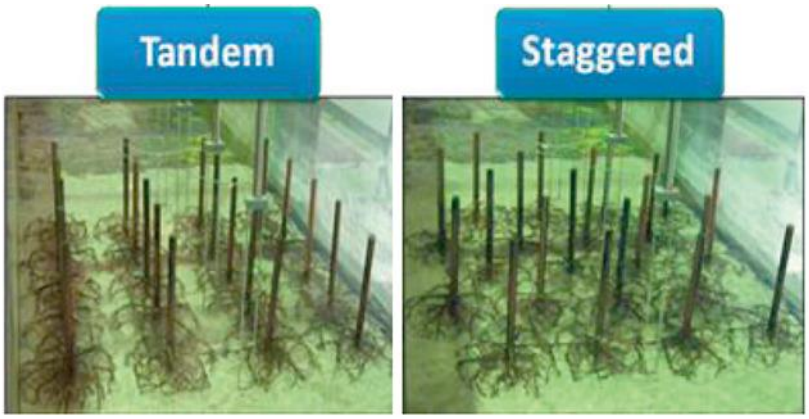
ผลการศึกษาการลดทอนคลื่นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ พบว่าปัจจัยในด้านความหนาแน่นของป่าชายเลนมีผลต่อการลดทอนคลื่นมากที่สุด โดยสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ในการลดทอนคลื่น (R) ได้จากสมการ $R = (H_0–H_i)/H_0$ ป่าชายเลนที่มีความหนาแน่นมากมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน

คลื่น 0.7 ถึง 0.8 ส่วนป่าชายเลนที่มีความหนาแน่นน้อยมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น 0.3 ถึง 0.55 และในส่วนของพื้นที่ไม่มีป่าชายเลนเป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นที่ได้จากปัจจัยทางด้านพื้นที่ด้านหน้าชายฝั่งอย่างเดียว มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นอยู่ที่ 0.4 (ภาพที่ 2-15)



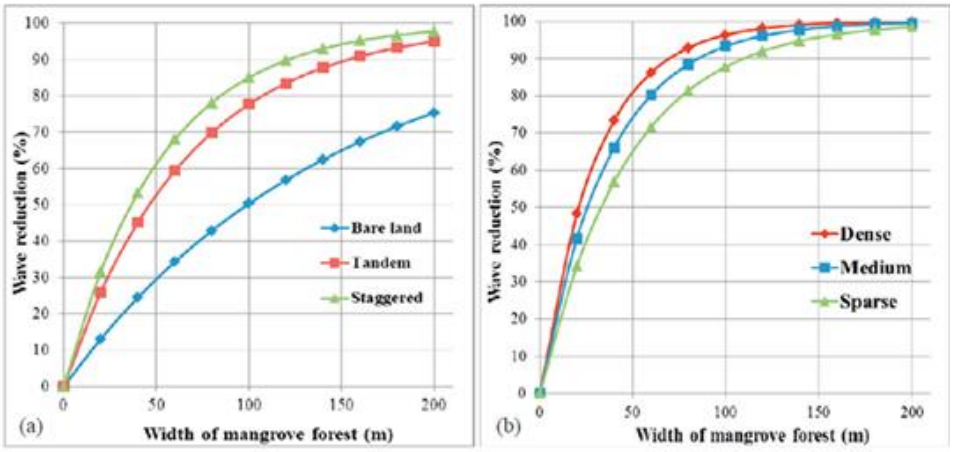
ภาพที่ 2-15 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงคลื่นกับสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น (R)
(Tuyen & Hung, 2009)

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



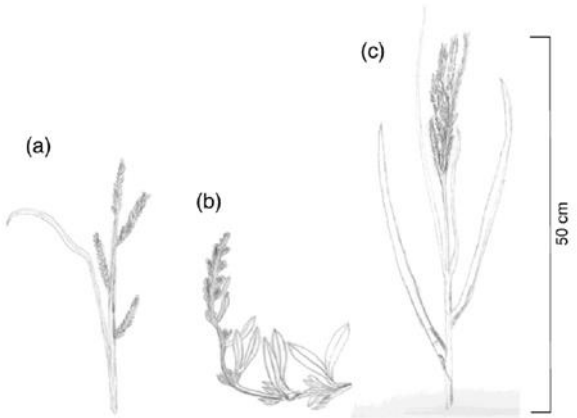
ภาพที่ 2-16 การจัดเรียงต้นโกงกางจำลองแบบแนวเดียวกัน (Tandem) และแบบเหลื่อมกัน (Staggersd) (Hashim & Catherine, 2013)

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



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

จากการศึกษาการลดทอนคลื่นไม่ว่าจะเป็นการศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในสนาม หรือในห้องปฏิบัติการ คุณสมบัติของต้นไม้นั้นมีผลต่อการลดทอนคลื่นไม่ทางตรงก็ทางอ้อม คณะวิจัยของ Feagin et al. (2011) ได้มีการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยนำตัวอย่างพืช 3 ชนิด มาจากประเทศอังกฤษ และสหรัฐอเมริกา พืชสองชนิดแรก ได้แก่ สปาทิมา มาริทิมา (Spartima maritima) และ อาทิเพลค พอทูลาคอย (Atriplex portulacoides) ได้รับตัวอย่างมาจากประเทศอังกฤษ ส่วนชนิดที่สาม สปาทิน่า อัลเทอนิฟอร่า (Spartina alterniflora) ได้รับตัวอย่างมาจากประเทศสหรัฐอเมริกา (ภาพที่ 2-18)



ภาพที่ 2-18 ต้นไม้ที่ใช้ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพืช (a) ต้นสปาทิมา มาริมา (b) ต้นอาทิเพลค พอทูลาคอย (c) ต้นสปาทิน่า อัลเทอนิฟอร่า (Feagin et al., 2011)

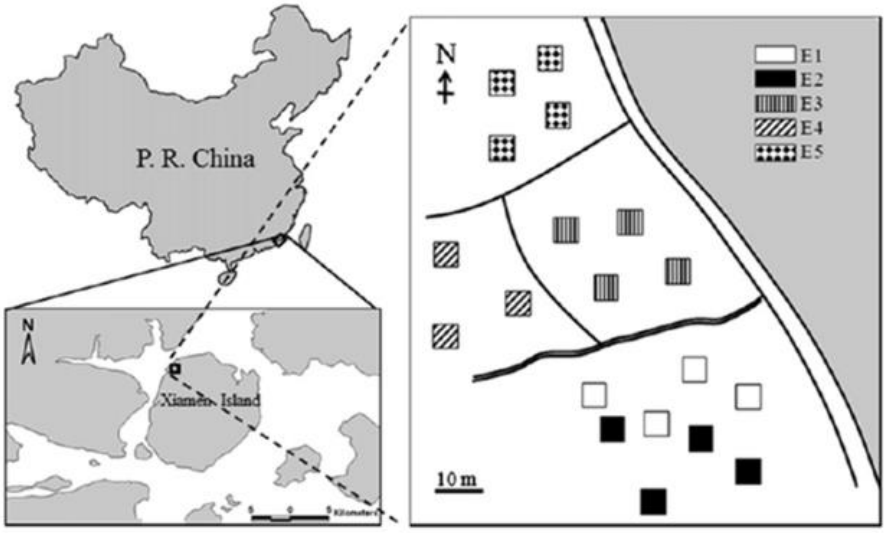
จากการศึกษาของ Feagin et al. (2011) พบว่า คุณสมบัติทางวิศวกรรม ได้แก่ มวลความหนาแน่น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ระยะห่างของลำต้น ค่ามอดูลัสของยัง และค่าการโก่งตัวของพืช คุณสมบัติเหล่านี้มีผลต่อการลดทอนคลื่นในพื้นที่ชุ่มน้ำ และเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดลักษณะของพืชเหล่านี้ในการศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการศึกษาในห้องปฏิบัติการต่อไป

2. งานวิจัยเรื่องปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของป่าชายเลน

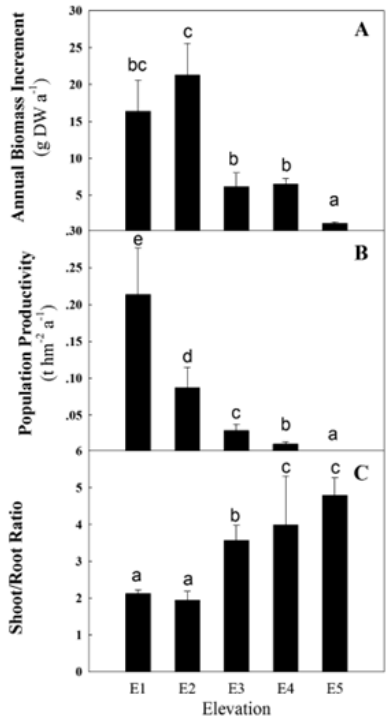
Lu, Chen, Wang, Tam and Lin (2013) ได้ศึกษาผลกระทบของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อลักษณะโครงสร้าง และการเจริญเติบโตของต้นแสมทะเล (*Avicennia marina*) โดยศึกษาทั้งในภาคสนาม และห้องทดลองกลางแจ้งที่เกาะเซียเมิน (Xiamen island) ประเทศจีน ในภาคสนามได้สำรวจ 5 พื้นที่ที่มีค่าระดับ 105 95 65 55 และ 45 เซนติเมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางจากที่สูงไปที่ต่ำ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

ดีกว่าพื้นที่ต่ำ ซึ่งเห็นได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับแต่ละพื้นที่กับจำนวนต้นไม้ที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (ภาพที่ 2-20 (B))

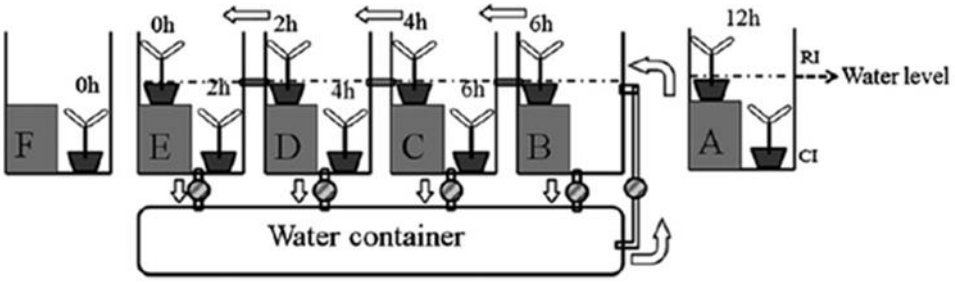
การศึกษาผลกระทบของความลึกน้ำต่อการเจริญเติบโตของต้นแสมทะเลในห้องปฏิบัติการกลางแจ้งด้วยแท็งก์น้ำ ทำการศึกษาโดยแบ่งความลึกน้ำออกเป็น 2 ส่วน คือ ความลึกน้ำท่วมราก และความลึกน้ำท่วมต้น แบ่งคาบในการจมน้ำออกเป็น 5 คาบ คือ 0 2 4 6 และ 12 ชั่วโมง (ภาพที่ 2-21) ทำการศึกษาเป็นเวลา 100 วัน พบว่าระดับน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นแสมทะเล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



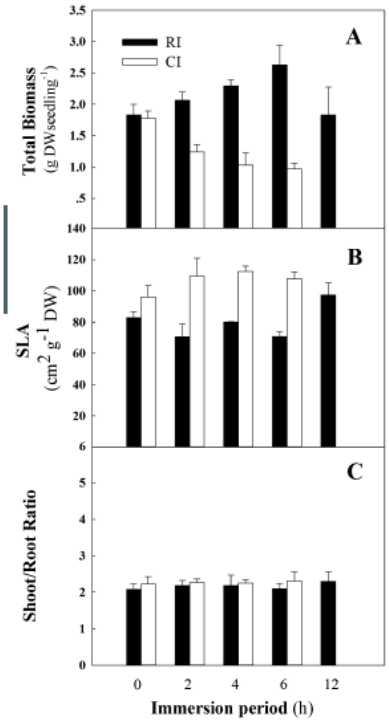
ภาพที่ 2-19 พื้นที่ศึกษาภาคสนาม E1 ถึง E5 ที่มีค่าระดับต่างกัน (Lu et al., 2013)



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

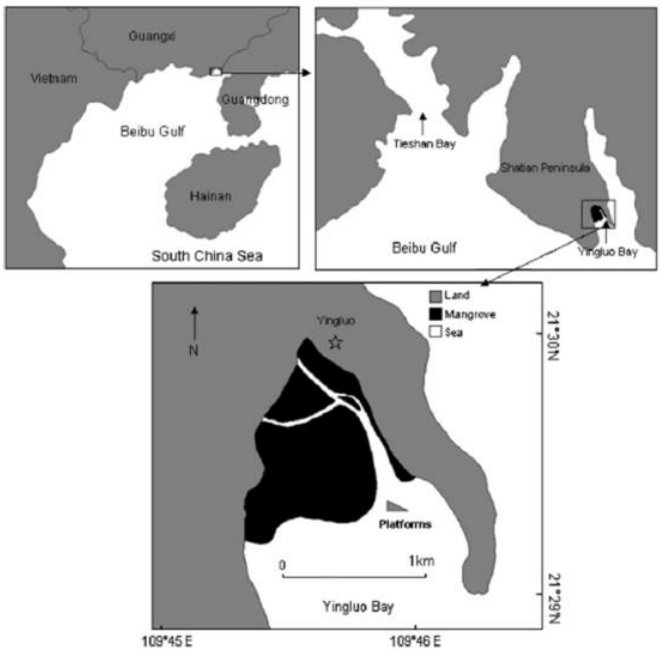


ภาพที่ 2-21 ลักษณะการทดลองกลางแจ้งโดยใช้แท็งก์น้ำ (Lu et al., 2013)



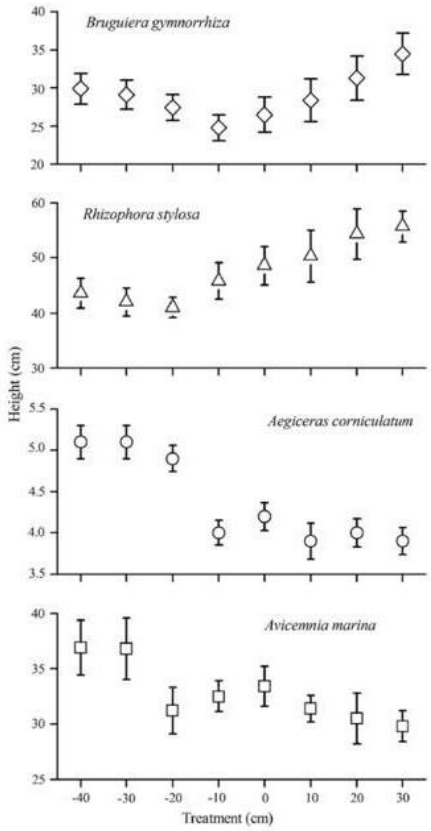
ภาพที่ 2-22 ความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาน้ำท่วมราก (กราฟแท่งสีดำ) และท่วมต้น (กราฟแท่งสีขาว) กับ A.ชีวมวลรวม (a) (Total biomass), B.พื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักแห้ง (b) (Specific leaf area (SLA)), C.อัตราส่วนของน้ำหนักของส่วนของต้นไม้ที่โผล่พ้นดินกับราก (c) (Shoot/Root ratio) (Lu et al., 2013)

He, Lai, Fan, Wang and Zheng (2007) ได้ศึกษาความสามารถในการทนน้ำท่วมของต้นไม้ป่าชายเลนที่อ่าวยิงลัว (Yingluo) ประเทศจีน (ภาพที่ 2-23) ในภาคสนาม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการรอดตาย และการเจริญเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลนในบริเวณระดับการปลูกที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยได้ทดลองโดยเลือกชนิดของต้นไม้ป่าชายเลนในพื้นที่ ได้แก่ เล็บมือนาง (*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 เมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยค่าระดับที่ติดลบแสดงถึงพื้นที่แปลงทดลองที่อยู่ต่ำจะมีการท่วมของน้ำสูง ค่าระดับที่เป็นบวกแสดงถึงพื้นที่ปลูกที่อยู่สูงกว่าและมีการท่วมน้อยกว่า ใช้เวลาในการศึกษาเป็นเวลา 1 ปี



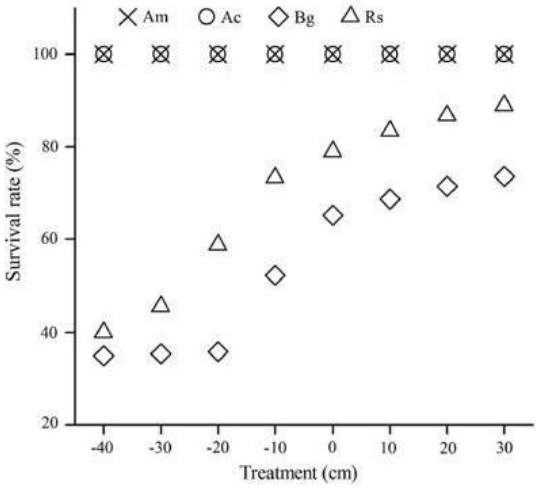
ภาพที่ 2-23 พื้นที่ศึกษาที่อ่าวยิงลัว ประเทศจีน (He et al., 2007)

ผลการศึกษาพบว่า ต้นแสมทะเลและต้นเล็บมือนางมีการเจริญเติบโตด้านความสูงได้ดีเมื่อปลูกในพื้นที่ที่มีค่าระดับติดลบหรือในพื้นที่ต่ำ ส่วนต้นโกงกางทะเลและพังกาหัวสุมดอกแดงมีเจริญเติบโตด้านความสูงได้ดีเมื่อปลูกในที่ที่มีค่าระดับเป็นบวกหรือในพื้นที่สูง (ภาพที่ 2-24) ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการรอดตาย คือ ต้นแสมทะเลและต้นเล็บมือนางมีอัตราการรอดตาย 100% ในทุกค่าระดับ ส่วนต้นโกงกางทะเลและต้นพังกาหัวสุมดอกแดงจะมีอัตราการรอดตายสูงขึ้นเมื่ออยู่ในพื้นที่สูง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทนน้ำท่วมของต้นไม้ป่าชายเลนทั้ง 4 ชนิด โดยผู้วิจัยสรุปผลความสามารถในการทนน้ำท่วมออกมาดังนี้ ต้นแสมทะเลมีความสามารถทนน้ำท่วมได้ดีที่สุด รองลงมา คือ ต้นเล็บมือนาง โกงกางทะเล และพังกาหัวสุมดอกแดง ตามลำดับ (ภาพที่ 2-25)

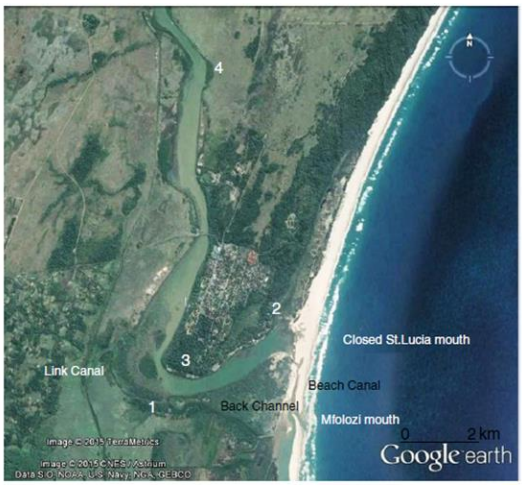


ภาพที่ 2-24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับต่อความของสูงต้นไม้ทั้ง 4 ชนิด (He et al., 2007)

Adam and Human (2016) ได้ศึกษาการตอบสนองของต้นไม้ป่ายชายเลนในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันบริเวณทะเลสาปเซนต์ลูเซีย (Lake St. Lucia.) ในสาธารณรัฐแอฟริกาใต้ ซึ่งผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลในภาคสนามโดยวัดจำนวนต้นไม้ และลักษณะของตะกอนจำนวน 4 ตำแหน่งในปี ค.ศ. 2010, 2013 และ 2014 (ภาพที่ 2-26) ตำแหน่งที่ 1 พื้นด้านหลังที่เชื่อมต่อระหว่างแม่น้ำมโฟลิซี (Mfolizi River) กับทะเลสาบเซนต์ลูเซีย 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 ระดับน้ำสูงส่งผลให้ต้นไม้ในพื้นที่น้ำจมน้ำอย่างถาวร และตายในที่สุด ตำแหน่งที่ 4 เป็นพื้นที่แคบและเป็นตัวแทนของพื้นที่แห้งแล้งในปี ค.ศ. 2010 ซึ่งทั้ง 4 ตำแหน่งต้นแสมทะเลเป็นตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน ยกเว้นพื้นที่ 2 มีต้นพังกาหัวสุมดอกแดง (*Btuguiera gymnorriza*) ในพื้นที่ด้วย



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

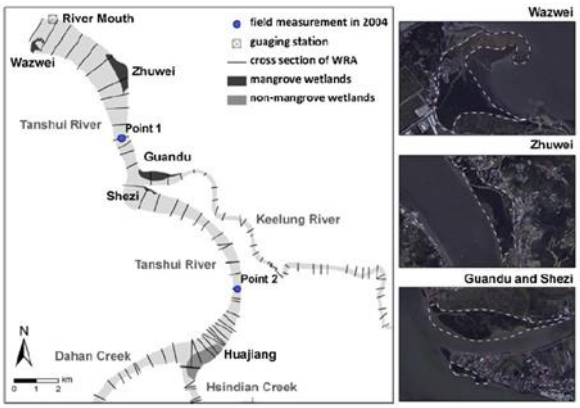


ภาพที่ 2-26 พื้นที่ศึกษาบริเวณทะเลสาบเซนต์ลูเซีย (Adam & Human, 2016)

ผลการสำรวจภาคสนามแสดงให้เห็นว่าอนุภาคของตะกอนมีการผันผวนมากกว่าดินเหนียว และทราย โดยมีสาเหตุมาจากความชื้น และน้ำในแม่น้ำมโฟลิซีที่เคลื่อนตัวมายังในพื้นที่ส่งผลให้ค่าความชื้นในดิน ค่าสารอินทรีย์ และระดับน้ำนั้นเพิ่มสูงขึ้น จากผลที่ระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นผนวกกับฝนที่ตกอย่างรุนแรงในปี ค.ศ. 2014 ทำให้ระดับน้ำท่วมต้นไม้อย่างถาวรและส่งผลให้ต้นไม้ตายในที่สุด การศึกษานี้พบว่าต้นแสมทะเลสามารถทนค่าความเค็มที่ 5 ถึง 35 ppt ได้ นอกจากนี้จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของระแบบนิเวศน์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 ถึง 2014 มีผล

ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแต่ละพื้นที่ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลน อย่างแน่นอนไม่ว่าจะเป็นความชื้น ปริมาณสารอินทรีย์ ความเค็ม และระดับน้ำ

Yang et al. (2013) ได้ศึกษาอิทธิพลของการท่วมและความเค็มของป่าชายเลน ที่แม่น้ำทั่นชุย (Tanshui River) ทางตอนเหนือของประเทศไต้หวัน ผู้วิจัยได้ศึกษาพื้นที่ป่าชายเลน 4 แห่ง คือ วาจเวย์ (Wazwei) จูเวย์ (Zhuwei) กวานตู (Guandu) และ เฉอจี (Shezi) (ภาพที่ 2-27) ที่มีต้นไม้ป่าชายเลนเพียงชนิดเดียว คือ คานเดเลีย ออโบวาตา (*Kandelia obovata*) ใกล้แม่น้ำทั่นชุยในปี ค.ศ. 2009 ที่มีค่าระดับความเค็ม และระยะเวลาในการท่วมแตกต่างกันเนื่องจากพื้นที่ศึกษามีค่าระดับที่แตกต่างกันโดยพื้นที่บริเวณวาจเวย์อยู่ระดับพื้นที่สูงสุดรองลงมาคือ จูเวย์ กวานตู และเฉอจี ตามลำดับ ทำการศึกษาด้วยแบบจำลอง เพื่อคำนวณความถี่ของการท่วม และค่าความเค็มในแต่ละพื้นที่ศึกษาล่วงหน้าในปี ค.ศ. 2100

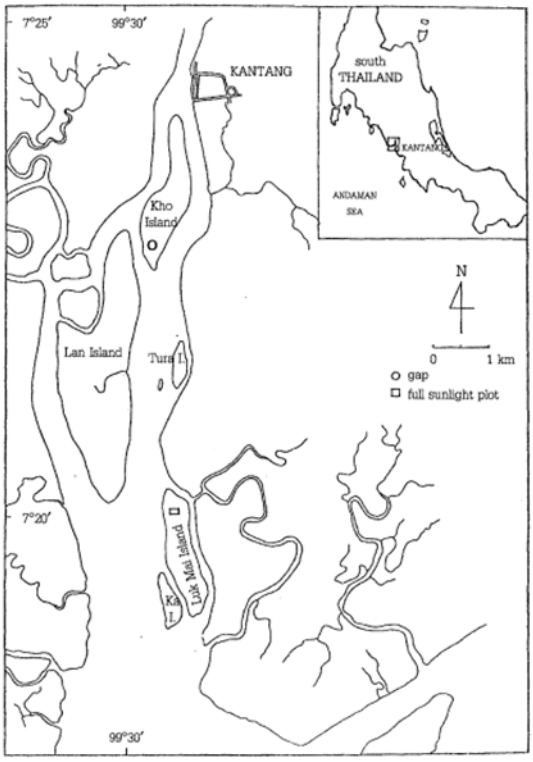


ภาพที่ 2-27 พื้นที่ป่าชายเลน 4 แห่งบริเวณแม่น้ำทั่นชุย (Yang et al, 2013)

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% ที่วาจเวย์ จูเวย์ กวานตู และ เฉอจี ตามลำดับ จากการศึกษาแสดงให้เห็นค่าความเค็มมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ถูกน้ำท่วม และระยะเวลาในการท่วมมีความสัมพันธ์กับค่าระดับในแต่ละพื้นที่โดยบริเวณใดที่ถูกน้ำท่วมขังเป็นเวลานานจะส่งผลให้ค่าความเค็มลด นอกจากนี้เมื่อค่าความเค็มลดลงต้นคานเดเลีย ออโบวาตา มีการเจริญเติบโตมากขึ้น

สรายุทธ บุณยะเวชชีวิน, ธนิตย์ หนูยิ้ม และ โชวโซ นากามูระ (2540) ได้ศึกษาอัตราการรอดตาย และการเจริญเติบโตของโกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) และโกงกางใบใหญ่

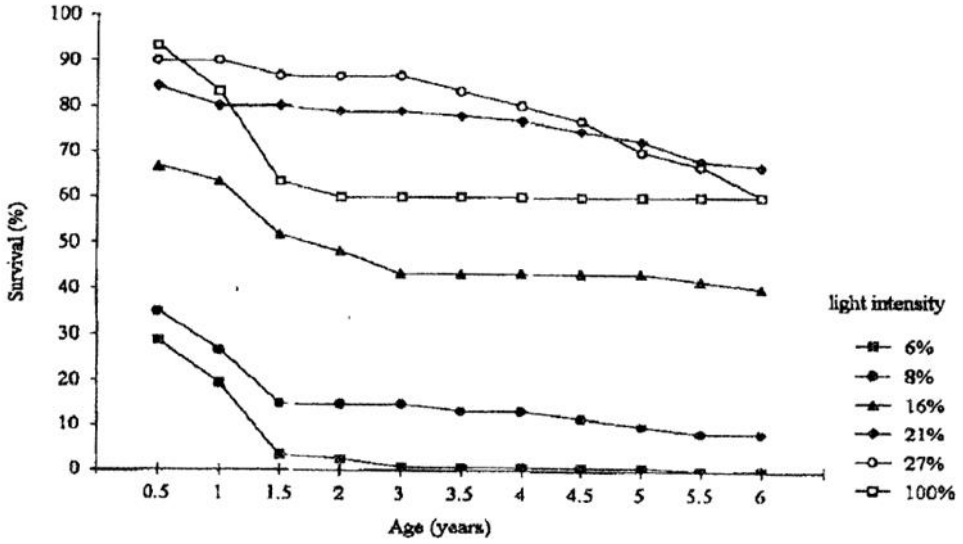
(*Rhizophora mucronata*) ที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน ทำการศึกษาโดยใช้แปลงขนาด 2.0 × 4.0 เมตร ทั้งหมด 14 แปลง โดยแบ่งเป็นที่มีความเข้มแสง 6% และ 8% อยู่ใต้ต้นโกงกางใบเล็กจำนวน 7 แปลง ทำการศึกษาที่เกาะค้อ ที่มีความเข้มแสง 16% 21% และ 27% จำนวน 6 แปลงทดลองในช่องว่าง (Gap) ทำการศึกษาที่สถานีวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้กันตัง อำเภอกันตัง จังหวังตรัง และสุดท้ายที่ความเข้มแสง 100% จำนวน 1 แปลง ทดลองกลางแจ้งศึกษาที่เกาะลุกไม้ (ภาพที่ 2-28) ผู้วิจัยทำการศึกษาโดยการวัดความสูง ชั่งน้ำหนัก วัดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter at breast height, DBH) และสำรวจอัตราการรอดตายในแต่ละความเข็มแสงเป็นเวลา 6 ปี



ภาพที่ 2-28 พื้นที่ศึกษาอัตราการรอดตาย และการเจริญเติบของโตต้นโกงกางใบเล็ก และโกงกางใบใหญ่ที่มีความเข้มแสงต่างกัน (สรายุทธ บุณยะเวชชีวิน และคณะ, 2540)

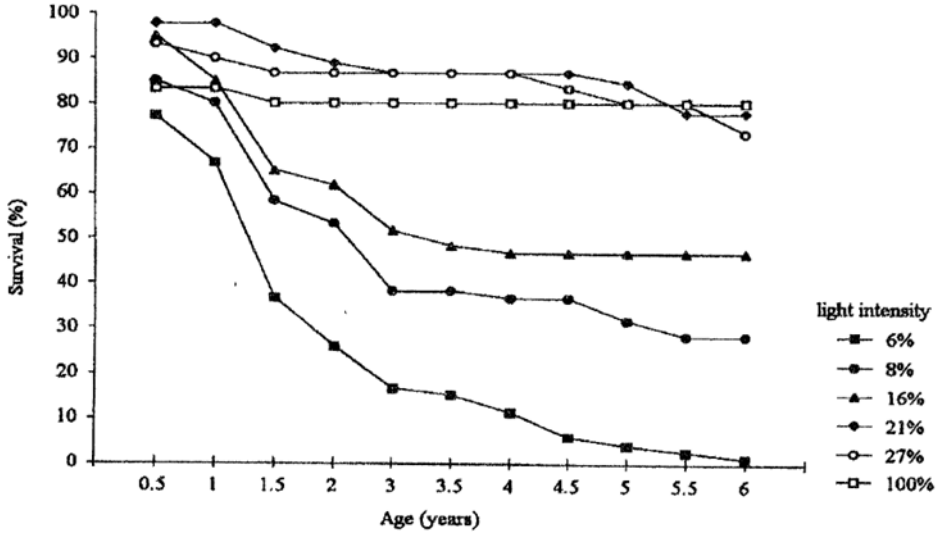
จากการศึกษาผู้วิจัยพบว่าต้นโกงกางใบเล็กที่ปลูกในช่องว่างมีอัตราการรอดตายสูงที่สุด (>70%) ที่มีความเข้มแสง 21% ถึง 27% ขณะที่แปลงปลูกใต้เรือนยอดที่มีความเข้มแสง 5 ถึง 8% มีอัตราการรอดตายน้อยกว่า 15% เมื่ออายุ 2 ปี และแปลงกลางแจ้งที่ความเข้มแสง 100% มีอัตราการรอดตายคงที่ ที่ (60%) ตั้งแต่อายุ 2 ถึง 6 ปี (ภาพที่ 2-29) ในส่วนของความสูงพบว่าโกงกางใบเล็กที่ปลูกในช่องว่างที่ความเข็มแสง 27% เจริญเติบโตด้านความสูงได้ดีที่สุดในสามปีแรก และ

ตั้งแต่อายุ 4-6 ปี แปลงที่ปลูกกลางแจ้งเติบโตด้านความสูงดีที่สุด ด้านเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และมวลชีวภาพพบว่า ที่ความเข้มแสงมากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และมวลชีวภาพจะมากตามไปด้วย



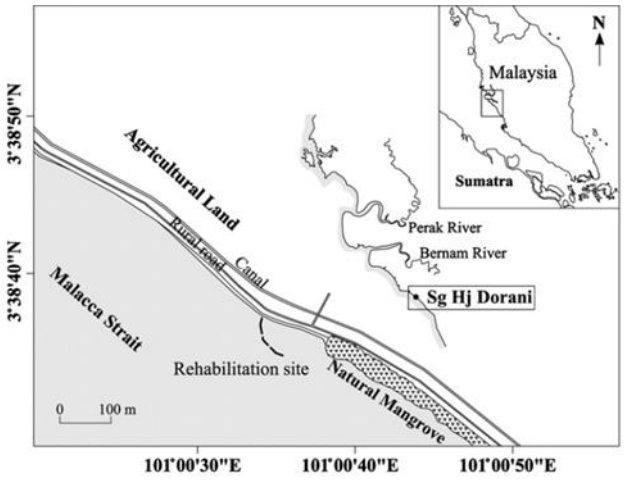
ภาพที่ 2-29 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นโกงกางใบเล็กที่มีความเข้มแสงต่างกัน (สรายุทธ บุณยะเวชชีวิน และคณะ, 2540)

การศึกษานี้ผู้วิจัยพบว่าต้นโกงกางใบใหญ่พบว่าแปลงปลูกในช่องว่างที่มีความเข้มแสง 21% และ 27% มีอัตราการรอดตายสูงสุดมากกว่า 80% ในช่วยอายุ 1 ถึง 5 ปี แปลงที่ปลูกใต้เรือนยอดจะมีอัตราการรอดตาย 67% ถึง 80% ในช่วง 1 ปีแรกและลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ปีที่ 2 เป็นต้นไป ขณะที่ความเข้มแสง 100% มีอัตราการรอดตาย 80% ตั้งแต่อายุ 2 ปี (ภาพที่ 2-30) ด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง และมวลชีวภาพพบว่า เมื่อความเข้มแสงมาก ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และมวลชีวภาพจะมากตามไปด้วย



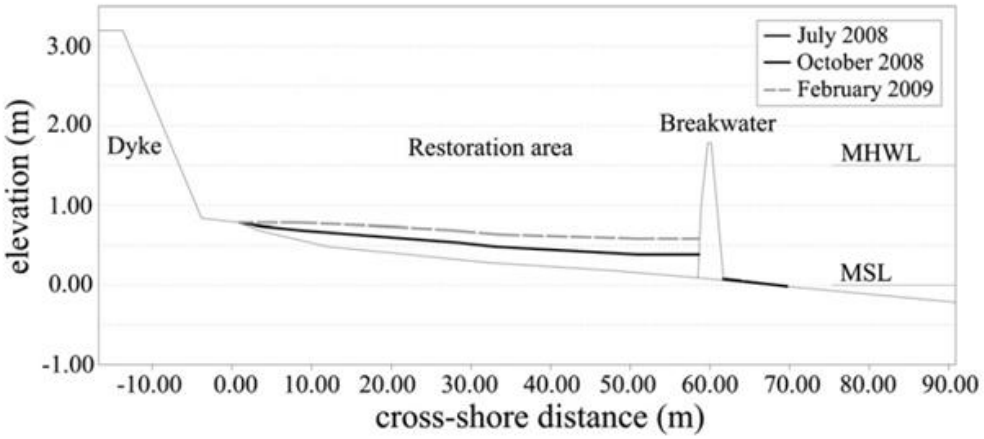
ภาพที่ 2-30 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นโกงกางใบใหญ่ที่มีความเข้มแสงต่างกัน (สรายุทธ บุณยะเวชชีวิน และคณะ, 2540)

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



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

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



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

จากการทบทวนงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทราบว่าต้นไม้ป่าชายเลนมีบทบาทสำคัญในการช่วยในการลดทอนคลื่น โดยความสามารถในการลดทอนคลื่นหรือการสลายพลังงานของคลื่นนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของราก ความหนาแน่นต้นไม้ อายุต้นไม้ ความสูงต้นไม้ ความกว้างของพื้นที่ป่าชายเลน ความยาวของพื้นที่ป่าชายเลน และการจัดเรียงตัวของป่าชายเลน ล้วนมีผลต่อการลดทอนคลื่นหรือการสลายพลังงานของคลื่นทั้งสิ้น แต่ปัจจุบันพื้นที่ป่าชายเลนมีการลดลง ซึ่งสาเหตุการลดลงจากการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า สาเหตุมาจากปัจจัยในเรื่องของการเพิ่มขึ้นของน้ำทะเลที่ส่งผลให้ต้นไม้ป่าชายเลนนั้นมีการจมน้ำท่วมและระยะเวลาในการท่วมมากขึ้น เป็นผลให้ต้นไม้ป่าชายเลนตายในที่สุด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยในเรื่องของความเค็มและแสงที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตหรือการอยู่รอดของต้นไม้ป่าชายเลนอีกด้วย ผู้วิจัยได้นำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยในส่วนของระดับน้ำที่พบว่า ระดับน้ำท่วมต้นมีผลต่อการเจริญเติบโตและการตายของ

ต้นไม้ป่าชายเลนมากที่สุด มาใช้ในการออกแบบการทดลองในการศึกษาปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ที่มีผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ไม่ว่าจะเป็นเรื่องคลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำ และความเค็มของน้ำที่ผู้วิจัยสนใจ โดยมีการกำหนดระดับน้ำในการทดลองในทุกเรื่องเป็นที่ระดับน้ำท่วมต้นทั้งหมดเพื่อให้เห็นผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนในการศึกษาชัดเจนมากที่สุด

บทที่ 3
วิธีการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยทางอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic factors) ที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ซึ่งผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาในปัจจัยเรื่องคลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำท่วมต้น และความเค็มของน้ำ ที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการศึกษาดังต่อไปนี้

ก่อนเริ่มการทดลองในห้องปฏิบัติการในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยและคณะได้มีการรวบรวมข้อมูลในภาคสนามเบื้องต้น เพื่อนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการออกแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยได้ไปรวบข้อมูลภาคสนามเบื้องต้นจาก 2 สถานที่ คือ 1) ศูนย์อนุรักษ์ปลูกป่าชายเลนคลองโคน จังหวัดสมุทรสงคราม อำเภอคลองโคน ในวันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2559 ผู้วิจัยและคณะได้เข้าร่วมกิจกรรมปลูกป่าชายเลน (ภาพที่ 3-1) เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนและกรรมวิธีในการปลูกป่าชายเลน และได้สัมภาษณ์นายอุทัย จือเหลียง ซึ่งเป็นวิทยากรประจำศูนย์อนุรักษ์ปลูกป่าชายเลนคลองโคน (ภาพที่ 3-2) จากการให้สัมภาษณ์ของนายอุทัย พบว่าการปลูกต้นไม้ป่าชายเลนแต่ละชนิดนั้นมีอัตราการรอดตายที่แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ไม้ พันธุ์ไม้ที่ปลูกในพื้นที่อนุรักษ์ปลูกป่าชายเลนคลองโคนมีอยู่ด้วยกัน 3 พันธุ์ไม้ คือ พันธุ์ไม้ลำพู พันธุ์ไม้แสม และพันธุ์ไม้โกงกาง พันธุ์ไม้ลำพูมีอัตราการรอดตายประมาณ 90% พันธุ์ไม้แสมมีอัตราการรอดตายประมาณ 40% และพันธุ์ไม้โกงกางมีอัตราการรอดตายประมาณ 0% สาเหตุการตายส่วนใหญ่มีด้วยกันหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็น อุณหภูมิ ความเค็ม แสงแดด เพรียง คลื่น กระแสน้ำ หรือ ระดับน้ำ แต่สาเหตุหลัก ๆ ที่นายอุทัยได้กล่าวไว้ คือ เพรียง คลื่น กระแสน้ำ และระดับน้ำ นายอุทัยได้ให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนของระดับน้ำว่า หากระดับน้ำในพื้นที่ปลูกมีระดับน้ำที่ท่วมต้นเป็นระยะเวลานานส่งผลให้ต้นกล้าป่าชายเลนตาย แต่หากว่ามีการท่วมเป็นบางเวลาส่งผลให้ต้นกล้าป่าชายเลนเจริญเติบโตได้ดีมากยิ่งขึ้น 2). พิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยาเกาะและทะเลไทย ตำบลแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี วันที่ 8 ตุลาคม 2559 ได้รับการอนุเคราะห์จาก ร.ท.ศุภวุฒ ชูชาติเจริญพร (ภาพที่ 3-3) เป็นผู้ให้ความรู้ พื้นที่บริเวณนี้เป็นพื้นที่แปลกไม่เหมือนกับพื้นที่ป่าชายเลนทั่วไป โดยลักษณะพื้นที่มีลักษณะเป็นหิน ซึ่งผู้ดูแลได้ใช้พันธุ์ไม้โกงกางใบใหญ่ในการปลูกในพื้นที่นี้และประสบผลสำเร็จ จากการเข้าดูแลผู้ให้ความรู้ พบว่าหากต้นไม้ป่าชายเลนจมน้ำเป็นเวลานานส่งผลให้ต้นเหี่ยวเฉา และตายซึ่งตรงกับความรู้ที่ได้จากศูนย์อนุรักษ์ปลูกป่าชายเลนคลองโคนที่กล่าวไว้ข้างต้น การปลูกพันธุ์ไม้โกงกางในพื้นที่ผู้ดูแลได้มีการประยุกต์วิธีการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการใช้ท่อคอนกรีตปักลงไปในดินแล้วปลูกต้นกล้า

ป่าชายเลนในท่อคอนกรีตเพื่อยกระดับของต้นกล้าให้สูงพ้นน้ำ โดยผู้ให้ความรู้พบว่า สามารถช่วยให้ต้นกล้าป่าชายเลนรอดได้ดีขึ้นถึง 100%

จากการออกไปรวบรวมข้อมูลภาคสนามทำให้ได้ทราบข้อมูลที่ช่วยในการออกแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการ คือ พันธุ์ไม้ที่ใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยเลือกพันธุ์ไม้แสมและพันธุ์ไม้โกงกางมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากพันธุ์ไม้ทั้งสองชนิดมีอัตราการรอดตายที่ต่ำ และเป็นที่นิยมในการนำไปปลูกป่าชายเลน และเรื่องของระดับน้ำที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการศึกษาผลกระทบของคลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำท่วมต้นและความเค็มของน้ำ โดยใช้ค่าระดับน้ำที่ระดับท่วมต้นในการศึกษา เนื่องจากการรวบรวมข้อมูลภาคสนามเบื้องต้นและการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าที่ระดับน้ำท่วมต้นมีผลกระทบต่อต้นกล้าป่าชายเลนมากที่สุด

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

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

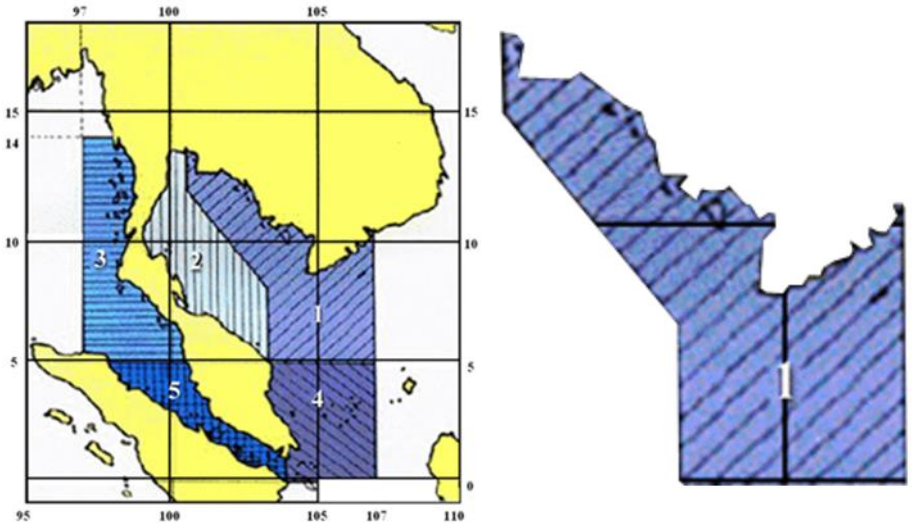
ภาพที่ 3-3 การศึกษาข้อมูลในภาคสนามที่สัตหีบ วันที่ 8 ตุลาคม พ.ศ. 2559

หลักการความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์

การวิเคราะห์ปัญหาทางชลศาสตร์บางโครงการ ประสบปัญหาในการอธิบายพฤติกรรมของของไหล สำหรับปัญหาที่ซับซ้อนมีจำนวนตัวแปรมากมาเกี่ยวข้อง ทำให้ไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมของไหลที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด จึงต้องสร้างแบบจำลองทางชลศาสตร์ (Hydraulic model) โดยให้มีสภาพคล้ายคลึงกับของจริงเพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงได้ ซึ่งจำเป็นต้องประยุกต์ใช้ หลักการความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์ (Hydraulic similitude)

1. การจำลองคลื่น

การจำลองคลื่นในรางน้ำชลศาสตร์นั้น มีการรวบรวมข้อมูลสถานภาพคลื่นในทะเลตามเส้นทางการเดินเรือจากศูนย์อุตุนิยมวิทยาทางทะเลสภาพคลื่นบริเวณแหลมญวน (ภาพที่ 3-4) มีความสูงคลื่นนัยสำคัญประมาณ 0.25 ถึง 0.5 เมตร (ความสูงคลื่นนัยสำคัญ คือ ค่าเฉลี่ยของความสูงคลื่นสูงที่สูงที่สุดหนึ่งในสามส่วนของคลื่นที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด) โดยนำหลักการความคล้ายคลึงทางเรขาคณิต (Geometric similitude) มาประยุกต์ใช้ในการการจำลองคลื่นในห้องปฏิบัติการณ์ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3-4 บริเวณพื้นที่แหลมญวน (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาทะเล)

การคำนวณหาความสูงคลื่นทดลองในรางน้ำชลศาสตร์

H_p = ความสูงคลื่นจริง = 0.25 เมตร

h_{t-p} = ความสูงต้นกล้าที่นำไปปลูกจริง = 0.80 เมตร

h_{t-m} = ความสูงต้นกล้าที่ใช้ในแบบจำลอง = 0.40 เมตร

H_m = ความสูงคลื่นที่ใช้ในแบบจำลอง

H_r = อัตราส่วนของความสูง (Scale ratio)

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

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

ดังนั้นจึงต้องใช้ความสูงคลื่นทดลอง (H_m) เท่ากับ 0.125 เมตร

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดประกอบการทดลองเรื่องคลื่น

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

2. การจำลองกระแสน้ำ

การจำลองกระแสน้ำในรางน้ำชลศาสตร์นั้น ได้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดความเร็วกระแสน้ำที่โครงการอนุรักษ์ป่าชายเลนคลองตำหรุ อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา มาสร้างแบบจำลอง โดยคำนึงถึงความคล้ายคลึงเชิงจลนศาสตร์ (Kinematic similitude) มาประยุกต์ใช้ในการจำลองกระแสน้ำในห้องปฏิบัติการณ์ ดังต่อไปนี้ดังต่อไปนี้

ออกแบบการทดลองโดยมีค่าความเร็วของกระแสน้ำที่วัดได้ต่ำสุดเท่ากับ 0.10 เมตรต่อวินาที และสูงสุดเท่ากับ 0.40 เมตรต่อวินาที

สำหรับการไหลในทางน้ำเปิด ; $F_r = \frac{V}{\sqrt{gL}} = \frac{V}{\sqrt{gh_t}}$

การไหลของน้ำในทางน้ำเปิดจะมีความคล้ายคลึงเชิงจลนศาสตร์ เมื่อ Froude number ของแม่น้ำจริงเท่ากับแบบจำลอง

$$\frac{V_p}{\sqrt{g_p h_{t-p}}} = \frac{V_m}{\sqrt{g_m h_{t-m}}}$$

เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเหมือนกัน จะได้

$$\frac{V_p}{\sqrt{h_{t-p}}} = \frac{V_m}{\sqrt{h_{t-m}}}$$

นั่นคือ $$\frac{V_m}{V_p} = \sqrt{\frac{h_{t-m}}{h_{t-p}}}$$

h_{t-p} = ความสูงต้นกล้าที่นำไปปลูกจริง = 0.80 เมตร

h_{t-m} = ความสูงต้นกล้าที่ใช้ในแบบจำลอง = 0.40 เมตร

V_p = ความเร็วของกระแสน้ำจริง = 0.40 เมตรต่อวินาที

V_m = ความเร็วกระแสน้ำจำลอง

จะได้ว่า $$\frac{V_m}{0.4} = \sqrt{\frac{0.4}{0.8}}$$

$$V_m = \sqrt{\frac{0.4}{0.8}} \times 0.4 = 0.28 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

ดังนั้นต้องใช้ความเร็วกระแสน้ำในการทดลอง (V_m) เท่ากับ 0.28 เมตรต่อวินาที แต่เพื่อความสะดวกในการแบ่งกรณีศึกษาในการทดลองจะใช้ 0.30 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 3-2 รายละเอียดประกอบการทดลองเรื่องกระแสน้ำ

การทดลองเรื่อง			
ข้อมูล	**สภาพจริง**	**แบบจำลองในห้องปฏิบัติการ**	**มาตราส่วนของแบบจำลองต่อสภาพจริง**
ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตร/วินาที)	0.14	0.10	1 : 1.4
	0.28	0.20	
	0.42	0.30	

3. การจำลองระดับน้ำท่วมต้นและความเค็มของน้ำ

การจำลองเรื่องระดับน้ำท่วมต้นและความเค็มของน้ำ ทำการศึกษาช่วงเวลาน้ำขึ้นและน้ำลงในประเทศไทย พบว่ามีลักษณะน้ำขึ้นและน้ำลงเป็นแบบน้ำคู่ (Semidiurnal tide) นำมาเป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลอง โดยคำนึงถึงความคล้ายคลึงเชิงจลศาสตร์ (Kinematic similitude) ดังต่อไปนี้

สำหรับการไหลในทางน้ำเปิด ; $F_r = \frac{V}{\sqrt{gL}} = \frac{V}{\sqrt{gh_t}}$

การไหลของน้ำในทางน้ำเปิดมีความคล้ายคลึงเชิงจลนศาสตร์ เมื่อ Froude number ของแม่น้ำจริงเท่ากับแบบจำลอง

$$\frac{V_p}{\sqrt{g_p h_{t-p}}} = \frac{V_m}{\sqrt{g_m h_{t-m}}}$$

เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเหมือนกัน จะได้

$$\frac{V_p}{\sqrt{h_{t-p}}} = \frac{V_m}{\sqrt{h_{t-m}}}$$

จากสมการ $V = \frac{S}{t}$

S มีหน่วยเป็นระยะทางดังนั้น S = h

ดังนั้นจะได้สมการ $\frac{h_{t-p}}{t_p\sqrt{h_{t-p}}} = \frac{h_{t-m}}{t_m\sqrt{h_{t-m}}}$

h_{t-p} = ความสูงต้นกล้าที่นำไปปลูกจริง = 0.80 เมตร

h_{t-m} = ความสูงต้นกล้าที่ใช้ในแบบจำลอง = 0.40 เมตร

t_p = เวลาที่ต้นกล้าได้รับผลกระทบจริง = 6 ชั่วโมง

t_m = เวลาที่ต้นกล้าได้รับผลกระทบแบบจำลอง

จะได้ว่า $\frac{0.8}{6\sqrt{0.8}} = \frac{0.4}{t_m\sqrt{0.4}}$

$$t_m = \frac{0.4 \times 6\sqrt{0.8}}{0.8\sqrt{0.4}} = 4.2 \text{ ชั่วโมง}$$

ดังนั้น ต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองเรื่องระดับน้ำท่วมต้นและความเค็มของน้ำ (t_m) เท่ากับ 4.2 ชั่วโมง แต่เพื่อความสะดวกในการทดลองจะใช้ 4 ชั่วโมง คิดเป็นมาตราส่วนสภาพแบบจำลองต่อสภาพจริง คือ 1 : 1.5

การทดลองผลกระทบของคลื่น

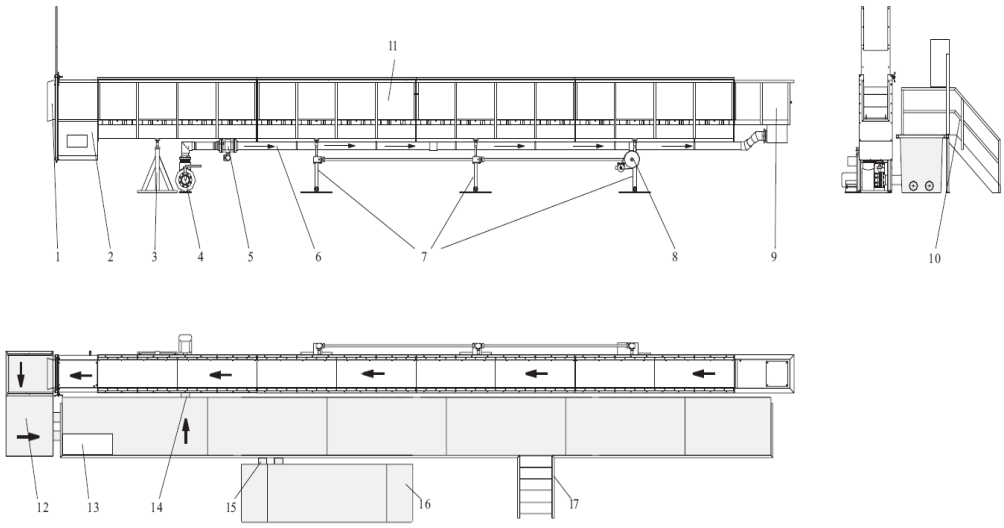
การทดลองผลกระทบของคลื่นถูกดำเนินการในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องปฏิบัติการทางชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ลักษณะสภาพแวดล้อมในการทดลองเป็นการทดลองในพื้นที่ร่มมีแสงแดดส่องผ่านเข้ามาได้เล็กน้อย การทดลองผลกระทบของคลื่นมีรายละเอียดของเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและขั้นตอนในการทดลองผลกระทบของคลื่นดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองผลกระทบของคลื่น

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

ในกรณีการใช้รางเป็นรางจำลองคลื่นนั้น ตัวรางจะถูกทำให้เป็นระบบปิด โดยการปิดกั้นประตูด้านต้นน้ำและท้ายน้ำ ติดตั้งเครื่องกำเนิดคลื่น (สำหรับรายละเอียดของเครื่องกำเนิดคลื่นถูกอธิบายในหัวข้อถัดไป) จากนั้นสูบน้ำเข้าไปในรางจนได้ความลึกน้ำที่ต้องการ และทำการสร้างคลื่น โดยลักษณะทางกายภาพของรางจำลองคลื่นแสดงดังตารางที่ 3-3 และส่วนประกอบของรางจำลองคลื่นดังภาพที่ 3-6

ภาพที่ 3-5 รางชลศาสตร์ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา



ภาพที่ 3-6 ส่วนประกอบรางจำลองคลื่น (GUNT, 2001a)

หมายเลข 1 : ช่องทางน้ำไหลออก (Chanel outlet)

หมายเลข 2 : แผ่นดักตะกอน (Sediment trap)

หมายเลข 3 : ฐานรองรับ (Fixed bearing)

หมายเลข 4 : ปั๊มน้ำ (Pump unit)

หมายเลข 5 : ใบพัด (Flow meter)

หมายเลข 6 : ท่อส่งน้ำ (Delivery line)

หมายเลข 7 : ตัวปรับความลาดเอียง (Inclination adjustment)

หมายเลข 8 : มอเตอร์ปรับความลาดเอียง (Motor drive Inclination adjustment)

หมายเลข 9 : ช่องทางน้ำเข้า (Inlet element)

หมายเลข 10 : ราวกันตก (Railing)

หมายเลข 11 : ส่วนที่ใช้วัดค่า (Measuring section)

หมายเลข 12 : ถังกักเก็บน้ำ (Collecting tank)

หมายเลข 13 : ตู้แผงวงจร (Switch box)

หมายเลข 14 : แนวของเครื่องสูบน้ำ (Pump Suction line)

หมายเลข 15 : ท่อเชื่อมระหว่างถังเก็บน้ำ (Pipe connection)

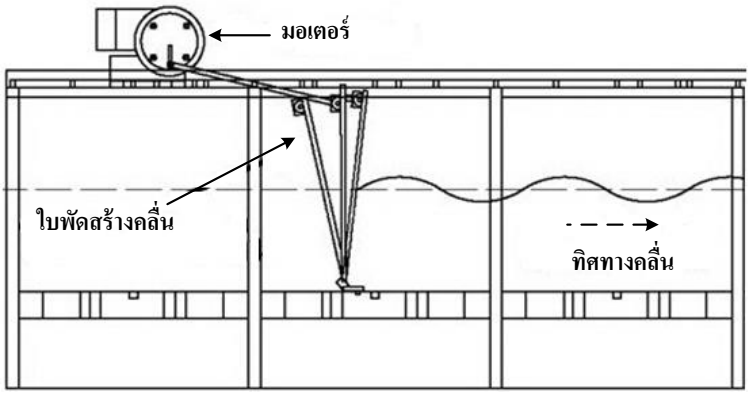
หมายเลข 16 : ถังกักเก็บน้ำสำรอง (Return tank)

หมายเลข 17 : บันไดทางขึ้น (Gallery stairway)

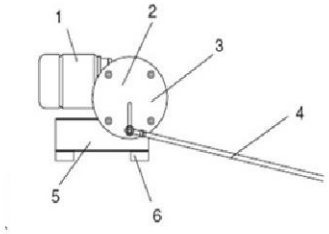
ตารางที่ 3-3 รายละเอียดของรางชลศาสตร์ในห้องปฏิบัติการทางชลศาสตร์

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

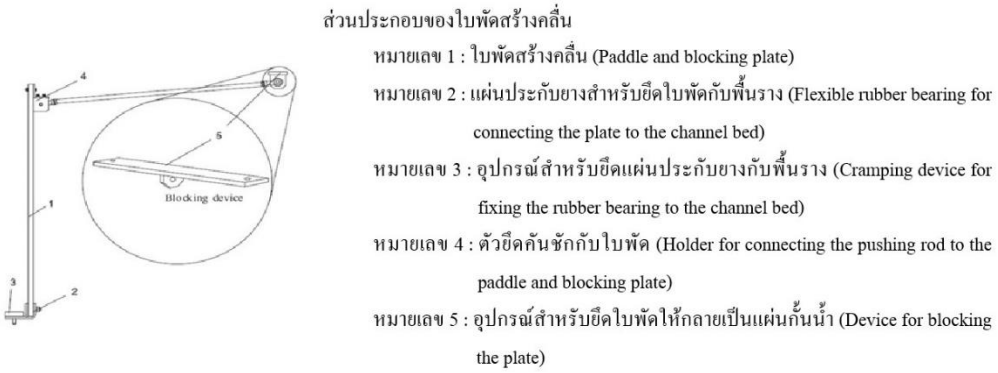
1.2 เครื่องกำเนิดคลื่น (Wave generator) เครื่องกำเนิดคลื่นมีสลักเกลียวเพื่อนำไปติดตั้งกับรางจำลองคลื่น คันชักเชื่อมต่อกับจุดยึดของใบพัดที่ทำจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (Paddle and blocking plate) ดังภาพที่ 3-7 เครื่องกำเนิดคลื่นขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ โดยที่ลำดับของความเร็วในการหมุนมีหลากหลายขึ้นอยู่กับความถี่ อุปกรณ์มีความเร็วในการหมุนตั้งแต่ 0 ถึง 114 รอบต่อนาที ซึ่งเท่ากับความถี่ของคลื่นที่ 0 ถึง 1.9 เฮิรตซ์ ความสูงของคลื่นที่ถูกสร้างขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะคันชักข้อเหวี่ยงซึ่งสามารถปรับได้ตั้งแต่ 40 ถึง 200 มิลลิเมตรและระดับน้ำในราง ส่วนประกอบของมอเตอร์และคันชักข้อเหวี่ยงดังภาพที่ 3-8 และส่วนประกอบของใบพัดสร้างคลื่นดังภาพที่ 3-9 เครื่องกำเนิดคลื่นถูกใช้เพื่อการสร้างคลื่นในรูปแบบต่าง ๆ โดยใช้ร่วมกับรางจำลองคลื่น



ภาพที่ 3-7 เครื่องกำเนิดคลื่น (GUNT, 2001b)

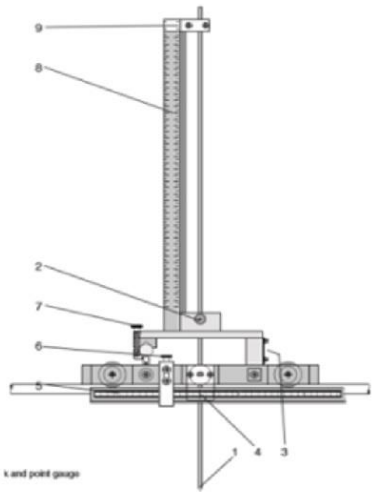


ภาพที่ 3-8 ส่วนประกอบของมอเตอร์และคันชักข้อเหวี่ยง (GUNT, 2001b)



ภาพที่ 3-9 ส่วนประกอบของใบพัดสร้างคลื่น (GUNT, 2001c)

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



รายละเอียดเครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่ง

หมายเลข 1 : จุดชี้ตำแหน่ง (Scanning point)

หมายเลข 2 : สกรูยึดระดับความสูง (Knurled screw to fix height)

หมายเลข 3 : จุดอ่านความกว้าง (Read-off point point for travel width)

หมายเลข 4 : จุดอ่านความยาว (Read-off point point for travel length)

หมายเลข 5 : แถบวัดความยาว (Scale for travel length)

หมายเลข 6 : สกรูยึดด้านยาว (Knurled screw to fix length)

หมายเลข 7 : สกรูยึดด้านกว้าง (Knurled screw to fix width)

หมายเลข 8 : แถบวัดความสูง (Scale for height)

หมายเลข 9 : จุดอ่านความสูง (Read-off point for height)

ภาพที่ 3-10 เครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่งและส่วนประกอบ (GUNT, 2001d)

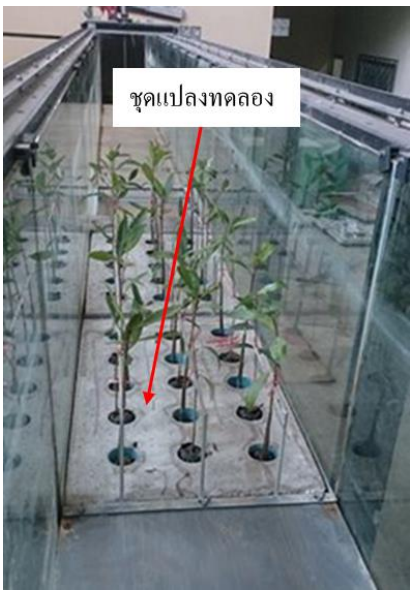
1.4 เครื่องวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitance wave gauge) ดังภาพที่ 3-11 มีรูปแบบการทำงานโดยการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของน้ำที่กระทบกับหลอดวัดค่าความต่างศักย์ที่สัมผัสกับผิวน้ำ โดยสามารถอ่านค่าความสูงคลื่นจากโปรแกรมด้วยคอมพิวเตอร์

ภาพที่ 3-11 เครื่องวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า

1.5 ชุดพื้นแปลงทดลอง (Experimental floor) ชุดพื้นแปลงทดลองเป็นชุดพื้นที่ติดตั้งอยู่ในรางจำลองคลื่น ทำหน้าที่เป็นตัวปรับสภาพคลื่นก่อนจะเข้าสู่แปลงทดลองปลูกต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสม ชุดพื้นแปลงทดลองประกอบไปด้วยสองส่วนด้วยกัน ส่วนที่หนึ่งเป็นพื้นเอียงปรับระดับ (Incline level) ยาว 200 เซนติเมตร กว้าง 58 เซนติเมตร และเอียงสูงขึ้นจากพื้นราง 10 เซนติเมตร คิดเป็นความลาด 0.05 ทำหน้าที่เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความลึกน้ำอย่างฉับพลันที่จะส่งผลต่อคลื่นก่อนเข้าสู่แปลงทดลอง ส่วนที่สองอยู่ถัดมาจากพื้นเอียงปรับระดับมีลักษณะเป็นพื้นเรียบปรับระดับ (Flat leveling) ยาว 100 เซนติเมตร กว้าง 58 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร (ภาพที่ 3-12) ทำหน้าที่คล้ายกับพื้นเอียง คือ ช่วยปรับสภาพความเสถียรคลื่นให้มากขึ้น

ภาพที่ 3-12 ชุดพื้นแปลงทดลองที่ประกอบไปด้วยพื้นเอียงและพื้นเรียบปรับระดับสำหรับปรับความเสถียรคลื่นก่อนเข้าสู่แปลงทดลอง

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



ภาพที่ 3-13 ชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนในรางน้ำจำลองคลื่น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำแปลงทดลองมีดังต่อไปนี้

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

1.6.2 เม็ดโฟมซีเบา (Cebau) ใช้เป็นส่วนผสมทำแปลงทดลองคอนกรีตเพื่อให้มีน้ำหนักเบาพอที่สามารถยกเข้าและยกออกจากรางจำลองคลื่นได้ ดังภาพที่ 3-15

1.6.3 ปูนซีเมนต์สำหรับทำแปลงทดลองคอนกรีต

1.6.4 ทรายสำหรับผสมคอนกรีต

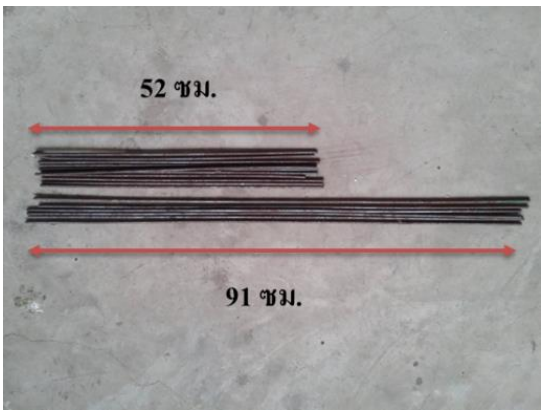
1.6.5 กระบะสังกะสีสำหรับใส่ชุดแปลงทดลองคอนกรีต ดังภาพที่ 3-16

1.6.6 ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสองนิ้วครึ่ง สูง 10 เซนติเมตร สำหรับสร้างช่องปลูกต้นกล้าในแปลงทดลองคอนกรีต ดังภาพที่ 3-17

1.6.7 ต้นแสม และต้นโกงกางสำหรับใช้ในการทดลองผลกระทบของคลื่น ดังภาพที่ 3-18

1.6.8 ผ้าใบใช้สำหรับปิดผิวหน้าชุดแปลงทดลองคอนกรีต เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของดินในแปลงทดลอง ดังภาพที่ 3-19

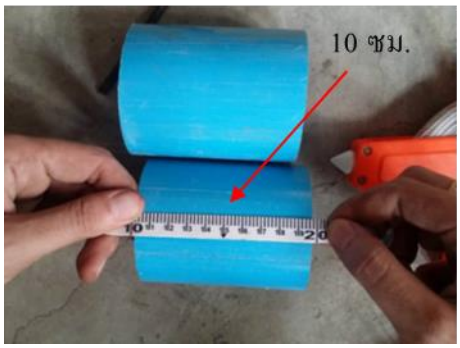
1.6.9 ซิลิโคนที่ใช้สำหรับติดแผ่นผ้าใบกับผิวหน้าชุดแปลงทดลองคอนกรีต ดังภาพที่ 3-20



ภาพที่ 3-14 เหล็กเส้น RB 6 มิลลิเมตร สำหรับทำแปลงทดลอง

ภาพที่ 3-15 เม็ดโฟมซีเบาสำหรับผสมคอนกรีตให้มีน้ำหนักเบา

ภาพที่ 3-16 กระบะสังกะสีพร้อมเสาค้ำยันสำหรับใส่แปลงทดลองคอนกรีต



ภาพที่ 3-17 ท่อพีวีซีสำหรับสร้างช่องปลูกต้นกล้าในแปลงทดลองคอนกรีต

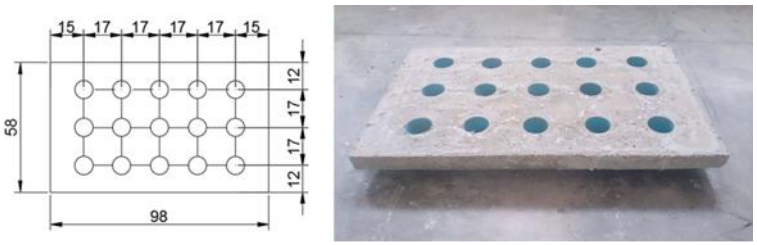
ภาพที่ 3-18 ต้นไม้ที่ใช้ในการทดลอง (ก) ต้นกล้าแสม และ (ข) ต้นกล้าโกงกาง

ภาพที่ 3-19 ผ้าใบสำหรับปิดผิวหน้าแปลงทดลองคอนกรีต

ภาพที่ 3-20 ซิลิโคนสำหรับยึดแผ่นผ้าใบกับผิวหน้าแปลงทดลองคอนกรีต

ขั้นตอนการทำชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลน

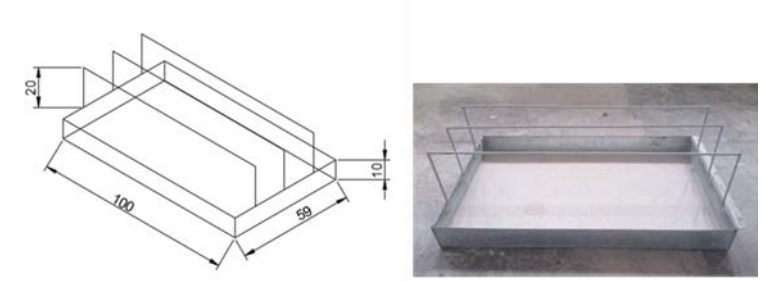
ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบขนาดแปลงทดลองคอนกรีตสำหรับใส่ต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสม ให้มีขนาดความยาว 98 เซนติเมตร กว้าง 59 เซนติเมตร สูงจากพื้น 10 เซนติเมตร มีช่องสำหรับใส่ถุงชำปลูกต้นกล้าป่าชายเลนทั้งหมด 15 ช่อง ต่อ 1 ชุดแปลงทดลอง โดยสร้างจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสองนิ้วครึ่ง สูง 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-21 ในการศึกษาแต่ละกรณีใช้ 2 ชุดแปลงทดลอง ดังนั้นจะมีช่องสำปรับปลูกต้นกล้าป่าชายเลนในแต่ละกรณีทั้งหมด 30 ช่องต่อกรณี



หน่วย : เซนติเมตร

ภาพที่ 3-21 ลักษณะชุดแปลงทดลองคอนกรีต

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



หน่วย : เซนติเมตร

ภาพที่ 3-22 กระบะใส่ชุดแปลงทดลองคอนกรีต

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

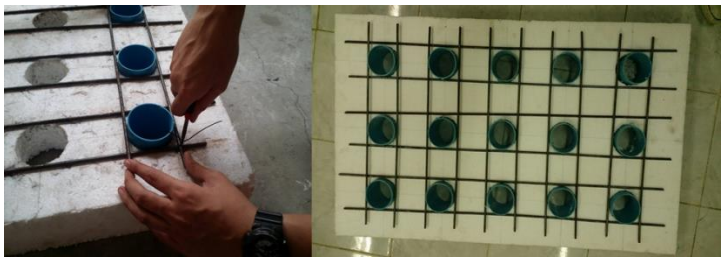
ภาพที่ 3-23 การตัดท่อพีวีซีสำหรับใช้ทำแปลงทดลองคอนกรีต

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

ขั้นตอนที่ 5 ตัดไม้แบบสำหรับทำชุดแปลงทดลองคอนกรีตดังภาพที่ 3-25

ขั้นตอนที่ 6 ผสมคอนกรีตเข้ากับส่วนผสมพิเศษ คือ เม็ดโฟมซีเบา เพื่อลดน้ำหนักของชุดแปลงทดลองคอนกรีตให้สามารถยกแปลงทดลองเข้า-ออกรางน้ำชลศาสตร์ได้สะดวกมากขึ้น แต่ชุดแปลงทดลองคอนกรีตต้องยังคงจมน้ำอยู่เช่นเดิม โดยผสมคอนกรีตในอัตราส่วนต่อ

ปริมาตร ปูนซีเมนต์ : ทราย : เม็ดโฟมซีเบา เท่ากับ 1 : 2 : 4 (โดยในการทดลองนี้ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.8) ดังภาพที่ 3-26



ภาพที่ 3-24 การผูกเหล็กตะแกรงสำหรับเพิ่มความแข็งแรงแปลงทดลองคอนกรีตและช่วยยึดแนวท่อพีวีซี

ภาพที่ 3-25 การตัดไม้แบบสำหรับทำชุดแปลงทดลองคอนกรีต

ภาพที่ 3-26 การผสมคอนกรีตกับเม็ดโฟมซีเบาเพื่อให้ชุดแปลงทดลองคอนกรีตมีน้ำหนักเบา

ขั้นตอนที่ 7 นำเหล็กตะแกรงและท่อพีวีซีมาจัดเรียงในไม้แบบตามที่ออกแบบชุดแปลงทดลองคอนกรีตไว้ข้างต้น ใช้เศษหินขนาดเล็กหนุนตะแกรงเหล็ก เพื่อป้องกันไม่ให้เหล็ก

ตะแกรงติดกับไม้แบบ จากนั้นนำคอนกรีตที่ผสมเตรียมไว้เทลงในไม้แบบให้เรียบร้อยแล้วตกแต่งผิวหน้าให้เรียบ ดังภาพที่ 3-27

ขั้นตอนที่ 8 เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วให้แกะไม้แบบออก จากนั้นนำชุดแปลงทดลองคอนกรีตมาใส่ในกระบะ ดังภาพที่ 3-28

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

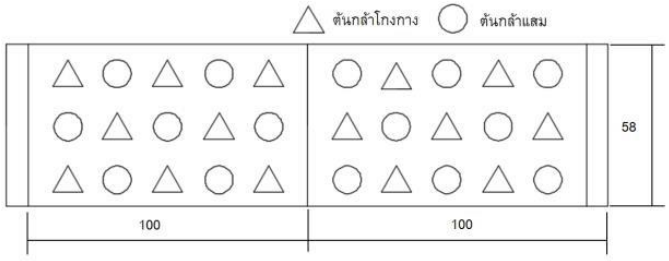
ภาพที่ 3-27 การเทคอนกรีตทำชุดแปลงทดลองคอนกรีต

ภาพที่ 3-28 ชุดแปลงทดลองสำหรับจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลน

ภาพที่ 3-29 การคัดต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสม

ขั้นตอนที่ 10 นำต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงที่คัดความสูงมาจัดเรียงแบบสลับฟันปลา ดังภาพที่ 3-30 เพื่อให้ต้นกล้าป่าชายเลนได้รับผลกระทบจากคลื่น หรือ กระแสน้ำใกล้เคียงกัน จากนั้นนำผ้าใบมากรีดผ่ากลางตามแนวแถวของต้นกล้า จากนั้นติดผ้าใบปิดกับผิวหน้าของชุดแปลงทดลองคอนกรีตเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของดิน ดังภาพที่ 3-31

ขั้นตอนที่ 11 ผูกต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางติดกับแนวเสาค้ำยันด้วยเชือกฟาง ดังภาพที่ 3-32



ภาพที่ 3-30 การจัดเรียงต้นกล้าป่าชายเลนแบบสลับฟันปลา

ภาพที่ 3-31 การติดแผ่นผ้าใบที่ผิวหน้าชุดแปลงทดลองคอนกรีต

ภาพที่ 3-32 การผูกต้นกล้าป่าชายเลนเข้ากับแนวเสาค้ำยัน

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

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

1.9 พื้นเอียงสลายพลังงานคลื่น โครงสร้างพื้นเอียงแบบผิวเรียบสำหรับสลายพลังงานคลื่นที่ใช้ในการทดลองทำมาจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) น้ำซึมผ่านไม่ได้มีความยาว 255 เซนติเมตร กว้างเท่ากับความกว้างของรางจำลองคลื่น คือ 60 เซนติเมตร บริเวณฐานพื้นเอียงยึดติดด้วยสลักเกลียว และบริเวณหัวพื้นเอียงถูกยึดด้วยฐานที่มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กสองแกน ซึ่งสามารถปรับความลาดชันได้ตามต้องการดังภาพที่ 3-35 พื้นเอียงสลายพลังงานถูกติดตั้งไว้ที่ด้านท้ายสุดของรางจำลองคลื่น เพื่อลดการเกิดคลื่นสะท้อนกลับเข้าสู่แปลงทดลอง ตัวพื้นเอียงช่วยสลายพลังงานคลื่นโดยการลดความลึกของท้องน้ำทำให้อนุภาคของคลื่นถูกรบกวนส่งผลให้คลื่นแตกตัว

ภาพที่ 3-33 อ่างน้ำควบคุมสำหรับทดลองกรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำ

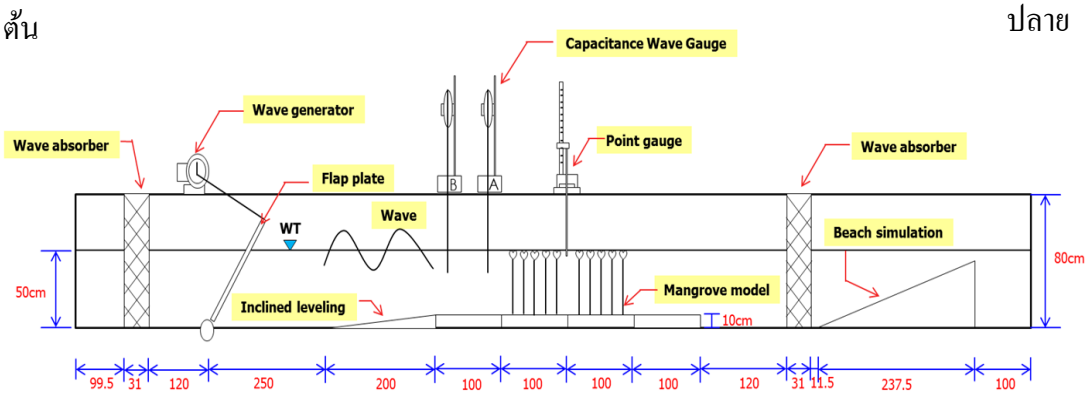
ภาพที่ 3-34 ตัวสลายพลังงานคลื่น

ภาพที่ 3-35 พื้นเอียงสลายพลังงานคลื่น

2. ขั้นตอนการทดลองผลกระทบของคลื่น

การทดลองผลกระทบของคลื่นทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยใช้รางจำลองคลื่นที่มีลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ดังภาพที่ 3-36 ในการทดลองผลกระทบของคลื่นกำหนดระดับน้ำที่ 50 เซนติเมตร กำเนิดคลื่นด้วยมอเตอร์และแผ่นใบพัดสร้างคลื่น กำหนดความเร็วรอบมอเตอร์ไว้ที่ 60 รอบต่อนาที และคาบคลื่น 1 วินาที ในทุกกรณี คลื่นที่ได้เป็นคลื่นแบบสม่ำเสมอ ทำการทดลองทั้งหมด 4 กรณี โดยกรณีที่หนึ่งมีค่าความสูงคลื่น 12.5 เซนติเมตร กรณีที่สองมีความสูงคลื่น 10 เซนติเมตร กรณีที่สามมีความสูงคลื่น 7.5 เซนติเมตร และกรณีที่สี่เป็นกรณีควบคุม (C) ที่ไม่ได้รับผลกระทบของคลื่นทำการทดลองด้วยการนำชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนแช่ในอ่างน้ำควบคุมที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น กำหนดระดับน้ำที่ใช้ในกรณีควบคุมที่ 50 เซนติเมตร เช่นเดียวกับกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่น อ่างน้ำควบคุมตั้งอยู่ด้านข้างรางจำลองคลื่น

ในพื้นที่เดียวกับการทดลองกรณีที่ได้รับผลกระทบของคลื่น ในกรณีผลกระทบจากความสูงคลื่น แต่ละกรณีสามารถเปลี่ยนค่าความสูงคลื่นที่ออกแบบด้วยการปรับระยะคันชักข้อเหวี่ยงระหว่างมอเตอร์กับใบพัดคลื่น โดยปรับระยะคันชักข้อเหวี่ยงที่ 200, 160 และ 120 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ความสูงคลื่นออกแบบ 12.5, 10 และ7.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ทดลองกรณีละ 2 ชั่วโมงต่อวัน ต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน รายละเอียดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3-4



ภาพที่ 3-36 ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์การทดลองเรื่องคลื่นในรางน้ำชลศาสตร์

ตารางที่ 3-4 รายละเอียดการทดลองผลกระทบของคลื่น

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

ขั้นตอนที่ 1 ติดตั้งชุดพื้นแปลงทดลองลงในรางจำลองคลื่น ดังภาพที่ 3-37

ภาพที่ 3-37 การติดตั้งชุดพื้นแปลงทดลองในรางจำลองคลื่น

ขั้นตอนที่ 2 ติดตั้งตัวสลายพลังงานคลื่น และพื้นเอียงสลายพลังงานคลื่นบริเวณท้ายรางจำลองคลื่น

ขั้นตอนที่ 3 ติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่งแบบเข็มชี้สำหรับวัดระดับน้ำบริเวณกลางรางจำลองคลื่น และเครื่องมือวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า บริเวณด้านหน้าก่อนคลื่นเข้าสู่แปลงทดลองสำหรับเก็บค่าความสูงคลื่น ดังภาพที่ 3-38

ภาพที่ 3-38 การติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่งแบบเข็มชี้และแบบวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 4 ยกชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนกรณีที่หนึ่งติดตั้งในรางจำลองคลื่น ดังภาพที่ 3-39

ขั้นตอนที่ 5 ปิดประตูต้นน้ำและท้ายน้ำ เพื่อให้รางน้ำชลศาสตร์เป็นระบบปิดสำหรับจำลองคลื่น จากนั้นปั๊มน้ำเข้ารางจำลองคลื่นให้ได้ระดับน้ำที่ 50 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่งแบบเข็มชี้ (Point gauge) ในการวัดค่าระดับน้ำตามที่ต้องการ ดังภาพที่ 3-40

ภาพที่ 3-39 การติดตั้งชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนลงในรางจำลองคลื่น

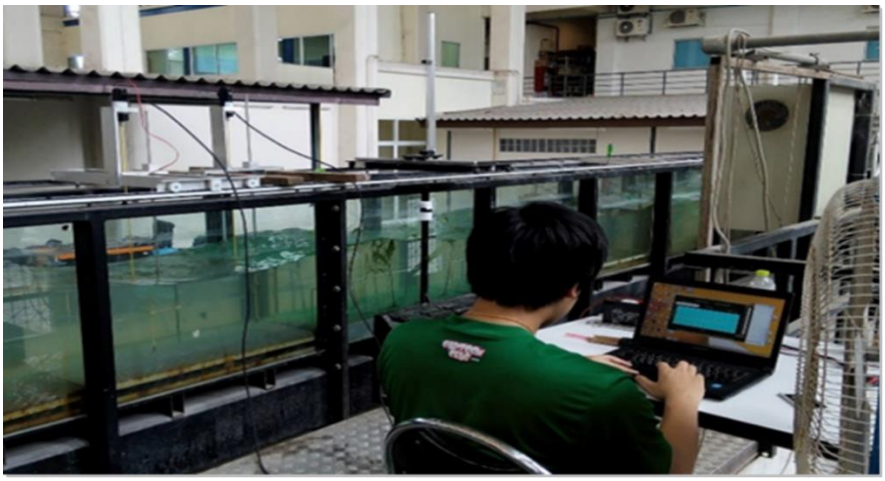
ภาพที่ 3-40 การปั๊มน้ำเข้ารางจำลองคลื่นและการวัดค่าระดับน้ำนิ่ง

ขั้นตอนที่ 6 ปรับระยะคันชักข้อเหวี่ยงที่ 200 มิลลิเมตร สำหรับกรณีที่หนึ่ง จากนั้นเปิดเครื่องกำเนิดคลื่น โดยกำหนดความเร็วมอเตอร์ที่กล่องควบคุมให้ได้ความเร็ว 60 รอบต่อนาที เพื่อให้ได้ความสูงคลื่นออกแบบ 12.5 เซนติเมตร ทำการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมงต่อกรณีต่อวัน ต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน ดังภาพที่ 3-41

ภาพที่ 3-41 การปรับระยะคันชักข้อเหวี่ยง

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

ขั้นตอนที่ 8 หลังจากครบ 2 ชั่วโมง ปิดเครื่องกำเนิดคลื่น และเปิดประตูท้ายน้ำเพื่อระบายน้ำออก จากนั้นยกแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนออกจากรางจำลองคลื่น



ภาพที่ 3-42 การเก็บค่าความสูงคลื่นจากเครื่องมือวัดค่าความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนที่ 9 สำหรับกรณีที่สองและกรณีที่สามให้ทำซ้ำขั้นตอนที่ 5 ถึง ขั้นตอนที่ 8 แต่เปลี่ยนชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนสำหรับกรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3 ตามลำดับ และเปลี่ยนระยะคันชักข้อเหวี่ยงเป็น 160 และ 120 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ความสูงคลื่น

ออกแบบ 10 และ 7.5 เซนติเมตร ตามลำดับ และนอกจากนี้ในแต่ละวันที่ทำการทดลองมีการเปลี่ยนลำดับการทดลองของแต่ละกรณีให้สลับวนช่วงเวลากันตลอดจนจบการทดลอง เพื่อให้ได้รับผลกระทบทางสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด

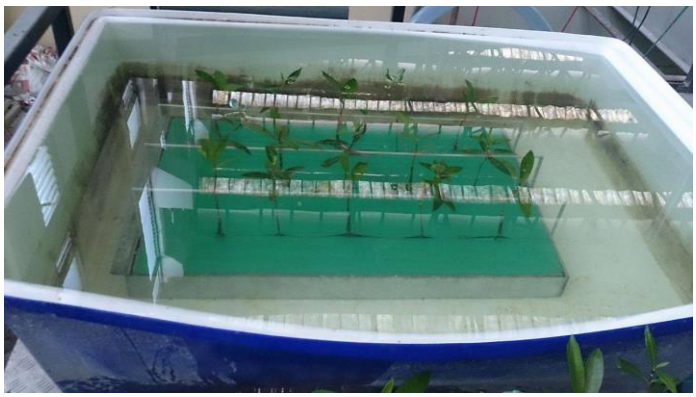
ขั้นตอนที่ 10 กรณีควบคุมเป็นกรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบของคลื่นทำการทดลองในอ่างน้ำควบคุม ทำการทดลองโดยการวางอ่างน้ำควบคุมบริเวณด้านข้างรางจำลองคลื่นที่มีสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกับกรณีที่ไดรับผลกระทบจากคลื่น จากนั้นปั๊มน้ำเข้าอ่างน้ำควบคุมให้ได้ระดับน้ำที่ 50 เซนติเมตร แล้วนำชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมเป็นเวลา 2 ชั่วโมงต่อวัน เท่ากับกรณีอื่น ๆ เมื่อครบ 2 ชั่วโมง แล้วจึงยกออกมาวางด้านนอกข้างอ่างน้ำควบคุม ทำการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน และมีการเปลี่ยนช่วงเวลาทดลองตลอดจนจบการทดลองเพื่อให้ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกับกรณีได้รับผลกระทบจากคลื่น ดังภาพที่ 3-43

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

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

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

ขั้นตอนที่ 14 เมื่อครบ 120 ชั่วโมง นำชิ้นส่วนต้นกล้าป่าชายเลนพร้อมห่อกระดาษฟอยล์ไปชั่งน้ำหนัก และชั่งน้ำหนักกระดาษฟอยล์เปล่าอีกครั้ง เพื่อนำไปหาน้ำหนักจริงของชิ้นส่วนต้นกล้าป่าชายเลนก่อนอบและหลังอบ



ภาพที่ 3-43 ลักษณะการทดลองกรณีควบคุมที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำ

ภาพที่ 3-44 การนำต้นกล้าป่าชายเลนออกจากชุดแปลงทดลองไปล้างน้ำ

ภาพที่ 3-45 การแบ่งส่วนต้นกล้าแล้วนำไปอบ

การทดลองผลกระทบของกระแสน้ำ

การทดลองผลกระทบของกระแสน้ำทำการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องปฏิบัติการทางชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ลักษณะสภาพแวดล้อมในการทดลองเป็นการทดลองในพื้นที่ร่มมีแสงแดดส่องผ่านเข้ามาได้เล็กน้อย การทดลองผลกระทบของกระแสน้ำมีรายละเอียดของเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และขั้นตอนในการทดลองผลกระทบของกระแสน้ำ ดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ผลกระทบของกระแสน้ำ

1.1 รางจำลองการไหล (Flume) ดังภาพที่ 3-5 รางจำลองการไหล คือ เครื่องมือการทดลองทางชลศาสตร์ มีลักษณะเป็นรางน้ำขนาดใหญ่ มีความยาว 16 เมตร หน้าตัดกว้าง 60 เซนติเมตร ลึก 80 เซนติเมตร มีถังเก็บน้ำอยู่ด้านล่าง มีเครื่องสูบน้ำสำหรับสร้างการไหลผ่านรางและวนกลับมาที่ถังเก็บน้ำเพื่อสูบกลับไปเป็นวงจร รางทดลองนี้สามารถสร้างอัตราการไหลสูงได้ถึง ประมาณ 330 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือประมาณ 5,500 ลิตรต่อนาที ตัวรางสามารถปรับความลาดเอียงได้

1.2 เครื่องมือวัดระดับน้ำนิ่งแบบเข็มชี้ (Point gauge) สำหรับวัดระดับน้ำนิ่ง ดังภาพที่ 3-10

1.3 เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำ (Current velocity meter) ใช้สำหรับวัดค่าความเร็วกระน้ำ โดยถูกติดตั้งไว้บริเวณด้านหน้าก่อนกระแสน้ำเข้าสู่แปลงทดลองจำลองปลูกต้นกล้าป่าชายเลน ดังภาพที่ 3-46

ภาพที่ 3-46 เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำ

1.4 ชุดพื้นแปลงทดลอง (Experimental floor) สำหรับติดตั้งแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนในรางน้ำจำลองการไหล ดังภาพที่ 3-47

ภาพที่ 3-47 ชุดพื้นแปลงทดลองสำหรับติดตั้งในรางน้ำจำลองการไหล

1.5 ชุดแปลงทดลองจำลองปลูกต้นกล้าป่าชายเลน (Experimental batch) สำหรับติดตั้งกับชุดพื้นแปลงทดลอง เพื่อจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนในรางจำลองการไหล ดังภาพที่ 3-48

1.6 ต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสมสำหรับทำการทดลองผลกระทบของกระแสน้ำ ดังภาพที่ 3-20

ภาพที่ 3-48 ชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลน

2. ขั้นตอนการทดลองผลกระทบของกระแสน้ำ

การทดลองผลกระทบของกระแสน้ำทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยใช้รางจำลองการไหลที่มีลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ ดังภาพที่ 3-49 ในการทดลองผลกระทบของกระแสน้ำกำหนดระดับน้ำที่ 50 เซนติเมตร ทำการทดลองทั้งหมด 4 กรณี โดยกรณีที่หนึ่งกำหนดให้มีความเร็วกระแสน้ำ 0.3 เมตรต่อวินาที กรณีที่สองกำหนดให้มีความเร็วกระแสน้ำ 0.2 เมตรต่อวินาที กรณีที่สามกำหนดให้มีความเร็วกระแสน้ำ 0.1 เมตรต่อวินาที และกรณีที่สี่เป็นกรณีควบคุม (C) เป็นกรณีควบคุมที่ไม่ได้รับผลกระทบของกระแสน้ำทำการทดลองด้วยการนำชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนแช่ในอ่างน้ำควบคุมที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกระแสน้ำ กำหนดระดับน้ำที่ใช้ในกรณีควบคุมที่ 50 เซนติเมตร เช่นเดียวกับกรณีที่ได้รับผลกระทบจากกระแสน้ำ อ่างน้ำควบคุมตั้งอยู่ด้านข้างรางจำลองการไหลในพื้นที่เดียวกับการทดลองกรณีที่ได้รับผลกระทบของกระแสน้ำ ในกรณีผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำแต่ละกรณีสามารถเปลี่ยนค่าความเร็วกระแสน้ำได้ด้วยการปรับอัตราการไหลที่กล่องควบคุม โดยปรับอัตราไหล 5,400 3,600 และ 1,800 ลิตรต่อนาที เพื่อให้ได้ความเร็วกระแสน้ำออกแบบ 0.3 0.2 และ 0.1 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ทำการทดลองกรณีละ 2 ชั่วโมงต่อวันต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน รายละเอียดการทดลองดังแสดงในดังตารางที่ 3-5

ขั้นตอนที่ 1 ติดตั้งชุดพื้นแปลงทดลองในรางจำลองการไหล

ขั้นตอนที่ 2 ยกชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนกรณีที่ 1 เข้าไปติดในรางจำลองการไหล

ขั้นตอนที่ 3 เปิดเครื่องปั๊มน้ำที่กล่องควบคุม โดยเริ่มปรับอัตราการไหลในช่วงแรกอยู่ที่ 1,500 ลิตรต่อนาที แล้วจึงค่อยปิดประตูน้ำทางด้านท้ายราง เพื่อปรับยกระดับน้ำในรางเพิ่มสูงขึ้นจนได้ระดับใกล้เคียง 50 เซนติเมตร หลังจากนั้นจึงเริ่มปรับอัตราการไหลให้เป็น 5,400 ลิตรต่อนาที เพื่อให้ได้ค่าความเร็วกระแสน้ำที่ 0.3 เมตรต่อวินาที แล้วค่อยปรับประตูระบายน้ำให้ได้ระดับน้ำ 50 เซนติเมตร ตามที่ออกแบบ ดังภาพที่ 3-50

ในช่วงแรกของทุกกรณีจำเป็นต้องมีการปรับอัตราการไหลที่ 1,500 ลิตรต่อนาที ก่อนแล้วจึงปิดประตูน้ำให้ระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียง 50 เซนติเมตร ทุกครั้ง เนื่องจากว่าหากมีการปรับค่าอัตราการไหลในช่วงแรงสูงในขณะที่ระดับน้ำในรางต่ำ ค่าความเร็วของกระแสน้ำจะเพิ่มสูงมาก ซึ่งค่าความเร็วที่มากนั้นจะส่งผลต่อต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสมก่อนเริ่มการทดลองได้

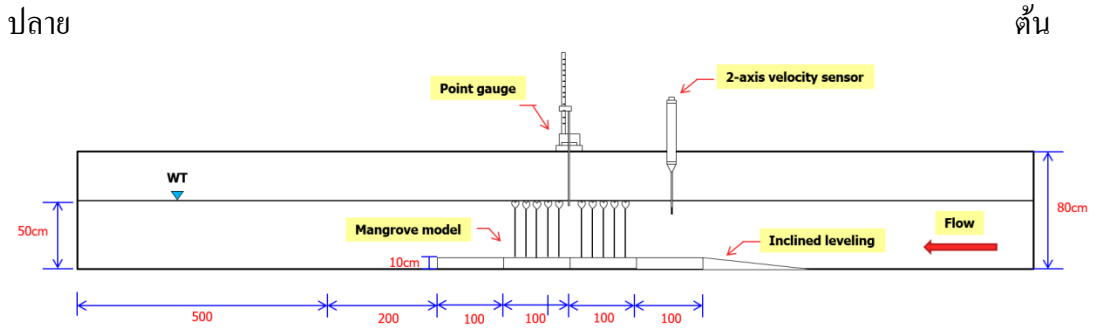
ขั้นตอนที่ 4 ทำการเก็บข้อมูลค่าความเร็วกระแสน้ำจากเครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำในคอมพิวเตอร์ หลังจากปรับระดับน้ำและค่าอัตราการไหลในแต่ละกรณีเรียบร้อยแล้ว 5 นาที 1 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง 50 นาที ดังภาพที่ 3-51

ขั้นตอนที่ 5 หลังจากครบ 2 ชั่วโมง ปิดเครื่องปั๊มน้ำที่กล่องควบคุม และเปิดประตูท้ายน้ำเพื่อระบายออก จากนั้นยกแปลงทดลองออกจากรางจำลองการไหล

ขั้นตอนที่ 6 สำรับกรณีที่สองและกรณีที่สามให้ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึง ขั้นตอนที่ 5 แต่เปลี่ยนชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนสำหรับกรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3 ตามลำดับ และ เปลี่ยนค่าอัตราการไหลเป็น 3,600 และ 1,800 ลิตรต่อนาที เพื่อให้ได้ความเร็วกระแสน้ำที่ 0.2 และ 0.1 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ และนอกจากนี้ในแต่ละวันที่ทำการทดลองมีการเปลี่ยนลำดับการทดลองของแต่ละกรณีให้สลับวนช่วงเวลากันตลอดจนจบการทดลอง เพื่อให้ได้รับผลกระทบทางสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด

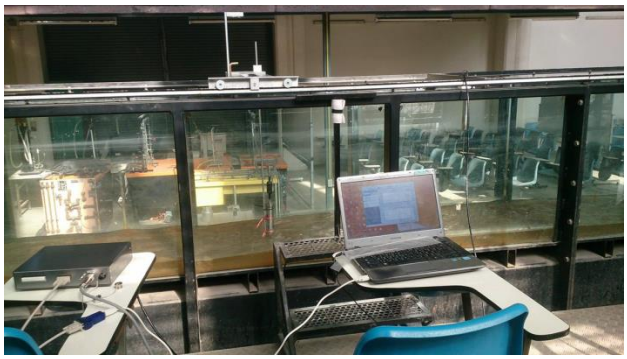
ตารางที่ 3-5 รายละเอียดการทดลองผลกระทบของกระแสน้ำ

รายละเอียดการทดลอง	
จำนวนต้นกล้าโกงกางจำลอง (ต้น/กรณี)	15
จำนวนต้นกล้าแสมจำลอง (ต้น/กรณี)	16.0
ความสูงของระดับน้ำ (เซนติเมตร)	50
อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	C 1,800 3,600 5,400
ความเร็วกระแสน้ำออกแบบ (เมตร/วินาที)	C 0.1 0.2 0.3
ระยะเวลาทดลอง (ชั่วโมง/วัน/กรณี)	2
ช่วงเวลาการทดลอง (วัน)	30
จำนวนการทดลอง (กรณี)	4



ภาพที่ 3-49 ลักษณะการจัดวางชุดอุปกรณ์การทดลองผลกระทบของกระแสน้ำ

ภาพที่ 3-50 ลักษณะการทดลองผลกระทบของกระแสน้ำ



ภาพที่ 3-51 เก็บข้อมูลความเร็วกระแสน้ำด้วยคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนที่ 7 กรณีควบคุมเป็นกรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบของกระแสน้ำทำการทดลองในอ่างน้ำควบคุม ทำการทดลองโดยการวางอ่างน้ำควบคุมบริเวณด้านข้างรางจำลองการไหลที่มีสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกับกรณีที่ได้รับผลกระทบจากกระแสน้ำ จากนั้นปั๊มน้ำเข้าอ่างน้ำควบคุมให้ได้ระดับน้ำที่ 50 เซนติเมตร แล้วนำชุดแปลงทดลองจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมเป็นเวลา 2 ชั่วโมงต่อวัน เท่ากับกรณีอื่น ๆ เมื่อครบ 2 ชั่วโมงแล้วจึงยกออกมาวางด้านนอกข้างอ่างน้ำควบคุม ทำการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน และมีการเปลี่ยนช่วงเวลาทดลองตลอดจนจบการทดลอง เพื่อให้ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกับกรณีได้รับผลกระทบจากกระแสน้ำ ดังภาพที่ 3-43

ขั้นตอนที่ 8 บันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง โดยการใช้เวอร์เนีย (Vernier caliper) ส่วนความสูงของลำต้นวัดด้วยการนำเชือกทาบตามลำต้น เนื่องจากลักษณะลำต้นของต้นไม้มีการโค้งงอที่แตกต่างกัน โดยวัดความสูงของลำต้นจากจุด

ที่ทำสัญลักษณ์ส่วนล่างลำต้นถึงส่วนบนลำต้น จากนั้นนำมาเทียบกับไม้บรรทัด ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 6 วัน และเก็บข้อมูลจำนวนใบก่อนการทดลองและหลังการทดลอง

ขั้นตอนที่ 9 เมื่อทำการทดลองต่อเนื่องกันจนครบ 30 วัน จากนั้นนำต้นกล้าป่าชายเลนออกจากชุดแปลงทดลอง นำไปล้างน้ำเอาดินออกอย่างเบามือที่สุด โดยต้องระวังอย่าให้รากขาด ผึ่งไว้เป็นกลุ่มตามแปลงแต่ละกรณีรอจนกว่าจะแห้ง ดังภาพที่ 3-44

ขั้นตอนที่ 10 แบ่งต้นกล้าป่าชายเลนเป็นสามส่วน คือ ราก ลำต้น และใบ ใช้กระดาษฟอยล์ห่อให้เรียบร้อย นำไปชั่งน้ำหนักก่อนอบ จากนั้นเอาไปเข้าเตาอบ โดยอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3-45

ขั้นตอนที่ 11 เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นำชิ้นส่วนต้นกล้าป่าชายเลนพร้อมห่อกระดาษฟอยล์ไปชั่งน้ำหนัก และชั่งน้ำหนักกระดาษฟอยล์เปล่าอีกครั้ง เพื่อนำไปหาน้ำหนักจริงของชิ้นส่วนต้นกล้าป่าชายเลนก่อนอบและหลังอบ

การทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น

ทำการทดลองบริเวณด้านหลังห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สภาพแวดล้อมในการทดลองมีลักษณะเป็นพื้นที่โล่งแจ้ง มีต้นไม้ใหญ่บังแสงแดดเล็กน้อย การทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นมีรายละเอียดของเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และขั้นตอนในการทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น ดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองของระดับน้ำท่วมต้น

1.1 กระบะพลาสติกสี่เหลี่ยม 2,500 ลิตร กว้าง 116 เซนติเมตร 198 เซนติเมตร และสูง 107 เซนติเมตร ใช้สำหรับจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนที่ระดับน้ำท่วมต้นที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 3-52

1.2 ถังเก็บน้ำกลม 1,000 ลิตร เป็นถังที่ใช้เก็บน้ำสำหรับปั๊มน้ำเข้ากระบะพลาสติก เมื่อทำการทดลองเสร็จก็จะปั๊มน้ำกลับเข้ามาเก็บในถังเก็บน้ำกลม เพื่อใช้ในการทดลองวันต่อไป ดังภาพที่ 3-53

1.3 กระถางต้นไม้ขนาดกว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร สูง 9 เซนติเมตร สำหรับนำต้นกล้าในถุงชำมาใส่ในกระถาง เพื่อที่สามารถเรียงบนพื้นขั้นบันไดได้ ดังภาพที่ 3-54

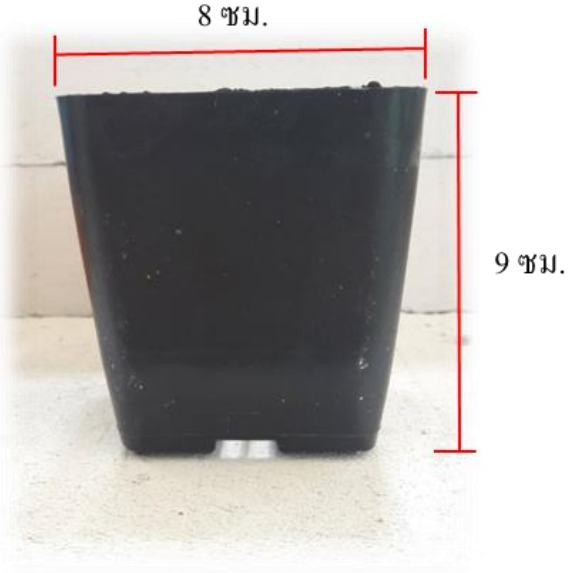
1.4 อิฐมวลเบา ถุงทราย และกระเบื้องปูพื้นอย่างหนา ใช้สำหรับทำระดับพื้นขั้นบันได ดังภาพที่ 3-55

1.5 เหล็กข้ออ้อย RB 16 มิลลิเมตร ใช้สำหรับรัดรอบกระบะพลาสติก เพื่อป้องกันถังปริแตกของกระบะพลาสติกเนื่องจากแรงดันน้ำ ดังภาพที่ 3-56

1.6 ปั๊มจุ่มน้ำสแตนเลส สามารถสูบน้ำอัตราการไหลอยู่ที่ 2,400 ลิตรต่อชั่วโมง และสูบน้ำได้สูง 2.6 เมตร ใช้สำหรับสูบน้ำจากถังเก็บน้ำเข้ากระบะพลาสติก เพื่อจำลองการเกิดน้ำขึ้น-น้ำลง ดังภาพที่ 3-57

ภาพที่ 3-52 กระบะพลาสติกสี่เหลี่ยมสำหรับทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น

ภาพที่ 3-53 ถังเก็บน้ำกลมสำหรับการทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น



ภาพที่ 3-54 กระถางใส่ต้นกล้าป่าชายเลนสำหรับวางในกระบะพลาสติก

ภาพที่ 3-55 อุปกรณ์สำหรับทำระดับพื้นขั้นบันได (ก) อิฐมวลเบา (ข) ถุงทราย และ (ค) กระเบื้องปูพื้นอย่างหนา สำหรับทำขั้นบันได

ภาพที่ 3-56 เหล็กเส้น RB 16 มิลลิเมตร สำหรับรัดรอบกระบะพลาสติกป้องกันการปริแตก

ภาพที่ 3-57 ปั๊มจุ่มน้ำสแตนเลสสำหรับสูบน้ำจากถังเก็บน้ำเข้ากระบะพลาสติก

2. ขั้นตอนการทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น

การทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นทำการศึกษาบริเวณด้านหลังห้องปฏิบัติการ โดยใช้กระบะพลาสติกสี่เหลี่ยม ในการทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น มีการทำระดับพื้นขั้นบันใดด้วยอิฐมวลเบา 2 ขั้น คือ ขั้นที่ 1 ที่ระดับสูงจากพื้น 35 เซนติเมตร และขั้นที่ 2 ที่ระดับสูงจากพื้น 55 เซนติเมตร พื้นแต่ละขั้นกว้าง 30 เซนติเมตร กำหนดระดับน้ำในกระบะพลาสติกที่ 70 เซนติเมตร ทำการทดลองทั้งหมด 3 กรณี โดยกรณีที่หนึ่ง ที่วางต้นกล้าป่าชายเลนไว้ที่พื้นระดับ 0 เซนติเมตร ทำให้ได้ระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร) กรณีที่สอง วางต้นกล้าป่าชายเลนไว้บนขั้นบันใดขั้นที่ 1 ทำให้ได้ระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร) กรณีที่สาม วางต้นกล้าป่าชายเลนไว้บนขั้นบันใดขั้น 2 ทำให้ได้ระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร) ดังภาพที่ 3-58 ทำการทดลองโดยใช้เวลา 1 ชั่วโมง ในการสูบน้ำเข้ากระบะให้มีระดับน้ำที่ 70 เซนติเมตร จากนั้นแช่ทิ้งไว้นาน 3 ชั่วโมง แล้วจึงสูบน้ำออกใช้เวลา 1 ชั่วโมง เพื่อจำลองการเกิดน้ำขึ้น-น้ำลง รวมระยะเวลาในการทดลองทั้งสิ้น 5 ชั่วโมงต่อวัน ทำการทดลองการต่อเนื่องทุกวันเป็นเวลา 60 วัน รายละเอียดการทดลองดังตารางที่ 3-6

ภาพที่ 3-58 ลักษณะการทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น

ตารางที่ 3-6 รายละเอียดการทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น

รายละเอียดการทดลอง	
จำนวนต้นกล้าโกงกางจำลอง (ต้น/กรณี)	10
จำนวนต้นกล้าแสมจำลอง (ต้น/กรณี)	10
ระดับน้ำท่วมต้นออกแบบ	ท่วมราก ท่วมกลางต้น ท่วมทั้งต้น
ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	15 35 70
ระยะเวลาทดลอง (ชั่วโมง/วัน)	5
ช่วงเวลาการทดลอง (วัน)	60
จำนวนการทดลอง (กรณี)	3

ขั้นตอนที่ 1 ทำระดับขั้นบันใดด้วยอิฐมวลเบา ถุงทราย และกระเบื้องปูพื้นอย่างหนา โดยให้ที่ระดับขั้นบันใดขั้นที่ 1 มีระดับสูงจากพื้น 35 เซนติเมตร และระดับขั้นบันใดขั้นที่ 2 มีระดับสูงจากพื้น 55 เซนติเมตร ส่วนบริเวณพื้นของกระบะเป็นระดับที่ 0 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-59

ขั้นตอนที่ 2 แกะถุงชำต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางออกแล้วนำไปใส่กระถาง เพื่อจัดเรียงบนระดับขั้นบันใดที่ 0 35 และ 55 เซนติเมตร ทำให้ได้ระดับน้ำท่วมต้นที่แตกต่างกัน 3 กรณี เมื่อปั๊มน้ำเข้ากระบะที่ 70 เซนติเมตร คือ ระดับน้ำท่วมทั้งต้น ระดับน้ำท่วมกลางต้น และระดับน้ำท่วมราก ตามลลำดับ โดยแต่ละกรณีใช้ต้นกล้าชนิดละ 10 ต้น ดังภาพที่ 3-60

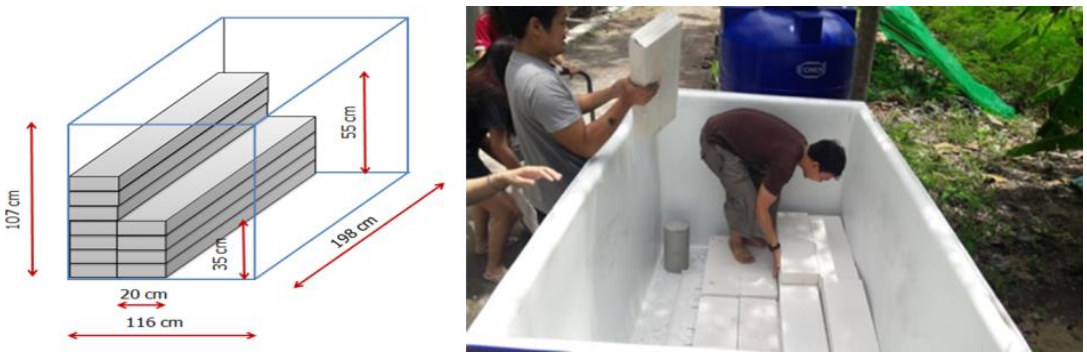
ขั้นตอนที่ 3 สูบน้ำจากถังเก็บน้ำกลม 1,000 ลิตร ด้วยปั๊มจุ่มน้ำแสตนเลส เพื่อจำลองการเกิดน้ำขึ้น-น้ำลง ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ให้ได้ระดับน้ำในกระบะพลาสติก 70 เซนติเมตร แล้วปล่อยให้ต้นกล้าป่าชายเลนแช่น้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อต้นกล้าป่าชายเลนถูกแช่น้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วจึงสูบน้ำกลับเข้าถังเก็บน้ำกลมเพื่อใช้ทดลองในวันต่อไป ใช้เวลาในการสูบน้ำออก 1 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3-61

ขั้นตอนที่ 4 บันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง โดยการใช้เวอร์เนีย (Vernier caliper) ส่วนความสูงของลำต้นวัดด้วยการนำเชือกทาบตามลำต้น เนื่องจากลักษณะลำต้นของต้นไม้มีการโค้งงอที่แตกต่างกัน โดยวัดความสูงของลำต้นจากจุดที่ทำสัญลักษณ์ส่วนล่างลำต้นถึงส่วนบนลำต้น จากนั้นนำมาเทียบกับไม้บรรทัด ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 6 วัน และ เก็บข้อมูลจำนวนใบก่อนการทดลองและหลังการทดลอง

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อทำการทดลองต่อเนื่องกันจนครบ 60 วัน จากนั้นนำต้นกล้าป่าชายเลนออกจากกระถาง แล้วนำไปล้างน้ำเพื่อเอาดินออกอย่างเบามือที่สุด โดยต้องระวังอย่าให้รากขาด ผึ่งไว้เป็นกลุ่มตามแปลงแต่ละกรณีรอจนกว่าจะแห้ง ดังภาพที่ 3-44

ขั้นตอนที่ 6 แบ่งต้นกล้าป่าชายเลนเป็นสามส่วน คือ ราก ลำต้น และใบ ใช้กระดาษฟอยล์ห่อให้เรียบร้อย นำไปชั่งน้ำหนักก่อนอบ จากนั้นเอาไปเข้าเตาอบ โดยอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3-45

ขั้นตอนที่ 7 เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นำชิ้นส่วนต้นกล้าป่าชายเลนพร้อมห่อกระดาษฟอยล์ไปชั่งน้ำหนัก และชั่งน้ำหนักกระดาษฟอยล์เปล่าอีกครั้ง เพื่อนำไปหาน้ำหนักจริงของชิ้นส่วนต้นกล้าป่าชายเลนก่อนอบและหลังอบ



ภาพที่ 3-59 การทำระดับขั้นบันไดเพื่อจำลองการปลูกต้นกล้าป่าชายเลนที่ระดับน้ำท่วมต้นต่างกัน

ภาพที่ 3-60 การจัดเรียงต้นกล้าป่าชายเลนในกระบะพลาสติกสำหรับการทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น

ภาพที่ 3-61 การสูบน้ำเข้ากระบะพลาสติกเพื่อจำลองการเกิดน้ำขึ้น-น้ำลง

การทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ

การทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำทำการทดลองบริเวณด้านหลังห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สภาพแวดล้อมในการทดลองมีลักษณะเป็นพื้นที่โล่งแจ้งมีต้นไม้ใหญ่บังแสงแดดเล็กน้อย การทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำมีรายละเอียดของการคำนวณปริมาณเกลือที่ใช้ในการทดลอง เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และขั้นตอนในการทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำดังต่อไปนี้

1. วิธีการคำนวณปริมาณเกลือ

ค่าความเค็มของน้ำทะเล คือ ปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล การทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำต่อต้นกล้าป่าชายเลน ต้นไม้ป่าชายเลนทั่วไปอาศัยอยู่ในพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำหรือหาดโคลน ที่มีสภาพเป็นน้ำกร่อยมีค่าความเค็มอยู่ที่ 0.5-25 ppt (Part per thousand) ส่วนค่าความเค็มของน้ำทะเลของโลกเฉลี่ยมีค่าความเค็มอยู่ที่ 35 ppt ในการทดลองครั้งนี้ได้กำหนดค่าความเค็มของน้ำที่ใช้ในการทดลอง คือ 5 25 และ 35 psu (Practical salinity unit) โดยให้ค่าความเค็มที่ 5 psu เป็นกรณีที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มของน้ำน้อยที่สุด 25 psu เป็นกรณีต้นกล้าป่าชายเลนอยู่ในสภาพที่มีค่าความเค็มปานกลาง และ 35 psu เป็นกรณีที่ต้นกล้าป่าชายเลนได้รับผลกระทบจากความเค็มมากที่สุด ทำการทดลองในกระบะพลาสติกสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 85 เซนติเมตร และสูง 51 เซนติเมตร เมื่อเติมน้ำจนเต็มได้ปริมาตร 0.26 ลูกบาศก์เมตร

การคำนวณปริมาณเกลือในการทดลองในแต่ค่าความเค็มของน้ำใช้วิธีการเทียบบัญญัติไตรยางศ์

5 psu หมายถึง ในน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร มีเกลืออยู่ 5 กิโลกรัม

ถ้าน้ำ 0.26 ลูกบาศก์เมตรจะต้องเติมเกลือ $\frac{0.26\times5}{1}=1.3$ กิโลกรัม

ดังนั้น: ต้องการให้ปริมาตรน้ำ 0.26 ลูกบาศก์เมตรมีค่าความเค็มของน้ำที่ 5 psu ต้องใช้เกลือ 1.3 กิโลกรัม

25 psu หมายถึงในน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร มีเกลืออยู่ 25 กิโลกรัม

ถ้าน้ำ 0.26 ลูกบาศก์เมตรจะต้องเติมเกลือ $\frac{0.26\times25}{1}=6.5$ กิโลกรัม

ดังนั้น: ต้องการให้ปริมาตรน้ำ 0.26 ลูกบาศก์เมตรมีค่าความเค็มของน้ำที่ 25 psu ต้องใช้เกลือ 1.3 กิโลกรัม

25 psu หมายถึง ในน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร มีเกลืออยู่ 35กิโลกรัม

ถ้าน้ำ 0.26 ลูกบาศก์เมตรจะต้องเติมเกลือ $\frac{0.26\times35}{1}=9.1$ กิโลกรัม

ดังนั้น: ต้องการให้ปริมาตรน้ำ 0.26 ลูกบาศก์เมตรมีค่าความเค็มของน้ำที่ 35 psu ต้องใช้เกลือ 9.1 กิโลกรัม

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ

2.1 กระบะพลาสติกสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 85 เซนติเมตร และสูง 51 เซนติเมตร จำนวน 3 ใบ สำหรับใส่ชุดแปลงทดลองความเค็มของน้ำ ดังภาพที่ 3-62

2.2 เกลือสมุทรใช้สำหรับผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้น้ำเกลือที่มีค่าความเค็ม 5 25 และ 35 psu ดังภาพที่ 3-63

2.3 เครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบพกพาใช้สำหรับวัดค่าความเค็มของน้ำก่อนการทดลองและหลังการทดลอง ดังภาพที่ 3-64

2.4 กระถางต้นไม้ขนาดกว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร สูง 9 เซนติเมตร สำหรับนำกล้าในถุงชำมาใส่ในกระถางเพื่อที่จะสามารถจัดเรียงทำชุดแปลงทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำได้ ดังภาพที่ 3-65

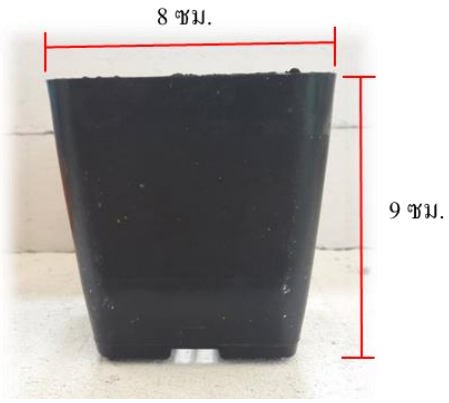
2.5 ไม้ลวกใช้สำหรับทำชุดแปลงทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ ดังภาพที่ 3-66

2.6 สายรัดพลาสติกสำหรับใช้ทำชุดยกแปลงทดลองผลกระทบความเค็มของน้ำ ดังภาพที่ 3-67

ภาพที่ 3-62 กระบะพลาสติกสี่เหลี่ยมสำหรับทดลองผลกระทบความเค็มของน้ำ

ภาพที่ 3-63 เกลือสมุทรสำหรับผสมทำน้ำเกลือ

ภาพที่ 3-64 เครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบพกพาสำหรับวัดค่าความเค็มของน้ำ



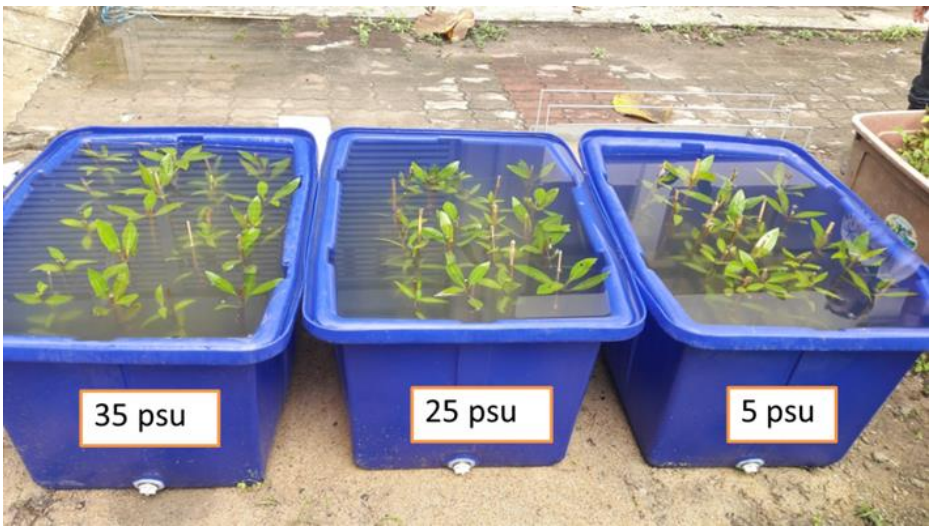
ภาพที่ 3-65 กระถางปลูกต้นกล้าป่าชายเลนสำหรับการทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ

ภาพที่ 3-66 ไม้ลวกสำหรับทำชุดแปลงทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ

ภาพที่ 3-67 สายรัดพลาสติกสำหรับทำชุดแปลงทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ

3. ขั้นตอนการทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ

การทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยใช้กระบะพลาสติกสี่เหลี่ยม ที่มีค่าความเค็มของน้ำแตกต่างกัน 3 ค่า คือ 5, 25 และ 35 psu กำหนดระดับน้ำที่ 50 เซนติเมตร (ระดับน้ำประมาณท่วมทั้งต้นพอดี) ทำการทดลองโดยการนำต้นกล้าป่าชายเลนไปแช่ในน้ำเค็มนาน 4 ชั่วโมงต่อวัน ต่อเนื่องเป็นเวลา 60 วัน รายละเอียดการทดลอง ดังตารางที่ 3-7



ภาพที่ 3-68 ลักษณะการทดลองผลกระทบความเค็มของน้ำ

ตารางที่ 3-7 รายละเอียดการทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ

รายละเอียดการทดลอง	
จำนวนต้นกล้าโกงกางจำลอง (ต้น/กรณี)	10
จำนวนต้นกล้าแสมจำลอง (ต้น/กรณี)	10
ความสูงของระดับน้ำ (เซนติเมตร)	50
ค่าความเค็มของน้ำ (psu)	5 25 35
ระยะเวลาทดลอง (ชั่วโมง/วัน)	4
ช่วงเวลาการทดลอง (วัน)	60
จำนวนการทดลอง (กรณี)	3

ขั้นตอนที่ 1 นำต้นกล้าป่าชายเลนออกจากถุงชำมาใส่กระถางเพื่อความสะดวกในการจัดวางในกระบะพลาสติก ดังภาพที่ 3-69

ขั้นตอนที่ 2 นำต้นกล้าชนิดละ 10 ต้น มาทำชุดแปลงทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำ โดยการตัดไม้ลวกมาประกบกับกระถางแล้วรัดด้วยสายรัดพลาสติก เพื่อให้สามารถยกกระถางเข้าแปลงทดลองแต่ละชุดได้สะดวกยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 3-70

ขั้นตอนที่ 3 เติมน้ำลงกระบะพลาสติกทั้ง 3 กระบะ จากนั้นนำปริมาณเกลือที่ใช้ในแต่ละกรณีมาผสมให้ได้ค่าความเค็มของน้ำที่ 5 25 และ 35 psu ดังภาพที่ 3-71

ขั้นตอนที่ 4 ใช้เครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบพกพาวัดค่าความเค็มของน้ำทั้ง 3 กระบะก่อนเริ่มการทดลองและหลังการทดลองทุกวัน ดังภาพที่ 3-72

ขั้นตอนที่ 5 นำชุดแปลงทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำที่เตรียมไว้ใส่ลงในกระบะพลาสติกแต่ละกรณีโดยแช่ทิ้งไว้นาน 4 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อแช่ครบ 4 ชั่วโมงแล้วยกออกจากกระบะ แล้วนำมาวางบริเวณพื้นที่ว่างที่เตรียมไว้ ดังภาพที่ 3-73

ขั้นตอนที่ 7 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4 ถึง 6 ต่อเนื่องกันทุกวันเป็นเวลา 60 วัน

ขั้นตอนที่ 8 บันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง โดยการใช้เวอร์เนีย (Vernier caliper) ส่วนความสูงของลำต้นวัดด้วยการนำเชือกทาบตามลำต้น เนื่องจากลักษณะลำต้นของต้นไม้มีการโค้งงอที่แตกต่างกัน โดยวัดความสูงของลำต้นจากจุดที่ทำสัญลักษณ์ส่วนล่างลำต้นถึงส่วนบนลำต้น จากนั้นนำมาเทียบกับไม้บรรทัด ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 6 วัน และเก็บข้อมูลจำนวนใบก่อนการทดลองและหลังการทดลอง

ขั้นตอนที่ 9 เมื่อทำการทดลองต่อเนื่องกันจนครบ 60 วัน จากนั้นนำต้นกล้าป่าชายเลนออกจากชุดแปลงทดลอง นำไปล้างน้ำเอาดินออกอย่างเบามือที่สุด โดยต้องระวังอย่าให้รากขาด ผึ่งไว้เป็นกลุ่มตามแปลงแต่ละกรณีรอจนกว่าจะแห้ง ดังภาพที่ 3-44

ขั้นตอนที่ 10 แบ่งต้นกล้าป่าชายเลนเป็นสามส่วน คือ ราก ลำต้น และใบ ใช้กระดาษฟอยล์ห่อให้เรียบร้อย นำไปชั่งน้ำหนักก่อนอบ จากนั้นเอาไปเข้าเตาอบ โดยอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3-45

ขั้นตอนที่ 11 เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นำชิ้นส่วนต้นกล้าป่าชายเลนพร้อมห่อกระดาษฟอยล์ไปชั่งน้ำหนัก และชั่งน้ำหนักกระดาษฟอยล์เปล่าอีกครั้ง เพื่อนำไปหาน้ำหนักจริงของชิ้นส่วนต้นกล้าป่าชายเลนก่อนอบและหลังอบ

ภาพที่ 3-69 การนำต้นกล้าออกจากถุงชำมาใส่กระถางเพื่อความสะดวกในการทดลอง

ภาพที่ 3-70 ลักษณะชุดแปลงทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำสำหรับยกเข้ากระบะพลาสติก

ภาพที่ 3-71 การผสมเกลือให้ได้ค่าความเค็มของน้ำตามต้องการ

ภาพที่ 3-72 การตรวจวัดค่าความเค็มของน้ำด้วยเครื่องมือวัดคุณภาพน้ำ

ภาพที่ 3-73 พื้นที่สำหรับวางชุดแปลงทดลองหลังทำการทดลองเสร็จสิ้นในแต่ละวัน

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การศึกษานี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการทางชลศาสตร์เพื่อศึกษาผลกระทบของคลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำท่วมต้น และความเค็ม ต่อลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลน โดยใช้รางน้ำชลศาสตร์และกระบะทดลองพลาสติกสร้างแบบจำลองทางกายภาพ ผลการศึกษาสามารถแบ่งเป็นหัวข้อย่อยได้ดังนี้

1. ผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน
2. ผลกระทบของกระแสน้ำต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน
3. ผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน
4. ผลกระทบของความเค็มต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน
5. การเปรียบเทียบผลกระทบของคลื่นและกระแสน้ำต่อเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางด้วยสมการตัวแปรไร้มิติอัตราส่วนของค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้

ผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน

การศึกษาผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลน ได้ผลการทดลอง ดังนี้

1. ผลการวัดค่าความสูงคลื่น

การวัดค่าความสูงคลื่นในการทดลองใช้เครื่องมือ 2 แบบ ประกอบด้วย

1.1 เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบเข็ม (Point gauge) ใช้วัดระดับน้ำนิ่ง และวัดความสูงคลื่นแบบหยาบ จำนวน 1 เครื่อง

1.2 เครื่องมือวัดความสูงคลื่นแบบวัดการเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitance wave gauge) ใช้วัดความสูงคลื่นแบบละเอียด

โดยติดตั้งเครื่องมือวัดความสูงคลื่นทั้งสองแบบไว้บริเวณด้านหน้าของชุดแปลงทดลอง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้จำลองคลื่นที่มีความสูงแตกต่างกัน โดยกำหนดความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องกำเนิดคลื่นไว้ที่ 60 รอบต่อวินาที ทำให้เกิดคลื่นแบบสม่ำเสมอที่มีคาบคลื่นเท่ากับ 1 วินาที จากนั้นปรับระยะการชักข้อเหวี่ยงของเครื่องกำเนิดคลื่นที่ 120 160 และ 200 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ค่าความสูงคลื่นออกแบบที่ 7.50 10.50 และ 12.50 เซนติเมตร ตรวจวัดจริงได้ 7.73 10.57 และ 12.29

เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการศึกษากรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นเป็นกรณีควบคุม ดังตารางที่ 4-1

2. ลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มการทดลองจนกระทั่งจบการทดลอง จากนั้นนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงด้วยสมการที่ 4-1

$$\Delta Pc = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left[\frac{Pc_{(E)i} - Pc_{(S)i}}{Pc_{(S)i}} \times 100\right]}{N} \qquad (4\text{-}1)$$

เมื่อ ΔPc คือ การเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพ (Physical characteristic change, %)

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

$Pc_{(E)}$ คือ ลักษณะทางกายภาพหลังการทดลอง (Ending physical characteristic value) โดยที่ i คือ ค่าของข้อมูลตัวที่ 1 ถึง ข้อมูลตัวที่ N

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการศึกษาประกอบด้วย

2.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (Tree diameter, $Ø$) เก็บข้อมูลก่อนการทดลองและทุก ๆ 6 วัน ตลอดการทดลอง โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ส่วน คือ ส่วนบน ($Ø_U$) ส่วนกลาง ($Ø_M$) และส่วนทำล่าง ($Ø_L$) ได้ผลการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (%) ดังตารางที่ 4-2

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

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

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

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

เมื่อ ΔVol คือ การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทน (%)

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

h_t คือ ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)

โดยที่ i คือ ค่าของข้อมูลปริมาตรตัวแทนตัวที่ 1 ถึง ค่าของข้อมูลปริมาตรตัวแทนตัวที่ N

2.4 จำนวนใบ (Number of leaves, N_L) เก็บข้อมูลจำนวนใบก่อนการทดลองและหลังการทดลอง ข้อมูลจำนวนใบที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบเป็นข้อมูลจำนวนใบคงเหลือ ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 4-4 ได้ผลจำนวนใบคงเหลือ (%) ดังตารางที่ 4-2

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

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

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

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

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

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

เมื่อ B_M คือ น้ำหนักมวลชีวภาพ (%)

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

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

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

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

เมื่อ T_D คือ การตายของต้นกล้าป่าชายเลน (%)

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

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

ภาพที่ 4-1 ลักษณะการตายของต้นกล้าป่าชายเลน

ตารางที่ 4-1 ความสูงคลื่นเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลอง

จำนวนวัน	ระยะคันชักข้อเหวี่ยง (มิลลิเมตร)	ความสูงคลื่นออกแบบ (เซนติเมตร)	ความสูงคลื่นเฉลี่ยจากอุปกรณ์ (เซนติเมตร)	
			แบบประจุไฟฟ้า	แบบเข็ม
30	-	0.00	-	-
	120	7.50	7.73	8.11
	160	10.00	10.57	10.64
	200	12.50	12.29	12.74

ตารางที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของคลื่น

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

3. การวิเคราะห์ผลการทดลองเรื่องผลกระทบของคลื่น

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

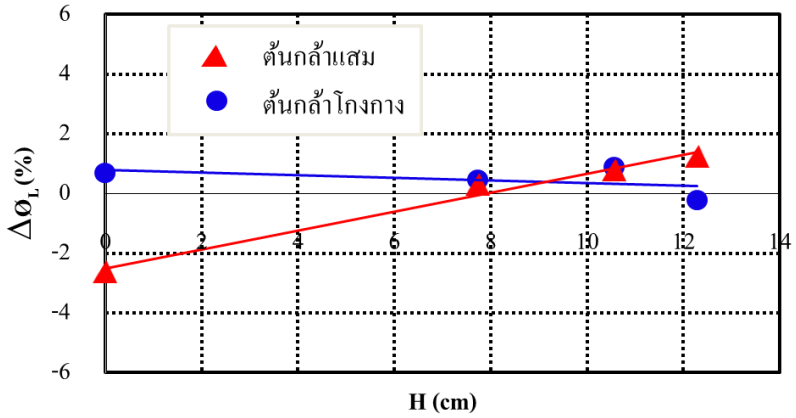
3.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ($\Delta\text{Ø}$) โดยวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง กับความสูงคลื่น (H) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 4 ส่วน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน และการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 4-2 ถึง ภาพที่ 4-5 ตามลำดับ

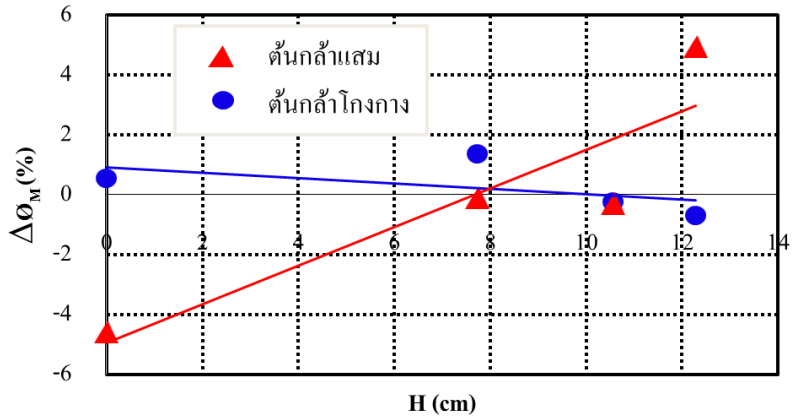
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta\text{Ø}_L$) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นว่าผลกระทบของความสูงคลื่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าแสม โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีของต้นกล้าโกงกาง พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยตามขนาดความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าทั้งสองชนิด พบว่าต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกาง ส่วนในกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าโกงกางเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพที่ 4-2

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta\text{Ø}_M$) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นแนวโน้มในทำนองเดียวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง กล่าวคือ ความสูงคลื่นมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางของต้นกล้าแสม โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีของต้นกล้าโกงกางแสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนล่าง คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงตามตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น แต่ว่าการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนกลางของต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดมากกว่าการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนล่าง

อาจเป็นเพราะว่าลักษณะเนื้อไม้ของต้นกล้าโกงกางบริเวณลำต้นส่วนกลางมีลักษณะเป็นไม้เนื้ออ่อนกว่าลำต้นส่วนล่าง และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างเห็นได้ชัดในกรณีที่ความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร ส่วนในกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าโกงกางเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ต้นกล้าแสมเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพที่ 4-3



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

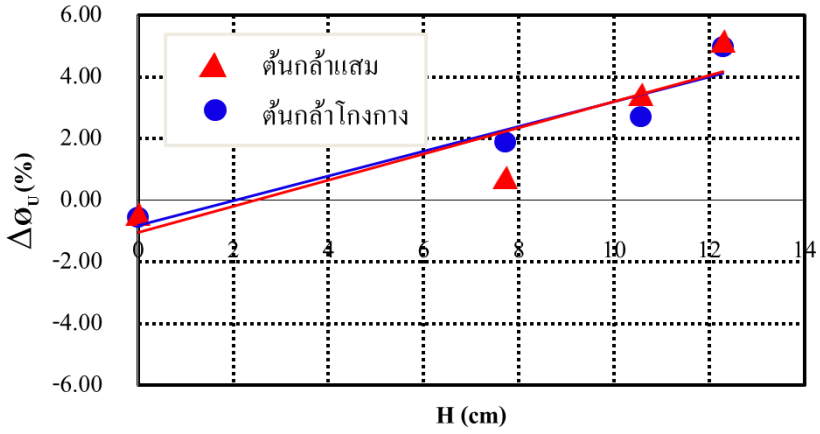


ภาพที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta\emptyset_M$) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น

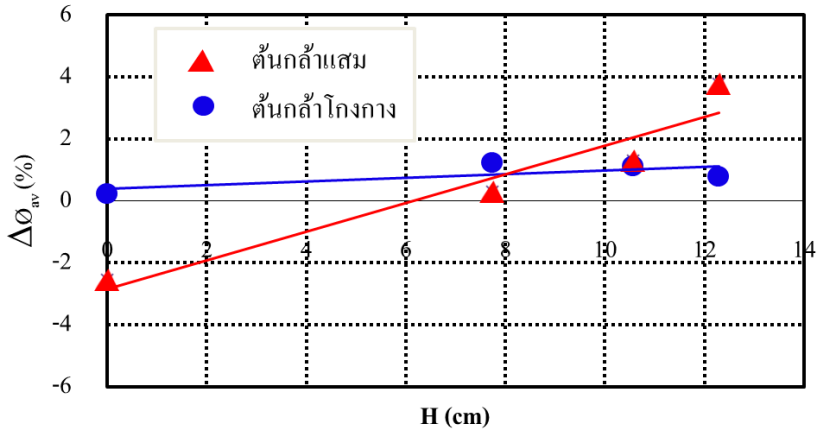
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta\varnothing_U$) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นว่า ต้นกล้าแสมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนในทำนองเดียวกับลำต้นส่วนกลาง และส่วนล่าง กล่าวคือ ความสูงคลื่นมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าแสม โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น แต่ในส่วนของต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนที่แตกต่างจากลำต้นส่วนกลาง และส่วนล่าง กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ลำต้นส่วนกลางและส่วนล่างมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลง อาจเป็นเพราะว่าลักษณะเนื้อไม้ของต้นกล้าโกงกางบริเวณส่วนบนมีลักษณะเป็นไม้เนื้ออ่อน สามารถพลิ้วไหวได้จึงได้รับผลกระทบจากคลื่นน้อยกว่าลำต้นส่วนกลางและส่วนล่างที่มีลักษณะเนื้อไม้แข็งกว่า อีกทั้งลำต้นส่วนบนของต้นไม้โดยทั่วไปแล้วเป็นส่วนที่มีการเจริญเติบโตได้มากที่สุด ส่งผลให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนบนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่าต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนใกล้เคียงกัน ทั้งในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นและกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น ดังภาพที่ 4-4

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta\varnothing_{av}$) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นแนวโน้มในทำนองเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ส่วนกลาง และส่วนบนของต้นกล้าแสม กล่าวคือ ความสูงคลื่นมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีของต้นกล้าโกงกาง พบว่าเมื่อพิจารณาผลกระทบของความสูงคลื่นต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นกล้าโกงกาง ความสูงคลื่นมีผลกระทบน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นกล้าโกงกาง และหากพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจนในกรณีที่ความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร เท่านั้น ส่วนในกรณีความสูงคลื่นที่ 7.73 และ 10.57 เซนติเมตร มีค่าการเปลี่ยนแปลงลำต้นเฉลี่ยใกล้เคียงกันทำให้ไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่า ต้นกล้าแสมสามารถทนผลกระทบของคลื่นได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน

ดังนั้นจึงต้องพิจารณาในส่วนของการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพในด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม ส่วนกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นกล้าโกงกางเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ต้นกล้าแสมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยลดลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมมีการเจริญเติบแย่ลงเมื่ออยู่ในสภาพน้ำนิ่งท่วมขังทั้งต้น ดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น



ภาพที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น

3.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน

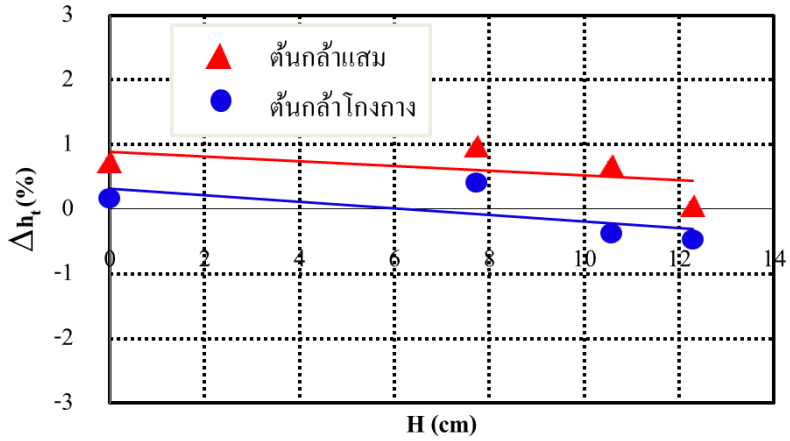
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นว่า ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้นลดลงเมื่อขนาดความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงความสูงเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่น และในกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น ซึ่งแตกต่างจากการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกรณีไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นลดลงอย่างเห็นได้ชัดทุกกรณี อาจเป็นเพราะว่าต้นกล้าแสมไม่สามารถเจริญเติบโตได้หากอยู่ในสภาพน้ำนิ่งท่วมต้น ทำให้ต้นกล้าแสมปรับตัวต่อสภาพผลกระทบจากการอยู่ในสภาพน้ำนิ่งท่วมทั้งต้นด้วยการพัฒนาการเจริญเติบโตด้านความสูงของลำต้นก่อน ทำให้การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลง ดังภาพที่ 4-6

3.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน

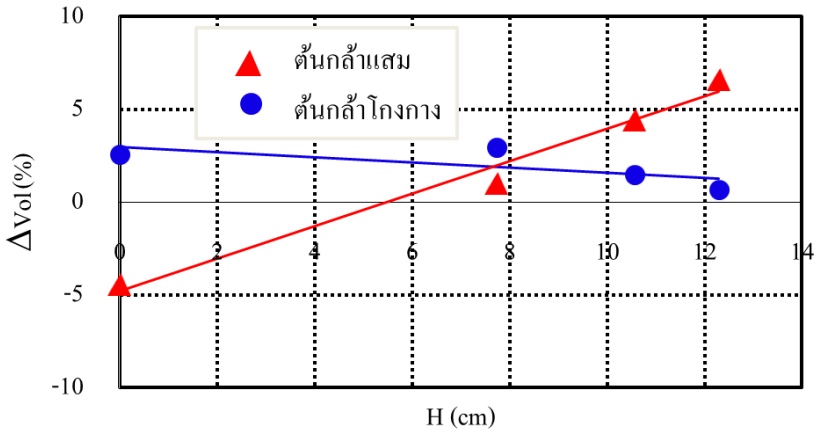
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าแสมในทำนองเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ส่วนกลาง และส่วนบน กล่าวคือ ความสูงคลื่นมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าแสม โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีของต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนลดลงเล็กน้อยตามขนาดความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาควบคู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสามส่วนและความสูงต้นไม้ พบว่ากรณีที่ความสูงคลื่นมากที่สุดในการทดลอง ต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่สุด อาจเป็นไปได้ว่าต้นกล้าโกงกางเริ่มได้รับผลกระทบของคลื่นเมื่อความสูงคลื่นมากกว่าหรือเท่ากับ 12.29 เซนติเมตร และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าทั้งสองชนิด พบว่า ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมสามารถทนผลกระทบของคลื่นได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกาง ส่วนในกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น ปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แต่ต้นกล้าแสมเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพที่ 4-7

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางจากผลกระทบของคลื่น แสดงให้เห็นได้ว่าต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของต้นกล้าแสมที่มีลักษณะอ่อน

และพลิ้วไหว เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านทำให้ได้รับผลกระทบจากแรงที่คลื่นกระทำน้อยกว่าต้นกล้าโกงกางที่มีลักษณะโครงสร้างลำต้นที่แข็ง ซึ่งสอดคล้องกับหลักทางพฤกษาศาสตร์ คือ ต้นกล้าแสมนั้นเป็นพันธุ์ไม้ป่าชายเลนประเภทพันธุ์ไม้เบิกนำที่เจริญเติบโตล้ำออกจากชายฝั่งมากกว่าพันธุ์ไม้ป่าชายเลนประเภทอื่น (สรายุทธ บุณยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554) จึงสามารถสรุปได้ว่าต้นกล้าแสมสามารถทนต่อผลกระทบของคลื่นได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกาง



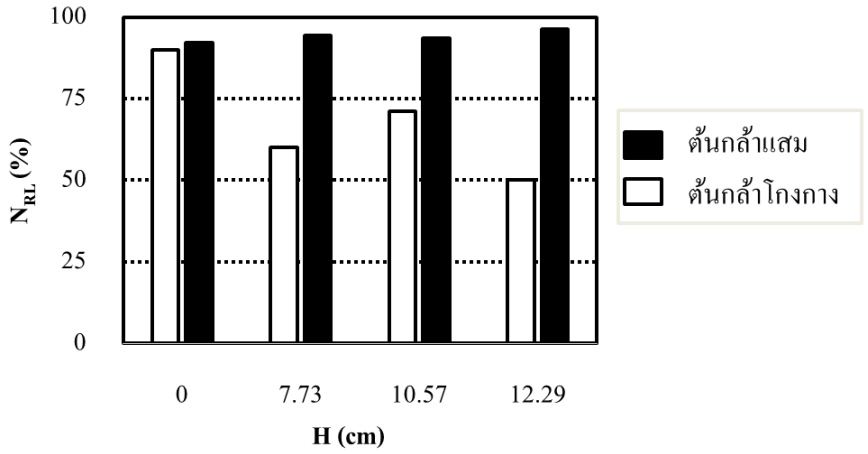
ภาพที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น



ภาพที่ 4-7 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น

3.4 ผลการวิเคราะห์จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน

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

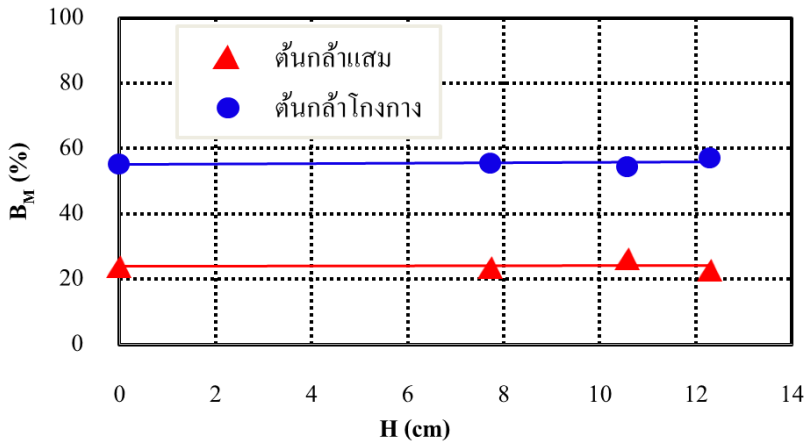


ภาพที่ 4-8 จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น

3.5 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักมวลชีวภาพ (B_M) กับความสูงคลื่น แสดงให้เห็นว่าคลื่นไม่มีผลต่อน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าทั้งสองชนิด โดยต้นกล้าโกงกางมีน้ำมวลชีวภาพประมาณ 50% ทุกกรณี และต้นกล้าแสมมีน้ำหนักมวลชีวภาพประมาณ 20% ทุกกรณี แต่เมื่อ

พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่าต้นกล้าโกงกางมีน้ำหนักมวลชีวภาพมากกว่าต้นกล้าแสม เนื่องจากว่าต้นกล้าโกงกางมีลักษณะทางกายภาพที่ใหญ่กว่าต้นกล้าแสม เช่น ขนาดลำต้น และขนาดของใบ จึงทำให้น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าโกงกางมากกว่าต้นกล้าแสม ดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน (B_M) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่น

3.6 ผลการวิเคราะห์การตายของต้นกล้าป่าชายเลน

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

ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกาง (R_D) กับความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้น ($\frac{H}{h_t}$) แสดงให้เห็นว่าความสูงคลื่นมีผลกระทบกับการตายของต้นกล้าโกงกางอย่างแน่นอน เพราะว่าในกรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นที่อยู่ในสภาพแวดล้อม

ในการทดลองเหมือนกันทุกประการกับกรณีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นตลอด 30 วัน ไม่มีการตายเกิดขึ้นจนจบการทดลอง แต่ต้นกล้าโกงกางมีจำนวนการตายเพิ่มสูงขึ้นตามความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น และมีลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นตรง ดังภาพที่ 4-10 จากการศึกษาสามารถสร้างสมการทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางได้ ดังสมการที่ 4-7 โดยที่อยู่ในขอบเขตความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้น ($\frac{H}{h_t}$) เท่ากับ 0 ถึง 0.44

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

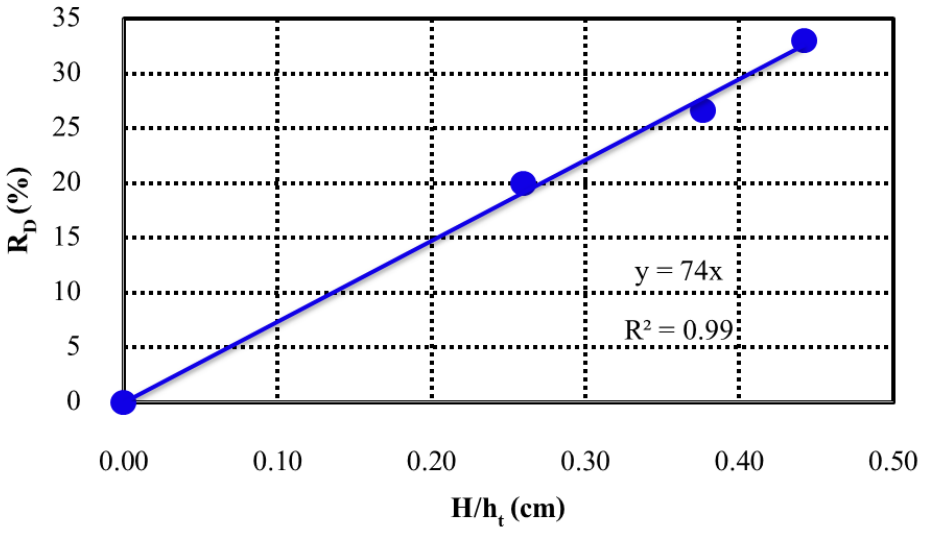
เมื่อ R_D คือ การตายของต้นกล้าโกงกาง (%)

H คือ ความสูงคลื่น (เซนติเมตร)

h_t คือ ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)

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

จากการวิเคราะห์ผลที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมมีความสามารถในการปรับตัวและอยู่รอดได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกาง โดยเห็นได้ชัดในหัวข้อของจำนวนใบและจำนวนต้นกล้าที่ตาย ต้นกล้าแสมนั้นมีใบคงเหลือมากถึง 90% และไม่มีการตายเกิดขึ้นจนจบการทดลอง ส่วนต้นกล้าโกงกางนั้นได้รับผลกระทบจากคลื่นทำให้จำนวนลดลงและเกิดการตายอย่างชัดเจน



ภาพที่ 4-10 เปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกาง (R_D) กับความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้น ($\frac{H}{h_t}$)

ผลกระทบของกระแสน้ำต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน

1. ผลการวัดค่าความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ย

การศึกษาผลกระทบของกระน้ำต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน ใช้เครื่องมือวัดค่าความเร็วกระแสน้ำแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic current velocity meter) ซึ่งในการทดลองนี้ กำหนดให้มีความเร็วกระแสน้ำ (Current velocity, V) ที่แตกต่างกัน โดยการเปลี่ยนอัตราการไหลแบบคงที่ 3 ค่า คือ 1,862 3,664 และ 5,477 ลิตรต่อนาที และปรับระดับประตูท้ายน้ำให้ระดับน้ำคงที่ที่ 50 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ค่าความเร็วกระแสน้ำออกแบบเท่ากับ 0.1 0.2 และ 0.3 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลความเร็วกระแสน้ำบริเวณด้านหน้าแปลงทดลองโดยปลายของอุปกรณ์วัดค่าความเร็วกระแสน้ำอยู่ลึกลงจากผิวน้ำ 10 เซนติเมตร ทุกครั้งที่เริ่มการทดลองในแต่ละกรณี ได้ข้อมูลความเร็วกระแสน้ำที่ตรวจวัดจริงเท่ากับ 0.11 0.23 และ 0.37 เมตรต่อวินาที นอกจากนี้ยังมีการศึกษากรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกระแสน้ำเป็นกรณีควบคุม ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลอง

จำนวนวัน	ความเร็วกระแสน้ำออกแบบ (V_D) (เมตร/วินาที)	อัตราการไหล (Q) (ลิตร/นาที)	ตรวจวัดจริง (V) (เมตร/วินาที)
30	0.00	-	-
	0.10	1,862	0.11
	0.20	3,664	0.23
	0.30	5,477	0.37

2. ลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนที่ 30 วัน ประกอบด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น จำนวนใบ และน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ซึ่งข้อมูลลักษณะทางกายภาพได้จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่ก่อนเริ่มทำการทดลองจนจบการทดลอง โดยเก็บข้อมูล ความสูงของลำต้นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าป่าชายเลนทุก ๆ 6 วัน เก็บข้อมูลจำนวนใบก่อนการทดลองและหลังการทดลอง เก็บข้อมูลน้ำหนักมวลชีวภาพหลังจากจบการทดลองโดยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 การเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของกระแสน้ำ

พารามิเตอร์	ความเร็วกระแสน้ำ (เมตร/วินาที)							
	0.37 (เมตร/วินาที)		0.23 (เมตร/วินาที)		0.11 (เมตร/วินาที)		0.00 (เมตร/วินาที)	
	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม
$\Delta Ø_L$ (%)	1.05	0.05	0.50	-1.44	1.63	1.28	0.58	1.66
$\Delta Ø_M$ (%)	2.16	1.20	2.38	-0.25	1.73	-0.23	4.53	0.90
$\Delta Ø_U$ (%)	4.15	2.25	3.15	3.11	3.48	2.38	2.69	4.12
$\Delta Ø_{av}$ (%)	2.45	1.17	2.01	0.47	2.28	1.14	2.60	2.23

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

พารามิเตอร์	ความเร็วกระแสน้ำ (เมตร/วินาที)							
	0.37 (เมตร/วินาที)		0.23 (เมตร/วินาที)		0.11 (เมตร/วินาที)		0.00 (เมตร/วินาที)	
	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม
Δh_t (%)	-0.10	-0.15	-0.32	-0.45	-0.26	0.21	-0.14	-0.08
ΔVol (%)	3.51	0.65	3.05	-0.70	2.96	2.43	1.54	1.97
N_{RL} (%)	65.22	75.42	86.49	92.70	85.07	89.70	94.94	90.21
B_{ML} (%)	19.44	22.74	18.93	23.37	23.05	27.38	15.98	20.30
B_{MR} (%)	33.55	22.59	37.44	25.18	30.18	27.92	44.50	26.17
B_{MT} (%)	30.89	23.67	32.97	24.55	31.17	25.51	30.90	23.80
B_M (%)	28.68	23.11	30.13	24.41	29.49	26.66	28.34	23.42
R_D (%)	20.00	0.00	13.33	0.00	6.67	0.00	0.00	0.00

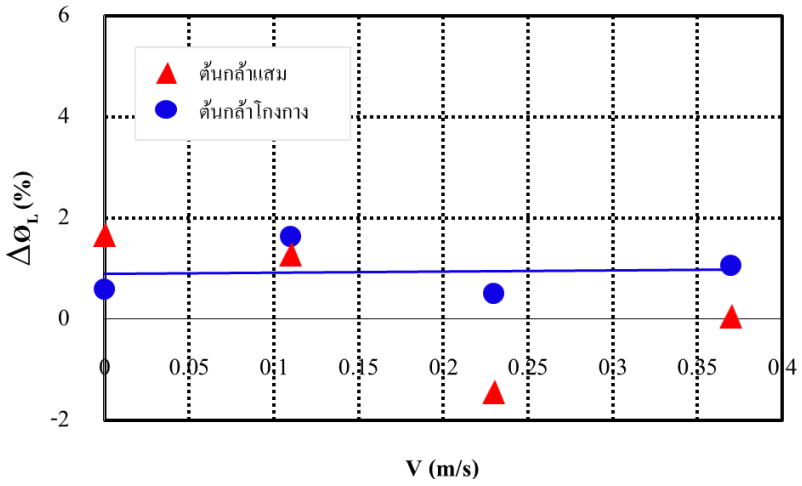
3. การวิเคราะห์ผลการทดลองเรื่องผลกระทบของกระแสน้ำ

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

3.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ($\Delta\emptyset$) โดยวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าป่าชายเลนกับความเร็วกระแสน้ำ (V) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 4 ส่วน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน และการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ได้ผลดังภาพที่ 4-11 ถึง 4-14

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta Ø_L$) กับความเร็วกระแสน้ำ แสดงให้เห็นว่าความเร็วกระแสน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าโกงกางน้อยมาก ส่วนต้นกล้าแสม พบว่า ต้นกล้าแสมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างที่ไม่ชัดเจน แต่ว่าหากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างลดลงมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากว่าลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าโกงกางมีลักษณะลำต้นใหญ่และแข็งแรงกว่า ทำให้ต้นกล้าโกงกางทนต่อแรงที่กระแสน้ำกระทำตลอดแนวลำต้นอย่างต่อเนื่องได้ดีกว่าต้นกล้าแสม ดังภาพที่ 4-11



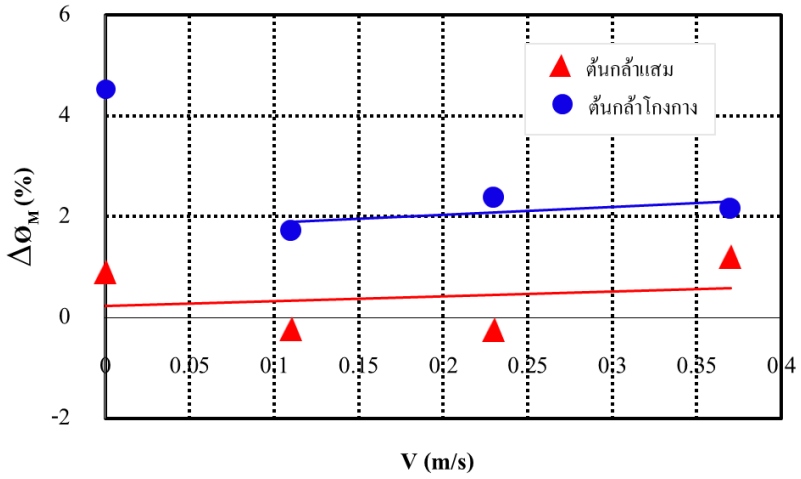
ภาพที่ 4-11 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta Ø_L$) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta Ø_M$) กับความเร็วกระแสน้ำ แสดงให้เห็นว่า ต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามความเร็วกระแสน้ำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนล่าง อาจเป็นเพราะว่าลักษณะลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าโกงกางมีลักษณะเป็นไม้เนื้อแข็งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนต้นกล้าแสมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางของต้นกล้าทั้งสองชนิด พบว่า ต้นกล้าโกงกางยังคง

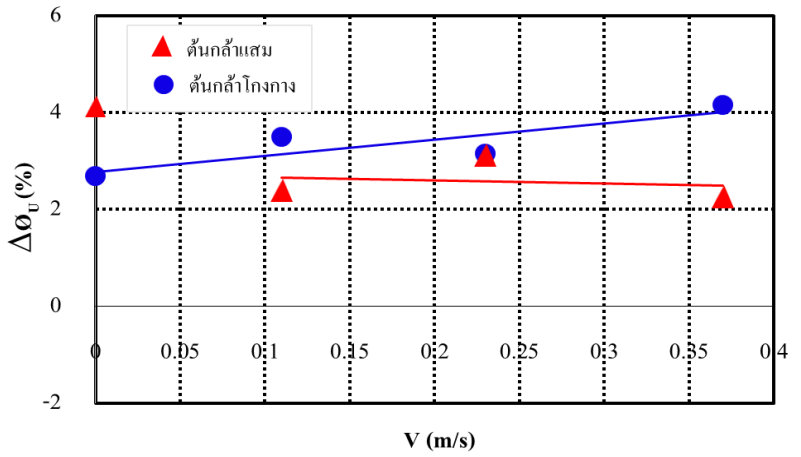
มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าแสมเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ดังภาพที่ 4-12

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta\varnothing_U$) กับความเร็วกระแสน้ำ แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทำนองเดียวกับการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนกลาง กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามความเร็วกระแสน้ำที่เพิ่มขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นชัดเจนมากกว่าการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนกลาง อาจเป็นเพราะว่าผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำส่งผลกระทบต่อต้นกล้าโกงกางน้อยมาก โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนล่าง และส่วนกลางที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลกระทบของความเร็วกระแสน้ำน้อยมาก ส่งผลให้ความเร็วกระน้ำกลายเป็นเหมือนแรงกระตุ้นให้ต้นกล้าโกงกางเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นแทน อีกทั้งลำต้นส่วนบนของต้นไม้ทั่วไปแล้วเป็นบริเวณที่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นมากที่สุด จึงทำให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าโกงกางเพิ่มขึ้นชัดเจนมากที่สุด ส่วนการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าแสม พบว่า ความเร็วกระแสน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าแสมน้อยมาก และเมื่อนำต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง พบว่า ต้นกล้าโกงกางยังคงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนที่เพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าแสม เช่นเดียวกับกรณีการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนกลางและส่วนล่าง เนื่องจากว่าต้นกล้าโกงกางมีลักษณะทางกายภาพของลำต้นใหญ่และแข็งแรง ส่วนต้นกล้าแสมนั้นมีลักษณะทางกายภาพของลำต้นเล็กและอ่อนแอ ส่งผลให้ต้นกล้าโกงกางนั้นสามารถทนแรงที่กระทำตลอดแนวลำต้นเนื่องจากความเร็วกระแสน้ำได้ดีกว่าต้นกล้าแสม ดังภาพที่ 4-13

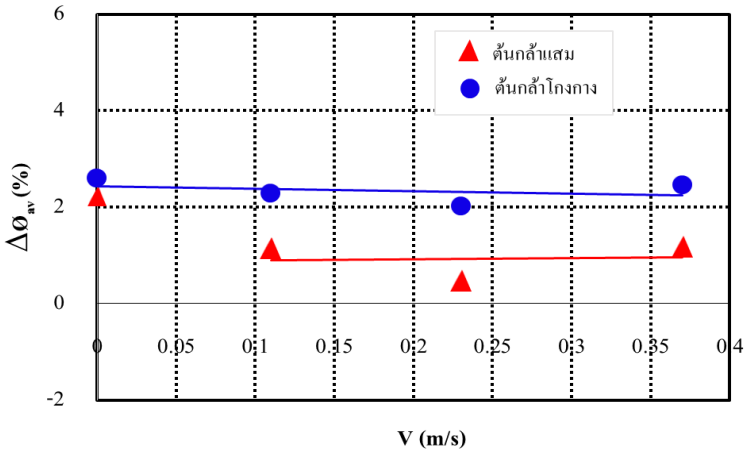
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta\varnothing_{av}$) กับความเร็วกระแสน้ำ แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นไม้ป่าชายเลนทั้งสองชนิดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน คือ ความเร็วกระแสน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของทั้งต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสมน้อยมาก แต่ว่าเมื่อเปรียบกันระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าโกงกางยังคงมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าต้นกล้าแสมอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าโกงกางสามารถทนผลกระทบเนื่องจากความเร็วกระแสน้ำและเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นกล้าแสม ดังภาพที่ 4-14



ภาพที่ 4-12 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta Ø_M$) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ



ภาพที่ 4-13 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ



ภาพที่ 4-14 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta\varnothing_{av}$) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ

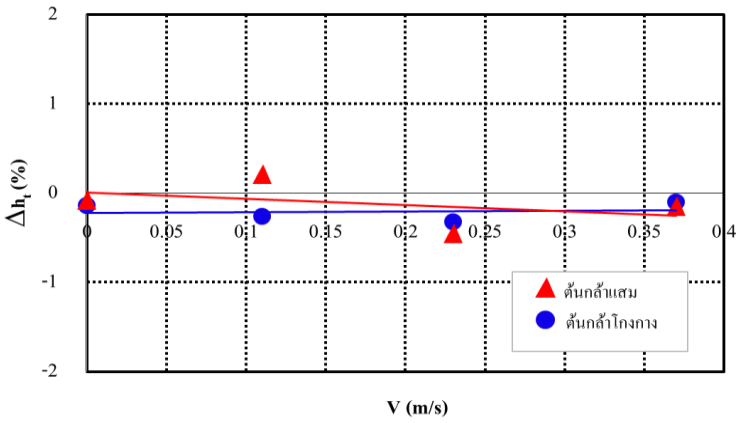
3.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) กับความเร็วกระแสน้ำ แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงขนาดความสูงน้อยมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดนั้นมีการปรับตัวในด้านของขนาดลำต้นให้แข็งแรงเพิ่มขึ้นก่อน เพื่อให้สามารถทนต่อสภาพที่ได้รับผลกระทบจากผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำได้ ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงขนาดความสูงของลำต้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังภาพที่ 4-15

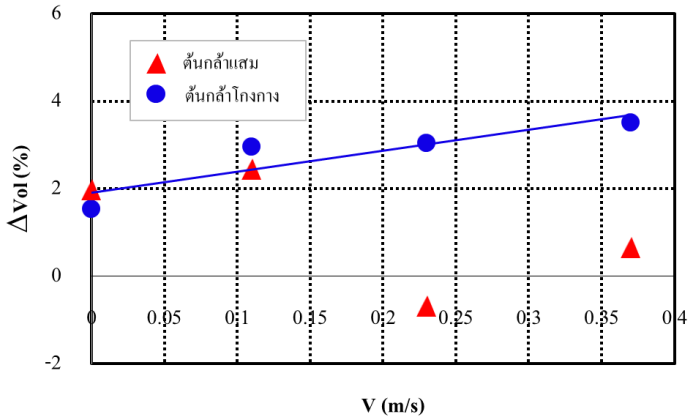
3.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) กับความเร็วกระแสน้ำ แสดงให้เห็นว่าความเร็วกระแสน้ำมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเร็วกระแสน้ำที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะว่าต้นกล้าโกงกางมีลำต้นใหญ่ และแข็งแรงจึงสามารถทนผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำได้ ทำให้ความเร็วกระแสน้ำเป็นเหมือนแรงกระตุ้นให้ต้นกล้าโกงกางมีการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้นแทน ส่วนต้นกล้าแสม พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนไม่ชัดเจนเมื่อได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ แต่ว่าเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทนต้นกล้าทั้งสองชนิด พบว่า ต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทนเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าแสมอย่างเห็นได้ชัดเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และการเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น ดังภาพที่ 4-16

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางที่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ แสดงให้เห็นว่าความเร็วกระแสน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าทั้งสองชนิดแสมน้อยมาก แต่ว่าเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นระหว่างต้นกล้าแสมและโกงกาง พบว่าต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ส่วนกลาง ส่วนบน และเฉลี่ย เพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าแสมทุกกรณี ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการต้นกล้าโกงกางสามารถทนแรงกระทำตลอดแนวลำต้นเนื่องจากความเร็วกระแสน้ำได้ดีกว่าต้นกล้าแสมแน่นอน



ภาพที่ 4-15 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ



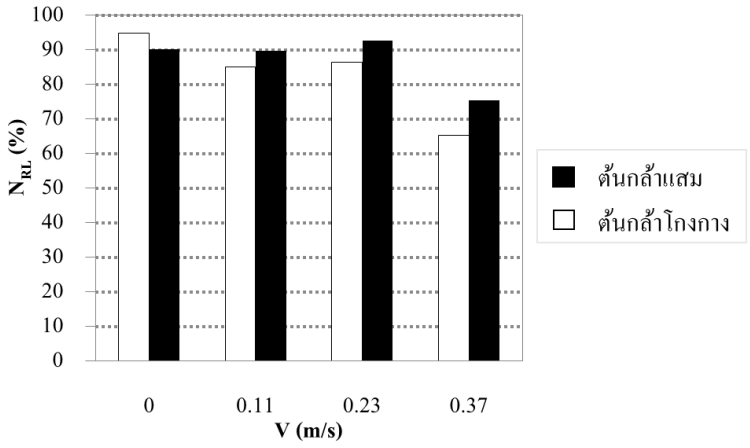
ภาพที่ 4-16 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ

3.4 ผลการวิเคราะห์จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน

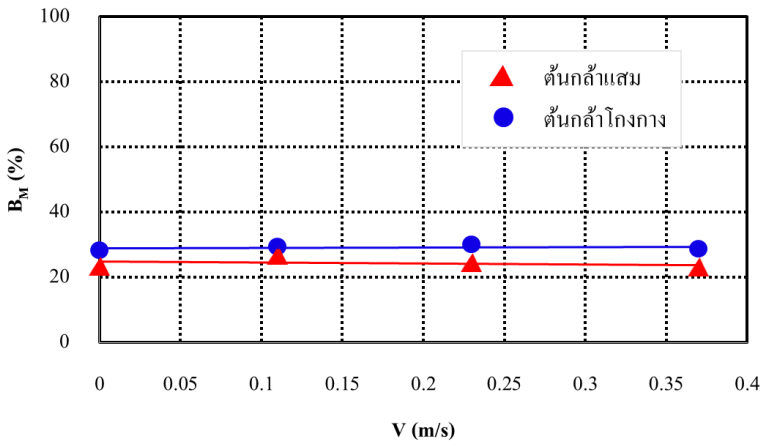
ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) กับความเร็วกระแสน้ำ แสดงให้เห็นว่าความเร็วกระแสน้ำสูงสุดที่ 0.37 เมตรต่อวินาที มีผลต่อจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิด กล่าวคือ ในกรณีที่ต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำที่ 0.11 และ 0.23 เมตรต่อวินาที และในกรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดมีค่ามากกว่า 80% มีเพียงกรณีที่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำที่ 0.37 เมตรต่อวินาที เท่านั้นที่มีจำนวนใบคงเหลือต่ำกว่า 80% แสดงว่าความเร็วกระแสน้ำที่ 0.37 เมตรต่อวินาที มีผลต่อจำนวนใบคงเหลืออย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางที่ได้รับกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ พบว่าต้นกล้าโกงกางมีจำนวนใบคงเหลือลดลงมากกว่าต้นกล้าแสมในทุกกรณี เนื่องจากลักษณะก้านใบของต้นกล้าโกงกางมีขนาดใหญ่และแข็งแรง ทำให้สามารถต้านแรงดึงเนื่องจากความเร็วกระแสน้ำได้มากกว่าก้านใบของต้นกล้าแสมที่มีขนาดเล็ก ดังภาพที่ 4-17

3.5 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักมวลชีวภาพ (B_M) กับความเร็วกระแสน้ำ แสดงให้เห็นว่าความเร็วกระแสน้ำไม่มีผลต่อน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิด แต่ว่าต้นกล้าโกงกางมีน้ำหนักมวลชีวภาพมากกว่าต้นกล้าแสม ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ผลในด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและปริมาตรตัวแทนที่ต้นกล้าโกงกางนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าแสม ส่งผลให้น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าโกงกางนั้นมีค่ามากกว่าต้นกล้าแสม ดังภาพที่ 4-18



ภาพที่ 4-17 จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ



ภาพที่ 4-18 น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน (B_M) เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ

3.6 ผลการวิเคราะห์การตายของต้นกล้าป่าชายเลน

การตายของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง ทำการเก็บข้อมูลหลังจบการทดลองเมื่อต้นกล้าทั้งสองชนิดได้รับแรงกระทำจากความเร็วกระแสน้ำผ่านไปเป็นเวลา 30 วัน พบว่า ต้นกล้าแสมไม่ตายจนจบการทดลอง ส่วนต้นกล้าโกงกางมีจำนวนต้นกล้าที่ตายเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วกระแสน้ำเพิ่มขึ้น จากการเก็บข้อมูลการตายของต้นกล้าโกงกางในแต่ละกรณีจึงหาความสัมพันธ์แบบไร้มิติระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกาง (R_D) กับความเร็วกระแสน้ำ (V).และเวลาที่ต้นกล้าได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ (T) ส่วนด้วยความสูงของลำต้น (h_t) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้เวลาในการทดลองผลกระทบจากความเร็วกระน้ำและกรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำกรณีละ 2 ชั่วโมง

ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกาง (R_D) กับความเร็วกระแสน้ำและเวลาที่ต้นกล้าได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำส่วนด้วยความสูงของลำต้น $(\frac{VT}{h_t})$ แสดงให้เห็นว่าความเร็วกระแสน้ำมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางอย่างแน่นอน เพราะว่ากรณีน้ำนิ่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกระแสน้ำที่ทำการทดลองในสภาพแวดล้อมที่เหมือนกันทุกประการไม่มีการตายเกิดขึ้นตลอด 30 วัน ที่ทำการทดลอง และจำนวนการตายของต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำที่เพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 4-19 จากความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางกับความเร็วกระแสน้ำและเวลาที่ต้นกล้าได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำสามารถสร้างสมการทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางได้ ดังสมการที่ 4-8 โดยที่อยู่ในขอบเขตความเร็วกระแสน้ำ

และเวลาที่ต้นกล้าโกงกางได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำส่วนด้วยความสูงของลำต้น เท่ากับ 0 ถึง 8,740

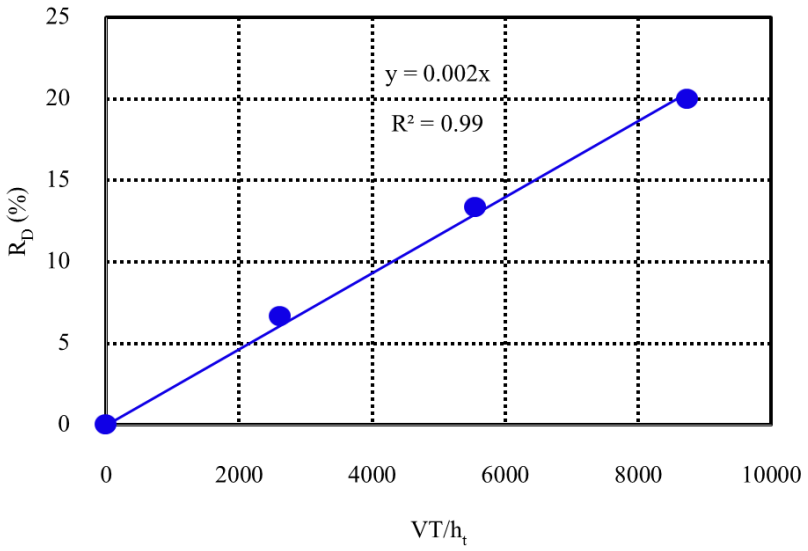
$$R_D = 0.002\frac{VT}{h_t} \qquad (4\text{-}8)$$

เมื่อ R_D คือ การตายของต้นกล้าโกงกาง (%)

V คือ ความเร็วกระแสน้ำ (เซนติเมตร/วินาที)

T คือ เวลาที่ต้นกล้าได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ (วินาที)

h_t คือ ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)



ภาพที่ 4-19 เปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกาง (R_D) กับความเร็วกระแสน้ำและเวลาที่ต้นกล้าได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำส่วนด้วยความสูงของลำต้น ($\frac{VT}{h_t}$)

ผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน

การศึกษาระดับน้ำท่วมต้นต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ทำการศึกษาผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น (Flood level, Fl) ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ระดับน้ำท่วมทั้งต้น

(70 เซนติเมตร) ระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร) และระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร) เป็นเวลาทั้งสิ้น 60 วัน โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 30 วัน และส่วนที่สองการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 60 วัน

1. ลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนที่ 30 วัน

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนที่ 30 วัน ประกอบด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น และจำนวนใบของต้นกล้าป่าชายเลน ซึ่งข้อมูลลักษณะทางกายภาพได้จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่ก่อนเริ่มทำการทดลองถึงวันที่ 30 ของการทดลอง โดยเก็บข้อมูลความสูงของลำต้น และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าป่าชายเลนทุก ๆ 6 วัน และเก็บข้อมูลจำนวนใบก่อนการทดลองและหลังการทดลอง 30 วัน ได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน

พารามิเตอร์	ระดับน้ำท่วม					
	ระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร)		ระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร)		ระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร)	
	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม
$\Delta Ø_L$ (%)	-2.49	-15.38	-0.59	-2.33	-0.88	0.77
$\Delta Ø_M$ (%)	-7.23	-10.07	-0.63	2.95	1.09	3.01
$\Delta Ø_U$ (%)	-6.81	-8.94	0.30	10.25	2.79	12.08
$\Delta Ø_{av}$ (%)	-5.51	-11.46	-0.31	3.62	1.00	5.28
Δh_t (%)	0.30	0.47	0.41	0.51	0.47	0.46
ΔVol (%)	-8.49	-23.13	-0.44	3.77	0.84	7.60
N_{RL} (%)	80.39	94.29	84.62	92.31	81.03	99.20

2. การวิเคราะห์ผลการทดลองเรื่องผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น

เมื่อนำข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมาวิเคราะห์ผล โดยนำข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น และจำนวนใบ มาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพตามสมการ 4-1 ถึง 4-4 ได้ผลการทดลองดังนี้

2.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

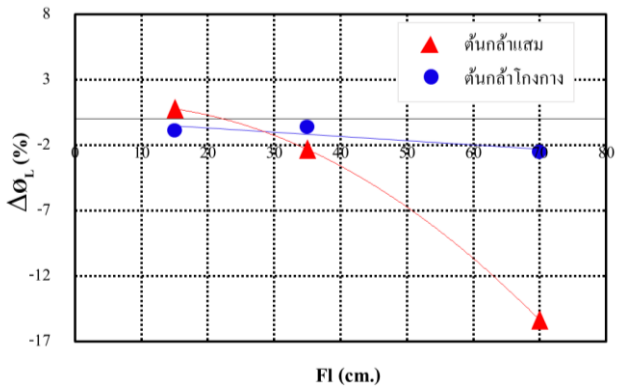
ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ($\Delta\text{Ø}$) โดยวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าป่าชายเลนกับระดับน้ำท่วมต้น (F1) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 4 ส่วน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน และการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ได้ผลดังภาพที่ 4-20 ถึง 4-23

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta\text{Ø}_{\text{L}}$) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นว่าระดับน้ำท่วมต้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าโกงกาง กล่าวคือ เมื่อระดับน้ำท่วมต้นกล้าเพิ่มสูงขึ้น ต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างลดลงเล็กน้อย ส่วนต้นกล้าแสมเมื่อได้รับผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้น ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างลดลงอย่างชัดเจน และที่ระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร) มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างลดลงมากที่สุด อาจเป็นเพราะว่าที่ระดับน้ำท่วมทั้งต้นใบและต้นของต้นกล้าแสมจมอยู่ใต้น้ำตลอดเวลาที่ทำการทดลอง ทำให้ต้นกล้าแสมไม่สามารถหายใจได้ จึงมีการเจริญเติบโตลดลง นอกจากนี้หากพิจารณาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิด พบว่า ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างใกล้เคียงกันในกรณีระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร) และท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร) แต่ในกรณีที่ระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร) ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างลดลงมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4-20

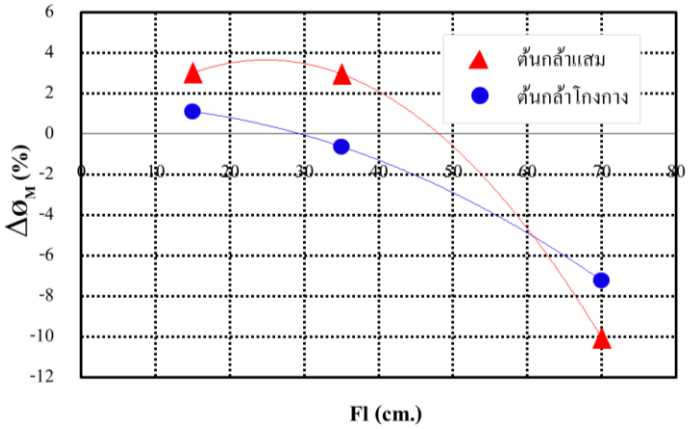
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta\text{Ø}_{\text{M}}$) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน กล่าวคือ ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกลางลดลงอย่างชัดเจนในกรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น แต่ว่าในกรณีระดับน้ำท่วมรากและท่วมกลางต้น ต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันมาก ส่วนต้นกล้าแสมมี

การเปลี่ยนแปลงลดลงแตกต่างกันเล็กน้อยตามระดับน้ำท่วมต้นที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางของต้นกล้าโกงกางเมื่อเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนล่าง พบว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงชัดเจนกว่าลำต้นส่วนล่าง นอกจากนี้หากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางที่ระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร) และท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร) ส่วนที่ระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร) ต้นกล้าแสมยังคงมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางลดลงมากกว่าต้นกล้าโกงกางเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ดังภาพที่ 4-21

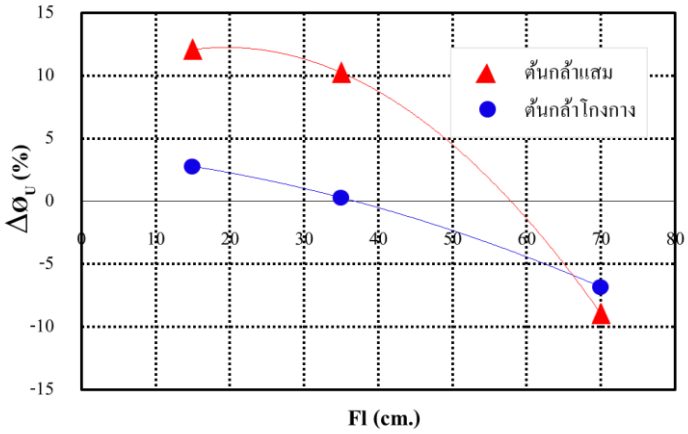
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อระดับน้ำท่วมต้นกล้าทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าทั้งสองชนิดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลง โดยที่ระดับน้ำท่วมทั้งต้นมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนลดลงอย่างชัดเจนมากที่สุด แต่ที่กรณีระดับน้ำท่วมรากและท่วมกลางต้นมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยตามระดับน้ำท่วมต้นที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมยังคงมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางที่ระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร) และท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร) แต่ที่ระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร) ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนลดลงมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางและส่วนล่าง ดังภาพที่ 4-22



ภาพที่ 4-20 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta Ø_L$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน



ภาพที่ 4-21 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta\emptyset_M$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน

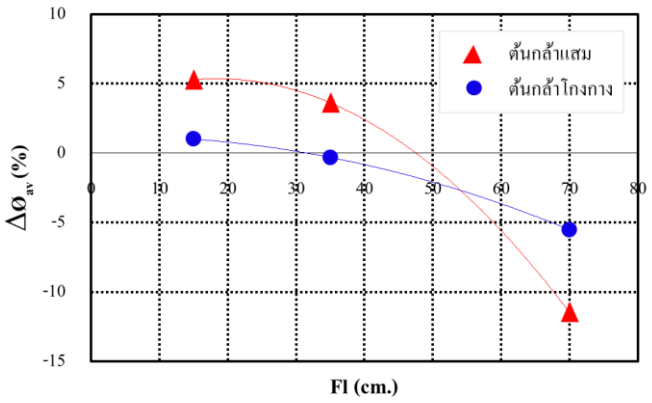


ภาพที่ 4-22 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta\emptyset_U$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta\emptyset_{av}$) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงเมื่อระดับน้ำท่วมต้นเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่าที่ระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร) และระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร) ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากกว่า

ต้นกล้าโกงกาง แต่ว่าที่ระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร) ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยลดลงมากกว่าต้นกล้าโกงกาง ดังภาพที่ 4-23

จากการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ส่วนกลาง ส่วนบน และเฉลี่ย สามารถสรุปได้ว่า ระดับน้ำท่วมทั้งต้นมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดมากที่สุด และต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีการเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงมากกว่าพื้นที่ต่ำ ซึ่งสังเกตได้จากกรณีระดับน้ำท่วมรากและท่วมกลางต้น ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันมากแต่ว่ากรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้นต้นกล้าทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างชัดเจน



ภาพที่ 4-23 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน

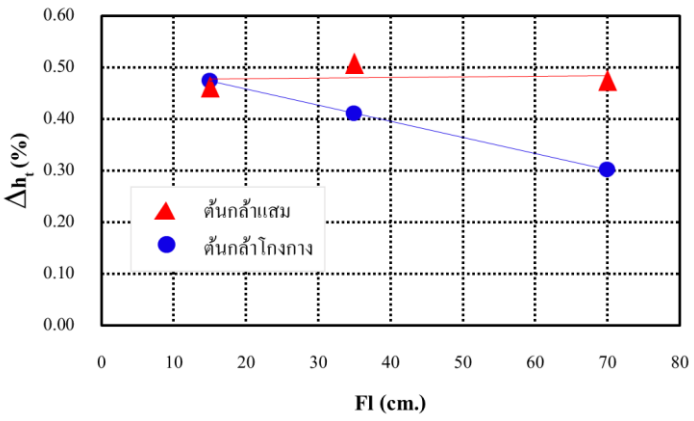
2.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าโกงกางยังคงได้รับผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น คือ เมื่อระดับน้ำท่วมต้นเพิ่มขึ้นต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความสูงลดลง ส่วนต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงความสูงน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมไม่ได้รับผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นต่อการเปลี่ยนแปลงความสูง และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนความสูงของต้นกล้าทั้งสองชนิด พบว่าต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้นเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกาง ดังภาพที่ 4-24

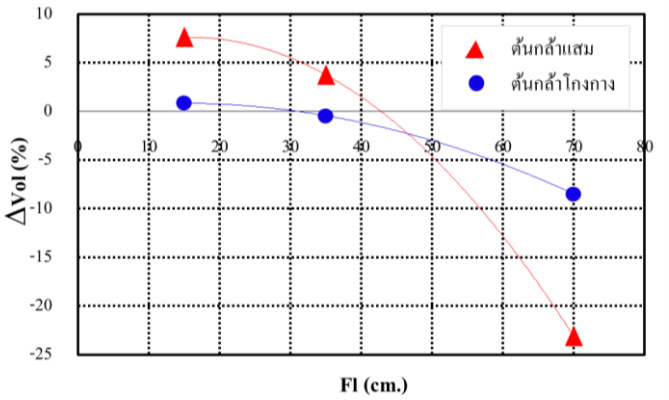
2.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายลน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔV_{ol}) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น กล่าวคือ ต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนลดลงเมื่อระดับน้ำท่วมต้นเพิ่มสูงขึ้น โดยที่กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น ต้นกล้าทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนลดลงอย่างชัดเจน และกรณีระดับน้ำท่วมรากและท่วมกลางต้นต้นกล้าทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนลดลงต่างกันเล็กน้อยตามระดับน้ำท่วมต้นที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้หากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสม และต้นกล้าโกงกาง พบว่าต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางในกรณีระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร) และท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร) แต่ว่ากรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร) ต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนลดลงน้อยกว่าต้นกล้าแสมอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพที่ 4-25

จากการวิเคราะห์ผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน ที่กล่าวมาข้างต้นทั้งในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น การเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทน สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ว่าต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงมากกว่าพื้นที่ต่ำ แต่ต้นกล้าแสมมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกาง ในกรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น ต้นกล้าทั้งสองชนิดมีการเจริญเติบโตลดลงมากที่สุด อาจเป็นเพราะว่าที่ระดับน้ำท่วมทั้งต้นต้นกล้าทั้งสองชนิดไม่สามารถหายใจและสังเคราะห์แสงได้เท่าที่ควรส่งผลให้ต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดมีการเจริญเติบโตลดลง



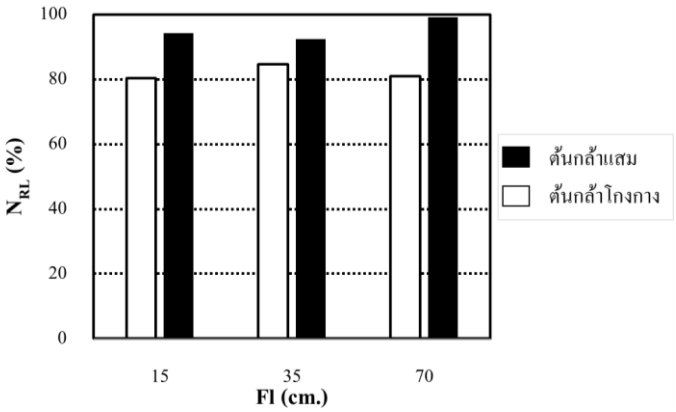
ภาพที่ 4-24 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน



ภาพที่ 4-25 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน

2.4 ผลการวิเคราะห์จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นว่าระดับน้ำท่วมต้นไม่มีผลกระทบต่อจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลนอย่างมีนัยสำคัญ โดยจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าทั้งสองชนิดนั้นมีค่ามากกว่า 80% ในทุกกรณีที่ได้รับผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้น เนื่องจากว่าในการศึกษาผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นนั้นไม่เหมือนกับในการศึกษาเรื่องผลกระทบของคลื่น และกระแสน้ำ ที่มีผลต่อจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าทั้งสองชนิดได้ชัดเจน หรืออาจจะเป็นเพราะว่าระยะเวลาในการท่วมอาจน้อยไปจึงยังไม่เห็นผลที่ชัดเจนเท่าที่ควร ดังภาพที่ 4-26



ภาพที่ 4-26 จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน

3. ลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนที่ 60 วัน

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนที่ 60 วัน ประกอบด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น จำนวนใบ และน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ซึ่งข้อมูลลักษณะทางกายภาพได้จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่ก่อนเริ่มทำการทดลองจนจบการทดลอง โดยเก็บข้อมูล ความสูงของลำต้นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าป่าชายเลนทุก ๆ 6 วัน เก็บข้อมูลจำนวนใบก่อนการทดลองและหลังการทดลอง และเก็บข้อมูลน้ำหนักมวลชีวภาพหลังจากจบการทดลอง 60 วัน โดยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน

พารามิเตอร์	ระดับน้ำท่วม					
	ระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร)		ระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร)		ระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร)	
	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม
$\Delta Ø_L$ (%)	-2.06	-11.12	-1.60	-4.26	-0.51	-3.51
$\Delta Ø_M$ (%)	-4.17	-5.73	-0.30	4.79	0.82	4.35
$\Delta Ø_U$ (%)	-6.98	4.23	-0.05	22.30	1.22	23.31
$\Delta Ø_{av}$ (%)	-4.40	-4.21	-0.65	7.61	0.51	8.05
Δh_t (%)	0.70	0.88	0.65	0.67	0.57	0.75
ΔVol (%)	-5.96	-11.83	-1.38	7.53	0.75	9.10
N_{RL} (%)	80.39	94.29	84.62	92.31	81.03	99.20
B_{ML} (%)	21.25	25.24	20.41	24.17	21.05	25.68
B_{MR} (%)	35.07	20.57	34.26	22.89	35.85	23.95
B_{MT} (%)	31.38	27.63	32.55	18.28	32.25	31.81
B_M (%)	29.53	23.92	30.01	21.70	30.41	26.79

4. การวิเคราะห์ผลการทดลองเรื่องผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้น

เมื่อนำข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมาวิเคราะห์ผล โดยนำข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น จำนวนใบ และน้ำหนักมวลชีวภาพ มาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพตามสมการ 4-1 ถึง 4-5 ได้ผลการทดลอง ดังนี้

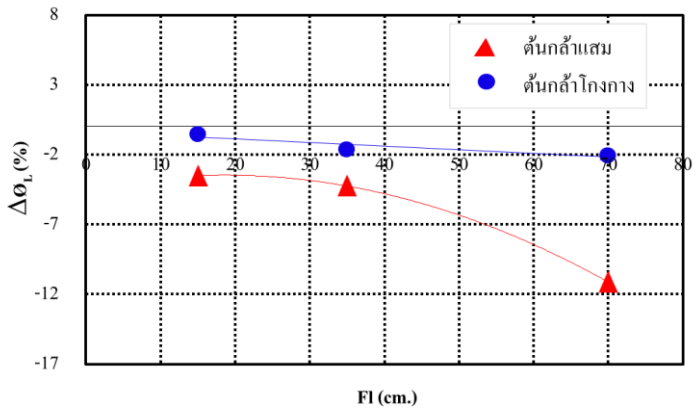
4.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ($\Delta\text{Ø}$) โดยวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าป่าชายเลนกับระดับน้ำท่วมต้น (Fl) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 4 ส่วน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน และการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ได้ผลดังภาพที่ 4-27 ถึง 4-30

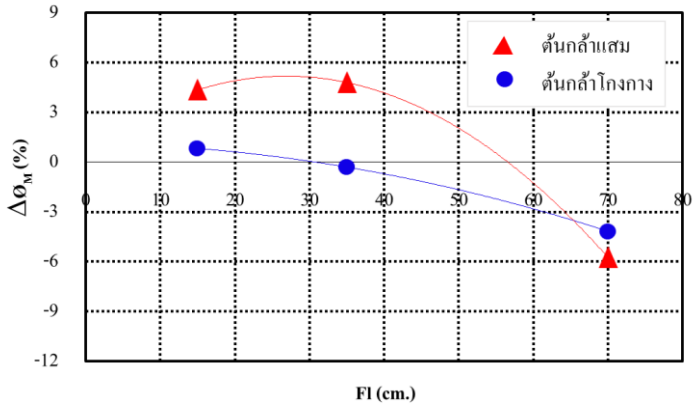
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta\text{Ø}_{\text{L}}$) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นว่าระดับน้ำท่วมต้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าแสมอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ เมื่อระดับน้ำท่วมต้นเพิ่มสูงขึ้น ต้นกล้าแสมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างชัดเจน โดยที่กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร) มีการเปลี่ยนแปลงลดลงมากที่สุด ส่วนต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างลดลงเล็กน้อยเมื่อได้รับผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้น การเปลี่ยนแปลงของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน พบว่า ต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างลดลงน้อยกว่าต้นกล้าแสม ดังภาพที่ 4-27 อาจจะเป็นเพราะว่าลักษณะลำต้นของต้นกล้าโกงกางส่วนล่างนั้นมีลักษณะเป็นไม้เนื้อแข็งกว่าต้นกล้าแสม ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ซึ่งแตกต่างจากต้นกล้าแสมที่ลักษณะลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงจากผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นได้ชัดเจนกว่าต้นกล้าโกงกาง

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta\text{Ø}_{\text{M}}$) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงลำต้นส่วนล่าง กล่าวคือ ระดับน้ำท่วมทั้งต้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางของต้นกล้าทั้งสองชนิดมากที่สุด แต่ว่ากรณีระดับน้ำท่วมรากและท่วมกลางต้น ต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างใกล้เคียงกัน ส่วนต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยตามระดับน้ำท่วมต้นที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบ

การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางที่ระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร) และท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร) แต่ในกรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร) ต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางลดลงน้อยกว่าต้นกล้าแสมเล็กน้อย ดังภาพที่ 4-28



ภาพที่ 4-27 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta Ø_L$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน

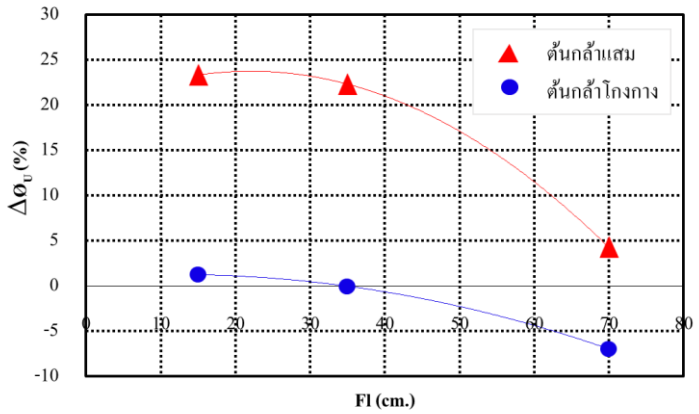


ภาพที่ 4-28 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta Ø_M$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน

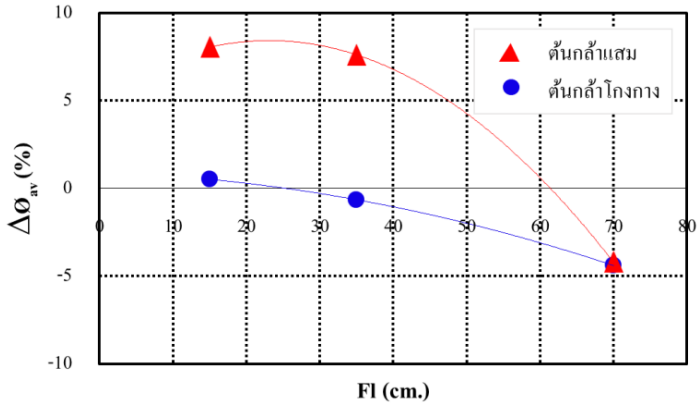
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นเส้นแนวโน้มทำนองเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างและส่วนกลาง คือ ต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนลดลงเมื่อระดับน้ำท่วมต้นเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ในกรณีระดับน้ำท่วมรากและระดับน้ำท่วมกลางต้นมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนใกล้เคียงกันทั้งต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง แต่ในกรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้นนั้นมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงมากกว่าพื้นที่ต่ำที่ระดับน้ำท่วมทั้งต้น และหากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4-29

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นว่า ผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยอย่างชัดเจน กล่าวคือ เมื่อต้นกล้าป่าชายเลนถูกน้ำท่วมต้นเพิ่มสูงขึ้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยลดลง โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงลดลงมากที่สุดในกรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น แสดงให้เห็นว่าระดับน้ำท่วมทั้งต้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดมากที่สุด ส่วนในกรณีระดับน้ำท่วมรากและท่วมกลางต้นมีการเปลี่ยนแปลงขนาดลำต้นเฉลี่ยใกล้เคียงกันทั้งต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางและมีการเปลี่ยนแปลงดีกว่ากรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น นอกจากนี้หากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่าต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นโกงกางในระดับน้ำท่วมรากและระดับน้ำท่วมกลางต้นอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4-30

จากความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ส่วนกลาง ส่วนบน และเฉลี่ย แสดงให้เห็นว่าระดับน้ำท่วมต้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิด และที่กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้นส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นสูงมากกว่าพื้นที่ต่ำ ซึ่งสังเกตได้จากความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ส่วนกลาง ส่วนบน และเฉลี่ย ในกรณีระดับน้ำท่วมรากและท่วมกลางต้น ต้นกล้าทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงดีกว่ากรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้นทุกความสัมพันธ์



ภาพที่ 4-29 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน



ภาพที่ 4-30 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน

4.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลนของต้นกล้าทั้งสองชนิดมีแนวโน้มที่แตกต่างจากการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น โดยต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความสูงเพิ่มมากขึ้นเมื่อระดับน้ำท่วมต้นเพิ่มสูงขึ้น ส่วนต้นกล้าแสมพบว่าที่ระดับน้ำท่วมรากมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าที่ระดับน้ำท่วมกลางต้น ซึ่งตรงกับการศึกษาของ Lu et al. (2013) ที่ว่าต้นกล้าแสมสามารถเจริญเติบโตในพื้นที่สูงได้ดีกว่าพื้นที่ต่ำ ส่วนในกรณี

ที่ระดับน้ำท่วมทั้งต้น ต้นกล้าแสมมีการเจริญเติบโตด้านความสูงได้ดีกว่าที่ระดับน้ำท่วมรากและท่วมกลางต้น เนื่องจากผลกระทบของระดับน้ำท่วมทั้งต้น ส่งผลให้ต้นกล้าแสมไม่สามารถสังเคราะห์แสงหรือแลกเปลี่ยนอากาศได้ ทำให้ต้นกล้าแสมพยายามพัฒนาการเจริญเติบโตด้านความสูงก่อน เพื่อให้ส่วนยอดของต้นและใบพ้นน้ำ และเมื่อนำการเจริญเติบโตของต้นกล้าทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกัน พบว่า ต้นกล้าแสมยังคงมีการเจริญเติบโตด้านความสูงเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางเช่นเดียวกับการเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ดังภาพที่ 4-31

4.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน

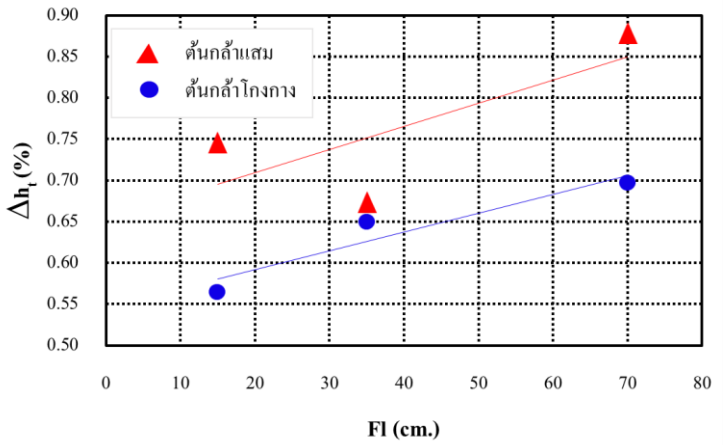
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นทั้งสามส่วน กล่าวคือ เมื่อระดับน้ำท่วมต้นเพิ่มสูงขึ้นต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลง และลดลงมากที่สุดที่กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น หากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่าต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางในกรณีระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร) และระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร) แต่ว่าต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนลดลงน้อยกว่าต้นกล้าแสมในกรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร) ดังภาพที่ 4-32

จากความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน สามารถตั้งสมมุติฐานได้ว่าต้นกล้าแสมเป็นพันธุ์ไม้ที่เจริญเติบโตได้ดีหากอาศัยอยู่ในสภาวะที่น้ำท่วมปานกลาง แต่หากอยู่ในสภาวะที่ระดับน้ำท่วมทั้งต้น ต้นกล้าแสมจะมีการเจริญเติบโตต่ำลงอย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 4-28 ถึง 4-30 และ ภาพที่ 4-32

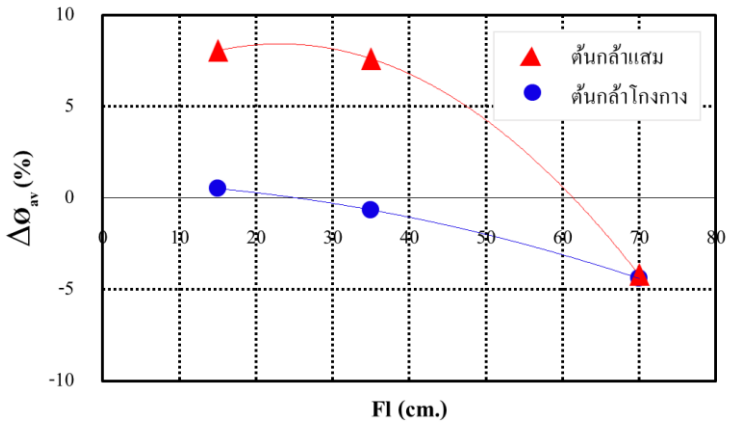
4.4 ผลการวิเคราะห์จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นว่าระดับน้ำท่วมต้นมีผลต่อจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าทั้งสองชนิดน้อยมาก โดยพิจารณาได้จากต้นกล้าแสมมีจำนวนใบคงเหลือมากกว่า 85% ทุกกรณี และต้นกล้าโกงกางมีจำนวนใบคงเหลือมากกว่า 80% ทุกกรณี เมื่อเปรียบเทียบจำนวนใบคงเหลือระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าโกงกางมีจำนวนใบคงเหลือน้อยกว่าต้นกล้าแสมทุกกรณี แต่ว่าจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าโกงกางที่ต่ำกว่าต้นกล้าแสมอาจจะไม่ได้เป็นผลมาจากการทดลองผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้น เนื่องจากว่าจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าทั้งสองชนิดแต่ละกรณี

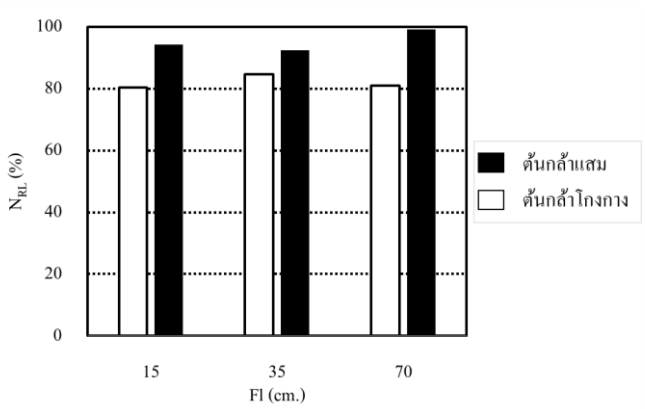
มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าโกงกางที่น้อยกว่าต้นกล้าแสมอาจเป็นลักษณะเฉพาะจากการหลุดล่วงของใบของพันธุ์ไม้ ดังภาพที่ 4-33



ภาพที่ 4-31 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน



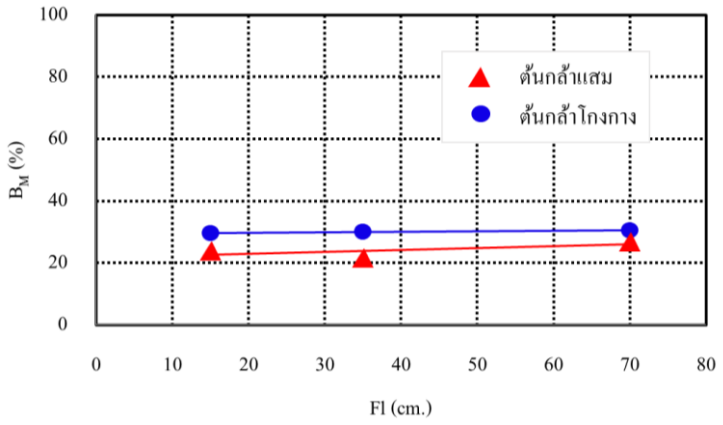
ภาพที่ 4-32 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน



ภาพที่ 4-33 จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน

4.5 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน (B_M) กับระดับน้ำท่วมต้น แสดงให้เห็นว่าระดับน้ำท่วมต้นไม่มีผลต่อน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิด โดยน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าโกงกางอยู่ที่ประมาณ 20% ทุกกรณี ส่วนต้นกล้าแสมมีน้ำหนักมวลชีวภาพอยู่ที่ประมาณ 25% ทุกกรณี เมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าโกงกางมีน้ำหนักมวลชีวภาพมากกว่าต้นกล้าแสม อาจเป็นเพราะต้นกล้าโกงกางมีลักษณะลำต้นและใบที่ใหญ่กว่าต้นกล้าแสม ส่งผลให้น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าโกงกางมีค่ามากกว่าต้นกล้าแสม ดังภาพที่ 4-34



ภาพที่ 4-34 น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน (B_M) เนื่องจากผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน

ผลกระทบของความเค็มของน้ำต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

การศึกษาผลกระทบของความเค็มของน้ำต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ทำการศึกษาผลกระทบจากค่าความเค็มของน้ำ (Salinity, Sal) ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5 25 และ 35 psu เป็นเวลาทั้งสิ้น 60 วัน โดยแบ่งการวิเคราะห์ผลการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 30 วัน และส่วนที่สองการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 60 วัน

1. ผลการวัดค่าความเค็มของน้ำเฉลี่ย

ค่าความเค็มของน้ำในการทดลองใช้เครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบพกพาในการวัดค่าความเค็มของน้ำทุกวันตั้งแต่เริ่มทำการทดลองจนจบการทดลอง ค่าความเค็มของน้ำที่ออกแบบ คือ 5 25 และ 35 psu ค่าความเค็มของน้ำเฉลี่ยที่วัดได้จริงที่ 30 วัน และ 60 วัน psu ดังตารางที่ 4-7

2. ลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนที่ 30 วัน

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนที่ 30 วัน ประกอบด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น และจำนวนใบของต้นกล้าป่าชายเลน โดยข้อมูลลักษณะทางกายภาพได้จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่ก่อนเริ่มทำการทดลองถึงวันที่ 30 ของการทดลอง เก็บข้อมูล ความสูงของลำต้นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าป่าชายเลนทุก ๆ 6 วัน และเก็บข้อมูลจำนวนใบก่อนและหลังการทดลอง 30 วัน ได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-7 ค่าความเค็มของน้ำเฉลี่ยที่ 30 วัน และ 60 วัน

จำนวนวัน	ค่าความเค็มของน้ำออกแบบ (psu)	ค่าความเค็มของน้ำจากการวัดจริง (psu)
30	5	5.26
	25	25.15
	35	35.11
60	5	5.27
	25	25.12
	35	35.10

ตารางที่ 4-8 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของความเค็มของน้ำ ที่ 30 วัน

พารามิเตอร์	ความเค็มของน้ำ					
	35.11 (psu)		25.15 (psu)		5.26 (psu)	
	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม
$\Delta\emptyset_L$ (%)	-2.07	-9.42	-2.31	-5.12	-1.46	-9.73
$\Delta\emptyset_M$ (%)	-3.15	-8.43	-3.28	-8.03	-2.07	-6.47
$\Delta\emptyset_U$ (%)	-2.05	-7.37	-2.11	-4.71	-0.53	-3.48
$\Delta\emptyset_{av}$ (%)	2.42	-8.41	-2.57	-5.92	-1.36	-6.56
Δh_t (%)	0.48	0.72	0.87	0.93	1.00	1.15
ΔVol (%)	-585	-18.28	-4.07	-13.73	-3.89	-15.28
N_{RL} (%)	56.86	89.90	67.24	92.47	82.69	84.69

3. การวิเคราะห์ผลการทดลองเรื่องผลกระทบของความเค็มของน้ำ

เมื่อนำข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมาวิเคราะห์ผล โดยนำข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น และจำนวนใบ มาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพตามสมการ 4-1 ถึง 4-4 ได้ผลการทดลองดังนี้

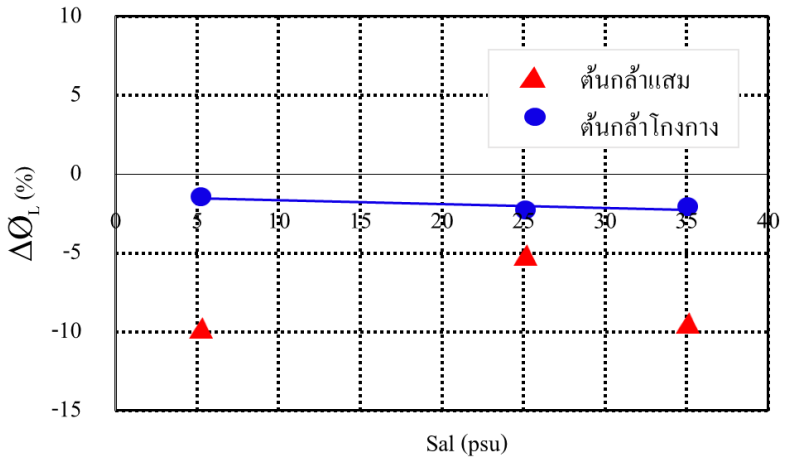
3.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ($\Delta\emptyset$) โดยวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าป่าชายเลนกับความเค็มของน้ำ (Sal) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นทั้งสิ้น 4 ส่วน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน และการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ได้ผลดังภาพที่ 4-35 ถึง 4-39

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta\emptyset_L$) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นว่าความเค็มของน้ำมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง โดยส่งผลให้ต้นกล้าทั้งสอง

ชนิดมีค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างลดลง แต่ว่าค่าความเค็มของน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าโกงกาง ส่วนต้นกล้าแสม พบว่า ที่ค่าความเค็มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าแสมไม่ชัดเจน และหากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างลดลงน้อยกว่าต้นกล้าแสมในทุกกรณี ดังภาพที่ 4-35 อาจเป็นเพราะว่าต้นกล้าโกงกางมีการขับเกลืออกทางผิวใบได้มากกว่าต้นกล้าแสม ซึ่งสังเกตได้จากภาพที่ 4-36 พบคาบเกลือที่ใบของต้นกล้าทั้งสองชนิดขับออกมา ซึ่งต้นกล้าโกงกางมีการขับเกลือที่เห็นได้ชัดเจนมากกว่าต้นกล้าแสม

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta Ø_M$) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นว่าค่าความเค็มของน้ำมีผลทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดลดลง โดยค่าความเค็มของน้ำมีเพิ่มขึ้นมีผลให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางลดลงเล็กน้อย นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมกับต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าโกงกางยังคงมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางลดลงน้อยมากกว่าต้นกล้าแสมทุกกรณีเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ดังภาพที่ 4-37

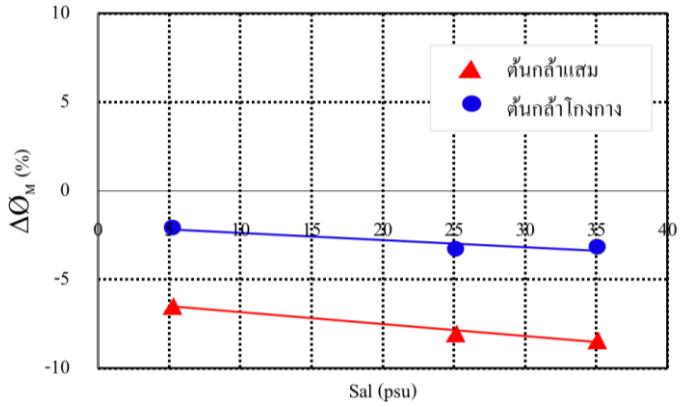


ภาพที่ 4-35 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta Ø_L$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน

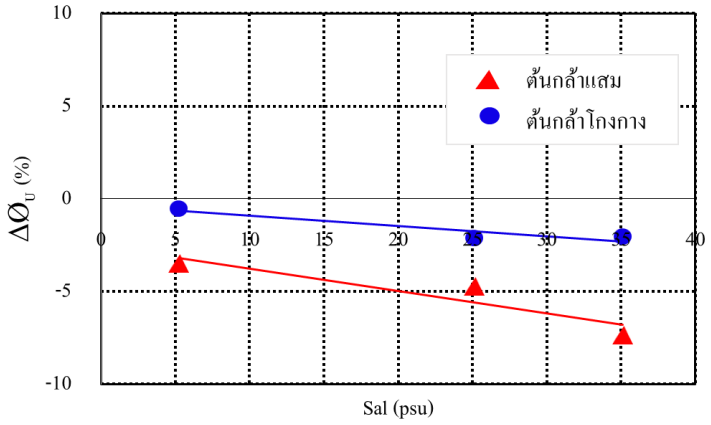
ก) ใบโกงกาง ข) ใบแสม

ภาพที่ 4-36 ลักษณะการขับเกลือทางใบของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ไปในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง คือ ความเค็มของน้ำส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าแสมและโกงกางลดลง ค่าความเค็มของน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางลดลงเล็กน้อย และลดลงต่ำสุดในกรณีที่ค่าความเค็มของน้ำ 35.11 psu นอกจากนี้กรณีที่ค่าความเค็มของน้ำ 5.26 psu ต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดยังคงมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนลดลงน้อยที่สุดเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างและส่วนกลาง ดังภาพที่ 4-38



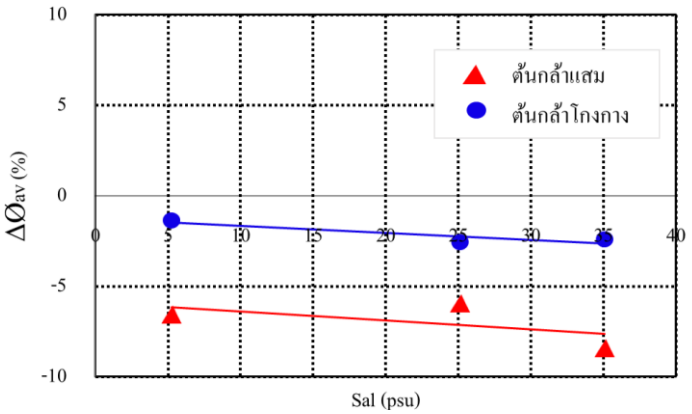
ภาพที่ 4-37 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta Ø_M$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน



ภาพที่ 4-38 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแบบเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง และส่วนบน คือ ความเค็มของน้ำมีผลทำให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นกล้าโกงกางและต้นกล้าแสมลดลงเล็กน้อย และลดลงมากที่สุดที่กรณีค่าความเค็มที่ 35.11 psu นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่าต้นกล้าโกงกางยังคงมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยลดลงน้อยกว่าต้นกล้าแสมทุกกรณี ดังภาพที่ 4-39

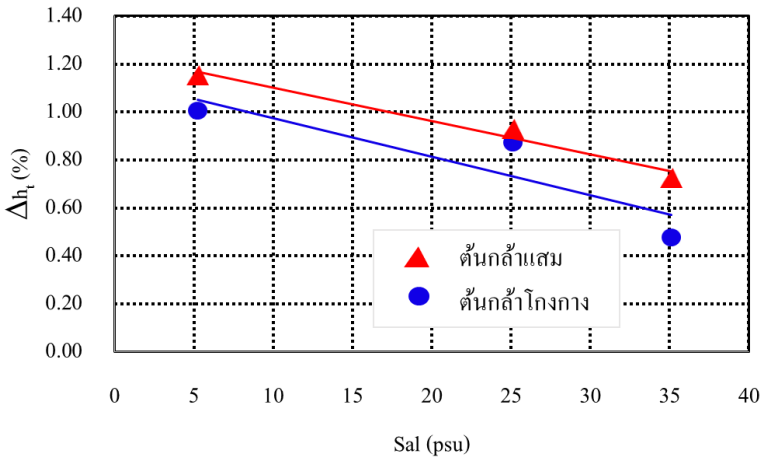
จากความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกับความเค็มของน้ำแสดงให้เห็นว่าความเค็มของน้ำมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลง และพบว่าที่ค่าความเค็มของน้ำเท่ากับ 35.11 psu ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าต้นกล้าโกงกางมีความสามารถในการทนต่อสภาพความเค็มของน้ำได้ดีว่าต้นกล้าแสม ซึ่งจากการสังเกตอาจเป็นเพราะว่าต้นกล้าโกงกางสามารถขับเกลือออกจากผิวใบได้ดีกว่าต้นกล้าแสม



ภาพที่ 4-39 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน

3.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นว่าความเค็มของน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลนอย่างชัดเจน กล่าวคือ เมื่อค่าความเค็มของน้ำสูงขึ้นส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดลดลง และลดลงต่ำที่สุดที่ค่าความเค็มของน้ำ 35.11 psu เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงความสูงเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกาง ซึ่งแตกต่างจากการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น เพราะถึงแม้ต้นกล้าโกงกางจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลงน้อยกว่าต้นกล้าแสม แต่เมื่อสังเกตค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นน้อยมาก ซึ่งแตกต่างจากต้นกล้าแสมที่ค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลงอย่างชัดเจน นั่นแสดงว่าต้นกล้าแสมได้รับผลกระทบจากความเค็มของน้ำ ส่งผลให้ต้นกล้าแสมมีการปรับตัวต่อสภาพความเค็มของน้ำ และพัฒนาการเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้นเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกาง ดังภาพที่ 4-40



ภาพที่ 4-40 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน

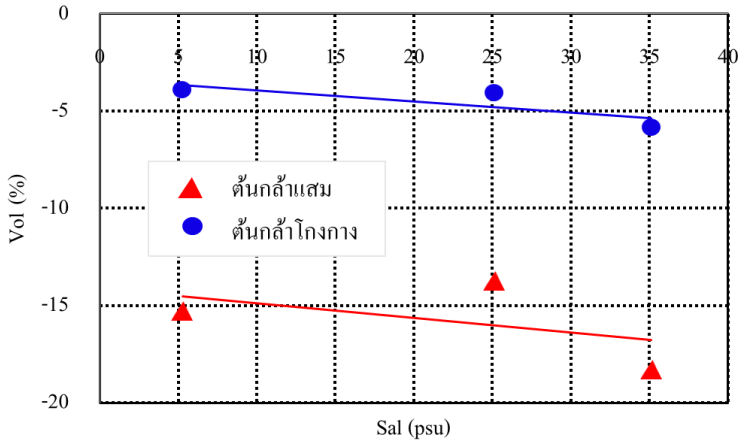
3.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชยเลน (ΔVol) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นว่าเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อค่าความเค็มของน้ำเพิ่มสูงขึ้นต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนลดลง และลดลงต่ำที่สุดในกรณีค่าความเค็มของน้ำ 35.11 psu ส่วนในกรณีที่ค่าความเค็มของน้ำ 5.26 psu พบว่ามีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิดน้อยที่สุด นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าโกงกางยังคงมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนลดลงน้อยกว่าต้นกล้าแสมอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าต้นกล้าโกงกางนั้นมีความสามารถทนต่อสภาพความเค็มของน้ำได้ดีกว่าต้นกล้าแสม ดังภาพที่ 4-41

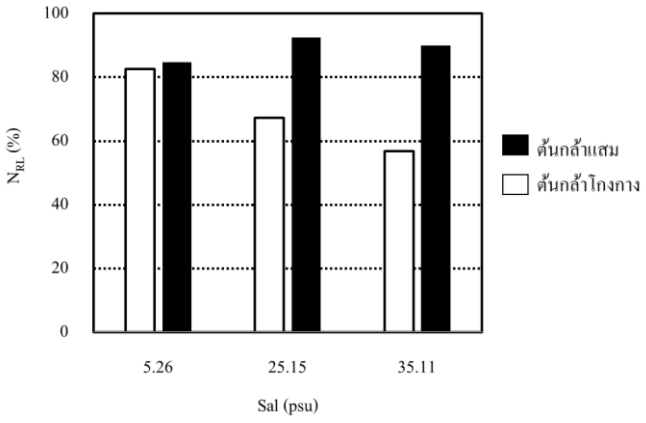
3.4 ผลการวิเคราะห์จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นว่าความเค็มของน้ำมีผลต่อจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าโกงกางอย่างมีนัยสำคัญ คือ เมื่อค่าความเค็มของน้ำเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าโกงกางลดลง โดยที่ค่าความเค็มของน้ำ 35.11 psu ต้นกล้าโกงกางมีจำนวนใบคงเหลือลดลงมากที่สุด รองลงมาเป็น 25.15 psu และ 5.26 psu ตามลำดับ เนื่องจากว่าต้นกล้าโกงกางมีการขับเกลือออกทางใบ ทำให้เมื่อใบของต้นกล้าโกงกางที่มีการขับเกลือออกมาระยะหนึ่ง ใบของต้นกล้าโกงกางจะเริ่มเปลี่ยนสี

และหลุดออก กรณีที่ค่าความเค็มของน้ำมากจึงส่งผลให้จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าโกงกางลดลงมากตามไปด้วย ส่วนต้นกล้าแสมนั้นค่าความเค็มของน้ำไม่ส่งผลต่อจำนวนใบคงเหลือ เพราะว่าต้นกล้าแสมมีจำนวนใบมากกว่าต้นกล้าโกงกางจึงทำให้ใบได้รับผลกระทบจากการขับเกลือไม่มากเท่ากับต้นกล้าโกงกาง ดังภาพที่ 4-42



ภาพที่ 4-41 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน



ภาพที่ 4-42 จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน

4. ลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนที่ 60 วัน

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนที่ 60 วัน ประกอบด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น จำนวนใบ และ น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ซึ่งข้อมูลลักษณะทางกายภาพได้จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่ก่อนเริ่มทำการทดลองจนจบการทดลอง โดยเก็บข้อมูลความสูงของลำต้นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าป่าชายเลนทุก ๆ 6 วัน เก็บข้อมูลจำนวนใบก่อนการทดลองและหลังการทดลอง 60 วัน เก็บข้อมูลน้ำหนักมวลชีวภาพหลังจากจบการทดลองโดยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน ดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเนื่องจากผลกระทบของความเค็มของน้ำที่ 60 วัน

พารามิเตอร์	ความเค็มของน้ำ					
	35.10 (psu)		25.12 (psu)		5.27 (psu)	
	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม	ต้นกล้าโกงกาง	ต้นกล้าแสม
$\Delta Ø_L$ (%)	0.31	-8.67	-1.11	-5.84	-0.21	-8.89
$\Delta Ø_M$ (%)	-0.26	-4.00	-0.37	-8.04	0.76	0.89
$\Delta Ø_U$ (%)	-0.16	-2.82	0.45	-1.87	0.82	9.10
$\Delta Ø_{av}$ (%)	-0.04	-5.16	-0.34	-5.25	0.46	0.37
Δh_t (%)	1.14	0.84	1.03	1.52	1.13	1.70
ΔVol (%)	3.75	-15.83	-0.26	-11.57	1.60	-6.88
N_{RL} (%)	56.86	89.90	67.24	92.47	82.69	84.69
B_{ML} (%)	17.75	27.59	17.80	24.59	19.25	22.16
B_{MR} (%)	36.60	25.32	35.54	35.31	30.56	23.39
B_{MT} (%)	31.74	30.54	32.18	29.70	34.26	51.38
B_M (%)	29.95	27.40	29.46	30.15	29.67	28.51

5. การวิเคราะห์ผลการทดลองเรื่องผลกระทบของความเค็มของน้ำ

เมื่อนำข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมาวิเคราะห์ผล โดยนำข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น จำนวนใบ และน้ำหนักมวลชีวภาพ มาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพตามสมการ 4-1 ถึง 4-5 ได้ผลการทดลอง

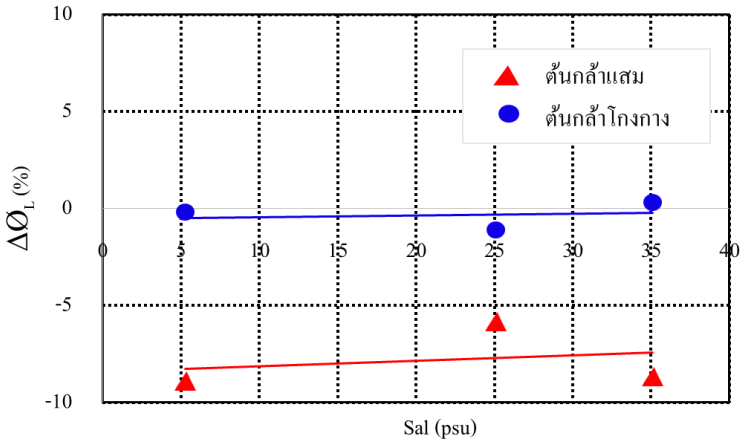
5.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ($\Delta\text{Ø}$) โดยวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าป่าชายเลนกับความเค็มของน้ำ (Sal) โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นทั้งสิ้น 4 ส่วน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน และการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ได้ผลดังภาพที่ 4-43 ถึง 4-46

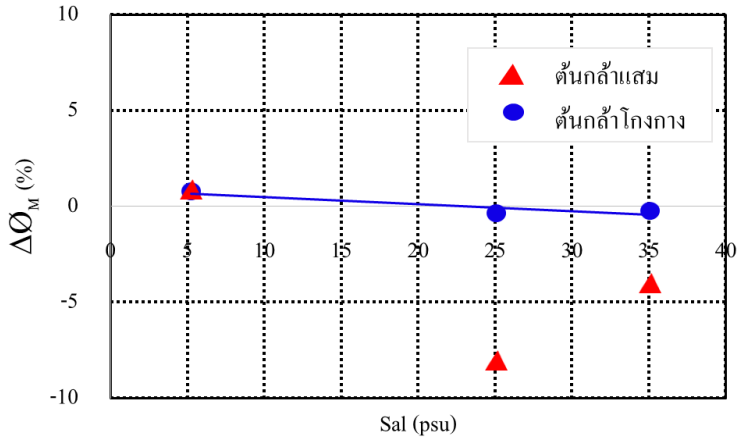
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta\text{Ø}_L$) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นว่าความเค็มของน้ำมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าแสมลดลง แต่ว่าค่าความเค็มของน้ำที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าแสมอย่างชัดเจน ส่วนต้นกล้าโกงกางพบว่าความเค็มของน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างน้อยมาก อาจเป็นเพราะว่าต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองเป็นพันธุ์ไม้ที่สามารถปรับตัวต่อสภาพความเค็มของน้ำได้ ทำให้ได้รับผลกระทบจากความเค็มของน้ำน้อย และลักษณะลำต้นของต้นกล้าโกงกางส่วนล่างมีลักษณะเป็นไม้เนื้อแข็ง ทำให้มีเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างน้อย นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่าต้นกล้าแสมได้รับผลกระทบจากความเค็มของน้ำมากกว่าต้นกล้าโกงกาง พิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างของต้นกล้าแสมลดลงมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพที่ 4-43 สาเหตุที่ต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างลดลงน้อยกว่าต้นกล้าแสม จากการสังเกตอาจเป็นเพราะว่าใบของต้นกล้าโกงกางสามารถขับเกลืออออกทางใบได้ดีกว่าต้นกล้าแสม ดังภาพที่ 4-43

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta\text{Ø}_M$) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าโกงกางยังคงมีเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางที่คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง กล่าวคือ ความเค็มของน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางของต้นกล้าโกงกางน้อยมาก ส่วนต้นกล้าแสมพบว่า ความเค็มของน้ำมีผลทำให้ต้นกล้า

แสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางลดลง แต่ว่าค่าความเค็มของน้ำมีผลต่อแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางของต้นกล้าแสมไม่ชัดเจน นอกจากนี้หากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมยังคงมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลางลดลงมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพที่ 4-44

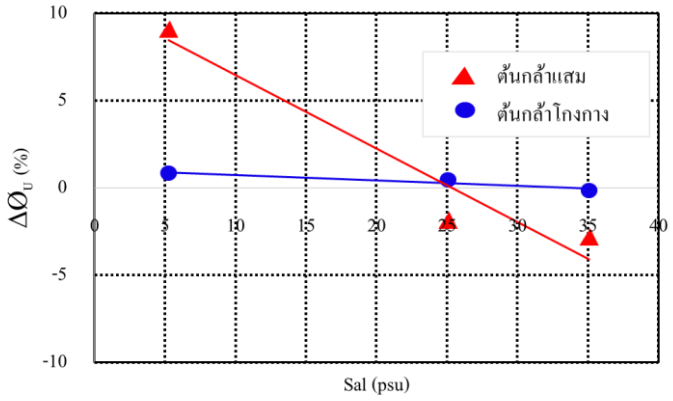


ภาพที่ 4-43 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ($\Delta Ø_L$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน



ภาพที่ 4-44 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง ($\Delta Ø_M$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของต้นกล้าโกงกาง เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง และส่วนกลาง คือ ความเค็มของน้ำมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าโกงกางน้อยมาก แต่พบว่า ในกรณีของต้นกล้าแสมมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างจากการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่างและส่วนกลางที่ กล่าวคือ ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากค่าความเค็มของน้ำ 5.27 psu อาจเป็นเพราะว่าต้นกล้าแสมสามารถเจริญเติบโตได้ดีในที่ ๆ มีค่าความเค็มของน้ำไม่มาก สังเกตได้จากภาพที่ 4-43 และภาพที่ 4-44 จะเห็นว่าต้นกล้าแสมที่ค่าความเค็มของน้ำ 5.27 psu มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นค่อย ๆ เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าโกงกาง จนมาถึงการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนที่ความเค็มของน้ำ 5.27 psu การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนของต้นกล้าแสมเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกาง และอาจเป็นเพราะว่าการเจริญเติบโตของต้นไม้ส่วนใหญ่จะมีการเจริญเติบโตบริเวณส่วนบนของลำต้นมากที่สุด ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงบริเวณลำต้นส่วนบนของต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ส่วนในกรณีที่ค่าความเค็มของน้ำ 25.12 และ 35.10 psu ต้นกล้าแสมยังคงมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบนลดลงมากกว่าต้นกล้าโกงกาง ดังภาพที่ 4-45



ภาพที่ 4-45 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน ($\Delta Ø_U$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแบบเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง ส่วนกลาง และส่วนบน คือ ความเค็มของน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นกล้าโกงกางน้อยมาก ส่วนต้นกล้าแสมพบว่า เมื่อค่าความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้นการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่าต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยลดลงมากกว่าต้นกล้าโกงกางทุกกรณี ดังภาพที่ 4-46 และสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนอื่น แสดงให้เห็นต้นกล้าโกงกางมีความสามารถในการทนผลกระทบจากความเค็มของน้ำได้ดีกว่าต้นกล้าแสม จากการสังเกตอาจจะเป็นเพราะว่าต้นกล้าโกงกางสามารถขับเกลือออกทางใบได้ดีกว่าต้นกล้าแสม

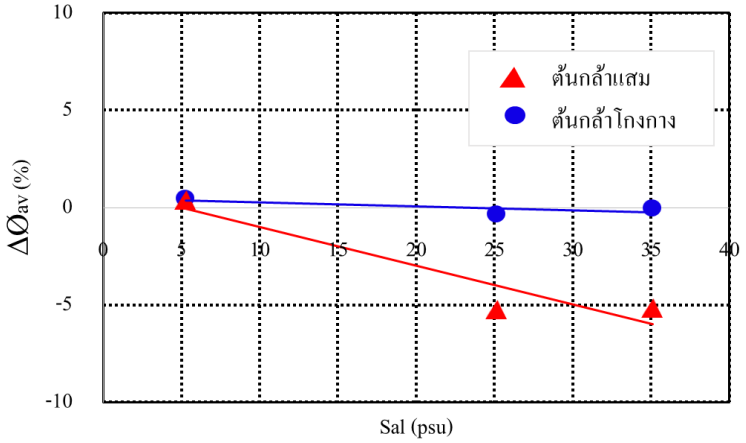
4.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นว่าความเค็มของน้ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าโกงกางเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ส่วนต้นกล้าแสมพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงความสูงสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น คือ ต้นกล้าแสมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความสูงลดลงเมื่อได้รับผลกระทบจากความเค็มของน้ำเพิ่มมากขึ้น หากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงความสูงเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าโกงกางที่ค่าความเค็มของน้ำ 5.27 และ 25.12 psu แต่ที่ค่าความเค็มของน้ำ 35.10 psu ต้นกล้าแสมยังคงมีการเปลี่ยนแปลงความสูงลดลงมากกว่าต้นกล้าโกงกาง ดังภาพที่ 4-47

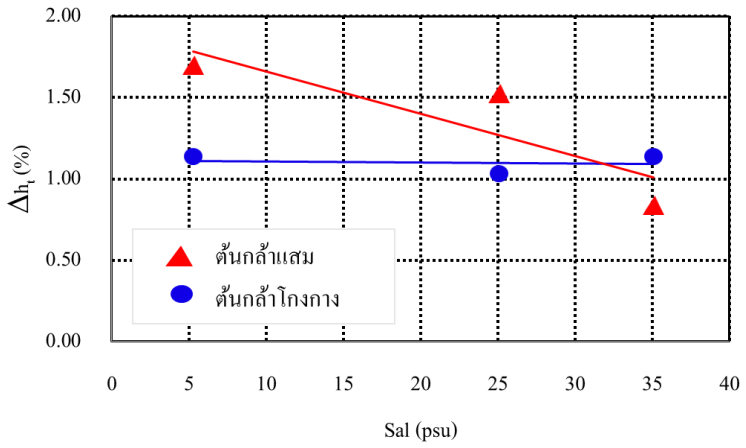
4.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าโกงกางคงที่ ซึ่งหมายความว่าต้นกล้าโกงกางไม่ได้รับผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และการเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น ส่วนต้นกล้าแสมพบว่า เมื่อค่าความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้นต้นกล้าแสมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนลดลงอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงลดลงมากกว่าต้นกล้าโกงกางอย่างเห็นได้

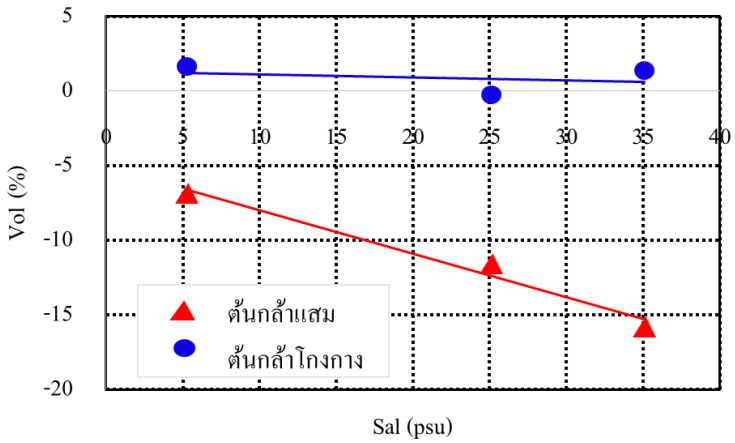
ชัดทุกกรณี แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าโกงกางมีความสามารถในการทนต่อสภาพความเค็มของน้ำได้ดีกว่าต้นกล้าแสม ดังภาพที่ 4-48



ภาพที่ 4-46 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ($\Delta Ø_{av}$) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน



ภาพที่ 4-47 การเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นกล้าป่าชายเลน (Δh_t) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน



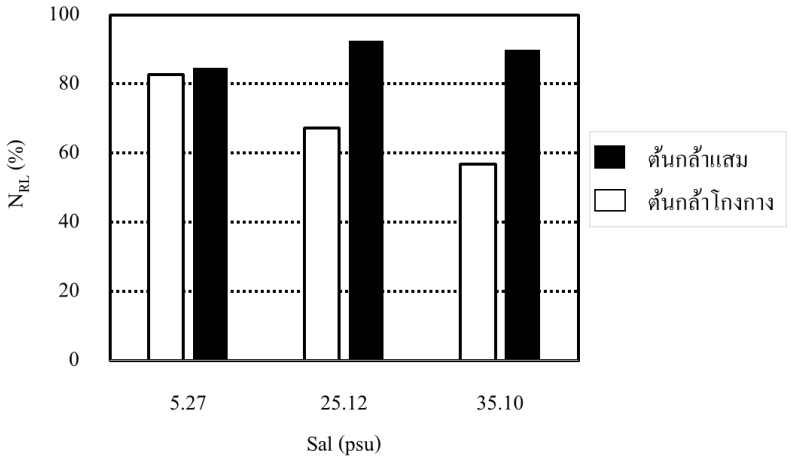
ภาพที่ 4-48 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวแทนของต้นกล้าป่าชายเลน (ΔVol) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน

4.4 ผลการวิเคราะห์จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน

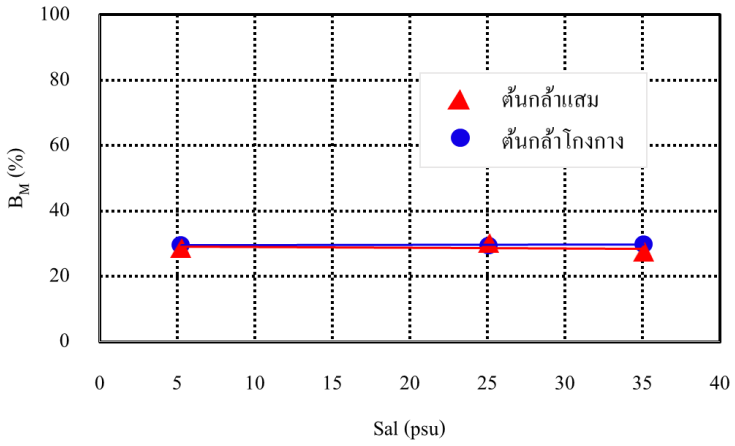
ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนใบที่มีนัยสำคัญสอดคล้องกับค่าความเค็มของน้ำที่เพิ่มขึ้น คือ จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าความเค็มของน้ำเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากว่าต้นกล้าโกงกางมีการขับเกลือออกทางใบ เมื่อใบของต้นกล้าโกงกางมีการขับเกลือถึงจุด ๆ หนึ่ง ใบของต้นกล้าโกงกางจะเริ่มเปลี่ยนสีและหลุดออก ส่วนต้นกล้าแสมพบว่า ความเค็มของน้ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนใบคงเหลือ เนื่องจากว่าต้นกล้าแสมมีการขับเกลือออกทางใบเช่นเดียวกับต้นกล้าโกงกาง แต่ต้นกล้าแสมยังมีจำนวนใบมากกว่าต้นกล้าโกงกางทำให้มีการกระจายการขับเกลือออกทางใบ จึงมีการหลุดล่วงของใบน้อยกว่าต้นกล้าโกงกาง ดังภาพที่ 4-49

4.5 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน (B_M) กับความเค็มของน้ำ แสดงให้เห็นว่าความเค็มของน้ำไม่มีผลต่อน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลนทั้งสองชนิด โดยสังเกตได้จากน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าแสมและโกงกางมีน้ำหนักมวลชีวภาพอยู่ที่ประมาณ 29% ทั้งสองชนิด ดังภาพที่ 4-50



ภาพที่ 4-49 การเปลี่ยนแปลงจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าป่าชายเลน (N_{RL}) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน



ภาพที่ 4-50 น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าป่าชายเลน (B_M) เนื่องจากผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน

การเปรียบเทียบผลกระทบของคลื่นและกระแสน้ำต่อเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางด้วยสมการตัวแปรไร้มิติอัตราส่วนของค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้

สมการตัวแปรไร้มิติอัตราส่วนของค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้ ได้จากการพิจารณาเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางเป็นฟังก์ชันของค่าความหนาแน่นของน้ำ (ρ) ความเร็วกระแสน้ำ (V) ความสูงคลื่น (H) ความสูงของต้นกล้า (h_t) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ($Ø_{av}$) และเวลา (T) ที่ต้นกล้าได้รับอิทธิพลจากคลื่นหรือกระแสน้ำสามารถอธิบายได้ว่า

$$R_D = f\ (\rho, V, H, h_t, Ø_{av}, T)$$

ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดให้ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการตายของต้นกล้าโกงกาง (R_D) คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ (ρ) ความเร็วกระแสน้ำ (V) และความสูงคลื่น (H) โดยเป็นตัวแปรต้นไร้มิติซึ่งเกิดจากการจัดกลุ่ม ของตัวแปรที่ส่งผลกระทบ

กรณีของ π_1 : $\pi_1 = \rho^{a1} V^{b1} H^{c1} h_t$

$$\pi_1 = \left[\frac{M}{L^3}\right]^{a_1} \left[\frac{L}{T}\right]^{b_1} L^{c_1} L = M^0 L^0 T^0$$

มิติของ M ; $a_1 = 0$

มิติของ L ; $-3a_1 + b_1 + c_1 + 1 = 0$

มิติของ T ; $-b_1 = 0$

แก้ทั้งสามสมการข้างต้นจะได้ $a_1 = 0$, $b_1 = 0$, $c_1 = 1$

ดังนั้น $\pi_1 = H^{-1} h_t$

$$\left(\pi_1\right)^{-1} = \frac{H}{h_t} \qquad (4\text{-}9)$$

กรณีของ π_2 : $\pi_2 = \rho^{a2} V^{b2} H^{C2} Ø_{av}$

$$\pi_2 = \left[\frac{M}{L^3}\right]^{a_2} \left[\frac{L}{T}\right]^{b_2} L^{c_2} L = M^0 L^0 T^0$$

มิติของ M ; $a_2 = 0$

มิติของ L ; $-3a_2 + b_2 + C_2 + 1 = 0$

มิติของ T ; $-b_2 = 0$

แก้ทั้งสามสมการข้างต้นจะได้ $a_2 = 0$, $b_2 = 0$, $c_2 = 1$

ดังนั้น $\pi_2 = H^{-1}\text{Ø}_{av}$

$$\left(\pi_2\right)^{-1} = \frac{H}{\text{Ø}_{av}} \tag{4-10}$$

กรณีของ π_3 : $\pi_3 = \rho^{a3} V^{b3} H^{C3} T$

$$\pi_3 = \left[\frac{M}{L^3}\right]^{a_3}\left[\frac{L}{T}\right]^{b_3} L^{c_3} T = M^0 L^0 T^0$$

มิติของ M ; $a_3 = 0$

มิติของ L ; $-3a_3 + b_3 + C_3 = 0$

มิติของ T ; $-b_3 + 1 = 0$

แก้ทั้งสามสมการข้างต้นจะได้ $a_3 = 0$, $b_3 = 1$, $c_3 = -1$

ดังนั้น $\pi_3 = VH^{-1}T$

$$\pi_3 = \frac{VT}{H} \tag{4-11}$$

จัดรูปแบบสมการที่ 4-9 4-10 และ 4-11 ของกลุ่มตัวแปร π โดย

$$\frac{H}{h_t} \times \frac{H}{\text{Ø}_{av}} \times \frac{VT}{H} = \frac{VHT}{\text{Ø}_{av} h_t}$$

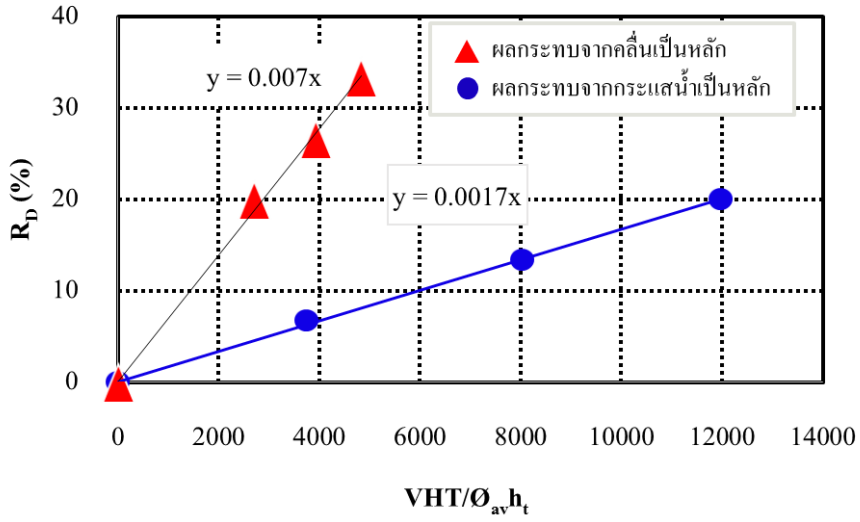
แสดงว่า

$$R_D = f\left[\frac{VHT}{\text{Ø}_{av} h_t}\right] \tag{4-12}$$

จากสมการที่ 4-12 เป็นสมการตัวแปรไร้มิติที่มีความสัมพันธ์กับการตายของต้นกล้าโกงกาง โดยพจน์ตัวเศษที่ประกอบไปด้วยค่าความเร็วกระแสน้ำ (V) ความสูงของคลื่น (H) และเวลาที่ต้นกล้าได้รับอิทธิพลจากคลื่นและกระแสน้ำ (T) ถ้าตัวแปรเหล่านี้มีค่ามากขึ้น ผลกระทบต่อต้นกล้าโกงกางก็มากขึ้นด้วยทำให้เปอร์เซ็นต์การตายสูงขึ้น ในทางตรงกันข้าม ตัวส่วนเป็นเสมือนตัวต้านทานผลกระทบซึ่งได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ($Ø_{av}$) และความสูงของลำต้น (h_t) ถ้าตัวแปรทั้งสองมีค่ามากขึ้น บ่งบอกว่าสามารถต้านทานอิทธิพลจากคลื่นหรือกระแสน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางลดลง เรียกสมการไร้มิตินี้ว่า “สมการตัวแปรไร้มิติอัตราส่วนของค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้” ทำการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางจากสมการที่ 4-12 โดยการวิเคราะห์แยกส่วนออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบจากคลื่นเป็นหลัก และส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบจากกระแสน้ำเป็นหลัก เนื่องจากว่าในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้ทำการทดลองผลกระทบของคลื่นและกระแสน้ำพร้อมกันจึงไม่สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์รวมกันได้

ส่วนที่หนึ่ง การวิเคราะห์ผลกระทบจากคลื่นเป็นหลัก กำหนดค่าให้ความเร็วกระแสน้ำ (V) มีค่าเท่ากับ 1 เซนติเมตรต่อวินาทีทุกกรณี เพื่อตรวจสอบผลกระทบของคลื่นต่อการตายของต้นกล้าโกงกางเป็นหลัก พบว่า แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางกับอัตราส่วนของค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้มีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นตรงที่มีความชันเป็นบวก หมายความว่า เปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้เพิ่มสูงขึ้น ดังภาพที่ 4-51

ส่วนที่สอง การวิเคราะห์ผลกระทบจากกระแสน้ำเป็นหลัก กำหนดค่าให้ความสูงคลื่น (H) มีค่าเท่ากับ 1 เซนติเมตร ทุกกรณี เพื่อตรวจสอบผลกระทบของกระแสน้ำต่อการตายของต้นกล้าโกงกางเป็นหลัก พบว่า แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางกับอัตราส่วนค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้ มีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นตรงที่มีความชันเป็นบวกเช่นเดียวกับกรณีผลกระทบจากคลื่นเป็นหลัก แต่ว่าผลกระทบจากกระแสน้ำเป็นหลักต่อการตายของต้นกล้าโกงกางมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่มีความชันน้อยกว่าผลกระทบจากคลื่นเป็นหลัก แสดงให้เห็นว่าคลื่นมีผลกระทบต่อการตายของต้นกล้าโกงกางมากกว่าผลกระทบจากกระแสน้ำอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4-51



ภาพที่ 4-51 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกาง (R_D) กับอัตราส่วนค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้ ($\frac{VHT}{Ø_{av} h_t}$) เนื่องจากผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำเป็นหลัก

จากภาพที่ 4-51 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางกับอัตราส่วนค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้ เนื่องจากผลกระทบจากคลื่นเป็นหลักได้สมการไร้มิติเชิงเส้นตรงทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางดังสมการที่ 4-13 โดยที่อยู่ในขอบเขตอัตราส่วนค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้เท่ากับ 0 ถึง 4,829

$$R_D = 0.007 \frac{VHT}{Ø_{av} h_t} \qquad (4\text{-}13)$$

เมื่อ R_D คือ การตายของต้นกล้าโกงกาง (%)

V คือ ความเร็วกระแสน้ำ (เซนติเมตรต่อวินาที)

H คือ ความสูงคลื่น (เซนติเมตร)

T คือ เวลาที่ต้นกล้าโกงกางได้รับผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำ (วินาที)

$Ø_{av}$ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (เซนติเมตรเมตร)

h_t คือ ความสูงของต้นกล้าโกงกาง (เซนติเมตรเมตร)

ในการทดลองครั้งนี้ถึงแม้ว่าช่วงอัตราส่วนค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทางของต้นไม้เนื่องจากผลกระทบจากคลื่นเป็นหลักมีค่าอยู่ในช่วงเพียง 0 ถึง 4,829 แต่เพื่อขยายขอบเขตการใช้งาน จึงได้ตั้งสมมุติฐานว่าความสัมพันธ์ระหว่างการตายของต้นกล้าโกงกางกับอัตราส่วนค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้เป็นเส้นตรงแม้อยู่นอกช่วงดังกล่าว และสมการที่ 4-13 ยังคงสามารถประยุกต์ใช้ได้ ยกตัวอย่างการใช้สมการ 4-13 เมื่อลองพิจารณาหากปลูกต้นกล้าโกงกางสูง 50 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย เท่ากับ 0.7 เซนติเมตร อยู่ในสภาพคลื่นที่มีความสูงคลื่นเท่ากับ 50 เซนติเมตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถหาเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางที่ปลูกได้จากสมการที่ 4-13 ดังนี้

$$R_D = 0.007 \times \frac{VHT}{\emptyset_{av} h_t}$$

$$R_D = 0.007 \times \frac{(1) \times (50) \times (2 \times 60 \times 60)}{0.7 \times 50}$$

$$R_D = 0.007 \times 10,285.71$$

$$R_D = 72\%$$

จากการคำนวณแสดงให้เห็นว่าหากมีการปลูกต้นกล้าโกงกางสูง 50 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย เท่ากับ 0.7 เซนติเมตร อยู่ในสภาพคลื่นที่มีความสูงคลื่นเท่ากับ 50 เซนติเมตร ความเร็วกระแสน้ำเท่ากับ 1 เซนติเมตรต่อวินาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้ต้นกล้าโกงกางตายประมาณ 72% จากทั้งหมดที่ปลูก

จากภาพที่ 4-51 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางกับอัตราส่วนค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำเป็นหลักได้สมการไร้มิติเชิงเส้นตรงทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกาง ดังสมการที่ 4-14 โดยที่อยู่ในช่วงขอบเขตอัตราส่วนค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้เท่ากับ 0 ถึง 11,972

$$R_D = 0.0017 \frac{VHT}{\emptyset_{av} h_t} \qquad (4\text{-}14)$$

เมื่อ R_D คือ การตายของต้นกล้าโกงกาง (%)

V คือ ความเร็วกระแสน้ำ (เซนติเมตรเมตรต่อวินาที)

H คือ ความสูงคลื่น (เซนติเมตร)

T คือ เวลาที่ต้นกล้าโกงกางได้รับผลกระทบจากคลื่นและกระแสน้ำ (วินาที)

$Ø_{av}$ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (เซนติเมตร)

h_t คือ ความสูงของต้นกล้าโกงกาง (เซนติเมตร)

ในการทดลองครั้งนี้ถึงแม้ว่าช่วงอัตราส่วนค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้เนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำเป็นหลักมีค่าอยู่ในช่วงเพียง 0 ถึง 11,972 แต่เพื่อขยายขอบเขตการใช้งาน จึงได้ตั้งสมมุติฐานว่าความสัมพันธ์ระหว่างการตายของต้นกล้าโกงกางกับอัตราส่วนค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้เป็นเส้นตรงแม้อยู่นอกช่วงดังกล่าว และสมการที่ 4-14 ยังคงสามารถประยุกต์ใช้ได้ ยกตัวอย่างการใช้สมการที่ 4-14 เมื่อลองพิจารณาหากปลูกต้นกล้าโกงกางสูง 50 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย เท่ากับ 0.7 เซนติเมตร อยู่ในสภาพความเร็วกระแสน้ำเท่ากับ 50 เซนติเมตรเมตรต่อวินาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถหาอัตราการตายของต้นกล้าโกงกางที่ปลูกได้จากสมการที่ 4-14 ดังนี้

$$R_D = 0.0017 \times \frac{VHT}{Ø_{av} h_t}$$

$$R_D = 0.0017 \times \frac{50 \times 1 \times (2 \times 60 \times 60)}{0.7 \times 50}$$

$$R_D = 0.0017 \times 10,285.71$$

$$R_D = 17.49\% \approx 18\%$$

จากการคำนวณแสดงว่าหากมีการปลูกต้นกล้าโกงกางสูง 50 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย เท่ากับ 0.7 เซนติเมตร อยู่ในสภาพความเร็วกระแสน้ำเท่ากับ 50 เซนติเมตรต่อวินาที ความสูงคลื่น 1 เซนติเมตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้ต้นกล้าโกงกางตายประมาณ 18% จากทั้งหมดที่ปลูก

จากตัวอย่างการใช้สมการ 4-13 และ สมการที่ 4-14 ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางกับอัตราส่วนแรงกระทำต่อแรงต้านทางของต้นไม้แบบเชิงเส้นตรง ในกรณีผลกระทบจากคลื่นเป็นหลัก (กำหนดความเร็วกระแสน้ำเท่ากับ 1 เซนติเมตรต่อวินาที) และกรณีผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำเป็นหลัก (กำหนดความสูงคลื่นเท่ากับ 1 เซนติเมตร) ตามลำดับ โดยกำหนดค่าของอัตราส่วนค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานของต้นไม้ทั้งสองตัวอย่างเท่ากัน พบว่าสมการที่ 4-13 กรณีผลกระทบจากคลื่นเป็นหลักค่าเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางมีค่ามากกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางที่ได้

จากสมการที่ 4-14 ถึง 54% นั่นแสดงให้เห็นว่า ผลกระทบจากคลื่นนั้นมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การตาย ของต้นกล้าโกงกางมากกว่าผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำอย่างชัดเจน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลองผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน

การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาผลกระทบของคลื่นต่อลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลนเป็นระยะเวลา 30 วัน สามารถสรุปได้ว่าคลื่นมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น น้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าโกงกางน้อยมาก แต่คลื่นมีผลทำให้จำนวนใบของต้นกล้าโกงกางลดลง เพราะว่าต้นกล้าโกงกางมีลักษณะใบใหญ่และแข็ง จึงเกิดแรงต้านแรงกระทำเนื่องจากคลื่นมาก ส่งผลให้ใบของต้นกล้าโกงกางหลุด และคลื่นมีผลกระทบต่อการตายของต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน ส่วนต้นกล้าแสมพบว่า ต้นกล้าแสมสามารถปรับตัวอยู่ในสภาพได้รับผลกระทบจากคลื่นได้ดีกว่าสภาพน้ำนิ่งท่วมทั้งต้น (กรณีควบคุม) และคลื่นส่งผลให้ต้นกล้าแสมมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้นตามความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้น แต่คลื่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพความสูงของลำต้นและน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าแสมน้อยมาก นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าแสมสามารถทนผลกระทบเนื่องจากคลื่นได้ดีกว่าต้นกล้าโกงกาง

สรุปผลการทดลองผลกระทบของกระแสน้ำต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน

การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาผลกระทบของกระแสน้ำต่อลักษณะทางกายภาพและการตายของต้นกล้าป่าชายเลนเป็นระยะเวลา 30 วัน สามารถสรุปผลได้ว่าความเร็วกระแสน้ำมีผลต่อการตายของต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน การตายของต้นกล้าโกงกางเพิ่มขึ้นตามความเร็วกระแสน้ำที่เพิ่มขึ้น แต่ว่าความเร็วกระแสน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น และน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางน้อยมาก ส่วนการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของจำนวนใบคงเหลือ พบว่าที่ความเร็วกระแสน้ำที่ 0.37 เมตรต่อวินาที มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางลดลงอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่า ต้นกล้าโกงกางสามารถทนผลกระทบเนื่องจากความเร็วกระแสน้ำได้ดีกว่าต้นกล้าแสม เพราะว่าต้นกล้าโกงกางมีลำต้นขนาดใหญ่ทำให้ต้านแรงกระทำตลอดแนวหน้าตัดจากกระแสน้ำได้ดีกว่าต้นกล้าแสมที่มีลำต้นขนาดเล็ก

สรุปผลการทดลองผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน

การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเป็นระยะเวลา 60 วัน สามารถสรุปผลได้ว่าระดับน้ำท่วมต้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน โดยที่ระดับน้ำท่วมทั้งต้นส่งผลให้ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของความสูงเพิ่มขึ้นมากที่สุด แต่ว่าทำให้การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลงมากที่สุดเช่นกัน อาจเป็นเพราะว่าต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีการปรับตัวเนื่องจากผลกระทบของระดับน้ำท่วมทั้งต้น ส่งผลให้ต้นกล้าทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงขนาดความสูงของลำต้นก่อนการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของจำนวนใบคงเหลือและน้ำหนักมวลชีวภาพของทั้งต้นกล้าทั้งสองชนิด นอกจากนี้ยังพบว่า ต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกางมีการเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูง (กรณีระดับน้ำท่วมรากและท่วมกลางต้น) มากกว่าพื้นที่ต่ำ (กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น)

สรุปผลการทดลองผลกระทบของความเค็มของน้ำต่อลักษณะทางกายภาพต้นกล้าป่าชายเลน

การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาผลกระทบของระดับน้ำท่วมต้นต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนเป็นระยะเวลา 60 วัน สามารถสรุปผลได้ว่าความเค็มของน้ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูงของลำต้น และน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าโกงกาง แต่ว่าความเค็มของน้ำมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของจำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าโกงกางอย่างชัดเจน เพราะว่าความเค็มของน้ำที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ใบของต้นกล้าโกงกางขับเกลือออกเพิ่มขึ้น เมื่อต้นกล้าโกงกางขับเกลือออกทางใบถึงจุดหนึ่ง ใบของต้นกล้าโกงกางจะเริ่มเปลี่ยนสีและหลุดออก ส่งผลให้จำนวนใบคงเหลือของต้นกล้าโกงกางลดลงตามความเค็มของน้ำที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของต้นกล้าแสม พบว่าความเค็มของน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าแสมอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ค่าความเค็มของน้ำมากทำให้การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและความสูงของลำต้นของต้นกล้าแสมลดลง แต่ว่าความเค็มของน้ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของจำนวนใบและน้ำหนักมวลชีวภาพของต้นกล้าแสม นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกัน

ระหว่างต้นกล้าแสมและต้นกล้าโกงกาง พบว่าต้นกล้าโกงกางมีความสามารถทนผลกระทบจากความเค็มของน้ำได้ดีกว่าต้นกล้าแสม

สมการและการนำไปใช้

การศึกษาผลกระทบของคลื่น และกระแสน้ำต่อลักษณะทางกานภาพของต้นกล้าป่าชายเลนทำให้ได้สมการทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางที่สามารถนำไปใช้ทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางที่นำไปปลูกป่าชายเลนในแต่ละพื้นที่ได้ 2 สมการ ดังต่อไปนี้

สมการที่ 1 สมการทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางเนื่องจากผลกระทบของคลื่น โดยที่มีขอบเขตความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้น ($\frac{H}{h_t}$) อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.44

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

สมการทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางเนื่องจากผลกระทบของคลื่นสามารถนำไปใช้ทำนายการตายของต้นกล้าโกงกางที่ปลูกป่าชายเลนในพื้นที่ได้ โดยใช้ข้อมูลพื้นฐาน 2 ข้อมูล คือ ความสูงคลื่น (H) และความสูงของต้นไม้ (h_t) ถึงแม้ว่าช่วงความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้นมีค่าอยู่ในช่วงเพียง 0 ถึง 0.44 แต่เพื่อขยายขอบเขตการใช้งาน จึงตั้งสมมุติฐานว่าความสัมพันธ์ระหว่างการตายของต้นกล้าโกงกางกับอัตราส่วนความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้นเป็นเชิงเส้นตรงแม้อยู่นอกช่วงดังกล่าว และสมการที่ 5-1 ยังคงสามารถประยุกต์ใช้ได้ ยกตัวอย่างการนำไปใช้ เช่น ปลูกต้นกล้าโกงกางสูง 50 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่มีความสูงคลื่น 50 เซนติเมตรเมตร แทนค่าตัวแปรในสมการที่ 5-1 ทำให้ทราบว่าต้นกล้าโกงกางตาย 74% ดังนั้นหากต้องการปลูกต้นกล้าโกงกางให้มีเปอร์เซ็นต์การตายลดลงสามารถทำได้สองวิธี คือ หนึ่งเพิ่มความสูงของต้นกล้าโกงกาง สองลดแรงกระทำจากความสูงคลื่น เช่น สร้างแนวไม้ไผ่สลายพลังงานคลื่นนอกฝั่ง

สมการที่ 2 สมการทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางเนื่องจากผลกระทบของกระแสน้ำ โดยที่มีขอบเขตกระแสน้ำและเวลาที่ต้นกล้าได้รับผลกระทบจากกระแสน้ำส่วนด้วยความสูงของลำต้น ($\frac{VT}{h_t}$) อยู่ในช่วง 0 ถึง 8,740

$$R_D = 0.002\frac{VT}{h_t} \quad (5\text{-}2)$$

สมการทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางเนื่องจากผลกระทบของกระแสน้ำ สามารถนำไปใช้ทำนายการตายของต้นกล้าโกงกางที่ปลูกป่าชายเลนในพื้นที่ได้ โดยใช้ข้อมูลพื้นฐาน 3 ข้อมูล คือ ความเร็วกระแสน้ำ (V) เวลาที่ต้นกล้าโกงกางได้รับผลกระทบจากกระแสน้ำ (T) และความสูงของต้นไม้ (h_t) ถึงแม้ว่าช่วงความสูงคลื่นส่วนด้วยความสูงของลำต้นมีค่าอยู่ในช่วงเพียง 0 ถึง 8,740 แต่เพื่อขยายขอบเขตการใช้งาน จึงตั้งสมมุติฐานว่าความสัมพันธ์ระหว่างการตายของต้นกล้าโกงกางกับอัตราส่วนความเร็วกระแสน้ำและเวลาที่ต้นกล้าได้รับผลกระทบจากกระแสน้ำส่วนด้วยความสูงของลำต้นเป็นเชิงเส้นตรงแม้อยู่นอกช่วงดังกล่าว และสมการที่ 5-2 ยังคงสามารถประยุกต์ใช้ได้ ยกตัวอย่างการนำไปใช้ เช่น ปลูกต้นกล้าโกงกางสูง 50 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่มีความเร็วกระแสน้ำ 80 เซนติเมตรต่อวินาที ช่วงเวลาน้ำขึ้นสูงสุดท่วมทั้งต้นเป็นเวลา 14,400 วินาที หรือ 4 ชั่วโมง แทนค่าตัวแปรในสมการที่ 5-2 ทำให้ทราบว่าต้นกล้าโกงกางตาย 46%

จากการศึกษาผลกระทบของคลื่นและกระแสน้ำ ทำให้ทราบว่าคลื่นมีผลกระทบต่อการตายของต้นกล้าโกงกางมากกว่ากระแสน้ำถึง 28% ดังนั้นหากเลือกใช้สมการทำนายเปอร์เซ็นต์การตายของต้นกล้าโกงกางในการปลูกต้นกล้าโกงกาง ควรเลือกใช้สมการที่ 5-1 เพราะเป็นสมการที่มีผลต่อการตายของต้นกล้าโกงกางมากที่สุดและครอบคลุมการตายของต้นกล้าโกงกางเนื่องจากผลกระทบจากกระแสน้ำ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มกรณีศึกษา และระยะเวลาในการทดลองผลกระทบของคลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำท่วมต้น และความเค็มของน้ำ ให้มากขึ้นเพื่อที่จะให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

2. ปรับกรณีศึกษาในการทดลองอิทธิพลของกระแสน้ำต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนให้ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำทั้งสองฝั่งของแปลงทดลอง เนื่องจากในพื้นที่จริงมีปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลง ความเร็วกระแสน้ำจึงส่งผลกระทบต่อต้นกล้าสองทิศทาง คือ ทิศทางน้ำขึ้น และทิศทางน้ำลง หากนำไปปรับใช้ในการทดลองจะทำให้การทดลองคล้ายกับสภาพจริงมากขึ้น แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสน้ำกับการเจริญเติบโตน่าจะเห็นได้ชัดเจนขึ้น

3. ใช้ต้นกล้าโกงกางที่มีความสูง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากขึ้น โดยใช้อิทธิพลของคลื่นและกระแสน้ำเท่าเดิม เพื่อเป็นการสนับสนุนว่า เมื่อต้นกล้าโกงกางมีความสูง

เพิ่มขึ้น และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากขึ้นจะทำให้การตายของต้นกล้าโกงกางลดลงจริงหรือไม่

4. เพิ่มการทดลองโดยให้อิทธิพลของคลื่นและกระแสน้ำต่อลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนพร้อมกัน เพื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ และสรุปร่วมกับการทดลองในครั้งนี้ และอาจได้ความสัมพันธ์เพิ่มเติมที่ใช้อธิบายสมการตัวแปรไร้มิติอัตราส่วนของค่าแรงกระทำต่อค่าความต้านทานได้ดีขึ้น

5. การทำการทดลองให้มีสภาพเหมือนในธรรมชาติมากที่สุด ควรคำนึงถึงปัจจัยในเรื่องดินเพิ่มเติม ซึ่งดินในพื้นดินธรรมชาติมีปริมาณมาก และมีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า

บรรณานุกรม

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2558). *พื้นที่ป่าชายเลนในอดีต*. เข้าถึงได้จาก http://marinegiscenter.dmcr.go.th/km/mangroves_doc08#.WVFD0Y7yphPY

ศุภวุฒ ชูชาติเจริญพร. (2559, 8 ตุลาคม). สัมภาษณ์

ศูนย์อุตุนิยมวิทยา. (2560). *สถานะภาพคลื่นในทะเลตามเส้นทางการเดินเรือ*. เข้าถึงได้จาก http://www.marine.tmd.go.th/thai/ships00.html

สนิท อักษรแก้ว, สนใจ หะวานนท์ และ ชาตรี มากนวล. (2539). *คู่มือการปลูกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน*. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนฟันนี่พับบลิชชิ่ง

สรายุทธ บุณยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี. (2554). *ป่าชายเลน: นิเวศวิทยาและพรรณไม้*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน)

สารยุทธ บุณยะเวชชีวิน, ธนิตย์ หนูยิ้ม และ โชวโซ นากามูระ. (2540). อัตราการรอดตาย และการเจริญเติบโตของโกงกางใบเล็ก และโกงกางใบใหญ่ที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน. *ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35* (หน้า 573-585). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวัจน์ ธัญรส. (2550). *วิทยาศาสตร์ทางทะเลเบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

อุทัย จือเหลียง. (2559, 23 เมษายน). สัมภาษณ์

Adam, J.B. & Human, L.R.D. (2016). Investigation into the mortality of mangroves at St. Lucia Estuary. *South African Journal of Botany*, *107*, 121-128.

Duxbury, A.C. & Duxbury A.B. (1997). An introduction to the world's oceans. Wm. C. Brow Publishers. 504 p

Feagin, R.A., Irish, J.L., Moller, I., Williams, A.M., Colon-Rivera, R.J., & Mousavi, M.E. (2011). Short Communication: Engineering Properties of Wetland Plant with Application to Wave Attenuation, *Coastal Engineering*, *58*, 251-255.

GUNT (2001a). *Instruction Manual HM161 Large Flow Channel*. Germany: G.U.N.T. Gerätebau GmbH.

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

GUNT (2001c). *Technical Information HM161.74 Paddle and Blocking Plate*. Germany: G.U.N.T. Gerätebau Gerätebau GmbH.

GUNT (2001d). *Instruction Manual HM 161.52 Hook and Point Gaufe*. G.U.N.T. Gerätebau GmbH

Hashim, A.M., & Catherine, M.P. (2013). A Laboratory Study on Wave Reduction by Mangrove Forests, *APCBEE Procedia*, *5*, 27-32

Hashim, R., Kamali B., Tamin, N.M., & Zakaria, R. (2010). An Intergrated Approach to Coastal Rehabilitation: Mangrove restoration in Sugai Haji Dorani, Malaysai,Estuarine, *Coastal and ahelf Science*, *86*, 118-124.

He, B., Lai, T., Fan, H., Wang, W., & Zheng, H. (2007). Comparision of Flooding-Tolerance in Four Mangrove Species in a Diurnal Tidal Zone in the Beibu Gulf, Estuarine, *Coastal and Shelf Science*, *74*, 254-262.

Kathiresan, K., & Rajendran, N. (2005). Coastal Mangrove Forests Mitigated Tsunami, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *65*, 601-606.

Liu, H., Zhang, K., Li, Y., & Xie, L. (2013). Numerical Study of the Sensitivity of Mangroves in Reducing Storm Surge and Flooding to Hurricane Characteristics in Southern Florida, *Continental Shelf Research*, *64*, 51-65.

Lu, W., Chen, L., Wang, W., Tam, N.F., & Lin, G. (2013). Effect of Sea Level Rise on Mangrove Avicennia Population Growth, Colonization and Establishment: Evidence from a Field Survey and Greenhouse Manipulation Experiment, *Acta Oecologica*, *49*, 83-91.

Lugo, A.E., & Snedaker, S.C. (1974). The ecology of mangroves. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, *5*, 39-64

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

Mazda, Y., Magi, M., Kogo, M., & Hong P.N., (1997). Mangrove as a Coastal Protection from Wave in the Tong King Delta, Vietnam, *Mangrove and Salt Marshes*, *1*, 127-135.

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.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน

ภาคผนวก ก เป็นตารางแสดงข้อมูลลักษณะทางภาพของต้นกล้าป่าชายเลน
ที่เปลี่ยนแปลงไปแต่ละช่วงเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง การเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น และการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทน สามารถคำนวณได้จากการนำข้อมูลลักษณะทางกายภาพในตารางภาคผนวก ก ไปตัดข้อมูลผิดปกติที่คัดออกในตารางภาคผนวก ข

ตารางภาคผนวก ก-1 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากคลื่น วันที่ 16 พฤศจิกายน 2559

กรณีความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.90	6	13.35	5.20	3.35
R2	26.20	6	11.75	4.00	3.20
R3	27.70	4	12.30	5.00	3.25
R4	31.50	6	10.35	4.60	3.45
R5	26.40	6	11.60	5.30	3.80
R6	30.10	4	13.60	5.25	4.00
R7	30.60	4	11.35	5.10	3.40
R8	22.80	8	10.15	4.40	3.15
R9	31.30	5	12.10	5.00	3.25
R10	25.70	4	10.15	4.35	3.40
R11	23.20	5	9.35	4.50	3.00
R12	29.20	5	10.45	4.50	3.35
R13	31.80	4	10.85	4.35	3.40
R14	26.70	3	10.95	4.00	3.35
R15	29.70	6	11.30	5.20	3.25
A1	31.60	10	4.60	3.15	2.45
A2	34.60	12	4.35	3.15	2.35
A3	33.50	9	4.90	3.18	2.15
A4	33.00	12	6.10	4.35	2.65
A5	32.30	8	5.15	3.90	2.25
A6	35.60	10	4.33	3.65	2.35
A7	37.70	12	5.73	4.00	2.85
A8	34.10	9	5.25	3.65	2.50
A9	33.20	10	4.30	3.20	2.10
A10	35.00	12	5.10	3.40	2.30
A11	35.20	13	5.60	4.05	2.33
A12	36.00	14	5.00	3.45	2.60
A13	32.90	15	5.03	4.15	2.70
A14	37.70	10	5.55	3.65	2.75
A15	34.20	13	4.50	3.95	2.55

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 10.57 เซนติเมตร					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	20.90	4	9.25	4.20	3.50
R2	29.00	5	12.00	4.25	3.30
R3	23.80	8	12.00	5.30	3.95
R4	28.80	4	13.95	4.90	4.00
R5	31.00	5	12.05	5.35	4.35
R6	30.10	4	10.00	5.15	4.00
R7	32.40	6	13.30	5.10	4.00
R8	23.30	8	11.50	4.90	3.90
R9	29.70	8	11.65	4.45	3.15
R10	24.00	4	10.95	4.80	3.75
R11	33.30	6	12.20	5.00	3.75
R12	31.30	6	12.90	5.45	4.05
R13	28.50	4	12.25	5.15	4.10
R14	29.90	8	11.20	5.00	3.75
R15	27.00	6	13.05	4.50	4.00
A1	30.90	7	5.00	3.95	2.40
A2	28.20	7	4.50	3.40	2.20
A3	32.10	11	5.05	3.90	2.15
A4	32.10	12	5.05	4.05	2.40
A5	32.50	5	5.00	4.05	2.20
A6	32.90	9	4.60	4.10	2.85
A7	32.40	9	5.20	4.20	2.40
A8	34.20	15	5.30	4.45	2.80
A9	32.00	8	5.20	3.75	2.50
A10	32.10	9	4.15	3.25	3.00
A11	32.70	10	5.00	4.00	2.50
A12	35.30	8	5.00	4.05	2.35
A13	32.30	10	4.10	3.00	2.10
A14	32.00	9	4.05	3.00	2.00
A15	29.90	10	5.10	4.42	3.00

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 7.73 เซนติเมตร					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	29.80	8	10.95	5.65	3.53
R2	31.20	5	10.05	4.50	3.03
R3	32.40	6	12.00	4.95	4.00
R4	29.90	7	10.38	5.20	3.55
R5	25.80	6	10.23	5.10	3.75
R6	27.00	5	12.03	5.00	3.75
R7	30.30	6	12.63	4.75	3.40
R8	28.20	6	11.63	5.00	4.15
R9	32.70	6	12.55	5.08	3.63
R10	28.20	5	10.90	4.73	4.00
R11	27.00	6	10.83	4.60	3.60
R12	31.20	6	14.10	5.15	3.80
R13	30.00	5	11.48	5.28	3.48
R14	33.00	5	12.28	5.58	4.08
R15	28.20	5	12.55	5.60	4.58
A1	37.60	12	4.33	3.85	3.10
A2	38.50	15	5.25	4.13	2.43
A3	36.20	13	5.08	3.45	2.60
A4	35.00	13	5.63	4.13	2.43
A5	31.50	14	4.90	4.23	3.00
A6	34.60	13	5.35	4.38	2.60
A7	36.10	9	4.55	3.80	2.43
A8	34.60	11	4.80	3.68	2.55
A9	30.00	11	5.38	4.33	2.85
A10	37.00	9	5.20	3.53	2.78
A11	37.20	23	5.80	4.33	2.43
A12	36.00	12	5.20	4.13	2.13
A13	38.20	13	5.20	3.23	2.60
A14	33.60	12	5.60	3.55	2.78
A15	32.30	13	5.05	4.05	2.75

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น)					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.90	4	9.70	4.23	3.28
R2	25.30	4	10.40	4.78	3.45
R3	22.00	6	12.00	4.73	4.20
R4	27.20	6	11.35	4.83	3.60
R5	24.80	4	10.60	4.90	3.05
R6	23.80	5	11.30	4.80	3.33
R7	24.40	4	10.85	5.10	3.48
R8	24.00	4	10.78	4.68	3.85
R9	27.70	4	13.23	5.25	3.70
R10	30.30	5	12.75	4.18	3.85
R11	26.00	6	12.70	5.08	3.40
R12	23.60	5	12.35	4.23	3.85
R13	25.50	4	10.60	4.75	4.00
R14	31.00	5	10.75	4.85	3.38
R15	27.60	5	10.60	4.53	3.55
A1	34.20	9	4.35	3.35	2.58
A2	28.20	13	5.10	4.10	3.25
A3	31.00	9	5.95	4.40	3.90
A4	30.20	10	5.10	3.75	2.88
A5	31.00	12	6.03	4.78	2.95
A6	32.90	15	4.75	3.63	3.05
A7	27.90	10	4.50	3.15	2.35
A8	33.80	11	4.65	3.50	2.35
A9	29.80	7	4.85	3.95	2.65
A10	31.00	12	6.05	4.35	2.98
A11	28.50	7	5.55	4.48	3.20
A12	28.40	11	5.30	3.70	2.75
A13	31.40	9	5.05	4.48	2.45
A14	28.30	10	4.70	4.00	2.55
A15	26.70	9	5.08	4.50	2.40

ตารางภาคผนวก ก-2 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากคลื่น วันที่ 21 พฤศจิกายน 2559

กรณีความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.00	13.70	4.93	3.75
R2	25.80	11.95	3.68	3.35
R3	27.70	12.75	5.03	3.43
R4	31.50	10.50	4.50	3.38
R5	26.40	11.63	5.18	3.80
R6	31.00	13.53	5.20	3.85
R7	30.70	11.75	4.98	3.50
R8	23.10	10.43	4.63	3.38
R9	31.00	12.68	4.45	3.18
R10	25.50	10.60	4.30	3.30
R11	23.40	9.68	4.58	3.35
R12	28.50	10.58	4.43	3.33
R13	31.70	10.80	4.48	3.60
R14	26.50	10.75	4.00	3.28
R15	29.50	11.55	5.40	3.40
A1	31.80	4.60	3.35	2.55
A2	35.10	4.38	3.60	2.63
A3	33.90	4.83	3.25	2.10
A4	34.00	6.10	4.90	2.90
A5	32.60	4.75	3.45	2.25
A6	35.00	4.08	3.28	2.08
A7	37.40	5.70	3.90	2.50
A8	33.70	4.18	3.15	2.03
A9	33.20	4.90	3.60	2.18
A10	35.40	4.85	3.30	2.40
A11	35.00	4.50	3.05	2.33
A12	36.00	5.20	3.85	2.90
A13	32.50	5.00	3.60	2.95
A14	37.00	4.20	3.33	2.25
A15	34.40	5.33	3.60	2.40

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 10.57 เซนติเมตร				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	20.80	9.45	4.28	3.43
R2	28.90	12.13	4.45	3.40
R3	23.60	12.10	5.45	3.60
R4	28.50	13.25	4.75	3.98
R5	30.70	12.50	5.60	4.80
R6	30.50	10.45	5.10	4.10
R7	32.00	13.15	5.28	3.68
R8	23.00	11.28	4.75	3.85
R9	30.00	11.23	4.20	3.30
R10	23.70	11.00	4.58	3.60
R11	33.30	12.05	5.00	3.53
R12	30.80	13.05	5.48	4.20
R13	28.40	13.25	5.10	4.08
R14	29.80	11.80	5.05	3.78
R15	27.20	13.45	4.68	3.90
A1	31.50	4.90	3.78	2.68
A2	28.00	4.70	3.55	2.30
A3	32.00	5.18	3.90	2.40
A4	32.10	6.35	4.83	2.88
A5	33.00	5.00	4.30	2.38
A6	33.10	4.60	4.33	2.65
A7	32.40	5.25	4.08	2.55
A8	34.20	5.40	4.55	2.85
A9	32.30	5.40	3.98	2.40
A10	32.50	4.08	3.20	2.70
A11	33.60	5.23	3.93	2.68
A12	36.00	5.08	3.90	2.20
A13	32.20	4.05	3.00	2.20
A14	32.60	4.30	3.20	2.15
A15	30.60	5.00	4.25	3.10

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 7.73 เซนติเมตร				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	29.90	10.75	5.15	3.65
R2	31.30	10.10	4.45	2.90
R3	32.40	11.85	5.03	3.80
R4	29.80	10.58	5.35	3.65
R5	25.60	10.60	5.28	3.83
R6	27.40	12.20	5.05	3.80
R7	30.50	12.83	4.75	3.35
R8	28.00	11.55	5.05	3.95
R9	32.40	12.73	5.55	4.68
R10	27.00	10.93	4.80	4.18
R11	28.00	10.78	4.60	3.70
R12	30.50	13.88	4.98	3.75
R13	30.10	12.05	5.45	4.13
R14	32.70	11.95	5.10	3.98
R15	27.70	13.30	5.45	4.60
A1	37.00	5.03	3.73	3.10
A2	38.70	5.08	4.35	2.20
A3	37.00	4.95	3.38	2.58
A4	35.50	5.35	4.00	2.23
A5	32.00	4.78	4.15	2.88
A6	35.00	5.23	4.05	2.63
A7	36.10	4.63	4.00	2.38
A8	35.00	4.50	3.28	2.23
A9	30.70	5.08	4.10	2.75
A10	37.20	4.98	3.35	2.73
A11	37.90	5.53	4.33	2.30
A12	36.40	5.05	4.00	2.18
A13	38.80	5.13	3.30	2.35
A14	33.80	5.15	3.45	2.28
A15	32.90	5.08	3.90	2.75

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.00	9.75	4.25	3.30
R2	24.50	10.48	4.75	3.60
R3	21.70	11.95	4.55	3.83
R4	27.30	11.50	4.75	3.35
R5	25.00	10.88	4.88	3.05
R6	23.70	11.30	4.55	3.23
R7	24.50	10.73	5.25	3.25
R8	24.00	10.60	4.45	3.40
R9	27.50	9.88	4.40	3.50
R10	31.00	10.33	4.88	3.40
R11	25.50	10.38	4.65	4.08
R12	24.00	12.13	4.18	3.58
R13	26.60	12.20	4.73	3.15
R14	26.30	12.65	4.40	3.75
R15	27.20	13.10	5.03	4.00
A1	33.70	4.18	3.20	2.43
A2	29.00	4.88	4.03	2.90
A3	31.50	5.38	3.85	3.25
A4	30.00	4.75	3.53	2.70
A5	30.90	5.80	4.30	2.80
A6	33.00	4.28	3.38	2.45
A7	27.50	4.00	3.00	2.25
A8	33.80	5.00	4.33	2.15
A9	30.70	4.55	3.75	2.28
A10	31.00	5.05	3.95	2.10
A11	28.50	5.08	3.80	2.65
A12	29.10	5.25	4.13	3.00
A13	33.00	5.48	4.45	2.75
A14	28.30	4.53	3.55	2.18
A15	27.50	4.35	3.25	2.25

ตารางภาคผนวก ก-3 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากคลื่น วันที่ 27 พฤศจิกายน 2559

กรณีความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.30	13.53	4.73	3.60
R2	26.10	11.83	3.65	3.20
R3	27.60	12.13	5.08	3.17
R4	31.40	10.15	4.33	3.25
R5	26.00	11.48	5.30	3.65
R6	30.50	13.55	4.98	3.88
R7	30.60	11.55	4.85	3.48
R8	23.00	10.23	4.50	3.23
R9	31.20	12.55	4.45	3.03
R10	25.60	10.28	4.38	3.30
R11	23.10	9.65	4.40	3.00
R12	29.00	10.95	4.30	3.30
R13	31.70	10.60	4.43	3.38
R14	26.80	10.55	3.88	3.15
R15	29.30	11.18	5.05	3.30
A1	31.90	4.70	3.60	2.50
A2	35.00	4.25	3.40	2.48
A3	34.40	4.45	3.15	2.15
A4	34.50	5.90	4.40	2.80
A5	33.10	4.95	3.68	2.38
A6	35.90	4.38	3.65	2.25
A7	38.20	5.58	4.08	2.70
A8	33.50	4.93	3.60	2.28
A9	33.50	4.45	3.20	2.13
A10	35.60	4.95	3.35	2.53
A11	35.70	5.55	3.90	2.40
A12	36.50	4.73	3.28	2.43
A13	33.10	5.30	4.28	2.83
A14	37.10	5.40	3.75	2.43
A15	34.50	4.43	3.68	2.40

ตารางภาคผนวก ก-3 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 10.57 เซนติเมตร				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	20.90	9.40	4.20	3.58
R2	29.00	12.10	4.55	3.30
R3	23.80	11.93	5.33	3.58
R4	28.20	12.80	4.65	3.95
R5	30.10	12.10	5.60	4.60
R6	30.40	9.95	4.93	3.95
R7	32.20	13.00	5.18	3.85
R8	23.20	11.25	4.68	3.83
R9	29.80	11.45	4.30	3.23
R10	23.70	10.90	4.68	3.63
R11	33.50	11.98	5.00	3.58
R12	31.10	13.10	5.15	4.00
R13	28.50	12.88	4.85	4.20
R14	29.80	11.38	4.78	3.60
R15	27.00	13.00	4.35	3.93
A1	32.00	4.75	3.45	2.38
A2	28.10	4.28	3.28	2.08
A3	32.50	5.05	3.63	2.43
A4	32.10	5.20	3.90	2.65
A5	32.80	4.85	4.00	2.28
A6	32.90	4.68	4.33	2.70
A7	33.10	5.08	4.05	2.63
A8	34.60	5.33	4.38	2.98
A9	32.10	5.28	3.85	2.58
A10	32.00	4.03	3.15	2.50
A11	35.60	5.05	3.75	2.38
A12	33.60	5.10	4.03	2.18
A13	32.50	4.00	2.95	2.13
A14	33.20	4.10	2.90	2.05
A15	30.60	5.00	4.03	2.80

ตารางภาคผนวก ก-3 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 7.73 เซนติเมตร				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	29.80	10.80	5.05	3.53
R2	31.50	9.83	4.33	3.13
R3	32.40	11.95	4.88	3.83
R4	29.80	10.33	5.15	3.53
R5	25.70	10.40	5.25	3.85
R6	27.10	12.03	4.85	3.63
R7	30.40	12.73	4.70	3.33
R8	28.30	11.63	5.08	4.10
R9	31.70	12.53	5.08	3.58
R10	28.50	10.45	4.73	3.98
R11	27.10	10.70	4.50	3.80
R12	31.40	13.63	4.90	3.58
R13	31.10	11.40	5.15	3.50
R14	32.80	12.15	5.58	4.13
R15	28.00	12.85	5.58	4.55
A1	38.10	4.68	3.48	2.95
A2	38.90	5.13	4.08	2.33
A3	36.80	4.90	3.48	2.53
A4	35.40	5.50	4.03	2.30
A5	32.50	4.70	4.20	2.93
A6	35.20	5.30	4.10	2.63
A7	36.50	4.45	3.48	2.30
A8	34.50	4.48	3.40	2.38
A9	30.60	5.08	4.30	2.73
A10	37.30	4.65	3.33	2.70
A11	38.00	5.50	4.08	2.30
A12	36.60	5.18	3.68	2.10
A13	39.30	5.08	3.25	2.33
A14	33.80	5.18	3.43	2.35
A15	32.60	5.00	3.95	2.58

ตารางภาคผนวก ก-3 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.00	9.58	4.13	3.30
R2	25.10	10.50	4.78	3.67
R3	21.90	11.90	4.35	3.80
R4	27.40	11.43	4.83	3.38
R5	24.90	10.83	5.13	3.08
R6	24.00	11.35	4.70	3.18
R7	24.10	10.70	5.20	3.30
R8	24.30	10.68	4.48	3.40
R9	27.30	11.75	4.45	3.40
R10	31.10	10.68	4.80	3.50
R11	25.80	10.30	4.63	4.03
R12	24.10	12.05	4.23	3.70
R13	26.20	12.48	5.03	3.25
R14	27.30	12.75	4.43	4.03
R15	27.60	13.08	5.08	3.85
A1	34.70	4.20	3.30	2.43
A2	28.90	4.90	3.78	2.73
A3	31.10	5.38	4.08	3.23
A4	31.10	5.05	3.55	2.70
A5	31.00	5.70	4.33	2.90
A6	33.10	4.45	3.45	3.10
A7	28.50	5.08	2.98	2.25
A8	34.10	4.90	4.15	2.15
A9	30.40	4.53	3.95	2.38
A10	31.40	5.23	4.05	2.18
A11	28.90	5.10	3.95	2.73
A12	28.60	5.23	4.28	3.05
A13	32.90	5.53	4.13	2.78
A14	28.50	4.60	3.58	2.48
A15	27.80	4.45	3.35	2.35

ตารางภาคผนวก ก-4 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากคลื่น วันที่ 3 ธันวาคม 2559

กรณีความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.80	13.35	4.83	3.53
R2	26.10	11.75	3.68	3.25
R3	27.80	12.23	5.13	3.30
R4	31.40	10.58	4.33	2.75
R5	26.60	11.55	5.38	3.60
R6	30.20	13.55	5.00	4.08
R7	30.60	11.68	5.00	3.70
R8	22.60	9.80	4.18	1.90
R9	31.10	12.55	4.63	3.23
R10	25.80	10.30	4.30	3.30
R11	22.90	9.25	4.30	1.88
R12	29.00	10.88	4.48	3.48
R13	31.60	10.58	4.50	3.48
R14	26.80	10.65	4.03	3.43
R15	29.40	11.15	5.15	3.45
A1	31.80	4.75	3.78	2.50
A2	34.40	4.38	3.53	2.48
A3	33.90	4.70	3.28	2.15
A4	34.50	6.00	4.73	2.95
A5	32.50	4.93	3.85	2.43
A6	35.20	4.53	3.65	2.20
A7	37.60	5.88	4.03	2.83
A8	33.90	5.05	3.88	2.53
A9	33.40	4.60	3.33	2.15
A10	35.00	4.70	3.55	2.53
A11	34.60	5.68	4.05	2.40
A12	36.00	4.80	3.70	2.45
A13	32.60	5.30	4.20	2.93
A14	37.00	5.60	3.85	2.45
A15	34.10	4.80	3.95	2.55

ตารางภาคผนวก ก-4 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 10.57 เซนติเมตร				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	20.70	9.25	4.05	3.50
R2	28.80	11.45	5.10	3.63
R3	23.80	12.03	4.30	3.25
R4	28.20	13.08	4.73	3.88
R5	30.90	12.20	5.50	4.60
R6	30.50	9.95	4.98	4.03
R7	32.10	13.05	5.18	3.73
R8	23.20	10.98	4.45	3.70
R9	29.80	11.13	4.38	3.18
R10	23.60	10.85	4.65	3.65
R11	33.50	11.95	4.83	3.48
R12	31.00	13.10	5.30	3.85
R13	29.00	12.60	4.90	3.98
R14	29.50	11.30	4.83	3.60
R15	27.20	13.05	4.58	4.03
A1	32.50	4.73	3.53	2.48
A2	27.50	4.33	3.40	2.10
A3	32.00	5.05	3.50	2.38
A4	32.40	5.23	3.90	2.60
A5	32.90	4.85	4.08	2.20
A6	32.80	4.60	4.33	2.65
A7	33.10	5.13	4.10	2.55
A8	34.10	5.30	4.33	2.50
A9	32.00	5.33	3.98	2.48
A10	32.30	4.00	3.15	2.68
A11	33.20	5.08	3.68	2.45
A12	32.20	4.95	3.88	2.18
A13	33.10	4.00	3.05	2.15
A14	35.90	4.25	2.80	2.03
A15	32.80	4.95	4.00	2.90

ตารางภาคผนวก ก-4 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 7.73 เซนติเมตร				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	30.10	10.75	5.05	3.53
R2	31.30	9.98	4.48	3.03
R3	32.20	11.90	4.88	3.78
R4	30.00	10.28	5.10	3.55
R5	25.50	10.13	5.33	3.73
R6	27.00	11.80	4.13	2.38
R7	30.50	12.73	4.73	3.28
R8	28.10	11.13	4.95	4.10
R9	32.70	12.63	5.20	3.65
R10	28.00	10.70	4.85	3.98
R11	27.00	10.75	4.58	3.85
R12	31.00	13.80	4.90	3.70
R13	30.20	11.33	5.18	3.48
R14	27.70	12.23	5.48	4.18
R15	33.20	12.50	5.53	4.53
A1	38.00	4.78	3.60	3.05
A2	38.30	5.08	4.10	2.25
A3	36.30	5.00	3.38	2.60
A4	35.60	5.40	4.08	2.33
A5	32.50	4.93	4.13	2.88
A6	35.40	5.30	4.10	2.58
A7	35.70	4.43	3.58	2.25
A8	35.00	4.55	3.45	2.30
A9	30.60	5.30	4.48	2.65
A10	37.50	5.00	3.30	2.65
A11	37.90	5.65	4.33	2.35
A12	36.60	5.13	3.83	2.05
A13	38.70	5.10	3.18	2.40
A14	34.00	5.30	3.50	2.50
A15	32.40	5.08	3.83	2.68

ตารางภาคผนวก ก-4 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.90	9.55	4.25	3.35
R2	25.10	10.55	4.80	3.73
R3	22.00	12.10	4.50	3.83
R4	27.50	11.53	4.80	3.45
R5	24.80	10.83	5.03	3.15
R6	23.90	11.70	4.65	3.18
R7	24.20	10.73	5.23	3.35
R8	24.30	10.83	4.68	3.43
R9	27.70	10.23	4.50	3.58
R10	31.30	10.43	4.95	3.65
R11	25.80	10.28	4.63	4.13
R12	22.40	12.25	4.25	3.75
R13	27.00	12.40	4.93	3.28
R14	26.10	12.83	4.20	3.83
R15	27.50	13.05	5.13	4.05
A1	34.00	4.20	3.35	2.58
A2	29.00	4.95	3.88	2.88
A3	30.60	5.55	4.15	3.25
A4	30.30	4.90	3.95	2.93
A5	30.70	5.65	4.25	2.80
A6	32.90	4.53	3.58	2.93
A7	28.40	4.33	3.10	2.40
A8	34.20	5.08	4.15	2.15
A9	29.90	4.63	3.80	2.43
A10	31.10	5.13	4.10	2.25
A11	28.50	5.15	3.95	3.03
A12	28.70	5.45	4.25	3.05
A13	33.00	5.70	4.13	2.88
A14	28.50	4.70	3.55	2.40
A15	27.50	4.38	3.43	2.38

ตารางภาคผนวก ก-5 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากคลื่น วันที่ 9 ธันวาคม 2559

กรณีความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.90	13.25	4.70	3.45
R2	26.40	11.85	3.73	3.15
R3	27.60	12.35	5.05	3.33
R4	31.40	9.78	4.33	1.83
R5	26.40	11.55	5.28	2.00
R6	30.10	13.60	5.03	3.93
R7	30.70	11.68	4.90	3.65
R8	22.50	9.68	4.25	1.98
R9	31.30	12.43	4.70	3.10
R10	25.50	10.45	4.38	3.45
R11	23.30	8.88	3.50	1.65
R12	28.80	10.70	4.45	3.43
R13	31.60	10.43	4.45	3.55
R14	26.70	10.70	4.10	3.33
R15	29.50	11.20	5.25	3.35
A1	32.10	4.58	3.68	2.53
A2	35.10	4.25	3.38	2.58
A3	33.50	4.73	3.18	2.13
A4	34.20	5.90	4.70	2.83
A5	32.90	5.05	3.70	2.43
A6	35.50	4.58	3.63	2.28
A7	37.90	5.90	4.08	2.80
A8	34.00	5.18	3.75	2.58
A9	32.50	4.43	3.33	2.08
A10	35.30	4.85	3.43	2.48
A11	35.20	5.70	3.90	2.48
A12	36.00	4.88	3.63	2.45
A13	33.00	4.63	4.15	2.85
A14	37.40	5.75	3.93	3.00
A15	34.50	5.15	3.95	2.50

ตารางภาคผนวก ก-5 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 10.57 เซนติเมตร				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	20.90	9.50	4.23	3.83
R2	28.70	12.15	4.40	3.35
R3	23.90	12.20	5.30	3.35
R4	28.40	12.88	4.63	3.95
R5	31.00	12.30	5.60	4.65
R6	30.50	10.43	5.08	4.05
R7	32.20	12.63	5.23	3.88
R8	23.00	11.08	4.68	3.95
R9	20.10	11.45	4.43	3.15
R10	23.90	10.88	4.85	3.68
R11	33.40	12.28	4.93	3.53
R12	31.10	13.00	5.43	3.98
R13	28.70	13.13	5.03	4.03
R14	29.80	11.50	4.85	3.65
R15	27.10	12.10	4.03	3.95
A1	31.00	4.85	3.53	3.48
A2	27.80	4.40	3.45	2.23
A3	32.00	5.25	3.63	2.53
A4	32.10	5.25	3.98	2.75
A5	32.60	4.95	4.13	2.45
A6	32.50	4.70	3.98	2.78
A7	33.50	5.20	4.13	2.68
A8	34.40	5.38	4.35	2.55
A9	32.10	5.35	3.83	2.53
A10	32.10	4.15	3.18	2.60
A11	33.60	5.03	3.70	2.45
A12	35.50	5.05	3.88	2.18
A13	32.60	4.13	3.08	2.18
A14	32.60	4.15	3.00	2.00
A15	30.70	5.05	4.08	2.90

ตารางภาคผนวก ก-5 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 7.73 เซนติเมตร				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	29.40	10.93	5.03	2.75
R2	31.30	9.93	4.30	3.10
R3	32.10	11.98	4.90	3.90
R4	29.90	10.40	5.13	3.70
R5	25.90	9.95	5.25	3.90
R6	27.30	11.70	4.00	2.33
R7	30.60	12.78	4.70	3.35
R8	28.00	11.83	5.05	4.13
R9	32.50	12.85	5.28	3.58
R10	28.50	10.68	5.00	4.13
R11	27.20	10.75	4.63	3.88
R12	31.40	14.00	4.85	3.80
R13	29.70	11.53	5.25	3.50
R14	32.80	12.05	5.55	4.33
R15	27.90	12.88	5.65	4.58
A1	38.60	4.90	3.58	3.00
A2	39.10	5.20	4.08	2.55
A3	37.00	5.05	3.43	2.60
A4	35.50	5.48	4.03	2.43
A5	32.40	4.80	4.18	2.98
A6	35.20	5.28	4.20	2.53
A7	36.20	4.58	3.58	2.28
A8	34.80	4.60	3.63	2.25
A9	30.40	5.10	4.40	2.78
A10	38.00	4.98	3.53	2.78
A11	37.60	5.70	4.18	2.35
A12	36.50	5.20	3.80	2.10
A13	39.30	5.20	3.20	2.40
A14	33.70	5.28	4.23	2.60
A15	32.50	5.10	4.00	2.73

ตารางภาคผนวก ก-5 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.80	9.60	4.38	3.38
R2	25.00	10.55	4.83	3.85
R3	22.10	12.05	4.55	3.73
R4	27.80	11.38	4.78	3.43
R5	25.00	10.80	4.93	3.13
R6	23.60	11.28	4.58	3.35
R7	24.40	10.83	5.30	3.28
R8	23.70	10.68	4.45	2.48
R9	27.70	10.08	4.45	3.58
R10	31.20	10.78	4.85	3.58
R11	25.40	10.30	4.80	4.10
R12	23.70	12.05	4.28	3.80
R13	27.20	12.40	5.13	3.33
R14	26.30	12.75	4.23	3.93
R15	27.30	13.28	5.20	4.05
A1	34.40	4.25	3.23	2.63
A2	28.50	4.98	3.88	2.98
A3	30.60	5.45	4.08	3.18
A4	30.20	4.90	3.88	3.33
A5	31.00	5.80	4.15	2.95
A6	33.00	4.43	3.45	3.03
A7	28.00	4.23	3.25	2.28
A8	34.10	5.05	4.30	2.18
A9	30.10	4.75	3.98	2.45
A10	31.60	4.90	3.88	2.20
A11	28.70	5.13	3.98	2.68
A12	28.90	5.48	4.38	3.63
A13	32.70	5.60	4.13	2.85
A14	28.60	4.80	3.63	2.33
A15	27.90	4.45	3.33	2.83

ตารางภาคผนวก ก-6 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากคลื่น วันที่ 15 ธันวาคม 2559

กรณีความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.00	4	13.33	4.75	3.63
R2	26.20	6	11.73	3.78	3.25
R3	27.10	0	12.33	5.15	2.10
R4	26.20	0	10.18	3.73	2.00
R5	30.20	0	11.45	5.05	2.25
R6	30.20	5	13.65	5.48	3.98
R7	30.30	5	11.75	5.00	3.70
R8	23.00	1	9.43	3.50	1.78
R9	30.70	2	12.23	4.25	1.73
R10	25.60	0	11.48	4.40	2.60
R11	23.10	3	9.43	4.48	3.50
R12	29.10	0	9.70	3.55	1.80
R13	31.30	4	10.55	4.50	3.55
R14	26.70	2	10.73	4.08	3.25
R15	29.70	6	11.25	5.20	3.38
A1	32.00	8	4.70	3.63	2.53
A2	35.00	12	4.35	3.38	2.63
A3	33.30	11	4.65	3.28	2.15
A4	34.00	7	5.95	4.65	2.98
A5	32.70	6	4.90	3.90	2.58
A6	35.40	9	4.53	3.63	2.20
A7	38.00	17	5.98	4.10	2.80
A8	34.10	8	5.10	4.00	2.73
A9	33.20	7	4.85	3.35	2.13
A10	35.10	10	4.90	3.78	2.55
A11	35.00	11	5.80	4.10	2.90
A12	35.70	13	4.95	3.63	2.65
A13	32.80	16	5.40	4.13	2.95
A14	37.20	18	5.68	4.00	2.88
A15	34.30	10	4.58	3.93	2.60

ตารางภาคผนวก ก-6 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 10.57 เซนติเมตร					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	20.80	0	9.40	4.15	3.80
R2	28.70	4	12.63	4.50	3.30
R3	23.50	0	12.23	4.13	2.63
R4	28.30	0	12.88	4.03	3.20
R5	30.70	6	12.25	5.60	4.70
R6	30.50	4	10.50	5.10	4.28
R7	32.10	6	13.20	5.33	4.45
R8	23.20	7	11.03	4.70	3.88
R9	30.00	0	11.40	4.40	2.55
R10	23.80	2	11.08	4.78	3.70
R11	33.50	5	12.05	4.93	3.55
R12	31.00	6	13.40	5.40	4.15
R13	28.50	4	13.00	4.95	4.25
R14	27.90	7	11.60	4.85	3.58
R15	27.10	6	13.10	4.45	4.15
A1	31.20	7	4.90	3.70	2.60
A2	20.80	7	4.35	3.35	2.10
A3	32.20	9	5.15	3.85	2.58
A4	32.00	9	5.40	4.13	2.98
A5	32.90	7	4.90	4.10	2.75
A6	32.10	9	4.60	4.30	2.75
A7	32.90	8	5.25	4.13	2.85
A8	34.30	14	5.28	4.53	3.05
A9	32.30	8	5.40	3.90	2.48
A10	32.00	8	4.15	3.18	2.85
A11	33.40	15	5.05	3.75	2.38
A12	36.00	8	5.10	4.05	2.23
A13	32.30	10	4.13	3.00	2.15
A14	32.70	5	4.23	3.13	2.20
A15	30.20	6	5.00	4.28	3.03

ตารางภาคผนวก ก-6 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 7.73 เซนติเมตร					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	29.80	1	10.93	4.75	2.08
R2	31.80	0	10.03	3.78	2.05
R3	32.90	4	11.98	4.93	3.95
R4	29.80	6	10.40	5.13	3.68
R5	25.70	4	10.03	5.45	3.88
R6	26.90	0	11.53	4.05	2.35
R7	30.60	0	12.80	4.73	3.20
R8	28.00	4	12.00	5.08	4.15
R9	32.70	5	12.85	5.20	3.60
R10	28.50	4	11.00	4.95	4.20
R11	27.40	5	10.80	4.58	3.93
R12	31.40	6	14.30	5.00	3.83
R13	30.30	4	11.55	5.45	3.55
R14	33.00	4	12.30	5.73	4.25
R15	28.00	4	12.98	5.63	4.70
A1	38.60	10	5.00	3.75	3.25
A2	38.50	13	5.35	4.33	2.80
A3	36.80	11	5.18	3.43	2.70
A4	35.20	13	5.55	4.33	2.33
A5	32.50	10	4.95	4.18	3.05
A6	35.30	13	5.40	4.25	2.65
A7	36.30	9	4.73	3.63	2.43
A8	34.20	9	4.75	3.70	2.43
A9	30.40	13	5.18	4.55	3.00
A10	37.50	9	5.10	3.45	2.93
A11	37.80	22	5.90	4.20	2.48
A12	36.70	12	5.15	3.85	2.10
A13	39.60	13	5.23	3.30	2.40
A14	34.00	12	5.58	3.50	2.40
A15	32.50	13	5.13	4.28	2.80

ตารางภาคผนวก ก-6 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น)					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.00	4	9.73	4.35	3.58
R2	25.10	4	10.55	5.20	3.60
R3	22.50	6	12.03	4.68	3.85
R4	27.50	6	11.50	4.78	3.58
R5	24.70	3	10.88	5.05	3.23
R6	23.50	3	11.48	4.63	3.23
R7	24.20	4	11.00	5.33	3.35
R8	24.00	0	10.95	4.50	2.23
R9	27.60	5	10.18	4.23	3.60
R10	31.10	6	10.70	4.90	3.50
R11	25.50	4	10.30	4.75	4.13
R12	23.90	4	11.85	4.43	3.55
R13	27.10	4	12.40	5.05	3.28
R14	26.50	4	12.85	4.45	4.13
R15	27.60	6	13.10	5.10	3.90
A1	34.60	8	4.25	3.30	2.55
A2	28.50	12	5.03	3.95	3.15
A3	31.00	11	5.50	3.93	3.10
A4	30.70	8	5.00	3.78	3.20
A5	30.50	12	5.93	4.30	2.85
A6	33.10	15	4.50	3.48	3.00
A7	28.10	9	4.43	3.10	2.63
A8	34.10	9	5.13	4.48	2.20
A9	30.10	7	4.68	4.03	2.35
A10	31.00	9	5.23	4.05	2.25
A11	28.60	7	5.18	4.08	3.38
A12	28.60	7	5.45	4.18	3.65
A13	32.50	12	5.83	4.13	2.93
A14	28.50	8	4.60	3.65	2.35
A15	27.50	8	4.43	3.30	2.43

ตารางภาคผนวก ก-7 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากกระแสน้ำ วันที่ 21 มีนาคมคม 2560

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.37 เมตรต่อวินาที					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.30	6	12.20	5.05	4.50
R2	27.10	4	12.60	5.20	3.80
R3	28.00	5	12.00	4.70	3.25
R4	28.00	4	13.10	5.30	4.55
R5	29.00	4	11.25	4.75	2.75
R6	29.50	5	10.85	4.35	2.20
R7	29.80	4	12.70	5.45	4.00
R8	30.20	5	13.25	5.40	3.70
R9	30.60	4	12.25	5.35	3.70
R10	31.00	5	14.00	4.70	3.25
R11	31.10	4	13.40	6.05	3.90
R12	31.50	4	14.25	5.15	4.10
R13	32.00	4	11.25	5.00	3.50
R14	33.00	5	12.40	4.80	3.35
R15	33.50	4	12.85	4.95	4.00
A1	25.60	15	4.85	4.05	2.80
A2	27.90	11	4.85	4.00	2.55
A3	28.50	20	6.10	3.65	3.00
A4	28.70	4	4.83	3.00	2.30
A5	29.00	16	5.15	3.40	3.00
A6	29.60	6	4.60	3.70	3.00
A7	30.40	9	5.15	3.75	2.85
A8	31.00	8	4.35	3.35	3.00
A9	31.50	10	5.25	4.05	3.30
A10	31.80	10	5.00	4.00	2.25
A11	32.50	13	4.50	4.05	2.30
A12	33.00	14	5.20	4.55	2.40
A13	33.50	13	5.80	3.45	2.40
A14	34.30	10	5.30	4.00	2.90
A15	35.90	13	5.20	3.80	2.15

ตารางภาคผนวก ก-7 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.23 เมตรต่อวินาที					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.00	5	12.00	5.00	2.75
R2	26.80	5	13.00	4.75	4.00
R3	27.80	5	10.50	5.00	3.50
R4	28.00	4	11.40	4.90	3.20
R5	29.00	6	13.70	5.55	3.90
R6	29.50	5	12.85	5.10	3.65
R7	29.80	6	10.80	4.45	3.28
R8	30.10	6	12.05	4.90	3.55
R9	30.20	4	12.30	5.00	3.10
R10	30.60	4	12.40	5.15	3.40
R11	31.00	8	12.45	5.15	3.35
R12	31.40	6	14.20	5.00	3.35
R13	31.60	3	11.80	4.30	2.75
R14	32.40	4	11.00	5.00	3.55
R15	33.00	4	12.95	4.85	4.00
A1	24.10	8	4.55	4.65	2.65
A2	27.80	11	5.45	3.15	2.75
A3	28.30	9	7.40	4.00	3.00
A4	28.60	11	5.30	4.20	2.95
A5	29.00	12	5.20	4.05	3.20
A6	29.40	9	4.55	3.85	2.10
A7	30.20	7	5.30	3.70	2.60
A8	30.40	9	6.30	3.75	2.40
A9	31.10	8	4.70	3.50	2.00
A10	31.50	8	5.00	3.60	2.45
A11	32.00	10	5.25	4.05	2.00
A12	32.70	8	5.00	3.65	2.95
A13	33.40	5	5.00	4.00	2.00
A14	34.00	8	4.40	3.25	2.65
A15	34.50	12	5.40	3.55	2.50

ตารางภาคผนวก ก-7 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.11 เมตรต่อวินาที					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.50	4	13.55	5.10	3.85
R2	26.70	6	11.75	5.00	3.80
R3	27.60	5	13.20	5.30	4.60
R4	28.00	4	10.15	4.50	2.65
R5	29.00	5	12.00	5.00	3.45
R6	29.10	4	13.00	5.40	4.15
R7	29.70	4	10.40	4.30	3.30
R8	30.00	6	10.55	5.20	3.30
R9	30.30	4	14.05	5.00	3.15
R10	31.00	4	13.00	5.30	3.75
R11	31.00	4	11.90	4.70	3.80
R12	31.50	4	12.15	5.00	3.30
R13	32.00	5	12.00	5.50	3.45
R14	32.50	5	16.20	5.80	3.70
R15	33.00	5	14.05	5.30	3.30
A1	22.70	8	4.30	3.55	2.40
A2	26.80	21	5.20	4.05	2.20
A3	28.10	6	4.85	4.00	2.20
A4	28.60	7	5.00	3.35	2.25
A5	28.00	7	5.10	4.10	2.50
A6	29.40	9	4.80	3.45	3.05
A7	30.00	21	6.85	5.00	3.80
A8	30.50	9	5.05	4.15	3.00
A9	31.10	6	5.00	3.40	2.55
A10	31.60	14	5.15	4.35	2.40
A11	32.20	9	3.85	3.35	2.10
A12	32.80	15	6.00	4.90	2.15
A13	33.40	19	4.40	3.80	2.65
A14	34.00	8	4.25	3.50	2.40
A15	34.80	9	4.55	3.25	3.00

ตารางภาคผนวก ก-7 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ)					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	23.00	6	12.80	5.30	3.25
R2	26.50	2	13.35	5.35	5.00
R3	27.50	5	10.70	4.35	3.00
R4	28.00	6	10.40	4.30	3.05
R5	29.00	6	13.40	5.00	3.90
R6	29.10	6	11.45	4.65	3.30
R7	29.70	4	10.70	4.48	3.40
R8	30.00	2	12.70	4.95	3.40
R9	30.50	5	11.70	4.55	3.45
R10	31.00	6	13.40	4.40	3.05
R11	31.00	5	12.05	4.55	3.20
R12	31.50	6	12.85	5.05	3.05
R13	32.00	10	13.95	8.80	3.65
R14	33.00	5	12.75	5.00	2.90
R15	33.20	5	11.10	4.90	3.10
A1	22.50	9	5.30	4.00	3.40
A2	26.60	6	4.30	3.10	2.20
A3	28.10	5	4.10	3.35	3.05
A4	28.50	14	5.70	4.40	3.10
A5	28.70	12	5.00	3.15	2.15
A6	29.10	8	5.45	4.65	2.90
A7	30.00	15	5.10	4.20	2.00
A8	31.00	14	5.00	4.10	3.00
A9	31.30	8	5.00	3.45	2.55
A10	31.60	11	4.30	3.25	2.40
A11	32.50	5	4.55	4.00	2.10
A12	33.00	6	4.65	3.60	2.15
A13	33.50	11	6.00	4.25	2.65
A14	34.00	7	4.10	3.40	2.40
A15	35.20	13	5.20	4.00	3.00

ตารางภาคผนวก ก-8 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากกระแสน้ำ วันที่ 26 มีนาคมคม 2560

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.37 เมตรต่อวินาที				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.40	12.20	5.05	4.50
R2	27.10	12.60	5.20	3.80
R3	28.00	12.00	4.70	3.25
R4	28.10	13.10	5.30	4.55
R5	28.50	11.15	4.75	2.75
R6	29.40	10.85	4.35	2.20
R7	30.00	12.70	5.45	4.00
R8	30.20	13.25	5.40	3.70
R9	30.60	12.25	5.35	3.70
R10	30.70	14.00	4.70	3.25
R11	31.00	13.40	6.05	3.90
R12	31.30	14.25	5.15	4.10
R13	31.90	11.25	5.00	3.50
R14	32.60	12.40	4.80	3.35
R15	33.20	12.85	4.95	4.00
A1	25.60	4.85	4.05	2.80
A2	27.60	4.60	4.00	2.20
A3	28.20	6.10	3.65	3.00
A4	28.90	4.83	3.00	2.00
A5	29.40	5.00	3.40	3.00
A6	30.10	4.60	3.70	3.00
A7	30.40	5.15	3.75	2.55
A8	31.50	4.35	3.35	3.00
A9	31.50	5.25	4.05	3.30
A10	33.70	5.00	4.00	2.25
A11	32.50	4.50	4.05	2.30
A12	32.60	5.20	4.55	2.40
A13	33.50	5.80	3.45	2.40
A14	33.70	5.30	4.00	2.90
A15	36.40	5.00	3.80	2.15

ตารางภาคผนวก ก-8 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.23 เมตรต่อวินาที				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.40	12.00	5.00	2.75
R2	26.40	13.00	4.75	4.00
R3	27.70	10.50	5.00	3.50
R4	27.90	11.40	4.90	3.20
R5	28.30	13.40	5.20	3.90
R6	29.90	12.85	5.10	3.65
R7	29.10	10.80	4.45	3.28
R8	29.70	12.05	4.90	3.55
R9	30.10	12.30	5.00	3.10
R10	30.40	12.40	5.15	3.10
R11	30.60	12.45	5.15	3.35
R12	31.50	14.20	5.00	3.35
R13	32.10	11.80	4.30	2.75
R14	32.20	11.00	5.00	3.55
R15	32.50	11.95	4.85	4.00
A1	23.70	4.55	4.65	2.65
A2	28.10	5.45	3.15	2.50
A3	28.20	7.40	4.00	3.00
A4	28.30	5.30	4.20	2.80
A5	28.60	5.20	4.05	3.20
A6	29.20	4.55	3.85	2.10
A7	29.50	5.30	3.70	2.60
A8	29.70	6.30	3.75	2.10
A9	31.90	4.70	3.50	2.00
A10	31.50	5.00	3.60	2.45
A11	31.50	5.25	4.05	2.00
A12	32.70	5.00	3.65	2.95
A13	34.30	5.00	4.00	2.00
A14	33.10	4.40	3.25	2.65
A15	34.40	5.40	3.55	2.50

ตารางภาคผนวก ก-8 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.11 เมตรต่อวินาที				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.30	13.75	5.10	3.85
R2	26.40	11.75	5.00	3.80
R3	26.20	13.20	5.30	4.60
R4	27.50	10.15	4.50	2.65
R5	28.50	12.00	5.00	3.45
R6	29.40	13.00	5.40	4.15
R7	29.30	10.40	4.30	3.30
R8	30.00	10.55	5.20	3.30
R9	30.40	14.05	5.00	3.15
R10	31.50	13.00	5.30	3.75
R11	30.30	11.90	4.70	3.70
R12	31.10	12.15	4.65	3.30
R13	31.70	12.00	5.50	3.45
R14	32.10	15.50	5.80	3.70
R15	32.40	14.05	5.30	3.50
A1	22.10	4.10	3.00	2.00
A2	26.20	5.10	4.05	1.95
A3	28.30	4.85	3.50	2.20
A4	27.50	4.50	3.35	2.25
A5	28.00	5.10	4.00	2.50
A6	29.50	4.80	3.45	2.70
A7	29.40	6.85	5.00	3.70
A8	29.20	5.05	4.15	3.00
A9	31.40	5.00	3.40	2.55
A10	31.30	5.15	4.35	2.40
A11	31.40	3.85	3.00	2.10
A12	32.60	5.90	4.90	2.15
A13	33.60	4.85	3.80	2.65
A14	33.50	4.25	3.50	2.40
A15	34.90	4.55	3.25	3.00

ตารางภาคผนวก ก-8 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	23.10	12.80	5.30	3.00
R2	26.20	13.35	5.35	5.00
R3	27.50	10.70	4.35	3.00
R4	28.30	10.40	4.30	3.05
R5	28.70	13.40	5.00	3.90
R6	29.10	11.45	4.65	3.30
R7	28.20	10.20	4.48	3.20
R8	29.50	12.70	4.95	3.55
R9	30.20	11.70	4.55	3.15
R10	31.00	13.40	4.40	3.05
R11	30.50	12.05	4.55	3.20
R12	31.80	12.85	5.05	3.05
R13	31.40	13.95	8.80	3.65
R14	32.50	12.75	5.00	2.90
R15	32.90	11.10	4.90	3.10
A1	21.80	5.30	4.00	3.40
A2	26.20	4.30	3.10	2.20
A3	27.80	4.10	3.35	3.05
A4	28.90	5.70	4.40	2.85
A5	28.40	5.00	3.15	2.00
A6	28.50	5.45	4.65	2.90
A7	30.00	5.10	4.20	2.00
A8	32.00	5.00	4.10	3.00
A9	31.10	5.00	3.45	2.55
A10	31.90	4.30	3.25	2.30
A11	32.30	4.55	4.00	2.50
A12	33.60	4.65	3.60	2.30
A13	33.50	6.00	4.25	2.15
A14	32.80	4.10	3.40	2.90
A15	34.90	5.20	4.00	3.00

ตารางภาคผนวก ก-9 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากกระแสน้ำ วันที่ 1 เมษายน 2560

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.37 เมตรต่อวินาที				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.70	12.30	5.10	4.60
R2	27.20	12.10	5.20	3.85
R3	28.00	12.05	4.70	3.30
R4	28.10	13.10	5.30	4.60
R5	28.60	11.20	4.85	2.90
R6	29.30	10.85	4.35	2.50
R7	30.00	12.70	5.45	3.95
R8	30.50	13.30	5.40	3.70
R9	30.60	12.25	5.30	3.70
R10	30.90	13.00	4.70	3.35
R11	31.10	13.40	6.05	3.85
R12	31.40	14.05	5.15	4.10
R13	32.00	11.25	5.00	3.30
R14	32.60	12.35	4.80	3.60
R15	33.20	12.85	5.10	4.05
A1	25.70	4.85	4.05	2.80
A2	28.20	4.40	3.80	2.30
A3	28.20	6.15	3.75	3.05
A4	28.90	4.83	3.00	2.05
A5	29.50	5.00	3.40	2.90
A6	30.00	4.60	3.70	3.00
A7	30.60	5.15	3.85	2.55
A8	31.50	4.35	3.35	3.00
A9	31.50	5.25	4.05	3.10
A10	33.60	4.70	3.80	2.45
A11	32.50	4.50	3.85	2.20
A12	32.70	5.20	4.20	2.40
A13	33.50	5.60	3.45	2.10
A14	33.70	5.35	4.10	3.00
A15	36.40	5.00	3.75	2.10

ตารางภาคผนวก ก-9 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.23 เมตรต่อวินาที				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.70	11.80	5.00	2.70
R2	26.70	13.00	4.80	3.85
R3	27.60	10.45	5.00	3.40
R4	28.10	11.40	4.95	3.25
R5	28.60	13.30	5.25	3.60
R6	29.80	12.80	5.10	3.75
R7	29.40	10.80	4.55	3.33
R8	29.90	12.05	4.90	3.65
R9	30.20	12.30	5.00	3.10
R10	30.30	12.45	5.25	3.10
R11	30.90	12.45	5.15	3.35
R12	31.60	13.90	5.00	3.70
R13	32.00	11.60	4.40	2.60
R14	32.20	11.00	5.05	3.50
R15	32.60	12.15	4.70	3.90
A1	23.40	4.30	4.00	2.65
A2	28.00	5.45	3.00	2.35
A3	28.10	6.40	4.10	2.90
A4	28.50	5.10	4.00	2.55
A5	28.60	5.25	3.95	3.10
A6	29.20	4.35	3.30	2.05
A7	29.50	5.30	3.45	2.50
A8	29.90	6.10	3.55	2.05
A9	32.40	4.70	3.35	2.05
A10	31.60	4.90	3.60	2.60
A11	31.60	5.30	4.05	2.00
A12	32.50	5.00	3.65	2.95
A13	34.20	4.60	4.00	2.00
A14	33.50	4.30	3.25	2.65
A15	34.40	5.40	3.55	2.50

ตารางภาคผนวก ก-9 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.11 เมตรต่อวินาที				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.00	13.80	5.15	4.00
R2	27.10	11.75	4.45	2.75
R3	26.10	13.30	5.30	4.60
R4	27.80	10.30	4.50	2.85
R5	28.20	12.00	5.00	3.35
R6	29.40	13.05	5.50	3.95
R7	29.30	10.60	4.35	3.30
R8	30.60	10.35	5.00	3.35
R9	29.70	14.05	5.00	3.25
R10	31.20	12.60	5.25	3.80
R11	30.70	11.90	4.55	3.65
R12	30.90	12.10	4.65	3.25
R13	31.50	12.00	5.70	3.55
R14	32.00	15.00	5.80	3.75
R15	32.10	14.05	5.45	3.55
A1	21.80	4.20	3.00	2.20
A2	26.80	5.05	4.00	1.95
A3	28.50	4.65	3.60	2.05
A4	28.20	4.45	3.20	2.25
A5	28.00	5.00	3.85	2.60
A6	29.20	4.80	3.55	2.65
A7	29.10	6.60	4.75	3.35
A8	30.00	5.05	4.20	3.05
A9	31.10	4.90	3.20	2.40
A10	31.20	5.15	4.25	2.40
A11	31.70	3.85	3.10	2.00
A12	33.10	5.50	4.65	2.15
A13	33.50	4.85	3.80	2.50
A14	33.70	4.00	3.30	2.50
A15	34.10	4.60	3.25	2.80

ตารางภาคผนวก ก-9 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
	23.00	12.80	5.30	3.00
R2	26.00	13.35	5.35	5.15
R3	27.50	11.00	4.45	3.00
R4	28.10	10.40	4.35	3.15
R5	29.00	13.35	5.00	3.70
R6	29.20	11.45	4.65	3.30
R7	28.20	10.20	4.50	3.25
R8	29.60	12.70	4.85	3.55
R9	30.00	11.70	4.55	3.20
R10	31.00	13.40	4.40	3.05
R11	30.70	12.05	4.55	3.25
R12	31.50	12.55	5.05	3.20
R13	31.20	13.95	8.80	3.40
R14	32.50	12.55	4.80	2.90
R15	33.20	10.60	4.80	3.25
A1	22.00	5.30	3.80	3.30
A2	26.20	4.30	2.90	2.15
A3	28.10	4.10	3.35	3.05
A4	28.80	5.70	4.30	2.75
A5	28.30	4.70	2.95	1.80
A6	29.00	5.45	4.55	2.85
A7	29.80	5.10	4.20	2.15
A8	32.20	5.00	4.00	2.85
A9	31.10	5.00	3.45	2.35
A10	31.60	4.30	3.15	2.20
A11	32.40	4.55	3.70	2.50
A12	33.50	4.65	3.60	2.25
A13	33.20	5.85	4.15	2.05
A14	33.30	4.10	3.40	2.80
A15	35.00	5.20	4.00	3.00

ตารางภาคผนวก ก-10 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากกระแสน้ำวันที่ 7 เมษายน 2560

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.37 เมตรต่อวินาที				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.70	12.58	5.05	4.55
R2	27.00	12.10	5.20	3.90
R3	27.80	11.78	4.65	2.05
R4	27.90	13.15	5.30	4.50
R5	28.50	11.10	4.15	1.70
R6	28.70	10.45	3.95	1.75
R7	29.90	13.15	5.45	3.80
R8	30.70	13.50	5.60	4.05
R9	30.60	12.25	5.45	3.70
R10	31.00	13.50	4.75	3.55
R11	31.20	13.63	6.28	3.98
R12	31.30	14.20	5.15	4.20
R13	32.00	11.45	5.10	3.60
R14	32.70	12.55	5.18	3.78
R15	33.10	13.10	5.25	4.20
A1	25.40	4.90	3.98	2.75
A2	28.40	4.40	3.65	2.50
A3	28.20	6.93	3.88	3.13
A4	28.80	4.85	3.25	2.20
A5	29.50	5.10	3.40	2.90
A6	30.20	4.70	3.85	3.10
A7	30.60	5.15	4.05	2.63
A8	31.30	4.58	3.43	3.05
A9	31.10	5.30	4.10	3.25
A10	33.60	4.80	3.85	2.55
A11	32.30	4.90	4.00	2.40
A12	32.60	5.25	4.35	2.65
A13	33.30	5.65	3.55	2.20
A14	34.10	5.63	4.15	2.98
A15	36.20	5.20	3.65	2.15

ตารางภาคผนวก ก-10 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.23 เมตรต่อวินาที				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.80	11.85	4.95	2.80
R2	26.40	13.75	4.85	4.20
R3	27.70	10.50	5.05	3.40
R4	28.30	11.50	4.95	3.35
R5	28.40	13.85	5.30	4.38
R6	29.70	13.18	5.25	3.95
R7	29.40	10.95	4.50	3.35
R8	29.70	12.00	4.95	3.75
R9	30.00	12.45	5.20	3.15
R10	30.30	12.40	5.25	3.30
R11	31.00	12.90	5.85	3.90
R12	31.60	14.10	5.20	3.75
R13	ตาย	10.65	3.40	0.85
R14	32.30	11.10	4.90	3.60
R15	32.60	12.70	4.80	4.35
A1	23.60	4.35	4.10	2.68
A2	28.00	5.20	3.30	2.60
A3	28.60	6.30	3.95	2.85
A4	28.30	4.90	4.10	2.80
A5	28.50	5.50	4.10	3.35
A6	29.10	4.35	3.58	2.10
A7	29.60	5.30	3.85	2.60
A8	29.80	6.08	3.65	2.40
A9	31.90	4.70	3.40	2.25
A10	31.20	5.10	3.80	2.60
A11	31.50	5.74	4.20	2.30
A12	32.60	4.90	3.70	2.95
A13	34.20	4.50	3.80	2.15
A14	33.50	4.65	3.30	2.40
A15	34.20	5.45	3.55	2.55

ตารางภาคผนวก ก-10 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.11 เมตรต่อวินาที				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.30	14.15	5.00	3.85
R2	27.10	12.15	4.65	3.00
R3	26.20	13.50	5.50	4.75
R4	27.80	10.60	4.55	3.18
R5	28.30	12.25	5.00	3.70
R6	29.50	13.15	5.65	4.20
R7	29.50	10.65	4.48	3.40
R8	30.30	10.55	4.85	3.40
R9	30.20	14.05	5.10	3.70
R10	31.20	12.25	5.63	4.00
R11	30.70	11.95	4.65	3.80
R12	31.20	12.10	5.25	3.75
R13	31.70	12.60	5.98	3.93
R14	32.30	14.95	6.00	3.75
R15	32.50	14.05	5.60	3.65
A1	22.50	4.33	3.65	2.55
A2	27.00	5.05	3.95	2.00
A3	28.50	4.95	3.70	2.25
A4	28.20	4.40	3.30	2.43
A5	28.20	5.05	3.85	2.65
A6	29.50	5.00	3.75	2.70
A7	29.20	6.40	4.70	3.40
A8	30.10	5.05	4.15	2.90
A9	31.40	5.05	3.40	2.45
A10	31.40	5.45	4.25	2.45
A11	31.90	4.15	3.45	2.10
A12	33.00	5.90	5.20	2.48
A13	33.50	4.90	3.90	2.65
A14	34.00	4.20	3.40	2.55
A15	34.50	5.08	3.55	3.00

ตารางภาคผนวก ก-10 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	22.70	12.75	5.30	3.25
R2	26.40	13.45	5.40	5.35
R3	27.60	11.00	4.65	3.60
R4	28.30	10.50	4.40	3.25
R5	29.10	13.40	5.05	3.80
R6	29.30	11.60	4.60	3.35
R7	28.10	10.28	4.65	3.40
R8	29.60	12.85	4.88	3.75
R9	30.30	11.50	4.65	3.30
R10	30.80	13.70	4.55	3.25
R11	30.70	12.20	4.90	3.40
R12	31.60	12.35	5.05	3.30
R13	31.70	14.10	8.85	3.45
R14	32.60	12.90	5.00	3.00
R15	33.10	11.30	5.05	3.45
A1	22.00	5.40	3.75	3.35
A2	26.30	4.40	2.95	2.25
A3	28.00	4.15	3.45	3.10
A4	28.50	5.93	4.40	2.75
A5	28.30	4.70	3.05	1.95
A6	29.00	5.70	4.55	2.90
A7	30.00	5.00	3.65	2.40
A8	32.20	5.25	4.05	2.95
A9	31.20	4.85	3.55	2.35
A10	32.00	4.55	3.50	2.30
A11	32.70	4.60	3.60	2.63
A12	33.50	4.65	3.60	2.25
A13	33.10	6.10	4.30	2.15
A14	33.30	4.50	3.70	2.95
A15	35.10	5.35	4.05	3.15

ตารางภาคผนวก ก-11 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากกระแสน้ำวันที่ 13 เมษายน 2560

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.37 เมตรต่อวินาที				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.70	12.60	5.15	4.50
R2	27.00	12.25	5.15	4.05
R3	27.70	10.10	3.80	1.75
R4	28.00	13.35	5.55	4.60
R5	28.00	10.08	3.50	1.50
R6	28.60	10.40	3.30	1.10
R7	29.90	13.53	5.40	4.13
R8	30.70	13.70	5.75	4.05
R9	30.60	12.38	5.45	3.95
R10	31.00	13.70	5.00	3.50
R11	31.30	13.70	7.15	4.10
R12	31.30	14.50	5.23	4.35
R13	32.00	11.63	5.15	3.90
R14	32.80	12.60	5.18	3.80
R15	33.10	13.00	5.25	4.23
A1	25.10	4.90	3.93	2.95
A2	28.30	4.40	3.70	2.60
A3	28.20	6.70	3.90	3.40
A4	28.70	5.00	3.25	2.25
A5	29.30	5.00	3.58	3.05
A6	30.10	4.70	4.00	3.18
A7	30.60	5.00	4.00	2.60
A8	31.30	4.58	3.45	3.08
A9	31.10	5.30	4.10	3.25
A10	33.50	4.90	4.15	2.95
A11	32.20	4.55	4.25	2.60
A12	32.70	5.50	4.30	2.90
A13	32.90	5.65	2.73	2.20
A14	34.00	5.73	4.28	3.13
A15	36.20	5.45	3.88	2.20

ตารางภาคผนวก ก-11 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.23 เมตรต่อวินาที				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.80	11.80	4.73	2.75
R2	26.60	13.40	4.95	4.40
R3	27.80	10.50	5.10	3.45
R4	28.30	11.40	5.08	3.48
R5	28.40	13.58	5.18	3.95
R6	29.90	13.00	5.18	3.90
R7	29.50	10.85	4.50	3.40
R8	29.70	11.95	5.10	3.70
R9	30.10	12.50	5.25	3.20
R10	29.90	11.70	4.75	1.35
R11	31.10	12.70	5.45	3.88
R12	31.50	14.10	5.25	3.85
R13	31.20	9.55	3.40	0.85
R14	32.20	11.10	4.90	3.70
R15	32.60	12.75	4.85	4.10
A1	23.50	4.30	4.13	2.75
A2	28.00	5.00	3.25	2.55
A3	28.40	6.00	3.90	2.85
A4	28.40	5.10	4.15	2.65
A5	28.50	5.10	3.90	3.38
A6	29.10	4.25	3.50	2.15
A7	29.70	5.10	3.55	2.55
A8	29.80	5.85	3.65	2.30
A9	31.80	4.73	3.40	2.35
A10	31.30	4.90	3.80	2.70
A11	31.50	5.95	4.30	2.25
A12	32.70	4.90	3.75	3.00
A13	34.20	4.50	3.95	2.20
A14	33.60	4.60	3.40	2.60
A15	34.10	5.25	3.50	2.78

ตารางภาคผนวก ก-11 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.11 เมตรต่อวินาที				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.30	14.00	5.13	3.70
R2	27.40	12.25	4.63	3.00
R3	26.40	13.45	5.53	4.73
R4	28.00	10.38	4.48	3.08
R5	28.70	12.25	4.85	3.60
R6	29.60	13.30	5.68	4.08
R7	29.70	10.70	4.50	3.38
R8	30.50	10.58	4.83	3.35
R9	30.30	14.05	5.05	3.60
R10	31.20	12.45	5.45	3.95
R11	30.70	11.90	4.60	3.78
R12	30.90	10.90	4.15	1.45
R13	31.70	12.50	5.90	3.98
R14	32.30	14.95	6.58	3.83
R15	32.60	14.05	5.50	3.75
A1	22.50	4.35	3.38	2.40
A2	27.10	5.05	3.75	2.00
A3	28.50	4.83	3.83	2.35
A4	28.40	4.30	3.20	2.33
A5	28.50	5.05	3.70	2.70
A6	29.50	4.90	3.75	2.75
A7	29.30	6.55	4.70	3.45
A8	30.00	5.20	4.20	3.00
A9	31.50	4.90	3.40	2.35
A10	31.80	4.85	4.25	2.45
A11	32.00	4.25	3.40	2.10
A12	33.30	5.90	4.90	2.38
A13	33.40	4.90	3.60	2.60
A14	34.20	4.08	3.25	2.45
A15	34.50	4.95	3.55	3.00

ตารางภาคผนวก ก-11 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	22.70	12.65	5.60	3.40
R2	26.40	13.35	5.70	5.80
R3	27.70	11.40	5.00	3.90
R4	28.40	10.70	4.70	3.38
R5	29.10	13.55	5.20	4.10
R6	29.20	11.65	4.90	3.45
R7	28.20	10.45	4.65	3.40
R8	29.70	13.00	5.18	3.73
R9	30.30	12.05	4.95	3.55
R10	31.00	13.90	4.80	3.30
R11	30.90	12.20	4.90	3.55
R12	31.70	12.00	5.25	3.50
R13	31.70	14.15	8.98	3.50
R14	32.80	12.85	5.08	3.13
R15	33.10	10.70	4.90	3.43
A1	22.00	5.70	4.05	3.60
A2	26.50	4.55	3.25	2.50
A3	28.10	4.35	3.35	3.20
A4	28.70	5.78	4.50	2.95
A5	28.30	4.70	3.10	2.05
A6	29.00	5.75	4.65	3.08
A7	30.00	5.10	3.95	2.40
A8	32.30	5.40	4.08	2.90
A9	31.30	4.90	3.65	2.60
A10	32.10	4.80	3.50	2.60
A11	32.80	4.55	3.68	2.70
A12	33.50	4.95	3.60	2.65
A13	33.10	5.93	4.53	2.25
A14	33.50	4.35	3.70	3.10
A15	35.10	5.65	4.30	3.45

ตารางภาคผนวก ก-12 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากกระแสน้ำวันที่ 19 เมษายน 2560

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.37 เมตรต่อวินาที					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.70	6	12.73	5.20	4.40
R2	27.00	6	12.20	5.25	4.00
R3	27.70	0	10.05	3.70	1.70
R4	28.00	6	13.30	5.55	4.60
R5	28.00	0	9.85	3.30	1.50
R6	28.60	0	10.20	3.15	1.10
R7	29.90	4	13.18	5.95	4.60
R8	30.70	5	13.50	5.75	4.10
R9	30.60	6	12.23	5.75	3.70
R10	31.00	7	13.75	4.95	3.40
R11	31.30	6	13.55	6.55	4.03
R12	31.30	4	14.45	5.20	4.25
R13	32.00	6	11.50	5.10	3.70
R14	32.80	7	12.55	5.03	3.68
R15	33.10	6	12.90	5.15	4.15
A1	25.10	10	4.75	3.83	2.80
A2	28.30	8	4.35	3.70	2.48
A3	28.20	20	6.78	3.80	3.20
A4	28.70	4	4.98	3.18	2.20
A5	29.30	17	4.85	3.50	2.85
A6	30.10	5	4.85	3.90	3.38
A7	30.60	9	5.13	3.95	2.95
A8	31.30	8	4.60	3.40	2.98
A9	31.10	9	5.25	4.15	3.25
A10	33.50	6	4.73	4.33	2.75
A11	32.20	13	4.80	4.20	2.48
A12	32.70	14	5.30	4.18	2.70
A13	32.90	0	5.45	2.70	1.25
A14	34.00	9	5.55	4.05	3.00
A15	36.20	10	5.38	3.70	2.10

ตารางภาคผนวก ก-12 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.23 เมตรต่อวินาที					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.80	5	11.80	4.90	2.75
R2	26.60	7	13.53	5.00	4.10
R3	27.80	5	10.58	5.15	3.50
R4	28.30	4	11.55	5.15	3.50
R5	28.40	8	13.65	5.25	3.80
R6	29.90	5	13.00	5.30	3.95
R7	29.50	6	10.98	4.50	3.40
R8	29.70	6	12.00	5.15	3.70
R9	30.10	4	12.50	5.25	3.20
R10	29.90	0	11.70	4.65	1.35
R11	31.10	8	12.78	5.45	3.75
R12	31.50	6	14.10	5.25	3.88
R13	31.20	0	9.55	3.30	0.85
R14	32.20	4	11.10	4.90	3.40
R15	32.60	6	12.85	4.90	4.05
A1	23.50	5	4.40	4.20	2.93
A2	28.00	11	4.95	3.30	2.55
A3	28.40	9	6.00	3.95	2.90
A4	28.40	11	5.20	4.15	2.85
A5	28.50	14	5.30	4.10	3.40
A6	29.10	8	4.40	3.60	2.15
A7	29.70	7	5.10	3.55	2.55
A8	29.80	9	5.90	3.80	2.20
A9	31.80	7	4.78	3.40	2.30
A10	31.30	8	4.93	3.85	2.60
A11	31.50	12	5.90	4.25	2.25
A12	32.70	8	4.95	3.68	2.95
A13	34.20	4	4.55	3.95	2.20
A14	33.60	10	4.50	3.35	2.55
A15	34.10	13	5.45	3.55	2.80

ตารางภาคผนวก ก-12 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.11 เมตรต่อวินาที					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	25.30	0	13.60	5.00	2.25
R2	27.40	5	12.33	4.68	3.13
R3	26.40	5	13.80	5.50	4.90
R4	28.00	4	10.48	4.58	3.20
R5	28.70	5	12.25	4.90	3.63
R6	29.60	4	13.45	5.78	4.13
R7	29.70	4	10.80	4.55	3.40
R8	30.50	6	10.70	4.95	3.43
R9	30.30	6	14.05	5.10	3.70
R10	31.20	4	12.55	5.50	4.00
R11	30.70	6	11.95	4.68	3.78
R12	30.90	0	10.75	3.95	1.70
R13	31.70	6	12.70	5.98	4.05
R14	32.30	7	15.10	6.40	3.85
R15	32.60	7	14.15	5.60	3.85
A1	22.50	8	4.45	3.63	2.58
A2	27.10	19	5.10	3.80	2.05
A3	28.50	6	5.03	3.88	2.50
A4	28.40	7	4.50	3.30	2.40
A5	28.50	6	4.95	3.78	2.75
A6	29.50	9	5.00	3.90	2.85
A7	29.30	19	6.63	4.95	3.60
A8	30.00	8	5.20	4.20	3.05
A9	31.50	6	4.90	3.43	2.40
A10	31.80	13	5.30	4.28	2.50
A11	32.00	8	4.38	3.38	2.15
A12	33.30	12	5.95	4.93	3.93
A13	33.40	18	5.00	3.65	2.65
A14	34.20	8	4.13	3.30	2.65
A15	34.50	9	5.10	3.55	3.05

ตารางภาคผนวก ก-12 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ)					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	22.70	5	12.65	5.60	3.40
R2	26.40	2	13.35	5.63	5.80
R3	27.70	4	11.35	4.95	3.90
R4	28.40	8	10.50	4.65	3.20
R5	29.10	8	13.50	5.10	4.00
R6	29.20	8	11.70	4.90	3.25
R7	28.20	6	10.55	4.65	3.30
R8	29.70	4	12.90	5.15	3.60
R9	30.30	5	11.83	4.95	3.45
R10	31.00	8	13.90	4.80	3.25
R11	30.90	7	12.20	4.93	3.33
R12	31.70	8	12.00	5.20	3.40
R13	31.70	14	14.10	8.85	3.45
R14	32.80	7	12.90	4.98	2.95
R15	33.10	7	10.70	4.90	3.20
A1	22.00	9	5.70	4.08	3.60
A2	26.50	6	4.45	2.95	2.45
A3	28.10	4	4.30	3.35	3.13
A4	28.70	14	5.50	4.45	2.83
A5	28.30	12	4.60	3.05	2.05
A6	29.00	8	5.55	4.50	2.88
A7	30.00	16	4.98	4.00	2.30
A8	32.30	16	5.30	4.08	2.90
A9	31.30	8	4.90	3.75	2.55
A10	32.10	10	4.80	3.50	2.53
A11	32.80	4	4.45	3.55	2.60
A12	33.50	6	4.90	3.70	2.45
A13	33.10	11	5.85	4.40	2.20
A14	33.50	11	4.35	3.68	2.95
A15	35.10	10	5.65	4.30	3.40

ตารางภาคผนวก ก-13 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้น วันที่ 2 เมษายน 2560

กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร)					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.00	6	13.20	5.00	3.78
R2	32.20	6	13.83	5.28	4.03
R3	31.30	5	10.83	5.08	3.68
R4	32.80	6	10.35	4.78	3.58
R5	33.30	5	13.00	4.90	4.10
R6	34.00	4	10.50	4.70	3.58
R7	33.90	6	12.90	5.28	4.18
R8	34.80	6	12.50	4.53	3.68
R9	34.90	6	13.63	5.03	4.20
R10	35.40	8	13.33	5.25	4.45
A1	33.00	10	5.50	3.25	1.78
A2	33.60	9	4.78	3.38	1.95
A3	32.90	19	6.95	4.53	2.18
A4	33.90	7	5.15	3.85	2.30
A5	33.40	11	5.53	3.75	1.83
A6	34.40	12	5.40	3.10	1.80
A7	34.70	18	4.98	3.33	2.35
A8	35.50	15	5.73	3.85	2.05
A9	36.50	12	6.08	4.20	2.10
A10	36.80	12	5.65	3.60	1.98

ตารางภาคผนวก ก-13 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร)					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.20	5	13.60	5.25	4.00
R2	32.80	6	13.48	5.45	4.25
R3	33.00	4	12.08	4.73	4.15
R4	33.10	5	14.28	5.50	4.10
R5	33.40	5	12.15	4.83	3.38
R6	33.50	4	11.95	5.35	3.83
R7	34.20	5	13.10	4.95	3.83
R8	34.50	6	13.73	5.53	4.00
R9	34.60	6	14.63	5.30	4.23
R10	35.50	6	12.83	4.98	3.85
A1	32.80	5	5.23	3.55	2.28
A2	33.40	13	6.63	4.25	2.10
A3	33.50	9	7.08	3.98	2.55
A4	33.80	14	6.13	4.13	2.25
A5	35.00	5	5.95	3.45	2.28
A6	34.50	8	5.38	3.95	2.03
A7	34.50	7	5.45	3.73	2.35
A8	35.40	10	5.65	3.60	1.70
A9	38.10	11	5.35	3.63	2.20
A10	39.50	9	5.50	3.90	1.85

ตารางภาคผนวก ก-13 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร)					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.70	4.00	12.65	4.58	3.23
R2	32.90	4	13.05	4.85	3.30
R3	32.60	6	11.63	5.13	3.93
R4	33.20	5	13.88	5.10	4.08
R5	34.00	5	12.23	4.55	3.15
R6	33.90	4	13.03	4.78	3.95
R7	34.40	4	11.85	4.88	3.75
R8	34.00	6	12.33	4.80	3.58
R9	34.90	7	12.28	4.88	3.55
R10	36.40	6	12.80	5.15	4.08
A1	32.20	12	5.73	4.30	2.93
A2	32.50	12	5.25	3.30	2.25
A3	32.60	12	5.10	4.03	1.48
A4	33.40	6	5.15	3.78	2.30
A5	34.10	13	6.20	4.10	2.13
A6	34.50	7	4.13	3.10	1.53
A7	31.10	16	5.93	4.18	2.80
A8	36.60	8	5.43	3.80	1.90
A9	37.40	5	4.98	3.73	2.00
A10	40.00	14	5.28	3.90	1.85

ตารางภาคผนวก ก-14 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้น วันที่ 7 เมษายน 2560

กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.00	13.20	5.00	3.90
R2	32.00	13.83	5.35	4.20
R3	31.50	10.83	4.85	3.75
R4	32.70	10.53	4.85	3.78
R5	33.30	13.23	4.98	4.20
R6	33.90	10.63	4.68	3.58
R7	34.00	12.90	5.28	4.03
R8	34.60	12.50	4.38	3.55
R9	35.00	13.55	4.90	4.38
R10	35.40	13.28	5.23	4.45
A1	33.10	5.25	3.13	1.80
A2	33.70	4.78	3.23	1.88
A3	33.10	6.73	4.33	2.15
A4	34.10	5.10	3.78	2.30
A5	33.40	5.38	3.50	1.88
A6	34.40	5.43	3.03	1.75
A7	34.60	4.60	3.20	2.35
A8	35.40	5.60	3.83	1.90
A9	36.50	6.00	3.93	2.00
A10	36.90	5.55	3.65	2.00

ตารางภาคผนวก ก-14 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.30	13.50	5.20	4.10
R2	32.90	12.43	5.45	4.23
R3	33.10	11.98	4.60	4.08
R4	33.10	14.33	5.35	4.00
R5	33.50	12.15	4.65	3.30
R6	33.50	11.95	5.33	3.73
R7	34.10	13.15	5.00	3.93
R8	34.70	13.78	5.58	3.80
R9	34.60	14.45	5.30	4.13
R10	35.50	13.00	4.90	3.73
A1	32.80	5.33	3.55	2.20
A2	33.60	6.75	4.10	2.10
A3	33.60	6.95	3.93	2.45
A4	33.90	6.30	4.03	2.28
A5	35.00	5.60	3.33	2.30
A6	34.60	5.35	3.73	1.95
A7	34.30	5.55	3.58	2.38
A8	35.20	5.58	3.85	1.75
A9	38.20	5.38	3.50	2.28
A10	39.70	5.63	3.90	1.85

ตารางภาคผนวก ก-14 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.70	12.73	4.48	3.25
R2	32.90	13.13	4.85	3.40
R3	32.70	11.38	5.13	3.98
R4	33.10	14.03	5.23	4.05
R5	34.00	12.15	4.60	3.25
R6	34.00	13.10	4.98	3.95
R7	34.50	11.78	4.90	3.83
R8	34.00	12.33	4.80	3.63
R9	35.00	12.18	4.88	3.58
R10	36.40	12.73	5.10	3.98
A1	32.20	5.73	3.98	2.93
A2	32.60	5.05	3.45	2.28
A3	32.60	5.15	4.18	1.55
A4	33.40	5.18	3.78	2.30
A5	34.30	6.25	4.35	2.43
A6	34.60	4.25	3.08	1.58
A7	31.10	6.00	4.15	2.78
A8	36.70	5.43	3.80	1.90
A9	37.40	4.98	3.73	2.00
A10	39.80	5.28	3.90	1.85

ตารางภาคผนวก ก-15 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้น วันที่ 13 เมษายน 2560

กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	31.90	13.05	4.80	3.60
R2	32.20	13.65	5.18	3.95
R3	31.30	10.73	4.75	3.50
R4	33.00	10.20	4.65	3.58
R5	33.50	13.10	4.85	4.08
R6	34.00	10.50	4.63	3.43
R7	34.00	12.85	5.20	3.95
R8	34.60	12.30	4.38	3.48
R9	34.90	13.55	4.88	4.28
R10	35.40	13.30	5.25	4.45
A1	33.00	5.33	3.13	1.85
A2	33.60	4.63	3.23	1.78
A3	33.00	6.75	4.40	2.13
A4	34.10	5.10	3.73	2.28
A5	33.50	5.38	3.55	1.88
A6	34.50	5.20	3.05	1.78
A7	34.60	4.83	3.35	2.38
A8	35.20	5.65	3.78	2.03
A9	36.60	5.98	3.93	2.08
A10	37.00	5.55	3.65	1.95

ตารางภาคผนวก ก-15 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.20	13.65	5.35	4.15
R2	32.80	12.35	5.55	4.23
R3	33.00	11.98	4.63	4.03
R4	33.00	14.33	5.40	4.10
R5	33.60	12.18	4.80	3.53
R6	33.50	12.08	5.43	3.78
R7	34.30	13.10	5.10	3.90
R8	34.80	14.00	5.50	3.85
R9	34.50	14.45	5.25	4.10
R10	35.60	12.90	4.93	3.83
A1	32.50	5.38	3.58	2.30
A2	33.70	6.80	4.03	2.05
A3	33.70	6.78	3.83	2.60
A4	34.00	6.08	4.15	2.28
A5	35.20	5.60	3.58	2.45
A6	34.70	5.30	3.63	1.98
A7	34.30	5.55	3.43	2.40
A8	35.20	5.48	3.80	1.75
A9	38.20	5.33	3.53	2.15
A10	39.70	5.63	3.90	1.88

ตารางภาคผนวก ก-15 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.70	12.73	4.55	3.35
R2	33.00	13.08	4.85	3.43
R3	32.80	5.30	5.18	4.03
R4	33.10	13.78	5.15	4.13
R5	34.00	12.15	4.63	3.30
R6	34.00	12.85	4.88	4.00
R7	34.60	11.70	4.90	3.88
R8	34.00	12.25	4.85	3.80
R9	35.10	12.10	4.80	3.70
R10	36.50	12.55	4.90	4.00
A1	32.20	5.68	4.05	2.90
A2	32.70	5.00	3.38	2.23
A3	32.60	4.98	4.08	1.63
A4	33.50	5.15	3.75	2.25
A5	34.30	6.05	4.05	2.13
A6	34.60	4.35	3.15	1.58
A7	31.20	5.80	4.10	2.73
A8	36.70	5.43	3.80	1.90
A9	37.40	4.98	3.73	2.00
A10	39.90	5.28	3.90	1.85

ตารางภาคผนวก ก-16 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้น วันที่ 19 เมษายน 2560

กรณีระดับน้ำท่วมทั้งค้น (70 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	31.90	13.00	4.75	3.35
R2	32.30	13.73	5.13	3.95
R3	31.20	10.60	4.90	3.48
R4	33.00	10.20	4.70	3.45
R5	33.60	13.05	4.85	4.13
R6	34.10	10.38	4.48	3.50
R7	34.00	12.78	5.15	3.88
R8	34.50	12.50	4.40	3.38
R9	34.90	13.65	4.88	4.13
R10	35.50	13.13	5.08	4.20
A1	33.10	5.30	3.15	1.83
A2	33.60	4.60	3.10	1.75
A3	33.10	6.65	4.23	2.13
A4	34.10	5.05	3.75	2.23
A5	33.60	5.20	3.38	1.75
A6	34.50	5.38	2.98	1.63
A7	34.70	4.50	2.98	2.25
A8	35.20	5.63	3.75	2.00
A9	36.60	5.88	3.88	1.98
A10	37.00	5.48	3.68	1.93

ตารางภาคผนวก ก-16 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.20	13.40	5.35	4.08
R2	32.90	12.48	5.40	4.25
R3	33.10	12.00	4.55	4.08
R4	33.00	14.25	5.50	4.10
R5	33.60	11.83	4.73	3.40
R6	33.60	12.08	5.15	3.60
R7	34.30	12.55	5.00	3.95
R8	34.90	13.90	5.33	4.40
R9	34.60	14.43	5.10	4.20
R10	35.70	12.78	4.75	3.60
A1	32.60	5.10	3.60	2.35
A2	33.70	6.93	4.13	2.08
A3	33.80	6.78	3.78	2.60
A4	34.10	6.00	4.15	2.38
A5	35.30	5.53	3.53	2.35
A6	34.80	5.15	3.55	1.88
A7	34.30	5.45	3.45	2.40
A8	35.30	5.15	3.95	1.73
A9	38.20	5.15	3.45	2.00
A10	39.80	5.40	3.98	2.00

ตารางภาคผนวก ก-16 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.70	12.73	4.55	3.20
R2	33.10	12.95	4.85	3.45
R3	32.90	5.30	5.15	3.95
R4	33.20	13.95	5.15	4.25
R5	34.00	12.13	4.73	3.30
R6	34.00	13.05	4.88	3.90
R7	34.60	11.65	4.90	3.78
R8	34.10	12.33	4.80	3.80
R9	35.20	12.10	4.80	3.65
R10	36.50	12.78	5.03	4.00
A1	32.30	5.25	3.85	2.90
A2	32.70	4.63	3.35	2.18
A3	32.70	4.55	3.78	1.55
A4	33.60	4.95	3.85	2.40
A5	34.40	5.45	4.05	1.95
A6	34.70	3.73	2.85	1.68
A7	31.30	5.48	4.20	2.80
A8	36.80	5.43	3.80	1.90
A9	37.40	4.98	3.73	2.00
A10	39.90	5.28	3.90	1.85

ตารางภาคผนวก ก-17 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้น วันที่ 25 เมษายน 2560

กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	31.90	13.18	4.83	3.68
R2	32.40	13.73	5.20	4.13
R3	31.10	10.58	4.85	3.48
R4	33.10	10.20	4.65	3.55
R5	33.60	13.05	4.78	4.00
R6	34.10	10.55	4.65	3.65
R7	34.00	12.80	5.15	4.05
R8	34.60	12.25	4.43	3.48
R9	34.90	13.45	4.83	4.25
R10	35.50	13.15	5.15	4.35
A1	33.00	5.10	3.13	1.90
A2	33.50	4.45	3.10	1.85
A3	33.10	6.65	4.23	2.28
A4	34.20	5.03	3.70	2.25
A5	34.00	5.23	3.28	1.73
A6	34.60	5.13	3.00	1.65
A7	34.70	4.53	3.18	2.23
A8	35.10	5.50	3.85	1.95
A9	37.00	5.85	3.93	2.10
A10	37.00	5.43	3.65	1.95

ตารางภาคผนวก ก-17 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.20	13.43	5.23	4.08
R2	32.90	12.58	5.48	4.25
R3	33.00	11.90	4.50	4.08
R4	33.00	14.25	5.45	4.10
R5	33.60	11.90	4.75	3.45
R6	33.60	11.90	5.25	3.78
R7	34.30	12.90	5.00	3.95
R8	34.90	13.80	5.50	3.93
R9	34.60	14.45	5.25	4.25
R10	35.70	12.85	4.88	3.83
A1	32.60	5.23	3.70	2.50
A2	33.70	6.43	4.15	2.05
A3	33.80	6.80	4.05	2.73
A4	34.10	6.00	4.25	2.50
A5	35.30	5.40	3.65	2.58
A6	34.80	5.18	3.65	2.18
A7	34.40	5.58	3.78	2.65
A8	35.30	5.35	3.60	1.80
A9	38.20	5.48	3.55	2.13
A10	39.80	5.83	3.90	1.95

ตารางภาคผนวก ก-17 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.70	12.65	4.43	3.25
R2	33.10	13.03	4.88	3.50
R3	32.90	5.30	3.93	3.95
R4	33.20	13.75	5.15	4.10
R5	34.00	12.08	4.65	3.30
R6	34.00	13.03	4.90	3.98
R7	34.60	11.65	4.93	3.80
R8	34.10	12.40	4.90	3.78
R9	35.20	12.10	4.83	3.63
R10	36.50	12.78	5.05	4.00
A1	32.30	5.55	4.03	2.90
A2	32.70	5.18	3.55	2.28
A3	32.70	4.98	4.00	1.68
A4	33.60	5.33	3.93	2.45
A5	34.40	6.10	4.33	2.23
A6	34.70	4.18	3.05	1.78
A7	31.30	5.70	4.15	2.88
A8	36.80	5.43	3.80	1.90
A9	37.40	4.98	3.73	2.00
A10	39.90	5.28	3.90	1.85

ตารางภาคผนวก ก-18 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้น วันที่ 1 พฤษภาคม 2560

กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร)					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.00	5	13.00	4.65	3.48
R2	32.50	8	13.35	4.95	3.80
R3	31.20	6	10.50	4.60	3.35
R4	33.10	6	10.08	4.45	3.20
R5	33.60	7	12.83	4.55	4.05
R6	34.20	5	10.45	4.35	3.38
R7	34.00	8	12.38	4.95	3.90
R8	34.50	4	12.15	4.20	3.25
R9	35.00	6	13.45	4.65	4.05
R10	35.50	9	12.75	4.85	4.15
A1	33.00	12	4.40	2.95	1.63
A2	33.70	13	3.95	2.93	1.65
A3	33.10	26	5.80	3.88	2.03
A4	34.30	11	4.40	3.68	2.08
A5	34.10	13	4.90	3.25	1.70
A6	34.60	12	4.25	2.88	1.60
A7	34.80	22	4.30	3.00	2.05
A8	35.10	16	5.05	3.55	1.90
A9	36.60	13	5.05	3.55	1.93
A10	37.00	12	5.05	3.40	1.93

ตารางภาคผนวก ก-18 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร)					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.20	7	13.40	5.45	4.15
R2	33.00	8	12.80	5.55	4.35
R3	33.00	6	11.90	4.50	4.15
R4	33.10	6	14.25	5.43	4.23
R5	33.60	7	12.00	4.78	3.38
R6	33.70	6	11.85	5.25	3.75
R7	34.40	6	13.08	5.00	3.95
R8	34.90	6	14.18	5.60	3.85
R9	34.60	6	14.65	5.13	4.15
R10	35.70	7	12.95	4.88	3.78
A1	32.70	8	5.28	3.70	2.50
A2	33.70	6	6.63	4.18	2.13
A3	33.80	13	6.65	4.23	2.88
A4	34.10	17	5.70	4.33	2.50
A5	35.30	9	5.43	3.80	2.50
A6	34.80	11	5.18	3.68	2.15
A7	34.40	7	5.68	3.68	2.85
A8	35.30	12	5.18	3.83	2.00
A9	38.30	11	5.45	3.68	2.15
A10	39.90	11	5.70	4.15	2.13

ตารางภาคผนวก ก-18 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร)					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.80	6	12.55	4.55	3.28
R2	33.10	6	13.00	4.93	3.45
R3	33.00	6	11.63	5.15	4.00
R4	33.20	7	13.70	5.18	4.23
R5	34.00	9	11.93	4.85	3.38
R6	34.10	6	13.05	5.00	4.05
R7	34.60	5	11.63	4.93	3.73
R8	34.10	7	12.25	4.83	3.80
R9	35.20	6	12.10	4.85	3.63
R10	36.50	4	12.78	4.93	4.03
A1	32.30	13	5.58	4.10	3.00
A2	32.70	15	5.33	3.75	2.33
A3	32.70	17	4.93	4.20	1.80
A4	33.60	11	5.35	4.00	2.60
A5	34.40	15	6.33	4.38	2.30
A6	34.80	9	4.18	3.18	1.80
A7	31.40	16	5.70	4.18	2.83
A8	36.80	12	5.65	4.10	2.15
A9	37.50	8	5.05	3.85	2.25
A10	39.70	14	5.45	3.53	2.35

ตารางภาคผนวก ก-19 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้น วันที่ 11 พฤษภาคม 2560

กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.30	13.20	4.88	3.53
R2	32.50	13.78	5.23	3.85
R3	33.00	10.75	5.00	3.30
R4	33.10	10.10	4.65	3.38
R5	33.50	13.00	4.78	3.83
R6	33.60	10.50	4.45	3.33
R7	34.00	12.93	5.18	3.80
R8	34.50	12.35	4.50	3.40
R9	34.60	13.50	4.85	3.75
R10	35.40	13.15	5.10	4.10
A1	32.80	5.10	3.00	1.65
A2	33.30	4.80	3.55	1.90
A3	33.40	6.35	4.10	1.50
A4	34.00	4.83	3.98	2.10
A5	34.20	5.10	3.50	1.65
A6	34.60	5.15	3.00	1.60
A7	35.10	4.58	3.70	2.50
A8	35.50	5.70	3.90	2.05
A9	36.50	5.75	3.90	1.75
A10	36.80	4.80	3.23	1.95

ตารางภาคผนวก ก-19 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.40	13.60	5.05	3.60
R2	32.80	12.58	5.43	3.90
R3	33.00	11.85	4.50	3.75
R4	33.10	14.20	5.28	3.80
R5	33.50	12.08	4.70	3.15
R6	33.90	11.80	5.35	3.65
R7	34.30	12.95	4.80	3.65
R8	34.50	13.80	5.35	3.70
R9	34.70	14.55	5.23	4.13
R10	35.50	12.75	4.75	3.65
A1	32.80	5.55	3.35	2.00
A2	33.40	6.10	4.00	1.95
A3	33.50	6.55	3.70	2.48
A4	34.00	6.35	4.00	2.20
A5	35.00	5.80	3.70	2.15
A6	35.00	5.15	3.95	2.00
A7	34.50	5.65	3.45	2.20
A8	35.40	5.55	4.00	1.60
A9	37.70	4.95	3.43	1.93
A10	39.30	5.45	4.15	1.45

ตารางภาคผนวก ก-19 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.40	12.40	4.63	3.08
R2	32.80	13.05	4.75	3.05
R3	33.10	11.50	5.05	3.75
R4	33.30	13.93	5.10	3.85
R5	33.50	12.15	4.55	2.98
R6	33.90	12.90	4.78	3.80
R7	34.40	11.85	4.75	3.50
R8	34.60	12.25	4.63	3.25
R9	35.00	12.05	4.58	3.25
R10	36.20	13.08	4.95	3.83
A1	33.20	5.45	4.40	3.05
A2	33.40	5.25	2.90	2.00
A3	33.50	4.90	4.80	1.45
A4	34.20	5.30	4.15	2.15
A5	34.40	6.40	4.25	2.00
A6	35.00	4.05	3.35	1.55
A7	31.10	5.65	4.28	2.80
A8	36.90	5.35	3.48	1.68
A9	38.10	4.65	3.40	1.85
A10	40.40	4.80	3.10	2.30

ตารางภาคผนวก ก-20 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้น วันที่ 21 พฤษภาคม 2560

กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	**ความสูงต้น (เซนติเมตร)**	**เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)**		
		ส่วนล่างลำต้น	**กลางลำต้น**	**ส่วนบนลำต้น**
R1	32.40	13.98	5.00	4.05
R2	32.60	14.15	5.48	4.30
R3	31.30	10.85	5.00	3.70
R4	33.30	10.68	4.83	3.85
R5	33.50	13.00	4.93	4.08
R6	34.10	10.45	4.45	3.38
R7	34.20	12.70	5.08	3.98
R8	35.00	12.43	4.43	3.40
R9	34.80	13.45	4.70	4.28
R10	35.60	12.70	5.05	4.40
A1	33.00	5.40	3.20	2.00
A2	33.80	4.90	3.25	2.38
A3	33.30	6.85	4.48	2.75
A4	34.60	5.30	3.88	2.75
A5	33.50	4.98	3.45	1.75
A6	34.80	5.18	3.05	1.60
A7	35.00	4.88	2.65	2.10
A8	35.10	5.65	3.95	2.18
A9	36.90	5.53	3.68	2.33
A10	37.30	5.18	3.43	1.85

ตารางภาคผนวก ก-20 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.60	13.73	5.55	4.38
R2	33.00	13.03	5.68	4.63
R3	33.10	12.18	4.90	4.38
R4	33.10	14.48	5.80	4.40
R5	33.50	12.13	4.93	3.63
R6	34.00	11.78	5.25	3.73
R7	34.30	12.90	5.23	3.93
R8	35.10	13.60	5.63	3.85
R9	34.90	14.73	5.08	4.18
R10	35.80	13.03	4.80	4.18
A1	33.00	5.73	4.00	2.65
A2	33.60	6.70	4.43	2.35
A3	34.10	7.30	4.45	3.25
A4	34.20	5.98	4.50	2.65
A5	35.40	5.55	3.70	2.63
A6	34.80	4.98	3.55	2.40
A7	34.50	5.35	3.65	2.90
A8	35.50	5.00	4.00	2.33
A9	38.20	5.15	3.73	2.15
A10	40.20	5.58	4.10	2.23

ตารางภาคผนวก ก-20 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร)				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.90	12.85	4.65	3.48
R2	33.10	13.35	5.15	3.65
R3	33.20	11.73	5.05	4.33
R4	33.20	13.90	5.35	4.30
R5	34.00	12.13	4.83	3.53
R6	33.80	12.80	4.98	3.83
R7	34.60	11.75	4.93	3.88
R8	34.20	12.15	4.88	3.73
R9	35.40	12.15	4.85	3.73
R10	36.70	12.88	4.93	4.03
A1	32.40	5.88	4.25	3.08
A2	32.90	5.50	3.95	2.38
A3	32.30	5.43	4.33	1.98
A4	33.50	5.48	4.20	2.83
A5	34.50	7.18	4.55	2.53
A6	34.30	3.85	3.05	1.73
A7	31.20	5.40	4.08	2.65
A8	36.80	5.00	3.88	2.05
A9	37.90	4.90	3.60	2.25
A10	39.70	5.40	3.45	2.35

ตารางภาคผนวก ก-21 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้น วันที่ 31 พฤษภาคม 2560

กรณีระดับน้ำท่วมทั้งต้น (70 เซนติเมตร)					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.30	6	13.00	4.63	3.50
R2	32.70	8	13.53	5.20	3.68
R3	31.50	8	10.65	4.70	3.30
R4	33.10	8	10.05	4.50	3.33
R5	33.60	7	12.83	4.75	3.88
R6	34.20	7	10.25	4.58	3.23
R7	34.10	8	12.65	5.23	4.13
R8	34.60	6	12.15	4.23	3.25
R9	35.20	5	13.45	4.90	4.10
R10	35.60	8	12.98	5.05	4.18
A1	33.00	14	5.18	3.35	1.78
A2	33.80	15	4.15	3.10	2.23
A3	33.20	26	6.25	3.98	2.18
A4	34.40	12	5.05	4.08	2.58
A5	34.40	15	4.75	3.28	1.95
A6	34.80	14	5.15	3.05	1.75
A7	34.90	22	4.30	3.10	2.23
A8	35.20	18	4.80	3.63	2.23
A9	36.80	13	5.00	3.75	2.50
A10	37.20	14	4.85	3.30	1.78

ตารางภาคผนวก ก-21 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมกลางต้น (35 เซนติเมตร)					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.30	8	13.50	5.55	4.05
R2	33.00	8	13.05	5.38	4.35
R3	33.10	8	11.93	4.58	3.95
R4	33.20	7	14.25	5.68	4.10
R5	33.70	7	11.98	4.80	3.50
R6	33.80	5	11.30	5.20	3.70
R7	34.50	6	13.08	5.20	4.18
R8	35.10	8	13.48	5.40	3.90
R9	34.60	6	14.50	5.15	4.15
R10	35.70	7	12.70	4.78	3.68
A1	32.90	8	5.23	3.78	2.60
A2	33.60	6.4	6.30	4.15	2.28
A3	33.60	14	6.30	4.35	3.13
A4	34.20	17	5.53	4.20	2.63
A5	35.40	8	5.38	4.00	2.85
A6	35.00	12	5.05	3.63	2.60
A7	34.40	8	5.93	3.70	3.13
A8	35.40	13	4.80	4.08	2.50
A9	38.30	13	5.60	3.78	2.15
A10	40.10	11	5.53	4.23	2.40

ตารางภาคผนวก ก-21 (ต่อ)

กรณีระดับน้ำท่วมราก (15 เซนติเมตร)					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	32.80	7	12.83	4.43	3.23
R2	33.10	6	13.05	4.90	3.38
R3	33.10	4	11.45	5.10	3.98
R4	33.20	8	13.70	5.35	4.00
R5	34.00	9	12.10	4.60	3.25
R6	34.10	7	13.10	4.95	4.03
R7	34.70	5	11.70	5.00	3.70
R8	34.30	10	12.10	4.95	3.73
R9	35.20	8	12.28	4.85	3.75
R10	36.40	6	12.78	4.95	3.95
A1	32.40	14	5.08	4.10	3.20
A2	32.70	16	4.80	3.83	2.70
A3	32.70	17	4.70	4.23	2.05
A4	33.70	11	5.63	4.20	2.90
A5	34.60	15	6.70	4.40	2.65
A6	35.00	10	4.10	3.23	1.93
A7	31.40	16	5.45	4.23	2.65
A8	36.80	12	5.38	4.05	2.25
A9	37.90	8	4.23	3.80	2.60
A10	39.70	15	5.28	3.70	2.68

ตารางภาคผนวก ก-22 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากความเค็มของน้ำ วันที่ 2 เมษายน 2560

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 5 psu					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.00	4	14.28	5.05	4.33
R2	28.20	4	14.35	4.90	3.98
R3	28.80	6	12.20	4.53	3.75
R4	29.00	6	14.23	5.23	4.13
R5	30.10	5	10.95	4.25	2.90
R6	30.80	6	13.20	5.50	4.35
R7	30.80	4	13.90	5.73	4.40
R8	31.10	6	13.50	4.78	3.80
R9	31.20	6	11.60	5.10	4.05
R10	31.40	5	14.25	4.83	3.83
A1	24.20	11	5.30	4.03	3.05
A2	25.20	8	5.00	3.15	1.83
A3	27.60	9	4.78	3.05	2.85
A4	28.60	11	5.65	4.65	2.83
A5	30.20	12	4.38	2.70	1.93
A6	30.50	13	5.05	3.28	2.85
A7	30.90	5	4.80	3.10	2.00
A8	31.30	9	5.05	3.28	2.30
A9	32.20	9	5.63	3.98	2.00
A10	32.60	11	6.58	4.03	1.98

ตารางภาคผนวก ก-22 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 25 psu					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.50	5	13.28	4.78	3.35
R2	28.20	6	14.25	5.08	3.75
R3	29.00	8	12.98	4.93	4.15
R4	29.40	6	13.35	5.08	4.05
R5	30.10	4	13.13	4.63	3.95
R6	30.60	8	11.50	4.50	3.95
R7	31.20	4	12.13	4.93	3.68
R8	31.70	6	10.95	4.68	3.25
R9	31.90	7	14.55	5.43	4.45
R10	32.10	4	12.70	4.90	3.60
A1	25.00	12	5.20	3.10	2.20
A2	26.80	15	5.00	3.60	2.25
A3	27.90	6	4.78	3.20	2.10
A4	28.60	8	4.78	2.98	2.88
A5	29.30	9	5.78	3.58	2.90
A6	30.80	10	5.98	3.18	1.80
A7	31.60	7	5.20	4.00	1.95
A8	31.00	6	4.10	3.55	2.03
A9	31.10	13	5.85	4.70	2.93
A10	31.50	7	4.58	2.85	1.85

ตารางภาคผนวก ก-22 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 35 psu					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	27.20	6	13.95	5.18	3.48
R2	28.10	4	11.60	4.95	4.15
R3	28.80	7	13.55	5.05	3.78
R4	30.10	4	10.85	4.60	3.25
R5	30.30	6	11.95	4.33	3.35
R6	30.90	6	12.10	5.08	4.33
R7	30.90	6	13.55	4.90	4.30
R8	31.50	4	10.05	4.55	3.45
R9	32.20	3	12.13	5.05	3.68
R10	32.00	5	13.48	5.05	3.85
A1	25.70	19	6.00	3.68	2.70
A2	28.00	6	6.88	3.25	2.63
A3	27.90	14	5.30	3.33	2.05
A4	28.70	4	5.60	3.48	2.60
A5	28.80	7	4.73	2.98	1.95
A6	30.20	17	6.98	4.18	2.55
A7	31.60	6	5.25	3.88	2.08
A8	31.10	6	5.90	3.70	1.73
A9	31.20	6	5.45	3.35	2.33
A10	31.10	14	5.53	3.65	1.88

ตารางภาคผนวก ก-23 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากความเค็มของน้ำ วันที่ 7 เมษายน 2560

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 5 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.20	14.33	5.05	3.83
R2	28.20	14.43	4.80	4.03
R3	29.00	12.18	4.48	3.73
R4	29.20	14.05	5.18	4.03
R5	30.20	11.03	4.15	2.90
R6	31.00	13.08	5.45	4.33
R7	31.00	13.90	5.63	4.40
R8	31.30	13.55	4.78	3.90
R9	31.40	11.55	5.00	4.23
R10	31.40	14.28	4.73	3.85
A1	24.20	5.13	3.83	2.98
A2	25.50	4.78	3.00	1.80
A3	28.20	4.60	3.00	2.60
A4	28.90	5.45	4.45	2.75
A5	30.40	4.13	2.68	1.75
A6	30.70	4.98	3.23	2.85
A7	31.20	4.58	3.05	2.00
A8	31.50	5.00	3.13	2.20
A9	32.50	5.20	3.83	2.00
A10	32.10	6.40	4.00	1.85

ตารางภาคผนวก ก-23 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 25 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.60	13.10	4.80	3.28
R2	28.20	14.25	4.98	3.70
R3	29.00	13.05	4.88	4.15
R4	29.50	13.35	4.98	4.10
R5	30.30	13.00	4.65	4.05
R6	30.60	11.78	4.50	4.03
R7	31.20	11.90	4.73	3.68
R8	31.90	10.95	4.78	3.28
R9	32.00	14.83	5.45	4.45
R10	32.10	13.00	4.95	3.90
A1	25.20	5.38	3.00	2.15
A2	26.80	5.05	3.55	2.23
A3	27.90	4.80	3.20	2.13
A4	28.70	4.70	2.88	2.53
A5	29.30	5.65	3.58	2.68
A6	31.00	5.85	3.08	1.65
A7	31.80	5.25	3.98	1.70
A8	31.20	4.10	3.38	1.95
A9	31.10	5.75	4.50	2.95
A10	31.60	4.58	2.80	1.78

ตารางภาคผนวก ก-23 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 35 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	27.30	13.85	5.15	3.53
R2	28.40	11.83	5.05	4.15
R3	28.90	13.55	5.05	3.70
R4	30.10	10.58	4.45	3.25
R5	30.50	11.83	4.43	3.38
R6	30.80	12.10	5.08	4.38
R7	31.00	13.45	4.90	4.30
R8	31.50	9.98	4.45	3.45
R9	32.30	12.13	5.00	3.70
R10	32.00	13.48	4.98	3.83
A1	25.60	5.58	3.55	2.10
A2	28.20	5.75	3.20	2.60
A3	28.10	5.18	3.30	2.00
A4	28.90	5.35	3.28	2.55
A5	29.00	4.70	3.00	1.93
A6	30.60	6.78	3.98	2.40
A7	31.80	5.10	3.58	1.93
A8	31.30	5.63	3.45	1.65
A9	31.50	5.20	3.25	2.15
A10	31.10	5.10	3.38	1.75

ตารางภาคผนวก ก-24 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากความเค็มของน้ำ วันที่ 13 เมษายน 2560

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 5 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.20	14.28	4.98	3.73
R2	28.20	14.38	4.93	3.98
R3	28.50	12.15	4.43	3.70
R4	29.20	14.05	5.15	4.15
R5	30.30	10.95	4.18	2.78
R6	31.00	13.10	5.35	4.28
R7	31.10	13.83	5.58	4.25
R8	31.40	13.53	4.68	3.85
R9	31.40	11.35	4.90	3.98
R10	31.70	14.20	4.68	4.13
A1	24.20	5.05	3.78	2.95
A2	25.50	4.78	3.00	1.80
A3	28.30	4.45	2.93	2.55
A4	28.90	5.55	4.43	2.75
A5	30.40	4.20	2.48	1.80
A6	30.70	4.33	3.10	2.35
A7	31.30	4.35	2.73	1.70
A8	31.50	4.58	2.93	2.00
A9	32.50	5.00	3.50	1.78
A10	32.10	5.85	3.68	1.70

ตารางภาคผนวก ก-24 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 25 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.70	12.98	4.75	3.30
R2	28.30	14.08	4.98	3.60
R3	29.10	12.88	4.85	4.10
R4	29.50	12.98	4.85	3.93
R5	30.50	13.00	4.50	3.95
R6	30.60	11.50	4.35	3.80
R7	31.30	11.70	4.68	3.45
R8	31.90	10.55	4.65	3.23
R9	32.20	14.28	5.25	4.18
R10	32.10	12.35	4.83	3.58
A1	25.20	5.15	2.83	2.05
A2	26.80	4.98	3.25	2.20
A3	28.00	4.70	3.10	2.00
A4	28.80	4.68	2.93	2.53
A5	29.30	5.45	3.58	2.65
A6	31.10	5.65	3.90	2.33
A7	31.80	4.98	3.73	1.68
A8	31.20	3.90	3.38	1.90
A9	31.30	5.55	4.28	2.78
A10	31.60	4.23	2.63	1.63

ตารางภาคผนวก ก-24 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 35 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	27.20	13.65	5.00	3.33
R2	25.00	11.50	4.85	3.93
R3	28.90	13.23	4.93	3.63
R4	30.10	10.28	4.38	3.08
R5	30.40	11.40	4.30	3.25
R6	30.90	6.23	4.93	4.28
R7	31.00	13.10	4.80	4.28
R8	31.50	9.58	4.35	3.33
R9	32.20	11.83	4.83	3.45
R10	32.00	12.95	4.90	3.73
A1	25.50	5.38	3.43	2.05
A2	28.20	5.53	3.03	2.58
A3	28.00	4.95	3.25	1.95
A4	28.90	4.85	3.25	2.45
A5	29.00	4.10	2.73	1.73
A6	30.65	6.10	3.75	2.38
A7	31.90	4.50	3.45	1.93
A8	31.30	5.08	3.23	1.60
A9	31.60	4.43	3.08	2.20
A10	31.10	4.68	3.18	1.70

ตารางภาคผนวก ก-25 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากความเค็มของน้ำ วันที่ 19 เมษายน 2560

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 5 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.40	14.30	4.93	3.88
R2	28.20	14.38	4.93	4.65
R3	28.90	12.15	4.43	3.83
R4	29.20	14.15	5.25	4.30
R5	30.30	11.03	4.25	3.03
R6	31.00	13.15	5.48	4.35
R7	31.10	13.85	5.80	4.43
R8	31.50	13.58	4.90	4.08
R9	31.50	11.58	5.10	4.38
R10	31.80	14.23	4.68	3.95
A1	24.30	5.18	3.85	3.10
A2	25.60	4.90	3.05	1.93
A3	28.30	4.60	3.10	2.73
A4	29.00	5.63	4.50	2.90
A5	30.50	4.23	2.73	1.98
A6	30.70	4.95	3.30	2.88
A7	31.40	4.70	3.08	2.08
A8	31.50	4.85	3.28	2.25
A9	32.50	5.25	3.80	2.00
A10	32.10	6.05	3.85	1.95

ตารางภาคผนวก ก-25 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 25 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.70	12.98	4.65	3.30
R2	28.40	14.05	4.90	3.60
R3	29.30	12.88	4.80	4.05
R4	29.70	13.13	4.85	3.95
R5	30.50	12.90	4.53	3.93
R6	30.80	11.28	4.35	3.95
R7	31.30	11.85	4.73	3.55
R8	31.90	10.55	4.60	3.25
R9	32.20	14.48	5.30	4.43
R10	32.20	12.48	4.88	3.73
A1	25.20	5.18	3.00	2.13
A2	26.90	4.93	3.33	2.20
A3	28.00	4.85	3.10	2.08
A4	28.90	4.68	2.90	2.53
A5	29.30	5.60	3.58	2.68
A6	31.20	5.73	3.05	1.68
A7	31.80	5.08	3.68	1.73
A8	31.30	4.00	3.38	2.10
A9	31.50	5.58	4.60	2.90
A10	31.70	4.33	2.70	1.78

ตารางภาคผนวก ก-25 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 35 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	27.30	13.63	4.90	3.30
R2	28.40	11.53	4.85	3.85
R3	29.00	13.10	4.83	3.55
R4	30.20	10.40	4.30	3.20
R5	30.40	11.50	4.30	3.30
R6	30.80	11.80	4.93	4.35
R7	31.00	13.10	4.70	4.33
R8	31.60	9.78	4.38	3.40
R9	32.30	11.90	4.85	3.60
R10	32.10	13.03	4.98	3.73
A1	25.10	5.38	3.45	2.08
A2	28.10	5.50	3.03	2.53
A3	28.10	4.93	3.18	2.05
A4	29.00	5.20	3.25	2.50
A5	29.00	4.50	3.20	1.88
A6	30.50	6.33	3.78	2.35
A7	31.80	4.98	3.53	1.83
A8	31.40	5.45	3.30	1.60
A9	31.60	5.13	3.28	2.15
A10	31.00	5.15	3.48	1.75

ตารางภาคผนวก ก-26 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากความเค็มของน้ำ วันที่ 25 เมษายน 2560

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 5 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.40	14.30	4.83	3.80
R2	28.20	14.28	4.75	3.88
R3	29.00	12.03	4.35	3.68
R4	29.20	13.95	5.03	4.18
R5	30.30	11.00	4.03	4.15
R6	31.00	11.00	5.28	4.23
R7	31.10	13.73	5.55	4.30
R8	31.50	13.65	4.85	3.85
R9	31.50	11.40	5.05	4.10
R10	31.80	14.25	4.60	3.83
A1	24.30	4.93	3.63	2.85
A2	25.60	4.68	2.95	1.75
A3	28.30	4.33	3.00	2.48
A4	29.00	5.43	4.33	2.75
A5	30.50	4.03	2.63	1.80
A6	30.80	4.63	3.15	2.65
A7	31.50	4.50	2.93	1.85
A8	31.60	4.75	3.05	2.05
A9	32.50	5.18	3.73	1.93
A10	32.10	6.20	3.68	1.83

ตารางภาคผนวก ก-26 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 25 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.70	12.88	4.65	3.28
R2	28.50	14.13	5.10	3.58
R3	29.30	12.98	4.75	4.08
R4	29.70	13.23	4.85	3.90
R5	30.50	12.90	4.50	3.93
R6	30.80	11.43	4.40	3.95
R7	31.30	11.70	4.68	3.40
R8	31.90	10.55	4.65	3.25
R9	32.20	14.33	5.35	4.40
R10	32.20	12.48	4.75	3.70
A1	25.20	5.18	2.85	2.13
A2	26.80	4.90	3.25	2.05
A3	28.00	4.63	3.10	2.00
A4	28.90	4.40	2.70	2.43
A5	29.30	5.58	3.48	2.63
A6	31.20	5.75	2.70	1.68
A7	31.90	4.90	3.68	1.78
A8	31.30	3.83	3.28	2.10
A9	31.60	5.58	4.28	2.85
A10	31.80	4.33	2.60	1.75

ตารางภาคผนวก ก-26 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 35 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	27.30	13.58	4.98	3.38
R2	28.40	11.25	4.83	3.88
R3	28.90	13.03	4.93	3.58
R4	30.20	10.10	4.30	3.10
R5	30.50	11.18	4.25	3.28
R6	30.80	11.75	4.88	4.38
R7	31.00	13.03	4.70	4.18
R8	31.50	9.58	4.28	3.28
R9	32.40	11.68	4.78	3.53
R10	32.10	12.83	4.93	3.73
A1	25.10	5.40	3.50	2.08
A2	28.10	5.45	3.10	2.53
A3	28.10	4.83	3.18	2.03
A4	29.00	5.00	3.15	2.48
A5	29.00	4.50	2.88	1.85
A6	30.40	6.40	3.68	2.35
A7	31.70	4.80	3.33	1.88
A8	31.40	5.33	3.25	1.60
A9	31.60	5.00	3.18	2.08
A10	31.00	5.08	3.43	1.75

ตารางภาคผนวก ก-27 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากความเค็มของน้ำ วันที่ 1 พฤษภาคม 2560

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 5 psu					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.40	6	14.20	5.08	3.73
R2	28.20	6	14.23	4.70	4.00
R3	29.00	9	12.03	4.58	3.73
R4	29.30	7	13.63	5.23	4.20
R5	30.30	7	11.00	3.95	2.85
R6	31.00	8	11.00	5.35	4.23
R7	31.10	6	13.70	5.70	4.38
R8	31.60	7	13.05	4.90	3.83
R9	31.60	5	11.35	4.90	4.20
R10	31.90	6	14.30	4.50	3.90
A1	24.30	11	5.10	3.78	3.13
A2	25.70	9	4.70	3.00	2.05
A3	28.30	11	3.90	2.85	2.43
A4	29.00	13	4.75	4.15	2.75
A5	30.50	16	3.65	2.45	1.85
A6	30.80	12	4.70	3.28	2.85
A7	31.60	6	4.55	2.93	1.85
A8	31.60	12	4.15	3.00	2.00
A9	32.60	14	4.58	3.68	1.95
A10	32.20	14	5.80	3.80	1.88

ตารางภาคผนวก ก-27 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 25 psu					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.70	5	12.88	4.73	3.35
R2	28.60	5	13.90	4.70	3.45
R3	29.30	6	12.90	4.88	4.08
R4	29.60	6	13.08	4.85	3.98
R5	30.60	6	12.75	4.55	3.95
R6	30.80	5	11.25	4.40	3.95
R7	31.30	6	11.68	4.60	3.35
R8	32.00	5	10.63	4.55	3.13
R9	32.20	5	14.30	5.25	4.50
R10	32.20	5	12.50	4.78	3.68
A1	25.20	12	5.13	2.98	2.08
A2	26.80	15	3.90	2.85	2.45
A3	28.00	6	4.63	3.13	1.98
A4	29.00	8	4.40	2.70	2.43
A5	29.30	7	5.50	3.53	2.60
A6	31.30	10	5.93	3.03	1.70
A7	32.00	11	4.98	3.60	1.90
A8	31.40	8	3.65	3.20	2.00
A9	31.60	14	4.45	4.15	2.90
A10	31.80	9	4.23	2.68	1.70

ตารางภาคผนวก ก-27 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 35 psu					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	27.40	4	13.68	5.05	3.43
R2	28.40	3	11.48	4.93	3.95
R3	29.00	5	13.40	4.85	3.70
R4	30.20	4	10.50	4.33	3.13
R5	30.50	5	11.63	4.23	3.35
R6	30.90	6	11.68	4.93	4.25
R7	31.00	5	13.18	4.73	4.25
R8	31.60	4	8.18	4.35	3.38
R9	32.30	4	11.90	4.90	3.63
R10	32.10	4	13.43	4.93	3.78
A1	25.20	16	5.35	3.38	2.30
A2	28.10	7	5.45	3.10	2.50
A3	28.30	14	4.98	3.25	2.03
A4	29.00	6	5.13	3.15	2.45
A5	29.00	7	4.45	2.95	1.88
A6	30.50	18	5.95	3.55	2.30
A7	31.80	8	4.48	3.45	1.95
A8	31.40	6	5.50	3.25	1.53
A9	31.80	6	4.60	3.18	2.05
A10	31.00	10	4.80	3.08	1.80

ตารางภาคผนวก ก-28 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากความเค็มของน้ำ วันที่ 11 พฤษภาคม 2560

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 5 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.20	14.25	4.95	3.45
R2	28.20	14.45	4.83	3.75
R3	28.80	12.15	4.43	3.38
R4	29.20	14.23	5.03	3.93
R5	30.60	11.10	4.05	2.65
R6	30.80	13.10	5.35	4.10
R7	31.10	13.55	5.53	4.08
R8	31.40	13.65	4.73	3.60
R9	31.60	11.60	5.05	3.78
R10	32.80	14.15	4.75	3.68
A1	24.60	5.03	3.65	2.90
A2	26.00	5.00	3.05	1.60
A3	28.10	4.65	2.85	3.25
A4	29.00	5.55	4.65	3.00
A5	30.00	4.20	2.50	1.93
A6	30.70	4.65	3.33	2.58
A7	31.40	4.90	3.25	1.78
A8	32.00	4.95	2.50	2.20
A9	32.30	6.55	4.25	2.00
A10	32.20	6.60	3.80	1.80

ตารางภาคผนวก ก-28 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 25 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.60	13.00	4.70	3.10
R2	28.40	14.13	4.98	3.78
R3	29.20	13.50	4.90	4.10
R4	29.50	13.30	4.90	3.70
R5	30.60	13.25	4.48	3.75
R6	30.90	11.90	4.30	3.90
R7	31.30	12.14	4.63	3.60
R8	31.50	11.05	4.73	3.25
R9	32.00	14.85	5.43	4.33
R10	32.10	12.75	4.95	3.60
A1	25.00	5.00	3.10	2.30
A2	26.80	4.85	3.55	2.15
A3	28.20	4.65	3.20	1.95
A4	29.20	4.50	3.05	2.50
A5	29.80	6.00	3.80	2.65
A6	30.90	5.70	2.85	1.65
A7	31.90	5.10	3.75	1.65
A8	32.00	4.10	3.80	1.80
A9	31.40	5.85	5.15	3.35
A10	31.80	4.65	2.80	1.60

ตารางภาคผนวก ก-28 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 35 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	27.40	14.00	5.10	3.38
R2	28.40	11.90	5.05	4.15
R3	29.00	13.65	5.15	3.80
R4	30.30	11.05	4.65	3.33
R5	30.50	12.30	4.50	3.20
R6	31.10	12.05	5.05	4.15
R7	31.10	13.75	4.90	4.35
R8	31.50	10.05	4.63	3.40
R9	32.30	12.25	5.13	3.55
R10	32.30	13.48	5.05	3.85
A1	25.40	6.15	4.05	2.60
A2	28.20	5.60	3.03	2.43
A3	28.20	5.20	3.10	1.95
A4	29.50	5.60	3.48	2.60
A5	30.10	4.55	3.15	2.00
A6	31.30	6.65	3.85	2.30
A7	32.00	5.40	3.90	2.00
A8	32.50	5.65	3.40	1.70
A9	32.40	5.05	3.45	2.05
A10	31.00	5.85	3.85	1.75

ตารางภาคผนวก ก-29 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากความเค็มของน้ำ วันที่ 21 พฤษภาคม 2560

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 5 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.40	14.10	4.75	3.90
R2	28.20	14.35	4.73	4.15
R3	29.10	12.05	4.30	3.60
R4	29.30	13.88	5.15	4.08
R5	30.50	11.00	4.13	3.05
R6	31.00	11.00	5.33	4.23
R7	31.10	13.75	5.43	4.38
R8	31.50	13.48	5.05	4.10
R9	31.50	11.63	5.40	4.40
R10	31.90	14.45	4.93	4.00
A1	24.50	4.65	3.50	2.78
A2	25.70	4.60	2.80	1.95
A3	28.70	4.18	2.90	2.65
A4	28.80	4.93	4.15	2.85
A5	30.60	3.70	2.75	1.85
A6	31.00	4.60	3.60	3.00
A7	31.60	4.55	2.95	1.98
A8	32.00	5.05	3.40	2.48
A9	33.00	5.63	3.98	2.23
A10	32.20	5.83	3.85	1.90

ตารางภาคผนวก ก-29 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 25 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.70	13.28	4.88	3.53
R2	28.50	14.40	4.95	3.68
R3	29.10	13.03	4.90	3.75
R4	29.60	13.38	5.05	4.15
R5	30.30	13.25	4.73	4.23
R6	30.80	11.50	4.53	3.93
R7	31.40	11.75	4.85	3.65
R8	32.10	10.83	4.68	3.23
R9	32.10	14.73	5.48	4.33
R10	32.40	12.73	4.95	3.75
A1	25.00	5.45	3.00	2.10
A2	27.20	4.98	3.43	2.10
A3	27.90	4.63	3.00	2.00
A4	29.00	4.60	2.50	2.43
A5	29.60	4.90	3.50	2.50
A6	31.30	5.65	2.95	1.53
A7	32.10	4.65	3.60	1.88
A8	31.60	3.65	3.35	1.80
A9	31.80	5.23	4.00	2.90
A10	31.80	4.30	2.60	2.95

ตารางภาคผนวก ก-29 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 35 psu				
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
		ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	27.50	14.10	5.20	3.90
R2	28.50	12.10	5.05	4.20
R3	29.00	13.68	5.05	3.93
R4	30.40	11.00	4.63	3.33
R5	30.50	12.10	4.55	3.45
R6	31.30	12.13	5.15	4.20
R7	31.20	13.25	4.88	4.30
R8	31.70	9.88	4.38	3.43
R9	32.50	12.15	5.05	3.63
R10	32.30	13.20	5.00	3.63
A1	25.20	5.48	3.58	2.50
A2	28.20	5.85	3.00	2.63
A3	28.50	5.00	3.23	2.05
A4	29.10	5.05	3.00	2.60
A5	29.00	4.70	3.00	1.98
A6	31.00	6.48	3.88	2.45
A7	32.00	4.80	3.25	1.85
A8	32.70	5.70	3.25	1.58
A9	32.30	5.15	3.40	2.08
A10	31.10	4.85	3.23	1.68

ตารางภาคผนวก ก-30 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนกรณีผลกระทบจากความเค็มของน้ำ วันที่ 31 พฤษภาคม 2560

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 5 psu					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.40	6	14.33	5.05	3.80
R2	28.10	6	14.58	4.83	4.20
R3	29.20	7	12.20	4.40	3.60
R4	29.20	7	14.23	5.43	4.35
R5	30.50	9	11.00	4.15	3.03
R6	31.00	10	11.00	5.55	4.33
R7	31.20	8	13.55	5.55	4.20
R8	31.60	7	13.58	5.20	4.05
R9	31.60	7	11.35	5.43	4.33
R10	32.00	8	14.23	4.70	3.85
A1	24.60	14	5.23	3.95	3.18
A2	25.90	9	4.33	2.78	2.05
A3	28.50	11	3.88	3.45	3.00
A4	29.10	13	5.43	4.65	1.83
A5	30.80	15	3.78	2.90	1.85
A6	31.00	13	4.65	3.70	2.00
A7	31.70	9	3.93	2.80	2.95
A8	32.00	14	4.38	3.05	2.40
A9	32.30	18	5.30	4.25	2.30
A10	32.20	16	5.83	3.98	2.50

ตารางภาคผนวก ก-30 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 25 psu					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	26.70	7	12.63	4.55	3.25
R2	28.50	5	14.33	5.05	3.60
R3	29.20	6	13.05	5.00	4.03
R4	29.80	8	13.43	5.00	4.15
R5	30.50	7	12.98	4.85	4.13
R6	31.00	7	11.45	4.38	3.90
R7	31.50	4	11.50	4.70	3.50
R8	32.00	6	10.95	4.93	3.48
R9	32.20	5	14.35	5.35	4.50
R10	32.40	5	12.73	4.90	3.80
A1	25.00	12	4.93	2.80	2.00
A2	27.20	15	4.98	3.33	2.00
A3	28.10	8	4.40	2.73	1.78
A4	29.10	10	4.35	2.93	2.55
A5	29.60	8	5.58	3.70	2.75
A6	31.30	12	5.50	2.73	2.13
A7	32.20	11	4.85	3.58	2.00
A8	31.80	10	3.25	3.25	2.05
A9	31.90	14	4.20	2.93	1.80
A10	32.00	9	4.30	2.60	2.10

ตารางภาคผนวก ก-30 (ต่อ)

กรณีค่าความเค็มของน้ำ 35 psu					
ต้นกล้า	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)		
			ส่วนล่างลำต้น	กลางลำต้น	ส่วนบนลำต้น
R1	27.60	6	13.88	5.00	3.55
R2	28.60	3	11.93	4.98	4.03
R3	29.00	7	13.70	4.93	3.63
R4	30.60	6	18.00	4.53	3.23
R5	30.60	7	12.13	4.48	3.43
R6	31.20	6	12.15	5.00	4.43
R7	31.30	4	13.45	5.05	4.20
R8	31.60	4	11.95	4.48	3.55
R9	32.70	6	12.10	5.00	3.78
R10	32.20	6	13.23	5.15	3.70
A1	25.40	17	5.53	3.73	2.35
A2	28.10	9	5.00	3.08	2.68
A3	28.50	14	4.65	3.30	1.93
A4	29.10	6	5.00	3.20	2.55
A5	29.00	7	4.30	3.00	1.83
A6	30.90	18	6.00	3.88	2.60
A7	31.70	8	4.78	3.05	1.75
A8	32.60	6	5.00	3.20	1.55
A9	32.40	6	5.40	3.60	1.55
A10	31.30	10	4.93	3.25	2.33

ตารางภาคผนวก ก-31 ข้อมูลจำนวนใบก่อนและหลังการทดลองสุทธิ (ไม่รวมจำนวนใบงอกใหม่)

ข้อมูลจำนวนใบในตารางภาคผนวก ก-1, 6, 7, 12, 13, 18, 21, 22, 27 และ 30 เป็นข้อมูลที่รวมทั้งจำนวนใบใหม่และใบขาด แต่ในการพิจารณาข้อมูลจำนวนใบคงเหลือจะพิจารณาตั้งแต่ใบก่อนการทดลองและหลังการทดลองไม่รวมจำนวนใบงอกใหม่ ข้อมูลดังตารางภาคผนวก ก-31

กรณีผลกรณีผลกระทบจากคลื่น						
ความสูงคลื่น (เซนติเมตร)	**ต้นกล้าโกงกาง**		**จำนวนใบคงเหลือ (N_{RL}) (%)**	**ต้นกล้าแสม**		**จำนวนใบคงเหลือ (N_{RL}) (%)**
	จำนวนใบก่อนการทดลอง	**จำนวนใบหลังการทดลอง**		**จำนวนใบก่อนการทดลอง**	**จำนวนใบหลังการทดลอง**	
0	71	64	90.14	154	142	92.21
160	87	52	59.77	193	182	94.30
120	86	61	70.93	139	130	93.53
200	76	38	50.00	169	163	96.45

ตารางภาคผนวก ก-31 (ต่อ)

กรณีผลกรณีผลกระทบจากกระแสน้ำ						
ความเร็วกระแสน้ำ (เมตร/วินาที)	ต้นกล้าโกงกาง		จำนวนใบคงเหลือ (N_{RL}) (%)	ต้นกล้าแสม		จำนวนใบคงเหลือ (N_{RL}) (%)
	จำนวนใบก่อนการทดลอง	จำนวนใบหลังการทดลอง		จำนวนใบก่อนการทดลอง	จำนวนใบหลังการทดลอง	
0	79	75	94.94	143	129	90.21
0.1	67	57	85.07	165	148	89.70
0.2	74	64	86.49	137	127	92.70
0.3	69	45	65.22	179	135	75.42
กรณีผลกรณีผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 30 วัน						
ระดับน้ำท่วมต้น (เซนติเมตร)	ต้นกล้าโกงกาง		จำนวนใบคงเหลือ (N_{RL}) (%)	ต้นกล้าแสม		จำนวนใบคงเหลือ (N_{RL}) (%)
	จำนวนใบก่อนการทดลอง	จำนวนใบหลังการทดลอง		จำนวนใบก่อนการทดลอง	จำนวนใบหลังการทดลอง	
15	51	41	80.39	105	99	94.29
35	52	44	84.62	91	84	92.31
70	58	47	81.03	125	124	99.20

ตารางภาคผนวก ก-31 (ต่อ)

กรณีผลกรณีผลกระทบจากระดับน้ำท่วมต้นที่ 60 วัน						
ระดับน้ำท่วมต้น (เซนติเมตร)	ต้นกล้าโกงกาง		จำนวนใบคงเหลือ (N_{RL}) (%)	ต้นกล้าแสม		จำนวนใบคงเหลือ (N_{RL}) (%)
	จำนวนใบก่อนการทดลอง	จำนวนใบหลังการทดลอง		จำนวนใบก่อนการทดลอง	จำนวนใบหลังการทดลอง	
15	51	41	80.39	105	99	94.29
35	52	44	84.62	91	84	92.31
70	58	47	81.03	125	124	99.20
กรณีผลกรณีผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน						
ความเค็มของน้ำ (psu)	ต้นกล้าโกงกาง		จำนวนใบคงเหลือ (N_{RL}) (%)	ต้นกล้าแสม		จำนวนใบคงเหลือ (N_{RL}) (%)
	จำนวนใบก่อนการทดลอง	จำนวนใบหลังการทดลอง		จำนวนใบก่อนการทดลอง	จำนวนใบหลังการทดลอง	
5	52	43	82.69	98	83	84.69
25	58	39	67.24	93	86	92.47
35	51	29	56.86	99	89	89.90

ตารางภาคผนวก ก-31 (ต่อ)

กรณีผลกรณีผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน						
ความเค็มของน้ำ (psu)	ต้นกล้าโกงกาง		จำนวนใบคงเหลือ (N_{RL}) (%)	ต้นกล้าแสม		จำนวนใบคงเหลือ (N_{RL}) (%)
	จำนวนใบก่อนการทดลอง	จำนวนใบหลังการทดลอง		จำนวนใบก่อนการทดลอง	จำนวนใบหลังการทดลอง	
5	52	43	82.69	98	83	84.69
25	58	39	67.24	93	86	92.47
35	51	29	56.86	99	89	89.90

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลต่างลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลน
ก่อนการทดลองและหลังการทดลองที่ถูกคัดออก

ภาคผนวกที่ ข-1 ข้อมูลผลต่างลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนก่อนการทดลองและหลังการทดลองที่ถูกคัดออก กรณีผลกระทบจากคลื่น

กรณีความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร

ต้นกล้า	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น (%) (Δh_t)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R4	31.50	26.20	-5.30	-16.83	ข้อมูลผิดปกติ
R5	26.40	30.20	3.80	14.39	
A4	33.00	34.00	1.00	3.03	

กรณีความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta Ø_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R8	1.02	0.94	-0.07	-7.14	ข้อมูลผิดปกติ
R10	1.02	1.15	0.13	13.05	
R12	1.05	0.97	-0.08	-7.18	

กรณีความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (%) ($\Delta Ø_M$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R4	0.46	0.37	-0.09	-19.02	ข้อมูลผิดปกติ
R8	0.44	0.35	-0.09	-20.45	
R9	0.50	0.43	-0.08	-15.00	
R12	0.45	0.36	-0.10	-21.11	

ภาคผนวกที่ ข-1 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (%) ($\Delta Ø_U$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R3	0.33	0.21	-0.12	-35.38	ข้อมูลผิดปกติ
R4	0.35	0.20	-0.15	-42.03	
R5	0.38	0.23	-0.16	-40.79	
R8	0.32	0.18	-0.14	-43.65	
R9	0.33	0.17	-0.15	-46.92	
R10	0.34	0.26	-0.08	-23.53	
R12	0.34	0.18	-0.16	-46.27	
A11	0.23	0.29	0.06	24.73	

กรณีความสูงคลื่น 12.29 เซนติเมตร

ต้นกล้า	**ปริมาตรตัวแทน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)**		**ผลต่าง**	**การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทน (%) (Vol)**	**หมายเหตุ**
	ก่อนการทดลอง	**หลังการทดลอง**			
R3	10.21	9.06	-1.15	-11.23	ข้อมูลผิดปกติ
R4	9.31	5.78	-3.53	-37.89	
R8	6.23	4.34	-1.90	-30.42	
R9	11.31	8.87	-2.44	-21.55	
R12	8.53	5.75	-2.78	-32.60	
A4	4.94	5.47	0.53	10.64	
A11	4.40	5.00	0.60	13.60	

กรณีความสูงคลื่น 10.57 เซนติเมตร

ต้นกล้า	**ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)**		**ผลต่าง**	**การเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น (%) (Δh_t)**	**หมายเหตุ**
	ก่อนการทดลอง	**หลังการทดลอง**			
R14	29.90	27.90	-2.00	-6.69	ข้อมูลผิดปกติ
A2	28.20	20.80	-7.40	-26.24	

ภาคผนวกที่ ข-1 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 10.57 เซนติเมตร

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta\varnothing_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R2	1.20	1.26	0.06	5.21	ข้อมูลผิดปกติ
R4	1.40	1.29	-0.11	-7.71	
R13	1.23	1.30	0.08	6.12	

กรณีความสูงคลื่น 10.57 เซนติเมตร

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (%) ($\Delta\varnothing_M$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R3	0.53	0.41	-0.12	-22.17	ข้อมูลผิดปกติ
R4	0.49	0.40	-0.09	-17.86	

กรณีความสูงคลื่น 10.57 เซนติเมตร

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (%) ($\Delta\varnothing_U$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R3	0.40	0.26	-0.13	-33.54	ข้อมูลผิดปกติ
R4	0.40	0.32	-0.08	-20.00	
R9	0.32	0.26	-0.06	-19.05	
A4	0.24	0.30	0.06	23.96	
A5	0.22	0.28	0.06	25.00	

ภาคผนวกที่ ข-1 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 10.57 เซนติเมตร

ต้นกล้า	ปริมาตรตัวแทน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทน (%) (Vol)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R3	9.379	7.384	-1.99	-21.27	ข้อมูลผิดปกติ
R4	13.12	9.98	-3.14	-23.96	
A2	2.510	1.743	-0.77	-30.56	

กรณีความสูงคลื่น 7.73 เซนติเมตร

ต้นกล้า	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น (%) (Δh_t)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
A1	37.60	38.60	1.00	2.66	ข้อมูลผิดปกติ
A5	31.50	32.50	1.00	3.17	
A13	38.20	39.60	1.40	3.66	

กรณีความสูงคลื่น 7.73 เซนติเมตร

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta \varnothing_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
A1	37.60	38.60	1.00	2.66	ข้อมูลผิดปกติ

กรณีความสูงคลื่น 7.73 เซนติเมตร

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (%) ($\Delta \varnothing_M$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R1	0.57	0.48	-0.09	-15.93	ข้อมูลผิดปกติ
R2	0.45	0.38	-0.07	-16.00	
R6	0.50	0.41	-0.10	-19.00	

ภาคผนวกที่ ข-1 (ต่อ)

กรณีความสูงคลื่น 7.73 เซนติเมตร

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (%) ($\Delta Ø_U$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R1	0.35	0.21	-0.15	-41.13	ข้อมูลผิดปกติ
R2	0.30	0.21	-0.10	-32.23	
R6	0.38	0.24	-0.14	-37.33	

กรณีความสูงคลื่น 7.73 เซนติเมตร

ต้นกล้า	ปริมาตรตัวแทน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทน (%) (Vol)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R1	10.533	8.193	-2.34	-22.21	ข้อมูลผิดปกติ
R2	8.410	6.972	-1.44	-17.10	
R6	10.169	7.543	-2.63	-25.83	
A1	4.171	4.851	0.68	16.29	
A2	4.678	5.229	0.55	11.77	

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น)

ต้นกล้า	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น (%) (Δh_t)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R13	25.50	27.10	1.60	6.27	ข้อมูลผิดปกติ
R14	31.00	26.50	-4.50	-14.52	
A13	31.40	32.50	1.10	3.50	

ภาคผนวกที่ ข-1 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น)

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta\emptyset_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R9	1.32	1.02	-0.31	-23.06	ข้อมูลผิดปกติ
R10	1.28	1.07	-0.21	-16.08	
R11	1.27	1.03	-0.24	-18.90	
R13	1.06	1.24	0.18	16.98	
R14	1.08	1.29	0.21	19.53	
A10	0.61	0.52	-0.08	-13.64	
A13	0.51	0.58	0.08	15.35	

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น)

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (%) ($\Delta\emptyset_M$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R9	0.53	0.42	-0.10	-19.52	ข้อมูลผิดปกติ
R10	0.42	0.49	0.07	17.37	
A3	0.44	0.39	-0.05	-10.80	
A8	0.35	0.45	0.10	27.86	
A12	0.37	0.42	0.05	12.84	
A15	0.45	0.33	-0.12	-26.67	

ภาคผนวกที่ ข-1 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น)

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (%) ($\Delta Ø_U$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R8	0.39	0.22	-0.16	-42.21	
R11	0.34	0.41	0.07	21.32	
R13	0.40	0.33	-0.07	-18.13	
R14	0.34	0.41	0.08	22.22	ข้อมูล
A3	0.39	0.31	-0.08	-20.51	ผิดปกติ
A10	0.30	0.23	-0.07	-24.37	
A12	0.28	0.37	0.09	32.73	
A13	0.25	0.29	0.05	19.39	

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่น)

ต้นกล้า	ปริมาตรตัวแทน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทน (%) (Vol)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R8	7.80	6.54	-1.26	-16.15	
R9	11.89	7.80	-4.09	-34.40	
R10	11.41	9.90	-1.51	-13.23	
R11	10.17	8.18	-1.99	-19.57	
R13	8.33	10.16	1.83	21.97	
R15	8.40	11.76	3.36	40.00	ข้อมูล
A3	5.49	4.24	-1.25	-22.75	ผิดปกติ
A8	3.25	4.14	0.89	27.42	
A10	4.84	3.59	-1.25	-25.75	
A12	3.42	4.40	0.98	28.54	
A13	3.93	4.70	0.77	19.65	
A15	3.34	2.47	-0.87	-26.00	

ภาคผนวกที่ ข-2 ข้อมูลผลต่างลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนก่อนการทดลองและหลังการทดลองที่ถูกคัดออก กรณีผลกระทบจากกระแสน้ำ

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.37 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น (%) (Δh_t)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R1	26.30	25.70	-0.60	-2.28	ข้อมูลผิดปกติ
R5	29.00	28.00	-1.00	-3.45	
R6	29.50	28.60	-0.90	-3.05	
A10	31.80	33.50	1.70	5.35	

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.37 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta Ø_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R3	12.00	10.05	-1.95	-16.25	ข้อมูลผิดปกติ
R5	11.25	9.85	-1.40	-12.44	
R6	10.85	10.20	-0.65	-5.99	
A3	6.10	6.78	0.68	11.07	

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.37 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (%) ($\Delta Ø_M$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R3	4.70	3.70	-1.00	-21.28	ข้อมูลผิดปกติ
R5	4.75	3.30	-1.45	-30.53	
R6	4.35	3.15	-1.20	-27.59	
A13	3.45	2.70	-0.75	-21.74	

ภาคผนวกที่ ข-2 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.37 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (%) ($\Delta Ø_U$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R3	3.25	1.70	-1.55	-47.69	ข้อมูลผิดปกติ
R5	2.75	1.50	-1.25	-45.45	
R6	2.20	1.10	-1.10	-50.00	
R7	4.00	4.60	0.60	15.00	
A10	2.25	2.75	0.50	22.22	
A13	2.40	1.25	-1.15	-47.92	

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.37 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	ปริมาตรตัวแทน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทน (%) (Vol)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R3	9.73	5.77	-3.95	-40.67	ข้อมูลผิดปกติ
R5	8.90	5.24	-3.65	-41.06	
R6	7.79	5.21	-2.58	-33.14	
R7	12.76	14.69	1.93	15.11	
R8	13.16	14.61	1.44	10.96	
A3	4.04	4.67	0.63	15.50	
A6	3.30	3.86	0.56	17.08	
A10	3.51	4.07	0.56	15.90	
A13	3.97	2.54	-1.43	-36.06	

ภาคผนวกที่ ข-2 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.23 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น (%) (Δh_t)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R5	29.00	28.40	-0.60	-2.07	ข้อมูลผิดปกติ
R10	30.60	29.90	-0.70	-2.29	
R15	33.00	32.60	-0.40	-1.21	
A1	24.10	23.50	-0.60	-2.49	
A5	29.00	28.50	-0.50	-1.72	
A7	30.20	29.70	-0.50	-1.66	
A8	30.40	29.80	-0.60	-1.97	
A9	31.10	31.80	0.70	2.25	
A11	32.00	31.50	-0.50	-1.56	
A13	33.40	34.20	0.80	2.40	

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.23 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta Ø_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R2	13.00	13.53	0.53	4.04	ข้อมูลผิดปกติ
R10	12.40	11.70	-0.70	-5.65	
R13	11.80	9.55	-2.25	-19.07	
A3	7.40	6.00	-1.40	-18.92	

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.23 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (%) ($\Delta Ø_M$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R10	5.15	4.65	-0.50	-9.71	ข้อมูลผิดปกติ
R13	4.30	3.30	-1.00	-23.26	

ภาคผนวกที่ ข-2 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.23 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (%) ($\Delta Ø_U$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R10	3.40	1.35	-2.05	-60.29	ข้อมูลผิดปกติ
R12	3.35	3.88	0.53	15.67	
R13	2.75	0.85	-1.90	-69.09	

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.23 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	ปริมาตรตัวแทน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทน (%) (Vol)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R10	11.72	8.17	-3.55	-30.25	ข้อมูลผิดปกติ
R13	9.80	5.11	-4.69	-47.85	
A3	5.12	4.09	-1.03	-20.09	

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.11 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น (%) (Δh_t)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R2	26.70	27.40	0.70	2.62	ข้อมูลผิดปกติ
R3	27.60	26.40	-1.20	-4.35	
A5	28.00	28.50	0.50	1.79	
A7	30.00	29.30	-0.70	-2.33	
A8	30.50	30.00	-0.50	-1.64	
A12	32.80	33.30	0.50	1.52	

ภาคผนวกที่ ข-2 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.11 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta Ø_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R2	11.75	12.33	0.57	4.89	ข้อมูลผิดปกติ
R3	13.20	13.80	0.60	4.55	
R12	12.15	10.75	-1.40	-11.52	
R14	16.20	15.10	-1.10	-6.79	
A4	5.00	4.50	-0.50	-10.00	
A11	3.85	4.38	0.53	13.64	
A13	4.40	5.00	0.60	13.64	

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.11 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (%) ($\Delta Ø_M$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R12	5.00	3.95	-1.05	-21.00	ข้อมูลผิดปกติ
R14	5.80	6.40	0.60	10.34	

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.11 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (%) ($\Delta Ø_U$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R1	3.85	2.25	-1.60	-41.56	ข้อมูลผิดปกติ
R2	3.80	3.13	-0.68	-17.76	
R4	2.65	3.20	0.55	20.75	
R9	3.15	3.70	0.55	17.46	
R12	3.30	1.70	-1.60	-48.48	
R13	3.45	4.05	0.60	17.39	
R15	3.30	3.85	0.55	16.67	
A12	2.15	3.93	1.78	82.56	

ภาคผนวกที่ ข-2 (ต่อ)

กรณีความเร็วกระแสน้ำ 0.11 เมตรต่อวินาที

ต้นกล้า	ปริมาตรตัวแทน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทน (%) (Vol)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R1	11.27	9.60	-1.67	-14.80	ข้อมูลผิดปกติ
R6	12.91	14.08	1.17	9.06	
R12	11.50	7.25	-4.24	-36.91	
R13	12.26	14.29	2.03	16.56	
R15	14.77	15.84	1.07	7.25	
A7	6.41	5.89	-0.52	-8.17	
A12	4.87	6.37	1.49	30.58	
A15	3.54	4.12	0.58	16.35	

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ)

ต้นกล้า	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น (%) (Δh_t)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R7	29.70	28.20	-1.50	-5.05	ข้อมูลผิดปกติ
A8	31.00	32.30	1.30	4.19	
A14	34.00	33.50	-0.50	-1.47	

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ)

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta Ø_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R3	10.70	11.35	0.65	6.07	ข้อมูลผิดปกติ
R12	12.85	12.00	-0.85	-6.61	
A10	4.30	4.80	0.50	11.63	

ภาคผนวกที่ ข-2 (ต่อ)

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ)

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (%) ($\Delta Ø_M$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R3	4.35	4.95	0.60	13.79	ข้อมูลผิดปกติ

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ)

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (%) ($\Delta Ø_U$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R2	5.00	5.80	0.80	16.00	ข้อมูลผิดปกติ
R3	3.00	3.90	0.90	30.00	
A11	2.10	2.60	0.50	23.81	
A13	2.65	2.20	-0.45	-16.98	
A14	2.40	2.95	0.55	22.92	

กรณีควบคุม (ไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วกระแสน้ำ)

ต้นกล้า	ปริมาตรตัวแทน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทน (%) (Vol)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R2	12.99	14.14	1.15	8.87	ข้อมูลผิดปกติ
R3	7.82	9.86	2.04	26.15	
R6	9.56	7.19	-2.37	-24.75	
R10	11.76	13.03	1.27	10.83	
A4	4.33	3.62	-0.71	-16.36	
A10	2.73	3.28	0.55	20.23	
A14	2.91	3.52	0.61	21.09	
A15	4.57	5.46	0.89	19.40	

ภาคผนวกที่ ข-3 ข้อมูลผลต่างลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนก่อนการทดลองและหลังการทดลองที่ถูกคัดออก กรณีผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 30 วัน

กรณีความเค็มของน้ำ 5 psu

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta Ø_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R6	13.20	11.00	-2.20	-16.67	ข้อมูลผิดปกติ
A3	4.78	3.90	-0.88	-18.32	
A4	5.65	4.75	-0.90	-15.93	
A9	5.63	4.58	-1.05	-18.67	

กรณีความเค็มของน้ำ 25 psu

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta Ø_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
A2	5.00	3.90	-1.10	-22.00	ข้อมูลผิดปกติ
A9	5.85	4.45	-1.40	-23.93	

กรณีความเค็มของน้ำ 35 psu

ต้นกล้า	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น (%) (Δh_t)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
A1	25.70	25.20	-0.50	-1.95	ข้อมูลผิดปกติ
A9	31.20	31.80	0.60	1.92	

ภาคผนวกที่ ข-3 (ต่อ)

กรณีความเค็มของน้ำ 35 psu

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta Ø_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R3	10.05	8.175	-1.88	-18.66	ข้อมูลผิดปกติ
R2	6.875	5.45	-1.43	-20.73	
A6	6.975	5.95	-1.03	-14.70	
A9	5.45	4.6	-0.85	-15.60	

ภาคผนวกที่ ข-4 ข้อมูลผลต่างลักษณะทางกายภาพของต้นกล้าป่าชายเลนก่อนการทดลองและหลังการทดลองที่ถูกคัดออก กรณีผลกระทบจากความเค็มของน้ำที่ 60 วัน

กรณีความเค็มของน้ำ 5 psu

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta Ø_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R6	13.20	11.00	-2.20	-16.67	ข้อมูลผิดปกติ
A3	4.78	3.88	-0.90	-18.85	
A7	4.80	3.93	-0.88	-18.23	

กรณีความเค็มของน้ำ 5 psu

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (%) ($\Delta Ø_U$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
A4	2.83	1.83	-1.00	-35.40	ข้อมูลผิดปกติ
A6	2.85	2.00	-0.85	-29.82	
A7	2.00	2.95	0.95	47.50	

ภาคผนวกที่ ข-4 (ต่อ)

กรณีความเค็มของน้ำ 25 psu

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta Ø_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
A8	4.10	3.25	-0.85	-20.73	ข้อมูลผิดปกติ
A9	5.85	4.20	-1.65	-28.21	

กรณีความเค็มของน้ำ 25 psu

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (%) ($\Delta Ø_M$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
A9	4.70	2.93	-1.78	-37.77	ข้อมูลผิดปกติ

กรณีความเค็มของน้ำ 25 psu

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (%) ($\Delta Ø_U$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
A9	2.93	1.80	-1.13	-38.46	ข้อมูลผิดปกติ

กรณีความเค็มของน้ำ 25 psu

ต้นกล้า	ปริมาตรตัวแทน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทน (%) (Vol)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
A9	4.93	2.22	-2.71	-55.00	ข้อมูลผิดปกติ

กรณีความเค็มของน้ำ 35 psu

ต้นกล้า	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงความสูงของลำต้น (%) (Δh_t)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
A8	31.1	32.6	1.5	4.8	ข้อมูลผิดปกติ
A9	31.2	32.4	1.2	3.8	

ภาคผนวกที่ ข-4 (ต่อ)

กรณีความเค็มของน้ำ 35 psu

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนล่าง (%) ($\Delta Ø_L$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R4	10.85	18.00	7.15	65.90	ข้อมูลผิดปกติ
R8	10.05	11.95	1.90	18.91	
A2	6.88	5.00	-1.88	-27.27	
A6	6.98	6.00	-0.98	-13.98	
A8	5.90	5.00	-0.90	-15.25	

กรณีความเค็มของน้ำ 35 psu

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนกลาง (%) ($\Delta Ø_M$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
A7	3.88	3.05	-0.83	-21.29	ข้อมูลผิดปกติ

กรณีความเค็มของน้ำ 35 psu

ต้นกล้า	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (มิลลิเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นส่วนบน (%) ($\Delta Ø_U$)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
A9	2.33	1.55	-0.78	-33.33	ข้อมูลผิดปกติ

กรณีความเค็มของน้ำ 35 psu

ต้นกล้า	ปริมาตรตัวแทน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		ผลต่าง	การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตัวแทน (%) (Vol)	หมายเหตุ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
R4	9.19	17.71	8.52	92.76	ข้อมูลผิดปกติ
R8	8.96	11.00	2.04	22.77	