

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาศักยภาพของแนวต้นไม้ในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่งเนื่องจากคลื่น
พายุซัดฝั่ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับชายฝั่งสมมุติ

(A study on the potential of coastal vegetation in the reduction of storm-
surge-induced coastal flooding area by applying numerical model on
idealized coastline)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนุญ รัตมีมาสเมือง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

๗๗๗๖๖๘

๗๗๗๖๖๘

๒๕ ส.ย. ๒๕๕๘

๓๕๔๘๖๔

เริ่มบริการ

๑๙ เม.ย. ๒๕๕๙

สิงหาคม ๒๕๕๖

รหัสโครงการ 2554A10862005

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาศักยภาพของแนวต้นไม้ในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่งเนื่องจากคลื่น
พายุซัดฝั่ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับชายฝั่งสมมุติ

(A study on the potential of coastal vegetation in the reduction of storm-
surge-induced coastal flooding area by applying numerical model on
idealized coastline)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมบุญ รัตมีมาสเมือง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

สนับสนุนโดย สำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษา

และพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ

สำนักคณะกรรมการการอุดมศึกษา

ทุนสนับสนุนการวิจัย

สำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนา มหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ

สำนักคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ตามที่ นายธรรมนุญ รัตมีมาสเมือง พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สังกัดภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย เรื่อง “การศึกษาศักยภาพของแนวต้นไม้ในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่งเนื่องจากคลื่นพายุซัดฝั่ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับชายฝั่งสมมุติ” จากทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนา มหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 โดยมีงบประมาณทั้งโครงการ 220,000 บาท ขณะนี้ ผลการดำเนินการวิจัยเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว

รายละเอียดของโครงการวิจัย

ผู้เสนอ : นายธรรมนุญ รัตมีมาสเมือง
หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ระยะเวลาดำเนินการ : 12 เดือน
งบประมาณ : 220,000 บาท

กิตติกรรมประกาศ
(Acknowledgement)

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัย
แห่งชาติ สำนักคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่สนับสนุนทุนดำเนินการวิจัย ประจำปีงบประมาณ
พ.ศ. 2554 รหัสโครงการ 2554A10862005

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศักยภาพของต้นไม้ชายฝั่งในการลดพื้นที่น้ำท่วมซึ่งเกิดจากคลื่นที่มีความสูงมากกว่าปกติ เช่น คลื่นพายุซัดฝั่ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับชายฝั่งสมมุติที่มีขนาดความกว้าง 1,000 เมตรและความยาว 1,500 เมตร การศึกษาได้พิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อความไวของพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่งจำนวน 5 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชันของหาด สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นหาด ความยาวของแนวต้นไม้ ความกว้างของแนวต้นไม้ และรูปแบบของพื้นที่ต้นไม้

ผลการศึกษา พบว่า ความลาดชันของหาดมีผลต่อการลดพื้นที่น้ำท่วมได้ หาดที่มีความลาดชันมาก พื้นที่น้ำท่วมจะลดลง เนื่องจากพลังงานคลื่นถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานศักย์ สำหรับกรณีสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน หาดที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่พื้นมากกว่าจะลดพื้นที่น้ำท่วมได้มากกว่า สำหรับกรณีของความยาวและความกว้างของแนวต้นไม้ พบแนวโน้มเช่นเดียวกัน คือ เมื่อความยาวและความกว้างของแนวต้นไม้เพิ่มขึ้น แนวต้นไม้สามารถลดพื้นที่น้ำท่วมได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีต้นไม้เลย โดยอัตราการลดพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดประมาณ 30% ของพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดในกรณีที่ไม่มีต้นไม้เลย และสำหรับรูปแบบของพื้นที่ต้นไม้ไม่มีผลต่อพื้นที่น้ำท่วมเท่าใดนัก

Abstract

This research was conducted to study the potential of coastal vegetation in reducing coastal flooding caused by waves that are higher than normal waves such as storm surges. A two dimensional hydrodynamic model was applied to simulate the coastal flooding in a 1000-m wide and 1500-m long idealized beach. Sensitivity of flooded area was analyzed by considering five parameters: the beach slope, the bed friction coefficient, the length of the tree area, the width of the tree area and the pattern of the tree area.

The results showed that the beach slope influenced the flooded area. The flooded area decreased as the beach slope increased, because wave energy is transformed into potential energy. In case of the friction coefficient, the beach with the greater friction coefficient could reduced the flooded area. For the case of the length and width of the tree area, it is obviously found that as the area of the tree increased, the flooded area was reduced. The maximum reduction of the flooded area was about 30% compared to the case of no tree. Finally the pattern of the tree area did not affect the flooded area much.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	iii
Abstract	iv
สารบัญ	v
สารบัญตาราง	vii
สารบัญรูป	viii
บทที่ 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 คลื่นพายุซัดฝั่งและน้ำท่วมชายฝั่ง	4
2.2 การศึกษาและการจำลองคลื่นพายุซัดฝั่ง	8
2.3 การศึกษาภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเล	12
2.4 การศึกษาศักยภาพของต้นไม้ชายฝั่งทะเลในการลดทอนพลังงาน คลื่นพายุซัดฝั่งและในการลดพื้นที่น้ำท่วมบริเวณชายฝั่งทะเล	13
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	16
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	16
3.2 การจำลองนอกฝั่ง	17
3.3 การจำลองพื้นที่น้ำท่วม	19
3.4 เงื่อนไขการจำลองสถานการณ์	22
บทที่ 4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผลการศึกษา	27
4.1 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและความลาดชันของหาด	28
4.2 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและสัมประสิทธิ์ ความเสียดทานของหาด	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและความยาวของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งทะเล	45
4.4 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและความกว้างของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งทะเล	52
4.5 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและรูปแบบของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งทะเล	64
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	69
5.1 สรุปผลการศึกษา	69
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	70
บรรณานุกรม	71
ภาคผนวก ก ผลผลิต	74
ภาคผนวก ข รายงานสรุปการเงิน	75
ภาคผนวก ค ประวัตินักวิจัย	76
ภาคผนวก ง การแบ่งความรุนแรงพายุหมุนเขตร้อน	82
ภาคผนวก จ สมบัติหรือความเสียหายของ Manning สำหรับท่อและรางน้ำ	83

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างเหตุการณ์คลื่นพายุซัดฝั่งที่สำคัญในประเทศสหรัฐอเมริกา	7
ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง	23
ตารางที่ 3.2 กรณีศึกษาสถานการณ์ด้วยแบบจำลอง	24
ตารางที่ 4.1 สรุปการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ดินไม้ชายฝั่งทะเลที่ใช้แบบจำลอง	45
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์เชิงประสพการณ์สำหรับสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตพื้นที่น้ำท่วม (%) กับร้อยละของความยาวแนวดินไม้ชายฝั่งทะเลต่อความยาวพื้นที่น้ำท่วมสูงสุด	46

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของคลื่นพายุซัดฝั่ง	5
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการเกิดคลื่นพายุซัดฝั่งพร้อมก้นน้ำขึ้นสูง	5
รูปที่ 3.1 แผนภาพของแบบจำลองสองชั้น	17
รูปที่ 3.2 Leap-frog scheme	20
รูปที่ 3.3 แผนภาพพื้นที่ชายฝั่งจำลอง	23
รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงพารามิเตอร์ที่แสดงลักษณะของพื้นที่น้ำท่วม	27
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วมกับความสูงคลื่น ณ ความลาดชันต่างๆ	30
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำท่วมสูงสุดกับความสูงคลื่น ณ ความลาดชันต่างๆ	30
รูปที่ 4.4 ภาวน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C1_BS1-075_H2, C1_BS1-150_H2 และ C1_BS1-300_H2	31
รูปที่ 4.5 ภาวน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C1_BS1-300_H1, C1_BS1-300_H2 และ C1_BS1-300_H3	35
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วมกับความสูงคลื่น ณ สัมประสิทธิ์ความเสียหายต่างๆ	40
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำท่วมสูงสุดกับความสูงคลื่น ณ สัมประสิทธิ์ ความเสียหายต่างๆ	40
รูปที่ 4.8 ภาวน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C2_FM004_H2, C2_FM010_H2 และ C2_FM020_H	41
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของความยาวแนวต้นไม้ชายฝั่งทะเลต่อ ความยาวพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดกับร้อยละการลดพื้นที่น้ำท่วม	47
รูปที่ 4.10 ภาวน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C3_H2_LT10=040, C3_H2_LT15=060 และ C3_H2_LT20=080	48
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความกว้างของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งทะเล ต่อความกว้างพื้นที่ศึกษากับร้อยละการลดพื้นที่น้ำท่วม	53

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.12 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C4_WT04=020, C4_WT08=040, C4_WT12=060 และ C4_WT16=080	54
รูปที่ 4.13 ร้อยละการลดพื้นที่น้ำท่วมสำหรับแต่ละรูปแบบของพื้นที่ต้นไม้อายุฝั่งทะเล	64
รูปที่ 4.14 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C5_P1, C5_P2 และ C5_P3	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการศึกษา

คลื่นพายุซัดฝั่ง (Storm surge) เป็นคลื่นที่เกิดขึ้น เมื่อพายุหมุนเขตร้อน (Tropical cyclone) พัดเข้าหาชายฝั่ง และเป็นคลื่นที่มีความรุนแรงสูงมาก สร้างความเสียหายในชีวิตและทรัพย์สินที่อยู่บริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล รวมทั้งสร้างความเสียหายกับชายหาดและธรรมชาติบริเวณชายฝั่งทะเลด้วย ในประเทศไทยแม้ว่าจะเกิดพายุเขตร้อนที่มีความรุนแรงอย่างพายุไต้ฝุ่น (typhoon) หรือพายุไซโคลน (cyclone) ไม่บ่อยนัก แต่ก็พบพายุระดับพายุเขตร้อน (Tropical storm) และพายุดีเปรสชัน (Depression) อยู่บ่อยครั้ง นอกจากนี้ เมื่อพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งทะเลของประเทศแล้ว พบว่าเกิดความเสียหายในชีวิตและทรัพย์สินอย่างรุนแรง เช่น ในปี พ.ศ. 2505 พายุเขตร้อนแฮเรียต เข้าทำลายพื้นที่ชายฝั่งทะเลแหลมตะลุมพุก จังหวัด นครศรีธรรมราช ทำให้มีผู้เสียชีวิตกว่า 1,000 คน มีการบอกเล่าว่า เกิดคลื่นพายุซัดฝั่งสูงระดับ ยอดต้นมะพร้าว และในปี พ.ศ. 2532 พายุไต้ฝุ่นเกย์ เคลื่อนที่ขึ้นฝั่งที่จังหวัดชุมพร สร้างความเสียหายอย่างรุนแรง มีผู้เสียชีวิตกว่า 400 คน เกิดคลื่นพายุซัดฝั่ง และน้ำท่วมชายฝั่ง (Coastal flooding) เป็นบริเวณกว้าง นับเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติครั้งร้ายแรงที่สุดครั้งหนึ่งของประเทศไทย สาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงประการหนึ่ง คือ ความรู้ความเข้าใจและการเตรียมพร้อมรับมือภัยพิบัติทางธรรมชาติประเภทนี้มีอยู่ในระดับต่ำมาก

คลื่นพายุซัดฝั่ง คือ ปรากฏการณ์ที่น้ำทะเลเกิดการยกตัวสูงขึ้นกว่าระดับน้ำทะเลปกติ เกิดเป็นโดมน้ำขนาดใหญ่ เนื่องจากความกดอากาศต่ำ (Low pressure) ของมวลอากาศหรือพายุหมุนเขตร้อน และโดมน้ำขนาดใหญ่นี้จะเคลื่อนตัวซัดชายฝั่งทะเล บริเวณที่พายุหมุนเขตร้อนนั้นเคลื่อนตัวขึ้นฝั่ง ความเร็วของลมที่สูงมาก จะทำให้คลื่นที่ซัดชายฝั่งมีความรุนแรงสูงมากตามไปด้วย ความรุนแรงของพายุหมุนเขตร้อนและคลื่นพายุซัดฝั่งสามารถพังทลายบ้านเรือน ต้นไม้ และทรัพย์สินของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล และทำให้เกิดน้ำท่วมชายฝั่งได้

สำหรับชายฝั่งทะเลของประเทศไทย ที่มีความเสี่ยงที่พายุหมุนเขตร้อนและคลื่นพายุซัดฝั่งจะเคลื่อนตัวขึ้นฝั่ง ได้แก่ บริเวณชายฝั่งภาคกลางตอนล่างและภาคใต้ ฝั่งตะวันออกหรือฝั่งอ่าวไทย ตั้งแต่จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดชุมพร จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัด

นครศรีธรรมราช จังหวัดพัทลุง และจังหวัดสงขลา แม้กระทั่งมีความวิตกกังวลถึง การเกิดภัยพิบัติจากคลื่นพายุซัดฝั่งบริเวณแนวชายฝั่งทะเลทางทิศเหนือของอ่าวไทยตอนบนหรืออ่าวไทยตอนใน ซึ่งเป็นที่ตั้งของเมืองหลวง เมืองอุตสาหกรรม และเมืองใหญ่ที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ เป็นต้น

แนวทางในการลดความเสียหายของคลื่นพายุซัดฝั่งอาจจะทำได้โดยการใช้โครงสร้างทางชายฝั่งทะเล อย่างเช่น เขื่อนหรือประตูป้องกันน้ำท่วม เป็นแนวกำบังคลื่นพายุซัดฝั่ง แต่มาตรการนี้อาจจะยังไม่มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์สำหรับประเทศไทย มาตรการที่ควรจะมีการดำเนินการก่อน คือ การเตือนภัยและการอพยพที่มีประสิทธิภาพ และการสร้างหรือการฟื้นฟูแนวกำบังชายฝั่งทางธรรมชาติ เช่น แนวต้นไม้หรือพืชพรรณบริเวณชายฝั่งทะเล

บริเวณที่ชายหาดเลนหรือโคลน ลักษณะของพื้นที่ท้องทะเลมีความยึดหยุ่นสูง จะทำให้ลดพลังงานของคลื่นได้เป็นอย่างดี และต้นไม้ชายเลนหรือป่าชายเลน ก็จะช่วยกำบังและแนวลดแรงปะทะของลมพายุและคลื่นพายุซัดฝั่ง บริเวณที่ชายหาดทรายก็เช่นเดียวกัน แนวต้นไม้บริเวณชายฝั่ง เช่น แนวต้นไม้มะพร้าว แนวต้นสน ก็สามารถลดกำลังลม และสลายพลังงานของคลื่นพายุซัดฝั่งได้ในระดับหนึ่ง ทำให้คลื่นพายุซัดฝั่งลดความรุนแรง ลดพื้นที่และความเสียหายของน้ำท่วมชายฝั่งได้

โครงการวิจัยนี้จะศึกษาศักยภาพของแนวต้นไม้ชายฝั่งในการลดความรุนแรงของคลื่นพายุซัดฝั่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำการจำลองการเคลื่อนตัวของคลื่นพายุซัดฝั่ง ในกรณีชายฝั่งทะเลสมมุติ เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแนวต้นไม้ชายฝั่งกับความสามารถในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่ง ซึ่งจะเป็นแนวทางที่สำคัญในการเตรียมพร้อมรับมือและบรรเทาความเสียหายที่เกิดจากภัยพิบัติทางธรรมชาตินี้ได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- (1) เพื่อศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำท่วมชายฝั่งทะเลโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับกรณีชายฝั่งสมมุติ
- (2) เพื่อศึกษาศักยภาพและความสามารถของแนวต้นไม้ชายฝั่ง ในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่งที่เกิดจากคลื่นพายุซัดฝั่ง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

โครงการวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาศักยภาพของแนวต้นไม้ชายฝั่งทะเลในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่งที่เกิดจากคลื่น โดยเฉพาะคลื่นพายุซัดฝั่ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับชายฝั่งทะเลสมมุติ โดยมีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

- (1) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นแบบจำลองของห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมชายฝั่งทะเล มหาวิทยาลัยแห่งชาติโยโกฮาม่า ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งผู้วิจัยได้รับอนุญาตให้ใช้เพื่อการศึกษาวิจัย
- (2) แบบจำลองนี้จำลองการเคลื่อนตัวของน้ำท่วมชายฝั่ง โดยใช้หลักการสมการการอนุรักษ์มวลและการอนุรักษ์โมเมนตัม โดยมี 2 มิติในพิกัดราบ และ 2 ชั้นในพิกัดตั้ง
- (3) พื้นที่ชายฝั่งทะเลที่ใช้ในการศึกษาเป็นชายฝั่งทะเลสมมุติ ที่สามารถกำหนดความกว้าง ความยาว ความชัน และลักษณะพื้น ได้ตามความต้องการ เพื่อให้การศึกษาได้ผลลัพธ์ที่เป็นต้นแบบทั่วไป ไม่เฉพาะเจาะจงกับพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง
- (4) พื้นที่น้ำท่วมชายฝั่ง พิจารณาจากมวลน้ำของคลื่นพายุซัดฝั่งที่เคลื่อนตัวมาบนพื้นที่ชายฝั่งทะเล โดยไม่คำนึงถึงปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นเนื่องจากพายุ เนื่องจากปัจจัยนี้มีความซับซ้อนและแปรผันสูง ซึ่งในการวิจัยขั้นต้นนี้ยังไม่ครอบคลุม
- (5) ศักยภาพของแนวต้นไม้ชายฝั่งในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่งถูกกำหนดความโดยลักษณะความเสียหายของพื้นที่ในแบบจำลอง โดยความหนาแน่นของต้นไม้และขนาดของแนวต้นไม้จะถูกจำลองโดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียหายเป็นตัวแปรหลัก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเล และทราบถึงศักยภาพของแนวต้นไม้ชายฝั่งในการลดทอนพลังงานคลื่น ในรูปของการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่ง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

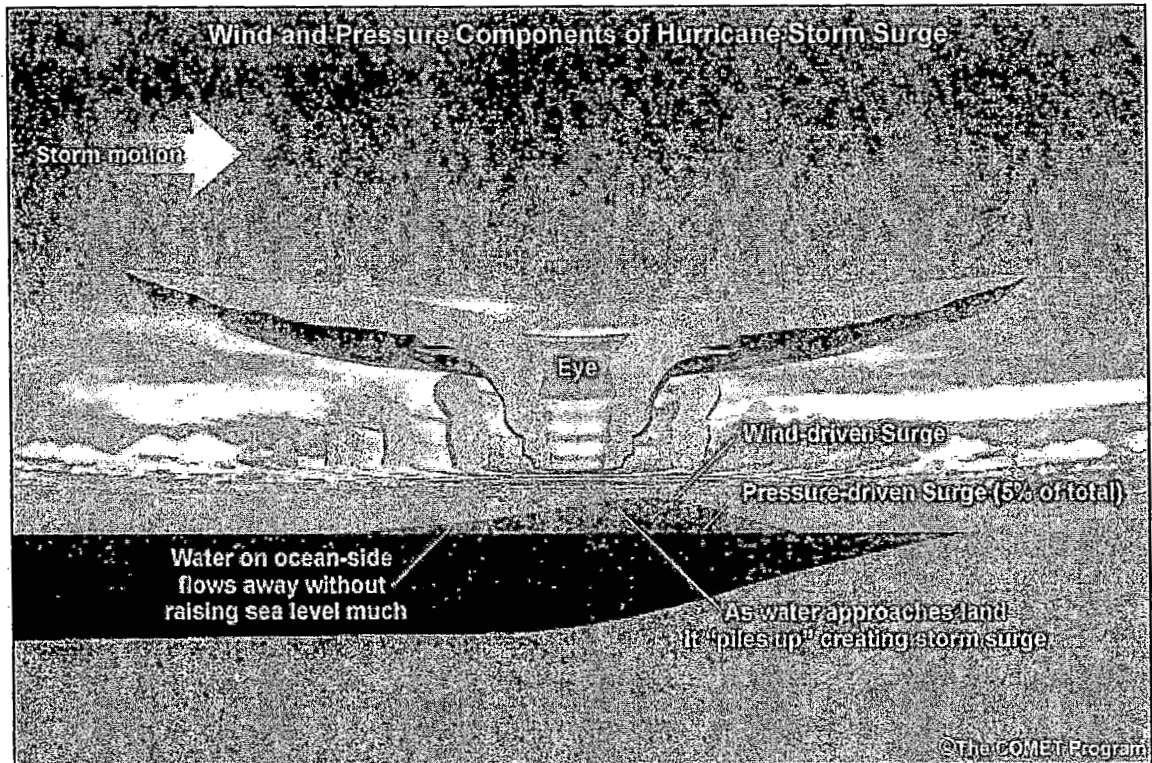
บทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคลื่นพายุซัดฝั่ง (Storm surge) การพัฒนาแบบจำลองคลื่นพายุซัดฝั่ง ภาวะน้ำท่วมบริเวณชายฝั่งทะเล (Coastal flooding) และการศึกษาศักยภาพของต้นไม้ชายฝั่งทะเล (Coastal vegetations) ในการลดทอนพลังงานคลื่นหรือในการลดพื้นที่น้ำท่วมบริเวณชายฝั่งทะเล

2.1 คลื่นพายุซัดฝั่งและน้ำท่วมชายฝั่ง

คลื่นพายุซัดฝั่ง (Storm surge) คือ การยกตัวสูงขึ้นอย่างผิดปกติของระดับน้ำทะเลมากกว่าระดับน้ำขึ้น-น้ำลงปกติ (Astronomical tide) ซึ่งเกิดจากพายุหมุนเขตร้อน (Tropical cyclone)¹ หรือพายุไต้ฝุ่น (Typhoon) กลไกหลักเกิดจากความเร็วยกตัวของลมพายุที่พัดเหนือพื้นผิวน้ำของท้องทะเลทำให้เกิดคลื่นยกตัวเนื่องจากลม (Wind-driven surge) ดังรูปที่ 2.1 และประกอบกับความดันต่ำบริเวณศูนย์กลางของพายุหรือตาพายุ (Eye of storm) ทำให้เกิดการยกตัวเนื่องจากความดัน (Pressure-driven surge) อีกประมาณร้อยละ 5 ของความสูงคลื่นทั้งหมด (MetEd)

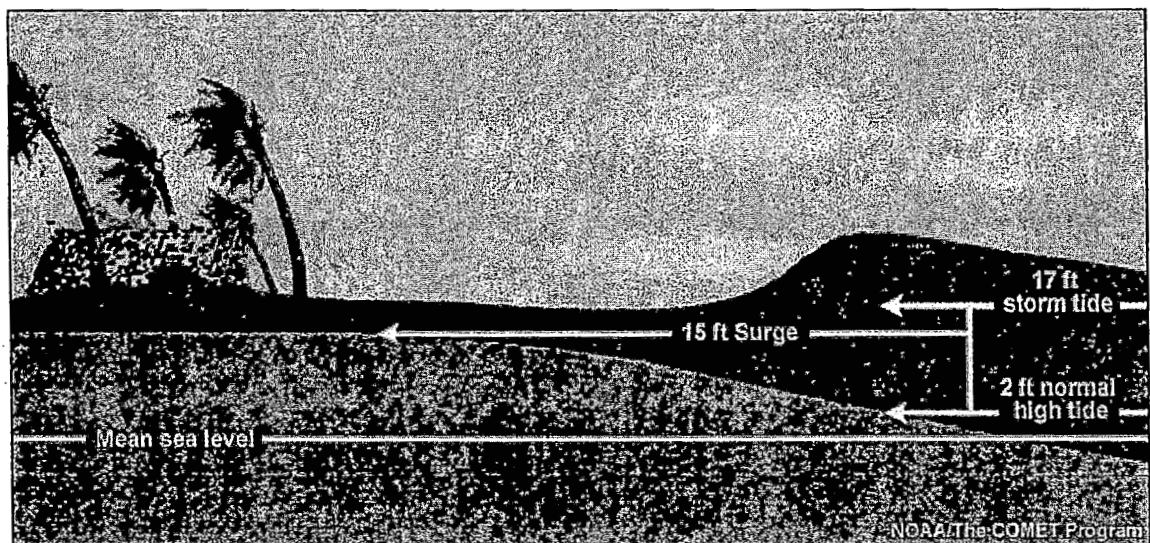
คลื่นพายุซัดฝั่งนี้อาจจะเกิดขึ้นพร้อมการชว่งน้ำขึ้น ทำให้ระดับน้ำยิ่งยกตัวสูงขึ้นไปอีก เรียกลักษณะเช่นนี้ว่า คลื่นน้ำขึ้นพายุซัดฝั่ง (Storm tide) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.2 ระดับความสูงคลื่นพายุซัดฝั่งเท่ากับ 15 ฟุต หรือ 4.57 เมตร และระดับน้ำขึ้นสูงอีก 2 ฟุต หรือ 0.61 เมตร ทำให้เกิดคลื่นน้ำขึ้นพายุซัดฝั่งเท่ากับ 17 ฟุต หรือ 5.18 เมตร ตัวอย่างของคลื่นพายุซัดฝั่งที่เกิดขึ้นในช่วงน้ำขึ้นสูง คือ พายุเฮอริเคนแคทรินา (Hurricane Katrina) ในปีค.ศ. 2005 ซึ่งเป็นคลื่นพายุซัดฝั่งที่เกิดขึ้นตามแนวชายฝั่งรัฐมิสซิสซิปปี (Mississippi coast) มีความสูงมากกว่า 20 ฟุต หรือ 6.10 เมตร ตลอดแนวชายฝั่ง และทำให้เกิดน้ำท่วมชายฝั่งไปไกลกว่า 6 ถึง 12 ไมล์ หรือ 9.7 ถึง 19.3 กิโลเมตร จากแนวชายฝั่ง

¹ พายุหมุนเขตร้อนที่เกิดในชายฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรแอตแลนติก เรียกว่า เฮอริเคน (Hurricane) พายุหมุนเขตร้อนที่เกิดในอ่าวเบงกอลและมหาสมุทรอินเดีย เรียกว่า ไซโคลน (cyclone) พายุหมุนเขตร้อนที่เกิดในมหาสมุทรแปซิฟิก เรียกว่า ไต้ฝุ่น (Typhoon) พายุหมุนเขตร้อนที่เกิดแถบนิวซีแลนด์และออสเตรเลีย เรียกว่า วิลลี-วิลลี (Willy-willy) และพายุหมุนเขตร้อนที่เกิดในหมู่เกาะฟิลิปปินส์ เรียกว่า บาเกียว (Baguio)



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของคลื่นพายุซัดฝั่ง

(ที่มาของภาพ: http://www.nhc.noaa.gov/surge/images/surgebulge_COMET.jpg)



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการเกิดคลื่นพายุซัดฝั่งพร้อมน้ำขึ้นสูง

(ที่มาของภาพ: <http://www.nhc.noaa.gov/surge/images/stormsurgevsstormtide.jpg>)

เมื่อคลื่นพายุซัดฝั่งเคลื่อนตัวขึ้นฝั่ง คลื่นน้ำที่ยกตัวสูงขึ้นจะพัดเข้าทำลายบ้านเรือนและทรัพย์สินบริเวณชายฝั่ง ชายหาดทราย ต้นไม้ รถยนต์ และสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ในเส้นทางของคลื่นน้ำนี้ จะถูกพัดไปตามน้ำ พื้นที่บริเวณลุ่มต่ำจะเกิดน้ำท่วม ระดับความรุนแรงของคลื่นพายุซัดฝั่งระหว่างเกิดพายุได้รับอิทธิพล จาก

- ขนาดและขอบเขตของพายุ (รัศมีของพายุ)
- ความรุนแรงของพายุหรือความเร็วของลมที่พัดหมุน
- ความเร็วในการเคลื่อนที่ของพายุ
- เส้นทางของพายุ
- ความดันบริเวณศูนย์กลางของพายุ
- ตำแหน่งที่พายุขึ้นฝั่ง
- ค่าระดับความสูงบริเวณชายฝั่ง
- รูปร่างและลักษณะของพื้นที่ชายฝั่ง

ตัวอย่างเหตุการณ์ความเสียหายเนื่องจากคลื่นพายุซัดฝั่งในประเทศสหรัฐอเมริกา ข้อมูลจากศูนย์เฮอริเคนแห่งชาติ องค์การบริหารมหาสมุทรและบรรยากาศแห่งชาติ (National Hurricane Center, NOAA) สรุปดังตารางที่ 2.1.

แม้ว่าสถิติการเกิดพายุหมุนเขตร้อนในประเทศระดับพายุไต้ฝุ่นจะมีไม่มากนัก แต่ชายฝั่งทะเลของประเทศไทย ยังคงมีความเสี่ยงที่พายุหมุนโซนร้อนและคลื่นพายุซัดฝั่งจะเคลื่อนตัวขึ้นฝั่งได้ บริเวณที่มีความเสี่ยง ได้แก่ บริเวณชายฝั่งภาคกลางตอนล่างและภาคใต้ ฝั่งตะวันออกหรือฝั่งอ่าวไทย ตั้งแต่จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดชุมพร จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดพัทลุง และจังหวัดสงขลา แม้กระทั่งมีความวิตกกังวลถึง การเกิดภัยพิบัติจากคลื่นพายุซัดฝั่งบริเวณแนวชายฝั่งทะเลทางทิศเหนือของอ่าวไทยตอนบนหรืออ่าวไทยตอนใน ซึ่งเป็นที่ตั้งของเมืองหลวง เมืองอุตสาหกรรม และเมืองใหญ่ที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างเหตุการณ์คลื่นพายุซัดฝั่งที่สำคัญในประเทศสหรัฐอเมริกา

ปี ค.ศ.	ชื่อพายุเฮอริเคน	ระดับความรุนแรงของพายุเฮอริเคน*		ความสูงของคลื่นพายุซัดฝั่ง		พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด	จำนวนผู้เสียชีวิตโดยประมาณ (คน)	มูลค่าความเสียหายในประเทศสหรัฐ โดยประมาณ (พันล้านเหรียญสหรัฐ)
		สูงสุด	ตอนขึ้นฝั่ง	(ft)	(m)			
2008	Ike	4	2	15 - 20	4.6 - 6.1	Caribbean, Texas, Louisiana	131	24.9
2005	Katrina	5	3	25 - 28	7.6 - 8.5	New Orleans, Mississippi	1,200	75
2005	Dennis	4	4	7 - 9	2.1 - 2.7	Florida, Cuba, Jamaica	42	2.23
2003	Isabel	5	N/A	8	2.4	Virginia, Maryland, Delaware, Washington D.C.	17	3
1995	Opal	4	3	10 - 20	3.0 - 6.1	Florida, Mexico	59	3
1989	Hugo	5	4	20	6.1	South Carolina, Puerto Rico	60	7
1969	Camille	5	5	24.6	7.5	Mississippi, Tennessee, Kentucky	259	1,421
1957	Audrey	4	4	8 - 12	2.4 - 3.7	Luisiana, Mississippi	390	150
1938	New England	5	3	10 - 12	3.0 - 3.7	Long Island, Connecticut, Massachusetts	600	308
1900	Galveston	4	4	8 - 15	2.4 - 4.6	Texas	8,000	30

* ดูรายละเอียดเพิ่มเติมจากภาคผนวก ง

2.2 การศึกษาและการจำลองคลื่นพายุซัดฝั่ง

หัวข้อนี้นำเสนอการทบทวนการศึกษาและผลงานวิจัยที่ผ่านมาโดยเน้นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการจำลองคลื่นพายุซัดฝั่งและการเกิดน้ำท่วมบริเวณชายฝั่งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นความสนใจของการศึกษาโครงการนี้

Konishi and Tsuji (1995) ทำการวิเคราะห์คลื่นพายุซัดฝั่งซึ่งเกิดจากพายุไต้ฝุ่นลูกที่ 19 ในปีค.ศ. 1991 หรือพายุไต้ฝุ่น 9119 ซึ่งเป็นพายุที่สร้างความเสียหายอย่างรุนแรงในพื้นที่ทางตะวันตกของแผ่นดินเซโตะทะเลญี่ปุ่น (Seto Inland Sea of Japan) พายุไต้ฝุ่น 9119 ทำให้เกิดคลื่นพายุซัดฝั่งสูงกว่า 3 เมตร และทำให้เกิดน้ำท่วมตามแนวชายฝั่งครั้งใหญ่ การวิเคราะห์ทำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สองมิติและแบบจำลองไต้ฝุ่นตามสูตรของ Fijita (1952) เพื่อศึกษากลไกของคลื่นพายุซัดฝั่งนอกฝั่ง นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาแบบจำลองสนามลม (Wind field model) เพื่อพัฒนาผลการคำนวณด้วย

Zhang and Li (1996) ได้ผนวกแบบจำลองคลื่นรุ่นที่สาม (Third-generation wave model) เข้ากับแบบจำลองคลื่นพายุซัดฝั่งแบบสองมิติเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นและกระแสน้ำที่มีผลต่อการเกิดคลื่นพายุซัดฝั่ง แบบจำลองนี้ได้ถูกตรวจสอบด้วยการจำลองเหตุการณ์พายุย้อนหลังสองเหตุการณ์ในทะเลจีนใต้ตอนเหนือ ผลการศึกษาพบว่าการรวมอิทธิพลของความเค้นแผ่กระจายออกมาของคลื่น (Wave radiation stress) ทำให้ผลการคำนวณคลื่นพายุซัดฝั่งดีขึ้น

Shi et al. (1997) ได้พัฒนาแบบจำลองกริดเส้นโค้ง (Curvilinear grid model) ซึ่งประยุกต์ใช้วิธีกริดเปียก-แห้ง (Wet-dry grid method) ร่วมด้วยเพื่อการคำนวณการท่วมของคลื่นพายุซัดฝั่ง แบบจำลองเช่นนี้เรียกว่า แบบจำลองที่มีขอบเขตเคลื่อนที่/เปลี่ยนแปลงได้ (Moving boundary numerical model) เหมาะสมสำหรับการจำลองการไหลในเขตน้ำตื้นที่มีขอบเขตของการคำนวณ (ขอบเขตของน้ำ) เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แบบจำลองถูกประยุกต์ใช้เพื่อจำลองน้ำท่วมบริเวณ Huanghe Delta ในปีค.ศ. 1994 ซึ่งเกิดคลื่นพายุซัดฝั่งจากทะเลโบไฮ (Bohai Sea) ผลการคำนวณจากแบบจำลองกริดเปียก-แห้งถูกเปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองแบบขอบเขตคงที่ และแสดงให้เห็นว่าได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

Jones & Davies (1998) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความละเอียดของกริด 1 กิโลเมตร เป็นแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ 3 มิติที่จำลองกระแสน้ำซึ่งขับเคลื่อนโดยลมเป็นหลัก และพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นกับกระแสน้ำด้วย แบบจำลองถูกประยุกต์ใช้คำนวณคลื่นพายุซัดฝั่งในทะเลไอริชตะวันออก (the eastern Irish Sea) ในเดือนพฤศจิกายน ปีค.ศ. 1977

โมเดลสำหรับน้ำขึ้น-น้ำลง คลื่นยกตัว และคลื่น ได้ถูกผนวกรวมกันโดย Ozer et al. (2000) และถูกประยุกต์ใช้กับทะเลเหนือ (North Sea) พร้อมกับดำเนินการศึกษาความอ่อนไหว (Sensitivity test) ของแบบจำลองต่อพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น คลื่น และคลื่นซัด เป็นต้น การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของกรอบการทำงานโครงการ MAST III PROMISE (Pre-Operational Modelling In the Seas of Europe)

นอกจากแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ที่ใช้หลักการเชิงตัวเลขในการจำลองคลื่นพายุซัดฝั่งแล้ว ยังมีแบบจำลองอีกลักษณะหนึ่ง คือ แบบจำลองทางความน่าจะเป็น (Probabilistic model) ที่อาศัยหลักการทางสถิติในการหาการกระจายตัวของความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์มาวิเคราะห์หาระดับน้ำหรือระดับความสูงคลื่นซัด เช่น Walton (2000) ที่ทำการประเมินความหลากหลายของแบบจำลองประเภทนี้สำหรับการทำนายองค์ประกอบของคลื่นซัดฝั่งที่เกิดจากพายุจากข้อมูลการบันทึกค่าระดับน้ำระยะยาวของ Sandy Hook, New Jersey ประเทศสหรัฐอเมริกา และพบว่า การกระจายตัวของความน่าจะเป็นที่ใช้อยู่ทั่วไปในสาขาอุทกวิทยาสามารถใช้ในการทำนายความถี่ของการเกิดเหตุการณ์คลื่นพายุซัดฝั่งได้อย่างเพียงพอ แม้ว่ามีการทำนายต่ำกว่าค่าจริงเกิดขึ้นบ้างในกรณีของค่าสูงสุด

อีกหนึ่งตัวอย่างสำหรับการศึกษาดูด้วยการวิเคราะห์เชิงสถิติ คือ งานของ Butler et al. (2007) ที่ดำเนินการใช้วิธีทางสถิติในการวิเคราะห์ค่าสูงที่สุดของเหตุการณ์คลื่นพายุซัดฝั่งทางตอนใต้และตอนเหนือของทะเลเหนือ ระหว่างปี 1955-2000 โดยใช้ผลลัพธ์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคลื่นพายุซัดฝั่งและข้อมูลภาคสนามในการวิเคราะห์เชิงพยากรณ์ต่อไป

ปีค.ศ. 2003 Cheung et al. (2003) ใช้แบบจำลองจำนวนสี่แบบจำลองมาผนวกกัน เพื่อจำลองน้ำท่วมบริเวณชายฝั่งเนื่องจากคลื่นพายุซัดฝั่งและคลื่นลม โดยแบบจำลองทั้งสี่ได้แก่แบบจำลองคลื่นพายุซัดฝั่ง แบบจำลองคลื่นในทะเลเปิดซึ่งใช้แบบจำลองคลื่นสเปกตรลรุ่นที่สาม (WAM) แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของคลื่นซึ่งใช้แบบจำลอง SWAN (Simulating WAves Nearshore) และแบบจำลองกระบวนการเขตคลื่นแตกตัว เรียกว่า COULWAVE (Cornell University Long WAVE) แบบจำลองถูกใช้ในการคำนวณน้ำท่วมชายฝั่งที่เกิดจาก Hurricane Iwa และ Iniki ซึ่งเข้าโจมตีหมู่เกาะฮาวายในปีค.ศ. 1982 และ 1992 ตามลำดับ

Choi et al. (2003) ได้ผนวกแบบจำลองคลื่นรุ่นที่สาม WAM-Cycle 4 และแบบจำลองน้ำขึ้นน้ำลง-คลื่นซัดฝั่ง เพื่อศึกษาผลกระทบของปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำขึ้นน้ำลง คลื่นพายุซัดฝั่ง และคลื่นลม ในช่วงฤดูมรสุมหน้าหนาวเดือนพฤศจิกายน ปีค.ศ. 1983 ในทะเลเหลือง (Yellow sea) ในแบบจำลอง ความเค้นเฉือนที่ผิวน้ำซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยลมและคลื่นถูกคำนวณในแบบจำลอง WAM-Cycle 4 บนพื้นฐานของการประมาณเชิงวิเคราะห์ของทฤษฎีคลื่นเชิงเส้นเสมือน ส่วนความ

เด่นชัดที่ถูกสร้างขึ้นโดยคลื่นและกระแสน้ำถูกคำนวณด้วยแบบจำลองชั้นขอบเขตพื้นแบบง่าย (Simplified bottom boundary layer model) ผลการศึกษาที่สำคัญพบว่า ความเร็วที่พื้นและสัมประสิทธิ์การลากประสิทธิผลที่พื้น (Effective bottom drag coefficient) ซึ่งเกิดขึ้นจากการผสมผสานกันระหว่างคลื่นและกระแสน้ำเพิ่มขึ้นในเขตน้ำตื้นจนถึงระดับความลึก 50 เมตรในทะเลเหลืองระหว่างช่วงฤดูมรสุมที่ศึกษา

การกำหนดกริดในแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์สามารถทำได้หลายรูปแบบ แบบเริ่มต้นและเป็นที่ยอมรับในยุคแรกๆ คือ กริดแบบสี่เหลี่ยม (เช่น Xie et al., 2008) การกำหนดกริดแบบนี้ยังคงเป็นการกำหนดกริดที่ใช้มากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากไม่ซับซ้อน ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการคำนวณและการแปลงสมการเชิงอนุพันธ์เป็นสมการเชิงตัวเลขมีน้อย แต่ข้อด้อย คือ กริดสี่เหลี่ยมไม่สามารถจำลองรูปร่างแนวชายฝั่งที่คดโค้งได้อย่างเหมาะสม จึงมีการพัฒนาการกำหนดกริดแบบอื่นๆ เช่น งานของ Shi et al. (1997) หรือ Lionello et al. (2006) ที่ใช้กริดเส้นโค้ง และระบบกริดอีกแบบที่กำลังได้รับความนิยมขึ้นเรื่อยๆ คือ Unstructured grid ซึ่งเป็นกริดที่มีรูปร่างหลากหลาย แต่ส่วนมากมักเป็นสามเหลี่ยม และไม่จำเป็นต้องกำหนดขนาดให้เท่ากัน สามารถกำหนดกริดขนาดเล็กๆ ในบริเวณที่ต้องการรายละเอียด และกำหนดกริดขนาดใหญ่ในบริเวณที่มีความสนใจน้อยกว่าหรือบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก Shen et al. (2006) ได้พัฒนาแบบจำลองด้วย Unstructured grid ในการจำลองคลื่นพายุซัดฝั่งใน Chesapeake Bay ซึ่งเกิดจากเฮอริเคน Isabe ในปีค.ศ. 2003

Huang et al. (2007) ได้ใช้แบบจำลองคลื่นพายุซัดฝั่งในการสร้างฐานข้อมูลคลื่นพายุซัดฝั่งสำหรับ 7 พื้นที่ปากแม่น้ำทางภาคเหนือของประเทศไต้หวัน โดยฐานข้อมูลประกอบเหตุการณ์ได้ผู้่นตั้งแต่ปีค.ศ. 1980 ถึง 2004 ข้อมูลเหล่านี้ถูกวิเคราะห์ความถี่และลักษณะเฉพาะของแต่ละพายุซึ่งจะถูกใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการพยากรณ์พายุไต้ฝุ่นต่อไป

แบบจำลอง Princeton Ocean Model (POM) ถูกผนวกเข้ากับแบบจำลอง SWAN เพื่อศึกษาผลกระทบของปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นกับกระแสน้ำต่อคลื่นพายุซัดฝั่งและน้ำท่วมชายฝั่งเนื่องจากเฮอริเคน Hugo บริเวณท่าเรือ Charleston ในปี 1989 โดย Xie et al. (2008) จากผลการศึกษาพบว่า ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นกับกระแสน้ำมีผลต่อการจำลองทั้งคลื่นพายุซัดฝั่งและการจำลองน้ำท่วมชายฝั่ง

Kim et al. (2008) ผนวกแบบจำลองคลื่น คลื่นพายุซัดฝั่ง และน้ำขึ้น-น้ำลง ที่มีชื่อว่า SuWAT (Surge, Wave and Tide model) เข้ากับแบบจำลอง SWAN เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำขึ้น-น้ำลงต่อคลื่นพายุซัดฝั่งและคลื่นในรูปของแอมพลิจูดของน้ำขึ้น-น้ำลงในกรณีอุทกมคติและ

ในกรณีภาคสนาม และจำลองใต้ผืน Evinar ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณชายฝั่งประเทศเกาหลีในปีค.ศ. 2006

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกต่อคลื่นพายุซัดฝั่งในทะเลของประเทศไอร์แลนด์ได้ถูกศึกษาโดย Wang et al. (2008) โดยใช้แบบจำลอง the Regional Ocean Model System (ROMS) ของ Rutgers University การศึกษาสนใจว่าภายใต้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก ค่าสูงสุดของเหตุการณ์คลื่นพายุซัดฝั่งมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่

แบบจำลองน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่นพายุซัดฝั่งอยู่บนพื้นฐานของชุดสมการทางคณิตศาสตร์ เช่น สมการอนุกรมมวล และสมการโมเมนตัม เป็นต้น ชุดสมการเหล่านี้ถูกหาผลเฉลยด้วยวิธีเชิงตัวเลข โดยทั่วไปวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้ในแบบจำลองพวกนี้ คือ Finite element method (FEM) เช่น การศึกษาของ Bajo et al. (2007) หรือ Finite different method (FDM) เช่น การศึกษาของ Xie et al. (2008) แต่ Hashemi et al. (2008) ได้ประยุกต์ใช้วิธี Incremental Differential Quadrature Method (IDQM) ในการแก้สมการทางคณิตศาสตร์และหาผลเฉลยเพื่อจำลองน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่นพายุซัดฝั่ง โดยมีกรณีศึกษาที่ช่องบรีสตอล ประเทศอังกฤษ และนำเสนอว่า วิธี IDQM สามารถคำนวณผลได้โดยมีขั้นเวลา (time step) ที่มากกว่าวิธีการแบบอื่นๆ ได้ เนื่องจากวิธี IDQM นี้ไม่มีเงื่อนไขของเสถียรภาพเชิงตัวเลขเข้ามาเกี่ยวข้อง

Yin et al. (2009) ได้พัฒนาแบบจำลองแบบพ่วงกันที่มีความละเอียดของกริด $2' \times 2'$ และใช้จำลองคลื่นพายุซัดฝั่งเนื่องจากพายุใต้ผืนจำนวนห้าลูกในทะเลจีนตะวันออก แบบจำลองพิจารณาแรงขับเคลื่อนจากความเค็มแผ่กระจายออกมาของคลื่น ความเค็มเหนือนที่พื้นเนื่องจากคลื่นและกระแสน้ำ และความเค็มของลมที่ผิวน้ำ ผลการจำลองถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลจากภาคสนาม และนำเสนอว่า แบบจำลองแบบพ่วงกันให้ผลดีกว่าแบบจำลองเดี่ยว และความเค็มเหนือนของลมมีบทบาทสำคัญที่สุดต่อคลื่นพายุซัดฝั่ง

Pokharel et al. (2009) ใช้แบบจำลองแบบกริดยึดหยุ่นในการศึกษาประสิทธิภาพของประตูน้ำและระบบระบายน้ำเสีย ในการลดหรือป้องกันการท่วมขังของน้ำเนื่องจากคลื่นพายุซัดฝั่ง ผลของแบบจำลองถูกเปรียบเทียบกับผลเชิงวิเคราะห์และผลการสำรวจ แบบจำลองประกอบไปด้วยแบบจำลองทะเล แม่น้ำ ระบบน้ำเสีย การไหลของน้ำท่วมบนบก และพายุใต้ผืน ผลการศึกษาสรุปว่าการปิดประตูน้ำที่ปากแม่น้ำช่วยลดพื้นที่น้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3 การศึกษาภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเล

ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเล (Coastal flooding) มักเกิดจากภาวะระดับน้ำทะเลสูงผิดปกติ อันเนื่องมาจากคลื่นสึนามิ คลื่นพายุซัดฝั่ง หรือคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal bore) ซึ่งภาวะน้ำท่วมลักษณะนี้ส่วนมากเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้นและความรุนแรงสูง จึงนับว่าภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลเป็นภัยพิบัติที่สำคัญสำหรับพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่มีผู้คนอาศัยหรือใช้งานพื้นที่มาก

Shi et al. (1997) นำเสนอ Wet-Dry grid point method (WDM) ในระบบกริดแบบเส้นโค้งเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายภาวะน้ำท่วมจากคลื่นพายุซัดฝั่งแบบเวลาจริง คณะผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองนี้ในการจำลองสถานการณ์ภาวะน้ำท่วมเนื่องจากคลื่นพายุซัดฝั่งที่ Huanghe Delta เมื่อวันที่ 7 เดือนเมษายน ค.ศ. 1994 และแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความแม่นยำของแบบจำลองด้วยวิธีนี้โดยมีการเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม

นอกเหนือจากแบบจำลองที่พัฒนาโดยนักวิจัยแล้ว แบบจำลองเชิงพาณิชย์ที่สามารถจำลองภาวะน้ำท่วมชายฝั่งได้ที่เป็นที่นิยม คือ MIKE 21 ซึ่งเป็นแบบจำลองอุทกพลศาสตร์สองมิติ ซึ่งจำลองการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady flow) พัฒนาโดย DHI Water and Environment แบบจำลองนี้สามารถจำลองกริดแบบ flooding and drying ได้ Madsen and Jakobson (2004) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 21 ในการจำลองการเกิดภาวะน้ำท่วมชายฝั่งเนื่องจากคลื่นพายุซัดฝั่งในบริเวณอ่าวเบงกอลตอนเหนือ ในเดือนเมษายน ค.ศ. 1991 โดยผู้วิจัยใช้แบบจำลองทางสถิติในการพยากรณ์เส้นทางของไซโคลนและความเร็วลมสูงสุด

การศึกษาของ Peng et al. (2004) ได้พัฒนาระบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่บูรณาการทั้งการจำลองคลื่นพายุซัดฝั่งและภาวะน้ำท่วมชายฝั่งในระบบปากแม่น้ำ Croatan-Albemarle-Pamlico Estuary System, ตอนเหนือของรัฐนอร์ทแคโรไลนา คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความไหวของความดันน้อยที่สุดบริเวณศูนย์กลาง (Minimum central pressure) และรัศมีของลมสูงสุด (Radius of maximum wind) และได้ข้อสรุปทั่วไปว่า ยิ่งแฮริเคนมีความรุนแรงมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น (ความดันบริเวณศูนย์กลางต่ำกว่าและรัศมีของลมสูงสุดกว้างกว่า) ส่งผลให้เกิดความสูงคลื่นซัดชายฝั่งที่สูงกว่า และพื้นที่น้ำท่วมที่กว้างขวางมากกว่า

Karim and Mimura (2008) ได้ประเมินผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลและการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลต่อภาวะน้ำท่วมชายฝั่งเนื่องจากคลื่นพายุไซโคลนซัดฝั่งพื้นที่ศึกษา คือ ประเทศบังคลาเทศ บริเวณอ่าวเบงกอลตอนบน ซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่เปราะบางต่อภัยพิบัติดังกล่าวมาก การศึกษาใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์หนึ่งมิติเพื่อจำลองการเคลื่อนตัวของคลื่นในแม่น้ำและการไหลในพื้นที่น้ำท่วมถึงจำลองด้วยหลักการอนุรักษ์มวลโดยละทิ้งผลของ

โมเมนต์ แบบจำลองได้รับการสอบเทียบและใช้ในการจำลองสถานการณ์น้ำท่วม 8 กรณี การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ถ้าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียส และระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 0.3 เมตรแล้ว พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมอาจจะเพิ่มสูงขึ้น 15.3% เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบัน และความลึกของน้ำท่วมอาจจะเพิ่มขึ้นถึง 22.7% ภายในอาณาเขต 20 กิโลเมตรจากแนวชายฝั่ง

Xie et al. (2008) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของปฏิสัมพันธ์ของคลื่นและกระแสน้ำต่อคลื่นพายุซัดฝั่งและภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลเนื่องจาก Hurricane Hugo ภายใน Charleston Harbor และพื้นที่ใกล้เคียง และพบว่าปฏิสัมพันธ์ของคลื่นและกระแสน้ำส่งผลกระทบต่อ การจำลองพื้นที่น้ำท่วม จึงเป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ต้องพิจารณาปัจจัยนี้ในการจำลองภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเล

การเกิดภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลนั้นนอกจากจะเกิดบริเวณชายฝั่งทะเลแล้ว พื้นที่ใกล้เคียงบริเวณปากแม่น้ำก็เป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบสูงเนื่องจากน้ำที่เอ่อสูงขึ้นด้วยกำลังลมหรือความดันต่ำของลมพายุหมุนเขตร้อน การใช้ประตูน้ำบริเวณปากแม่น้ำเพื่อลดผลกระทบนี้สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังผลการศึกษาของ Pokharel et al. (2009)

2.4 การศึกษาศักยภาพของต้นไม้ชายฝั่งทะเลในการลดทอนพลังงานคลื่นพายุซัดฝั่งและในการลดพื้นที่น้ำท่วมบริเวณชายฝั่งทะเล

การศึกษาศักยภาพของต้นไม้ชายฝั่งทะเล (Coastal vegetations) ในการลดทอนพลังงานคลื่นมีอยู่บ้างพอสมควร แต่อย่างน้อยมากเมื่อเทียบกับการศึกษาเรื่องคลื่น คลื่นพายุซัดฝั่ง หรือคลื่นสึนามิ การศึกษากลุ่มนี้พูดถึงศักยภาพของต้นไม้ชายฝั่งทะเลหรือพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) หรือหนองบึงน้ำเค็ม (Marsh) ในการลดพลังงานคลื่นและลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่ง ในส่วนนี้จะทบทวนเฉพาะเจาะจงลงไปทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคลื่นพายุซัดฝั่งทะเล

Loder et al. (2009) ได้ทำการวิเคราะห์ความไวของคลื่นพายุซัดฝั่งต่อพารามิเตอร์ทางรูปร่างของพื้นที่ชุ่มน้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การศึกษาได้จำลองลักษณะของหนองน้ำเค็มในอุดมคติที่มีพื้นที่ประมาณ 400 ตารางกิโลเมตรและสมมติให้พื้นที่หนองน้ำเค็มอุดมไปด้วยต้นไม้ชายฝั่งทะเล เพื่อใช้ในการประเมินความไวของคลื่นพายุซัดฝั่ง โดยพิจารณาลักษณะต่างๆ ดังนี้ ผลกระทบของความเสียหายที่พื้น ค่าระดับความสูงของหนองน้ำเค็ม และความต่อเนื่อง (อัตราส่วนระหว่างหนองน้ำเค็มที่สมบูรณ์ไปด้วยต้นไม้ต่อพื้นที่น้ำเปิดภายในพื้นที่หนองน้ำเค็มทั้งหมด)

แบบจำลองที่ใช้เป็นแบบจำลองที่ใช้ Finite Element Method สองมิติที่แก้สมการต่อเนื่องและสมการโมเมนต์ ความลากเนื่องจากลำต้นและรากของต้นไม้ป่าชายเลนถูกรวมอยู่ในความเสียดทานที่พื้น ผลการศึกษาสรุปว่า ความเสียดทานของพื้นที่เพิ่มขึ้นสามารถลดระดับคลื่นพายุซัดฝั่งได้ อย่างไรก็ตาม การลดลงของระดับความสูงของหนองน้ำเค็ม (หรือการเพิ่มขึ้นของความลึกน้ำในหนองน้ำเค็ม) ทำให้ความสามารถในการลดคลื่นพายุซัดฝั่งลดลง และเมื่อความต่อเนื่องของหนองน้ำเค็มลดลง คลื่นพายุซัดฝั่งจะสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากความสามารถในการเคลื่อนของคลื่นตั้งแต่เข้าจนออกจากหนองน้ำเค็มเพิ่มขึ้น

การศึกษาของกลุ่มนักวิจัยเกี่ยวกับข้างต้น คือ การศึกษาของ Wamsley et al. (2010) ที่ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินศักยภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลที่อุดมไปด้วยต้นไม้ป่าชายเลนในการลดระดับคลื่นพายุซัดฝั่ง ผลการศึกษาระบุว่าพื้นที่ชุ่มน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลมีศักยภาพในการลดพลังงานของคลื่นพายุซัดฝั่งได้แน่นอน แต่ขนาดของการลดทอนขึ้นกับสภาพภูมิประเทศแวดล้อมบริเวณนั้นๆ และความรุนแรงและระยะเวลาของแรงกระทำจากพายุ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งจำลองกระบวนการทางกายภาพที่เกี่ยวข้องสามารถให้ข้อมูลที่มีคุณค่าในการพิจารณาพื้นที่ชุ่มน้ำชายฝั่งทะเลเข้าไปในแผนป้องกันชายฝั่งทะเลด้วย

Temmerman et al. (2012) ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในจำลองอุทกพลศาสตร์ของการลดพื้นที่น้ำท่วมโดยหนองน้ำเค็ม โดยเน้นไปที่ผลกระทบของรูปแบบการลดลงของต้นไม้ชายฝั่งทะเลในหนองน้ำเค็มนั้น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า รูปแบบการลดลงของต้นไม้ชายฝั่งทะเลที่แตกต่างกัน ส่งผลกระทบต่อผลการลดพื้นที่น้ำท่วม หากต้นไม้ชายฝั่งทะเลที่อยู่บนข้างคลองที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้น-น้ำลงถูกตัดทำลายหรือลดลงไปแล้ว จะส่งผลต่อน้ำท่วมที่เอ่อล้นของคลองดังกล่าวมากกว่ากรณีที่ดินไม้บริเวณอื่นลดลง การศึกษายังนำเสนออีกว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นไม่มีลักษณะแปรผันเป็นเชิงเส้นตรง แต่ผลกระทบแปรผันแบบไม่เชิงเส้น

Zhang et al. (2012) ทำการศึกษาด้วยแบบจำลองและการศึกษาภาคสนาม เพื่อประเมินศักยภาพของป่าชายเลนในการลดพลังงานคลื่นพายุซัดฝั่ง และระบุป่าชายเลนที่มีความกว้าง 6 ถึง 30 กิโลเมตร บริเวณชายฝั่งอ่าวของฟลอริดาที่สามารถลดทอนคลื่นจากพายุเฮอริเคนระดับ 3 Wilma ได้ รวมทั้งป้องกันแผ่นดินโดยลดพื้นที่น้ำท่วมลงได้ถึง 1800 ตารางกิโลเมตร และยับยั้งให้คลื่นพายุซัดฝั่งหยุดการเคลื่อนที่ไว้ภายในป่าชายเลน โดยแอมพลิจูดของคลื่นพายุซัดฝั่งลดลงในอัตรา 40 ถึง 50 เซนติเมตรต่อกิโลเมตร ในพื้นที่ป่าชายเลนหนาแน่น และลดลงในอัตรา 20 เซนติเมตรต่อกิโลเมตร ในเขตที่มีป่าชายเลนสลับการพื้นที่เปิดสู่ทะเล ในขณะที่ระดับของน้ำหน้าเขตป่าชายเลนสูงขึ้นร้อยละ 10 ถึง 30 เนื่องจากการปิดกั้นมวลน้ำของป่าชายเลน

การศึกษาต่อเนื่องจากข้างต้น Liu et al. (2013) ได้ทำการศึกษาความไวของการลดคลื่นพายุซัดฝั่งและพื้นที่น้ำท่วมของป่าชายเลนต่อลักษณะของพายุเฮอริเคนในฟลอริดาตอนใต้ และพบว่าป่าชายเลนสามารถลดทอนคลื่นพายุซัดฝั่งที่เกิดจากเฮอริเคนที่เคลื่อนที่เร็วได้มากกว่ากรณีที่เกิดจากเฮอริเคนที่เคลื่อนที่ช้า ความรุนแรงและขนาดของพายุเฮอริเคนที่เพิ่มขึ้นทำให้การลดทอนพลังงานคลื่นลดลง และสรุปไว้อีกว่าความสามารถของการลดพื้นที่น้ำท่วมเนื่องจากคลื่นพายุซัดฝั่งของพื้นที่ป่าชายเลนขึ้นกับความเร็วในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของพายุเฮอริเคนมาก

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

โครงการวิจัยนี้ใช้การศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นหลัก เพื่อศึกษาศักยภาพของแนวต้นไม้ในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่งทะเลเนื่องจากพายุซัดฝั่ง แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชายฝั่งทะเล มหาวิทยาลัยแห่งชาติโยโกฮามา ประเทศญี่ปุ่น โดยนักวิจัยหลายคนในห้องปฏิบัติการนี้ เช่น การศึกษาของ Naksuksakul (2006) เป็นต้น แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่เผยแพร่ทั่วไปเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย ในบทที่นี้กล่าวถึงวิธีการศึกษา โดยเริ่มจากวิธีการดำเนินการวิจัยในภาพรวม ซึ่งอธิบายถึงขั้นตอนการวิจัยตั้งแต่ต้นจนจบ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย การจำลองนอกฝั่ง และการจำลองพื้นที่น้ำท่วม และเงื่อนไขการจำลองสถานการณ์

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

(1) ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง โดยเน้นเป็นการเก็บข้อมูลทุติยภูมิ เช่น ข้อมูลการเกิดพายุในประเทศไทย ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ ภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลสภาพพื้นที่ท้องน้ำบริเวณชายฝั่งทะเล ข้อมูลสภาพสมุทรศาสตร์ ข้อมูลสภาพอุทกศาสตร์ ข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยา เป็นต้น ข้อมูลต่างๆ เหล่านี้อาจจะไม่ได้ถูกระบุหรือพิจารณาในการจำลองคลื่นพายุซัดฝั่งโดยตรง แต่เป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่ง ในการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ให้มีความสอดคล้องกับลักษณะของประเทศไทยมากที่สุด

(2) ทำการสำรวจชายฝั่งทะเลเบื้องต้น เป็นการสำรวจลักษณะของต้นไม้หรือพืชพรรณที่อยู่บริเวณแนวชายฝั่งทะเล ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการประยุกต์แบบจำลองต่อไป โดยพื้นที่ชายฝั่งที่ทำการสำรวจเบื้องต้น เพื่อนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ พื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย

(3) ทำการปรับเปลี่ยนและประยุกต์แบบจำลองที่มีอยู่ให้รองรับความต้องการในการศึกษา ซึ่งพัฒนาให้แบบจำลองสามารถรองรับการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่แปรผันตามพื้นที่ได้ และประยุกต์แบบจำลองให้เข้ากับกรณีศึกษา

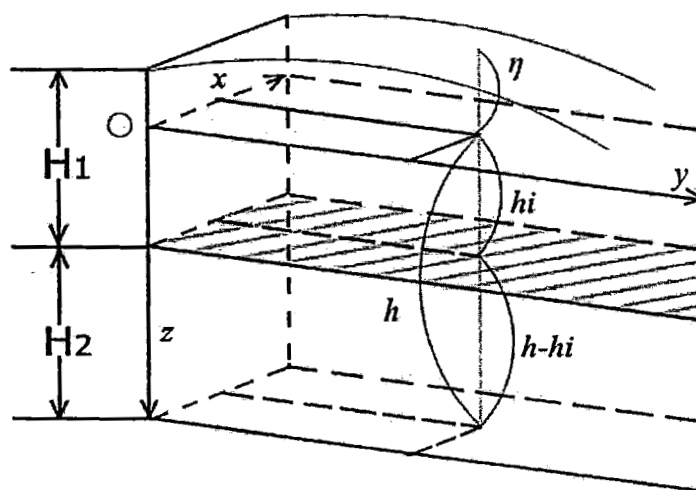
(4) ทำการคำนวณการเคลื่อนตัวของคลื่นพายุซัดฝั่ง โดยใช้สถานการณ์จำลองที่อยู่บนพื้นฐานของข้อมูลเบื้องต้นที่ได้ตามข้อ (1) จากนั้นนำข้อมูลผลการจำลองมากำหนดเงื่อนไขในการจำลองพื้นที่น้ำท่วม

(5) ทำการวิเคราะห์ศักยภาพของแนวต้นไม้ในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่ง โดยแปรผันความหนาแน่นและขนาดของแนวต้นไม้ โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็นตัวแปร จากนั้นศึกษามีการหาความสัมพันธ์ของลักษณะแนวต้นไม้ (โดยจำลองตามข้อมูลเบื้องต้นในข้อ (2)) กับพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่ง

(6) วิเคราะห์ผลการศึกษาทั้งหมด ทำการสรุปผลการศึกษา และจัดทำรายงานผลการศึกษา พร้อมทั้งเผยแพร่ผลงานตามแนวทางที่ระบุไว้

3.2 การจำลองนอกฝั่ง (Offshore Modeling)

การจำลองคลื่นพายุซัดฝั่งเริ่มจากการจำลองนอกฝั่งซึ่งหมายถึงบริเวณน้ำลึกที่การเคลื่อนที่ของอนุภาคคลื่นไม่ได้รับผลกระทบจากพื้นท้องทะเล คลื่นลมในทะเลโดยปกติเกิดจากการพัดของลม พลังงานของลมส่งผ่านไปยังผิวน้ำและมีแรงดึงเนื่องจากแรงเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก แต่คลื่นพายุซัดฝั่งเริ่มจากลมพายุหมุนที่มีความรุนแรง เช่น พายุหมุนเขตร้อน (Tropical cyclones) (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมหัวข้อ 2.1) ในการศึกษาความสูงของคลื่นพายุซัดฝั่งถูกจำลองขึ้นด้วยแบบจำลองสองชั้น (Two-Level Model) ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพของแบบจำลองสองชั้น

สมการที่เกี่ยวข้องในแบบจำลองประกอบด้วยสมการอนุรักษ์มวล (Mass conservation equation) และสมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum conservation equation) ผิวน้ำของมวลน้ำชั้นบนได้รับความเค้นเฉือนเนื่องจากลม จากนั้นความเค้นเฉือนผิวล่างของมวลน้ำชั้นบนส่งผ่านไปยังผิวบนของมวลน้ำชั้นล่าง และมวลน้ำชั้นล่างจะได้รับทั้งความเค้นเฉือนจากมวลน้ำชั้นบนและความเค้นเฉือนเนื่องจากความเสียดทานจากพื้นท้องน้ำ สมการที่เกี่ยวข้อง คือ

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(M_1 + M_2) + \frac{\partial}{\partial y}(N_1 + N_2) = 0 \quad (3.1)$$

สำหรับมวลน้ำชั้นบน

$$\begin{aligned} \frac{\partial M_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M_1^2}{H_1}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{M_1 N_1}{H_1}\right) + gH_1 \frac{\partial \eta}{\partial x} + fN_1 + \frac{H_1}{\rho_w} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau_{sx}}{\rho_w} \\ - A_h \left(\frac{\partial^2 M_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_1}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_{ix}}{\rho_w} + (uw)_i = 0 \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M_1 N_1}{H_1}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{N_1^2}{H_1}\right) + gH_1 \frac{\partial \eta}{\partial y} + fM_1 + \frac{H_1}{\rho_w} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\tau_{sy}}{\rho_w} \\ - A_h \left(\frac{\partial^2 N_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_1}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_{iy}}{\rho_w} + (vw)_i = 0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

สำหรับมวลน้ำชั้นล่าง

$$\begin{aligned} \frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M_2^2}{H_2}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{M_2 N_2}{H_2}\right) + gH_2 \frac{\partial \eta}{\partial x} + fN_2 + \frac{H_2}{\rho_w} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau_{sx}}{\rho_w} \\ - A_h \left(\frac{\partial^2 M_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_2}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_{ix}}{\rho_w} + (uw)_i = 0 \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M_2 N_2}{H_2}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{N_2^2}{H_2}\right) + gH_2 \frac{\partial \eta}{\partial y} + fM_2 + \frac{H_2}{\rho_w} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\tau_{sy}}{\rho_w} \\ - A_h \left(\frac{\partial^2 N_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_2}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_{iy}}{\rho_w} + (vw)_i = 0 \end{aligned} \quad (3.5)$$

เมื่อ η คือ ระดับผิวน้ำเหนือระดับน้ำนิ่ง, h คือ ระดับน้ำนิ่ง, H_1 เท่ากับ $\eta + h_1$, H_2 เท่ากับ $h + h_2$, g คือ ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง, x, y คือ พิกัดแนวราบ, t คือ เวลา, M, N คือ องค์ประกอบฟังก์ชันโมเมนต์ในนอนแกน x, y ตามลำดับ, τ_s คือ ความเค้นเฉือนระหว่างมวลน้ำชั้นบนกับมวลน้ำชั้นล่าง, ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำทะเล, f คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, ตัวห้อย 1 สำหรับมวลน้ำชั้นบนและตัวห้อย 2 สำหรับมวลน้ำชั้นล่าง, P คือ ความดัน ณ ตำแหน่งที่ห่างจากจุดศูนย์กลางของพายุหมุนเท่ากับ r ซึ่งสามารถหาได้จากสูตรของ Myer ดังสมการที่ 3.6

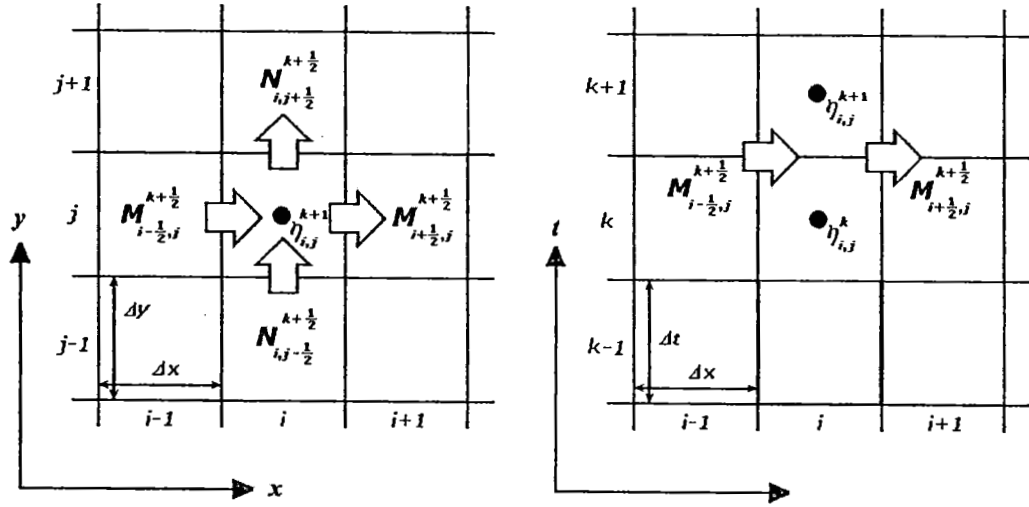
$$P = P_0 - \Delta P \exp\left(-\frac{r_{\max}}{r}\right) \quad (3.6)$$

เมื่อ P_0 คือ ความกดอากาศต่ำ ณ บริเวณจุดศูนย์กลางของพายุหมุน, ΔP คือ ความแตกต่างระหว่างความกดอากาศที่จุดศูนย์กลางของพายุหมุนกับความกดอากาศปกติ และ r_{\max} คือ รัศมียาวที่สุดของพายุหมุน

การศึกษานี้สนใจความสามารถของแนวต้นไม้ป่าชายเลนในการลดพื้นที่น้ำท่วม ดังนั้น คลื่นพายุซัดฝั่ง ณ ตำแหน่งแนวชายฝั่งก่อนพัดเข้าสู่แผ่นดินจะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ โดยมีการกำหนดความสูงของคลื่นพายุซัดฝั่งหลากหลายค่าที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในชายฝั่งทะเลทั่วไป โดยเฉพาะชายฝั่งทะเลประเทศไทย และเวลาที่คลื่นพายุซัดฝั่งพัดเข้าพื้นที่ชายฝั่งทะเล ซึ่งประเมินจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของพายุหมุนโดยทั่วไปและความกว้างใหญ่ของพื้นที่ศึกษา รายละเอียดของการกำหนดคลื่นพายุซัดฝั่งในการศึกษานี้แสดงไว้ในส่วนที่ 3.4

3.3 การจำลองพื้นที่น้ำท่วม (Inundation Modeling)

คลื่นที่เคลื่อนที่มาถึงแนวชายฝั่งจะซัดขึ้นสู่แผ่นดินทำให้เกิดพื้นที่น้ำท่วมบริเวณชายฝั่ง การจำลองพื้นที่น้ำท่วมอยู่บนพื้นฐานสมการอนุกรมมวลและสมการโมเมนต์ในแนวแกน x และ y เช่นเดียวกับการจำลองนอกฝั่ง สมการเชิงอนุพันธ์จะถูกแก้สมการด้วยวิธีเชิงตัวเลขแบบ Leap-frog ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งจะได้สมการเชิงตัวเลขดังแสดงในสมการที่ 3.7 ถึง 3.8



รูปที่ 3.2 Leap-frog scheme

$$\begin{aligned}
 M_{i+\frac{1}{2},j}^{k+\frac{1}{2}} = & \frac{1}{1+\mu_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}}} \left\{ (1-\mu_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}}) M_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[\lambda_{11} \frac{(M_{i+\frac{3}{2},j}^{k-\frac{1}{2}})^2}{h_{i+\frac{3}{2},j}^{k-\frac{1}{2}}} + \lambda_{21} \frac{(M_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}})^2}{h_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}}} + \lambda_{31} \frac{(M_{i-\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}})^2}{h_{i-\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}}} \right] \right. \\
 & - \frac{\Delta t}{\Delta y} \left[v_{11} \frac{M_{i+\frac{1}{2},j+1}^{k-\frac{1}{2}} N_{i+\frac{1}{2},j+1}^{k-\frac{1}{2}}}{h_{i+\frac{1}{2},j+1}^{k-\frac{1}{2}}} + v_{12} \frac{M_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} N_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}}}{h_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}}} + v_{13} \frac{M_{i+\frac{1}{2},j-1}^{k-\frac{1}{2}} N_{i+\frac{1}{2},j-1}^{k-\frac{1}{2}}}{h_{i+\frac{1}{2},j-1}^{k-\frac{1}{2}}} \right] \\
 & \left. - gh_{i+\frac{1}{2},j}^k \frac{\Delta t}{\Delta x} [H_{i+1,j}^k - H_{i,j}^k] \right\} \quad (3.7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k+\frac{1}{2}} = & \frac{1}{1+\mu_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}} \left\{ (1-\mu_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}) N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[\lambda_{12} \frac{(N_{i+\frac{3}{2},j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}})^2}{h_{i+\frac{3}{2},j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}} + \lambda_{22} \frac{(N_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}})^2}{h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}} + \lambda_{32} \frac{(N_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}})^2}{h_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}} \right] \right. \\
 & - \frac{\Delta t}{\Delta y} \left[v_{12} \frac{M_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} N_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}}{h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}} + v_{22} \frac{(N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}})^2}{h_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}} + v_{33} \frac{(N_{i,j-\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}})^2}{h_{i,j-\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}} \right] \\
 & \left. - gh_{i,j+\frac{1}{2}}^k \frac{\Delta t}{\Delta y} [H_{i,j+1}^k - H_{i,j}^k] \right\} \quad (3.8)
 \end{aligned}$$

เมื่อ

$$x \mu_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \frac{gn^2 \Delta t}{(h_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}})^{2/3}} \sqrt{(M_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}})^2 + (N_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}})^2} \quad (6.3)$$

$$y \mu_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \frac{gn^2 \Delta t}{(h_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}})^{2/3}} \sqrt{(M_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}})^2 + (N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}})^2} \quad (6.4)$$

$$h_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} = \frac{1}{4} (h_{i+1,j}^k + h_{i,j}^k + h_{i+1,j}^{k-1} + h_{i,j}^{k-1}) \quad (6.5)$$

$$h_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} = \frac{1}{4} (h_{i,j+1}^k + h_{i,j}^k + h_{i,j+1}^{k-1} + h_{i,j}^{k-1}) \quad (6.6)$$

$$\begin{aligned} M_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} \geq 0, & \quad (\lambda_{11}, \lambda_{21}, \lambda_{31}) = (0, 1, -1) & M_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} \geq 0, & \quad (\lambda_{12}, \lambda_{22}, \lambda_{32}) = (0, 1, -1) \\ & < 0, & & \quad (\lambda_{12}, \lambda_{22}, \lambda_{32}) = (1, -1, 0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} \geq 0, & \quad (v_{11}, v_{21}, v_{31}) = (0, 1, -1) & N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} \geq 0, & \quad (v_{12}, v_{22}, v_{32}) = (0, 1, -1) \\ & < 0, & & \quad (v_{12}, v_{22}, v_{32}) = (1, -1, 0) \end{aligned}$$

เมื่อ h คือ ความลึกน้ำ, z คือ ระดับพื้นดินเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง, H เท่ากับ $z+h$, g คือ ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง, x, y คือ พิกัดแนวราบ, t คือ เวลา, M, N คือ องค์ประกอบพลักซ์โมเมนตัมในแนวแกน x และ y ตามลำดับ และ n คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Manning ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการศึกษา เนื่องจากค่า n เป็นพารามิเตอร์ในการจำลองพื้นที่แนวต้นไม้ชายฝั่งทะเล สำหรับพื้นที่ชายฝั่งทะเลทั่วไปค่า n อยู่ระหว่าง 0.03 – 0.04 และพื้นที่ที่มีต้นไม้น้ำหนาแน่นค่า n อาจจะสูงถึง 0.20 ค่าแนะนำของ n สามารถอ้างอิงได้จากข้อมูลในภาคผนวก ง

สิ่งสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) และเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial condition) ในการศึกษาที่กำหนดให้เมื่อมวลน้ำเคลื่อนตัวถึงขอบเขตของพื้นที่ศึกษา มวลน้ำจะเคลื่อนที่ผ่านขอบเขตนั้นไปยังเขตนอกพื้นที่ที่สนใจโดยไม่มีการสะท้อนของคลื่นหรือพลังงานใดๆ เลย ช่วงเวลาในการคำนวณอยู่ภายใต้

เงื่อนไขสเถียรภาพเชิงตัวเลข คือ $\Delta t \sqrt{2} C_{\max} \leq \Delta s$ เมื่อ Δt คือ เวลาและ C_{\max} คือ ความเร็วสูงสุด และ Δs คือ ขนาดของกริด

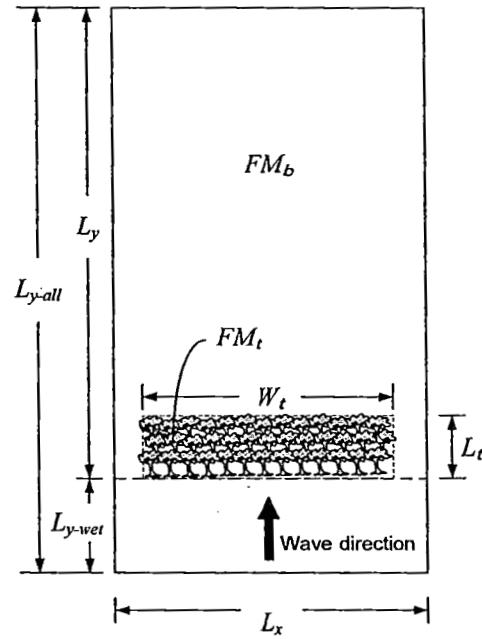
ระดับน้ำของพื้นที่น้ำทะเลในตอนเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาพื้นที่ที่ไม่มีน้ำหรือพื้นที่แห้ง ใช้หลักเกณฑ์ดังนี้ คือ เมื่อระดับน้ำในกริดที่กำลังคำนวณมีค่าน้อยกว่า 0.1 เมตร ให้ถือว่ากริดนั้นเป็นพื้นที่แห้ง ไม่มีน้ำท่วม และให้กำหนดค่าระดับน้ำใหม่ ฟลักซ์โมเมนต์ M และ N เท่ากับศูนย์

3.4 เงื่อนไขการจำลองสถานการณ์

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าของตัวแปรต่างๆ ของสมการในแบบจำลอง ส่วนนี้ทำการสรุปค่าของตัวแปร เงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ และกรณีศึกษาต่างๆ ที่ดำเนินการ

พื้นที่ชายฝั่งที่ใช้ในการศึกษามีลักษณะเป็นพื้นที่ในอุดมคติ กล่าวคือ เป็นพื้นที่ที่ผู้ศึกษาสามารถกำหนดขนาดความกว้าง ความยาว และความลาดเอียงได้ กรณีศึกษานี้ได้กำหนดให้พื้นที่ศึกษา มีความกว้างในแนวแกน x เท่ากับ 1,000 เมตร ความยาวในแนวแกน y เท่ากับ 1,800 เมตร โดยที่ระดับน้ำนิ่งอยู่ที่ระยะ 300 เมตรจากขอบเขตล่าง ทำให้แบ่งเป็นพื้นที่หาดที่แห้ง 1,500 เมตรและเป็นพื้นที่หาดเปียก 300 เมตร ดังรูปที่ 3.3 ค่าของตัวแปรต่างๆ ในแบบจำลอง สรุปไว้ดังตารางที่ 3.1 และกรณีศึกษาซึ่งมีทั้งหมด 5 กรณี สรุปไว้ดังตารางที่ 3.2

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131



รูปที่ 3.3 แผนภาพพื้นที่ชายฝั่งจำลอง

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
ความกว้างหาด	L_x	1,000	เมตร
ความยาวหาดทั้งหมด	L_{y-all}	1,800	เมตร
ความกว้างหาด	L_x	1,000	เมตร
ความยาวหาดทั้งหมด	L_{y-wet}	1,000	เมตร
ความยาวกริดในแนวแกน	Δx	50	เมตร
ความยาวกริดในแนวแกน	Δy	50	เมตร
จำนวนกริดในแนวแกน	N_x	50	กริด
จำนวนกริดในแนวแกน	N_x	50	กริด
ชั้นเวลา	Δt	0.1	วินาที
จำนวนชั้นเวลาทั้งหมด		18,000	ชั้น
ระยะคำนวณทั้งหมด	L_x	1,800	วินาที
ระยะเวลาที่คลื่นซัดเข้าฝั่ง		1,000	วินาที
ความลาดชันของหาด	BS	1,000	
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นหาด	FM_b	0.04	
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นที่ดินไม้ชายฝั่งทะเล	FM_t	0.1	

ตารางที่ 3.2 กรณีศึกษาสถานการณ์ด้วยแบบจำลอง

กรณีที่ 1 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและความลาดชันของหาด		
ตัวแปรคงที่	ส.ป.ส. ความเสียหาย ทานของหาด	$FM_b = 0.04$
ตัวแปรเปลี่ยนแปลง	ความลาดชันของหาด	$BS = 1:50, 1:75, 1:100, 1:250, 1:150, 1:300$
	ความสูงคลื่น (เมตร)	$H = 1, 2, 3, 4, 5$
รหัสของกรณีศึกษา	C1_BS1-⊗⊗⊗-H⊕, เมื่อ ⊗ คือ ความลาดชันหาด (ตัวเลข 3 หลัก) และ ⊕ คือ ความสูงคลื่น เช่น C1_BS1-050_H1 หรือ C1_BS1-300_H5 เป็นต้น	

กรณีที่ 2 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและสัมประสิทธิ์ความเสียหายของหาด		
ตัวแปรคงที่	ความลาดชันของหาด	$BS = 1:3000$
ตัวแปรเปลี่ยนแปลง	ส.ป.ส. ความเสียหาย ทานของหาด	$FM_b = 0.04, 0.10, 0.20$
	ความสูงคลื่น (เมตร)	$H = 1, 2, 3, 4, 5$
รหัสของกรณีศึกษา	C2_FM⊗⊗⊗-H⊕, เมื่อ ⊗ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียหาย (ตัวเลข 3 หลัก - หลักหน่วย 1 หลักและทศนิยม 2 หลัก) และ ⊕ คือ ความสูงคลื่น เช่น C2_FM004_H1 หรือ C2_FM010_H5 เป็นต้น	

ตารางที่ 3.2 กรณีศึกษาสถานการณ์การณด้วยแบบจำลอง (ต่อ)

กรณีศึกษา 3 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและความยาวของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งทะเล		
ตัวแปรคงที่	ความลาดชันของหาด	$BS = 1:300$
	ส.ป.ส. ความเสียหายของหาด	$FM_b = 0.04$
	ส.ป.ส. ความเสียหายของพื้นที่ต้นไม้	$FM_t = 1.04$
ตัวแปรเปลี่ยนแปลง	ความยาวของพื้นที่ต้นไม้ตามแนวแกน y (จำนวนกริด/เมตร)	$L_t = 3$ กริด / 150 เมตร, 5 กริด / 250 เมตร, 7 กริด / 350 เมตร, 9 กริด / 450 เมตร, 11 กริด / 550 เมตร, 13 กริด / 650 เมตร สำหรับความสูงคลื่น 1.0 เมตร $L_t = 4$ กริด / 200 เมตร, 8 กริด / 400 เมตร, 12 กริด / 600 เมตร, 16 กริด / 800 เมตร, 19 กริด / 950 เมตร สำหรับความสูงคลื่น 1.5 เมตร $L_t = 5$ กริด / 250 เมตร, 10 กริด / 500 เมตร, 15 กริด / 750 เมตร, 20 กริด / 1000 เมตร, 25 กริด / 1250 เมตร สำหรับความสูงคลื่น 2.0 เมตร $L_t = 6$ กริด / 300 เมตร, 12 กริด / 600 เมตร, 18 กริด / 900 เมตร, 24 กริด / 1200 เมตร, 30 กริด / 1500 เมตร สำหรับความสูงคลื่น 2.5 เมตร $L_t = 6$ กริด / 300 เมตร, 9 กริด / 450 เมตร, 12 กริด / 600 เมตร, 15 กริด / 750 เมตร, 18 กริด / 900 เมตร, 21 กริด / 1050 เมตร, 24 กริด / 1200 เมตร, 27 กริด / 1350 เมตร, 30 กริด / 1500 เมตร สำหรับความสูงคลื่น 3.0 เมตร
	H (เมตร)	1, 1.5, 2, 2.5, 3
รหัสของกรณีศึกษา	$C3_H\oplus_LT\otimes\otimes = \otimes\otimes\otimes$, เมื่อ \oplus คือ ความสูงคลื่น (อาจจะมี 1 หลักหรือ 2 หลัก), \otimes คือ จำนวนกริดของพื้นที่ต้นไม้ (ตัวเลข 2 หลัก) และ \otimes คือ ร้อยละของความยาวพื้นที่ต้นไม้กับความยาวพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดเมื่อไม่มีต้นไม้ (ดูเพิ่มเติมในบทที่ 4) เช่น $C3_H1_LT03=023$ หรือ $C3_H1.5_LT30=100$ เป็นต้น	

ตารางที่ 3.2 กรณีศึกษาสถานการณ์ด้วยแบบจำลอง (ต่อ)

กรณีที่ 4 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและความกว้างของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งทะเล		
ตัวแปรคงที่	ความลาดชันของหาด	$BS = 1:3000$
	ความสูงคลื่น (เมตร)	$H = 1$
	ส.ป.ส. ความเสียหาย ทานของหาด	$FM_b = 0.04$
	ส.ป.ส. ความเสียหาย ทานของพื้นที่ต้นไม้	$FM_t = 0.04$
ตัวแปรเปลี่ยนแปลง	ความกว้างของพื้นที่ ต้นไม้ตามแนวแกน x (จำนวนกริด/ เมตร/ร้อยละของ ความกว้างของพื้นที่ ต้นไม้ต่อความกว้าง ของพื้นที่ศึกษา)	$W_t = 4$ กริด / 200 เมตร / 20%, 8 กริด / 400 เมตร / 40%, 12 กริด / 600 เมตร / 60%, 16 กริด / 800 เมตร / 80%, 20 กริด / 1000 เมตร / 100%,
รหัสของกรณีศึกษา	C4_WT $\otimes\otimes = \otimes\otimes\otimes$, เมื่อ \otimes คือ จำนวนกริดของพื้นที่ต้นไม้ (ตัวเลข 2 หลัก) และ \otimes คือ ร้อยละของความกว้างของพื้นที่ต้นไม้ต่อความกว้างของพื้นที่ศึกษา เช่น C4_WT04=020 หรือ C4_WT20=100 เป็นต้น	

กรณีที่ 5 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและรูปแบบของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งทะเล		
ตัวแปรคงที่	ความลาดชันของหาด	$BS = 1:3000$
	ความสูงคลื่น (เมตร)	$H = 1$
	ส.ป.ส. ความเสียหาย ทานของหาด	$FM_b = 0.04$
	ส.ป.ส. ความเสียหาย ทานของพื้นที่ต้นไม้	$FM_t = 0.04$
	จำนวนกริดของพื้นที่ ต้นไม้ (กริด)	$FM_x = 0.04$
ตัวแปรเปลี่ยนแปลง	ของพื้นที่ต้นไม้ ชายฝั่งทะเล	รูปแบบที่ 1 (P1): ยาว 5 กริด กว้าง 12 กริด จำนวน 1 ชุด รูปแบบที่ 2 (P2): ยาว 5 กริด กว้าง 6 กริด จำนวน 2 ชุด รูปแบบที่ 3 (P3): ยาว 5 กริด กว้าง 4 กริด จำนวน 3 ชุด
รหัสของกรณีศึกษา	C5_P \otimes , เมื่อ \otimes คือ รูปแบบของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งทะเล (ตัวเลข 1 หลัก) เช่น C5_P1 เป็นต้น	

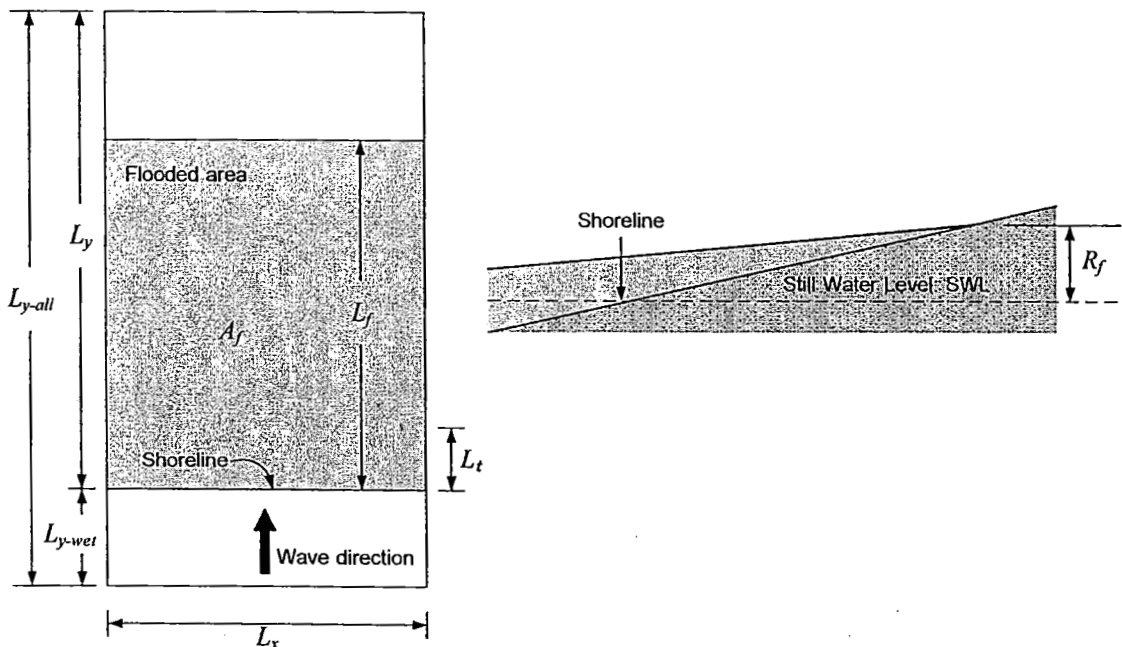
บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผลการศึกษา

บทนี้อธิบายถึงผลการศึกษาซึ่งได้จากการจำลองภาวะน้ำท่วมบนพื้นที่ชายฝั่งทะเลในอุดมคติ ในแต่ละกรณีศึกษาจำนวนทั้งหมด 5 กรณี ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 รวมถึงการวิเคราะห์ผลการศึกษาของกรณีดังกล่าว

ในการพิจารณาความไวของพื้นที่น้ำท่วมต่อตัวแปรต่างๆ ที่สนใจในแต่ละกรณีนั้น ลักษณะของพื้นที่น้ำท่วมที่นำมาพิจารณา มีดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 4.1 ประกอบ)

- (1) ความยาวสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วม (Maximum length of flooded area: L_f) หมายถึง ระยะทางตามแนวแกน y จากแนวชายฝั่ง (Shoreline) ระดับน้ำนิ่งถึงจุดสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วม
- (2) ระดับน้ำท่วมสูงสุด (Maximum runup: R_f) คือ ระดับตามแนวนิ่งจากระดับน้ำนิ่งถึงระดับสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วม
- (3) ร้อยละการลดพื้นที่น้ำท่วม (Reduction of flood area: RA (%)) คือ ร้อยละของพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดเมื่อมีต้นไม้ (A_{f-tree}) ต่อพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดเมื่อไม่มีต้นไม้ ($A_{f-no tree}$)



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงพารามิเตอร์ที่แสดงลักษณะของพื้นที่น้ำท่วม

4.1 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและความลาดชันของหาด

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมกับความลาดชันของหาด โดยความลาดชันเปลี่ยนแปลง 6 กรณี คือ 1:50, 1:75, 1:100, 1:125, 1:150, 1:300 เมื่อความสูงคลื่นสูงสุดเท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 เมตร สามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 4.2 และ 4.3

รูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงความไวของความยาวสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วม ต่อความลาดชันของหาด และความสูงคลื่น จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น ความยาวสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วมจะเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แนวโน้มการเพิ่มมีสัดส่วนลดลงเมื่อความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น

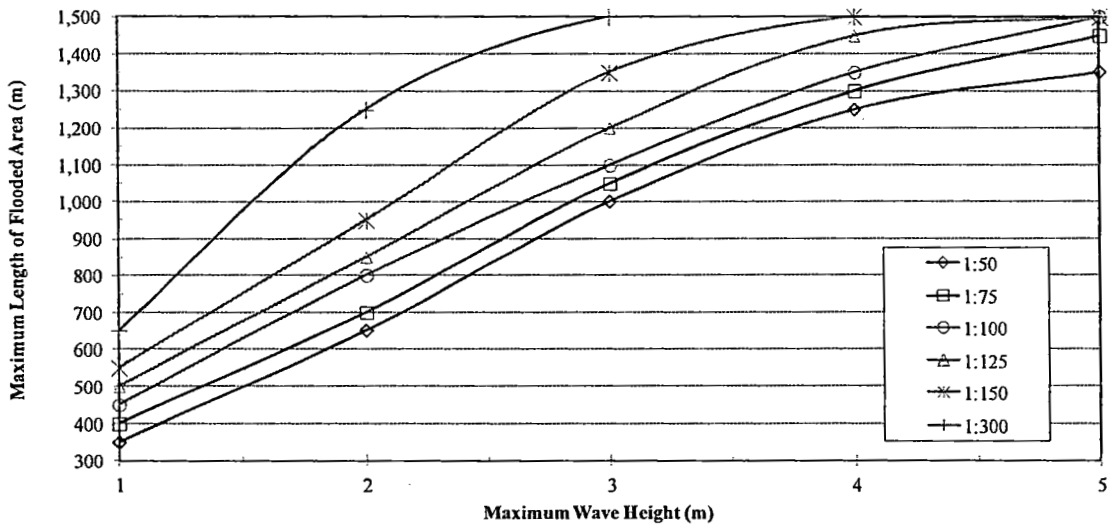
ในกรณีของความสูงคลื่นเดียวกัน ความยาวสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วมจะเพิ่มขึ้น หากความลาดชันของหาดลดลง ลักษณะเช่นนี้เนื่องจากพลังงานคลื่นเปลี่ยนไปพลังงานศักย์ กรณีของหาดที่มีความลาดชันมากกว่า ค่าระดับของพื้นที่จะสูงกว่า ทำให้มวลน้ำเคลื่อนไปได้น้อยกว่า เพราะพลังงานส่วนหนึ่งแปลงไปเป็นพลังงาน

รูปที่ 4.3 แสดงความไวของระดับน้ำท่วมสูงสุดต่อความสูงคลื่นและความลาดชันของหาด ในทำนองเดียวกันกับความยาวสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วม เมื่อความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น ระดับน้ำท่วมสูงสุดจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากพลังงานของคลื่นเพิ่มขึ้น สัดส่วนการเพิ่มขึ้นไม่เป็นเชิงเส้นตรง แนวโน้มของการเพิ่มลดลงเมื่อคลื่นสูงขึ้น แต่ในทางตรงข้ามกับกรณีความยาวสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วม ระดับน้ำท่วมสูงสุดจะลดลงตามความลาดชันที่ลดลง เนื่องจากหาดที่มีความลาดชันมากกว่าจะสลายพลังงานของคลื่นได้ดีกว่า ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบพลังงานศักย์ในแต่ละกรณีแล้ว ความลาดชันของหาดที่น้อยกว่า สลายพลังงานได้มากกว่า พลังงานที่แปรไปเป็นพลังงานศักย์จึงน้อยกว่า ทำให้ระดับน้ำท่วมสูงสุดจึงน้อยกว่าด้วย

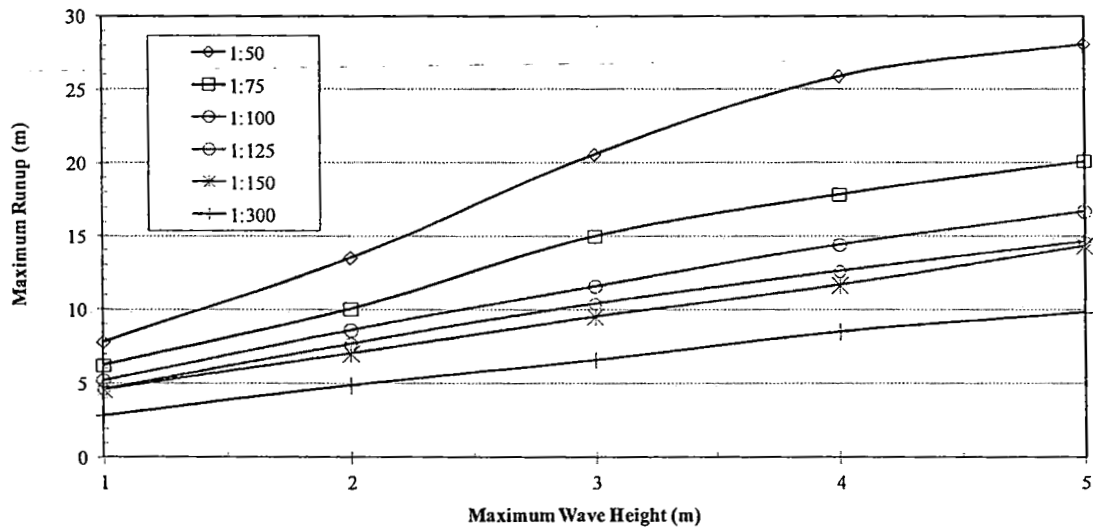
รูปที่ 4.4 แสดงภาวะน้ำท่วมจำลองตามเวลา 120, 240, 360, 480, 600, 720, 840, 960, 1080, และ 1200 วินาที ของกรณี C1_BS1-075_H2, C1_BS1-150_H2 และ C1_BS1-300_H2 เพื่อแสดงความแตกต่างของการเกิดภาวะน้ำท่วมของหาดที่มีความลาดชัน 3 ค่า คือ 1:75, 1:150 และ 1:300 ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นตามรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 หาดที่มีความลาดชันน้อยกว่าจะทำให้เกิดภาวะน้ำท่วมได้มากกว่าหาดที่มีความชันมาก แต่ด้วยมวลน้ำของคลื่นที่พัดเข้าฝั่งเท่ากัน จึงทำให้บริเวณใกล้แนวชายฝั่งของหาดที่มีความลาดชันมาก ระดับความลึกของน้ำท่วมจะสูงกว่า ซึ่งปัจจัยนี้อาจสร้างความอันตรายต่อชีวิตได้สูงกว่า อีกประเด็นที่น่าสนใจ คือ สำหรับหาดที่มีความลาดชันน้อยกว่า มวลน้ำที่เอ่อท่วมชายฝั่งจะไหลกลับได้ช้ากว่ากรณีหาดที่มีความลาดชัน

มากกว่า เนื่องจากหาดที่มีความลาดชันมากกว่าจะทำให้เกิดเนื่องจากน้ำหนักผลึกให้มวลน้ำไหลกลับได้มากกว่ากรณีหาดที่มีความลาดชันน้อยกว่า

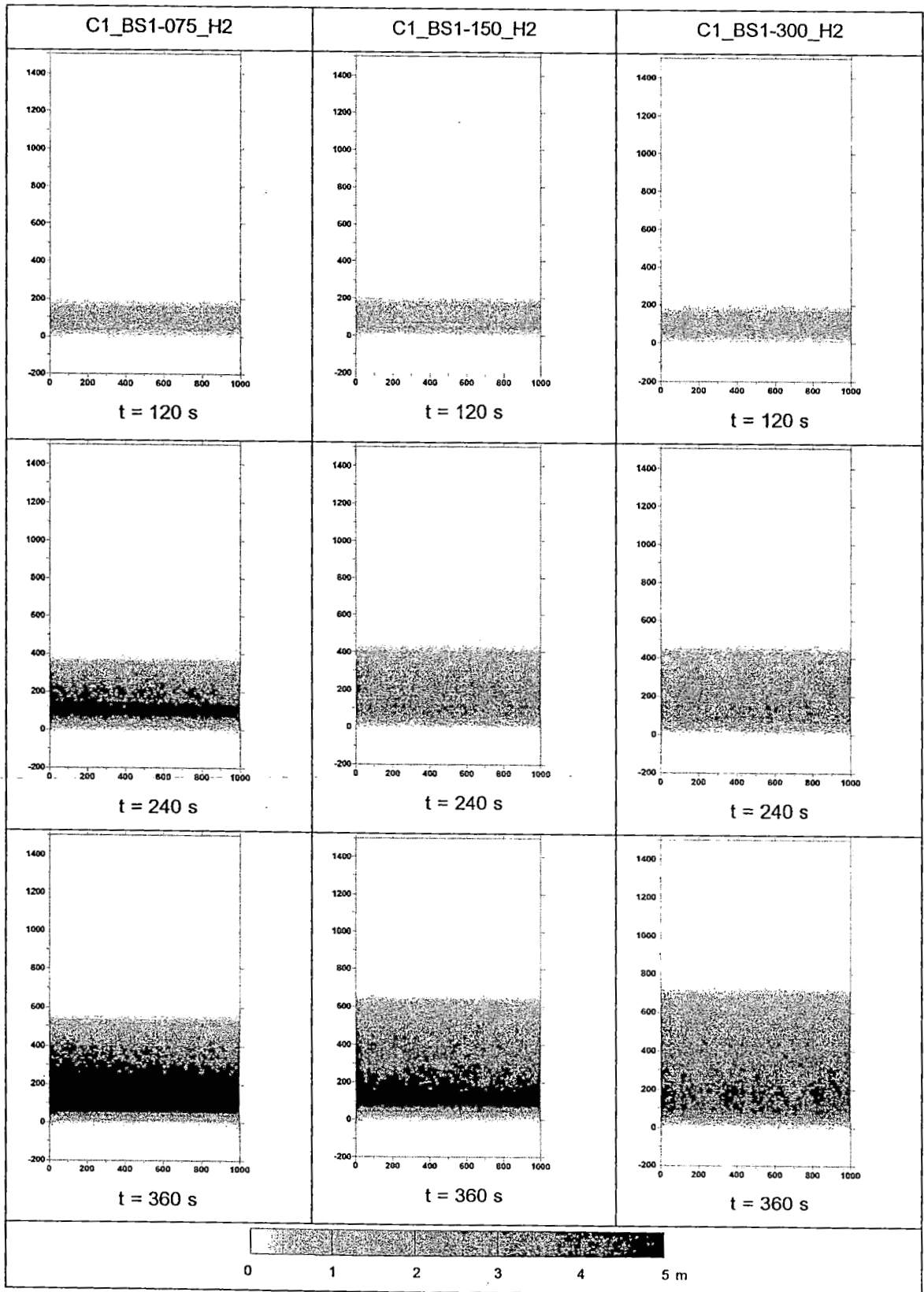
ในขณะที่รูปที่ 4.5 แสดงภาวะน้ำท่วมตามเวลาเดียวกัน ของกรณี C1_BS1-300_H1, C1_BS1-300_H2 และ C1_BS1-300_H3 เพื่อแสดงความแตกต่างของการเกิดภาวะน้ำท่วมของหาดจากคลื่นที่มีความสูง 3 ค่า คือ 1, 2 และ 3 เมตร จากรูปแสดงให้เห็นชัดเจนว่า คลื่นที่มีความสูงมากกว่ามีพลังมากกว่า ทำให้เกิดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่งได้มากกว่าและมีความลึกกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่คลื่นมีความสูงน้อยกว่า



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วมกับความสูงคลื่น ณ ความลาดชันต่างๆ

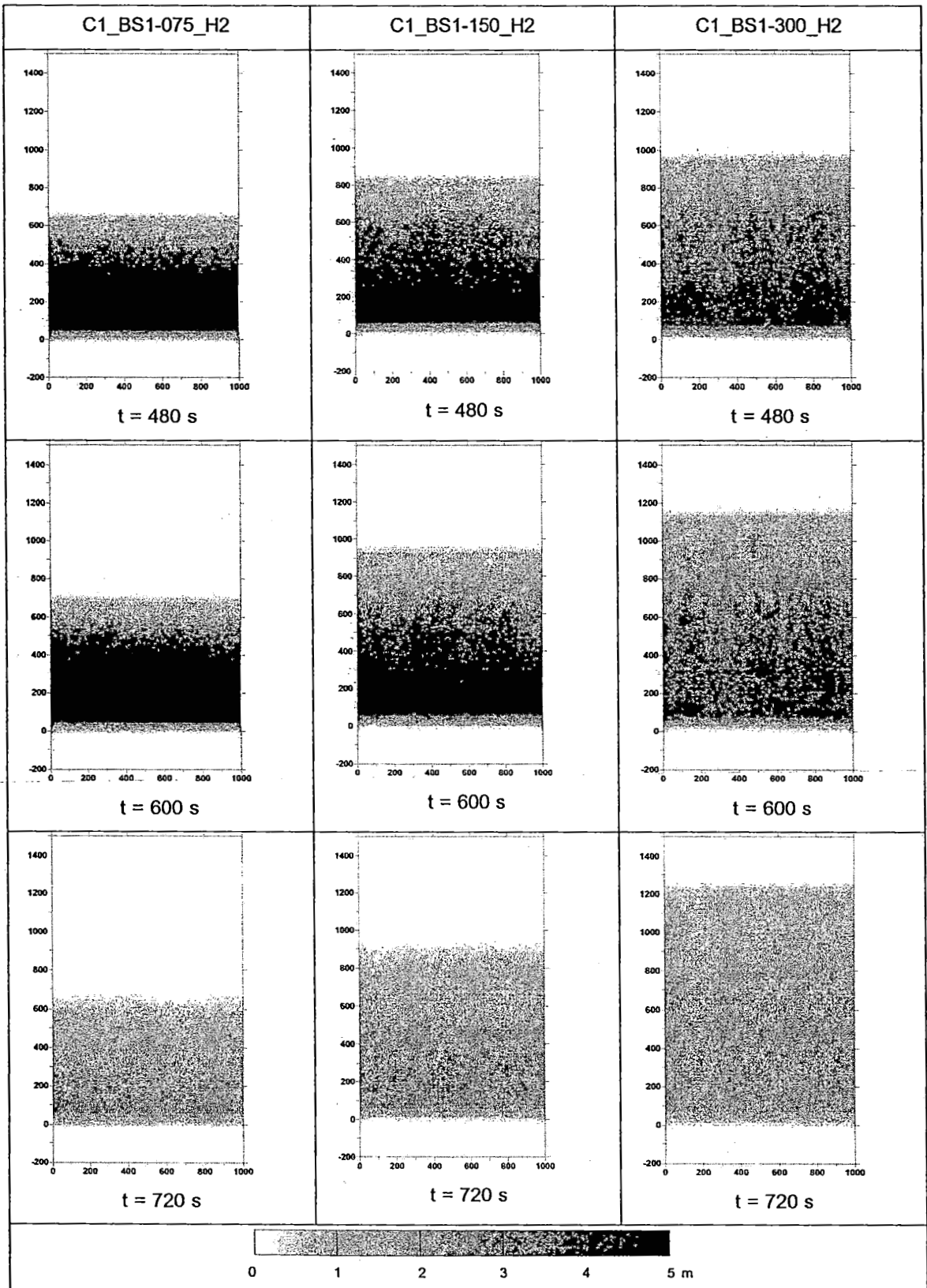


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำท่วมสูงสุดกับความสูงคลื่น ณ ความลาดชันต่างๆ



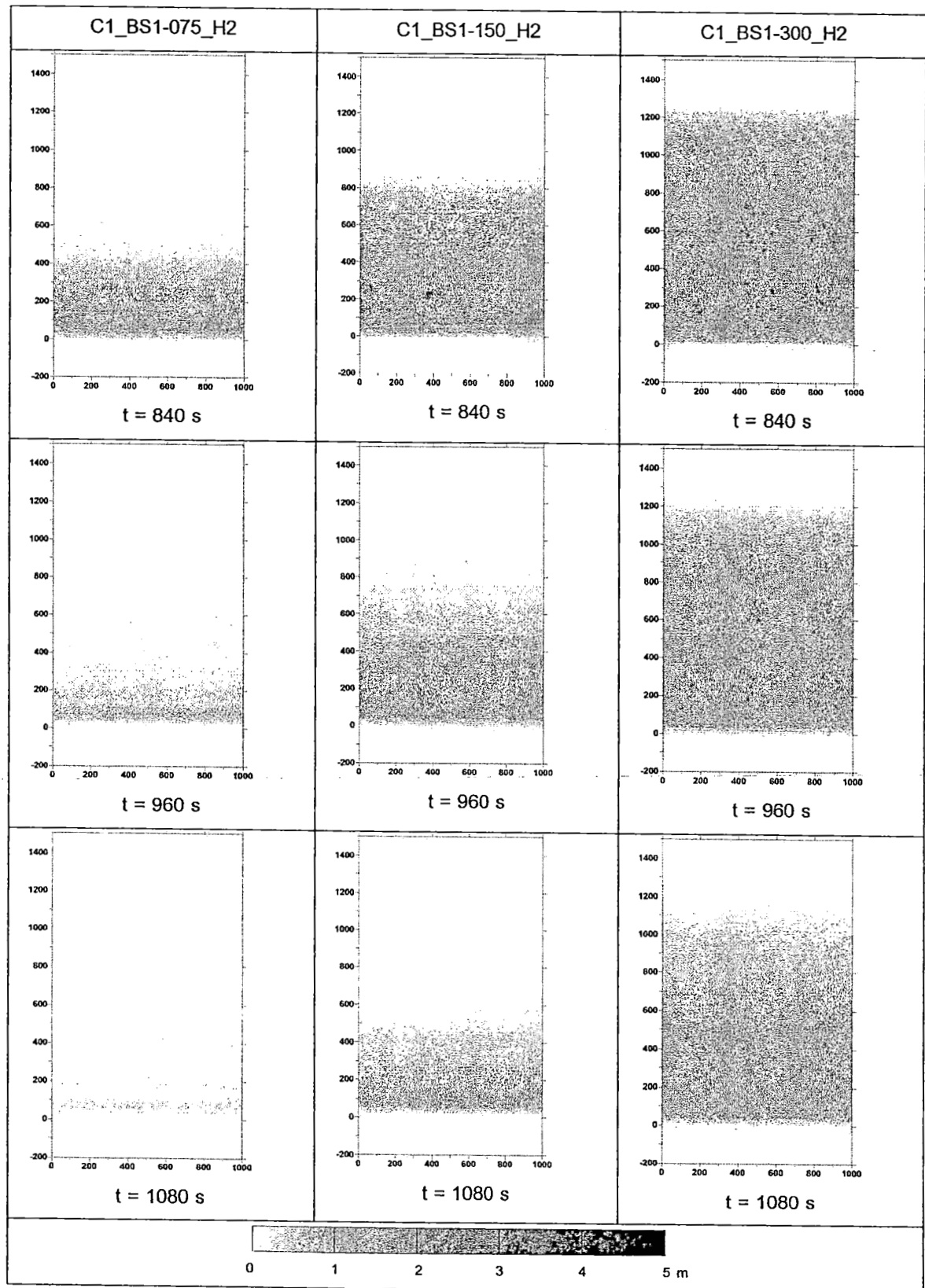
รูปที่ 4.4 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี

C1_BS1-075_H2, C1_BS1-150_H2 และ C1_BS1-300_H2



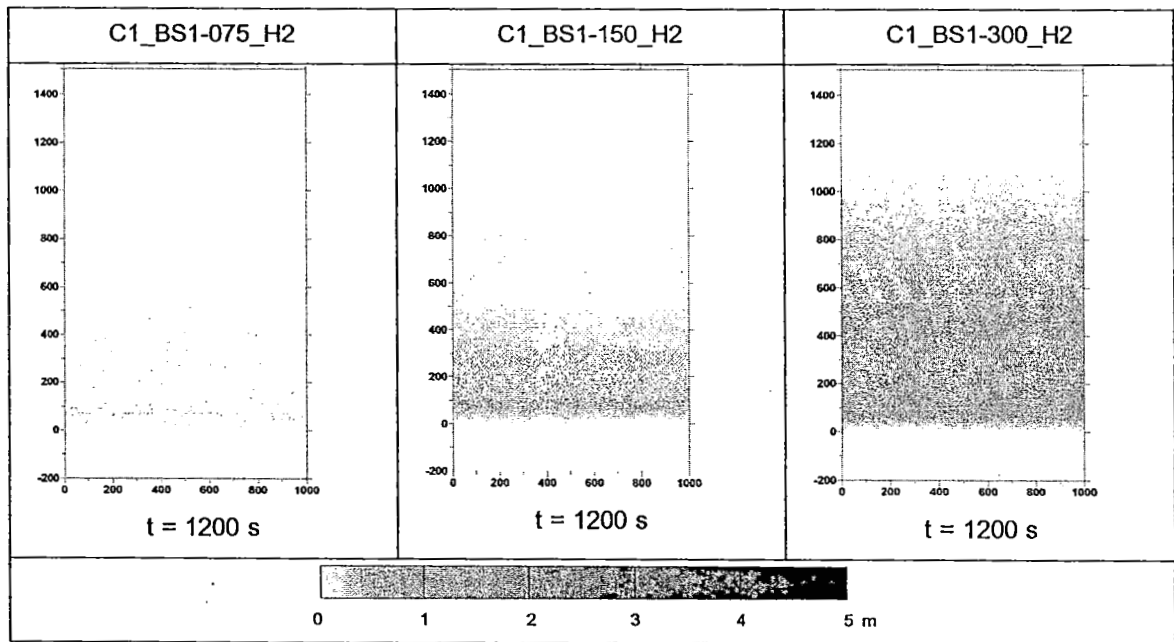
รูปที่ 4.4 ภาวบน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี

C1_BS1-075_H2, C1_BS1-150_H2 และ C1_BS1-300_H2 (ต่อ)

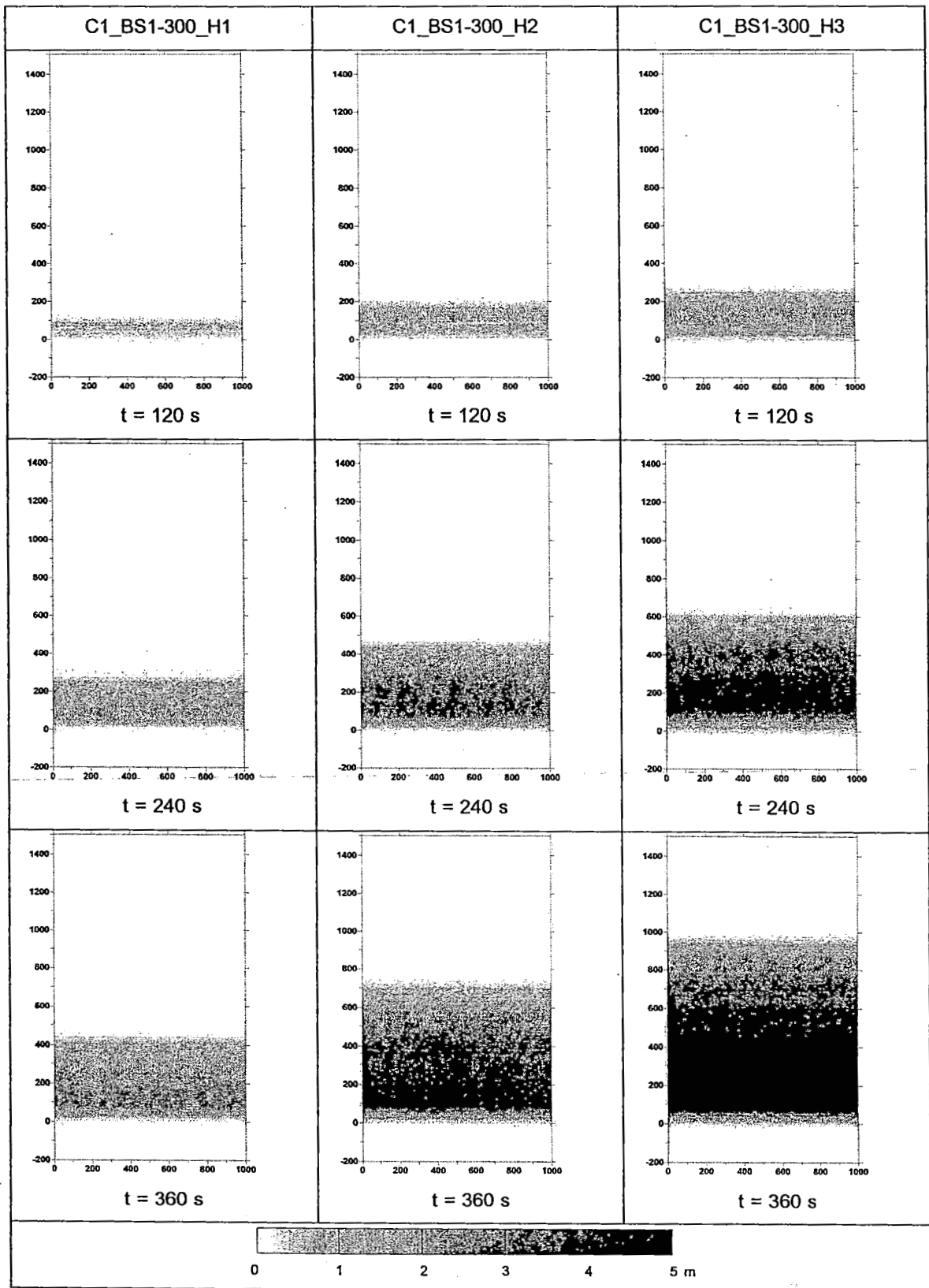


รูปที่ 4.4 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี

C1_BS1-075_H2, C1_BS1-150_H2 และ C1_BS1-300_H2 (ต่อ)

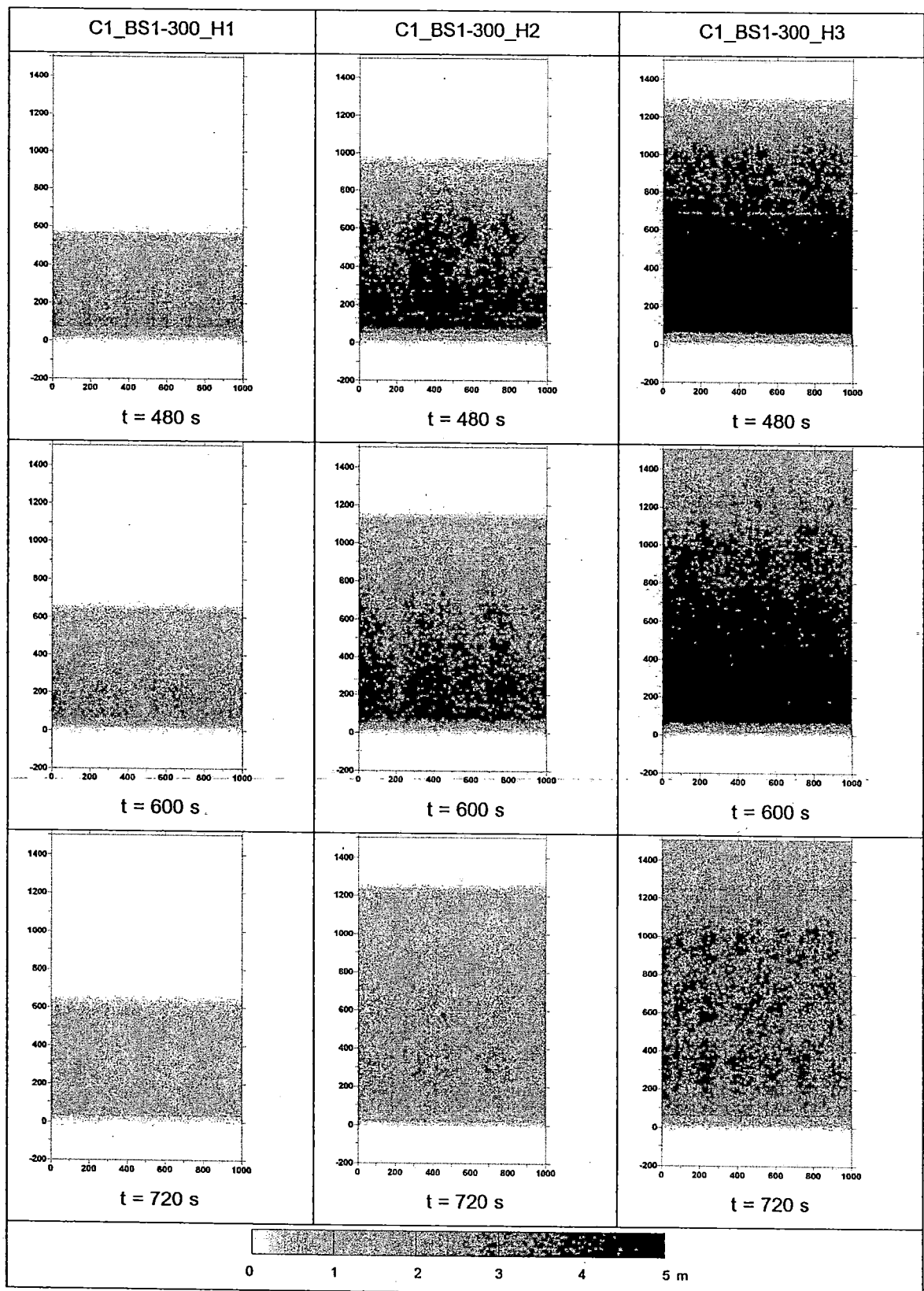


รูปที่ 4.4 ภาชนะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี
C1_BS1-075_H2, C1_BS1-150_H2 และ C1_BS1-300_H2 (ต่อ)



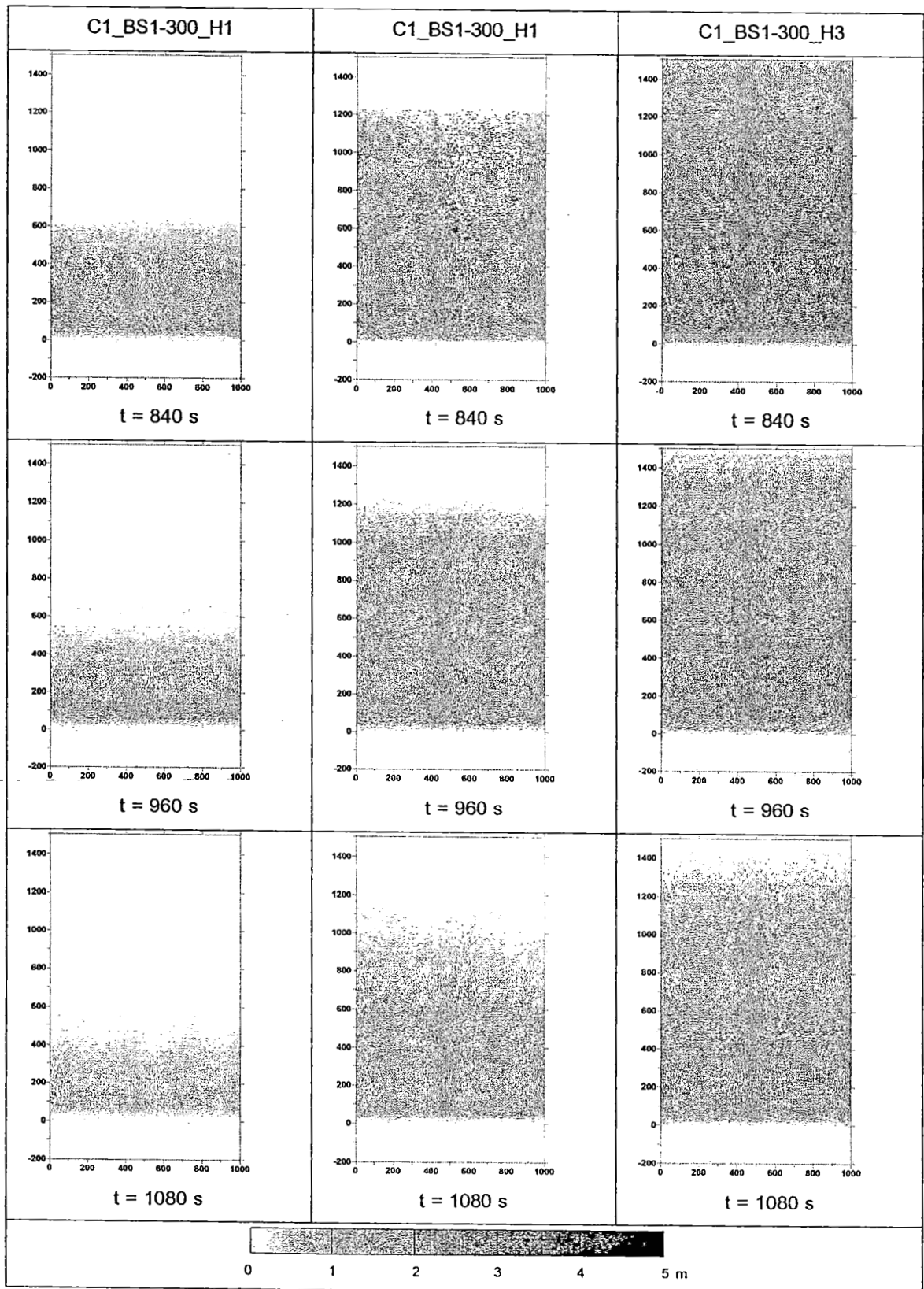
รูปที่ 4.5 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี

C1_BS1-300_H1, C1_BS1-300_H2 และ C1_BS1-300_H3



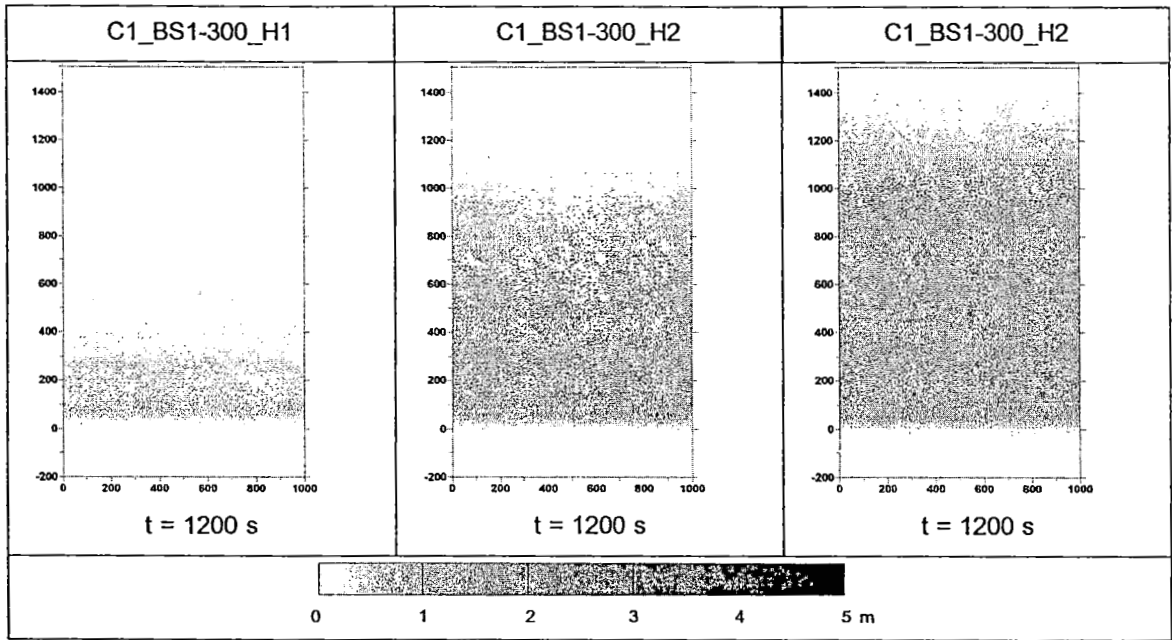
รูปที่ 4.5 ภาวณ้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี

C1_BS1-300_H1, C1_BS1-300_H2 และ C1_BS1-300_H3 (ต่อ)



รูปที่ 4.5 ภาวน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี

C1_BS1-300_H1, C1_BS1-300_H2 และ C1_BS1-300_H3 (ต่อ)



รูปที่ 4.5 ภาวณ้ำทวมชยฝ่งทะเลของกรณี
 C1_BS1-300_H1, C1_BS1-300_H2 และ C1_BS1-300_H3 (ต่อ)

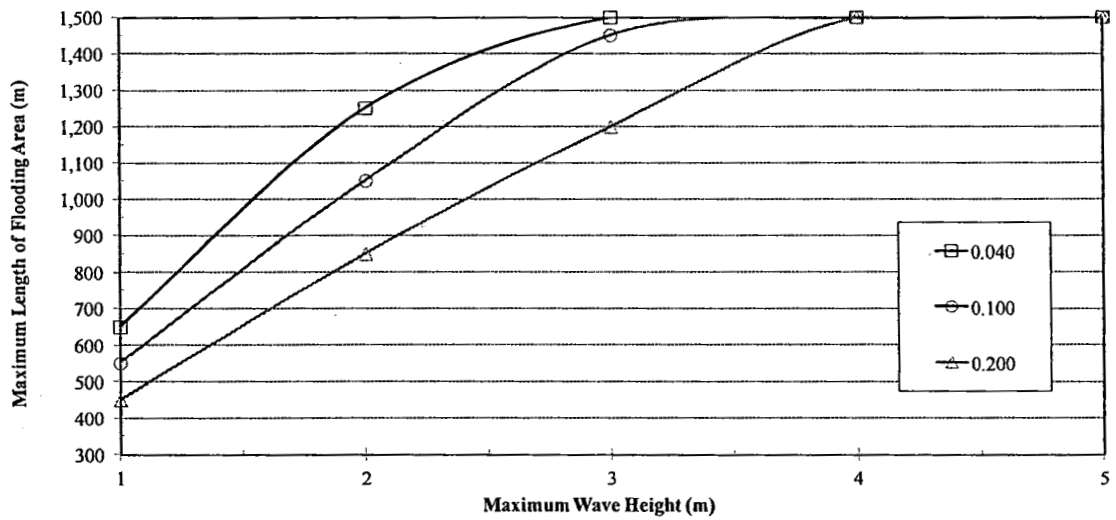
4.2 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและสัมประสิทธิ์ความเสียหายของหาด

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมกับสัมประสิทธิ์ความเสียหายของหาด โดยสัมประสิทธิ์ความเสียหายของหาดเปลี่ยนแปลง 3 กรณี คือ 0.40, 0.10 และ 0.20 เมื่อความสูงคลื่นสูงสุดเท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 เมตร สามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 4.6 และ 4.7

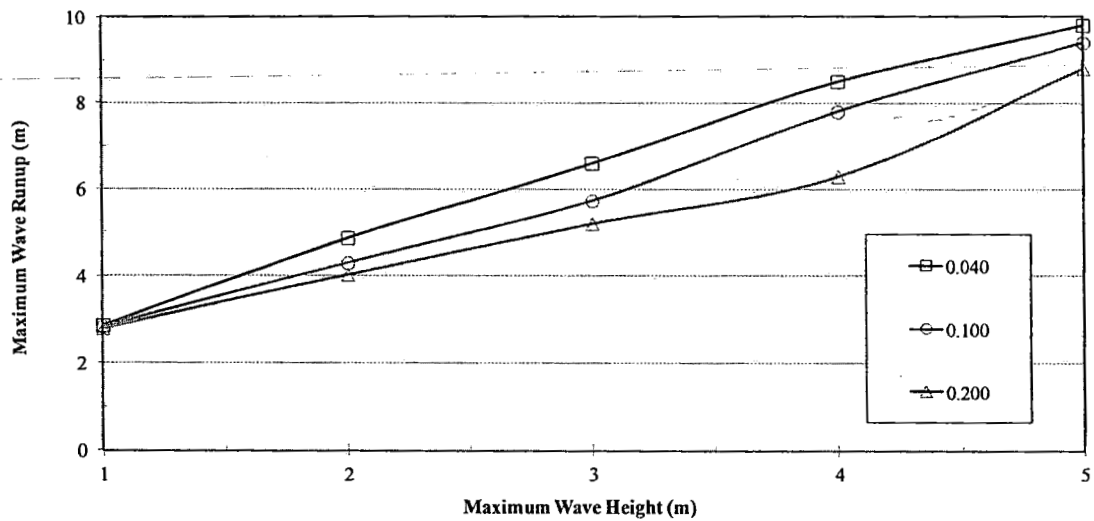
รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงความไวของความยาวสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วม ต่อสัมประสิทธิ์ความเสียหายของหาด และความสูงคลื่น จากกราฟจะเห็นว่า เมื่อสัมประสิทธิ์ความเสียหายมากขึ้น ความยาวสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วมจะลดลง เนื่องจากสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่มากขึ้นทำให้เกิดแรงเสียหายหรือแรงลากที่พื้นมากขึ้น โมเมนตัมของคลื่นที่ซัดเข้าฝั่งจึงลดลง ให้ผลเช่นเดียวกับกรณีหาดที่มีความลาดชันมาก

รูปที่ 4.7 แสดงความไวของระดับน้ำท่วมสูงสุดต่อความสูงคลื่นและสัมประสิทธิ์ความเสียหายของหาด ซึ่งผลการจำลองแสดงปรากฏการณ์เช่นเดียวกับกรณีรูปที่ 4.6 คือ หาดที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียหายมากกว่า จะทำให้เกิดระดับน้ำท่วมสูงสุดน้อยกว่า เนื่องจากโมเมนตัมที่ลดทอนลงด้วยแรงเสียหายที่เพิ่มขึ้น

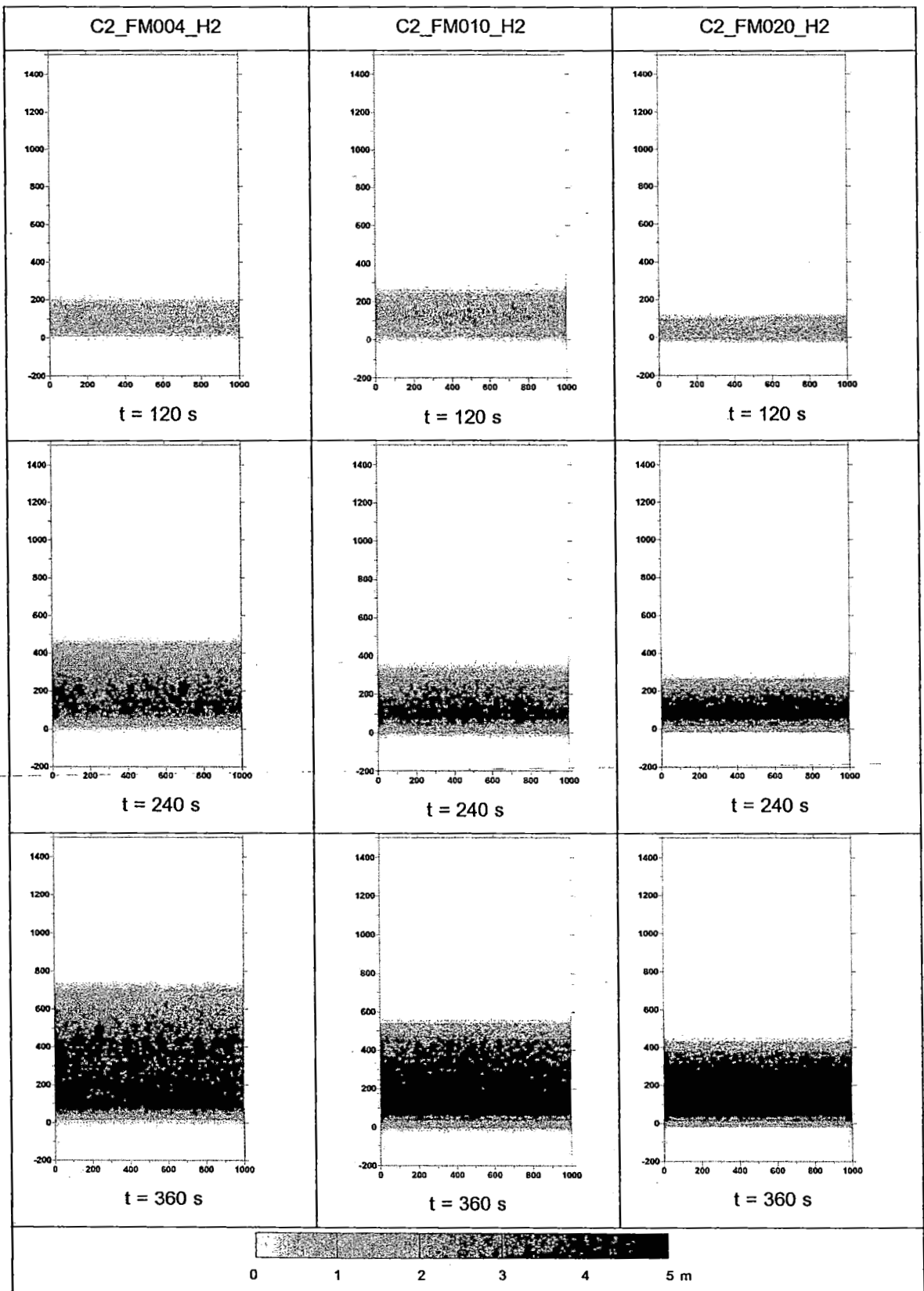
รูปที่ 4.8 แสดงภาวะน้ำท่วมจำลองตามเวลา 120, 240, 360, 480, 600, 720, 840, 960, 1080, และ 1200 วินาที ของกรณี C2_FM004_H2, C2_FM010_H2 และ C2_FM020_H2 เพื่อแสดงความแตกต่างของการเกิดภาวะน้ำท่วมของหาดที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียหาย 3 ค่า คือ 0.04, 0.10 และ 0.20 จากรูปแสดงให้เห็นว่า หาดที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียหายมากกว่าจะลดภาวะน้ำท่วมได้มากกว่า เนื่องจากแรงเสียหายที่มากกว่าจะลดทอนโมเมนตัมหรือพลังงานของคลื่นที่ซัดเข้าฝั่ง แต่ด้วยมวลน้ำของคลื่นที่เข้ามาอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ระดับน้ำท่วมของหาดที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียหายมากกว่ามีความลึกมากกว่า และมวลน้ำไหลกลับได้ช้ากว่าด้วย เนื่องจากความเสียหายที่มากนี้ด้านมวลน้ำขณะไหลกลับสู่ท้องทะเลด้วย



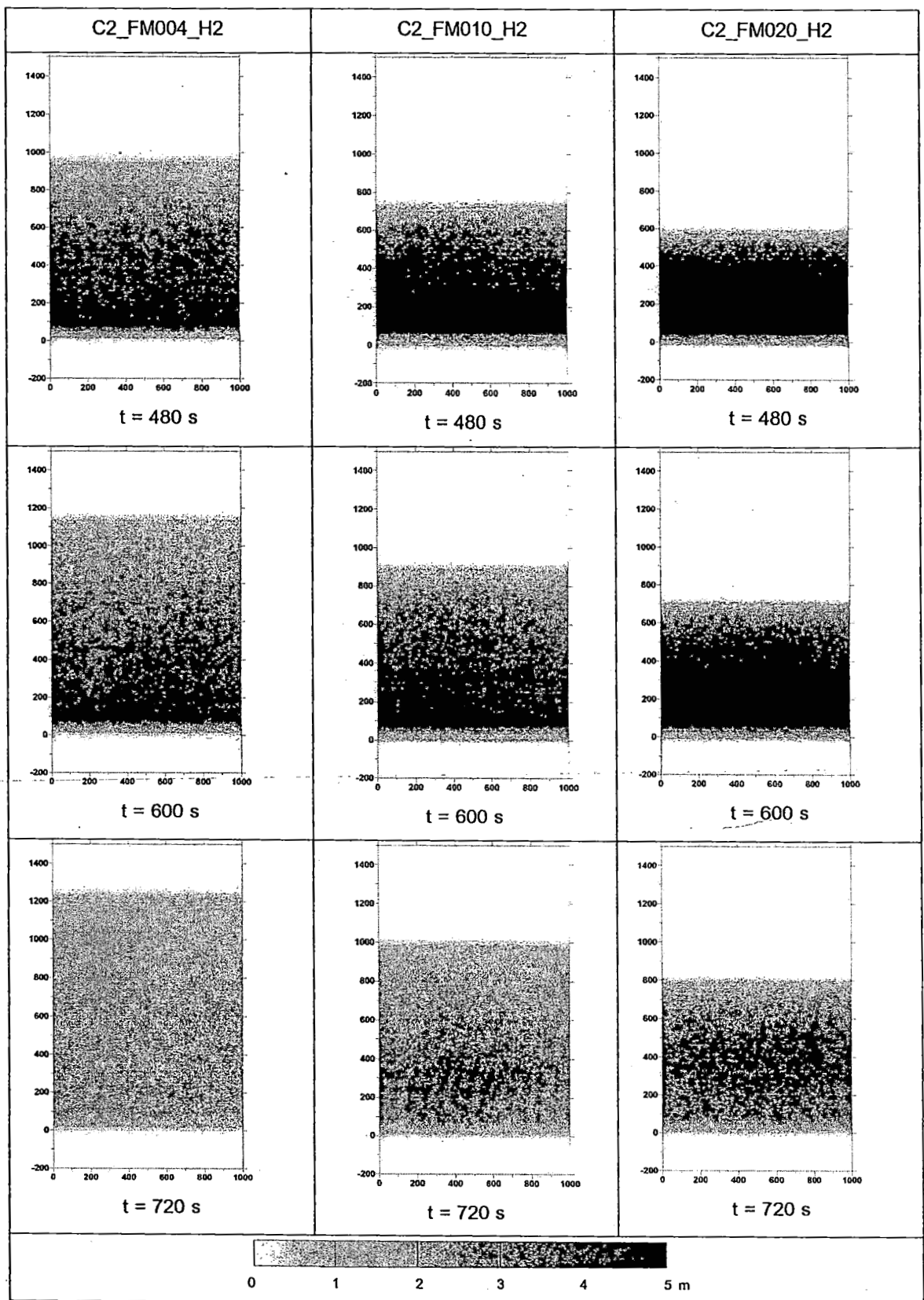
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสูงสุดของพื้นที่น้ำท่วมกับความสูงคลื่น
ณ สัมประสิทธิ์ความเสียหายต่าง ๆ



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำท่วมสูงสุดกับความสูงคลื่น
ณ สัมประสิทธิ์ความเสียหายต่าง ๆ

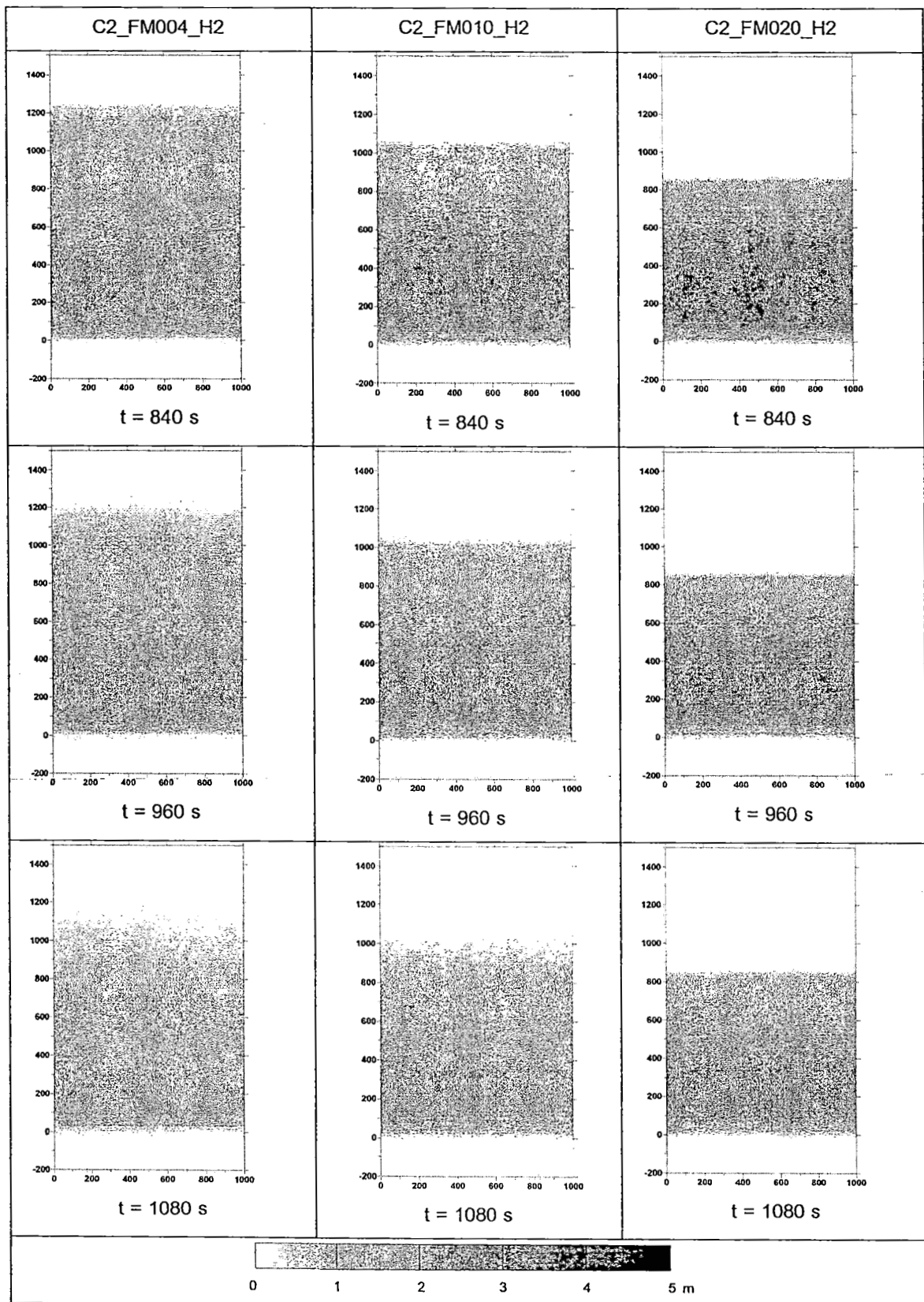


รูปที่ 4.8 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี
C2_FM004_H2, C2_FM010_H2 และ C2_FM020_H2

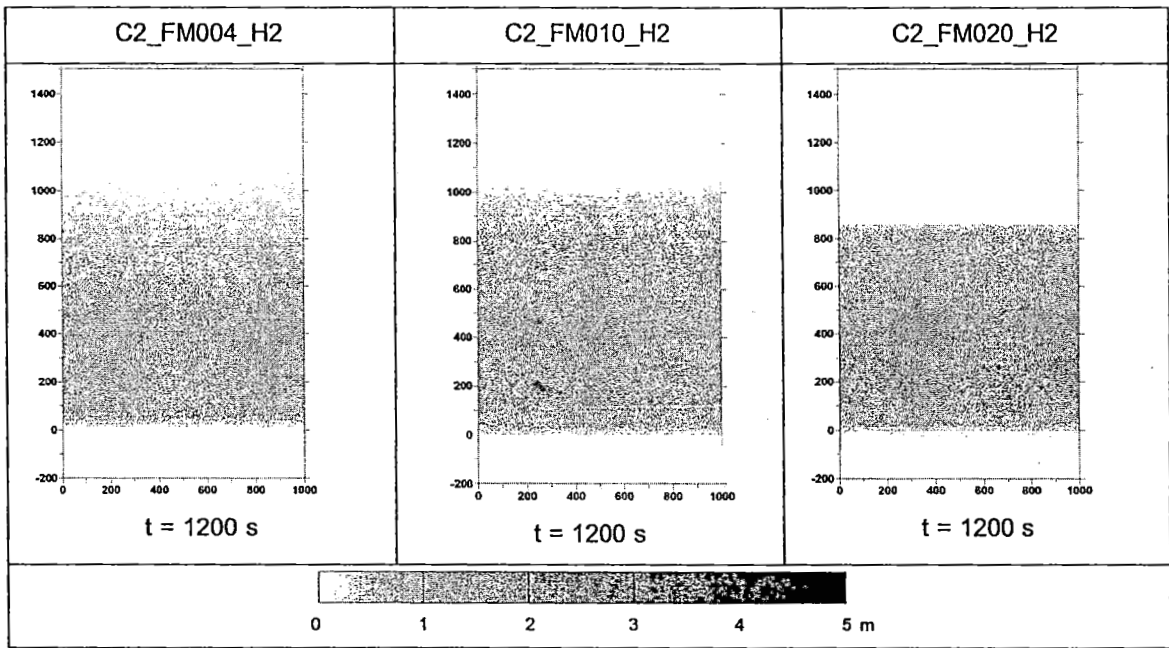


รูปที่ 4.8 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี

C2_FM004_H2, C2_FM010_H2 และ C2_FM020_H2 (ต่อ)



รูปที่ 4.8 ภาวะนั้น้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี
C2_FM004_H2, C2_FM010_H2 และ C2_FM020_H2 (ต่อ)



รูปที่ 4.8 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี
C2_FM004_H2, C2_FM010_H2 และ C2_FM020_H2 (ต่อ)

4.3 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและความยาวของพื้นที่ ต้นไม้ชายฝั่งทะเล

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมกับความยาวของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งทะเล โดยพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งทะเลเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดในกรณีที่ไม่มีต้นไม้เลย ดังตารางที่ 4.1

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของความยาวแนวต้นไม้อายุฝั่งทะเลต่อความยาวพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดกับร้อยละการลดพื้นที่น้ำท่วม สำหรับกรณีความสูงคลื่น 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 เมตร จากข้อมูลผลการจำลองพบว่า แนวต้นไม้อายุฝั่งทะเลสามารถลดพื้นที่น้ำท่วมได้ โดยยังมีพื้นที่แนวต้นไม้มาก ยิ่งสามารถลดพื้นที่น้ำท่วมได้มาก โดยศักยภาพของแนวต้นไม้ในการลดพื้นที่น้ำท่วมได้สูงสุดประมาณ 31% – 33% แต่ในกรณีที่คลื่นสูง 3.0 เมตร แนวต้นไม้สามารถลดพื้นที่น้ำท่วมได้สูงสุดเพียง 20 %

ตารางที่ 4.1 สรุปการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ต้นไม้อายุฝั่งทะเลที่ใช้แบบจำลอง

กรณี	ความยาวของพื้นที่น้ำท่วมสูงสุด (เมตร)	ความยาวของพื้นที่ต้นไม้อายุฝั่งทะเล (เมตร) และร้อยละของความยาวพื้นที่ต้นไม้อายุฝั่งทะเลต่อความยาวพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดเมื่อไม่มีต้นไม้
คลื่นสูง 1.0 เมตร	650	150 (23%), 250 (38%), 350 (54%), 450 (69%), 550 (85%), 650 (100%)
คลื่นสูง 1.5 เมตร	950	200 (21%), 400 (42%), 600 (63%), 800 (84%), 950 (100%)
คลื่นสูง 1.5 เมตร	1,250	250 (20%), 500 (40%), 750 (60%), 1000 (80%), 1250 (100%)
คลื่นสูง 2.5 เมตร	1,500	300 (20%), 600 (40%), 900 (60%), 1200 (80%), 1500 (100%)
คลื่นสูง 3.0 เมตร	1,500	300 (20%), 450 (30%), 600 (40%), 750 (50%), 900 (60%), 1050 (70%), 1200 (80%), 1350 (90%), 1500 (100%)

เมื่อพิจารณาที่ร้อยละของความยาวพื้นที่ต้นไม้กับความยาวพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดเมื่อไม่มีต้นไม้อื่นๆ เช่น 50% พบว่าอัตราการลดพื้นที่น้ำท่วมเรียงลำดับจากมากไปน้อยของแต่ละกรณีความสูงคลื่น คือ กรณีคลื่นสูง 2.0 เมตร, 2.5 เมตร, 1.5 เมตร, 1.0 เมตร และ 3.0 เมตร ตามลำดับ อัตราการลดพื้นที่น้ำท่วมของคลื่นสูงมากๆ เช่น 3 เมตร ย่อมไม่มากตามการอธิบายก่อนหน้า แต่ที่สูงสุดกลับไม่ใช่กรณีของคลื่นน้อยที่สุด เนื่องจาก กรณีคลื่นสูงน้อย เช่น 1 เมตร พื้นที่น้ำท่วมมีน้อยกว่ากรณีอื่นทำให้ร้อยละของความยาวพื้นที่ต้นไม้กับความยาวพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดที่เท่ากันให้ค่าความยาวแนวต้นไม้้น้อยกว่ากรณีอื่นมาก ศักยภาพการลดพื้นที่น้ำท่วมจึงไม่มากตามไปด้วย สำหรับการศึกษานี้พบว่า กรณีคลื่นสูง 2 เมตร อัตราการลดพื้นที่น้ำท่วมของแนวต้นไม้สูงที่สุด

เส้นแนวโน้มที่ปรากฏอยู่ในรูปที่ 4.9 เป็นเส้นแนวโน้มที่สร้างขึ้นด้วยสมการโพลิโนเมียลกำลังสาม

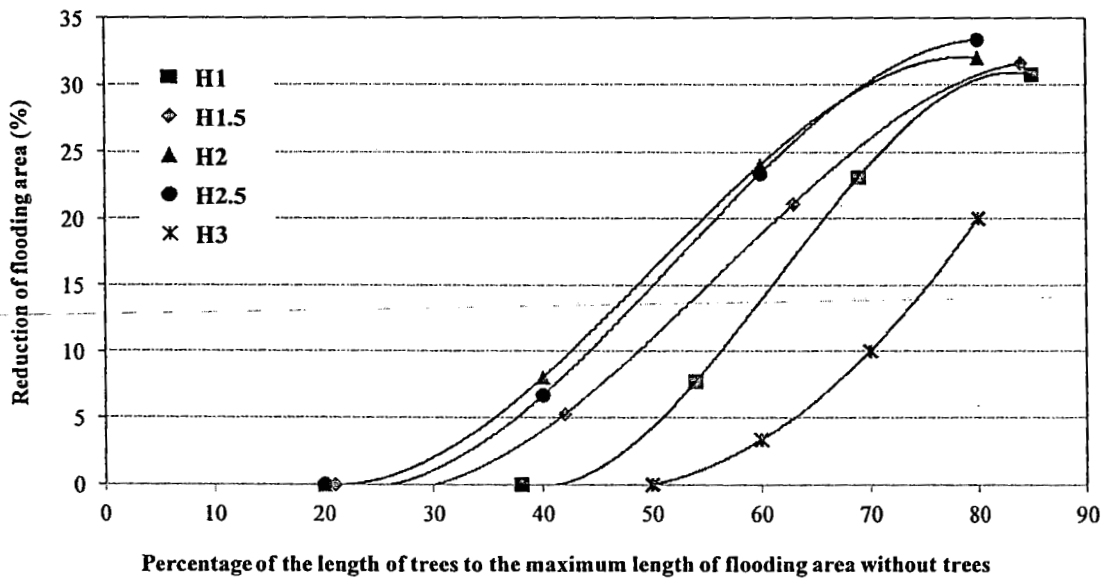
$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (4.1)$$

เมื่อ y คือ อัตราการลดพื้นที่น้ำท่วม (%) และ x คือ ร้อยละของความยาวแนวต้นไม้ชายฝั่งทะเลต่อความยาวพื้นที่น้ำท่วมสูงสุด (%) สำหรับค่า a, b, c, d คือ พารามิเตอร์เชิงประสบการณ์ที่ได้จากการทดลอง ค่า a, b, c, d ที่ทำให้สมการใกล้เคียงกับผลการจำลองมากที่สุดหาได้โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 4.2 การนำสมการที่ 4.1 และค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.2 ไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติจริงนั้นอาจจะยังกระทำมิได้ทันที เนื่องจากการศึกษาเป็นการศึกษาโดยใช้กรณีสมมติเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามแนวทางการศึกษาเช่นนี้สามารถนำไปประยุกต์ในกรณีที่มีข้อมูลจริงประกอบได้

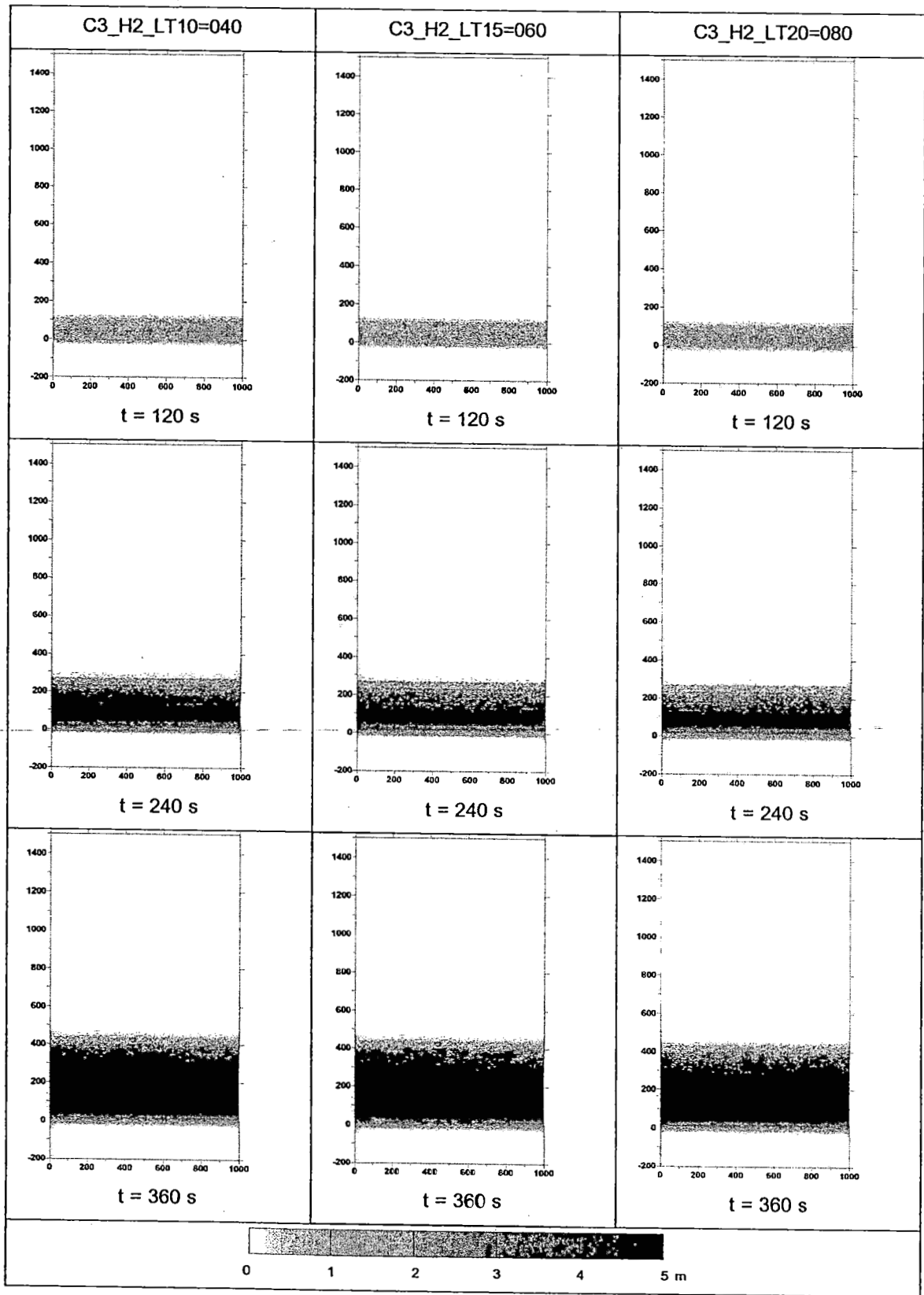
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์เชิงประสบการณ์สำหรับสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดพื้นที่น้ำท่วม (%) กับร้อยละของความยาวแนวต้นไม้ชายฝั่งทะเลต่อความยาวพื้นที่น้ำท่วมสูงสุด

กรณี	a	b	c	d
คลื่นสูง 1.0 เมตร	-7.48E-04	1.38E-01	-7.42E+00	1.24E+02
คลื่นสูง 1.0 เมตร	-2.84E-04	4.77E-02	-1.88E+00	2.11E+01
คลื่นสูง 1.0 เมตร	-3.33E-04	5.00E-02	-1.88E+00	1.60E+01
คลื่นสูง 2.5 เมตร	-3.47E-04	5.42E-02	-1.88E+00	2.00E+01
คลื่นสูง 1.0 เมตร	0.00	1.67E-02	-1.50E+00	3.33E+01

รูปที่ 4.10 แสดงภาวะน้ำท่วมจำลองตามเวลา 120, 240, 360, 480, 600, 720, 840, 960, 1080, และ 1200 วินาที ของกรณี C3_H2_LT10=040, C3_H2_LT15=060 และ C3_H2_LT20=080 เพื่อแสดงความแตกต่างของการเกิดภาวะน้ำท่วม กรณีคลื่นสูง 2 เมตร และหาดที่มีความยาวแนวต้นไม้ชายฝั่งต่อความยาวพื้นที่น้ำท่วมสูงสุด 40%, 60% และ 80% จากรูปแสดงให้เห็นชัดเจนว่า แนวต้นไม้ที่ยาวกว่ามีศักยภาพในการลดพื้นที่น้ำท่วมได้มากกว่าดังที่อธิบายข้างต้น เมื่อแนวต้นไม้กีดขวางการเคลื่อนที่ของมวลน้ำสู่หาด ทำให้ระดับน้ำบริเวณหน้าแนวชายฝั่งสูงกว่าในกรณีที่แนวต้นไม้ยาวกว่า

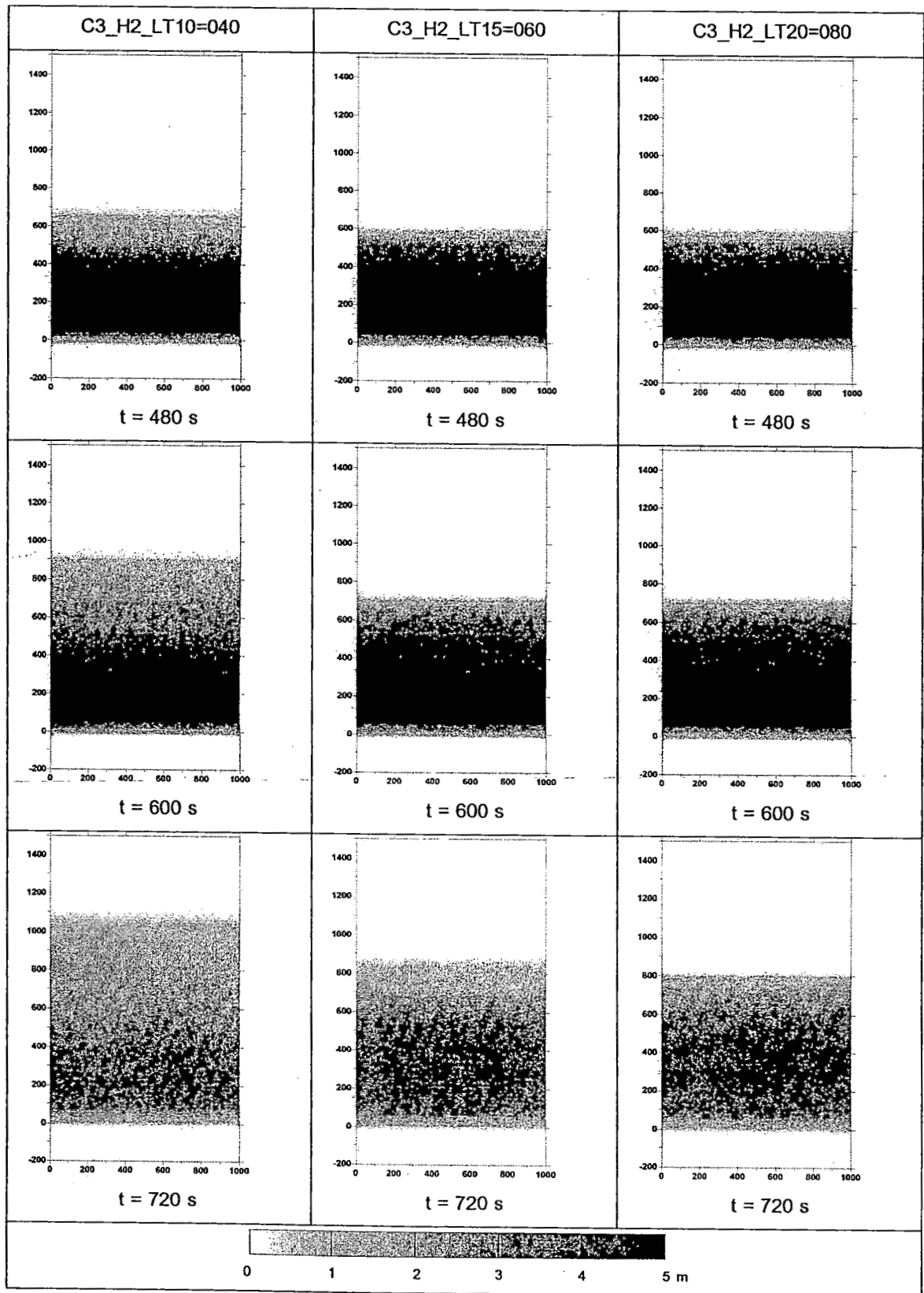


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของความยาวแนวต้นไม้ชายฝั่งทะเลต่อความยาวพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดกับร้อยละการลดพื้นที่น้ำท่วม



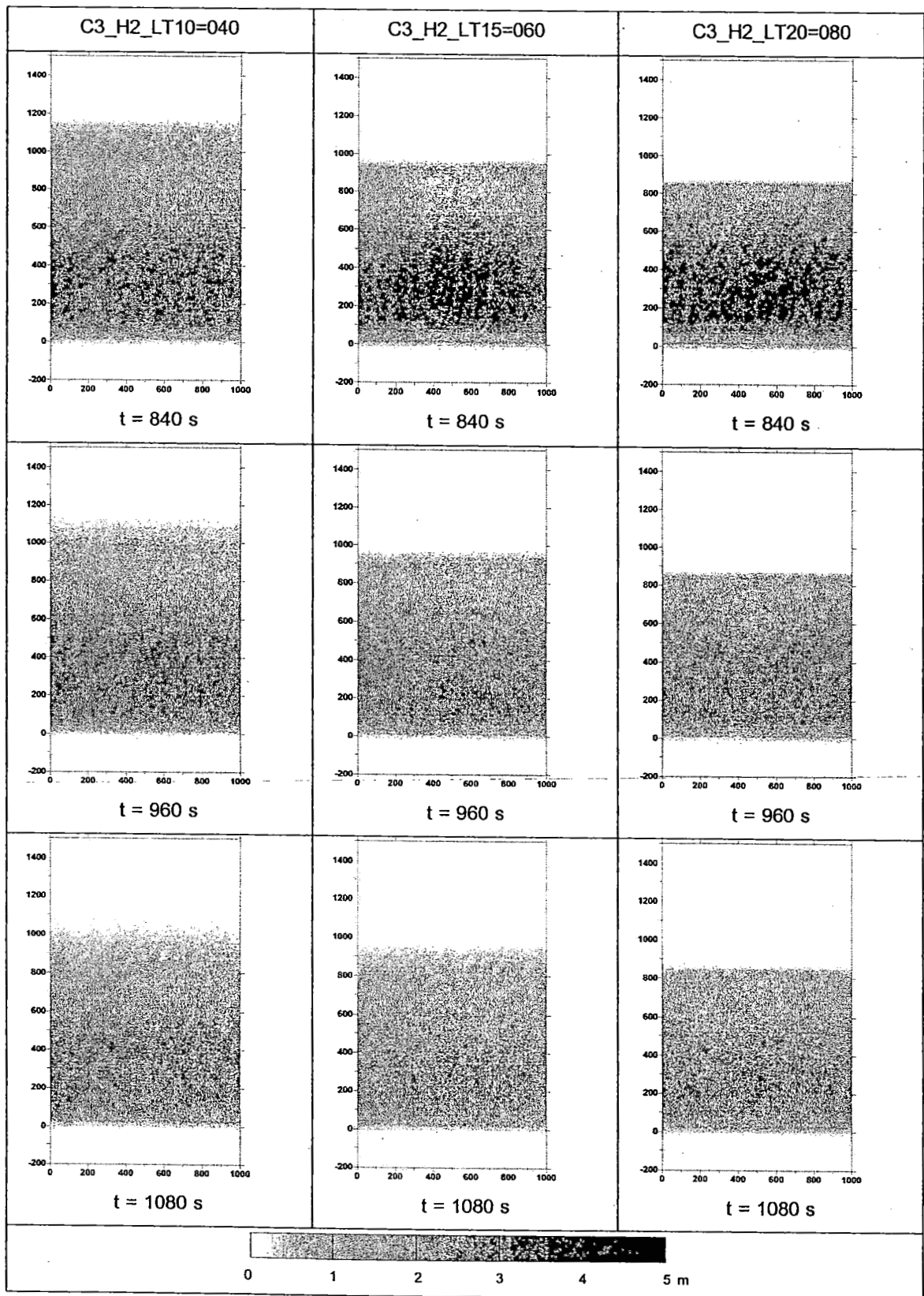
รูปที่ 4.10 ภาวหน้าท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี

C3_H2_LT10=040, C3_H2_LT15=060 และ C3_H2_LT20=080



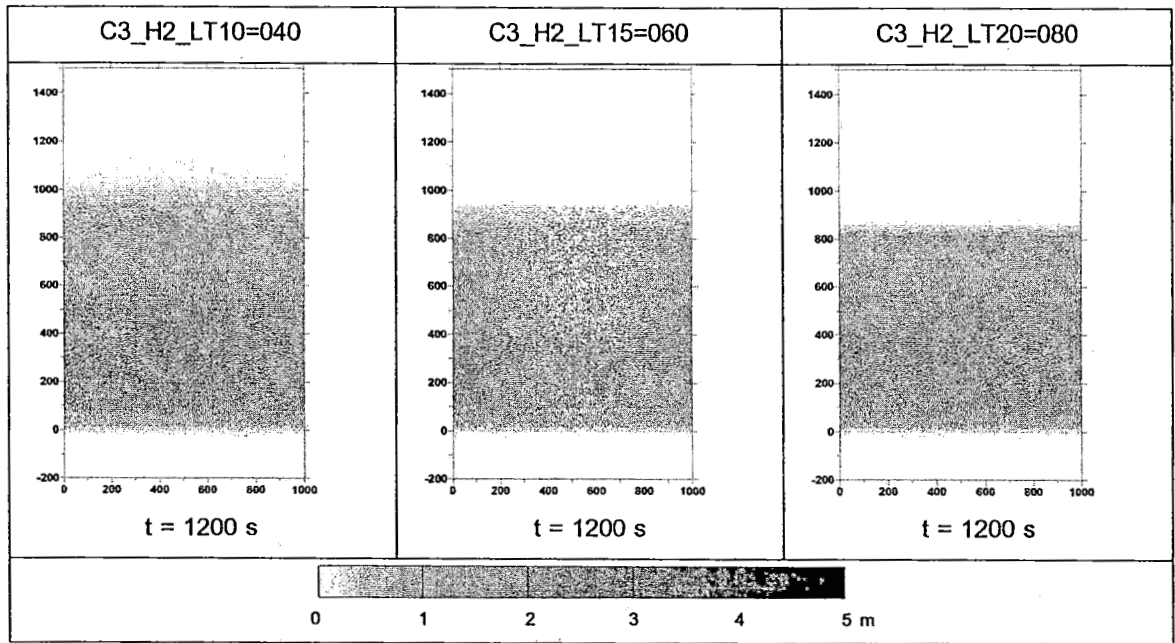
รูปที่ 4.10 ภาวณ้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี

C3_H2_LT10=040, C3_H2_LT15=060 และ C3_H2_LT20=080 (ต่อ)



รูปที่ 4.10 ภาชนะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี

C3_H2_LT10=040, C3_H2_LT15=060 และ C3_H2_LT20=080 (ต่อ)



รูปที่ 4.10 ภาชนะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี

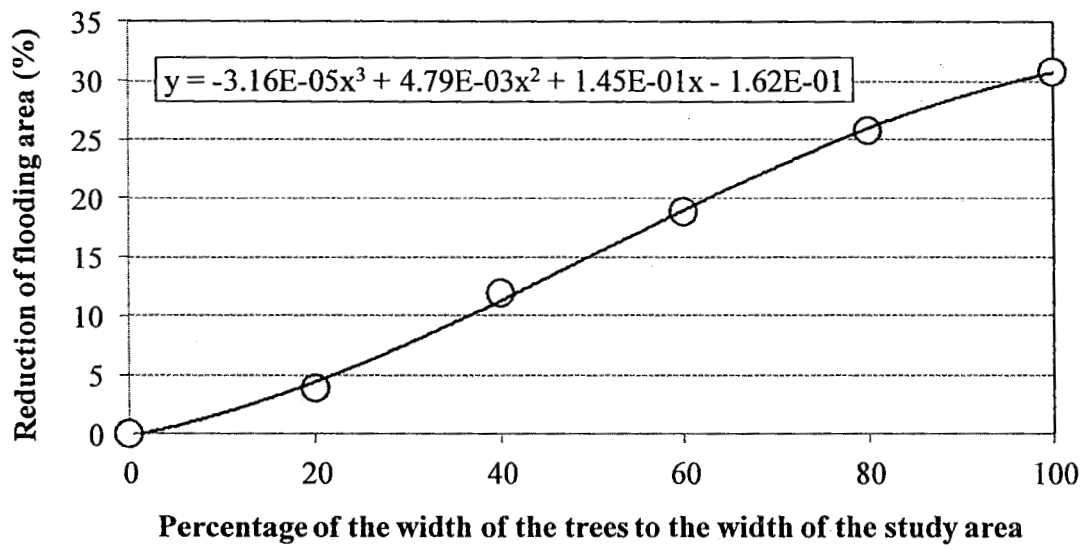
C3_H2_LT10=040, C3_H2_LT15=060 และ C3_H2_LT20=080 (ต่อ)

4.4 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและความกว้างของพื้นที่ ต้นไม้ชายฝั่งทะเล

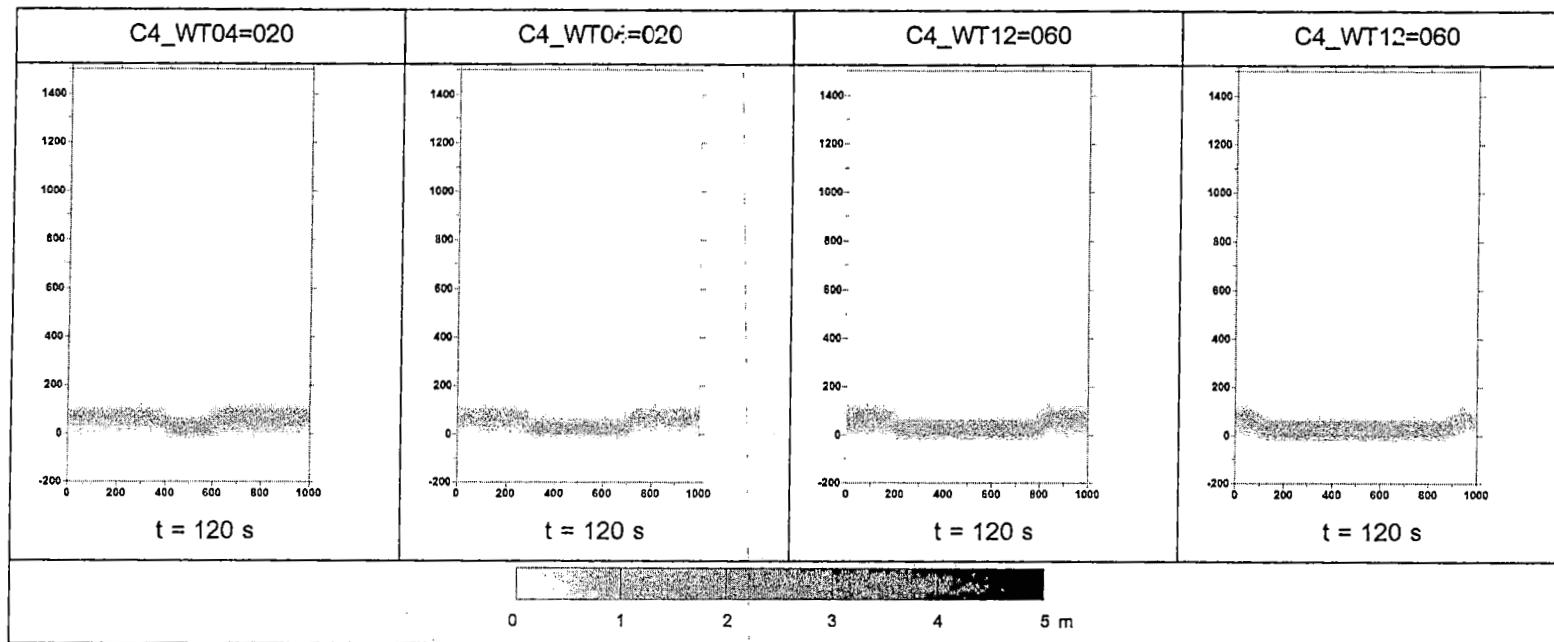
ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมกับความกว้างของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งทะเล โดยพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งทะเลเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของความกว้างพื้นที่ศึกษา (1,000 เมตร) ตั้งแต่ ความกว้างของพื้นที่ต้นไม้ต่อความกว้างพื้นที่ศึกษา 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% และพิจารณาประกอบกับร้อยละการลดพื้นที่น้ำท่วมซึ่งเท่ากับอัตราส่วนของพื้นที่น้ำท่วมในกรณีนั้นต่อพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดในกรณีที่ไม่มีต้นไม้เลย ผลของการจำลองแสดงดังรูปที่ 4.11

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อความกว้างของแนวต้นไม้ชายฝั่งเพิ่มมากขึ้น เสมือนมีแนวกำบังคลื่นมากขึ้น ย่อมทำให้พื้นที่น้ำท่วมลดลง ซึ่งเป็นตามไปตามสามัญสำนึก แนวโน้มของความสัมพันธ์เมื่อร้อยละของความกว้างของพื้นที่ต้นไม้ต่อความกว้างพื้นที่ศึกษาเพิ่มขึ้น ร้อยละการลดพื้นที่น้ำท่วมก็เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ใกล้เคียงเส้นตรงมาก แต่ไม่เชิงเส้นตรงทีเดียว เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ต้นไม้อีกในสัดส่วนที่ไม่มากพอ ศักยภาพการลดพื้นที่น้ำท่วมจึงน้อยมาก เพราะปริมาณน้ำของคลื่นที่ซัดเข้าฝั่งมากกว่ามาก หากแสดงความสัมพันธ์ด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังสามดังสมการที่ 4.1 จะได้ความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกว่า ซึ่งได้ค่าตัวแปรแต่ละตัวดังแสดงในรูปที่ 4.11

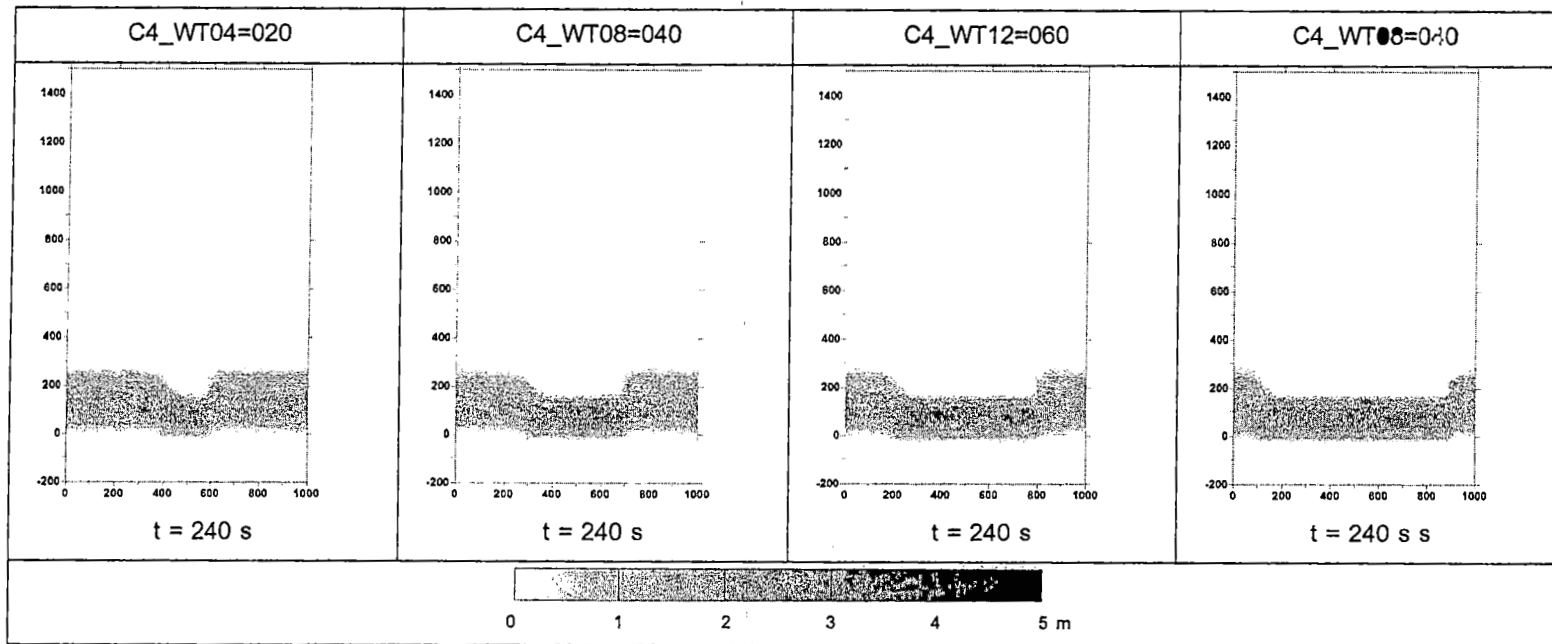
รูปที่ 4.12 แสดงภาวะน้ำท่วมจำลองตามเวลา 120, 240, 360, 480, 600, 720, 840, 960, 1080, และ 1200 วินาที ของกรณี C4_WT04=020, C4_WT08=040, C4_WT12=060 และ C4_WT16=080 เพื่อแสดงความแตกต่างของการเกิดภาวะน้ำท่วม กรณีคลื่นสูง 1 เมตร และหาพื้นที่มีร้อยละของความกว้างของพื้นที่ต้นไม้ต่อความกว้างพื้นที่ศึกษา เท่ากับ 20%, 40%, 60% และ 80% จากรูปแสดงให้เห็นชัดเจนว่า แนวต้นไม้ที่กว้างกว่ามีศักยภาพในการลดพื้นที่น้ำท่วมได้มากกว่าดังที่อภิปรายข้างต้น เมื่อแนวต้นไม้กีดขวางการเคลื่อนที่ของมวลน้ำสู่หาด ทำให้ระดับน้ำบริเวณหน้าแนวชายฝั่งสูงดังแสดงตามความเข้มของสี



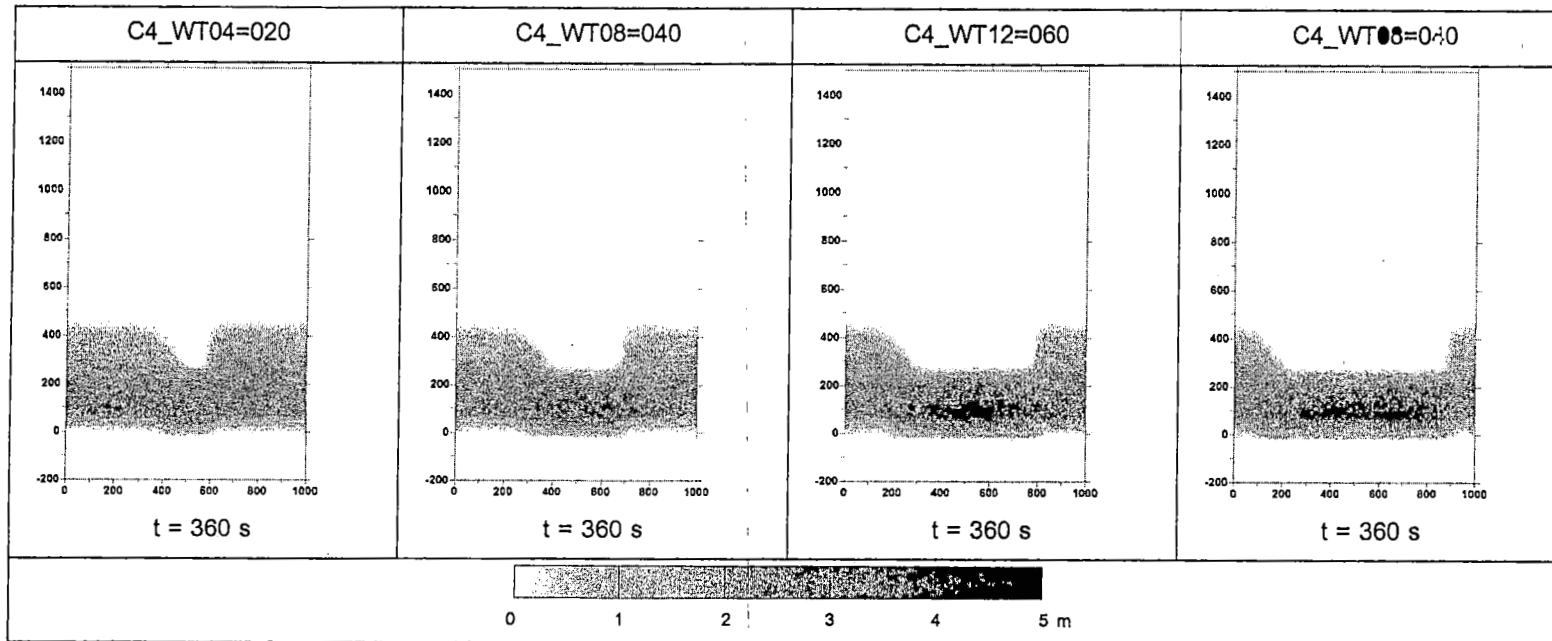
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความกว้างของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งทะเลต่อความกว้างพื้นที่ศึกษากับร้อยละการลดพื้นที่น้ำท่วม



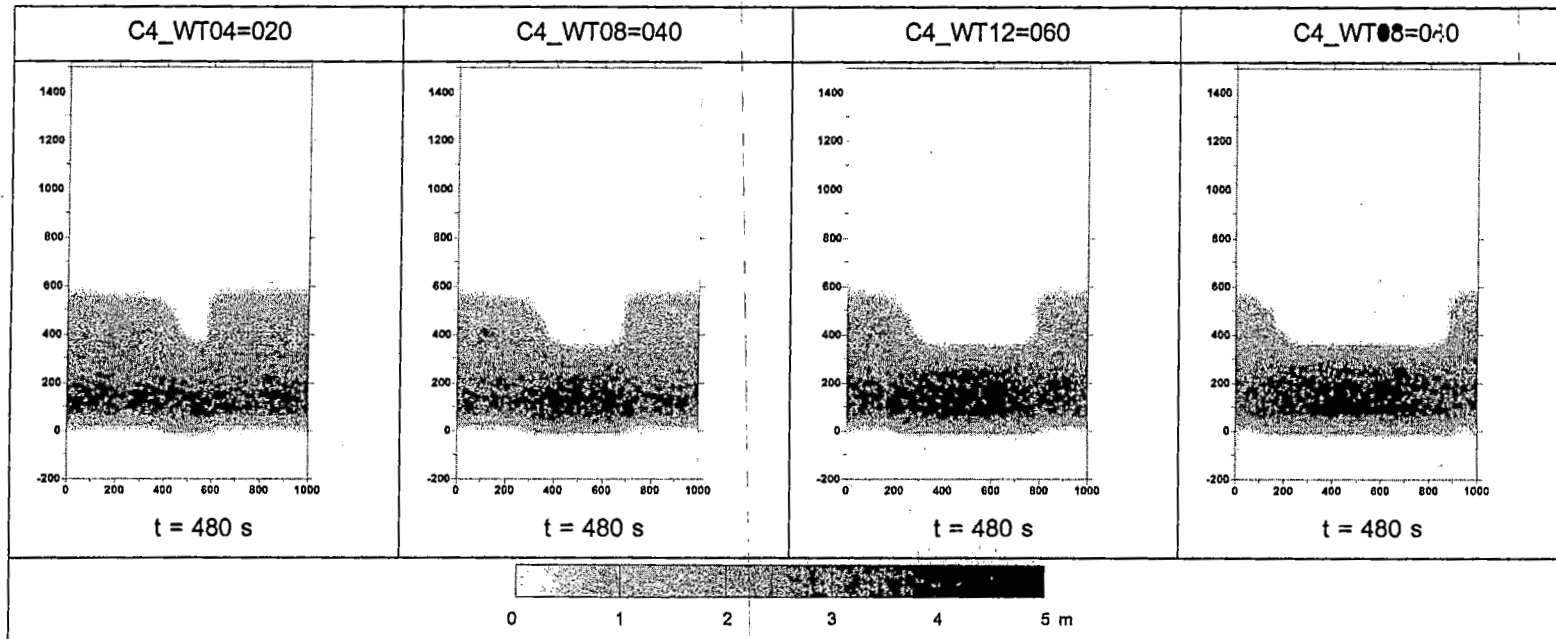
รูปที่ 4.12 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C4_WT04=020, C4_WT08=040, C4_WT12=060 และ C4_WT16=080



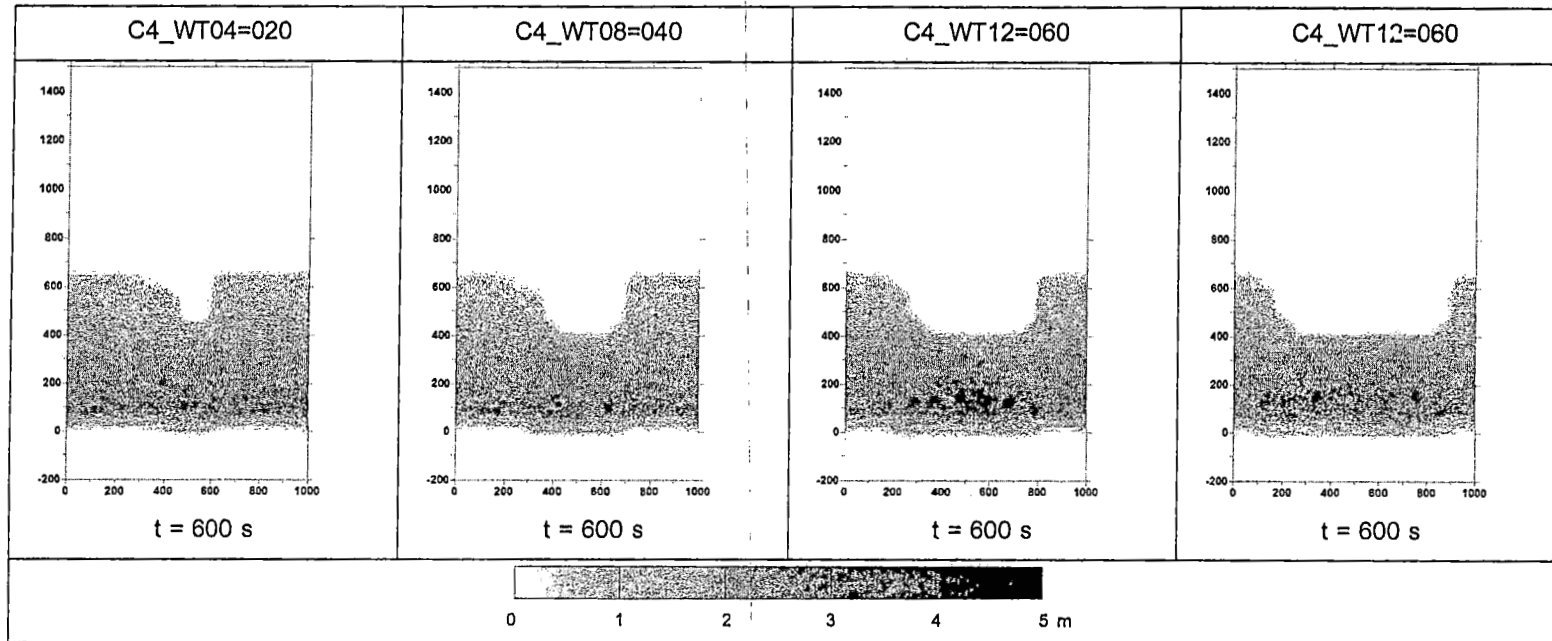
รูปที่ 4.12 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลเลขของกรณี C4_WT04=020, C4_WT08=040, C4_WT12=060 และ C4_WT16=080 (ต่อ)



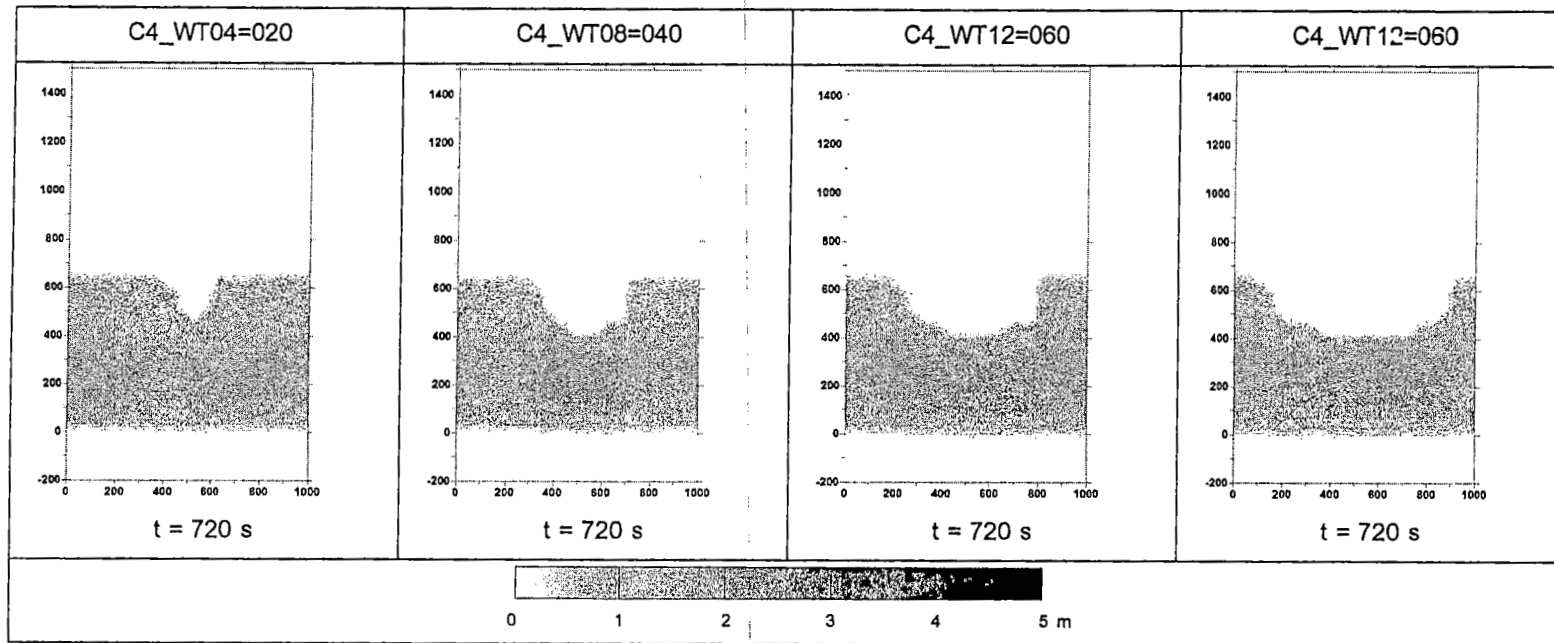
รูปที่ 4.12 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C4_WT04=020, C4_WT08=040, C4_WT12=060 และ C4_WT16=080 (ต่อ)



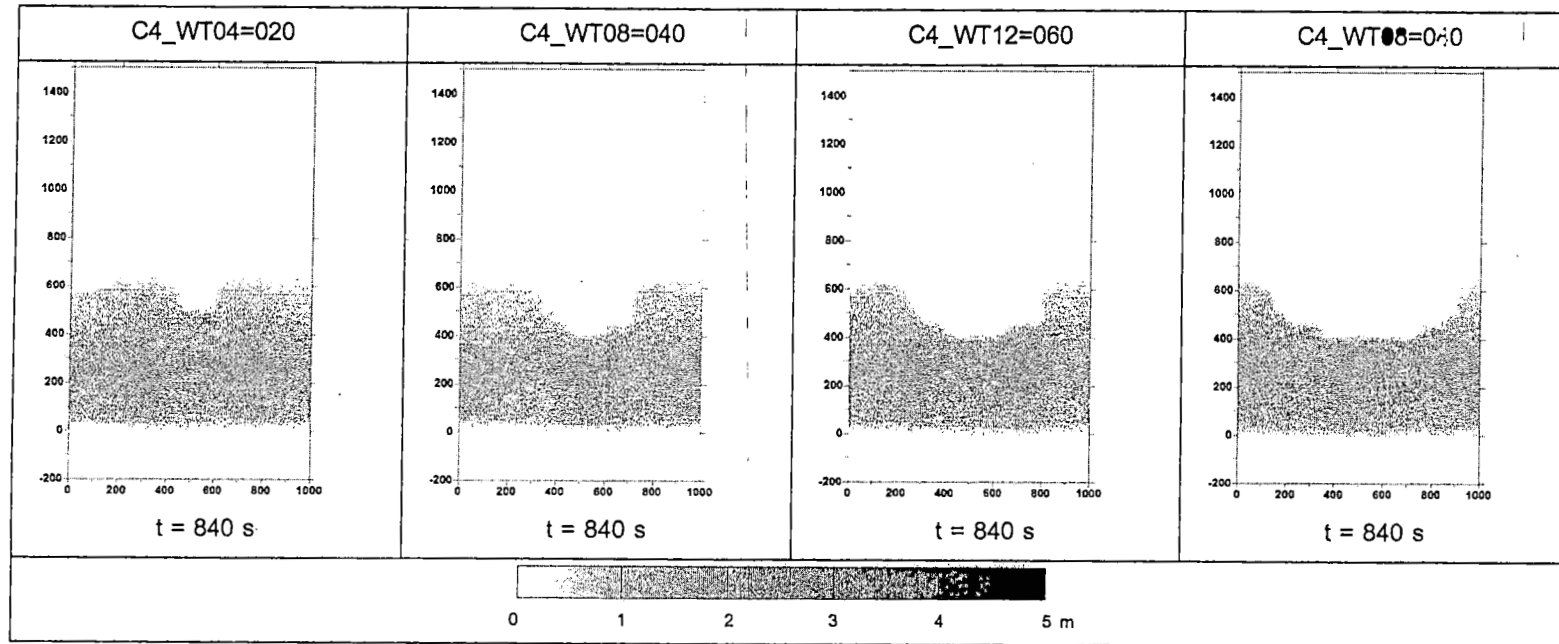
รูปที่ 4.12 ภาวน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C4_WT04=020, C4_WT08=040, C4_WT12=060 และ C4_WT16=080 (ต่อ)



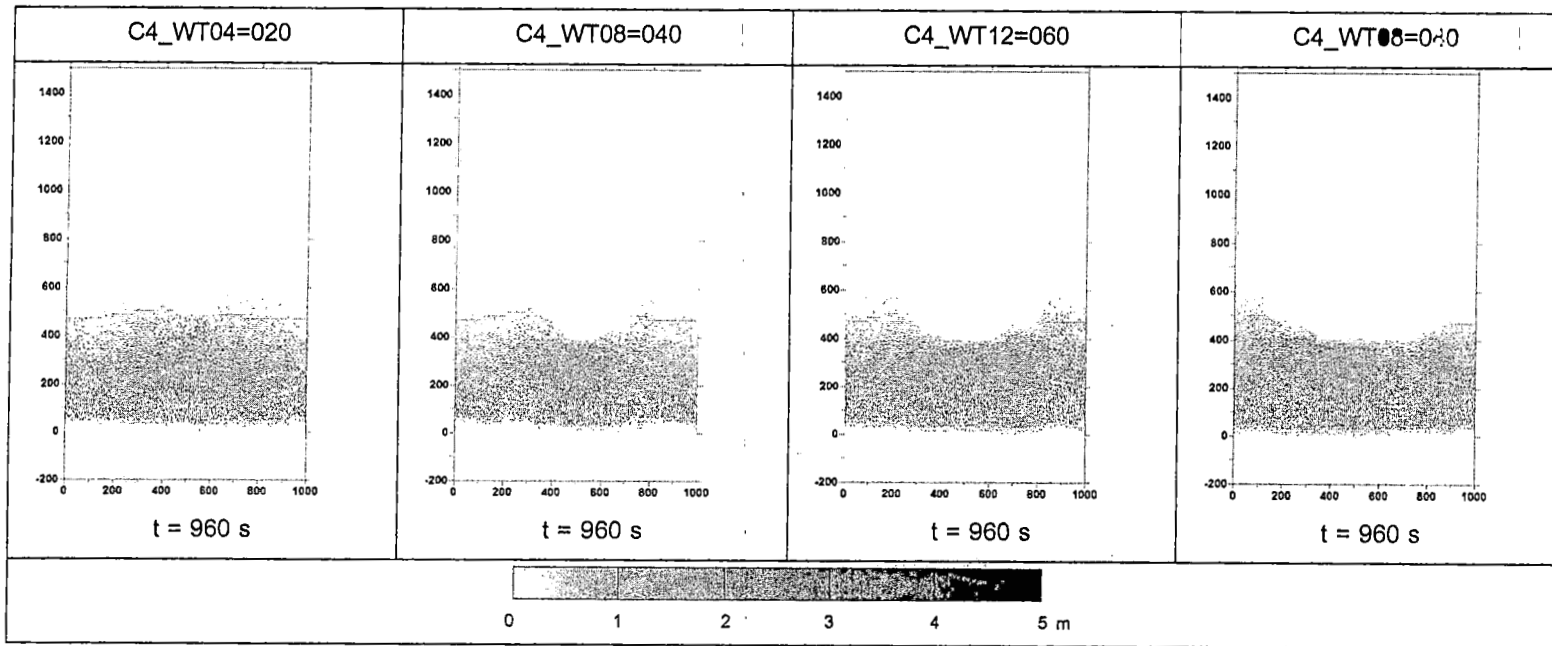
รูปที่ 4.12 ภาชนะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลเลขของกรณี C4_WT04=020, C4_WT08=040, C4_WT12=060 และ C4_WT16=080 (ต่อ)



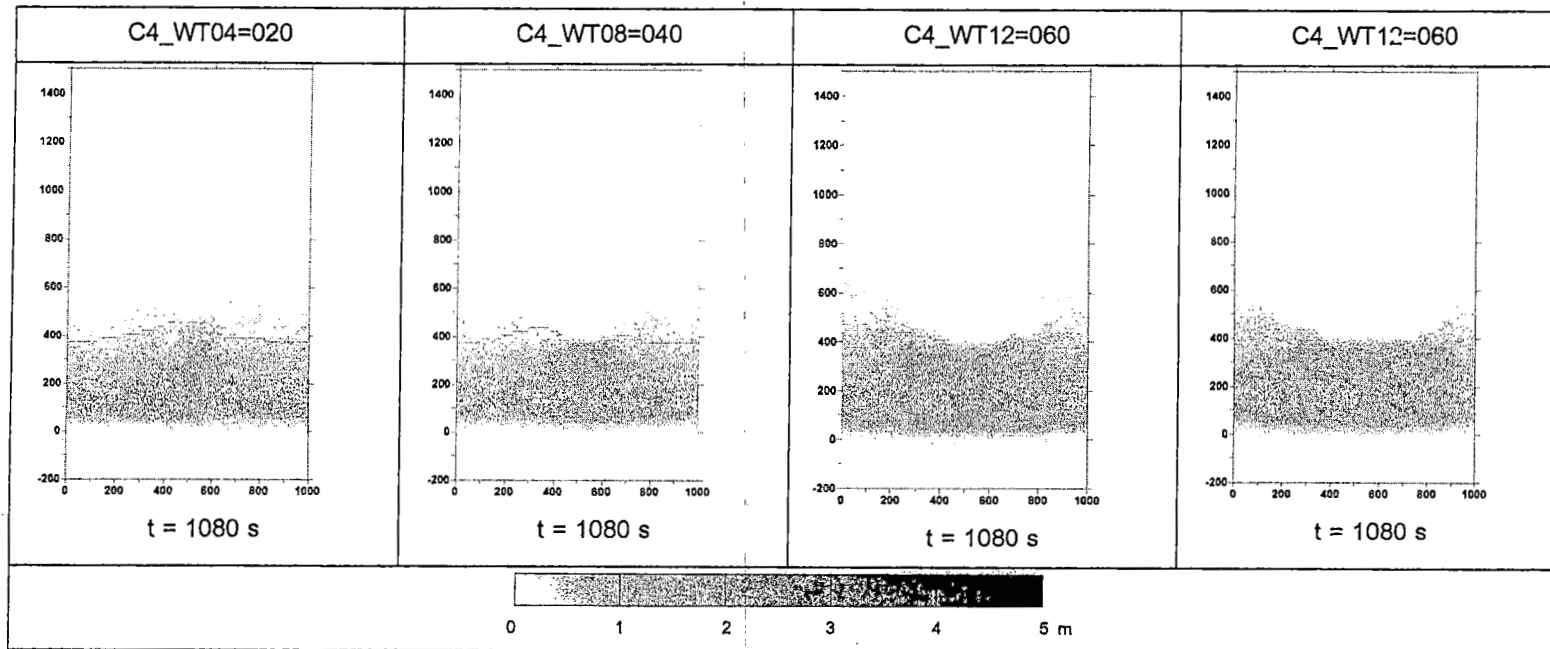
รูปที่ 4.12 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C4_WT04=020, C4_WT08=040, C4_WT12=060 และ C4_WT16=080 (ต่อ)



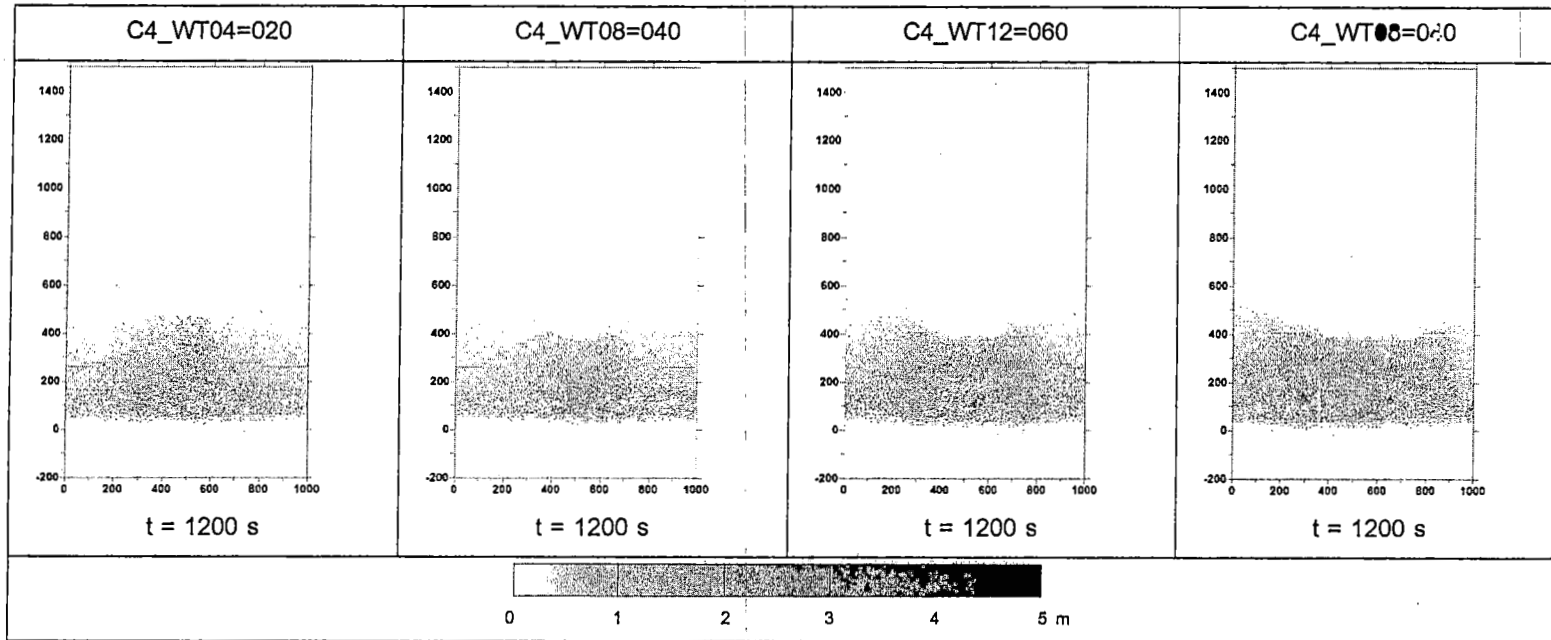
รูปที่ 4.12 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C4_WT04=020, C4_WT08=040, C4_WT12=060 และ C4_WT16=080 (ต่อ)



รูปที่ 4.12 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C4_WT04=020, C4_WT08=040, C4_WT12=060 และ C4_WT16=080 (ต่อ)



รูปที่ 4.12 ภาวณ้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C4_WT04=020, C4_WT08=040, C4_WT12=060 และ C4_WT16=080 (ต่อ)

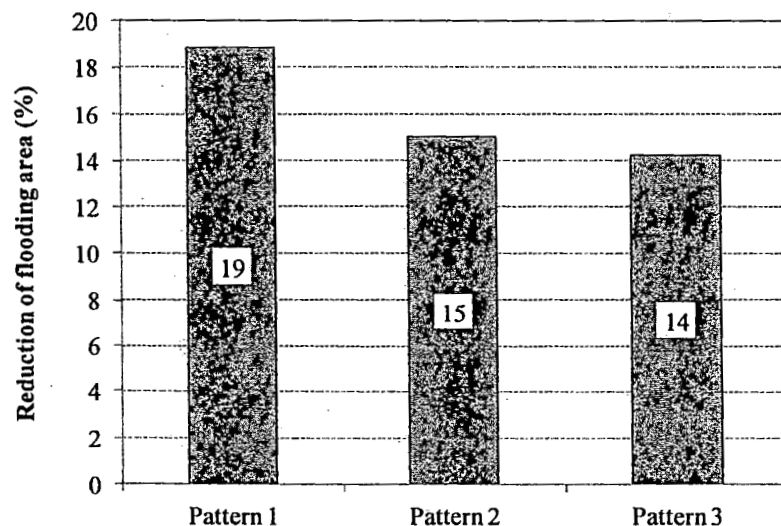


รูปที่ 4.12 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C4_WT04=020, C4_WT08=040, C4_WT12=060 และ C4_WT16=080 (ต่อ)

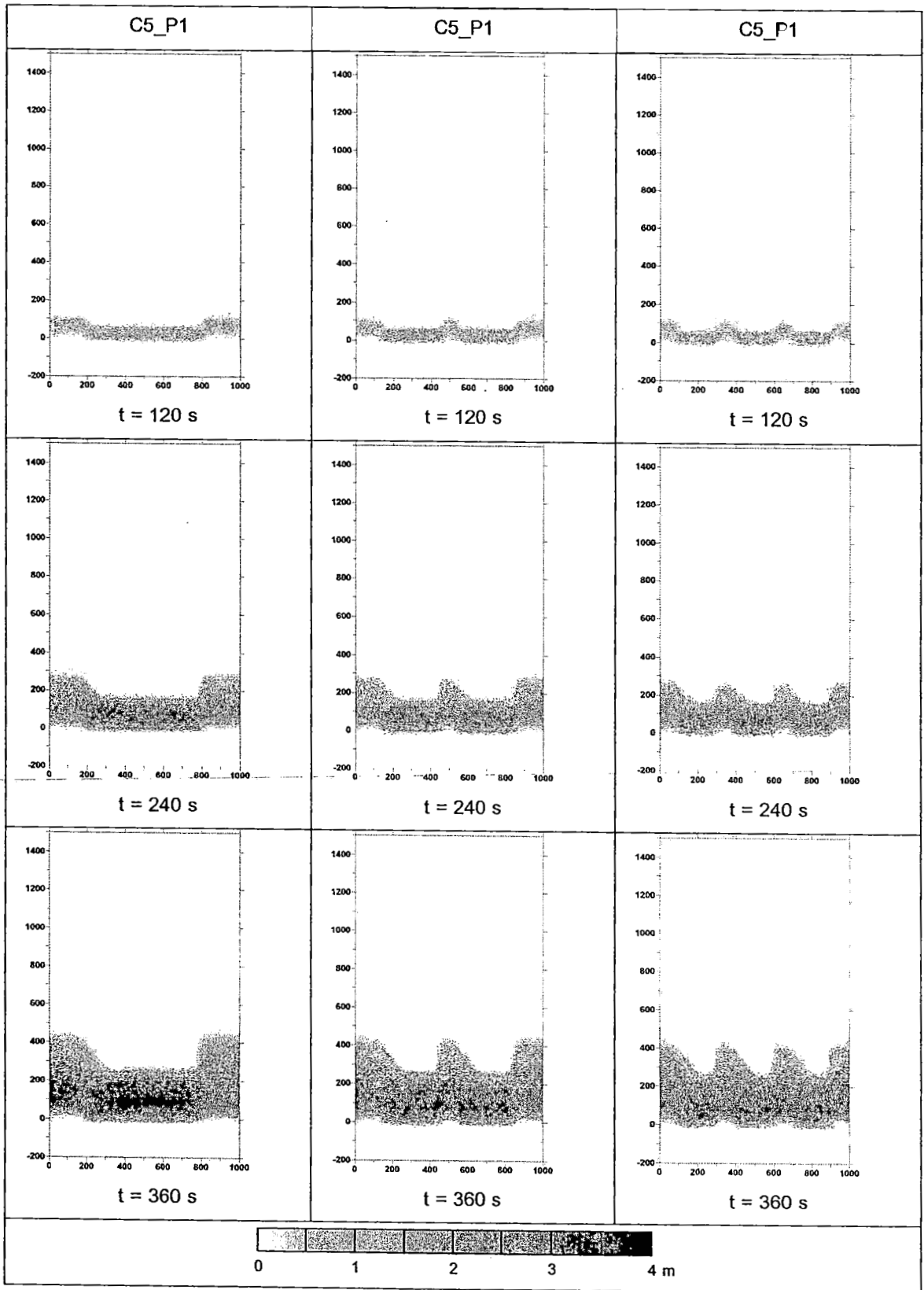
4.5 กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมและรูปแบบของพื้นที่ต้นไม้อายฝั่งทะเล

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วมกับรูปแบบของพื้นที่ต้นไม้อายฝั่งทะเล ซึ่งประกอบไปด้วย 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 (P1) พื้นที่ต้นไม้อายฝั่งกว้าง 600 เมตร ยาว 250 เมตร จำนวน 1 ชุด, รูปแบบที่ 2 (P2) พื้นที่ต้นไม้อายฝั่งกว้าง 300 เมตร ยาว 250 เมตร จำนวน 2 ชุด และรูปแบบที่ 3 (P3) พื้นที่ต้นไม้อายฝั่งกว้าง 200 เมตร ยาว 250 เมตร จำนวน 3 ชุด โดยทั้งสามรูปแบบมีพื้นที่รวมของต้นไม้อายฝั่งเท่ากัน คือ 150,000 ตารางเมตร จากผลการทดลอง พบว่า แต่ละรูปแบบช่วยลดพื้นที่น้ำท่วมเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ต้นไม้อายฝั่งเลยได้ใกล้เคียงกัน โดยรูปแบบที่ 1 สามารถลดพื้นที่น้ำท่วมลงได้ 19% ในขณะที่รูปแบบที่ 2 และ 3 ลดพื้นที่น้ำท่วมได้ 15% และ 14% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.13

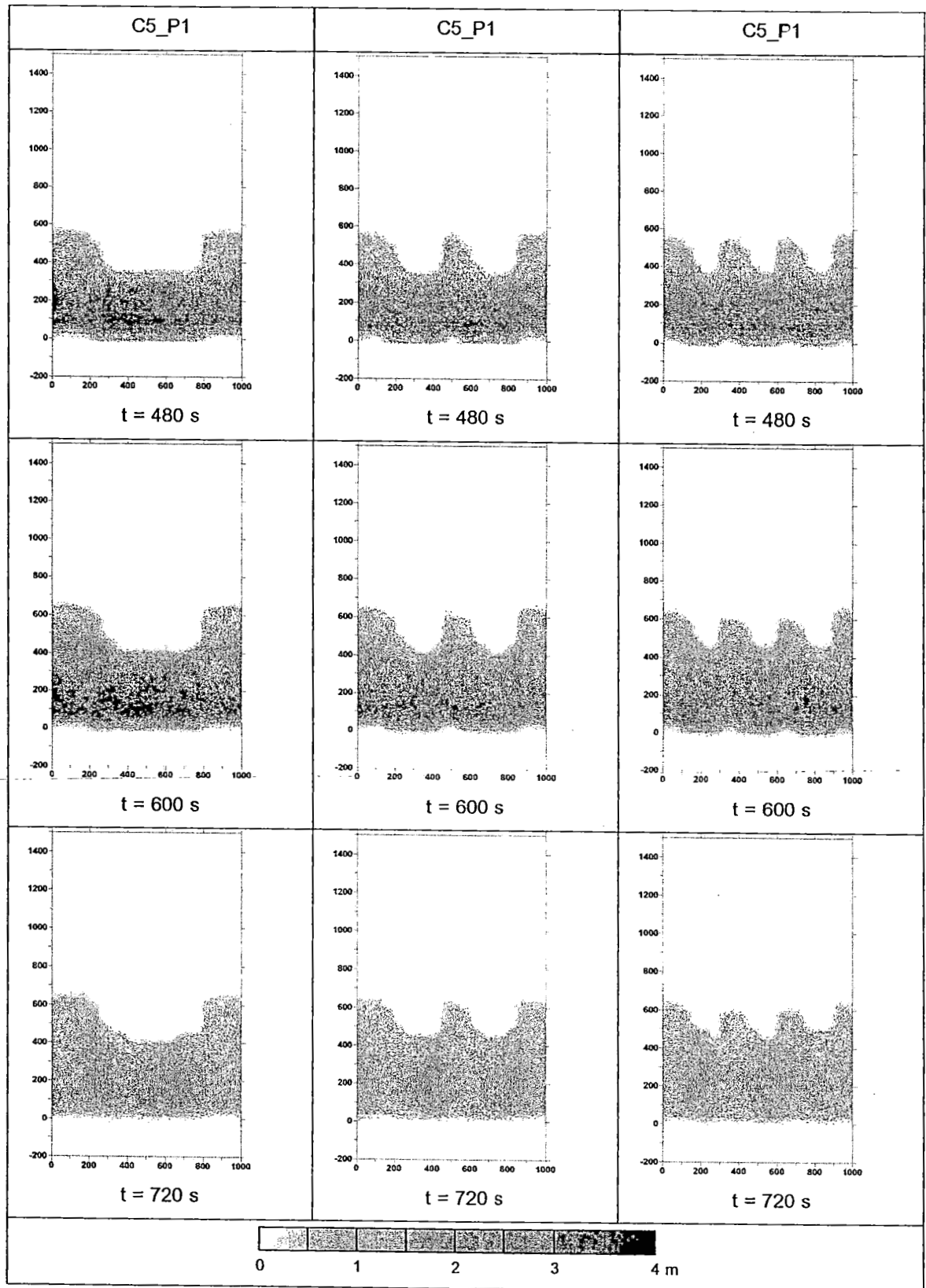
รูปที่ 4.14 แสดงภาวะน้ำท่วมจำลองตามเวลา 120, 240, 360, 480, 600, 720, 840, 960, 1080, และ 1200 วินาที ของกรณี C5_P1, C5_P2 และ C5_P3 เพื่อแสดงความแตกต่างของการเกิดภาวะน้ำท่วม กรณีคลื่นสูง 1 เมตร และหาดที่มีพื้นที่แนวต้นไม้อายฝั่งรูปแบบที่ 1, รูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 ผลการจำลองแสดงให้เห็นชัดเจนว่าแนวต้นไม้อายฝั่งกั้นบังคลื่นที่ซัดเข้าฝั่งได้เป็นอย่างดี พื้นที่หลังแนวต้นไม้อายฝั่งได้รับผลกระทบจากภาวะน้ำท่วมน้อยกว่า ความเสียหายที่เกิดจากความหนาแน่นของต้นไม้อายฝั่งทำให้พลังงานของคลื่นลดลง ยับยั้งการเคลื่อนที่ของน้ำท่วม แต่ทำให้เกิดน้ำท่วมสะสมสูงขึ้นบริเวณด้านหน้าแนวต้นไม้อายฝั่ง



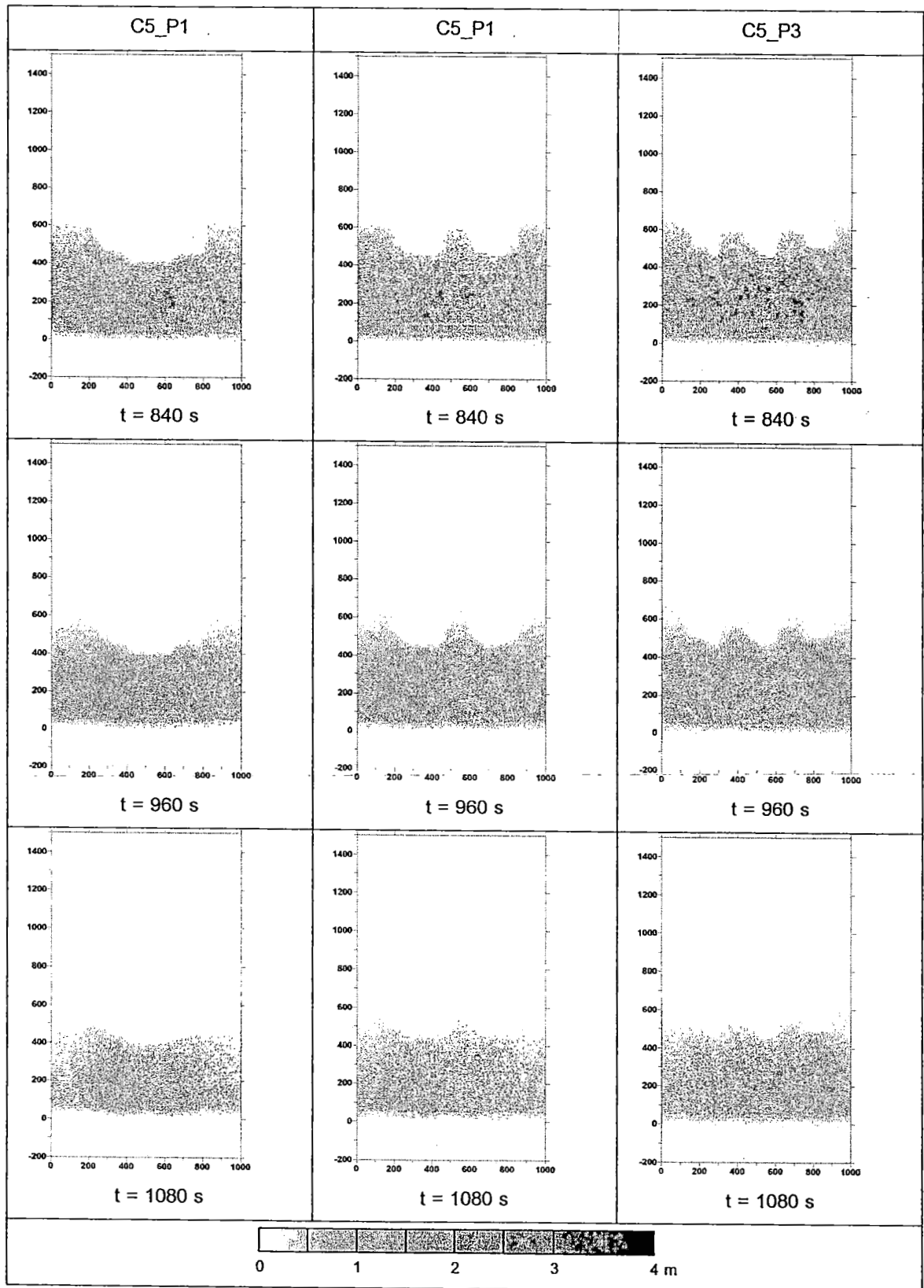
รูปที่ 4.13 ร้อยละการลดพื้นที่น้ำท่วมสำหรับแต่ละรูปแบบของพื้นที่ต้นไม้อายฝั่งทะเล



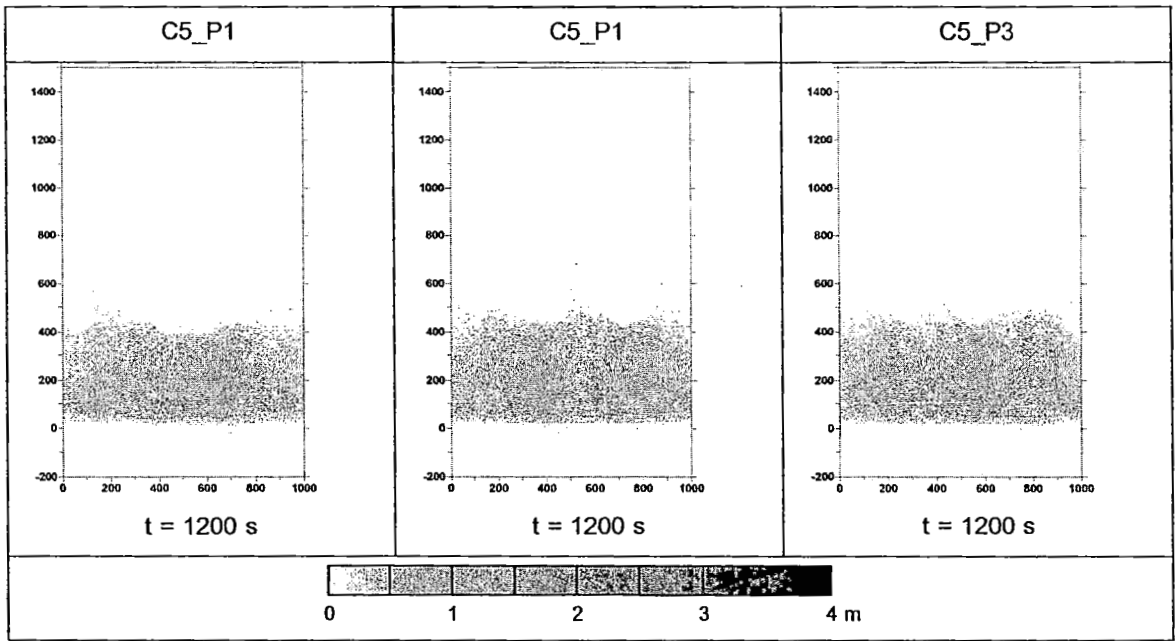
รูปที่ 4.14 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C5_P1, C5_P2 และ C5_P3



รูปที่ 4.14 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลเลขของกรณี C5_P1, C5_P2 และ C5_P3 (ต่อ)



รูปที่ 4.14 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลเลขของกรณี C5_P1, C5_P2 และ C5_P3 (ต่อ)



รูปที่ 4.14 ภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลของกรณี C5_P1, C5_P2 และ C5_P3 (ต่อ)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความไวของพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่งทะเลที่เกิดจากคลื่นที่มีความสูงมาก เช่น คลื่นพายุซัดฝั่ง ที่พัดเข้าสู่พื้นที่ชายฝั่งทะเล แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ถูกใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษา แบบจำลองเป็นแบบจำลอง 2 มิติในแนวราบและแบ่งเป็น 2 ชั้นในแนวตั้ง สมการอนุรักษ์มวลและสมการอนุรักษ์โมเมนตัมถูกแก้สมการในแบบจำลองเพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำท่วมชายฝั่ง การศึกษาได้พิจารณาความไวของพื้นที่น้ำท่วมต่อปัจจัยต่างๆ คือ ความลาดชันของหาด สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้น ความยาวของแนวต้นไม้ชายฝั่ง ความกว้างของแนวต้นไม้ชายฝั่ง และรูปแบบของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่ง

ผลการศึกษาพบว่า ความลาดชันของหาดมีผลต่อการลดพื้นที่น้ำท่วมมาก หาดที่มีความลาดชันมากกว่า พื้นที่น้ำท่วมจะน้อยกว่า หาดที่มีความลาดชันน้อยกว่า พื้นที่น้ำท่วมจะมากกว่า เนื่องจากพลังงานคลื่นที่กำลังซัดเข้าสู่ชายฝั่งถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานศักย์หรือค่าระดับของหาดนั่นเอง แต่เมื่อพิจารณาพลังงานที่สูญเสียไป พบว่า พลังงานคลื่นถูกลดทอนไปมากกว่าในกรณีที่หาดมีความลาดชันน้อยกว่า เนื่องจากระยะทางตามแนวลาดของพื้นที่ยาวกว่าสร้างแรงต้านทานและลดทอนพลังงานได้มากกว่า ดังนั้นเมื่อพิจารณาระดับความสูงน้ำท่วมจะพบว่า กรณีหาดที่มีความลาดชันน้อยกว่า ระดับความสูงน้ำท่วมจะน้อยกว่า

สำหรับกรณีของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้น อัตราการลดพื้นที่น้ำท่วมจะเพิ่มขึ้นเมื่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นเพิ่มขึ้น แต่ระดับความลึกของน้ำท่วมจะสูงกว่าในกรณีที่สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นมากกว่า เนื่องจากความเสียดทานที่พื้นจะต้านทานการเคลื่อนที่ของภาวะน้ำท่วม แต่มวลน้ำของคลื่นที่ซัดเข้ามายังคงมีอยู่ ทำให้น้ำสะสมมากขึ้น ระดับความลึกของน้ำท่วมจึงสูงกว่า

สำหรับกรณีความยาวและความกว้างของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งให้ผลต่อพื้นที่น้ำท่วมในลักษณะเดียวกัน คือ เมื่อความยาวหรือความกว้างของพื้นที่ต้นไม้เพิ่มขึ้น ศักยภาพในการลดพื้นที่น้ำท่วมก็จะเพิ่มตามไปด้วย โดยทั้งสองกรณีหากมีต้นไม้เต็มพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดเมื่อไม่มีต้นไม้เลย จะช่วยลดพื้นที่ลงได้ประมาณ 30% เมื่อพิจารณาความสูงของคลื่นประกอบด้วยพบว่า

แนวต้นไม้ชายฝั่งมีศักยภาพในการลดพื้นที่ไต้ในระดับหนึ่ง แต่หากคลื่นสูงมาก (เช่น 3 เมตรในการศึกษา) ความสามารถในการลดพื้นที่น้ำท่วมจะลดลงมาก เมื่อเทียบกับกรณีที่มีพื้นที่ต้นไม้ต่อพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดในสัดส่วนเดียวกัน

สำหรับรูปแบบของพื้นที่ต้นไม้ชายฝั่งเมื่อควบคุมพื้นที่รวมของต้นไม้ให้เท่ากันนั้น พบว่ามีผลในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่งไม่แตกต่างกันมากนัก โดยพื้นที่ต้นไม้ที่ต่อเนื่องกันช่วยลดพื้นที่น้ำท่วมได้ดีกว่ารูปแบบที่มีช่องว่างระหว่างกลางเล็กน้อย

การศึกษานี้ทำให้เข้าใจลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำท่วมสำหรับกรณีชายฝั่งสมมุติ และเข้าใจถึงศักยภาพของแนวต้นไม้ชายฝั่ง ในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่ง ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานต่อการศึกษาประเด็นปัญหาต่อไปในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

โครงการศึกษานี้มีข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต ดังต่อไปนี้

- (1) ควรมีการจำลองที่มีความละเอียดของกริดมากกว่านี้ เพื่อการจำลองรูปแบบต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้น
- (2) ควรมีการประยุกต์ใช้พื้นที่จริง และกรณีพายุจริงในการศึกษา
- (3) ควรมีการศึกษาภาคสนามเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในพื้นที่ป่าชายเลนหรือต้นไม้ชายฝั่งทะเล เพื่อเป็นข้อมูลสอบเทียบและข้อมูลประกอบการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป

บรรณานุกรม

- Bajo, M., Zampato, L., Umgieser, G., Cucco, G., Canestrelli, P. (2007) A finite element operational model for storm surge prediction in Venice, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75, 236-249.
- Butler, A., Heffernan, J.E., Tawn, J.A., Flather, R.A., Horsburgh, K.J. (2007) Extremem value analysis of decadal variations in storm surge elevations. *Journal of Marine Systems*, 67, 189-200.
- Cheung, K.F., Phadke, A.C., Wei, Y., Rojas, R., Douyere, Y.J.M., Martino, C.D., Houston, S.H., Liu, P.L.F., Lynett, P.J., Dodd, N., Liao, S., Nakazaki, E. (2003) Modeling of storm-induced coastal flooding for emergency management. *Ocean Engineering*, 30, 1353-1386.
- Choi, B.H., Eum, H.M., Woo, S.B. (2003) A synchronously coupled tide-wave-surge model of the Yellow Sea, *Coastal Engineering*, 47, 381-398.
- Fujita, T. (1952) Pressure distribution within typhoon. *Geophysical Magazine*, 23, 437-451.
- Hashemi, M.R., Abedini, M.J., Neill, S.P., Malekzadeh, P. (2008) Tidal and surge modeling using differential quadrature: A case study in the Bristol Channel, *Coastal Engineering*, 55, 811-819.
- Huang, W.P., Hsu, C.A., Kung, C.S., Yim, J.Z. (2007) Numerical studies on typhoon surges in the Northern Taiwan, *Coastal Engineering*, 54, 883-894.
- Jones, J.E. and Davies, A.M. (1998) Storm surge computations for the Irish Sea using a three-dimensional numerical model including wave-current interaction. *Continental Shelf Research*, 18, 201-251.
- Karim, M.F., Mimura, N. (2008) Impacts of climate change and sea-level rise on cyclonic storm surge floods in Bangladesh. *Global Environmental Change*, 18, 490-500.
- Kim, S.Y., Yasuda, T. & Mase, H. (2008) Numerical analysis of effects of tidal variations on storm surges and waves. *Applied Ocean Research*, 30, 311-322.
- Konishi, T. & Tsuji, Y. (1995) Analyses of storm surges in the western part of the Seto Inland Sea of Japan caused by Typhoon 9119. *Continental Shelf Research*, 15, 1795-1823.

- Lionello, P., Sanna, A., Elvini, E., Mufato, R. (2006) A data assimilation procedure for operational prediction of storm surge in the northern Adriatic Sea. *Continental Shelf Research*, 26, 539-553.
- Liu, H., Zhang, K., Li, Y., Xie, L. (2013) Numerical study of the sensitivity of mangroves in reducing storm surge and flooding to hurricane characteristics in southern Florida. *Continental Shelf Research*, 64, 51-65.
- Loder, N.M., Irish, J.L., Cialone, M.A., Wamsley, T.V. (2009) Sensitivity of hurricane surge to morphological parameters of coastal wetlands. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84, 625-636.
- Madsen, H., Jakobsen, F. (2004) Cyclone induced storm surge and flood forecasting in the northern Bay of Bengal. *Coastal Engineering*, 51, 277-296.
- MetEd, UCAR Community Programs. *What is Storm Surge?* Retrieved May 30, 2012 from <https://www.meted.ucar.edu/index.php>
- Naksuksakul, S. (2006) Risk based safety analysis for coastal area against tsunami and storm surge, Ph.D. Dissertation, Yokohama National University, Japan.
- National Hurricane Center, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Storm Surge Overview. Retrieved May 30, 2012 from <http://www.nhc.noaa.gov/surge/>
- Ozer, J., Padilla-Hernandez, R., Monbaliu, J., Fanjul, E.A., Albiach, J.C.C., Osuna, P., Yu, J.C.S., Wolf, J. (2000) A coupling module for tides, surges and waves. *Coastal Engineering*, 41, 95-124.
- Peng, M., Xie, L., Pietrafesa, L.J. (2004) A numerical study of storm surge and inundation in the Croatan-Albemarle-Pamlico Estuary System. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59, 121-137.
- Pokharel, P., Takeda, M. & Matsuo, N. (2009) Inundation analysis of the effectiveness of an estuary gate in Hori River. *Journal of Hydro-environment Research*, 2, 228-238.
- Rahman, M.A., Rahman, M.A. (2013) Effectiveness of coastal bio-shield for reduction of the energy of storm surges and cyclones. *Procedia Engineering*, 56, 676-685.

- Shen, J., Wang, H., Sisson, M., Gong, W. (2006) Storm tide simulation in the Chesapeake Bay using an unstructured grid model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 68, 1-16.
- Shi, F., Sun, W. & Wei, G. (1997) A WDM method on a generalized curvilinear grid for calculation of storm surge flooding. *Applied Ocean Research*, 19, 275-282.
- Temmerman, S., De Vries, M.B., Bouma, T., (2012) Coastal marsh die-off and reduced attenuation of coastal floods: A model analysis. *Global and Planetary Change*, 92-93, 267-274.
- Walton Jr., Todd L. (2000) Distributions for storm surge extremes. *Ocean Engineering*, 27, 1279-1293.
- Wamsley, T.V., Cialone, M.A., Smith, J.M., Atkinson, J.H., Rosati, J.D. (2010) The potential of wetlands in reducing storm surge, *Ocean Engineering*, 37, 59-68.
- Wang, S., McGrath, R., Hanafin, J., Lynch, P., Semmler, T., Nolan, P. (2008) The impact of climate change on storm surges over Irish waters. *Ocean Modeling*, 25, 83-94.
- Xie, L., Liu, H. & Peng, M. (2008) The effect of wave-current interactions on the storm surge and inundation in Charleston Harbor during Hurricane Hugo 1989. *Ocean Modelling*, 20, 252-269.
- Yin, B., Xu, Z., Huang, Y. & Lin, X. (2009) Simulating a typhoon storm surge in the East Sea of China using a coupled model. *Progress in Natural Science*, 19, 65-71.
- Zhang, K., Liu, H., Li, Y., Xu, H., Shen, J., Rhome, J., Smith III, T.J. (2012) The role of mangroves in attenuating storm surges. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 102-103, 11-23.
- Zhang, M.Y. & Li, Y.S. (1996) The Synchronous coupling of a third-generation wave model and a two-dimensional storm surge model. *Ocean Engineering*, 23(6), 533-543.

ภาคผนวก ก
ผลผลิต (Output)

บทความวิจัยที่คาดว่าจะตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ

เรื่อง การวิเคราะห์ความไวของภาวะน้ำท่วมชายฝั่งทะเลต่อปัจจัยทางภูมิศาสตร์:
การศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ภาคผนวก ข
รายงานสรุปการเงิน

เลขที่โครงการ (NRPM 13 หลัก): 2554A10862005
โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
ชื่อมหาวิทยาลัย: มหาวิทยาลัยบูรพา
ชื่อโครงการ: การศึกษาศักยภาพของแนวต้นไม้ในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่ง
เนื่องจากคลื่นพายุซัดฝั่ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับชายฝั่งสมมุติ

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน / ผู้วิจัย: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมบุญ รัชมีมาสเมือง
รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 01/04/2554 ถึงวันที่ 31/08/2556
ระยะเวลาดำเนินการ 2 ปี 5 เดือน ตั้งแต่วันที่ 01/04/2554 ถึงวันที่ 31/08/2556

รายจ่าย

หมวด	รายจ่ายสะสม จากรายงาน ครั้งก่อน	ค่าใช้จ่าย งวดปัจจุบัน	รวมรายจ่าย สะสมจนถึง งวดปัจจุบัน	งบประมาณ รวมทั้งโครงการ	คงเหลือ (หรือเกิน)
1. ค่าตอบแทน	0.00	5,000	5,000	5,000	0.00
2. ค่าจ้าง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3. ค่าวัสดุ	20,224	52,776	73,000	73,000	0.00
4. ค่าใช้สอย	68,885	71,115	140,000	140,000	0.00
5. อื่นๆ	0.00	2,000	0.00	2,000	0.00
รวม	89,109	130,891	220,000	220,000	0.00

จำนวนเงินที่ได้รับและจำนวนเงินคงเหลือ

จำนวนเงินที่ได้รับ			
งวดที่ 1	110,000	บาท	เมื่อ มิ.ย. 2554
งวดที่ 2	88,000	บาท	เมื่อ เม.ย. 2555
รวม	198,000	บาท	

.....
ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

.....
ลงนามเจ้าหน้าที่การเงินโครงการ

ภาคผนวก ค
ประวัตินักวิจัย

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

วันเกิด: 20 เมษายน 2519

สถานที่ทำงาน: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

เบอร์โทรศัพท์: 0-3810-2222 ต่อ 3358 กต 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

- 2541 – ปัจจุบัน: อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
- 2555 – ปัจจุบัน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ 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-ปัจจุบัน), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, หน้าที่: หัวหน้าโครงการ
- 6) โครงการวิจัยเรื่อง การทดลองทางห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับการลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน (2555-2556), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) , หน้าที่: หัวหน้าโครงการ

- 7) โครงการวิจัยเรื่อง ระดับคลื่นซัดบนพื้นเอียงแบบขั้นบันได (2555-2556), ผู้สนับสนุนทุนวิจัย: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.), หน้าที่: หัวหน้าโครงการ
- 8) โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาศักยภาพของแนวต้นไม้ในการลดพื้นที่น้ำท่วมชายฝั่งเนื่องจากคลื่นพายุซัดฝั่ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับชายฝั่งสมมุติ (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 ที่ใช้ระบบพิกัดขั้วและระบบพิกัดฉากร่วมกันสำหรับอ่าวรูปจันทร์เสี้ยว (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) Weesakul, S., Rasmeemasuang, T., Tasaduak, S. and Thaichareon, C. (2010). Numerical modeling of crenulate bay shapes. Coastal Engineering. 57(2), 184-193.
- 2) 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 Rasmeemasmuang, T. (2013). Wave run-up on stepped slopes. KMUTT Research and Development Journal, 36(3). Accepted (in Thai)
- 2) Rasmeemasmuang, T. (2012). Wave Attenuation in Mangrove Forests. KKU Engineering Journal. 39(2), 203-212. (in Thai)
- 3) Rasmeemasmuang, 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) Rasmeemasmuang, 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) Rasmeemasmuang, 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., Rasmeemasmuang, 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) Rasmeemasmuang, 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) Rasmeemasmuang, 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., Rasmeemasmuang, 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) Rasmeemasmuang, 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) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 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)

- 9) 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)
- 10) 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.

Tropical Cyclone Classifications (all winds are 10-minute averages)

The Beaufort scale	10-minute sustained winds	NE Pacific & N Atlantic NHC/CPHC	NW Pacific JTWC	NW Pacific JMA	N Indian Ocean IMD	SW Indian Ocean MF	Australia & S Pacific BOM/FMS
0-6	<28 knots (32 mph; 52 km/h)	Tropical Depression	Tropical Depression	Tropical Depression	Depression	Zone of Disturbed Weather	Tropical Disturbance
7	28-29 knots (32-33 mph; 52-54 km/h)				Deep Depression		Tropical Disturbance
		30-33 knots (35-38 mph; 56-61 km/h)	Tropical Storm	Tropical Storm	Tropical Storm	Cyclonic Storm	Moderate Tropical Storm
8-9	34-47 knots (39-54 mph; 63-87 km/h)	Category 1 hurricane					Typhoon
10	48-55 knots (55-63 mph; 89-102 km/h)		Category 2 hurricane	Typhoon	Typhoon	Very Severe Cyclonic Storm	
11	56-63 knots (64-72 mph; 104-117 km/h)	Category 1 hurricane					Typhoon
12	64-72 knots (74-83 mph; 119-133 km/h)		Category 4 hurricane	Typhoon	Typhoon	Super Cyclonic Storm	
13	73-85 knots (84-98 mph; 135-157 km/h)	Category 5 hurricane					Super Typhoon
14	86-89 knots (99-102 mph; 159-165 km/h)		Category 5 hurricane	Super Typhoon	Typhoon	Super Cyclonic Storm	
15	90-106 knots (100-122 mph; 170-196 km/h)	Category 5 hurricane					Super Typhoon
16	107-114 knots (123-131 mph; 198-211 km/h)		Category 5 hurricane	Super Typhoon	Typhoon	Super Cyclonic Storm	
17	115-135 knots (132-155 mph; 213-250 km/h)	Category 5 hurricane					Super Typhoon
	>136 knots (157 mph; 252 km/h)		Category 5 hurricane	Super Typhoon	Typhoon	Super Cyclonic Storm	

การแบ่งความรุนแรงพายุหมุนเขตร้อน

ภาคผนวก ๑

ภาคผนวก จ

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Manning สำหรับท่อและรางน้ำ

Table-1:	Conduits
Table-2:	Gutter and Pavements
Table-3:	Smaller Artificial Channels
Table-4:	Lined Artificial Channels
Table-5:	Excavated Artificial Channels
Table-6:	Highway Channels and Swales with Maintained Vegetation
Table-7:	Natural Channels and Floodplains

แหล่งข้อมูล

- Chow, Ven Te, "Open-Channel Hydraulics," 1959.
- FHWA, "Design of Urban Highway Drainage, The State of the Art," 1979.
- FHWA, "Hydraulic Design Series No. 3, Design Charts for Open-Channel Flow," 1961.
- FHWA, "Hydraulic Engineering Circular No. 15, Design of Roadside Channels with Flexible Linings," 1988.
- FHWA, "Hydraulic Engineering Circular No. 22, Urban Drainage Design Manual," 1996.

TABLE 1: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n) VALUES OF CONDUITS

Conduit	Minimum	Normal	Maximum
A. Concrete or asbestos-cement pipe	0.011	0.013	0.015
B. Metal pipe or pipe-arch with annular corrugations			
1. 2-2/3-inch x 1/2-inch corrugations			
a. Plain or fully coated	.....	0.024	.....
b. Paved invert (range represents 25 and 50 percent of circumference paved, with larger n value representing 25 percent paved)			
1. Full flow depth	0.018	.....	0.021
2. Flow 80 percent of depth	0.016	.....	0.021
3. Flow 60 percent of depth	0.013	.....	0.019
2. 3-inch x 1-inch corrugations	.....	0.027	.....
3. 6-inch x 2-inch corrugations	.....	0.032	.....
C. Smooth walled helical spiral rib pipe	0.012	.....	0.013
D. Corrugated metal subdrain	0.017	0.019	0.021
E. Plastic pipe			
1. Smooth	0.011	.....	0.015
2. Corrugated	.....	0.024	.....

TABLE 1: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n) VALUES OF CONDUITS

Conduit	Minimum	Normal	Maximum
Conduits, continued			
F. Metal pipe or pipe arch with helically wound corrugations			
1. Smaller pipes			
12 inch	0.013	.....
15 inch	0.014	.....
18 inch	0.015	.....
21 inch	0.016	.....
24 inch	0.017	.....
27 inch	0.018	.....
30 inch	0.019	.....
33 inch	0.020	.....
36 inch	0.021	.....
42 inch	0.022	.....
48 inch	0.023	.....
2. Diameters larger than			
48 inches with 2-2/3-inch x 1/2-inch corrugations	0.024	.....
3. Diameters larger than			
48 inches with 3-inch x 1-inch corrugations	0.027	.....
G. Wrought iron			
1. Black	0.012	0.014	0.015
2. Galvanized	0.013	0.016	0.017

TABLE 1: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n) VALUES OF CONDUITS

Conduit	Minimum	Normal	Maximum
Conduits, continued			
H. Cast iron			
1. Coated	0.010	0.013	0.014
2. Uncoated	0.011	0.014	0.016
I. Steel pipe, welded	0.010	0.012	0.014
J. Brick			
1. Glazed	0.011	0.013	0.015
2. Lined with cement mortar	0.012	0.015	0.017
K. Common-clay drainage tile	0.011	0.013	0.017
L. Vitrified clay sewer	0.011	0.014	0.017
M. Sanitary sewer, coated with sewage slime, with bends and connections	0.012	0.013	0.016
N. Monolithic concrete			
1. Wood forms, rough	0.015	0.017	0.020
2. Wood forms, smooth	0.012	0.014	0.016
3. Steel forms	0.012	0.013	0.014
O. Rubble masonry, cemented	0.018	0.025	0.030
P. Laminated treated wood	0.015	0.017	0.020

**TABLE 2: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n)
VALUES OF GUTTERS AND PAVEMENTS**

Channel	Minimum	Normal	Maximum
A. Concrete gutter, troweled finish *	0.012	.....
B. Asphalt pavement			
1. Smooth texture	0.013	.....
2. Rough texture	0.016*	.....
3. ODOT Standard Curb, Low Profile Mountable Curb, Monolithic Curb and Sidewalk, and Mountable Curb	0.016*	.....
C. Concrete gutter with asphalt pavement			
1. Smooth	0.013	.....
2. Rough	0.015	.....
3. ODOT Curb and Gutter, Mountable Curb and Gutter, and Valley Gutter	0.014	.....
D. Concrete pavement			
1. Float finish	0.014	.....
2. Broom finish	0.016	.....
3. ODOT Standard Curb, Low Profile Mountable Curb, Monolithic Curb and Sidewalk, and Mountable Curb	0.016*	.....
E. Brick	0.016	.....
F. For gutters listed above with small slope, where sediment may accumulate, increase above values of n by	0.002	.....

* Flow contained within gutter.

* The most common value used for gutters with pavement bottoms on ODOT project is 0.016

**TABLE 3: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n)
VALUES OF SMALLER ARTIFICIAL CHANNELS**

Values are for artificial channels with flows of 50 cubic feet per second or less. Roughness values vary with depth, as follows:

- Minimum values are for flow depths greater than 2 feet.
- Normal values are for depths between 6 inches and 2 feet.
- Maximum values are for flow depths less than 6 inches.

Channel	Minimum	Normal	Maximum
A. Rigid Linings			
1. Concrete	0.013	0.013	0.015
2. Grouted riprap	0.028	0.030	0.040
3. Stone masonry	0.030	0.032	0.042
4. Soil cement	0.020	0.022	0.025
5. Asphalt	0.016	0.016	0.018
B. Unlined			
1. Bare soil	0.020	0.020	0.023
2. Rock cut	0.025	0.035	0.045

**TABLE 3: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n)
VALUES OF SMALLER ARTIFICIAL CHANNELS**

Channel	Minimum	Normal	Maximum
Smaller Artificial channels, continued.			
C. Temporary			
1. Woven paper net	0.015	0.015	0.016
2. Jute net	0.019	0.022	0.028
3. Fiberglass roving	0.019	0.021	0.028
4. Straw with net	0.025	0.033	0.065
5. Curled wood mat	0.028	0.035	0.066
6. Synthetic mat	0.021	0.025	0.036
E. Grass (See Figures 8-12 through 8-16 of this chapter.)			
F. Riprap			
1. ODOT Class 50	0.036	0.070	0.106
2. ODOT Class 100	0.039	0.075	.....

Note: Roughness values vary with depth. See previous page.

**TABLE 4: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n)
VALUES OF LINED ARTIFICIAL CHANNELS**

Channel	Minimum	Normal	Maximum
A. Concrete, with surfaces as indicated:			
1. Formed, no finish	0.014	0.017	0.020
2. Trowel finish	0.011	0.013	0.015
3. Float finish	0.013	0.015	0.016
4. Finished, with gravel on bottom	0.015	0.017	0.020
5. Gunite, good section	0.016	0.019	0.023
6. Gunite, wavy section	0.018	0.022	0.025
7. On good excavated rock	0.017	0.020	.....
8. On irregular excavated rock	0.022	0.027	.....
B. Concrete, bottom float finished, sides as indicated:			
1. Dressed stone in mortar	0.015	0.017	0.020
2. Random stone in mortar	0.017	0.020	0.024
3. Cement rubble masonry	0.020	0.025	0.030
4. Cement rubble masonry, plastered	0.016	0.020	0.024
5. Dry rubble or riprap	0.020	0.030	0.035

Note: Values are for straight alignment.

**TABLE 4: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n)
VALUES OF LINED ARTIFICIAL CHANNELS**

Channel	Minimum	Normal	Maximum
Lined artificial channels, continued.			
C. Gravel bottom, sides as indicated:			
1. Formed concrete	0.017	0.020	0.025
2. Random stone in mortar	0.020	0.023	0.026
3. Dry rubble or riprap	0.023	0.033	0.036
D. Glazed brick	0.011	0.013	0.015
E. Brick in cement mortar	0.012	0.015	0.018
F. Asphalt			
1. Smooth	.....	0.013	.....
2. Rough	.....	0.016	.....
G. Wood			
1. Planed, untreated	0.010	0.012	0.014
2. Planed, creosoted	0.011	0.012	0.015
3. Unplaned	0.011	0.013	0.015
4. Plank with battens	0.012	0.015	0.018
H. Cemented masonry rubble	0.017	0.025	0.030
I. Dry masonry rubble	0.023	0.032	0.035

Note: Values are for straight alignment.

**TABLE 5: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n)
VALUES OF EXCAVATED ARTIFICIAL CHANNELS**

Channel	Minimum	Normal	Maximum
A. Earth, straight and uniform			
1. Clean, recently completed	0.016	0.018	0.020
2. Clean, after weathering	0.018	0.022	0.025
3. Gravel, uniform section, clean	0.022	0.025	0.030
4. With short grass, few weeds	0.022	0.027	0.033
B. Earth, winding and sluggish			
1. No vegetation	0.023	0.025	0.030
2. Grass, some weeds	0.025	0.030	0.033
3. Dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030	0.035	0.040
4. Earth bottom and rubble sides	0.028	0.030	0.035
5. Stony bottom and weedy banks	0.025	0.035	0.040
6. Cobble bottom and clean sides	0.030	0.040	0.050
C. Dragline-excavated or dredged			
1. No vegetation	0.025	0.028	0.033
2. Light brush on banks	0.035	0.050	0.060

Note: Values are for excavated or dredged channels with natural linings.

**TABLE 5: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n)
VALUES OF EXCAVATED ARTIFICIAL CHANNELS**

Channel	Minimum	Normal	Maximum
Excavated artificial channels, continued.			
D. Rock cuts			
1. Smooth and uniform	0.025	0.035	0.040
2. Jagged and irregular	0.035	0.040	0.050
E. Channels not maintained, weeds and brush uncut			
1. Dense weeds, high as flow depth	0.050	0.080	0.120
2. Clean bottom, brush on sides	0.040	0.050	0.080
3. Clean bottom, brush on sides, highest stage of flow	0.045	0.070	0.110
4. Dense brush, high stage	0.080	0.100	0.140

Note: Values are for excavated or dredged channels with natural linings.

**TABLE 6: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n) VALUES
OF HIGHWAY CHANNELS AND SWALES WITH MAINTAINED VEGETATION**

Channel	Minimum	Normal	Maximum
Range of roughness values represents flow velocities from 2 to 6 feet per second with the higher roughness values representing the 2 feet per second flow velocity.			
A. Depth of flow up to 0.7 feet			
1. Grass			
a. Mowed to 2 inches	0.045	.....	0.07
b. Length 2 inches to 6 inches	0.05	.....	0.09
2. Grass, good stand			
a. Length about 12 inches	0.09	.....	0.18
b. Length about 24 inches	0.15	.....	0.30
3. Grass, fair stand			
a. Length about 12 inches	0.08	.....	0.14
b. Length about 24 inches	0.13	.....	0.25
B. Depth of flow 0.7 feet to 1.5 feet			
1. Grass			
a. Mowed to 2 inches	0.035	.....	0.05
b. Length 2 inches to 6 inches	0.04	.....	0.06

**TABLE 6: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n) VALUES
OF HIGHWAY CHANNELS AND SWALES WITH MAINTAINED VEGETATION**

Channel	Minimum	Normal	Maximum
Highway channels and swales with maintained vegetation, continued.			
2. Grass, good stand			
a. Length about 12 inches	0.07	.....	0.12
b. Length about 24 inches	0.10	.....	0.20
3. Grass, fair stand			
a. Length about 12 inches	0.06	.....	0.10
b. Length about 24 inches	0.09	.....	0.17

**TABLE 7: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n)
VALUES OF NATURAL CHANNELS AND FLOODPLAINS**

Channel	Minimum	Normal	Maximum
A. Minor streams (top width at flood stage less than 100 feet)			
1. Streams on plain			
a. Clean, straight, full stage, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, irregular slopes and sections with more ineffective flow area	0.040	0.048	0.055
f. Same as d, but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stand of timber and underbrush	0.075	0.100	0.150

**TABLE 7: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n)
VALUES OF NATURAL CHANNELS AND FLOODPLAINS**

Channel	Minimum	Normal	Maximum
Natural channels and floodplains, continued.			
2. Mountain streams, no vegetation in channel, banks usually steep, trees and brush along banks submerged at high stages			
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070
B. Floodplains			
1. Pasture, no brush			
a. Short grass	0.025	0.030	0.035
b. High grass	0.030	0.035	0.050
2. Cultivated areas			
a. No crop	0.020	0.030	0.040
b. Mature row crops	0.025	0.035	0.045
c. Mature field crops	0.030	0.040	0.050

**TABLE 7: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n)
VALUES OF NATURAL CHANNELS AND FLOODPLAINS**

Channel	Minimum	Normal	Maximum
Natural channels and floodplains, continued.			
3. Brush			
a. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
b. Light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
c. Light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
d. Medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110
e. Medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
4. Trees			
a. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
b. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
c. Same as above, but with heavy growth of sprouts	0.050	0.060	0.080
d. Heavy stand of timber, a few down trees, little undergrowth, flood stage below branches	0.080	0.100	0.120
e. Same as above, but with flood stage reaching branches	0.100	0.120	0.160

**TABLE 7: HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n)
VALUES OF NATURAL CHANNELS AND FLOODPLAINS**

Channel	Minimum	Normal	Maximum
Natural channels and floodplains, continued.			
C. Major streams (top width at flood stage more than 100 feet). The n values are less than those of minor streams with similar description because banks offer less effective resistance.			
1. Regular section with no boulders or brush	0.025	.....	0.060
2. Irregular and rough section	0.035	.....	0.100