



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การศึกษาภาคสนามเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน

(A field study on wave attenuation in mangrove forests)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนุญ รัศมีมาสเมือง

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2557A10802169

สัญญาเลขที่ 105/2557

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การศึกษาภาคสนามเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน

(A field study on wave attenuation in mangrove forests)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมบุญ รัศมีมาสเมือง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

สิงหาคม พ.ศ. 2558

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 105/2557

Acknowledgement

This work was financially supported by the Research Grant of Burapha University through National Research Council of Thailand (Grant no. 105/2557)

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านป่าชายเลน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของคลื่นที่เคลื่อนตัวผ่านแนวป่าชายเลนในพื้นที่จริง โดยเน้นลักษณะทางอุทกพลศาสตร์และการลดทอนของคลื่น และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลดพลังงานคลื่นกับตัวแปรที่สำคัญอื่น ได้แก่ ระดับความลึกของน้ำ ความสูงของคลื่น ความยาวของแนวป่าชายเลน และความหนาแน่นของต้นไม้ป่าชายเลน โดยได้ทำการศึกษา ณ บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี

ข้อมูลคลื่นถูกเก็บที่สถานีวัดคลื่น 3 สถานี คือ สถานีนอกฝั่งบริเวณแนวขอบป่าชายเลนติดกับทะเล สถานีกลางป่าซึ่งห่างจากสถานีแรก 50 เมตรไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และสถานีในสุด ซึ่งห่างจากสถานีแรก 100 เมตรไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือเช่นกัน การวางแนวสถานีดังกล่าวเนื่องจากงานวิจัยสนใจคลื่นที่เกิดจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ข้อมูลคลื่นถูกเก็บจำนวน 3 ครั้ง ได้แก่ ครั้งที่ 1 วันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2557 ถึง 8 ตุลาคม พ.ศ. 2557, ครั้งที่ 2 วันที่ 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 ถึง 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 และครั้งที่ 3 วันที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2558 ถึง 23 เมษายน พ.ศ. 2558 นอกจากนี้ยังมีการเก็บข้อมูลพื้นที่ป่าชายเลน เช่น ขนาดและจำนวนต้นไม้ป่าชายเลน ความยาวแนวป่า ค่าระดับพื้นที่ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปัจจัยที่ต้องการพิจารณาต่อไป

ผลการสำรวจภาคสนาม พบว่า คลื่นที่ตรวจวัดได้มีความสูงไม่มากนัก เนื่องจากเป็นช่วงที่หมดฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พอดี ความสูงคลื่นนัยสำคัญประมาณ 0.60 เมตร การลดทอนคลื่นบริเวณพื้นที่ใกล้ทะเลมีค่ามากกว่าบริเวณที่ถัดมาข้างใน โดยค่าเฉลี่ยของการลดทอนคลื่น ในพื้นที่ศึกษา 50 เมตรแรกมีค่าเท่ากับ 7.29% และค่าเฉลี่ยของการลดทอนคลื่น ในพื้นที่ศึกษา 50 เมตรถัดมาเท่ากับ 4.89% และพิจารณาพื้นที่ทั้งหมด 100 เมตร มีค่าเฉลี่ยของการลดทอนคลื่น เท่ากับ 6.76%

ปัจจัยที่มีผลต่อการลดทอนคลื่น ได้แก่ ความยาวของแนวป่าชายเลน และระดับน้ำ โดยเมื่อความยาวของป่าชายเลนเพิ่มขึ้นและระดับน้ำลดลง การลดทอนจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความยาวแนวป่าชายเลนเพิ่มขึ้นและระดับน้ำลดลง โอกาสที่คลื่นถูกลดทอนด้วยระบบรากและลำต้นของต้นไม้ป่าชายเลนและอิทธิพลของความเสียหายที่พื้นที่ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของคลื่นเพิ่มมากขึ้น สำหรับปัจจัยเรื่องความหนาแน่นของต้นไม้อันในป่าชายเลน การศึกษานี้ยังไม่สามารถสรุปผลที่ชัดเจนได้ เนื่องจากค่าความหนาแน่นของพื้นที่ศึกษาใกล้เคียงกันมาก

Abstract

This research is a field study on the behaviors of wave propagating through a mangrove forest. The research objectives are to study the wave behaviors in mangrove forests by focusing on hydrodynamics parameters and wave reduction and to find out the relationship between wave reduction efficient and other relating parameters: water depth, wave height, the width of mangroves forest line and the density of mangrove trees. Study area is the mangrove forest at the Bangpakong River Mouth, Tambon Klong Tamru, Amphoe Muang Chon Buri, Chon Buri Province, Thailand.

Wave data was collected at three stations: offshore station, middle station and onshore station. The offshore station was located at the border between the mangroves and sea. The middle and onshore stations are located 50 m and 100 m respectively from the offshore station shoreward to the north-east in order to measure the wave induced by south-west winds. The wave data was measured three times: October 6 – 8, 2014; November 28 – 30, 2014 and April 21 – 23, 2015. Moreover, the details of mangrove forests, which are the width of mangrove forest line, the number and size of mangrove trees, the ground elevation, to be employed in data analysis.

The field study results show that the measured waves were not so high because the measuring time was out of the south-west monsoon season. The mean significant wave height is about 0.60 m. The wave reduction of outer zone was greater than it of inner zone. Averagely the wave reduction of out zone, inner zone and overall were 7.29%, 4.86% and 6.76% respectively.

From data analysis, factors influencing the wave reduction are the width of mangroves line and water depth. As the width of forest line increase and the water depth decrease, the wave reduction will increase, because in such cases the drag forces due to root-and-trunk system of mangrove trees and the friction due to bed will decrease. As for the density of mangrove trees, in the study the relationship between

the wave reduction and the tree density is still obscure because the difference of the tree densities of the outer and the inner zones was not great enough for analysis.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	iii
Abstract	iv
สารบัญ	vi
สารบัญตาราง	viii
สารบัญรูป	ix
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ผลประโยชน์ที่จะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับป่าชายเลน	5
2.2 กลไกการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน	8
2.3 การศึกษาการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน	10
2.4 ศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่น	13
2.5 บทสรุป	14
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	16
3.1 พื้นที่ศึกษาและการเก็บข้อมูล	16
3.2 ช่วงเวลาเก็บข้อมูล	18
3.3 การเก็บข้อมูลคลื่น	21
3.4 การเก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	30
4.1 ผลการสำรวจพื้นที่เก็บข้อมูล	30
4.2 ผลการตรวจวัดคลื่น	36
4.3 ผลการวิเคราะห์การลดทอนคลื่น	53
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผลการศึกษาในภาคสนาม	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก ก ผลผลิต	72
ภาคผนวก ข รายงานสรุปการเงิน	73
ภาคผนวก ค ประวัตินักวิจัย	74

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	พื้นที่ป่าชายเลนของประเทศไทยแบ่งตามภาค	6
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น	15
ตารางที่ 3.1	ข้อมูลของช่วงเวลาติดตั้งและเก็บเครื่องวัดคลื่น	18
ตารางที่ 3.2	ข้อมูลของช่วง วัน/เดือน/ปี ที่ใช้เก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน	20
ตารางที่ 3.3	ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน	26
ตารางที่ 3.4	แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลค่าระดับ	29
ตารางที่ 4.1	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของลำต้นในพื้นที่เก็บข้อมูล	31
ตารางที่ 4.2	ความต่างของค่าระดับในพื้นที่เก็บข้อมูล	33
ตารางที่ 4.3	ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 6 ตุลาคม 2557	36
ตารางที่ 4.4	ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 7 ตุลาคม 2557	38
ตารางที่ 4.5	ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 8 ตุลาคม 2557	40
ตารางที่ 4.6	ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 28 พฤศจิกายน 2557	42
ตารางที่ 4.7	ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 29 พฤศจิกายน 2557	44
ตารางที่ 4.8	ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 21 เมษายน 2558	46
ตารางที่ 4.9	ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 22 เมษายน 2558	48
ตารางที่ 4.10	ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 23 เมษายน 2558	50
ตารางที่ 4.11	ตารางสรุปผลการตรวจวัดคลื่น	52
ตารางที่ 4.12	ตารางผลการวิเคราะห์การลดทอนคลื่นในภาคสนาม	55

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	ป่าชายเลนบริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลน เพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดชลบุรี	4
รูปที่ 2.2	พื้นที่ป่าชายเลนตามจังหวัดชายฝั่งทะเลในประเทศไทย	6
รูปที่ 2.3	ระบบรากของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน	7
รูปที่ 2.4	แผนภาพกลไกการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน	9
รูปที่ 3.1	พื้นที่ศึกษา ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดชลบุรี	16
รูปที่ 3.2	พื้นที่เก็บข้อมูล	17
รูปที่ 3.3	แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่เก็บข้อมูล	17
รูปที่ 3.4	ตารางน้ำขึ้น-น้ำลง ปากแม่น้ำบางปะกง เดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2557	18
รูปที่ 3.5	ตารางน้ำขึ้น-น้ำลง ปากแม่น้ำบางปะกง เดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2557	19
รูปที่ 3.6	ตารางน้ำขึ้น-น้ำลง ปากแม่น้ำบางปะกง เดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2558	19
รูปที่ 3.7	ตารางน้ำขึ้น-น้ำลง ปากแม่น้ำบางปะกง เดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2558	19
รูปที่ 3.8	ตารางน้ำขึ้น-น้ำลง ปากแม่น้ำบางปะกง เดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2558	20
รูปที่ 3.9	ร่องเท้าบุทผ้า	21
รูปที่ 3.10	เครื่องระบุตำแหน่ง	21
รูปที่ 3.11	เครื่องวัดคลื่นแบบวัดความดัน	22
รูปที่ 3.12	ตลับเมตร	23
รูปที่ 3.13	เทปวัดระยะ	23
รูปที่ 3.14	หลักไม้ไผ่	23
รูปที่ 3.15	การวางแผนพื้นที่เก็บข้อมูลด้วยเข็มทิศ และ หลักไม้ผูกเชือก	24
รูปที่ 3.16	การกำหนดพื้นที่เก็บข้อมูลด้วยเข็มทิศ และ หลักไม้ผูกเชือก	25
รูปที่ 3.17	ขอบเขตและขนาดของพื้นที่เก็บข้อมูล	25
รูปที่ 3.18	การสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน	26
รูปที่ 3.19	การกำหนดพื้นที่ (Zone) เพื่อหาความหนาแน่นของต้นไม้	27

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.20	การวัดค่าระดับพื้นดินบริเวณพื้นที่ศึกษา	28
รูปที่ 3.21	แนวเส้นทางการหาค่าระดับ	29
รูปที่ 4.1	แผนผังตำแหน่งต้นไม้ป่าชายเลนภายในบริเวณพื้นที่เก็บข้อมูลรูปที่	32
รูปที่ 4.2	เส้นความสูงระดับพื้นดินตามแนวยาวของพื้นที่เก็บข้อมูล	34
รูปที่ 4.3	เส้นระดับความสูงของพื้นที่เก็บข้อมูล (Contour Line)	35
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 6 ตุลาคม 2557	37
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 6 ตุลาคม 2557	37
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 6 ตุลาคม 2557	38
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 7 ตุลาคม 2557	39
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 7 ตุลาคม 2557	39
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 7 ตุลาคม 2557	40
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 8 ตุลาคม 2557	41
รูปที่ 4.11	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 8 ตุลาคม 2557	41
รูปที่ 4.12	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 8 ตุลาคม 2557	42

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.13	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 28 พฤศจิกายน 2557	43
รูปที่ 4.14	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 28 พฤศจิกายน 2557	43
รูปที่ 4.15	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 28 พฤศจิกายน 2557	44
รูปที่ 4.16	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 29 พฤศจิกายน 2557	45
รูปที่ 4.17	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 29 พฤศจิกายน 2557	45
รูปที่ 4.18	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 29 พฤศจิกายน 2557	46
รูปที่ 4.19	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 21 เมษายน 2558	47
รูปที่ 4.20	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 21 เมษายน 2558	47
รูปที่ 4.21	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 21 เมษายน 2558	48
รูปที่ 4.22	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 22 เมษายน 2558	49
รูปที่ 4.23	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 22 เมษายน 2558	49
รูปที่ 4.24	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 22 เมษายน 2558	50

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.25	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 23 เมษายน 2558	51
รูปที่ 4.26	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 23 เมษายน 2558	51
รูปที่ 4.27	กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 23 เมษายน 2558	52
รูปที่ 4.28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การลดทอนคลื่น (R%) กับ ความสูงของระดับน้ำ (Hw)	62
รูปที่ 4.29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การลดทอนคลื่น (R%) กับ ความหนาแน่นของต้นไม้ (Dm)	63
รูปที่ 4.30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การลดทอนคลื่น (R%) กับ ความยาวของแนวป่า (Lm)	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีแนวชายฝั่งทะเลรวมระยะทาง 3,148 กิโลเมตร แบ่งเป็นแนวชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย 2,055 กิโลเมตร และแนวชายฝั่งทะเลด้านทะเลอันดามัน 1,093 กิโลเมตร พื้นที่ชายฝั่งทะเลทั้งสองด้านมีความสำคัญต่อประเทศในหลากหลายมิติ ไม่ว่าจะเป็น ความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ ด้านการท่องเที่ยว ด้านการคมนาคม-ขนส่ง ด้านการประมง และด้านนิเวศวิทยา เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามชายฝั่งทะเลเหล่านี้ถูกคุกคามด้วยปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลเล็ข้นวิกฤตในหลายพื้นที่ เช่น ชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน (กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ ฯลฯ) ชายฝั่งทะเลจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และสงขลา เป็นต้น การกัดเซาะชายฝั่งทำให้สูญเสียแผ่นดินไปเป็นจำนวนมากและสร้างความเสียหายต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง แนวทางการแก้ไขปัญหการกัดเซาะชายฝั่งทะเลขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาและลักษณะการใช้ประโยชน์ของแต่ละพื้นที่ ในปัจจุบันการแก้ไขปัญหาด้วยมาตรการแบบอ่อน ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เช่น การเติมหาดทรายสำหรับพื้นที่หาดทราย หรือการปลูกป่าชายเลนสำหรับพื้นที่หาดโคลน เป็นต้น

ป่าชายเลนเป็นพืชพรรณที่อยู่บริเวณแนวชายฝั่งทะเลซึ่งเป็นขอบเขตระหว่างแผ่นดินกับทะเล ต้นไม้ป่าชายเลนมีลักษณะพิเศษที่สามารถอยู่ในสภาวะน้ำขึ้น-น้ำลงของน้ำทะเลหรือน้ำกร่อยได้ ปัจจุบันมีการศึกษาจำนวนมากได้ยืนยันถึงความสำคัญของป่าชายเลนในแง่มุมต่างๆ อย่างชัดเจน เช่น เป็นแหล่งอาหารและแหล่งที่อยู่ของพืชและสัตว์จำนวนมาก เป็นแหล่งประมงชายฝั่งที่สำคัญ เป็นต้น นอกจากนี้ด้วยลักษณะพิเศษของระบบรากและลำต้นของต้นไม้ในป่าชายเลนที่มีจำนวนมาก มีความสลัซซึบซึอนและยึดโยงกับพื้นโคลนอย่างเหนียวแน่น ทำให้ป่าชายเลนเป็นแนวลดพลังงานคลื่นลมและกระแสน้ำ สร้างเสถียรภาพของตะกอนชายฝั่ง และป้องกันชายฝั่งทะเลถูกกัดเซาะได้ด้วย แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาอุทกพลศาสตร์และศักยภาพของป่าชายเลนในการทำหน้าที่แนวกำบังคลื่นลมยังมีอยู่อย่างจำกัด ทำให้การนำแนวทางนี้ไปใช้ป้องกันชายฝั่งทะเลจากการกัดเซาะยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

โครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน โดยจะทำการทดลองในภาคสนามตามพื้นที่ป่าชายเลนจริง ณ ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดชลบุรี เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการลดพลังงานคลื่นกับตัวแปรต่างๆ เช่น ระดับความลึกน้ำ ความยาวของแนวป่าชายเลน และความหนาแน่นของต้นไม้ป่าชายเลน เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

- (1) เพื่อศึกษาลักษณะของคลื่นที่เคลื่อนตัวผ่านแนวป่าชายเลนในพื้นที่จริง โดยเน้นลักษณะทางอุทกพลศาสตร์และการลดทอนของคลื่น
- (2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลดพลังงานคลื่นกับตัวแปรที่สำคัญอื่นๆ เช่น ระดับความลึกของน้ำ ความสูงของคลื่น ความยาวของแนวป่าชายเลน และความหนาแน่นของต้นไม้ป่าชายเลน เป็นต้น

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะดำเนินการศึกษาการลดทอนของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านแนวป่าชายเลนในภาคสนาม โดยมีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

- (1) การศึกษาจะดำเนินการในภาคสนามที่เป็นพื้นที่ป่าชายเลนจริง ณ ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี โดยพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ให้ความสนใจเป็นลำดับแรก คือ ต้นแสม (Avicennia) เนื่องจากต้นแสมถือเป็นพวกไม้เบิกนำ โตเร็ว อัตราการรอดตายสูง เหมาะใช้เป็นแนวหน้าในการกำบังคลื่น ส่วนพันธุ์ไม้อื่นๆ เช่น ลำพู (Sonneratia) หรือ โกงกาง (Rhizophora) จะให้ความสนใจในลำดับรองลงมา
- (2) คลื่นที่ให้ความสนใจ คือ คลื่นลมตามฤดูกาล ไม่รวมถึงคลื่นที่เกิดในช่วงที่มีพายุ และจะเน้นทำการวัดการลดทอนของคลื่นในทิศทางการเคลื่อนของคลื่น ความสูงของคลื่นจะถูกวัดด้วยเครื่องวัดคลื่นแบบวัดความดัน ก่อนเข้าและหลังผ่านแนวป่าชายเลนที่ระยะทางต่างๆ กัน
- (3) ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ ไม่ว่าจะเป็น ลักษณะคลื่น ลักษณะพื้นดิน ลักษณะน้ำขึ้น-น้ำลง หรือลักษณะป่าชายเลน จะเป็นข้อมูลตามสภาพความเป็นจริงในภาคสนาม จะไม่มีการดัดแปลง เพิ่มเติม ปรับลด หรือกำหนดค่าใดๆ ทั้งสิ้น

1.4 ผลประโยชน์ที่จะได้รับ

ผลสำเร็จและผลประโยชน์ที่ได้รับและคาดว่าจะได้รับต่อไปสำหรับโครงการวิจัยนี้ คือ

- (1) เข้าใจพฤติกรรมของคลื่นลมที่เคลื่อนตัวผ่านแนวป่าชายเลน ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการศึกษาอุทกพลศาสตร์บริเวณป่าชายเลน การตกตะกอนของตะกอนโคลน และระบบนิเวศวิทยาของป่าชายเลนต่อไป

- (2) เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การลดคลื่นกับพารามิเตอร์ที่สนใจ เช่น ระดับความลึกของน้ำ ความชันของคลื่น ความหนาแน่นของต้นไม้ป่าชายเลน เป็นต้น ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการเข้าใจศักยภาพการป้องกันชายฝั่งของป่าชายเลน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในมาตราปลูกป่าชายเลนเพื่อเป็นแนวป้องกันชายฝั่งทะเลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

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

ในบทนี้จะนำเสนอความรู้ความเข้าใจที่ได้จากการศึกษาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน เริ่มจากความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับป่าชายเลน โดยเฉพาะอย่างยิ่งป่าชายเลนในประเทศไทย เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกการลดทอนของคลื่นและการศึกษาการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน ตามด้วยผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่น



รูปที่ 2.1 ป่าชายเลนบริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลน เพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดชลบุรี

2.1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับป่าชายเลน

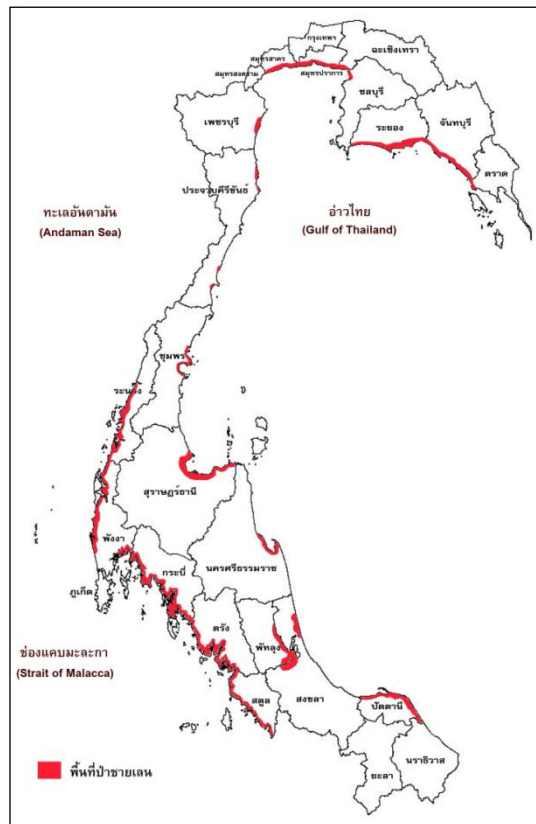
ป่าชายเลน (Mangroves) เป็นป่าไม้ไม่ผลัดใบ (Evergreen forest) ที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งเป็นแนวเขตระหว่างแผ่นดินกับทะเลในเขตโซนร้อน (Tropics) หรือเขตกึ่งโซนร้อน (Subtropics) สามารถทนอยู่ในสภาวะที่น้ำขึ้น-น้ำลงได้ เมื่อน้ำขึ้น รากและลำต้นบางส่วนของต้นไม้ป่าชายเลนจะจมอยู่ในน้ำ และไหลผ่านน้ำเมื่อน้ำลง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

ในป่าชายเลนมีพันธุ์ไม้แท้จริงจำนวนไม่มาก เพียง 67 ชนิด จาก 16 วงศ์ (Field, 1995) ซึ่งเกือบทั้งหมดเป็นไม้ที่มีความสูงปานกลางและไม้พุ่ม ในประเทศไทยมีพันธุ์ไม้ป่าชายเลน 40 ชนิด จาก 14 วงศ์ และประมาณครึ่งหนึ่งของไม้ต้นและไม้พุ่มที่เป็นพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจากวงศ์ที่สำคัญเพียง 3 วงศ์เท่านั้น (Bunyavejchewin & Buasalee, 2011) คือ วงศ์เหียงอกปลาหมอ (Acanthaceae) 6 ชนิด ได้แก่ แสมขาว (*Avicennia alba*) แสมดำ (*Avicennia officinalis*) แสมขน (*Avicennia lanata*) แสมทะเล (*Avicennia marina*) เหียงอกปลาหมอดอกขาว (*Acanthus ebracteatus*) และเหียงอกปลาหมอดอกม่วง (*Acanthus ilicifolius*) วงศ์ไม้โกงกาง (Rhizophoraceae) 10 ชนิด ได้แก่ โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) โกงกางใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) พังกาหัวสุมดอกขาว (*Bruguiera sexangula*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) พังกาหัวสุมดอกช่อ (*Bruguiera hainesii*) ถั่วขาว (*Bruguiera cylindrical*) ถั่วดำ (*Bruguiera parviflora*) โปรงขาว (*Ceriops decandra*) โปรงแดง (*Ceriops tagal*) และรังกะแท้ (*Kandelia candel*) และวงศ์ไม้ตะแบก (Lythaceae) 5 ชนิด ได้แก่ ลำพู (*Sonneratia caseolaris*) ลำแพน (*Sonneratia ovata*) ลำแพนทะเล (*Sonneratia alba*) ลำแพนหิน (*Sonneratia griffithii*) และเทียนทะเล (*Pemphis acidula*)

ทั่วโลกมีพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 105 ล้านไร่ โดยประเทศอินโดนีเซียมีพื้นที่ป่าชายเลนมากที่สุด ประมาณ 26 ล้านไร่ รองลงมาคือประเทศบราซิล ประมาณ 15 ล้านไร่ และประเทศออสเตรเลียประมาณ 7 ล้านไร่ ส่วนประเทศไทยมีพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 1.4 ล้านไร่ (Bunyavejchewin & Buasalee, 2011) กระจายตามชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคใต้ ดังรูปที่ 2.2 และตารางที่ 2.1

ระบบรากเป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน รากจะมีรูปร่างประหลาด บางส่วนไหลผ่านดินขึ้นมา มีการพัฒนาโลกให้สามารถดูดธาตุอาหาร น้ำ หายใจ ยึดและค้ำยันในดินเลนได้เป็นอย่างดี ระบบรากสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม (รูปที่ 2.3) คือ [1] กลุ่มรากค้ำยัน (Prop roots) เช่น พวกสกุลโกงกาง [2] กลุ่มรากหายใจ (Pneumatophore) เช่น พวกสกุลแสม และจะมีกลุ่มรากรูปหัวเข่าเป็นกลุ่มย่อย เช่น พวกสกุลพังกาหัวสุม และพวกตะบูนดำ (*Xylocarpus moluccensis*) [3] กลุ่มรากพูกอน (Buttress roots) เช่น พวกตะบูนขาว (*Xylocarpus granatum*) ระบบรากที่ซับซ้อน ยึดแน่น ค้ำ

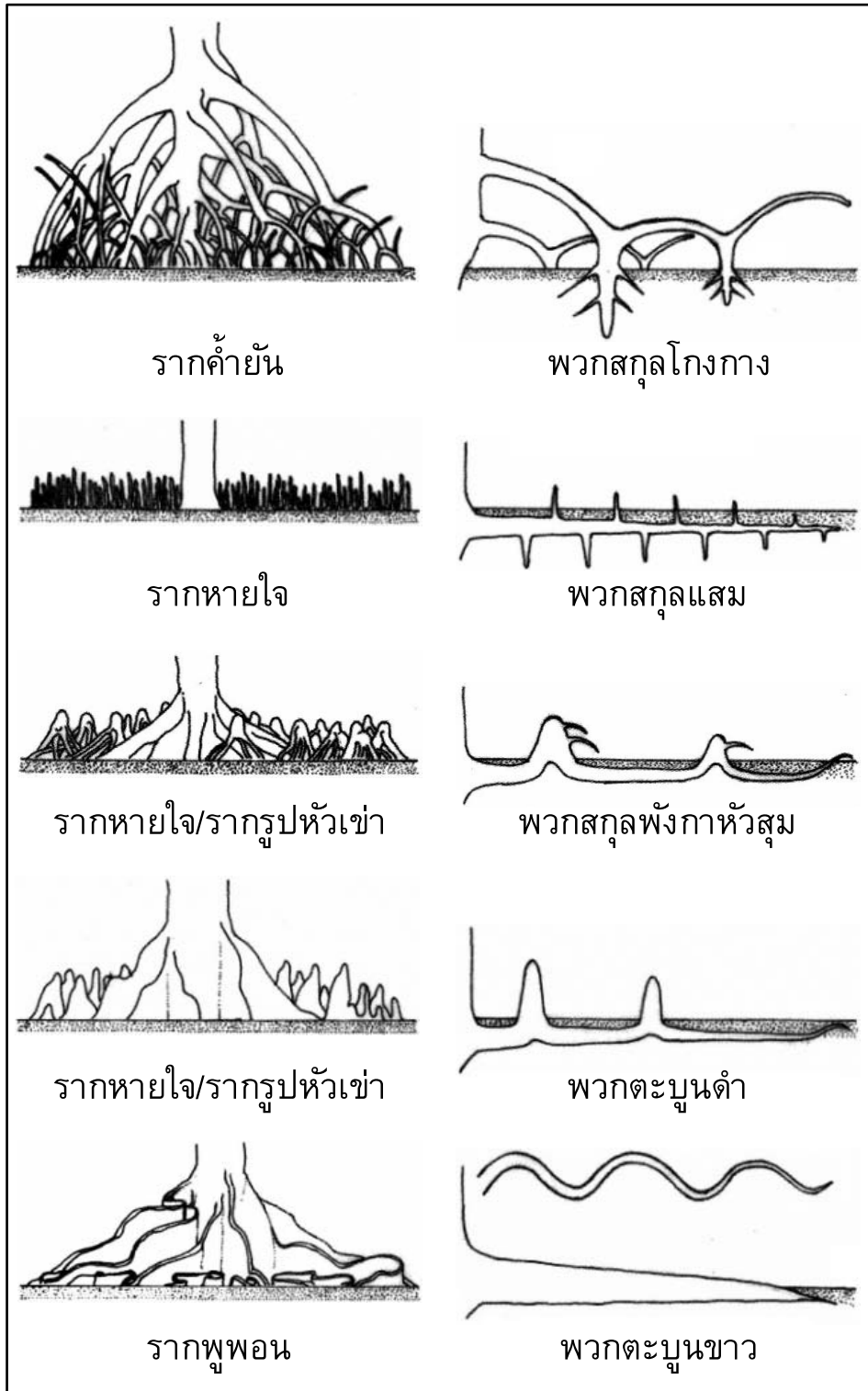
ยัน และไหล่พื้นผิวดินของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนเช่นนี้ เป็นกลไกสำคัญประการหนึ่งในกระบวนการลดทอนของ คลื่นในป่าชายเลนซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 2.2 พื้นที่ป่าชายเลนตามจังหวัดชายฝั่งทะเลในประเทศไทย (Aksornkoae et al., 2002)

ตารางที่ 2.1 พื้นที่ป่าชายเลนของประเทศไทยแบ่งตามภาค (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง)

ภาค	พ.ศ. 2518 (ไร่)	พ.ศ. 2529 (ไร่)	พ.ศ. 2539 (ไร่)	พ.ศ. 2547 (ไร่)
กลาง	228,125	195,200	34,057	49,976
ตะวันออก	306,250	174,879	79,113	152,274
ใต้ฝั่งตะวันออก	221,875	122,772	103,571	170,922
ใต้ฝั่งตะวันตก	1,198,125	923,674	830,650	1,085,026
รวม	1,954,375	1,416,525	1,047,391	1,458,174



รูปที่ 2.3 ระบบรากของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน
 [ดัดแปลงจาก (Bunyavejchewin & Buasalee, 2011, Tomlinson, 1986)]

2.2. กลไกการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน

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

กลไกการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก (ดูรูปที่ 2.4 ประกอบ) ได้แก่

(1) พลังงานคลื่นถูกสลายด้วยแรงต้านเนื่องจากลำต้นและราก

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

(2) พลังงานคลื่นถูกสลายด้วยแรงเสียดทานที่พื้น

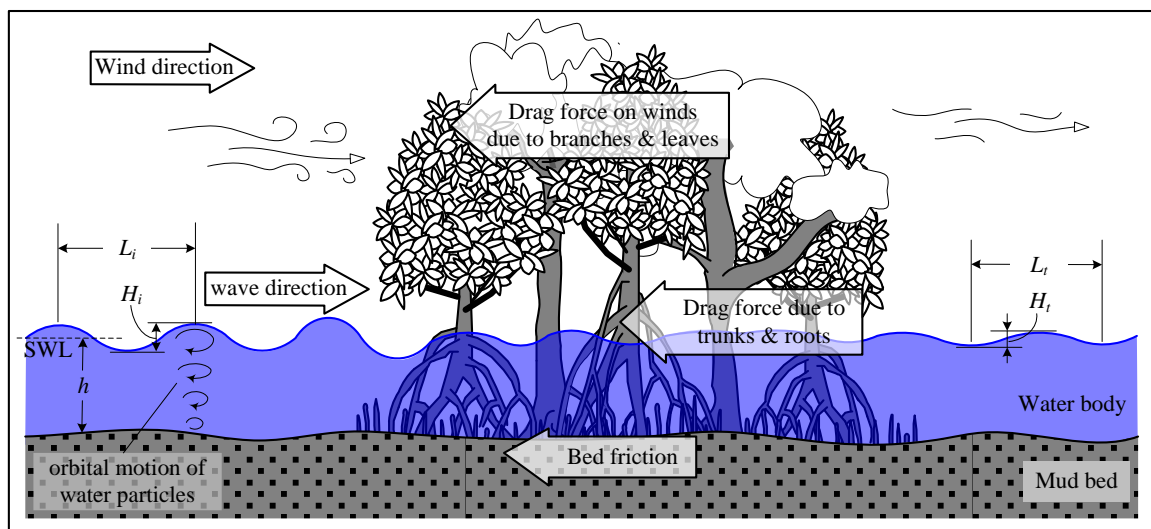
พื้นดินบริเวณป่าชายเลนมีลักษณะเป็นพื้นดินเลนหรือพื้นดินโคลน (Mud bed) เป็นแนวที่รากของต้นไม้ป่าชายเลนแบบต่างๆ เช่น รากค้ำยัน และรากพูพอน ยึดกับแผ่นดิน และยังเป็นแนวที่รากหายใจโผล่ขึ้นมาจากพื้นสู่ชั้นน้ำด้วย (รูปที่ 2.3) ด้วยระบบรากที่ซับซ้อนและมีจำนวนมากทั่วทั้งพื้นที่ป่าชายเลนเช่นนี้ ทำให้บริเวณพื้นของป่าชายเลนมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน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

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

(3) แรงลมเสริมถูกกีดขวางด้วยกิ่งก้านและใบ

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

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



รูปที่ 2.4 แผนภาพกลไกการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน

2.3. การศึกษาการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน

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

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

2.3.1 การศึกษาภาคสนาม

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

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

ข้อดีของการทดลองในภาคสนาม คือ การได้เห็นพฤติกรรมของคลื่นที่ถูกสลายพลังงานในพื้นที่และภายใต้สภาพแวดล้อมจริง ส่วนข้อเสีย คือ การไม่สามารถกำหนดตัวแปรต้น เช่น ความหนาแน่นของ

ต้นไม้ ลักษณะของคลื่น ได้ ทำให้ข้อมูลหรือผลการศึกษาที่ได้จะเชื่อถือได้เฉพาะในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น การนำผลการศึกษาไปใช้ยังพื้นที่อื่นต้องกระทำอย่างระมัดระวัง

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

2.3.2. การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

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

ข้อจำกัดประการหนึ่งของการศึกษาในห้องปฏิบัติการ คือ มาตรฐาน เนื่องจากแบบจำลองในห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องถูกย่อส่วนให้มีขนาดเล็กลงทำให้อาจจะมีผลคลาดเคลื่อนในกระบวนการที่เกิดขึ้นกับขนาดจริงได้ สำหรับข้อดีของการศึกษาแบบนี้ คือ ผู้ศึกษาสามารถกำหนดหรือจำลองลักษณะหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ตามความต้องการ เช่น ลักษณะคลื่น รูปลักษณะของต้นไม้ ความหนาแน่นของต้นไม้ เป็นต้น ในเรื่องของลักษณะของคลื่นก็สามารถจำลองได้หลายรูปแบบ ทั้งคลื่นลม (Dubi & Tørum, 1994, Løvås & Tørum, 2000) คลื่นพายุซัดฝั่ง (Tuyen & Hung., 2009) หรือ สึนามิ (Fernando et al., 2008) แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในห้องปฏิบัติการยังมีจำนวนไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอีกสองแบบ

2.3.3. การศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษากการสลายพลังงานของคลื่นเนื่องจากต้นไม้ชายฝั่งทะเลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เริ่มมากกว่าสามสิบปีแล้ว (Dalrymple et al., 1984, Kobayashi et al., 1993) การศึกษาหัวข้อนี้จะมีสองลักษณะ คือ (1) การศึกษาเฉพาะกระบวนการเปลี่ยนแปลงของคลื่น และ (2) การศึกษาอุทกพลศาสตร์

(Hydrodynamics) ของมวลน้ำทั้งหมด โดยการศึกษาทั้งสองลักษณะจะมีสมการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ สมการต่อเนื่อง หรือ สมการอนุรักษ์มวล (Continuity equation or mass conservation equation) สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum conservation equation) และสมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy conservation equation) (ดูเพิ่มเติม เช่น (Svendsen, 2006))

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

$$\frac{\partial EC_r}{\partial x} = -\varepsilon \quad (2.1)$$

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

สำหรับการศึกษาที่สนใจกระบวนการอุทก-พลศาสตร์ของมวลน้ำทั้งหมด จะพิจารณาทั้งในส่วน of คลื่นและการไหลของน้ำด้วย (Massel et al., 1999, Hadi et al., 2003, Liu et al., 2003, Vo-Luong & Massel, 2008, The SY et al., 2009) ในส่วนนี้สมการต่อเนื่องและสมการอนุรักษ์โมเมนตัมจะถูกหาผลเฉลยร่วมกัน โดยมีการจำลองแรงต้านเนื่องจากต้นไม้ในรูปของสัมประสิทธิ์การลาก (Drag coefficient) ในรูปแบบต่างๆ (Myrhaung et al., 2011) นอกจากการศึกษาอุทก-พลศาสตร์พื้นที่ชายฝั่งทะเลแล้ว ยังมีการจำลองภาวะน้ำท่วมเนื่องจากคลื่นยาวอย่างสันนิษฐานและผลการลดคลื่นเนื่องจากป่าชายเลนอีกด้วย (เช่น (Yanagisawa et al., 2009, Hirashi et al., 2003))

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

2.4. ศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่น

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

ศักยภาพในการลดพลังงานคลื่นของป่าชายเลนขึ้นกับปัจจัยหลายประการด้วยกัน เช่น ความหนาแน่นของต้นไม้ ขนาดลำต้นและราก ความกว้างของแนวป่าชายเลน ระดับน้ำในป่าชายเลนขณะนั้น และลักษณะของคลื่นที่เข้าปะทะ เป็นต้น การนำเสนอผลการลดคลื่นเนื่องจากป่าชายเลนมักจะแสดงเป็น (1) สัมประสิทธิ์การลดคลื่น (Wave reduction coefficient) คือ ร้อยละของความสูงคลื่นที่ลดลงเมื่อคลื่นผ่านป่าชายเลนเทียบกับความสูงคลื่นก่อนเคลื่อนที่เข้าป่าชายเลน ดังสมการที่ 2.2 และ (2) อัตราส่วนการลดคลื่น (Wave reduction ratio) คือ อัตราส่วนของความสูงคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านป่าชายเลนต่อความสูงคลื่นก่อนเคลื่อนที่เข้าป่าชายเลน ดังสมการที่ 2.3

สัมประสิทธิ์การลดคลื่น (R):

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

อัตราส่วนการลดคลื่น (R'):

$$R' = \frac{H_t}{H_i} \quad (2.3)$$

ตารางที่ 2.2 นำเสนอตัวอย่างของผลการลดคลื่นในรูปแบบของสัมประสิทธิ์การลดคลื่นที่มีการนำเสนอในการศึกษาที่ผ่านมา จากข้อมูลจะเห็นได้ชัดเจนว่า สัมประสิทธิ์การลดคลื่นมีช่วงที่กว้างมาก ตั้งแต่ 20% ถึง 90% แสดงว่า ผลการลดคลื่นที่ได้จากการศึกษาในแง่มุมต่างกันขึ้นกับเงื่อนไขของการศึกษานั้นๆ เป็นอย่างมาก การนำข้อมูลไปอ้างอิงจึงควรตรวจสอบเงื่อนไขของการศึกษานั้นอย่างละเอียดรอบคอบ

2.5. บทสรุป

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่สำคัญมาก เนื่องจากทำหน้าที่หลายประการ เช่น เป็นแหล่งที่อยู่และแหล่งอาหารของสิ่งมีชีวิตจำนวนมาก นอกจากนี้บทบาทที่สำคัญอีกประการหนึ่งของป่าชายเลน คือ ทำหน้าที่เป็นเกาะกักบังคลื่น ลม และกระแสน้ำบริเวณแนวชายฝั่งทะเล ช่วยสนับสนุนการตกตะกอนและลดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่ป่าชายเลนจะมีกลไกที่ทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ ทำให้พลังงานคลื่นค่อยๆ สลายตัวลง เป็นผลให้ความสูงของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านป่าชายเลนไปแล้วลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญ

การศึกษาการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลนเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ทำให้เข้าใจกระบวนการทางกายภาพและสามารถประมาณศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่น ซึ่งส่งผลให้การประยุกต์ใช้ป่าชายเลนเป็นเกาะกักบังชายฝั่งทะเลเป็นไปได้มีประสิทธิภาพ การศึกษาทั้งในภาคสนาม ในห้องปฏิบัติการและการศึกษาด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ต่างก็เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต้องการข้อมูลในการกำหนดหรือจำลองพารามิเตอร์จำนวนมาก ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะได้รับการทดลองในภาคสนามและ/หรือในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้แล้วข้อมูลจากภาคสนามและห้องปฏิบัติการถูกใช้ในการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองด้วย

ความเข้าใจและความสามารถในการประเมินศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่นเป็นสิ่งสำคัญในการสนับสนุนให้มีการอนุรักษ์หรือการฟื้นฟูป่าชายเลนเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นแนวป้องกันชายฝั่งทะเลอย่างยั่งยืนต่อไป

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การลดคลื่น R (เรียงลำดับตามค่า R)

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

หมายเหตุ

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

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษาและการเก็บข้อมูล

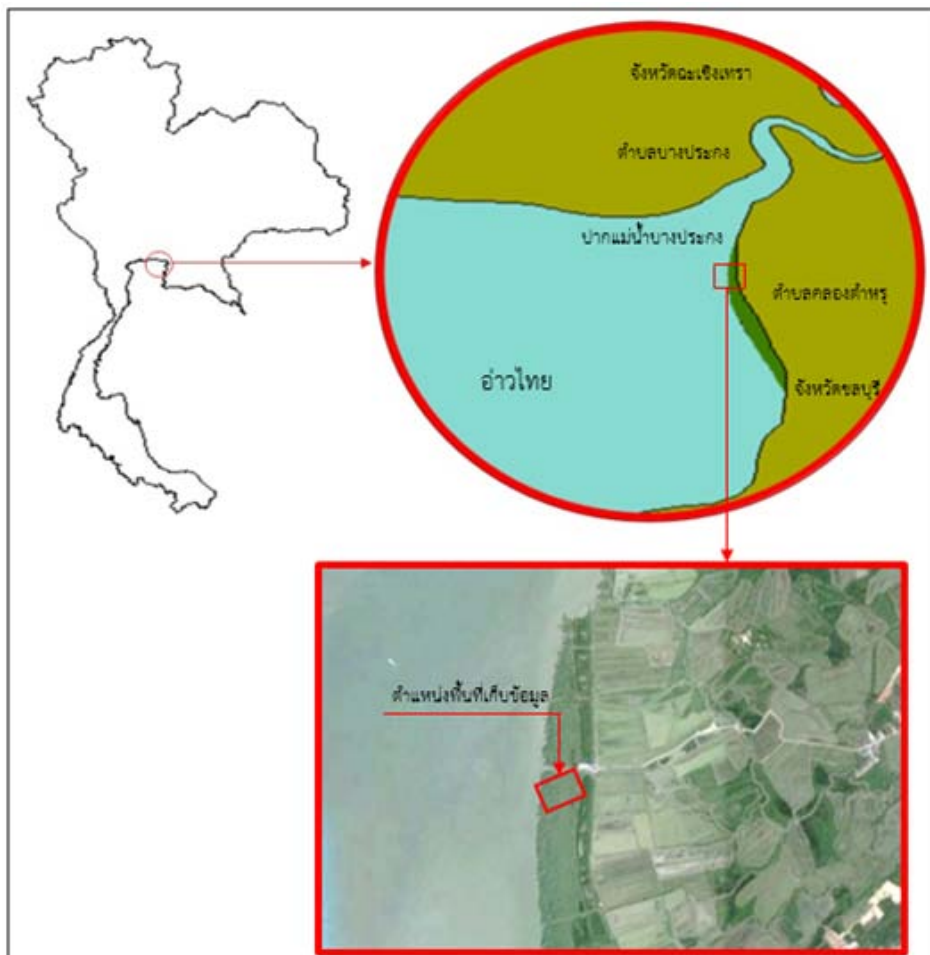
การศึกษาลักษณะของคลื่นในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดชลบุรี ได้มีการกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา คือ บริเวณป่าชายเลน ใกล้ปากแม่น้ำบางปะกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ดังรูปที่ 3.1 และ ทำการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลรายละเอียดของพื้นที่ป่าชายเลน โดยมีพื้นที่เก็บข้อมูลขนาดกว้าง 50 เมตร และยาว 100 เมตร ในทิศทางจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทิศตะวันออกเฉียงเหนือ รวมพื้นที่เก็บข้อมูลทั้งหมด 5000 ตารางเมตร เพื่อวัดคลื่นที่มาจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ดังรูปที่ 3.2 และในส่วนของแผนที่ภาพรวมของพื้นที่ศึกษา ได้แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 พื้นที่ศึกษา ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดชลบุรี



รูปที่ 3.2 พื้นที่เก็บข้อมูล



รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่เก็บข้อมูล

3.2 ช่วงเวลาเก็บข้อมูล

3.2.1 ช่วงเวลาเก็บข้อมูลคลื่นน้ำทะเล

การเก็บข้อมูลคลื่นน้ำทะเลควรทำการเก็บข้อมูลหลายๆครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลคลื่นน้ำทะเลที่มีความหลากหลาย

จากการเลือกช่วงเวลาทำงานติดตั้งอุปกรณ์การเก็บข้อมูลคลื่น ได้สรุปช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลคลื่นดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของช่วงเวลาติดตั้งและเก็บเครื่องวัดคลื่น

ครั้งที่	เวลาติดตั้ง		เวลาเก็บข้อมูล	
	วัน/เดือน/ปี	เวลา	วัน/เดือน/ปี	เวลา
1	6/10/2557	09:00	8/10/2557	12:00
2	28/11/2557	06:00	30/11/2557	06:00
3	21/4/2558	11:00	23/4/2558	11:00

การเลือกวันและเวลาเพื่อติดตั้งอุปกรณ์การเก็บข้อมูลคลื่นน้ำทะเล จำเป็นต้องมีการศึกษาตารางน้ำขึ้น-น้ำลงดังรูปที่ 3.4 จนถึง รูปที่ 3.8

ตุลาคม ๒๕๕๗		October 2014																							
วันที่	เวลา	HOURS																							
DATE		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
		HEIGHTS OF WATER IN METERS																							
6		1.9	2.0	2.1	2.1	2.0	1.8	1.5	1.2	1.0	0.9	0.9	1.1	1.5	1.9	2.4	2.7	2.8	2.8	2.7	2.4	2.1	1.8	1.5	1.4
7		1.5	1.8	2.1	2.3	2.4	2.3	2.1	1.7	1.4	1.1	1.0	0.9	1.2	1.6	2.1	2.5	2.8	2.8	2.8	2.5	2.2	1.8	1.5	1.2
8	☉	1.2	1.4	1.8	2.2	2.5	2.6	2.5	2.3	1.9	1.5	1.2	1.1	1.1	1.3	1.8	2.2	2.6	2.8	2.8	2.6	2.2	1.8	1.5	1.2
สูงของน้ำทำนายเป็นเมตรเหนือระดับน้ำลงต่ำที่สุด		HEIGHTS OF WATER PREDICTED IN METERS ABOVE THE LOWEST LOW WATER																							
		คำนวณโดย กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ																							

รูปที่ 3.4 ตารางน้ำขึ้น-น้ำลง ปากแม่น้ำบางปะกง เดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2557

พฤศจิกายน ๒๕๕๗													November 2014											
วันที่ DATE	เวลา HOURS												HEIGHTS OF WATER IN METERS											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	สูงของน้ำเป็นเมตร																							
28	1.1	0.9	0.7	0.6	0.7	1.0	1.5	2.1	2.7	3.0	3.1	3.1	3.0	2.7	2.4	2.3	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.4	2.1	1.8
29 ☾	1.5	1.2	0.9	0.8	0.8	0.9	1.3	1.8	2.3	2.7	3.0	3.1	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.2	2.0
30	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0	1.2	1.6	2.0	2.4	2.7	2.9	2.9	2.9	2.7	2.4	2.2	2.0	1.9	1.9	1.9	2.0	2.1	2.0
สูงของน้ำทำนายเป็นเมตรเหนือระดับน้ำต่ำที่สุด													HEIGHTS OF WATER PREDICTED IN METERS ABOVE THE LOWEST LOW WATER											
													คำนวณโดย กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ											

รูปที่ 3.5 ตารางน้ำขึ้น-น้ำลง ปากแม่น้ำบางปะกง เดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2557

มกราคม ๒๕๕๘													January 2015											
วันที่ DATE	เวลา HOURS												HEIGHTS OF WATER IN METERS											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	สูงของน้ำเป็นเมตร																							
28	2.1	1.9	1.8	1.7	1.7	1.8	2.1	2.4	2.7	2.8	2.8	2.7	2.4	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.3	1.5	1.8	2.0	2.1
สูงของน้ำทำนายเป็นเมตรเหนือระดับน้ำต่ำที่สุด													HEIGHTS OF WATER PREDICTED IN METERS ABOVE THE LOWEST LOW WATER											
													คำนวณโดย กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ											

รูปที่ 3.6 ตารางน้ำขึ้น-น้ำลง ปากแม่น้ำบางปะกง เดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2558

กุมภาพันธ์ ๒๕๕๘													February 2015											
วันที่ DATE	เวลา HOURS												HEIGHTS OF WATER IN METERS											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	สูงของน้ำเป็นเมตร																							
4 ○	0.6	0.6	1.0	1.6	2.2	2.7	3.0	3.0	2.9	2.6	2.3	2.1	2.0	1.9	2.0	2.3	2.5	2.6	2.5	2.3	1.9	1.5	1.1	0.9
11	1.8	1.6	1.4	1.4	1.5	1.8	2.2	2.5	2.7	2.8	2.6	2.4	2.0	1.7	1.4	1.2	1.1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.3	2.1
สูงของน้ำทำนายเป็นเมตรเหนือระดับน้ำต่ำที่สุด													HEIGHTS OF WATER PREDICTED IN METERS ABOVE THE LOWEST LOW WATER											
													คำนวณโดย กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ											

รูปที่ 3.7 ตารางน้ำขึ้น-น้ำลง ปากแม่น้ำบางปะกง เดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2558

เมษายน ๒๕๕๘													April 2015											
วันที่ DATE	เวลา HOURS												สูงของน้ำเป็นเมตร HEIGHTS OF WATER IN METERS											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
21	1.8	1.6	1.6	1.9	2.2	2.5	2.6	2.5	2.2	1.8	1.4	1.1	0.9	0.7	0.6	0.7	1.3	1.9	2.5	2.9	3.0	3.0	2.7	2.3
22	2.0	1.9	1.8	1.9	2.1	2.4	2.6	2.6	2.3	2.0	1.6	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5	0.9	1.5	2.2	2.7	2.9	3.0	2.9	2.6
23	2.3	2.0	1.9	1.9	2.0	2.3	2.5	2.6	2.4	2.1	1.8	1.4	1.0	0.8	0.6	0.5	0.6	1.1	1.7	2.3	2.7	2.9	2.9	2.8

สูงของน้ำทำนายเป็นเมตรเหนือระดับน้ำต่ำที่สุด HEIGHTS OF WATER PREDICTED IN METERS ABOVE THE LOWEST LOW WATER
 จำนวนโดย กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

รูปที่ 3.8 ตารางน้ำขึ้น-น้ำลง ปากแม่น้ำบางปะกง เดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2558

จากรูปที่ 3.4 จนถึง รูปที่ 3.8 ได้แสดงตารางการทำนายความสูงของคลื่นน้ำทะเลแบบรายชั่วโมง โดยวิธีคำนวณจาก กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ มีหน่วยความสูงของระดับน้ำทะเล คือ เมตร

หากค่าความสูงของระดับน้ำในรูปที่ 3.4 จนถึง รูปที่ 3.8 มีค่าต่ำกว่า 1.5 เมตร แสดงว่าระดับน้ำทะเลจะต่ำกว่าระดับของพื้นที่เก็บข้อมูล ซึ่งทำให้สามารถทำงานในพื้นที่ได้

3.2.2 ช่วงเวลาเก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน

การเลือกช่วงเวลาเก็บข้อมูลป่าชายเลน สามารถเลือกทำช่วงเวลาใดก็ได้ ที่พื้นที่ศึกษาสามารถทำงานได้ โดยเลือกช่วงเวลาทำงานจากตารางน้ำขึ้นน้ำลงแล้ว ได้สรุปไว้ใน ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของช่วง วัน/เดือน/ปี ที่ใช้เก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน

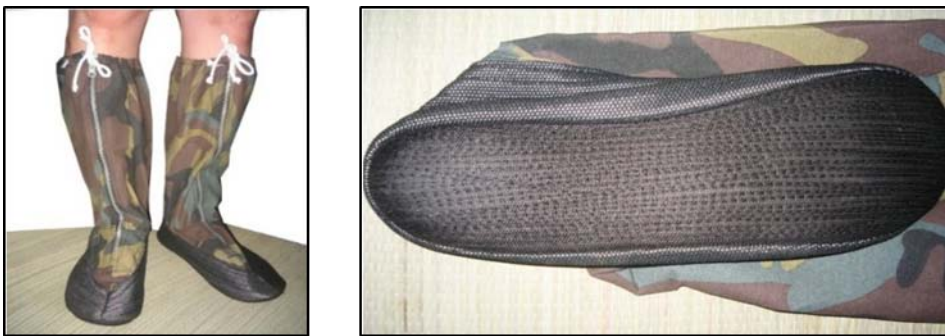
ครั้งที่	รายการเก็บข้อมูล	วัน/เดือน/ปี
1	ความหนาแน่นของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา	28/1/2558
2	ความหนาแน่นของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา	4/2/2558
3	ความหนาแน่นของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา	11/2/2558
4	ค่าระดับดินในพื้นที่ศึกษา	21/4/2558

3.3 การเก็บข้อมูลคลื่น

การเก็บข้อมูลคลื่น จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ เครื่องมือ และ วิธีการดังต่อไปนี้

3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บข้อมูลคลื่น

- รองเท้าบูทผ้า (รองเท้านินจา) ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 รองเท้าบูทผ้า

- เครื่องระบุตำแหน่ง (GPS).ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องระบุตำแหน่ง

-เครื่องวัดคลื่นแบบวัดความดัน ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดคลื่นแบบวัดความดัน

การเก็บข้อมูลคลื่น ทำโดยติดตั้งเครื่องวัดคลื่นแบบวัดความดัน จำนวน 3 เครื่อง บนหลักไม้ไผ่ ในตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งระยะห่างระหว่างเครื่องวัดคลื่นทั้ง 3 เครื่อง คือ 50 เมตร โดยแสดงช่วงเวลาติดตั้งเครื่องวัดคลื่น กับ ช่วงเวลาเก็บกู้ ดังตารางที่ 3.1

3.4 การเก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน

ป่าชายเลนเป็นปัจจัยหลักของการศึกษา ซึ่งมีอุปกรณ์ เครื่องมือ และ วิธีการเก็บข้อมูล ดังนี้

3.4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน

-รองเท้าบูทผ้า (รองเท้านินจา) ดังรูปที่ 3.9

-เครื่องระบุตำแหน่ง (GPS) ดังรูปที่ 3.10

-ตลับเมตรดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12.ตลับเมตร

-เทปวัดระยะ.ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เทปวัดระยะ

-หลักไม้ไผ่ยาว 1-2 เมตรดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 หลักไม้ไผ่

3.4.2 วิธีการเก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน

การเก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน คือ ค่าความหนาแน่นของต้นไม้ในพื้นที่ และ ค่าระดับดิน ซึ่งมีวิธีการดังนี้

3.4.2.1 วิธีเก็บข้อมูล ความหนาแน่นของต้นไม้ ในพื้นที่ศึกษา

(1) ทำการกำหนดพื้นที่เก็บข้อมูล โดยวัดระยะทางให้ตั้งฉากกับแนวติดตั้งเครื่องวัดคลื่นด้วยเข็มทิศ ดังรูปที่ 3.15 โดยให้มีระยะทาง 25 เมตร จากแนวติดตั้งเครื่องวัดคลื่น ทั้งด้านซ้าย และ ด้านขวา จะได้พื้นที่ศึกษา กว้าง 50 เมตร แล้วปักหลักไม้ให้เห็นชัดเจนดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.15 การวางแนวพื้นที่เก็บข้อมูลด้วยเข็มทิศ และ หลักไม้ผูกเชือก






รูปที่ 3.16 การกำหนดพื้นที่เก็บข้อมูลด้วยเข็มทิศ และ หลักไม้ผูกเชือก

การหาขอบเขตพื้นที่เก็บข้อมูล สามารถสรุปภาพ การกำหนดขอบเขตพื้นที่การเก็บข้อมูลดัง
รูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ขอบเขตและขนาดของพื้นที่เก็บข้อมูล

*หมายเหตุ รายละเอียด สัญลักษณ์ของ รูปที่ 3.17

ลูกศรสีฟ้า  หมายถึง ทิศทางของคลื่นทะเล ที่คาดว่าจะพัดเข้าหาพื้นที่เก็บข้อมูล
 เส้นกรอบสีฟ้า  หมายถึง ขอบเขตพื้นที่เก็บข้อมูล กว้างรวม 50 เมตร ยาวรวม 100 เมตร
 เส้นสีเหลือง  หมายถึง แนวการติดตั้งเครื่องวัดคลื่น

(2) ทำการเดินสำรวจโดยการติดป้ายบอกเลข วัดเส้นรอบวงของลำต้นด้วยสายวัดเอว และกดเครื่อง GPS หาพิกัดของต้นไม้ ดังรูปที่ 3.18 และ จดบันทึก ตามแบบฟอร์ม ตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.18 การสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลรายละเอียดป่าชายเลน

Number	ชนิด			ขนาดเส้นรอบวง ของลำต้น cm.	พิกัด GPS	
	แสม	โกงกาง	อื่นๆ		ละติจูด (N)	ลองจิจูด (E)
1	√			112.5	13°26'37.1"	100°58'22.4"
2	√			94.5	13°26'34"	100°58'5.1"

(3) นำข้อมูลที่บ้านทีก มาวาดแผนที่ ดังรูปที่ 4.1

(4) หาความหนาแน่นของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา มีหน่วย คือ ต้นต่อตารางเมตร

การเลือกเก็บข้อมูล จะทำการเลือกเฉพาะต้นไม้ที่มีลักษณะลำต้นใหญ่กว่าขนาดกำมือ โดยประมาณ ถ้าลำต้นมีขนาดเล็กกว่าเงื่อนไขดังกล่าว จะไม่นำข้อมูลมาบันทึก

การหาความหนาแน่นของต้นไม้ เป็นการนับจำนวนต้นไม้ใน พื้นที่ (Zone) ที่ได้กำหนดไว้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การกำหนดพื้นที่ (Zone) เพื่อหาความหนาแน่นของต้นไม้

3.4.2.2 วิธีเก็บข้อมูล ค่าระดับดิน ในพื้นที่ศึกษา

เนื่องจากในพื้นที่ป่าชายเลนมีลักษณะพื้นดินเป็นดินเลน ไม่สามารถใช้วิธีการวัดค่าระดับตามหลักวิชาสำรวจได้ จึงต้องประยุกต์ใช้วิธีหาค่าระดับดังนี้

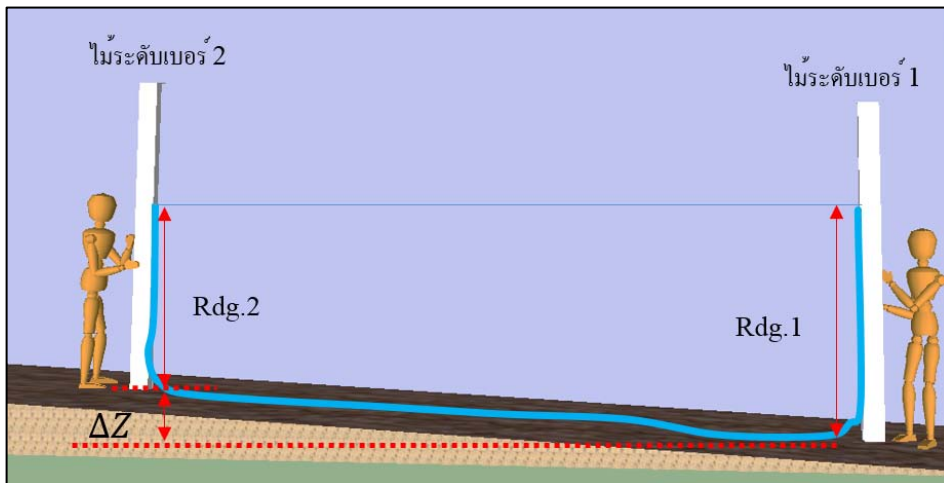
(1) กำหนดแนวเส้นทางการวัดค่าระดับ ให้ขนานใกล้เคียง กับ แนวการติดตั้งเครื่องวัดคลื่น

(2) ตั้งไม้ระดับเบอร์ 1 ตำแหน่งที่จุดเริ่มต้น และตั้งไม้ระดับเบอร์ 2 ที่ตำแหน่งถัดไปตามแนวเส้นทางการจากข้อ (1) ด้วยระยะทาง 3 เมตร ตามรูปที่ 3.11 แล้วอ่านค่าระดับน้ำที่ไม้ระดับเบอร์ 1 แล้วจดบันทึกเป็นค่า B.S จากนั้นอ่านค่าระดับน้ำที่ไม้ระดับเบอร์ 2 แล้วจดบันทึกเป็นค่า F.S โดยในการจดบันทึก ให้จดบันทึกในแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลดังตารางที่ 3.4

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

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

- (4) ทำการหาค่าระดับ จำนวน 3 Line ดังรูปที่ 3.21
- (5) นำค่าระดับดินที่ได้ ไปเขียนแบบระดับดิน (Profile Leveling)
- (6) นำค่าระดับที่ได้ ไปเขียนแบบ เส้นระดับความสูง (Contour Line)



รูปที่ 3.20 การวัดค่าระดับพื้นดินบริเวณพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 3.21 แนวเส้นทางการหาค่าระดับ

ตารางที่ 3.4 แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลค่าระดับ

Line 1					
ระยะทาง	ระยะทาง สะสม	ค่าระดับไม้หลัง (BS)	ค่าระดับไม้หน้า (FS)	FS-BS (ΔZ)	ค่าระดับ (Elevation)
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)

บทที่ 4

ผลการศึกษา

บทนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการศึกษา ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้ทำการศึกษาในพื้นที่เก็บข้อมูลบริเวณป่าชายเลนปากแม่น้ำบางปะกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ในบทความนี้ประกอบด้วยกันสามส่วนหลักซึ่งแต่ละส่วนมีความสำคัญต่างกันไป ส่วนแรกกล่าวถึงผลการสำรวจพื้นที่เก็บข้อมูลป่าชายเลน ส่วนที่สองกล่าวถึงผลการเก็บข้อมูลคลื่นที่เคลื่อนผ่านพื้นที่ศึกษา และส่วนที่สามกล่าวถึงการวิเคราะห์การลดทอนคลื่น

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

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

โดยที่

$R\%$ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น

H_i คือ ความสูงของคลื่นก่อนเข้าต้นโกงกาง (เซนติเมตร)

H_t คือ ความสูงของคลื่นหลังผ่านต้นโกงกาง (เซนติเมตร)

4.1 ผลการสำรวจพื้นที่เก็บข้อมูล

พื้นที่เก็บข้อมูลมีลักษณะเป็นป่าชายเลนใกล้ฝั่งทะเล มีความอุดมสมบูรณ์ทั้งสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต ดังนั้น ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึง รายละเอียดของพื้นที่เก็บข้อมูล ประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งจะรายงานผลของ ขนาดลำต้นของต้นไม้ และ ตำแหน่งของต้นไม้ทุกต้นในพื้นที่เก็บข้อมูล และส่วนที่สอง จะรายงานผลของ ค่าระดับของพื้นดินในพื้นที่เก็บข้อมูล ซึ่งสองส่วนนี้ คาดว่าจะทำให้เกิดพฤติกรรมของคลื่นและอาจเป็นปัจจัยให้เกิดการลดทอนคลื่น เมื่อคลื่นเคลื่อนผ่านพื้นที่เก็บข้อมูล

4.1.1 รายงานผลเรื่องรายละเอียดต้นไม้

ในพื้นที่ศึกษามีต้นไม้เพียงชนิดเดียวคือ ต้นแสม และ จากการสำรวจพื้นที่เก็บข้อมูล ทำให้ได้ข้อมูลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น จากการวัดเส้นรอบวงของลำต้น แล้วใช้สมการหาเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นของต้นไม้ ดังสมการที่ 4.2 โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของลำต้น ได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง แล้วหาค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางในแต่ละช่วง เพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละช่วง ดังตารางที่ 4.1 แสดงผลของรายละเอียดต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา

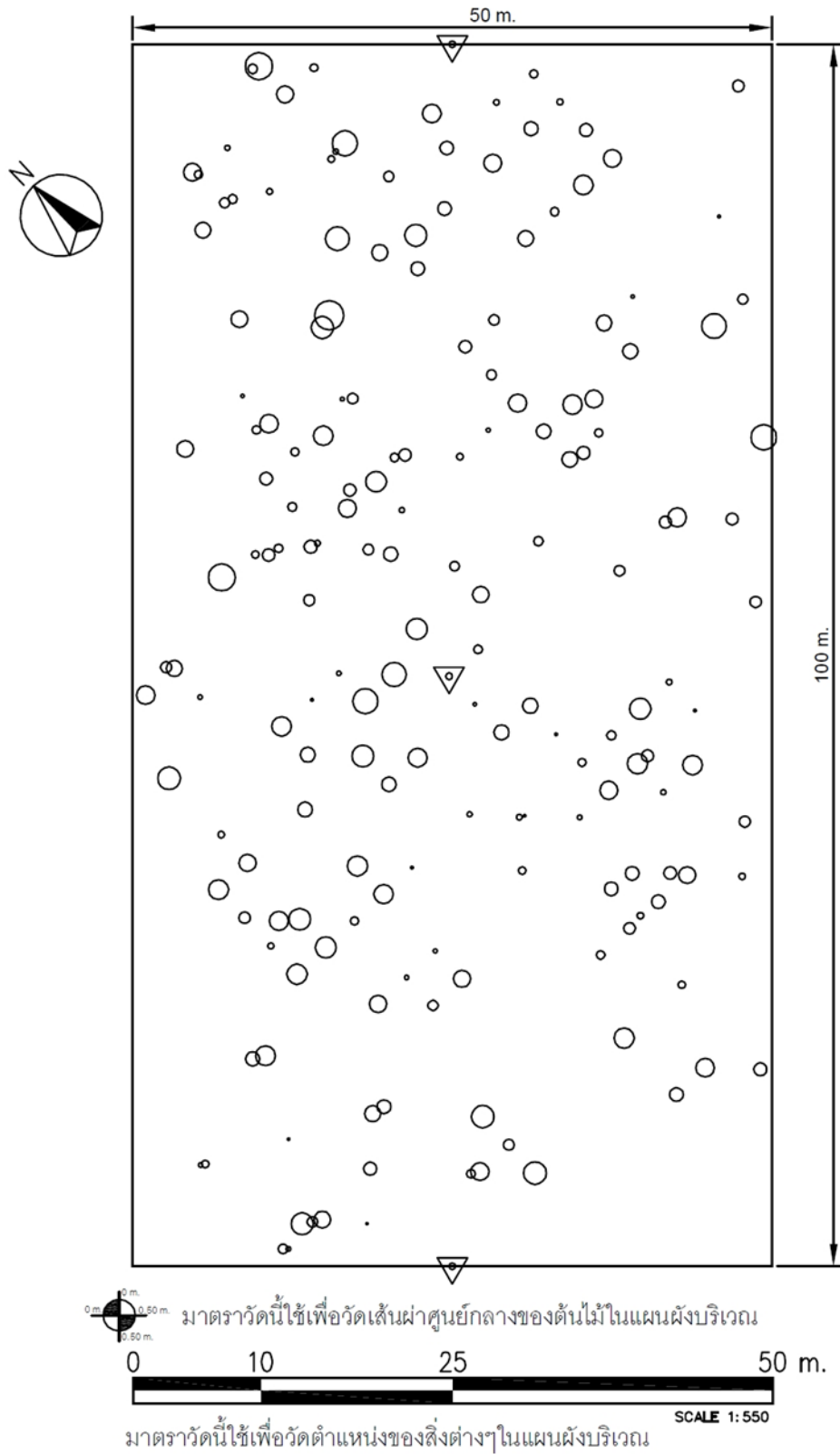
ตารางที่ 4.1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของลำต้นในพื้นที่เก็บข้อมูล

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น, d (cm)	ZONE 1	ZONE 2
0 cm. < d ≤ 20 cm. ($d_{avg} = 12$ cm)	39 ต้น	48 ต้น
20 cm. < d ≤ 40 cm. ($d_{avg} = 28.1$ cm)	43 ต้น	42 ต้น
d > 40cm. ($d_{avg} = 43.1$ cm)	-	3 ต้น
รวมจำนวนต้น	82 ต้น	93 ต้น

*. d_{avg} คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของต้นไม้ในพื้นที่เก็บข้อมูลทั้งหมด โดยนำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของต้นไม้ที่อยู่ในช่วงเงื่อนไขต่างๆมาหาค่าเฉลี่ย แล้วแยกจำนวนต้นไม้ตาม Zone ดังกล่าว

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลางของต้นไม้} = \frac{\text{เส้นรอบวงของต้นไม้}}{\pi} \quad (4.2)$$

ผลการเก็บข้อมูลตำแหน่งของต้นไม้ ด้วยเครื่องหาพิกัด (GPS) ซึ่งมีข้อมูลตั้งที่ระบุไว้ในภาคผนวก เมื่อนำค่าพิกัดที่ได้แปลงค่าพิกัด GPS เป็น ค่าพิกัด UTM แล้ว และ ค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น มาเขียนแผนผังบริเวณของพื้นที่เก็บข้อมูล เพื่อให้เห็นภาพรวมของพื้นที่เก็บข้อมูล ทำให้ได้แผนผังบริเวณดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนผังตำแหน่งต้นไม้ป่าชายเลนภายในบริเวณพื้นที่เก็บข้อมูล

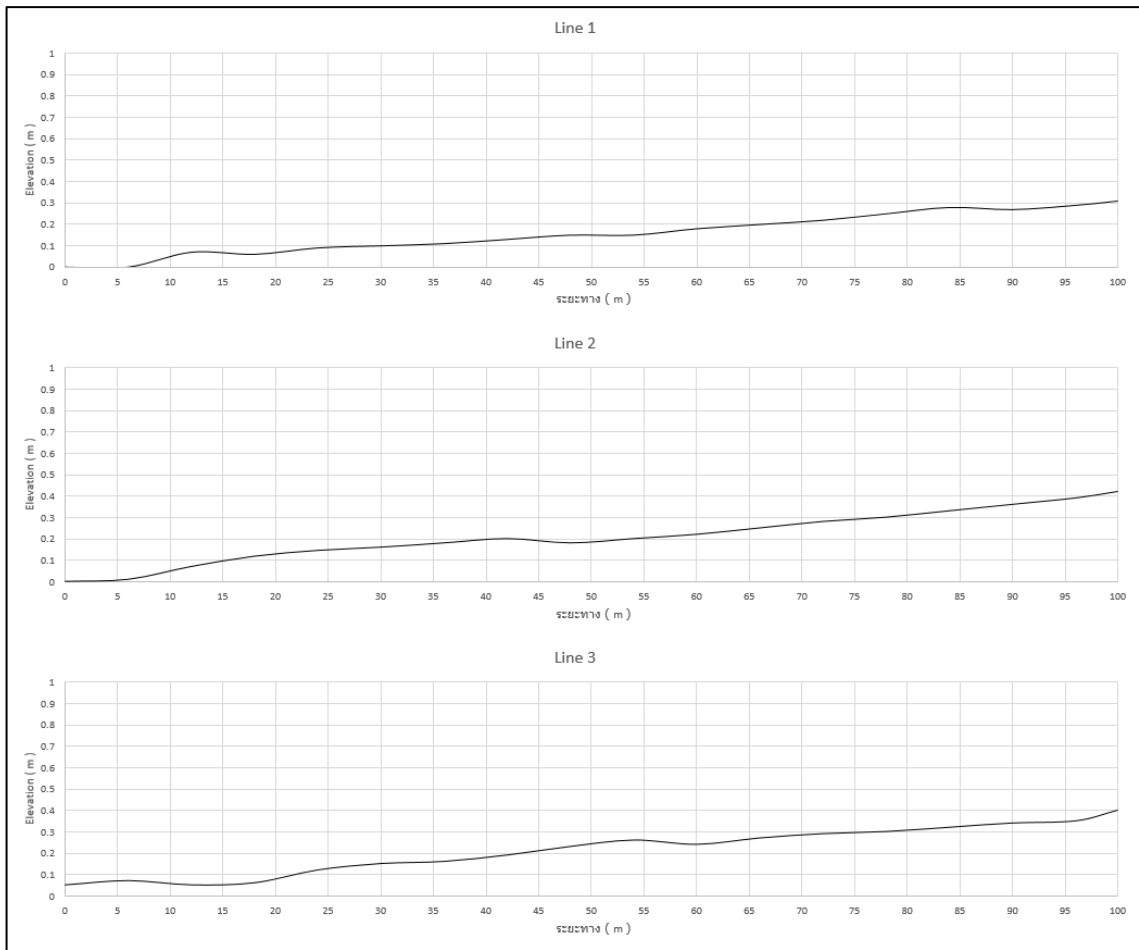
4.1.2 รายงานผลเรื่องค่าระดับของพื้นที่เก็บข้อมูล

พื้นที่เก็บข้อมูลมีลักษณะเป็นทางลาดลงทะเล ความต่างของค่าระดับในพื้นที่เก็บข้อมูลมีแสดง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความต่างของค่าระดับในพื้นที่เก็บข้อมูล

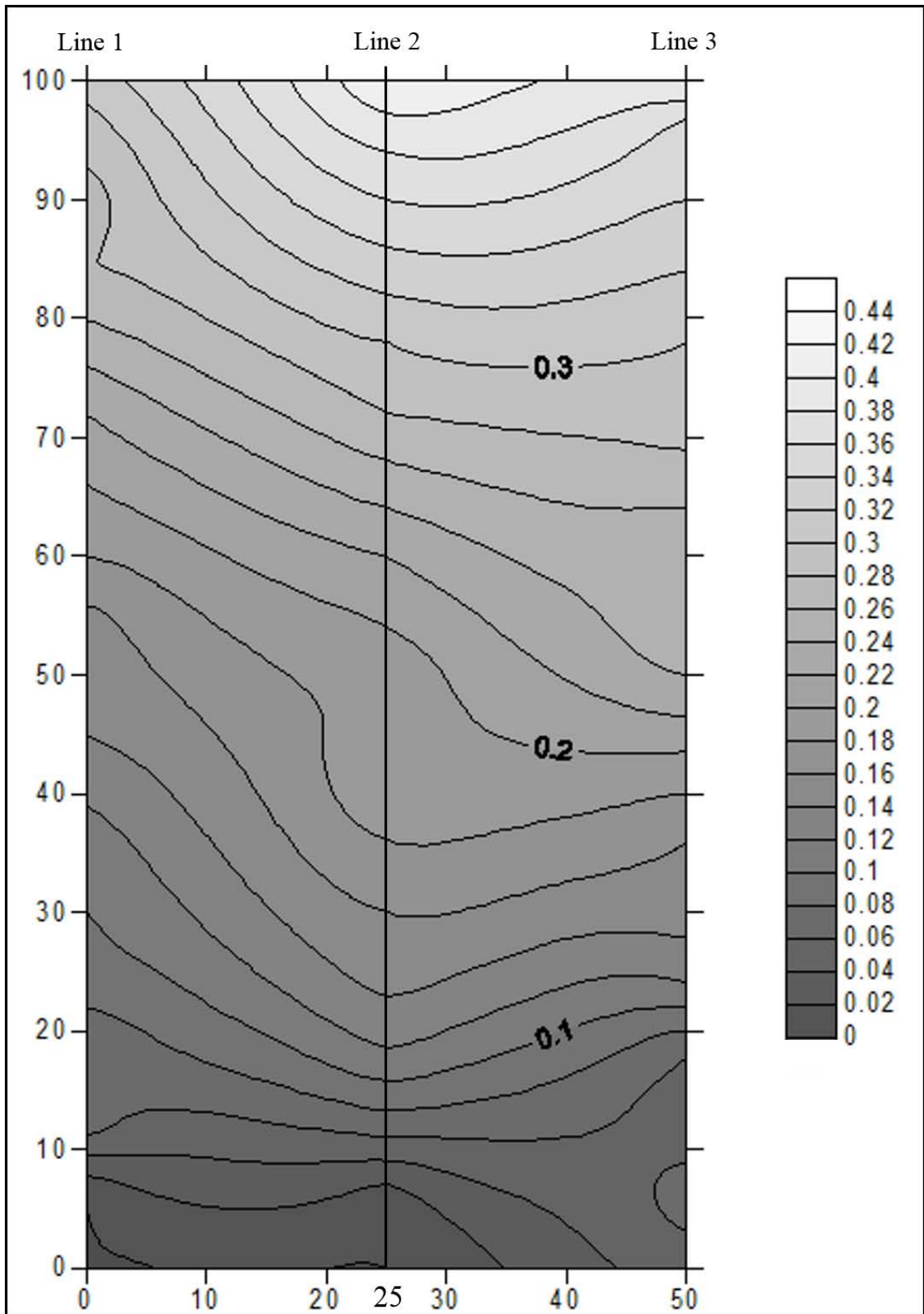
ระยะทางสะสม	Line			ระยะทางสะสม	Line		
	1	2	3		1	2	3
(m)	(m)			(m)	(m)		
0	0	0	0.05	54	0.15	0.20	0.26
6	0	0.01	0.07	60	0.18	0.22	0.24
12	0.07	0.07	0.05	66	0.20	0.25	0.27
18	0.06	0.118	0.06	72	0.22	0.28	0.29
24	0.09	0.145	0.12	78	0.25	0.30	0.3
30	0.10	0.16	0.15	84	0.28	0.33	0.32
36	0.11	0.18	0.16	90	0.27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

เมื่อนำค่าระดับในพื้นที่เก็บข้อมูลมาเขียน เส้นระดับตามแนวยาวของพื้นที่เก็บข้อมูล ทำให้ได้รูปภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับและระยะทาง (Profile Line) ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เส้นความสูงระดับพื้นดินตามแนวยาวของพื้นที่เก็บข้อมูล

จากข้อมูลค่าระดับกับระยะทางนำไปเขียนเส้นระดับความสูง (Contour Line) ทำให้ได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เส้นระดับความสูงของพื้นที่เก็บข้อมูล (Contour Line)

4.2 ผลการตรวจวัดคลื่น

การตรวจวัดคลื่นในป่าชายเลน ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการรายงานผลข้อมูลที่ได้มาจากการลงภาคสนาม ที่ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดคลื่นเพื่อเก็บข้อมูลคลื่น โดยเก็บข้อมูลจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 3 วัน ซึ่งการเก็บข้อมูลในแต่ละครั้งไปในช่วงเดือนที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ข้อมูลคลื่นที่หลากหลาย

4.2.1 ผลการตรวจวัดคลื่นแต่ละวัน

ผลที่ได้จากการตรวจวัดคลื่นจะแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของความดัน โดยเครื่องวัดคลื่นแบบวัดความดันทำหน้าที่เก็บข้อมูลคลื่นเมื่อระดับน้ำที่ผ่านเข้ามาโดยเปลี่ยนความดันที่วัดมาได้แปลงเป็นความสูงของระดับน้ำ โดยค่าความลึกของระดับน้ำที่ได้มานั้นนำมาหา ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เพื่อนำมาเป็นคำนวณหาค่าความสูงคลื่นในแต่ละเครื่องต่อไป

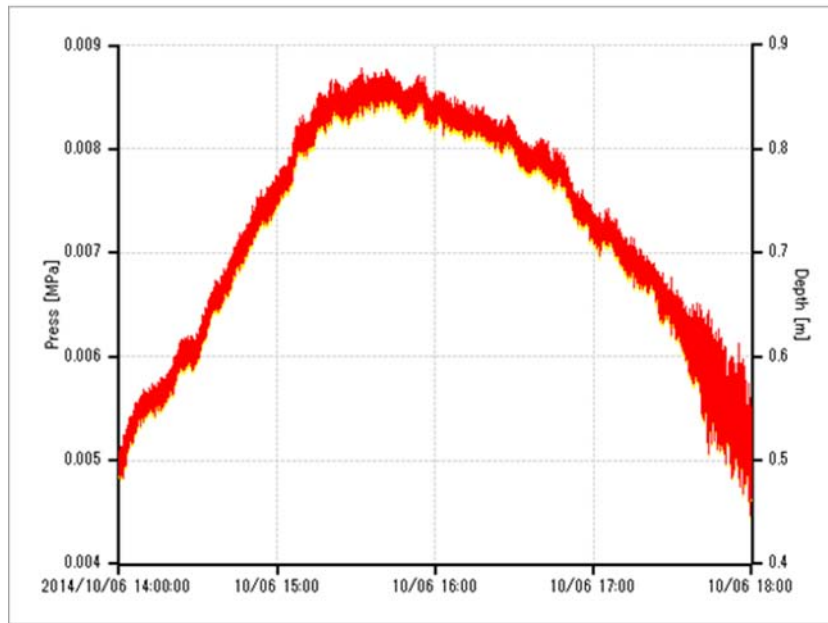
(1) ข้อมูลครั้งที่ 1 วันที่ 6 ตุลาคม 2557 แสดงข้อมูลคลื่นของ วันที่ 6 ตุลาคม 2557 ตั้งแต่เวลา 14.00 – 18.00 น. ซึ่งเวลาดังกล่าวที่พิจารณามีระดับน้ำสูงสุดของวัน ซึ่งอ้างอิงจากตารางน้ำ โดยพิจารณาความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในรายชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 6 ตุลาคม 2557

Measured Wave Height														
วันที่	เวลา	ชั่วโมงที่	Offshore				Middle				Onshore			
			σ	H	H _{1/3}	H _{1/10}	σ	H	H _{1/3}	H _{1/10}	σ	H	H _{1/3}	H _{1/10}
6/10/2557	14.00-18.00	1	0.07	0.19	0.30	0.38	0.07	0.18	0.29	0.37	-	-	-	-
		2	0.03	0.07	0.11	0.13	0.03	0.07	0.11	0.14	-	-	-	-
		3	0.03	0.08	0.13	0.16	0.03	0.08	0.13	0.16	-	-	-	-
		4	0.07	0.16	0.26	0.33	0.06	0.16	0.25	0.32	-	-	-	-
		รวม	0.11	0.27	0.43	0.55	0.11	0.26	0.42	0.54	-	-	-	-

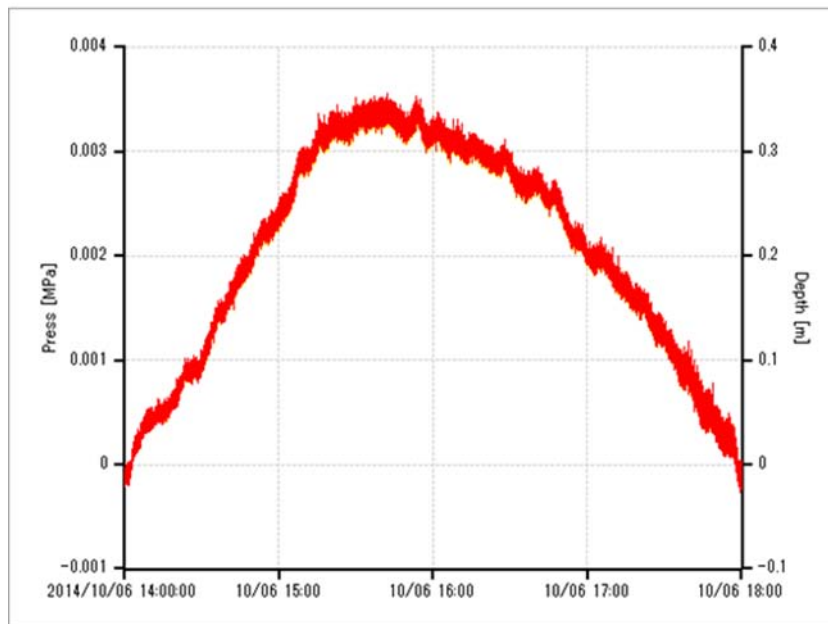
จากตารางที่ 4.3 สังเกตว่า เครื่องในสุด (Onshore) ไม่มีข้อมูล เนื่องจากระดับน้ำไม่ขึ้นมาถึงเครื่องในสุดจึงไม่มีข้อมูลในการพิจารณา โดยกราฟแสดงความสูงของระดับน้ำ วันที่ 6 ตุลาคม 2557 แสดงที่เวลา 14.00-18.00 น.แสดงดังรูปที่ 4.4

Offshore



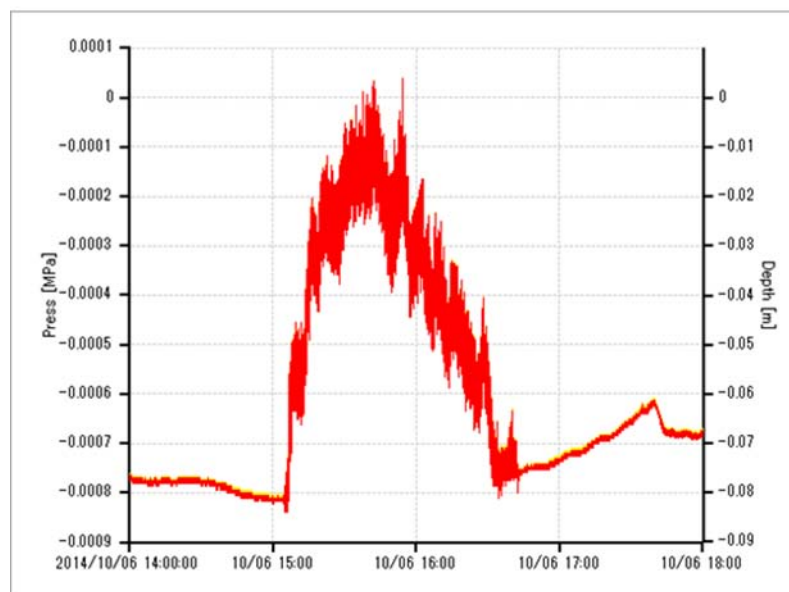
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 6 ตุลาคม 2557

Middle



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 6 ตุลาคม 2557

Onshore



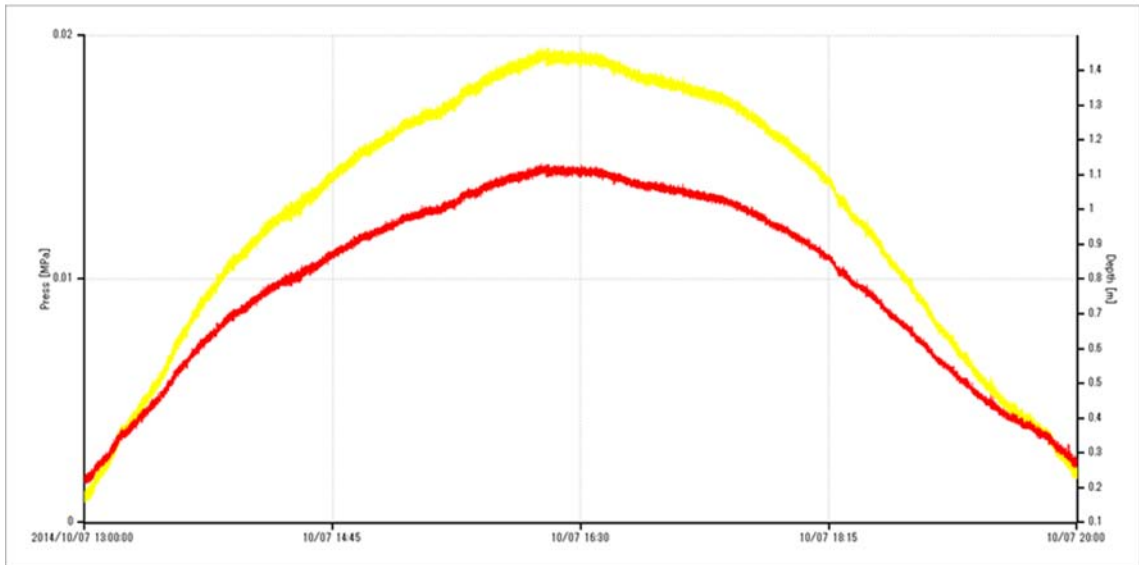
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 6 ตุลาคม 2557

(2) ข้อมูลครั้งที่ 1 วันที่ 7 ตุลาคม 2557 แสดงข้อมูลคลื่นของ วันที่ 7 ตุลาคม 2557 ตั้งแต่เวลา 13.00 – 20.00 น. ซึ่งเวลาดังกล่าวที่พิจารณามีระดับน้ำสูงสุดของวัน ซึ่งอ้างอิงจากตารางน้ำ โดยพิจารณาความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในรายชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 7 ตุลาคม 2557

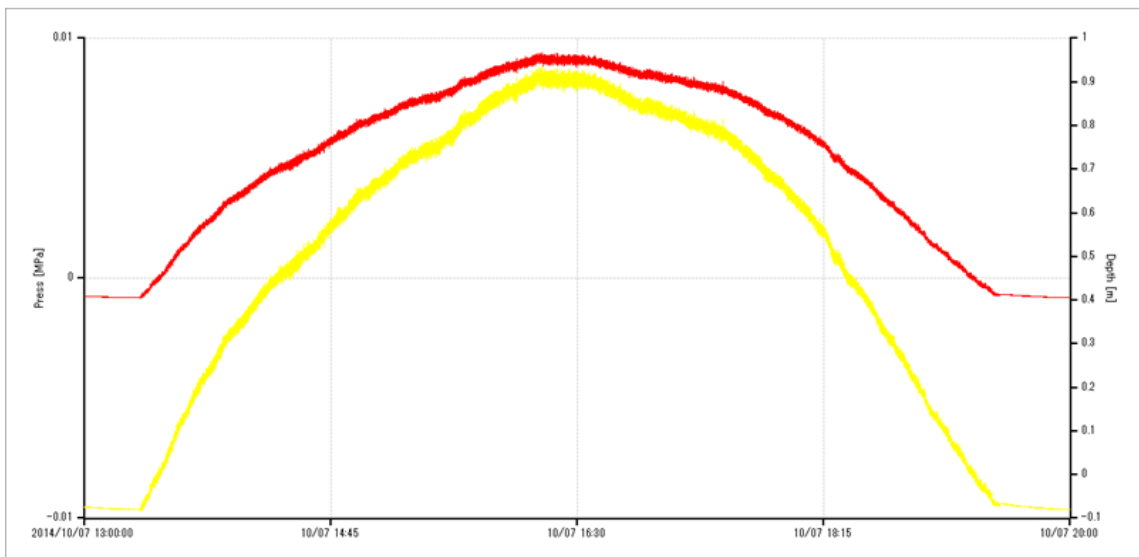
Measured Wave Height														
วันที่	เวลา	ชั่วโมงที่	Offshore				Middle				Onshore			
			σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$
7/10/2557	13.00-20.00	1	0.19	0.49	0.78	0.99	0.13	0.33	0.52	0.66	0.00	0.01	0.02	0.02
		2	0.10	0.25	0.39	0.50	0.10	0.24	0.39	0.50	0.09	0.24	0.38	0.48
		3	0.07	0.17	0.27	0.34	0.07	0.16	0.26	0.33	0.07	0.17	0.26	0.34
		4	0.02	0.05	0.09	0.11	0.02	0.05	0.09	0.11	0.02	0.05	0.09	0.11
		5	0.06	0.15	0.23	0.30	0.06	0.14	0.23	0.29	0.06	0.14	0.23	0.29
		6	0.15	0.36	0.58	0.74	0.14	0.36	0.58	0.73	0.12	0.31	0.49	0.63
		7	0.12	0.30	0.48	0.61	0.07	0.18	0.29	0.37	0.12	0.31	0.49	0.63
		รวม	0.38	0.94	1.50	1.91	0.35	0.87	1.38	1.76	0.23	0.59	0.94	1.20

Offshore

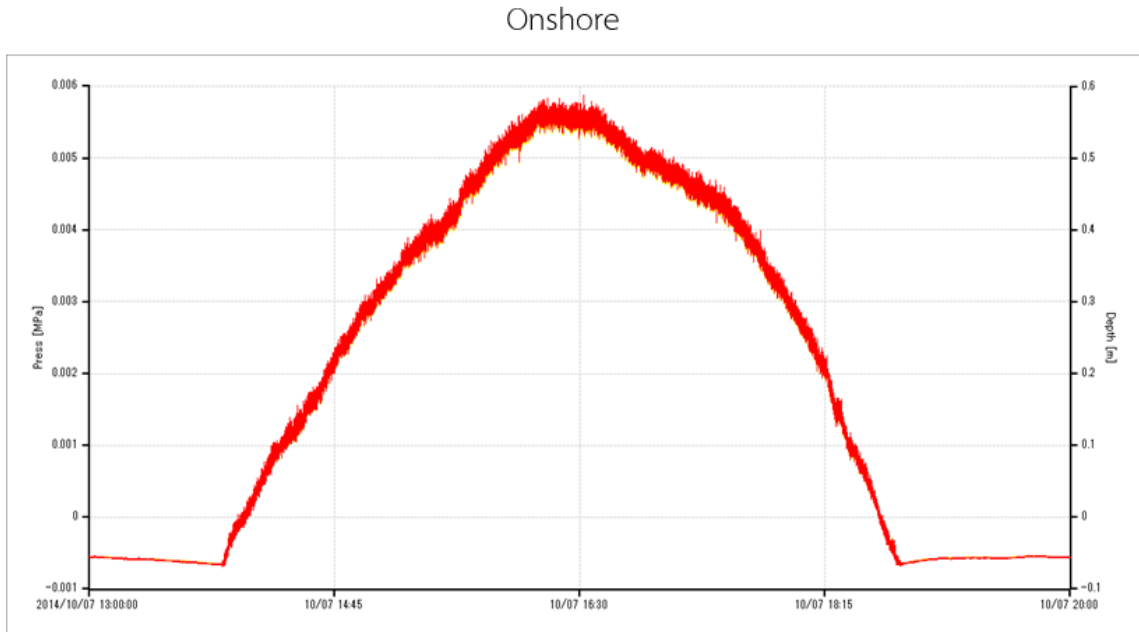


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 7 ตุลาคม 2557

Middle



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 7 ตุลาคม 2557



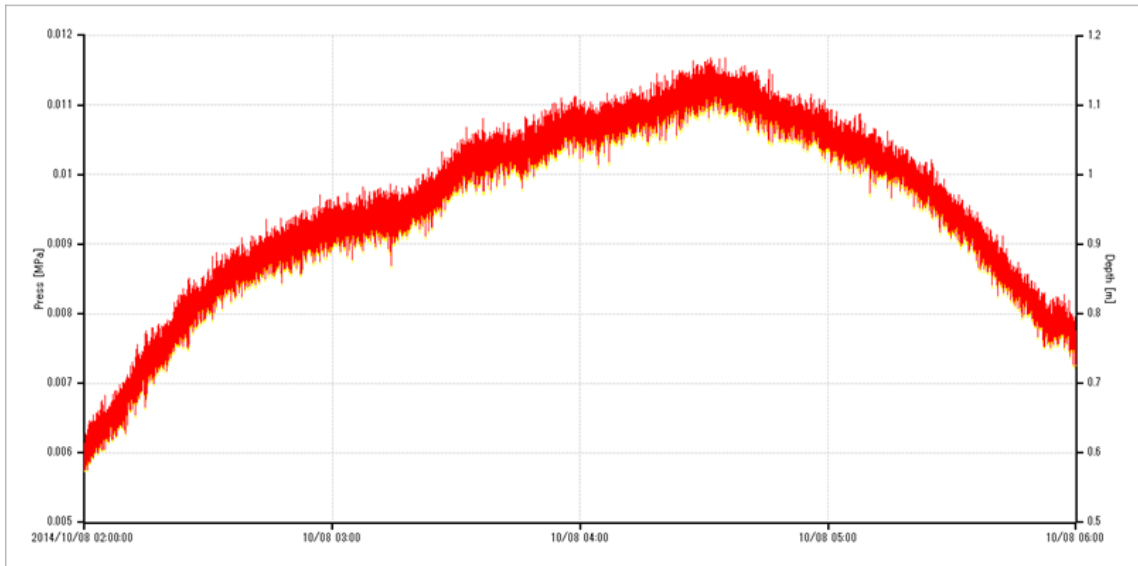
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 7 ตุลาคม 2557

(9) ข้อมูลครั้งที่ 1 วันที่ 8 ตุลาคม 2557 แสดงข้อมูลคลื่นของ วันที่ 8 ตุลาคม 2557 ตั้งแต่เวลา 02.00 – 06.00 น. ซึ่งเวลาดังกล่าวที่พิจารณามีระดับน้ำสูงสุดของวัน ซึ่งอ้างอิงจากตารางน้ำ โดยพิจารณาความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในรายชั่วโมง

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 8 ตุลาคม 2557

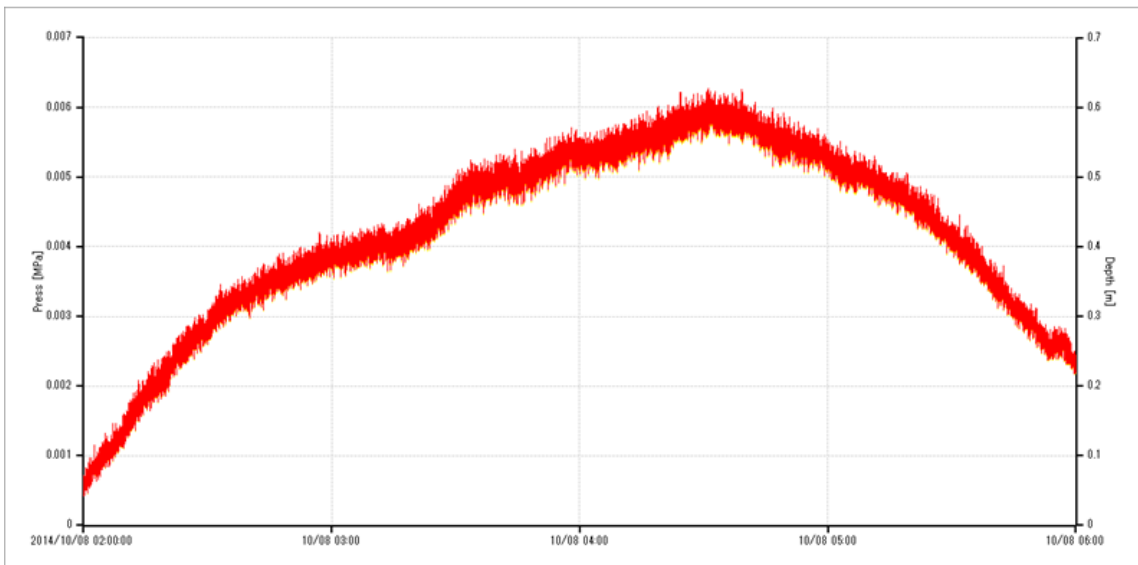
Measured Wave Height														
วันที่	เวลา	ชั่วโมงที่	Offshore				Middle				Onshore			
			σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$
8/10/2557	02.00-06.00	1	0.10	0.24	0.39	0.50	0.10	0.25	0.39	0.50	0.03	0.09	0.14	0.17
		2	0.05	0.13	0.20	0.26	0.05	0.13	0.20	0.26	0.05	0.13	0.20	0.26
		3	0.02	0.06	0.10	0.12	0.02	0.06	0.09	0.12	0.02	0.05	0.09	0.11
		4	0.09	0.23	0.37	0.47	0.09	0.23	0.37	0.46	0.08	0.20	0.32	0.40
		รวม	0.13	0.32	0.51	0.65	0.13	0.32	0.52	0.66	0.10	0.25	0.40	0.51

Offshore



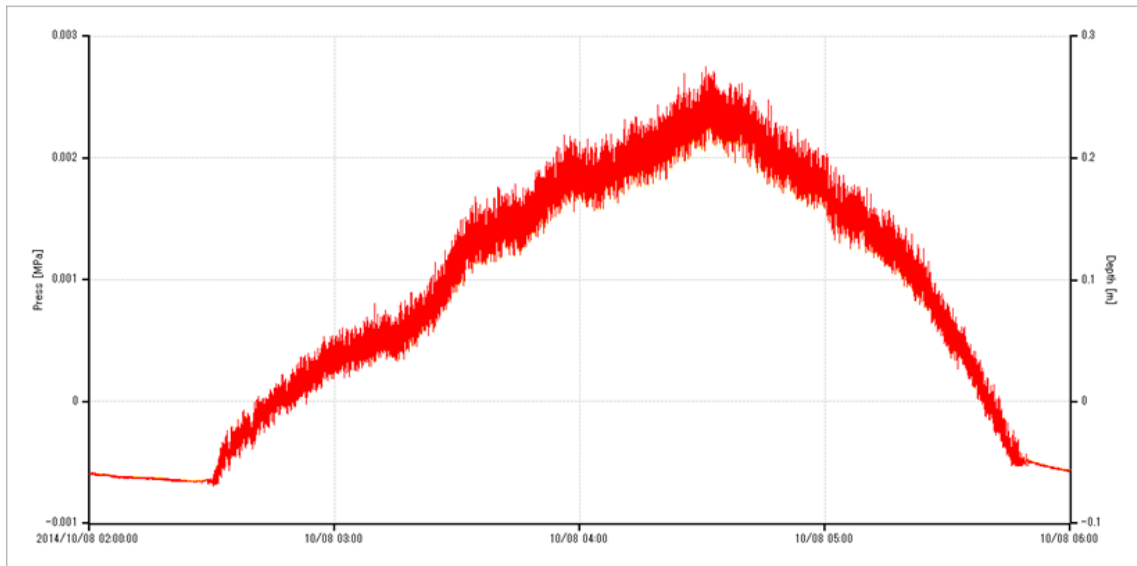
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 8 ตุลาคม 2557

Middle



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 8 ตุลาคม 2557

Onshore

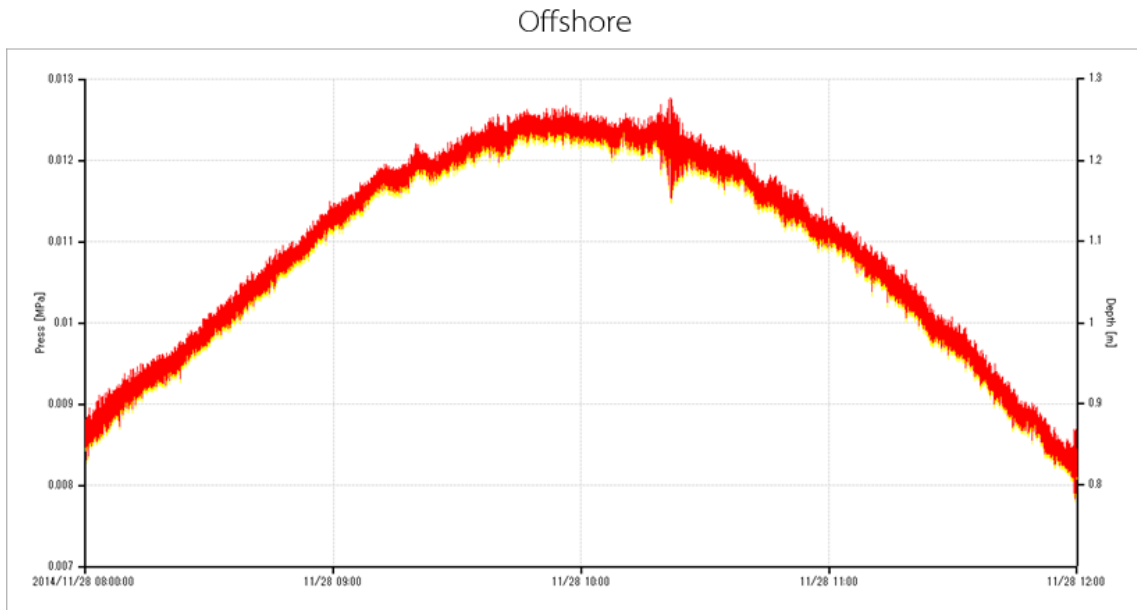


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 8 ตุลาคม 2557

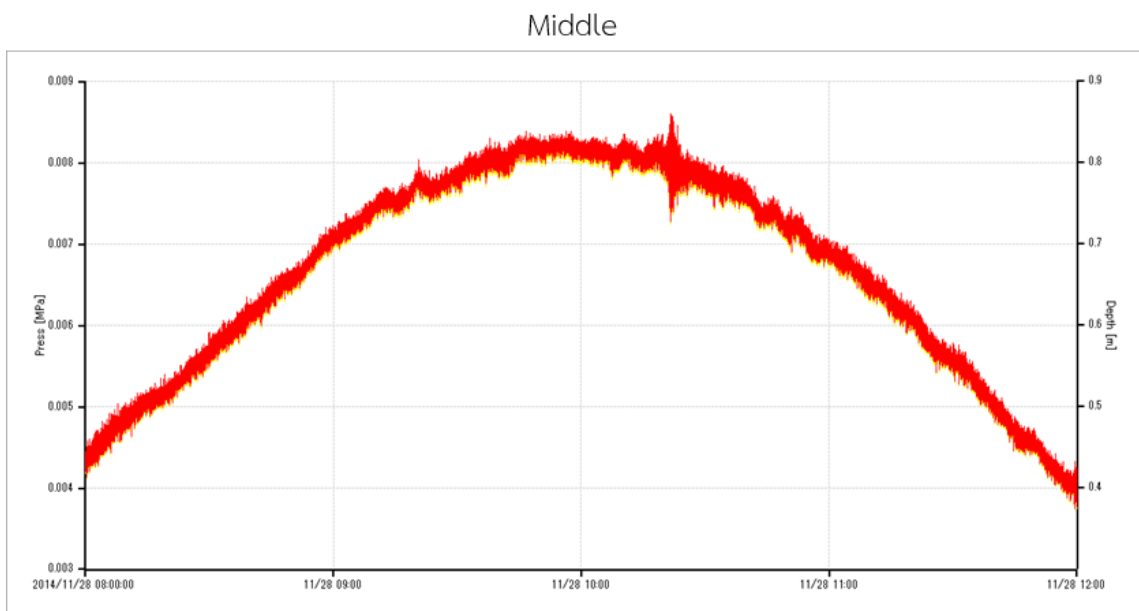
(4) ข้อมูลครั้งที่ 2 วันที่ 28 พฤศจิกายน 2557 แสดงข้อมูลคลื่นของ วันที่ 28 พฤศจิกายน 2557 ตั้งแต่เวลา 08.00 – 12.00 น. ซึ่งเวลาดังกล่าวที่พิจารณามีระดับน้ำสูงสุดของวัน ซึ่งอ้างอิงจากตารางนี้ โดยพิจารณาความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในรายชั่วโมง

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 28 พฤศจิกายน 2557

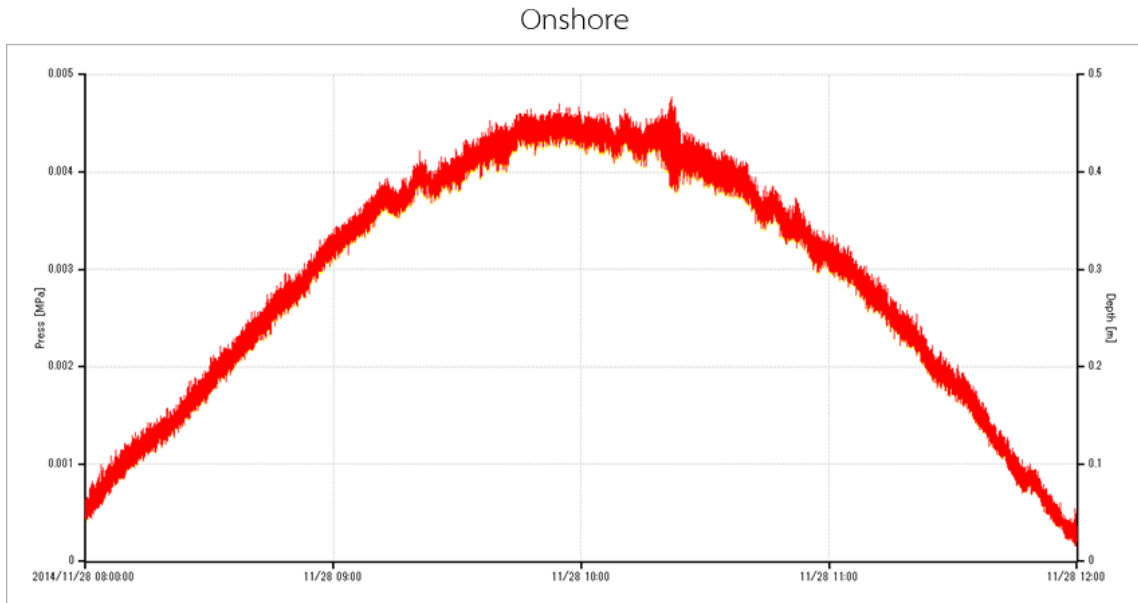
Measured Wave Height														
วันที่	เวลา	ชั่วโมงที่	Offshore				Middle				Onshore			
			σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$
28/11/2557	08.00-12.00	1	0.075	0.188	0.301	0.382	0.077	0.192	0.307	0.390	0.077	0.194	0.309	0.393
		2	0.034	0.086	0.137	0.175	0.034	0.085	0.136	0.173	0.037	0.092	0.147	0.187
		3	0.041	0.102	0.163	0.207	0.040	0.101	0.160	0.204	0.040	0.101	0.161	0.205
		4	0.086	0.216	0.344	0.438	0.088	0.220	0.351	0.446	0.087	0.218	0.348	0.443
		รวม	0.124	0.311	0.496	0.631	0.125	0.313	0.500	0.636	0.126	0.315	0.502	0.639



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 28 พฤศจิกายน 2557



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 28 พฤศจิกายน 2557

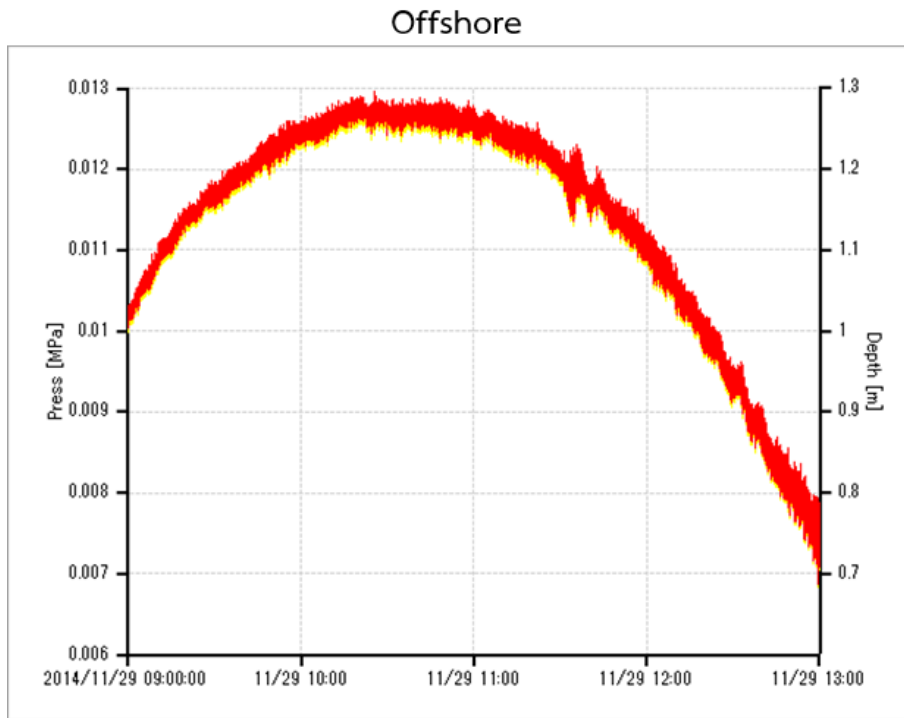


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 28 พฤศจิกายน 2557

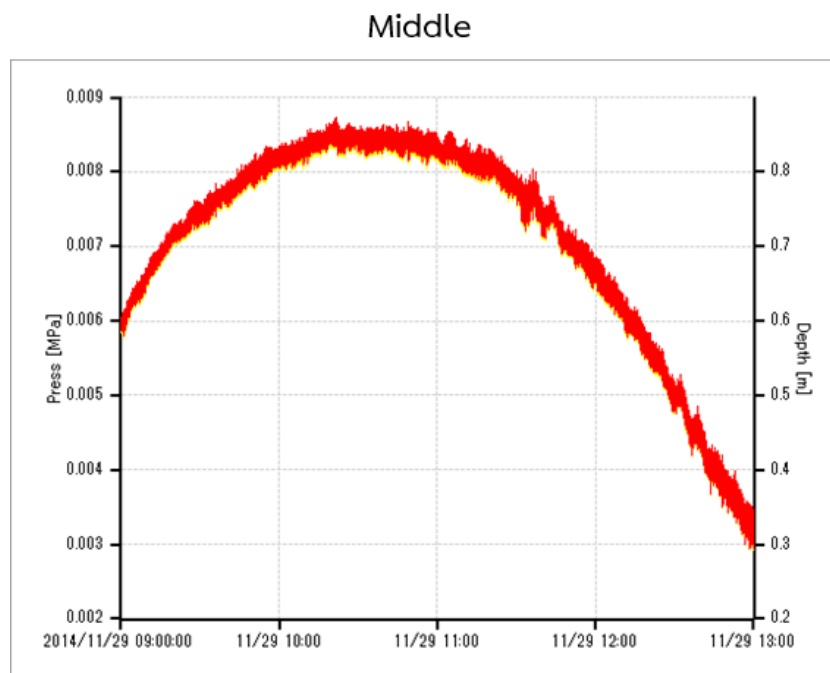
(5) ข้อมูลครั้งที่ 2 วันที่ 29 พฤศจิกายน 2557 แสดงข้อมูลคลื่นของ วันที่ 29 พฤศจิกายน 2557 ตั้งแต่เวลา 02.00 – 06.00 น. ซึ่งเวลาดังกล่าวที่พิจารณามีระดับน้ำสูงสุดของวัน ซึ่งอ้างอิงจากตารางน้ำ โดยพิจารณาความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในรายชั่วโมง

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 29 พฤศจิกายน 2557

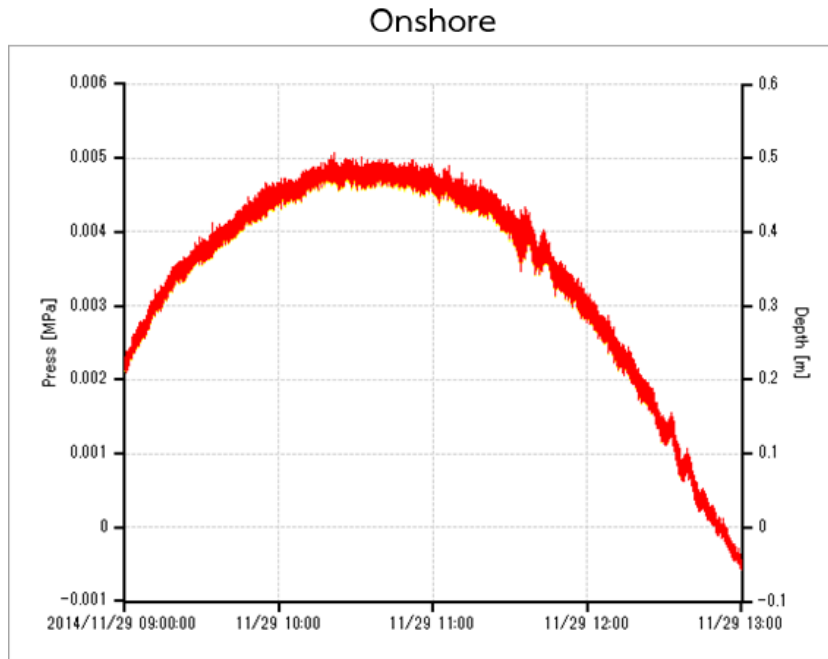
Measured Wave Height														
วันที่	เวลา	ชั่วโมงที่	Offshore				Middle				Onshore			
			σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$
29/11/2557	09.00-13.00	1	0.062	0.155	0.248	0.315	0.062	0.155	0.247	0.315	0.063	0.159	0.254	0.323
		2	0.009	0.023	0.037	0.047	0.010	0.024	0.038	0.049	0.010	0.025	0.040	0.051
		3	0.046	0.114	0.182	0.232	0.050	0.126	0.201	0.256	0.052	0.129	0.207	0.263
		4	0.105	0.263	0.420	0.535	0.104	0.260	0.416	0.529	0.104	0.260	0.416	0.529
		รวม	0.139	0.349	0.557	0.708	0.143	0.358	0.571	0.727	0.144	0.361	0.576	0.733



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 29 พฤศจิกายน 2557



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 29 พฤศจิกายน 2557



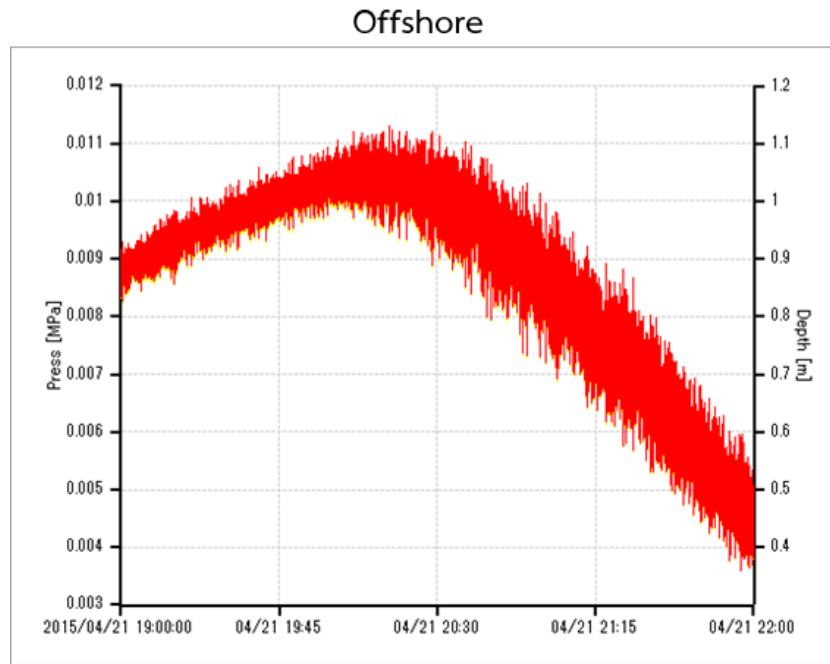
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 29 พฤศจิกายน 2557

(6) ข้อมูลครั้งที่ 2 วันที่ 30 พฤศจิกายน 2557 ไม่มีข้อมูลคลื่นเนื่องจากตอนที่ระดับน้ำขึ้นสูงที่สุดเราได้ทำการเก็บกู้เครื่องมาแล้วจึงทำให้ไม่มีข้อมูลระดับน้ำ

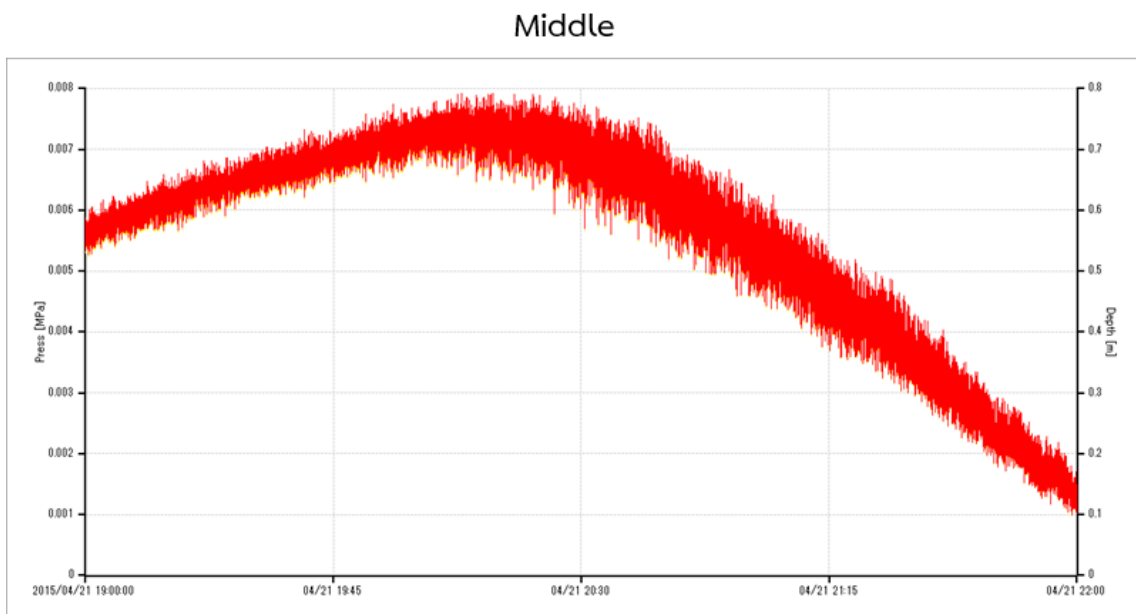
(7) ข้อมูลครั้งที่ 3 วันที่ 21 เมษายน 2558 แสดงข้อมูลคลื่นของ วันที่ 21 เมษายน 2558 ตั้งแต่เวลา 19.00 – 22.00 น. ซึ่งเวลาดังกล่าวที่พิจารณามีระดับน้ำสูงสุดของวัน ซึ่งอ้างอิงจากตารางน้ำ โดยพิจารณาความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในรายชั่วโมง

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 21 เมษายน 2558

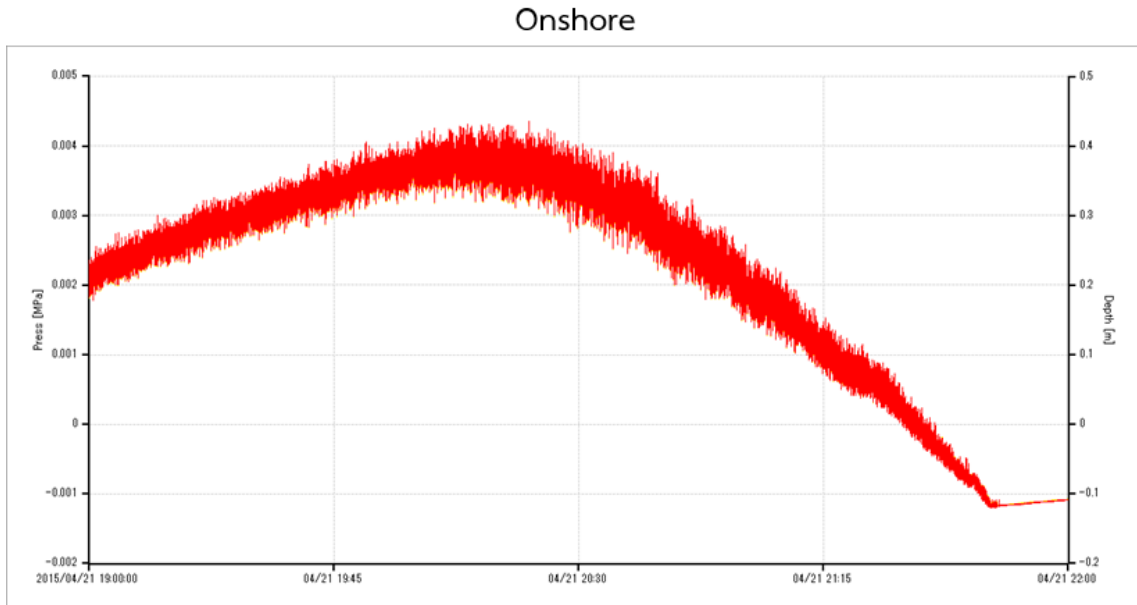
Measured Wave Height														
วันที่	เวลา	ชั่วโมงที่	Offshore				Middle				Onshore			
			σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$
21/4/2558	19.00-22.00	1	0.049	0.122	0.195	0.248	0.048	0.120	0.191	0.243	0.046	0.116	0.185	0.236
		2	0.066	0.165	0.264	0.336	0.063	0.158	0.253	0.322	0.059	0.148	0.236	0.300
		3	0.132	0.330	0.527	0.671	0.128	0.320	0.510	0.649	0.106	0.265	0.423	0.539
		รวม	0.173	0.434	0.693	0.882	0.171	0.429	0.685	0.871	0.159	0.398	0.635	0.808



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 21 เมษายน 2558



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 21 เมษายน 2558



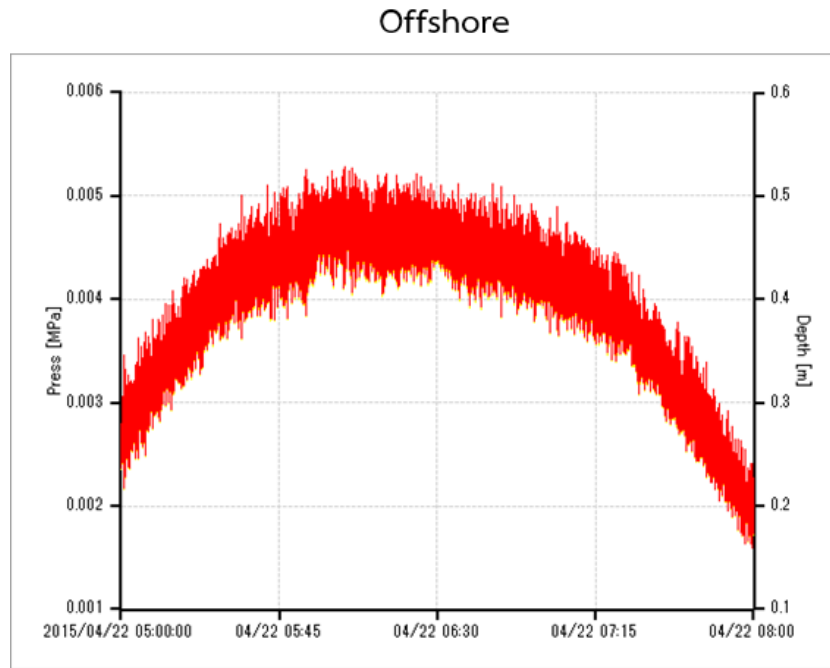
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 21 เมษายน 2558

(8) ข้อมูลครั้งที่ 3 วันที่ 22 เมษายน 2558

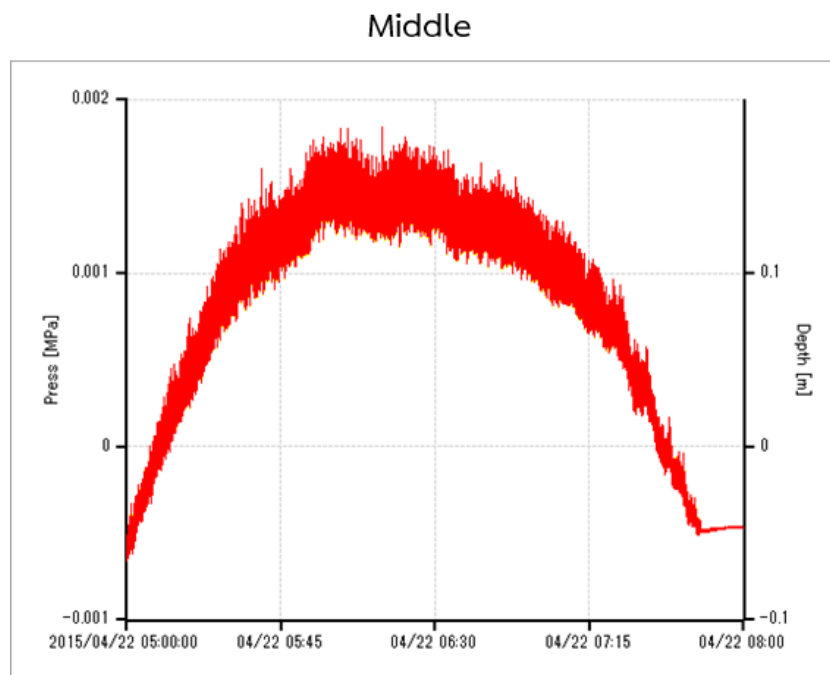
ตารางที่ 4.9 ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 22 เมษายน 2558

Measured Wave Height														
วันที่	เวลา	ชั่วโมงที่	Offshore				Middle				Onshore			
			σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$
22/4/2558	05.00-08.00	1	0.061	0.153	0.244	0.310	0.060	0.149	0.238	0.303	-	-	-	-
		2	0.021	0.053	0.085	0.109	0.014	0.035	0.055	0.071	-	-	-	-
		3	0.074	0.186	0.297	0.378	0.057	0.144	0.229	0.292	-	-	-	-
		รวม	0.075	0.187	0.298	0.380	0.065	0.163	0.261	0.332	-	-	-	-

จากตารางที่ 4.9 สังเกตว่า เครื่องในสุด (Onshore) ไม่มีข้อมูล เนื่องจากระดับน้ำไม่ขึ้นมาถึงเครื่องในสุด จึงไม่มีข้อมูลในการพิจารณา

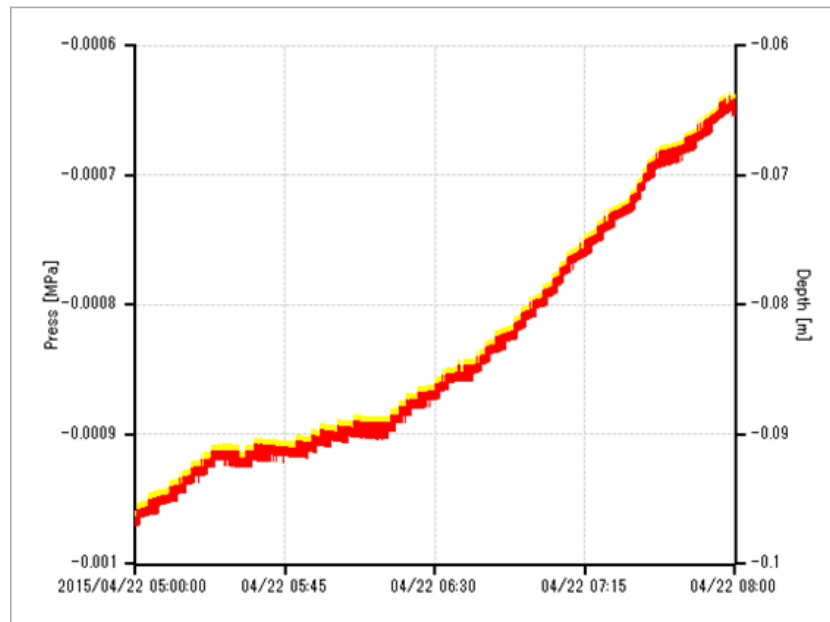


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 22 เมษายน 2558



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 22 เมษายน 2558

Onshore



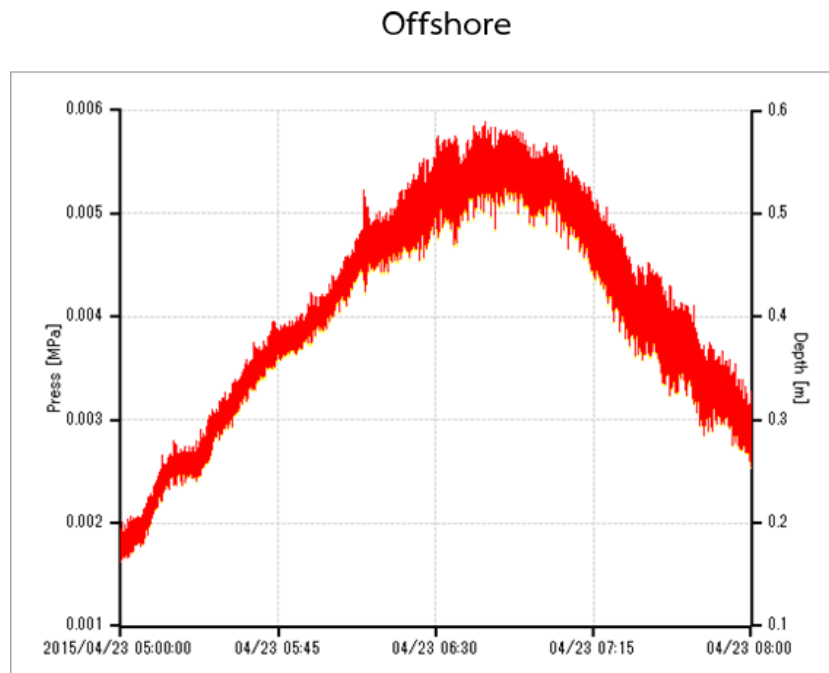
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 22 เมษายน 2558

(9) ข้อมูลครั้งที่ 3 วันที่ 23 เมษายน 2558

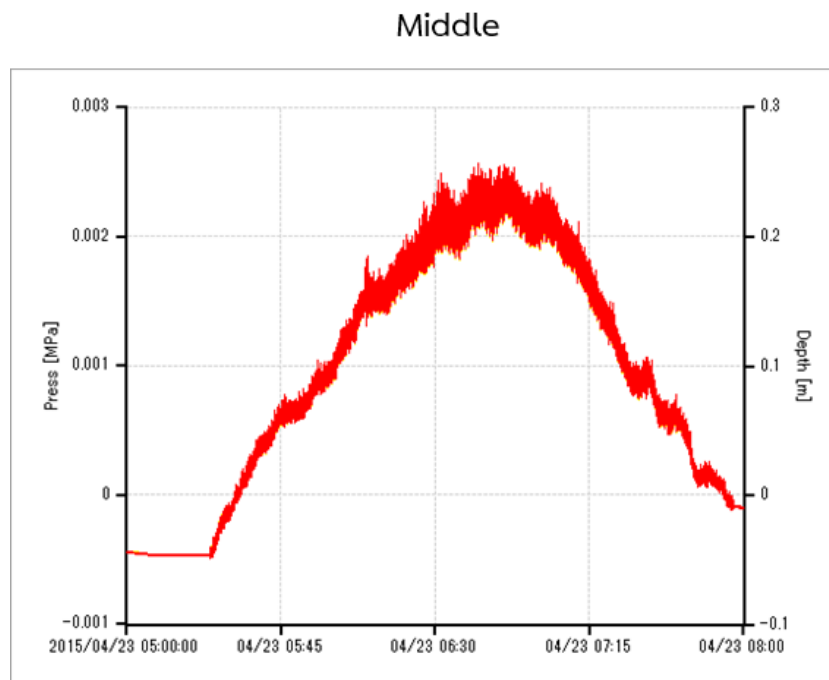
ตารางที่ 4.10 ข้อมูลความสูงคลื่นที่วัด ณ วันที่ 23 เมษายน 2558

Measured Wave Height														
วันที่	เวลา	ชั่วโมงที่	Offshore				Middle				Onshore			
			σ	H	H _{1/3}	H _{1/10}	σ	H	H _{1/3}	H _{1/10}	σ	H	H _{1/3}	H _{1/10}
23/4/2558	05.00-08.00	1	0.071	0.178	0.283	0.361	0.051	0.129	0.206	0.262	-	-	-	-
		2	0.040	0.100	0.159	0.202	0.038	0.095	0.151	0.192	-	-	-	-
		3	0.075	0.187	0.299	0.380	0.073	0.182	0.290	0.370	-	-	-	-
		รวม	0.104	0.260	0.414	0.527	0.093	0.234	0.373	0.474	-	-	-	-

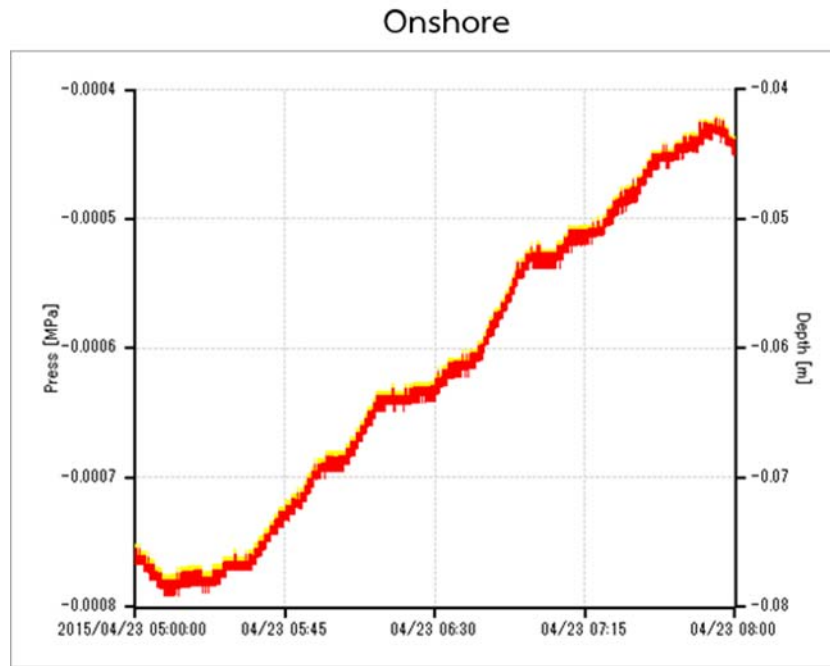
จากตารางที่ 4.10 สังเกตว่า เครื่องในสุด (Onshore) ไม่มีข้อมูล เนื่องจากระดับน้ำไม่ขึ้นมาถึงเครื่องในสุด จึงไม่มีข้อมูลในการพิจารณา



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวนอกชายฝั่ง (Offshore) ณ วันที่ 23 เมษายน 2558



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวกลางชายฝั่ง (Middle) ณ วันที่ 23 เมษายน 2558



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งตัวในชายฝั่ง (Onshore) ณ วันที่ 23 เมษายน 2558

(10) สรุปผลการตรวจวัดคลื่น

ตารางที่ 4.11 ตารางสรุปผลการตรวจวัดคลื่น

Measured Wave Height														
การสำรวจ			Offshore				Middle				Onshore			
ครั้งที่	วันที่	เวลา	σ	H_{avg}	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H_{avg}	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	σ	H_{avg}	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$
1	6/10/2557	14.00-18.00	0.11	0.27	0.43	0.55	0.11	0.26	0.42	0.54	-	-	-	-
	7/10/2557	13.00-20.00	0.38	0.94	1.50	1.91	0.35	0.87	1.38	1.76	0.24	0.59	0.94	1.20
	8/10/2557	20.00-06.00	0.13	0.32	0.51	0.65	0.13	0.32	0.52	0.66	0.10	0.25	0.40	0.51
2	28/11/2557	08.00-12.00	0.12	0.31	0.50	0.63	0.13	0.31	0.50	0.64	0.13	0.31	0.50	0.64
	29/11/2557	09.00-13.00	0.14	0.35	0.56	0.71	0.14	0.36	0.57	0.73	0.14	0.36	0.58	0.73
3	21/4/1958	19.00-22.00	0.17	0.43	0.69	0.88	0.17	0.43	0.68	0.87	0.16	0.40	0.64	0.81
	22/4/1958	05.00-08.00	0.08	0.19	0.30	0.38	0.07	0.16	0.26	0.33	-	-	-	-
	23/4/1958	05.00-08.00	0.10	0.26	0.41	0.53	0.09	0.23	0.37	0.47	-	-	-	-
			เฉลี่ย	0.38	0.61	0.78	เฉลี่ย	0.37	0.59	0.75	เฉลี่ย	0.38	0.61	0.78
			MAX	0.94	1.50	1.91	MAX	0.87	1.38	1.76	MAX	0.59	0.94	1.20
			MIN	0.19	0.30	0.38	MIN	0.16	0.26	0.33	MIN	0.25	0.40	0.51

จากตารางที่ 4.11 เป็นการสรุปผลการวิเคราะห์คลื่นในรูปแบบต่างๆ ความสูงคลื่นเฉลี่ย H_{avg} , $H_{1/3}$, $H_{1/10}$ ซึ่งจะได้ค่าดังตาราง 4.11 จะสังเกตว่าค่าความสูงคลื่นเฉลี่ยของเครื่อง Offshore ที่ศึกษามีค่าอยู่ที่ 0.38 เมตร หรือประมาณ 0.40 เมตร และมีค่าสูงสุด 0.94 เมตร และมีค่าต่ำสุด 0.19 เมตร และตารางที่ 4.11 อธิบายถึงผลการตรวจวัดคลื่นพิจารณาที่รายชั่วโมงทั้งหมดรวม จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 3 วัน

โดยแสดง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ค่าความสูงคลื่นเฉลี่ย (H_{avg}) ค่าเฉลี่ยของคลื่นที่สูงที่สุด 1/3 ค่าแรก ($H_{1/3}$) ค่าเฉลี่ยของคลื่นที่สูงที่สุด 1/10 ค่าแรก ($H_{1/10}$) และ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ของความสูงคลื่นแต่ละตัว โดยความสูงคลื่นของแต่ละตัว เป็นการประมาณค่าความสูงคลื่น โดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) คูณกับค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวเป็นการประมาณความสูงของคลื่น โดยสมมติว่า ข้อมูลระดับน้ำมีการกระจายตัวแบบปกติ ซึ่งจะประมาณค่าความสูงคลื่นจากแต่ละสมการ โดยแสดงดังสมการที่ (4.3), (4.4) และ (4.5) เพื่อใช้หาค่า H_{avg} , $H_{1/3}$, $H_{1/10}$

$$H_{avg} = \sqrt{2\pi}\sigma \quad (4.3)$$

$$H_{1/3} = 4.00\sigma \quad (4.4)$$

$$H_{1/10} = 5.09\sigma \quad (4.5)$$

- H_{avg} คือ ค่าความสูงคลื่นเฉลี่ย
- $H_{1/3}$ คือ ค่าเฉลี่ยของคลื่นที่สูงที่สุด 1/3 ค่าแรก
- $H_{1/10}$ คือ ค่าเฉลี่ยของคลื่นที่สูงที่สุด 1/10 ค่าแรก

4.3 ผลการวิเคราะห์การลดทอนคลื่น

การลดทอนคลื่นในป่าชายเลนบริเวณพื้นที่ศึกษาได้รับการวิเคราะห์โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น ตามสมการที่ (4.1) ตารางที่ 4.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นตามข้อมูลที่อธิบายในส่วนที่ 4.2 โดยข้อมูลคลื่นและสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น ถูกคำนวณและแสดงในช่วง 30 นาที เพื่อเป็นการแบ่งให้เกิดข้อมูลการลดทอนคลื่นในช่วงที่มีระดับน้ำและความสูงคลื่นแตกต่างกัน

ในตารางที่ 4.12 คอลัมน์แรกจะเป็นวันที่และเวลา ซึ่งตัวเลข 2 ตัวแรกแสดงปีพ.ศ. ตัวเลข 2 ตัวถัดมาแสดงเดือน ตัวเลข 2 ตัวถัดมาแสดงวันที่ ตามด้วยเครื่องหมายเส้นใต้ จากนั้นตัวเลข 2 ตัวถัดมาแสดงชั่วโมง และตัวเลขสองตัวสุดท้ายแสดงนาที เช่น 571006_1400 หมายถึง ข้อมูล ณ วันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2557 เวลา 14.00 น., คอลัมน์ที่ 2 แสดง Zone ซึ่งประกอบไปด้วย Zone 1 คือ จากแนวขอบป่าชายเลนที่ติดกับทะเล ซึ่งติดตั้งเครื่องวัดคลื่นตัวที่ 1 มาถึงกลางพื้นที่ศึกษา ซึ่งห่างจากจุดแรก 50 เมตรและติดตั้งเครื่องวัดคลื่นตัวที่ 2, Zone 2 คือ จากตำแหน่งกึ่งกลาง ซึ่งติดตั้งเครื่องวัดคลื่นตัวที่ 2 มาถึงจุดลึกสุดของพื้นที่ศึกษา ซึ่งห่างจากจุดกึ่งกลาง 50 เมตรและติดตั้งเครื่องวัดคลื่นตัวที่ 3 และ Zone all คือ จุดนอกสุดถึงจุดในสุด มีระยะ 100 เมตร, คอลัมน์ที่ 3 แสดงระยะทางที่คลื่นที่กำลังพิจารณาเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นไปตาม Zone ที่อธิบายในคอลัมน์ที่ 2, คอลัมน์ที่ 4 แสดงความหนาแน่นของป่าชายเลนของ Zone ที่กำลัง

พิจารณา, คอลัมน์ที่ 5 แสดงข้อมูลคลื่นนัยสำคัญของช่วงข้อมูลที่พิจารณา และคอลัมน์ที่ 6 แสดงสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นของช่วงข้อมูลที่พิจารณา

ข้อมูลในตารางที่ 4.12 บางช่วงเวลามีค่าติดลบ ซึ่งหมายถึง ความสูงคลื่นหลังพายุลมมี ความสูงมากกว่าความสูงคลื่นก่อนเข้าพายุลม สาเหตุที่ทำให้เป็นเช่นนี้ อาจเกิดจากการมีลมพัดเสริม (ดังอธิบายในบทที่ 2) หรือการเกิดปรากฏการณ์คลื่นเข้าสู่ตื้น (Wave shoaling) และการหักเหของคลื่น (Wave refraction) ทั้งสามสาเหตุนี้อาจทำให้คลื่นในพายุลมมีความสูงมากกว่าคลื่นก่อนเข้าพายุลม การศึกษานี้สนใจการลดทอนของคลื่นเป็นหลักและยังไม่ได้พิจารณาผลกระทบจากสิ่งที่ทำให้คลื่นสูงขึ้น เรา จึงไม่พิจารณากรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นเป็นลบก่อน

ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่น มีค่าเท่ากับ 7.29%, 4.89% และ 6.76% สำหรับ Zone 1, Zone 2, และ Zone all ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การลดทอนคลื่นเกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงแรกที่คลื่น เคลื่อนที่เข้าพายุลม และมีการลดทอนคลื่นลดลงในพื้นที่ช่วงหลัง ซึ่งเป็นผลเนื่องจากพลังงานคลื่นส่วนใหญ่ลดลงไปก่อนหน้าแล้ว การลดทอนคลื่นใน Zone 1 บางช่วงสูงมากกว่า 20% เช่น ช่วงข้อมูลที่ 580422_0530, 580422_0600, 580422_0630, 580423_0630 เป็นต้น ในพื้นที่ Zone 2 การลดทอน คลื่นบางช่วงก็สูงเกินกว่า 10% เช่น 580421_2000, 580421_2030, 580421_2100 เป็นต้น

ตารางที่ 4.12 ตารางผลการวิเคราะห์การลดทอนคลื่นในภาคสนาม

Date	Zone	L _m	D _m	H _m	R
		(m)	(tree/sq.m.)	(m)	(%)
571006_1400	1	50	0.0328	0.31	3.68
571006_1430	1	50	0.0328	0.44	6.07
571006_1500	1	50	0.0328	0.56	-1.00
571006_1530	1	50	0.0328	0.59	-2.07
571006_1600	1	50	0.0328	0.56	-3.41
571006_1630	1	50	0.0328	0.51	7.02
571006_1700	1	50	0.0328	0.42	-0.66
571006_1730	1	50	0.0328	0.32	12.69
571006_All	1	50	0.0328	0.46	2.06
571007_1330	1	50	0.0328	0.42	3.49
571007_1400	1	50	0.0328	0.67	2.02
571007_1400	2	50	0.0372	0.23	5.33
571007_1400	All	100	0.0350	0.47	7.25
571007_1430	1	50	0.0328	0.84	1.31
571007_1430	2	50	0.0372	0.40	1.39
571007_1430	All	100	0.0350	0.63	2.68
571007_1500	1	50	0.0328	0.97	0.89
571007_1500	2	50	0.0372	0.53	0.29
571007_1500	All	100	0.0350	0.77	1.18
571007_1530	1	50	0.0328	1.09	2.47
571007_1530	2	50	0.0372	0.64	-2.65
571007_1530	All	100	0.0350	0.88	-0.11

ตารางที่ 4.12 ตารางผลการวิเคราะห์การลดทอนคลื่นในภาคสนาม (ต่อ)

Date	Zone	L _m	D _m	H _m	R
		(m)	(tree/sq.m.)	(m)	(%)
571007_1600	1	50	0.0328	1.17	-0.91
571007_1600	2	50	0.0372	0.72	-0.06
571007_1600	All	100	0.0350	0.96	-0.98
571007_1630	1	50	0.0328	1.14	-0.59
571007_1630	2	50	0.0372	0.70	1.21
571007_1630	All	100	0.0350	0.94	0.63
571007_1700	1	50	0.0328	1.08	2.46
571007_1700	2	50	0.0372	0.64	-2.84
571007_1700	All	100	0.0350	0.87	-0.31
571007_1730	1	50	0.0328	0.98	0.94
571007_1730	2	50	0.0372	0.54	-0.65
571007_1730	All	100	0.0350	0.78	0.30
571007_1800	1	50	0.0328	0.80	0.54
571007_1800	2	50	0.0372	0.36	0.31
571007_1800	All	100	0.0350	0.59	0.85
571007_1830	1	50	0.0328	0.55	1.58
571007_1900	1	50	0.0328	0.29	4.62
571007_All	1	50	0.0328	0.73	7.95
571007_All	2	50	0.0372	0.34	32.14
571007_All	All	100	0.0350	0.56	37.54
571008_0200	1	50	0.0328	0.45	0.99
571008_0230	1	50	0.0328	0.62	4.59

ตารางที่ 4.12 ตารางผลการวิเคราะห์การลดทอนคลื่นในภาคสนาม (ต่อ)

Date	Zone	L _m	D _m	H _m	R
		(m)	(tree/sq.m.)	(m)	(%)
571008_0300	1	50	0.0328	0.68	3.83
571008_0300	2	50	0.0372	0.24	8.54
571008_0300	All	100	0.0350	0.47	12.04
571008_0330	1	50	0.0328	0.77	7.95
571008_0330	2	50	0.0372	0.33	-2.29
571008_0330	All	100	0.0350	0.56	5.84
571008_0400	1	50	0.0328	0.82	4.01
571008_0400	2	50	0.0372	0.38	8.95
571008_0400	All	100	0.0350	0.62	12.60
571008_0430	1	50	0.0328	0.82	6.23
571008_0430	2	50	0.0372	0.38	0.80
571008_0430	All	100	0.0350	0.62	6.98
571008_0500	1	50	0.0328	0.74	3.66
571008_0500	2	50	0.0372	0.30	3.40
571008_0500	All	100	0.0350	0.53	6.94
571008_0530	1	50	0.0328	0.58	2.24
571008_All	1	50	0.0328	0.68	-0.79
571008_All	2	50	0.0372	0.25	21.85
571008_All	All	100	0.0350	0.48	21.24
571128_0800	1	50	0.0328	0.72	-1.64
571128_0800	2	50	0.0372	0.31	-1.37
571128_0800	All	100	0.0350	0.52	-3.03

ตารางที่ 4.12 ตารางผลการวิเคราะห์การลดทอนคลื่นในภาคสนาม (ต่อ)

Date	Zone	L _m	D _m	H _m	R
		(m)	(tree/sq.m.)	(m)	(%)
571128_0830	1	50	0.0328	0.85	-0.64
571128_0830	2	50	0.0372	0.45	-0.08
571128_0830	All	100	0.0350	0.65	-0.72
571128_0900	1	50	0.0328	0.96	2.32
571128_0900	2	50	0.0372	0.56	-2.83
571128_0900	All	100	0.0350	0.76	-0.44
571128_0930	1	50	0.0328	1.02	1.34
571128_0930	2	50	0.0372	0.62	-22.85
571128_0930	All	100	0.0350	0.82	-21.20
571128_1000	1	50	0.0328	1.01	1.79
571128_1000	2	50	0.0372	0.61	1.16
571128_1000	All	100	0.0350	0.82	2.93
571128_1030	1	50	0.0328	0.94	1.02
571128_1030	2	50	0.0372	0.55	-0.46
571128_1030	All	100	0.0350	0.75	0.56
571128_1100	1	50	0.0328	0.83	-0.84
571128_1100	2	50	0.0372	0.44	1.07
571128_1100	All	100	0.0350	0.64	0.24
571128_1130	1	50	0.0328	0.68	-1.04
571128_1130	2	50	0.0372	0.28	-0.16
571128_1130	All	100	0.0350	0.49	-1.20
571128_All	1	50	0.0328	0.88	-0.83

ตารางที่ 4.12 ตารางผลการวิเคราะห์การลดทอนคลื่นในภาคสนาม (ต่อ)

Date	Zone	L _m	D _m	H _m	R
		(m)	(tree/sq.m.)	(m)	(%)
571128_All	2	50	0.0372	0.48	-0.48
571128_All	All	100	0.0350	0.68	-1.32
571129_0900	1	50	0.0328	0.89	-0.67
571129_0900	2	50	0.0372	0.50	-1.56
571129_0900	All	100	0.0350	0.70	-2.24
571129_0930	1	50	0.0328	0.99	0.56
571129_0930	2	50	0.0372	0.60	-3.88
571129_0930	All	100	0.0350	0.80	-3.30
571129_1000	1	50	0.0328	1.05	-2.52
571129_1000	2	50	0.0372	0.65	-5.26
571129_1000	All	100	0.0350	0.85	-7.91
571129_1030	1	50	0.0328	1.05	-2.48
571129_1030	2	50	0.0372	0.65	4.66
571129_1030	All	100	0.0350	0.86	2.30
571129_1100	1	50	0.0328	1.02	-1.34
571129_1100	2	50	0.0372	0.62	-2.92
571129_1100	All	100	0.0350	0.83	-4.31
571129_1130	1	50	0.0328	0.93	-14.92
571129_1130	2	50	0.0372	0.54	-1.34
571129_1130	All	100	0.0350	0.74	-16.46
571129_1200	1	50	0.0328	0.80	1.12
571129_1200	2	50	0.0372	0.40	-0.05

ตารางที่ 4.12 ตารางผลการวิเคราะห์การลดทอนคลื่นในภาคสนาม (ต่อ)

Date	Zone	L _m	D _m	H _m	R
		(m)	(tree/sq.m.)	(m)	(%)
571129_1200	All	100	0.0350	0.61	1.07
571129_1230	1	50	0.0328	0.62	1.56
571129_1230	2	50	0.0372	0.22	1.07
571129_1230	All	100	0.0350	0.43	2.62
571129_All	1	50	0.0328	0.92	-2.63
571129_All	2	50	0.0372	0.52	-0.85
571129_All	All	100	0.0350	0.73	-3.50
580421_1900	1	50	0.0328	0.77	6.11
580421_1900	2	50	0.0372	0.44	3.41
580421_1900	All	100	0.0350	0.60	9.31
580421_1930	1	50	0.0328	0.85	3.61
580421_1930	2	50	0.0372	0.51	4.86
580421_1930	All	100	0.0350	0.68	8.30
580421_2000	1	50	0.0328	0.87	9.29
580421_2000	2	50	0.0372	0.54	16.27
580421_2000	All	100	0.0350	0.71	24.05
580421_2030	1	50	0.0328	0.78	6.95
580421_2030	2	50	0.0372	0.45	12.96
580421_2030	All	100	0.0350	0.61	19.01
580421_2100	1	50	0.0328	0.61	9.82
580421_2100	2	50	0.0372	0.28	12.36
580421_2100	All	100	0.0350	0.44	20.97

ตารางที่ 4.12 ตารางผลการวิเคราะห์การลดทอนคลื่นในภาคสนาม (ต่อ)

Date	Zone	L _m	D _m	H _m	R
		(m)	(tree/sq.m.)	(m)	(%)
580421_2130	1	50	0.0328	0.39	12.06
580421_All	1	50	0.0328	0.71	1.15
580421_All	2	50	0.0372	0.38	7.24
580421_All	All	100	0.0350	0.55	8.31
580422_0500	1	50	0.0328	0.18	5.40
580422_0530	1	50	0.0328	0.28	24.46
580422_0600	1	50	0.0328	0.30	44.38
580422_0630	1	50	0.0328	0.28	39.95
580422_0700	1	50	0.0328	0.23	17.26
580422_All	1	50	0.0328	0.23	12.60
580423_0530	1	50	0.0328	0.21	-2.19
580423_0600	1	50	0.0328	0.32	7.52
580423_0630	1	50	0.0328	0.38	24.67
580423_0700	1	50	0.0328	0.31	4.06
580423_0730	1	50	0.0328	0.19	12.08
580423_All	1	50	0.0328	0.25	10.03

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนคลื่นกับปัจจัยต่าง ๆ มีดังนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนคลื่นกับระดับน้ำ ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนคลื่นกับความยาวของแนวป่าชายเลน และ ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนคลื่นกับความหนาแน่นของต้นไม้ป่าชายเลน โดยมีสมมติฐานในการศึกษาดังต่อไปนี้

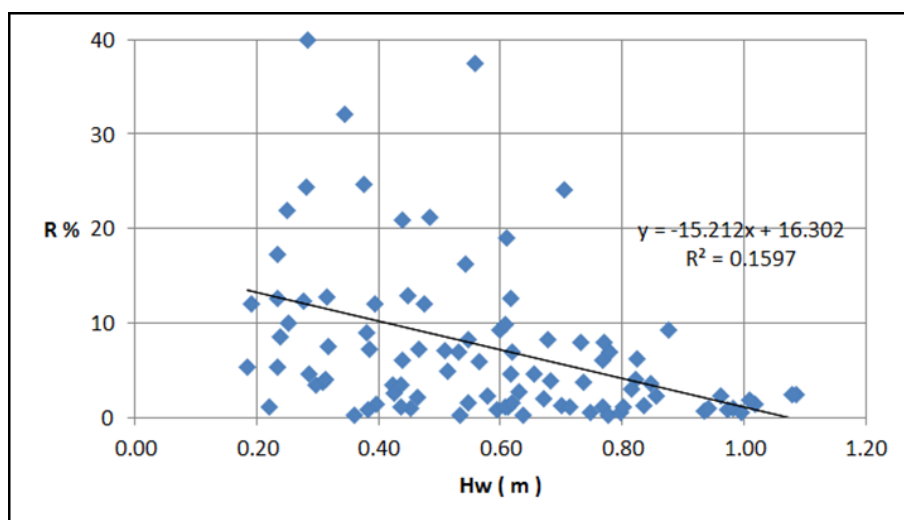
สมมติฐานที่หนึ่ง คือ เมื่อระดับน้ำมีความสูงเพิ่มขึ้น จะทำให้การลดทอนของคลื่นลดลง เนื่องจากเมื่อระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น โอกาสที่คลื่นจะปะทะกับรากของต้นไม้ลดลง ประกอบกับอิทธิพลของความเสียหายที่พื้นลดลงด้วย ทำให้การลดทอนคลื่นลดลง

สมมติฐานที่สอง คือ เมื่อความยาวของแนวป่ามีความยาวเพิ่มมากขึ้น การลดทอนของคลื่นก็จะเพิ่มขึ้น เมื่อความยาวของแนวป่าเพิ่มขึ้น โอกาสที่คลื่นจะปะทะกับรากและลำต้น รวมทั้งอิทธิพลของความเสียหายที่พื้นเพิ่มขึ้น ทำให้การลดทอนคลื่นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

สมมติฐานที่สาม คือ เมื่อความหนาแน่นของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษาเพิ่มขึ้น จะทำให้การลดทอนคลื่นเพิ่มขึ้นเนื่องจาก กลไกของการลดทอนคลื่นในข้อนี้เหมือนกับสมมติฐานที่ 2 ในส่วนที่ว่า โอกาสที่คลื่นจะปะทะกับรากและลำต้น ทำให้การลดทอนคลื่นเพิ่มขึ้น

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนคลื่นกับระดับน้ำ (Hw)

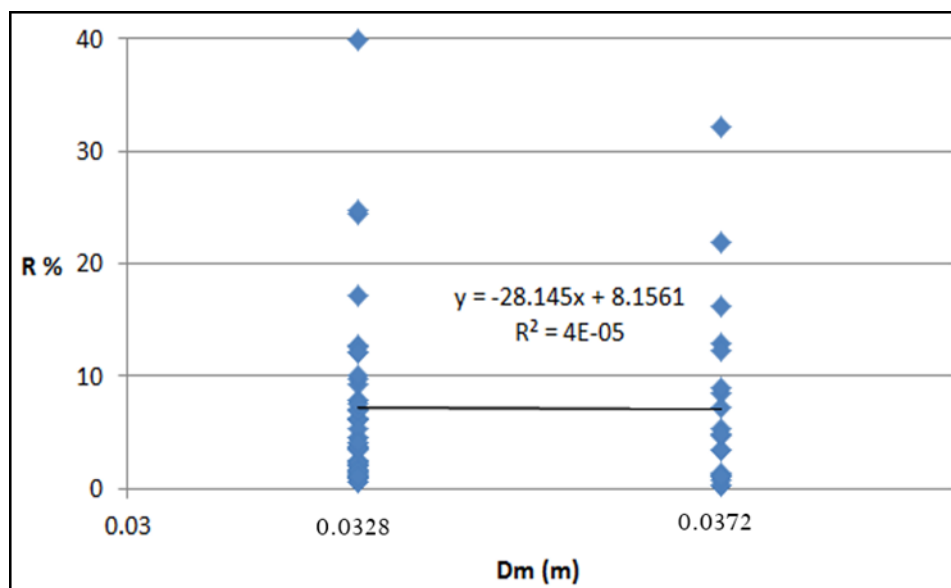
จากสมมติฐาน เมื่อระดับน้ำมีความสูงเพิ่มขึ้น จะทำให้การลดทอนของคลื่นลดลง เนื่องจากผลของการเกิดกลไกแบบพลังงานคลื่นถูกสลายด้วยแรงเสียดทานที่พื้น จากกราฟแสดงถึงค่าการลดทอนของคลื่น และ ระดับน้ำ เมื่อดูจากกราฟ และ เส้นแนวโน้มแล้วจะสรุปได้ตามสมมติฐานที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น คือ เมื่อระดับน้ำมีความสูงเพิ่มขึ้น จะทำให้การลดทอนของคลื่นลดลง สรุปว่า ข้อมูลนี้ได้สอดคล้องตามสมมติฐานที่ตั้งไว้



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนคลื่น (R%) กับ ความสูงของระดับน้ำ (Hw)

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนคลื่น กับ ความหนาแน่นของต้นไม้ (Dm)

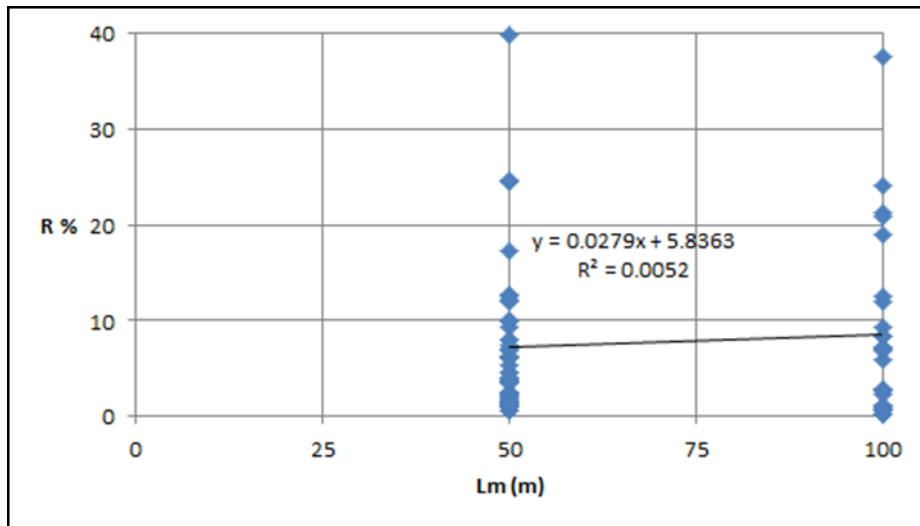
จากสมมติฐาน เมื่อความหนาแน่นของต้นไม้เพิ่มขึ้น จะทำให้การลดทอนของคลื่นเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เกิดกลไกแบบ พลังงานคลื่นถูกสลายด้วยแรงต้านเนื่องจากลำต้นและราก แต่เมื่อดูจากกราฟ และ เส้นแนวโน้มแล้วอาจจะยังสรุปไม่ได้เนื่องจากว่าพื้นที่ Zone 1 และ Zone 2 มีความหนาแน่นใกล้เคียงกันมาก หรือ อาจแตกต่างกันนิดหน่อย จึงทำให้ได้เส้นแนวโน้มออกมาเป็นลดลง สรุปว่า ในพื้นที่ศึกษาเนี่ยยังสรุปปัจจัยที่เกิดจากความหนาแน่นไม่ได้ แต่ถ้าเป็นพื้นที่อื่นๆที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันที่ชัดเจนก็อาจจะเป็นไปตามสมมติฐานที่กล่าวไว้ข้างต้น



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนคลื่น (R%) กับ ความหนาแน่นของต้นไม้ (Dm)

4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนคลื่น ความยาวของแนวป่า (Lm)

จากสมมติฐาน เมื่อความยาวของแนวป่าเพิ่มขึ้น จะทำให้การลดทอนของคลื่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดกลไกแบบ พลังงานคลื่นถูกสลายด้วยแรงต้านเนื่องจากลำต้นและราก และ แบบพลังงานคลื่นถูกสลายด้วยแรงเสียดทานที่พื้น จากกราฟแสดงถึงค่าการลดทอนของคลื่น และ ความยาวของแนวป่า เมื่อดูจากกราฟ และ เส้นแนวโน้มแล้วจะสรุปได้ตามสมมติฐานที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น คือ เมื่อความยาวของแนวป่าเพิ่มขึ้น จะทำให้การลดทอนของคลื่นเพิ่มขึ้น สรุปว่า ข้อมูลนี้สอดคล้องตามสมมติฐานที่ตั้งไว้



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การลดทอนคลื่น (R%) กับ ความยาวของแนวป่า (Lm)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษาในภาคสนาม

การศึกษาในภาคสนามครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาภาคสนามเกี่ยวกับการลดทอนคลื่นในป่าชายเลน และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดทอนคลื่น โดยทำการศึกษาที่ปากแม่น้ำบางปะกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ปัจจัยที่สนใจในการศึกษาว่า มีผลต่อการลดทอนคลื่นอย่างไร คือ ความยาวของป่าชายเลน ความหนาแน่นของป่าชายเลน และความลึกของระดับน้ำ ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

(1) คลื่นที่ตรวจวัดได้จากการสำรวจภาคสนามครั้งนี้ ไม่สูงมากนัก เนื่องจากเป็นช่วงที่หมดฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พอดี ความสูงคลื่นนัยสำคัญมีค่าเท่ากับ 0.60 เมตร

(2) การลดทอนคลื่นบริเวณพื้นที่ใกล้ทะเลมีค่ามากกว่าบริเวณที่ถัดมาข้างใน โดยค่าเฉลี่ยของการลดทอนคลื่น ในพื้นที่ศึกษา 50 เมตรแรกมีค่าเท่ากับ 7.29% และค่าเฉลี่ยของการลดทอนคลื่น ในพื้นที่ศึกษา 50 เมตรถัดมา เท่ากับ 4.89% และพิจารณาพื้นที่ทั้งหมด 100 เมตร มีค่าเฉลี่ยของการลดทอนคลื่น เท่ากับ 6.76%

(3) เมื่อความยาวของป่าชายเลนเพิ่มขึ้น การลดทอนจะเพิ่มขึ้น เมื่อความยาวของแนวป่าชายเลนเพิ่มมากขึ้น โอกาสที่คลื่นจะถูกลดทอนด้วยระบบรากและลำต้นของต้นไม้ป่าชายเลนก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของคลื่นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเกิดกลไกแบบ พลังงานคลื่นถูกสลายด้วยแรงต้านเนื่องจากลำต้นและราก และพลังงานคลื่นถูกสลายด้วยแรงเสียดทานที่พื้น หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของคลื่นแปรผันตามความยาวของแนวป่าชายเลน

(4) ในประเด็นความหนาแน่นของต้นไม้ในป่าชายเลน การศึกษายังไม่สามารถสรุปผลที่ชัดเจนได้ เนื่องจากค่าความหนาแน่นต้นไม้ของพื้นที่ศึกษาใกล้เคียงกันมากหรือไม่ต่างกันมาก

(5) เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้น การลดทอนคลื่นจะลดลง เนื่องจากเมื่อระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น โอกาสที่คลื่นจะปะทะกับรากของต้นไม้ลดลง ประกอบกับอิทธิพลของความเสียดทานที่พื้นลดลงด้วย ทำให้การลดทอนคลื่นลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

(1) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในช่วงเวลาที่เป็นลมมรสุมที่พัดเข้าสู่ชายฝั่งพื้นที่ที่จะทำการศึกษา เนื่องจากจะได้ความสูงของคลื่น ที่มีความสูงมากกว่าคลื่นที่ไม่ได้อยู่ในช่วงลมมรสุม

(2) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของต้นไม้ป่าชายเลนแตกต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลในการสร้างสมการ เพื่อนำไปใช้ ในการหาการลดทอนคลื่นในพื้นที่จริง เนื่องจากพื้นที่ศึกษาในแต่ละพื้นที่มีความหนาแน่นของต้นไม้ที่แตกต่างกัน

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

เอกสารอ้างอิง

- Aksornkoae S, et al. Rehabilitation and Development of Mangrove Resources for Sustainable Socio-economics of Thailand [Research report: RTA3980005]. Thailand Research Fund; 1999. (In Thai).
- Aksornkoae S, Population and coastal resources. Thailand Research Fund; 2002. (In Thai).
- Alongi DM. Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and response to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2008;76: 1-13.
- Augustin LN, Irish JL, Lynett P.J. Laboratory and numerical studies of wave damping by emergent and near-emergent wetland vegetation. *Coastal Engineering*. 2009;56: p. 332-340.
- Battjes JA, Janssen JPFM. Energy loss and set-up due to breaking random waves. *Proceeding of the 16th International Conference on Coastal Engineering*; 1992. p. 569-587.
- Brickman RM, Massel SR, Ridd PV, Furukawa K, Surface wave attenuation in mangrove forest. *Proceeding of the 13th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference*; 1997. p. 941-946.
- Bunyavejchewin S, Buasalee R. Mangrove forests: ecology and vegetations. Bangkok; 2011.
- Christensen SM, Tarp P, Hjortso CN. Mangrove forest management planning in coastal buffer and conservation zones, Vietnam: A multimethodological approach incorporating multiple stakeholders. *Ocean and Coastal Management*. 2008;51: 712-726.
- Cochard R, Ranamukhaarachchi SL, Shivakoti GP, Shipin OV, Edwards PJ, Seeland KT. The 2004 tsunami in Aceh and Southern Thailand: A review on coastal ecosystem, wave hazards and vulnerability. *Prospective in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 2008;10: 3-40.
- Dalrymple RA, Kirby JT, Hwang PA. Wave refraction due to areas of energy dissipation. *Journal of Waterway, Port, Coastal Ocean Engineering*. 1984;110: 67-79.
- Dean RG, Dalrymple RA. Water wave mechanics for engineers and scientists, World Scientific; 1991. Aksornkoae S. Population and coastal resources. Thailand Research Fund; 2002. (In Thai).

- Department of Marine and Coastal Resources. Mangroves Forests. Pamphlet (In Thai).
- de Vos WJ. Wave attenuation in mangrove wetlands, Red River Delta, Vietnam [MSc Thesis]. Delft University of Technology; 2004.
- Dharanirajan K, Pandian PK, Gurugnanam B, Narayanan RM, Ramachandran S. An integrated study for the assessment of tsunami impacts: A case study of South Andaman Island, India using remote sensing and GIS. *Coastal Engineering Journal*. 2007;49: 229-266.
- Dubi AM, Tørum A. Wave damping by kelp vegetation. *Proceedings of the 24th International Conference on Coastal Engineering*; 1994. p. 142–156.
- Feagin RA, Möller JLI, Williams AM, Colón-Rivera RJ, Mousavi M.E. Short communication: Engineering properties of wetland plants with application to wave attenuation. *Coastal Engineering*. 2011;58: 251-255.
- Fernando HJS, Samarawickrama SP, Balasubramanian S, Hettiarachchi SSL, Voropayev S. Effects of porous barriers such as coral reefs on coastal wave propagation. *Journal of Hydro-Environment Research*. 2008;1: 187-194.
- Field C. *Journey amongst mangroves*, International Society for Mangrove Ecosystems. Okinawa, Japan: 1995.
- Furukawa K, Wolanski E, Sedimentation in mangrove forests. *Mangroves and Salt Marshes*. 1996;1: 3-10.
- Hadi S, Latief H, Muliddin. Analysis of surface wave attenuation in mangrove forests, *Proceeding of ITB Engineering Science*; 2003: 35 B. p. 89-108.
- Hirashi T, Harada K. Greenbelt tsunami prevention in South-Pacific region, http://eqtap.edm.bosai.go.jp/useful_outputs/report/hirashi/data/paper/greenbelt.pdf; 2003.
- Holland KT, Vinzon SB, Calliari LJ. A field study of coastal dynamics on a muddy coast offshore of Cassino beach, Brazil. *Continental Shelf Research*. 2009;29: 503-514.
- Kamphuis JW. *Introduction to coastal engineering and management*, World Scientific; 2000.
- Kathiresan K, Rajendran N. Coastal mangrove forests mitigated tsunami. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2005;65: 601-606.
- Kerr AM, Baird AH, Campbell SJ. Comments on “Coastal mangrove forests mitigated tsunami” by K. Kathiresan and N. Rajendran (*Estuar. Coast. Shelf Sci.* 65 (2005) 601-606), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2006;67: 539-541.

- Kobayashi N, Raichlen AW, Asano T. Wave attenuation by vegetation. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*. 1993;119: 30-48.
- Liu WC, Hsu MH, Wang CF, Modeling of flow resistance in mangrove swamp at Mouth of Tidal Keelung River, Taiwan. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*. 2003;129: 86-92.
- Løvås SM, Tørum A. Effect of submerged vegetation upon wave damping and run-up on beaches: a case study on *Laminaria hyperborea*. *Proceedings of the 27th International Conference on Coastal Engineering*; 2000:1. p. 851–864.
- Massel SR, Furukawa K, Brinkman RM. Surface wave propagation in mangrove forests. *Fluid Dynamics Research*. 1999;24: 219-249.
- Mazda Y, Magi M, Ikeda Y, Kurokawa T, Asano T. Wave reduction in a mangrove forest dominated by *Sonneratia* sp. *Wetlands Ecology and Management*. 2006: 14: 365-378.
- Mazda Y, Magi M, Kogo M, Hong PN. Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King Delta, Vietnam. *Mangroves and Salt Marches*. 1997:1: 127-135.
- Mendez FJ, Losada I.J. An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields. *Coastal Engineering*. 2004;51: 103-118.
- Möller I, Mantilla-Contreras J, Spencer T, Hayes A. Micro-tidal coastal reed beds: Hydro-morphological insights and observations on wave transformation from the southern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2011;92: 424-436.
- Möller I. Quantifying saltmarsh vegetation and its effect on wave height dissipation: results from a UK East coast saltmarsh. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 2006;69: 337–351.
- Möller I, Spencer T, French JR, Leggett D, Dixon M. Wave transformation over salt marshes: a field and numerical modelling study from North Norfolk, England. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 1999;49: 411–426.
- Möller I, Spencer T. Wave dissipation over macro-tidal salt marshes: effects of marsh edge typology and vegetation change. *Journal of Coastal Research*. 2002;SI36: 506–521.
- Myrhaug D, Holmedal LE. Drag force on a vegetation field due to long-crested and short-crested nonlinear random waves. *Coastal Engineering*, 2011;58: 562-566.

- Noarayanan L, Murali K, Sundar V. Manning's 'n' co-efficient for flexible emergent vegetation in tandem configuration. *Journal of Hydro-Environment Research*. 2011: 1-12.
- Quartel S, Kroon A, Augustinus PGEF, Van Santen P, Tri NH. Wave attenuation in coastal mangroves in the Red River Delta, Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2007;29: 567-584.
- Robertson AI, Alongi DM (Ed.). *Tropical mangrove ecosystem*. American Geophysical Union, Washington; 1992.
- Shuto N. The effectiveness and limit of tsunami control forests. *Coastal Engineering in Japan*. 1987;30: 143-153.
- Suzuki T, Zijlema M, Burger B, Meijer MC, Narayan S. Wave dissipation by vegetation with layer schematization in SWAN, *Coastal Engineering*. doi:10.1016/j.coastaleng.2011.07.006; 2011.
- Svendsen IA. *Introduction to nearshore hydrodynamics*, World Scientific; 2006.
- Thampanya U, Vermaat JE, Sinsakul S, Panapitukkul N. Coastal erosion and mangrove progradation of Southern Thailand. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 2006;68: 75-85.
- Thampanya U, Vermaat JE, Terrados J. The effect of increasing sediment accretion on the seedling of three common Thai mangrove species. *Aquatic Botany*. 2002;74: 315-325.
- The SY, Koh HL, Liu PLF, Ismail AIM, Lee HL. Analytical and numerical simulation of tsunami mitigation by mangroves in Penang, Malaysia. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2009;36: 38-46.
- Tomlinson PB. *The botany of mangrove*. Cambridge University Press, Cambridge; 1986.
- Tuyen NB, Hung H.V. An experimental study on wave reduction efficiency of mangrove forests. *Proceeding of the 5th International Conference on Asian and Pacific Coasts*; 2009.
- U.S. Army Corps of Engineers. *Coastal Engineering Manual*. Washington, D.C.; 2002.
- Vermaat JE, Thampanya U. Mangroves mitigate tsunami damage: A further response. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2006;69: 1-3.
- Vo-Luong P, Massel S. Energy dissipation in non-uniform mangrove forests of arbitrary depth. *Journal of Marine Systems*. 2008;74: 603-622.

- Winterwerp JC, Borst WG, De Vries MB. Pilot study on the erosion and rehabilitation of a mangrove mud coast. *Journal of Coastal Research*. 2005;21: 223-230.
- Winterwerp JC, de Graaff RF, Groeneweg J, Luijendijk AP, Modelling of wave damping at Guyana mud coast. *Coastal Engineering*. 2007;54: 249-261.
- Winterwerp JC, Van Kesteren WGM. An introduction to the physical processes of cohesive sediment in the marine environment. Elsevier, *Developments in Sedimentology* vol. 56; 2004.
- Yanagisawa H, Koshimura S, Goto K, Miyagi T, Imamura F, Ruangrassamee A, Tanavud C. The reduction effects of mangrove forest on a tsunami based on field surveys at Pakarang Cape, Thailand and numerical analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2009;81: 601-606.

ภาคผนวก ก
ผลผลิต (Output)

บทความวิจัยที่คาดว่าจะตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ

เรื่อง

การศึกษาภาคสนามเกี่ยวกับการลดทอนคลื่นในป่าชายเลน บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดชลบุรี

ภาคผนวก ข
รายงานสรุปการเงิน

เลขที่โครงการ (NRPM 13 หลัก): 2557A10802169 สัญญาเลขที่ 105/2557
โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555
มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการ: การศึกษาภาคสนามเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน
ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนุญ รัศมีมาสเมือง
รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2556 ถึง วันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2558
ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี 10 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2556

รายรับ

จำนวนเงินที่ได้รับ			
เงินงวดที่ 1 (50%)	เป็นจำนวนเงิน	230,000	บาท
เงินงวดที่ 2 (40%)	เป็นจำนวนเงิน	184,000	บาท
เงินงวดที่ 3 (10%)	เป็นจำนวนเงิน	46,000	บาท (ยังไม่ได้รับ)
	รวม	460,000	บาท

รายจ่าย

หมวด	งบประมาณที่ตั้งไว้	งบประมาณที่ใช้จริง	จำนวนเงินคงเหลือ/เกิน
1. ค่าตอบแทน	90,000.00	90,000.00	0.00
2. ค่าจ้าง	115,000.00	93,100.00	21,900.00
3. ค่าวัสดุ	42,000.00	37,500.00	4,500.00
4. ค่าใช้สอย	165,000.00	198,000.00	-33,000.00
5. ค่าครุภัณฑ์	0.00	0.00	0.00
6. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ			
- ค่าโทรศัพท์/ไปรษณีย์	2,000.00	0.00	2,000.00
- เงินอุดหนุนการวิจัยของมหาวิทยาลัย	46,000.00	46,000.00	0.00
รวม	460,000.00	460,000.00	0.00

.....
ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

.....
ลงนามเจ้าหน้าที่การเงินโครงการ

ภาคผนวก ค

ประวัตินักวิจัย

ชื่อ-นามสกุล: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนุญ รัศมีมาสเมือง
Assistant Professor Dr. Thamnoon Rasmeemasuang

วันเกิด: 20 เมษายน 2519

สถานที่ทำงาน: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

เบอร์โทรศัพท์: 0-3810-2222 ต่อ 3358 กด 18 **เบอร์โทรสาร:** 0-3874-5806

อีเมล : thamnoon@buu.ac.th

ประวัติการศึกษา:

พ.ศ. 2541 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2544 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท Master of Engineering (M.Eng.),
Integrated Water Resources Management
จาก Asian Institute of Technology (AIT), ประเทศไทย

พ.ศ. 2550 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก Doctor of Engineering (D.Eng.),
Civil Engineering (Coastal Engineering)
จาก Yokohama National University ประเทศญี่ปุ่น

ประสบการณ์ทำงาน

2555 – ปัจจุบัน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2541 – 2555: อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2551 – 2553: ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายบริหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2544 – 2545: รักษาการหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ใบอนุญาตทางวิชาชีพ : ใบอนุญาตวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมโยธา เลขที่ ภย 24524
สมาคมทางวิชาชีพ : - สมาชิกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
- สมาชิกชมรมนักอุทกวิทยาไทย
- สมาชิกสมาคมการประปาแห่งประเทศไทย
ความสามารถทางคอมพิวเตอร์: Coastal and Ocean Modeling, FORTRAN
ความสามารถทางภาษา: ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ความเชี่ยวชาญและหัวข้องานวิจัยที่สนใจ:

- วิศวกรรมและอุทกพลศาสตร์ของชายฝั่งทะเล (Coastal Engineering and Hydrodynamics)
- อุทกพลศาสตร์ของแม่น้ำและปากแม่น้ำ (River and Estuarine Hydrodynamics)
- โครงสร้างทางชายฝั่งและชลศาสตร์ (Coastal and Hydraulic Structures)
- วิศวกรรมการประปา (Water Supply Engineering)

โครงการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา:

- 1) โครงการวิจัยเรื่อง Field study on the mechanism of environmental degradation and possible measures for sustainable use of mangrove coasts in Southeast Asia (2556-ปัจจุบัน), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: Japan Society for Promotion of Sciences (JSPS), หน้าที่: นักวิจัยร่วม
- 2) โครงการวิจัยเรื่อง Capacity development of local authorities and local people against climate change and natural disasters (2556-ปัจจุบัน), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: ASEAN University Network/ Southeast Asia Engineering Education Development Network, JICA, หน้าที่: นักวิจัยร่วม
- 3) โครงการวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ความสูงคลื่นซัดบนกำแพงกันคลื่นด้วยสมการเชิงสถิติ (2555-ปัจจุบัน), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, หน้าที่: หัวหน้าโครงการ
- 4) โครงการวิจัยเรื่อง การทดลองในห้องปฏิบัติการเรื่องความสูงคลื่นซัดบนพื้นเอียงแบบกระสอบทราย (2555-2556), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, หน้าที่: หัวหน้าโครงการ
- 5) โครงการวิจัยเรื่อง ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่มีต่อน้ำผิวดิน (2555-2556), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, หน้าที่: หัวหน้าโครงการ
- 6) โครงการวิจัยเรื่อง การทดลองทางห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน (2555-ปัจจุบัน), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.), หน้าที่: หัวหน้าโครงการ
- 7) โครงการวิจัยเรื่อง ระดับคลื่นซัดบนพื้นเอียงแบบขั้นบันได (2555-2557), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.), หน้าที่: หัวหน้าโครงการ

- 8) โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาศักยภาพของแนวต้นไม้ในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่งเนื่องจากคลื่นพายุซัดฝั่ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับชายฝั่งสมมติ (2554-2556), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.), หน้าที่: หัวหน้าโครงการ
- 9) โครงการวิจัยเรื่อง กลไกการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีบริเวณอ่าวไทยตอนบนฝั่งตะวันออก (2553-2556), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) , หน้าที่: หัวหน้าโครงการ
- 10) โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการผลิตน้ำประปาที่ใช้ระบบตกตะกอนกับระบบลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย (2553-2554), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, หน้าที่: หัวหน้าโครงการ
- 11) โครงการวิจัยเรื่อง ความสูงคลื่นซัดบนพื้นเอียงผิวขรุขระ (2552-2553), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, หน้าที่: หัวหน้าโครงการ
- 12) โครงการวิจัยเรื่อง รูปแบบการจัดการทรัพยากรน้ำโดยการนำระบบสารสนเทศทรัพยากรน้ำเชิงพื้นที่ร่วมกับกระบวนการมีส่วนร่วมทางสังคมไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่จังหวัดระยอง (2551-2552), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), หน้าที่: นักวิจัยร่วม
- 13) โครงการวิจัยเรื่อง แบบจำลอง One-Line ที่ใช้ระบบพิกัดขั้วและระบบพิกัดฉากร่วมกัน สำหรับอ่าวรูปจันทร์เสี้ยว (2551-2552), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, หน้าที่: หัวหน้าโครงการ
- 14) โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของคุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนบน (2551-2552), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, หน้าที่: หัวหน้าโครงการ
- 15) โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาสภาพทางภูมิประเทศและสมุทรศาสตร์ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการทางกายภาพของชายฝั่งทะเล ตามแนวชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี (2551-2552), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, หน้าที่: หัวหน้าโครงการ

ผลงานตีพิมพ์ทางวิชาการ:

บทความในวารสารนานาชาติ:

- 1) Rasmeemasuang, T., Chuenjai, W. and Rattanapitikon, W. (2014). Wave run-up on sandbag slopes, Maejo International Journal of Science and Technology, 2014, 8(01), 48-57.
- 2) Weesakul, S., Rasmeemasuang, T., Tasaduak, S. and Thaichareon, C. (2010). Numerical modeling of crenulate bay shapes. Coastal Engineering. 57(2), 184-193.

- 3) Rasmeemasuang, T. and Sasaki, J. (2008). Modeling of mud accumulation and bed characteristics in Tokyo Bay. Coastal Engineering Journal. 50(3), 277-307.

บทความในวารสารภายในประเทศ:

- 1) Chuenchai, W., Pholyeam, N., Phetchawang, S. and Rasmeemasuang, T. (2013). Wave run-up on stepped slopes. KMUTT Research and Development Journal, 36(3). Accepted (in Thai)
- 2) Rasmeemasuang, T. (2012). Wave Attenuation in Mangrove Forests. KKU Engineering Journal. 39(2), 203-212. (in Thai)
- 3) Rasmeemasuang, T. (2011). A comparative study of the efficiency of water supply production between the system using sedimentation and the system using dissolved air floatation, Research and Development Journal of The Engineering Institute of Thailand. 22(2), 16-24. (in Thai)

บทความในการประชุมระดับนานาชาติ:

- 1) Rasmeemasuang, T. (2010). Experimental study of wave runup height on rough slopes. Proceedings of the 6th International Conference on Marine Waste Water Discharges and Coastal Environments, Langkawi, Malaysia, October 25th - 29th
- 2) Rasmeemasuang, T. and Weesakul, S. (2009). One-Line Model Using the Combination of Polar and Cartesian Coordinates for Crenulate Shaped Bay. Proc. of the 6th International Conference on Coastal Dynamics, Tokyo, Japan, September 7-11, Paper No. 61, 14 pp.
- 3) Sasaki, J., Sato, Y., Rasmeemasuang, T and Shibayama, T. (2009). On the Mechanism of Organic-Rich Sediment Accumulation at the Head of Tokyo Bay. Proc. of the 5th International Conference on Asian and Pacific Coasts, Singapore October 13-16, 67-75.
- 4) Rasmeemasuang, T. and Sasaki, J. (2007). Modeling of sediment accumulation in a bay considering grain size variation. Annual Journal of Ocean Development, JSCE. 23, 1141-1146.
- 5) Rasmeemasuang, T. and Sasaki, J. (2007). Integrated Modeling for Formation and Characteristics of Sediment Layer in Tokyo Bay. Proceeding of the 4th International Conference on Asian and Pacific Coasts, Paper No. 76, 15 pp.

- 6) Sasaki, J., Sato, Y., Rasmeemasuang, T and Shibayama, T. (2007). Discussion on the Causes of the Formation of Soft Mud of the Head of Tokyo Bay. Annual Journal of Coastal Engineering, JSCE. 54, 1046-1050.
- 7) Rasmeemasuang, T. and Sasaki, J. (2006). Numerical analysis of characteristics of annual accumulated sediment in Tokyo Bay. Proc. of Techno-Ocean 2006/19th JASNAOE Ocean Engineering Symposium. paper no. 31, 8 pp.
- 8) Rasmeemasuang, T. and Sasaki, J. (2006). Numerical simulation of cohesive and non-cohesive sediment accumulation in Tokyo Bay. Proc. of the 7th International Conf. on HydroScience and Engineering, <http://hdl.handle.net/1860/1411>, 16 pp.
- 9) Weesakul, S., and Rasmeemasuang, T. (2002). Numerical Computation of Crenulate Bay Shape. The 28th International Conference on Coastal Engineering. Cardiff, UK, 3259-3271.

บทความในการประชุมระดับชาติ:

- 1) Limkul, N., Fakfan, C., Chuenjai, W., Rasmeemasuang, T. (2014). Empirical formula for wave run-up on rock revetments, Proc. of the 19th National Convention of Civil Engineering. (in Thai)
- 2) Chuenchai, W., Sukprasert, M., Phomthep, P. and Rasmeemasuang, T. (2013). Forecasting of Wave Runup Heights on Seawall at Wonnapha Beach, Chonburi Province. Proc. of the 18th National Convention of Civil Engineering. (in Thai)
- 3) Chuenchai, W., Sukprasert, M., Phomthep, P. and Rasmeemasuang, T. (2013). Multiple Linear Regression Equation for Forecasting Wave Runup Heights. Proc. of the 17th National Convention of Civil Engineering. (in Thai)
- 4) Rasmeemasuang, T. (2011). A Simple Empirical Formula for Wave Runup Heights on Smooth and Rough Slopes. Proc. of the 16th National Convention of Civil Engineering. (in Thai)
- 5) Chaiyasaeng, W., Mangthong, O., Rasmeemasuang, T., Sasaki, J. and Rattanapitikon, W. (2011). Seasonal variations of water quality around Bangsaen Beach, Chonburi Province. Proc. of the 4th National Convention of Water Resources Engineering. (in Thai)

- 6) Rasmeemasuang, T., Kamchompoo, A. and Seangpetch, P. (2010). Wave runup height on rough slope. Proc. of the 15th National Convention of Civil Engineering. (in Thai)
- 7) Naksuksakul, S. and Rasmeemasuang, T. (2010). Extreme value distribution for return period of tropical cyclone entry to Thailand. Proc. of the 15th National Convention of Civil Engineering. (in Thai)
- 8) Rasmeemasuang, T. and Weesakul, S. (2009). Modification of Formula of Alongshore Sand Transport Rate. Proc. of the 14th National Convention of Civil Engineering. (in Thai)
- 9) Rasmeemasuang, T. (2009). Uncertainty of Settling Velocity Modeling in Suspended-Particulate-Matter Model: A Review. Proc. of the 3rd National Convention of Water Resources Engineering. (in Thai)
- 10) Rasmeemasuang, T. and Sasaki, J. (2008). Modeling of multi-class muddy sediment dynamics in a semi-enclosed bay. Proceeding of the 13th National Convention of Civil Engineering. (in Thai)
- 11) Rasmeemasuang, T. and Sasaki, J. (2006). Numerical analysis of spatial distribution of accumulative bed sediments in Tokyo Bay. Proc. of the 19th Conf. of Japanese Association for Coastal Zone Studies (JACZS). 72-76.