

แปลจาก: Developing tsunami fragility curves based on the satellite remote sensing and the numerical modeling of the 2004 Indian Ocean tsunami in Thailand

ชื่อผู้แต่ง: A. Suppasri, S. Koshimura และ F. Imamura

Disaster Control Research Center, Graduate School of Engineering,

Tohoku University, Japan

แหล่งที่มา: http://www.natural-hazards-and-earth-system-sciences.net/general_information/license_and_copyright.html

**การพัฒนาเส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองการเกิดสึนามิ
ในมหาสมุทรอินเดียปี พ.ศ. 2547 ประเทศไทย**

บทคัดย่อ

การเกิดสึนามิในมหาสมุทรอินเดียปี พ.ศ. 2547 ได้สร้างความเสียหายและทำลายอาคารบ้านเรือนจำนวนมาก การประเมินความเสี่ยงและผลกระทบจากสึนามิต่อสิ่งปลูกสร้างมีความสำคัญ เส้นโค้งการพังทลายเป็นฟังก์ชันที่ใช้เพื่อประมาณค่าการพังทลายของโครงสร้างอาคารจากสึนามิ ในการศึกษาพัฒนาเส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดสูง (IKONOS) ซึ่งถ่ายก่อนและหลังเหตุการณ์สึนามิ เพื่อจำแนกตัวอาคารที่ถูกทำลายและไม่ถูกทำลาย โดยพิจารณาจากหลังคาที่เหลืออยู่และสร้างแบบจำลองน้ำท่วมถึงของสึนามิ (Tsunami inundation model) เพื่อจำลองคุณลักษณะของสึนามิ เช่น ความลึกของน้ำท่วมถึง, ความเร็วของกระแสน้ำ และแรงทำลายทางอุทกพลศาสตร์ ในงานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอเส้นโค้งการพังทลายในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงปกติหรือการแจกแจงล็อกปกติ, ค่ามัธยฐานและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานวิเคราะห์โดยใช้วิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด ผลการศึกษาการพัฒนาเส้นโค้งพังทลายสำหรับที่สิ่งปลูกสร้างที่ใช้วัสดุต่างชนิดกัน (แบบผสม, คอนกรีตเสริมเหล็กและไม้) แสดงถึงความน่าจะเป็นของความเสียหายที่จะเกิดขึ้นและมีการเปรียบเทียบเส้นโค้งกับสถานที่ต่าง ๆ

1. บทนำ

ในวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในมหาสมุทรอินเดียซึ่งก่อให้เกิดคลื่นยักษ์สึนามิที่เคลื่อนตัวเข้าสู่พื้นที่บริเวณชายฝั่งประเทศต่างๆรอบมหาสมุทรอินเดียเป็นบริเวณกว้าง แผ่นดินไหวขนาด 9.3 (Mw) เป็นแผ่นดินไหวขนาดใหญ่อันดับสองของโลกเท่าที่เคยบันทึกไว้และก่อให้เกิดภัยพิบัติสึนามิ ที่รุนแรงที่สุดในประวัติศาสตร์

ในการเกิดสึนามิครั้งนี้สร้างความเสียหายให้กับ 11 ประเทศ ในทวีปเอเชียและ ทวีปแอฟริกา มีผู้เสียชีวิตอย่างน้อย 282,517 ราย (กรมป้องกันฯ, 2550) จากการประเมินผลกระทบจากสึนามิในประเทศไทยพบว่ามียุเสียชีวิตจำนวน 8,212 ราย ผู้สูญหายและได้รับบาดเจ็บ จำนวน 8,457 ราย (กรมป้องกันฯ, 2550) ทั้งนี้วัดระดับน้ำสูงสุดที่เขาลึก จังหวัดพังงาได้ประมาณ 15 เมตร สิ่งปลูกสร้างถูกทำลาย บ้านเรือนเสียหาย 4,806 หลัง โดยแยกเป็นบ้านเรือนที่ถูกทำลายอย่างสมบูรณ์จำนวน 3,302 หลัง และ ได้รับความเสียหายเป็นบางส่วนจำนวน 1,504 หลัง พื้นที่ดังกล่าวเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบและเกิดความเสียหายมากที่สุด ที่หาดกมลาและหาดป่าตองในจังหวัดภูเก็ต ระดับน้ำสูงประมาณ 7 เมตร โดยสิ่งปลูกสร้างอื่นๆที่ถูกทำลายจำนวน 2,508 หลังและบ้านเรือน 1,033 หลัง หกเดือนหลังจากเกิดภัยพิบัตินี้มีผู้ไร้ที่อยู่อาศัยประมาณ 7,000 ราย ต้องอาศัยอยู่ในที่พักอาศัยชั่วคราว บุคลากรของมหาวิทยาลัยในประเทศไทยทั้ง 8 แห่งได้สำรวจความเสียหายโดยวิธีการสำรวจภาคสนามและใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม (IKONOS) จากองค์การภูมิศาสตร์สารสนเทศและพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ (GISTDA) พบว่าความเสียหายที่มีต่อที่อยู่อาศัยประมาณที่ 21 ล้านดอลลาร์สหรัฐ โดยต้องใช้งบประมาณถึง 14 ล้านดอลลาร์สหรัฐเพื่อการบูรณะอาคารบ้านเรือน 3 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เพื่อซ่อมแซมความเสียหายต่างๆ และ อีก 4 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เพื่อเปลี่ยนเครื่องใช้ในบ้านเรือน แบบจำลองสึนามิที่วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลความเสียหายของอาคาร (เส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิ) เหมาะสำหรับการประมาณความสูญเสียจากการเกิดสึนามิในอนาคตได้

2. การพังทลายจากสึนามิ (Tsunami fragility)

Koshimura et al.(2009b) ได้เสนอคำว่า "Tsunami fragility (การพังทลายจากสึนามิ) " เป็น การวัดแบบใหม่ใช้สำหรับการประเมินความเสียหายที่เกิดจากสึนามิ การพังทลายจากสึนามิ หมายถึง ความน่าจะเป็นของความเสียหายของโครงสร้าง หรืออัตราการเสียชีวิตจากอุทกพลศาสตร์ ของการไหลของสึนามิ เช่นความลึกของน้ำท่วมถึง ความเร็ว และ แรงทางอุทกพลศาสตร์ Koshimura et al.(2009b) อธิบายถึง 3 วิธี ที่ต้องใช้ในการศึกษาการพังทลายจากสึนามิเพื่อประเมิน ความเสียหายของโครงสร้าง รายละเอียดดังนี้

2.1 การพังทลายจากสึนามิที่ประเมินจากการตรวจวัดภาพถ่ายดาวเทียม (remote sensing) และการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข

Koshimura et al.(2007,2009c) ได้พัฒนาเส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิโดยวิธีเชิงตัวเลข ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดสูงในพื้นที่บันดาอาเจะห์ประเทศอินโดนีเซียที่ใช้ในการตรวจสอบ ความเสียหายจากการตีความหมายจากภาพ ข้อเท็จจริงแล้วข้อจำกัดของวิธีการนี้ จะจำแนก ระดับความเสียหายได้เพียง 2 ระดับคือ อาคารที่ได้รับความเสียหาย (พังทลายโดยสึนามิหรือถล่ม) และอาคารที่ไม่ได้รับความเสียหาย แบบจำลองเชิงตัวเลขที่แสดงการกระจายตัวของสึนามิและน้ำที่ เข้าท่วมชายฝั่งทะเลที่ใช้ข้อมูลความลึกของน้ำทะเล, ข้อมูลภูมิประเทศที่มีความละเอียดสูง สร้างขึ้น เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางอุทกพลศาสตร์ของน้ำท่วมจากสึนามิบนชายฝั่ง ผลจากการจำลอง และการประเมินความเสียหายของสิ่งปลูกสร้างนำมารวมกัน เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ระหว่าง องค์ประกอบทางอุทกพลศาสตร์ของคลื่นสึนามิ เช่น ความสูงของระดับน้ำที่ท่วม ความเร็วในการ เคลื่อนที่ แรงทางอุทกพลศาสตร์ และ ความน่าจะเป็นของความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ซึ่งความน่าจะเป็นของการทำลายจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อความลึกของระดับน้ำที่ท่วมในพื้นที่มากกว่า 2 เมตร อาคารจะ ถูกทำลายเกือบทั้งหมดหลังเมื่อเผชิญคลื่นสึนามิสูง 4 เมตร ซึ่งอาคารส่วนใหญ่จะพังลงเมื่อคลื่นสึนามิ มี ความเร็วมากกว่า 3 เมตรต่อวินาที และ แรงทางอุทกพลศาสตร์จะมีค่ามากกว่า 10 กิโลนิวตันต่อ เมตร

งานวิจัยที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายคือ Hokkaido Nansei-oki tsunami ในปี 1993 (Okushiri tsunami) โดย Koshimura et al.(2009a) บ้านและโครงสร้างทั้งหมด 769 หลัง ที่มีการตรวจสอบความเสียหาย สามารถแบ่งออกเป็น 5 ระดับ โดยใช้ชุดภาพถ่ายทางอากาศก่อน และหลังเหตุการณ์ ซึ่งลักษณะความเสียหายของอาคารแสดงในรูปของการพัฒนาเส้นโค้งการพังทลาย เมื่อเกิดสึนามิอาคารที่สร้างจากไม้จะถูกทำลายที่ระดับของน้ำท่วมถึงสูงกว่า 2 เมตร กระแสน้ำมีความเร็วมากกว่า 5 เมตรต่อวินาที และ แรงทางอุทกพลศาสตร์มีค่ามากกว่า 20 กิโลนิวตันต่อเมตร ผลลัพธ์ที่ได้นี้สอดคล้องกับเกณฑ์ของมัตสึโทมิ (Matsutomi and Harada, 2010) ซึ่งใช้ในการประมาณการเสียหายของอาคาร (เสียหายบางส่วนหรือถูกทำลาย) เปรียบเทียบกับคุณสมบัติต่างๆ ของสึนามิ (ความสูงของน้ำท่วม, ความเร็วของคลื่น และ แรงทางอุทกพลศาสตร์)

2.2 การพังทลายจากสึนามิ พิจารณาจากภาพถ่ายผ่านดาวเทียมและการสำรวจ

ภาคสนาม

Foytong (2007) และ Ruangrassamee et al. (2006) สร้างเส้นโค้งการพังทลายของอาคารเสริมคอนกรีตที่เสียหายจากสึนามิในภาคใต้ของประเทศไทย 6 จังหวัด ซึ่งใช้ฐานข้อมูลจากการสำรวจอาคาร 120 หลังที่ได้รับผลกระทบจากสึนามิ ระดับความเสียหายจะถูกกำหนดในรูปของความเสียหายโดยรวมของอาคาร แบ่งระดับความเสียหายได้ 4 ระดับ คือ ระดับที่ 1 ไม้มีความเสียหาย ระดับที่ 2 เกิดความเสียหายที่หลังคา และ ผนังเท่านั้น ระดับที่ 3 เกิดความเสียหายในบางส่วน (คาน เสา และ ฐานราก) และระดับที่ 4 สิ่งปลูกสร้างเสียหายทั้งหมด ในการศึกษาเส้นโค้งการพังทลายแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ตามรูปแบบของสิ่งปลูกสร้างนั้นๆมีการตั้งสมมติฐานว่าอาคารที่สูงกว่าหนึ่งชั้นจะมีการก่อสร้างจะมีคุณภาพดีกว่าและปริมาณมากกว่าอาคารชั้นเดียว ดังนั้นเส้นโค้งการพังทลายที่สร้างขึ้นจะสามารถประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ ข้อสรุปแสดงให้เห็นว่าเส้นโค้งการพังทลายจะขึ้นอยู่กับปริมาณของอาคารซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนชั้นของอาคาร

เส้นโค้งการพังทลายแสดงถึงระดับความเสียหายของสิ่งปลูกสร้างจากการสำรวจภาคสนาม ซึ่งดำเนินการโดย Matsutomi and Harada (2010) ได้แบ่งระดับความเสียหาย ออกเป็น 3 ชนิด (น้อย ปานกลางและรุนแรง) ซึ่งความเสียหายจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุก่อสร้างที่ใช้ เช่น ไม้ หิน อิฐ บล็อกคอนกรีตหรือคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากการศึกษาความเสียหายจากน้ำท่วมถึงสันนิษฐานสามารถสรุปได้ว่า ระดับความเสียหายอย่างรุนแรงของโครงสร้างแบบเสริมคอนกรีตจะมีความเสียหายมากที่ระดับน้ำสูง 8 เมตร และ สิ่งปลูกสร้างที่มีโครงสร้างเป็นบล็อกคอนกรีตที่ระดับน้ำท่วมสูง 7 เมตรและสิ่งปลูกสร้างที่เป็นไม้ที่ระดับน้ำท่วมสูง 2 เมตร ระดับความเสียหายระดับปานกลางจะเกิดขึ้นกับสิ่งปลูกสร้างที่เป็นบล็อกคอนกรีตที่ระดับน้ำท่วมสูง 3 เมตร และ สิ่งปลูกสร้างที่ทำจากไม้ที่ระดับน้ำท่วมสูง 1.5 เมตร

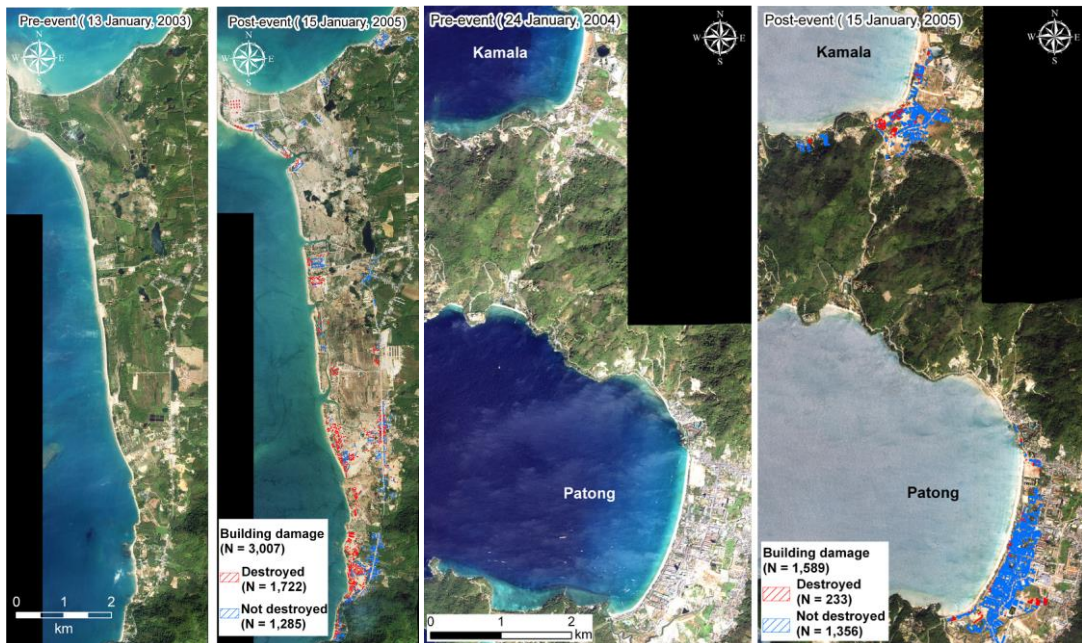
2.3 เส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิจากข้อมูลประวัติศาสตร์

Koshimura et al. (2009b) นำข้อมูลประวัติความเสียหายของอาคารในประเทศญี่ปุ่นมาใช้ เพื่อพัฒนาเส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิ ซึ่งฐานข้อมูลจะประกอบด้วยข้อมูลการสำรวจพื้นที่หลังเกิดสึนามิจากบันทึกต่างๆ , เอกสารและรายงาน ซึ่งรวมถึงความสูงของคลื่นสึนามิ และ ระดับความลึกน้ำท่วม ที่เกิดขึ้นในสมัยเมจิ-ซันริคุ ปี 1896 , สมัยโชวะ – ซันริคุ ปี1933, และ สึนามิจากชิลี ปี 1960 ทั้งนี้ความเสียหายที่เกิดกับโครงสร้างบ้านเรือน แบ่งเป็น 4 ประเภท คือ ถูกน้ำพัดพาไปหมด, โครงสร้างถูกทำลาย, ได้รับความเสียหายปานกลาง และ น้ำท่วมเท่านั้น ข้อสรุปของพวกเขาจากผลศึกษากรณีของคลื่นสึนามิ ที่ความสูง 2 เมตร มีความน่าจะเป็นน้อยกว่า 30% ที่โครงสร้างจะถูกทำลายและ อย่างน้อยที่สุด 30% ของโครงสร้างจะถูกทำลายที่ระดับน้ำท่วมสูง 2.1 - 7.4 เมตร ซึ่งเป็นข้อมูลความสูงของสึนามิ ในสมัย Sanriku tsunami (Koshimura , 2009b)

2.4 เส้นโค้งการพังทลายในประเทศไทย

เส้นโค้งการพังทลายวิเคราะห์จากดาวเทียมสำรวจระยะไกลและการสำรวจภาคสนาม โดย Foytong and Ruangrassamee (2007) มีความเหมาะสมและได้รับความน่าเชื่อถือกว่าการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขของคลื่นสึนามิ เพราะ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจสิ่งปลูกสร้างที่ได้รับผลกระทบเป็นข้อมูลจริงแต่วิธีนี้อาจไม่สามารถเข้าถึงเส้นโค้งการพังทลายในพื้นที่ทั้งหมดได้ เนื่องจาก ข้อจำกัดเรื่องจำนวนของอาคารตัวอย่าง ในทางตรงกันข้าม วิธีการที่พัฒนา โดย Koshimura et al. (2009c) มีความชัดเจนมากกว่า ชับซ้อน และ ใช้เวลานานเนื่องจากต้องใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข ที่ขนาดของกริดเล็กมาก และ ใช้เป็นตัวแทนของการตีความหมายจากภาพนับพันหรือนับหมื่นของอาคาร ซึ่งต้องใช้ความพยายามอย่างมาก

อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะแสดงถึงฟังก์ชันการพังทลายของพื้นที่ทั้งหมดโดยใช้ข้อมูลอาคารทั้งหมดที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา พิจารณาเทียบกับคุณสมบัติทางอุทกพลศาสตร์ และลักษณะของคลื่นสึนามิ



รูปที่ 1 ภาพถ่ายดาวเทียมก่อนและหลังการเกิดสึนามิและภาพความเสียหายของอาคารในพื้นที่ชุมชนบริเวณเขาหลัก จังหวัดพังงา และหาดกมลา หาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

3. ความเสียหายของอาคารในประเทศไทยและการตรวจสอบความเสียหายโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม

จากตารางที่ 1 แสดงข้อมูลจากเว็บไซต์ของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2550 ที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายของสิ่งก่อสร้างจากสึนามิในมหาสมุทรอินเดีย ปี พ.ศ. 2547 ตามรายงานความเสียหายของที่อยู่อาศัยใน 6 จังหวัด บ้านเรือน 3,302 หลังที่ได้รับความเสียหายทั้งหมดและเสียหายเพียงบางส่วน 1,504 หลัง ในจังหวัดพังงามีรายงานตัวเลขบ้านที่เสียหายทั้งหมด 1,904 หลัง

และเสียหายเพียงบางส่วน 604 หลัง ในจังหวัดภูเก็ตบ้านที่เสียหายทั้งหมด 742 หลัง และเสียหายเพียงบางส่วน 291 หลัง จากการตรวจสอบความเสียหายของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กใน 6 จังหวัดที่ได้รับผลกระทบตามแนวชายฝั่งตะวันตกของภาคใต้ของประเทศไทยโดย Ruangrassamee et al. (2006) ในฐานะข้อมูลให้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ตั้งของอาคาร, ความสูงน้ำท่วมโดยวัดจากพื้นชั้นล่าง, ชนิดโครงสร้าง, เสา, ความเสียหายของคานและความเสียหายโดยรวมของโครงสร้าง รายละเอียดของระดับความเสียหายในการศึกษาอธิบายในหัวข้อ 2.2

ตารางที่ 1 แสดงความเสียหายของอาคารบ้านเรือนซึ่งรายงานโดยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (DDPM)

พื้นที่	บ้านเรือน		รวม
	เสียหายทั้งหมด	เสียหายบางส่วน	
พังงา	1904	604	2508
กระบี่	396	262	658
ภูเก็ต	742	291	1033
ระนอง	224	111	335
ตรัง	34	156	190
สตูล	2	80	82
รวม	3302	1504	4806

ภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูง (IKONOS) ถ่ายก่อนและหลังเหตุการณ์สึนามิถูกนำมาใช้ในการประมาณความเสียหายที่มองเห็นได้ สำหรับจังหวัดพังงาและภูเก็ต ภาพก่อนเหตุการณ์สึนามิในวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546 และวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2547 ภาพหลังเหตุการณ์สึนามิในวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2548 (รูปที่1) ในการศึกษาล่าสุด (Gokon et al., 2010) ความเสียหายจะถูกแบ่งเป็น 4 ระดับ “ไม่พัง”(ปานกลาง,เล็กน้อยหรือไม่เสียหาย) “ความเสียหายมาก” “พัง”และ “ถูกซัดไป” โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม QuickBird รายละเอียด 0.6 x0.6 m² อย่างไรก็ตามภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS รายละเอียด 1.0 x1.0 m² ไม่ละเอียดพอสำหรับการตีความแตกต่างของระดับความเสียหายของอาคาร ดังนั้นการจัดประเภทความเสียหายของอาคารในการศึกษานี้ถูกจำกัด

เป็นอาคาร “ไม่ถูกทำลาย” และ “ถูกทำลาย” (Koshimura et al,2009) หลังคาของอาคารที่ เหลืออยู่ถูกตีความเป็น “ไม่ถูกทำลาย”และที่ไม่ปรากฏให้เป็น”ถูกทำลาย” หมายเหตุอาคารจัดเป็น “ไม่ถูกทำลาย” อาจจะมีบางชนิดของความเสียหายที่ไม่สามารถระบุได้ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม ผลการ ตรวจสอบความเสียหายอาคารในพื้นที่ที่อยู่อาศัยจะถูกนำเสนอในรูปแบบที่ 1 แสดงความเสียหายในพื้นที่ ที่อยู่อาศัยในเขากลาง จ.พังงาและหาดกมลาและหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต ข้อมูลการตีความภาพให้ความ ถูกต้องมากกว่า 90% หลังได้รับการตรวจสอบข้อมูลข้างต้น จากรูปที่ 2 แสดงตัวอย่างของอาคารที่ ถูกทำลาย(วงกลมสีแดง)และไม่ถูกทำลาย(วงกลมสีฟ้า) และมีการยืนยันจากข้อมูลการสำรวจและรูป ถ่ายในรูปแบบที่ 3 ตัวเลขของอาคารที่ไม่ถูกทำลายและถูกทำลายในพื้นที่ศึกษาจะถูกนำเสนอในตารางที่ 2 สำหรับการพัฒนาของเส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิ, อาคารศึกษายกเว้นอาคารสูงและโรงแรม เพราะมีความแข็งแรงของโครงสร้างสูง



รูปที่ 2 ภาพถ่ายดาวเทียมถ่ายก่อนและหลังเหตุการณ์สึนามิ



รูปที่ 3 ภาพถ่ายของอาคารที่ถูกทำลายและไม่ถูกทำลายจากสึนามิ

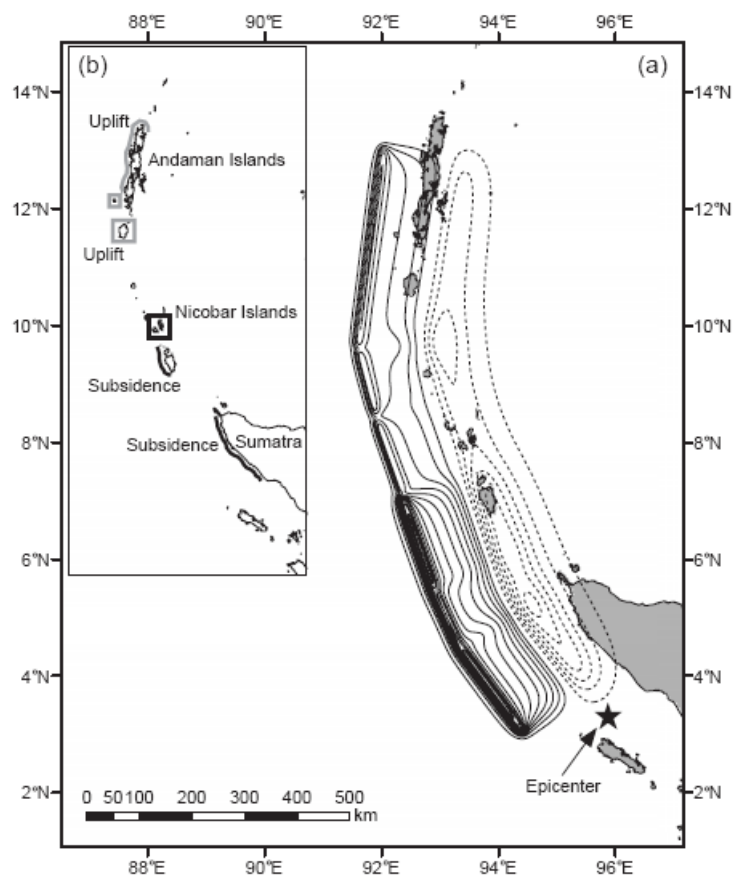
4.แบบจำลองสึนามิ

4.1 แบบจำลองแหล่งกำเนิดสึนามิ

Suppasri et al. (2008) เปรียบเทียบผลของแบบจำลองแหล่งกำเนิดสึนามิ 8 แบบ ที่ใช้จำลองสึนามิในมหาสมุทรอินเดีย ปี พ.ศ. 2547 พวกเขาสรุปว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยศูนย์ควบคุมภัยพิบัติที่ถูกนำมาเสนอในการศึกษาของ Koshimura et al. (2009) (รูปที่4) มีการแก้ไขบางอย่างเป็นรูปแบบที่ดีที่สุดสำหรับจำลองคุณลักษณะของสึนามิเพื่อการศึกษาสึนามิในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งระดับน้ำและรูปคลื่น รูปแบบจำลองแหล่งกำเนิดสึนามิของศูนย์ควบคุมภัยพิบัติตรวจสอบโดยใช้ข้อมูล altimetry Jason-1 สำหรับรอยเลื่อนย่อย 3 รอยเลื่อนของภาคใต้ (รอยเลื่อน 1-3) ภาพจากดาวเทียมและเรดาร์ที่ใช้วัดแนวการเคลื่อนที่ทั้งหมด (รอยเลื่อน 1-6) แสดงการเคลื่อนที่ตามแนวตั้งของรอยเลื่อน พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับรอยเลื่อนของแผ่นดินไหวจากแบบจำลองของศูนย์ควบคุมภัยพิบัติแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 4 แนวการเคลื่อนที่ของพื้นผิวทะเลตามแนวตั้ง (ถือว่าเป็นเงื่อนไขเริ่มต้นของการเกิดคลื่นสึนามิ) ของแต่ละรอยเลื่อนย่อยกับความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ใช้ทฤษฎีที่ได้นำเสนอโดย Okada (1985)

ตารางที่ 2 รายละเอียดอาคารที่เสียหายในพื้นที่ที่ศึกษาโดยประมาณจากภาพถ่ายดาวเทียม

สถานที่	ไม่มีความเสียหาย	มีความเสียหาย	รวม
พังงา (เขาหลัก)	1,285	1,722	3,007
ภูเก็ต (หาดป่าตอง, หาดกมลา)	1,356	233	1,589



รูปที่ 4 แหล่งกำเนิดสึนามิจากแบบจำลองสึนามิในมหาสมุทรอินเดีย ปี พ.ศ. 2547
 (Koshimura et al., 2009c)

4.2 แบบจำลองน้ำท่วมถึงสึนามิ

ใช้แบบจำลองน้ำท่วมถึงสึนามิวิเคราะห์ 2 พื้นที่ที่ศึกษาคือในเขาหลัก (จ.พังงา) และหาดกมลา, หาดป่าตอง (จ.ภูเก็ต) เซ็ตของสมการน้ำตื้นไม่เชิงเส้น สมการที่ (1) – (3) จะถูกลดรูปโดยใช้ leap-frog finite difference (Imamura, 1995) กับความเสียดทานพื้นที่ด้านล่างในรูปแบบของสูตรของ Manning ตามเงื่อนไขของชนิดของพื้นที่

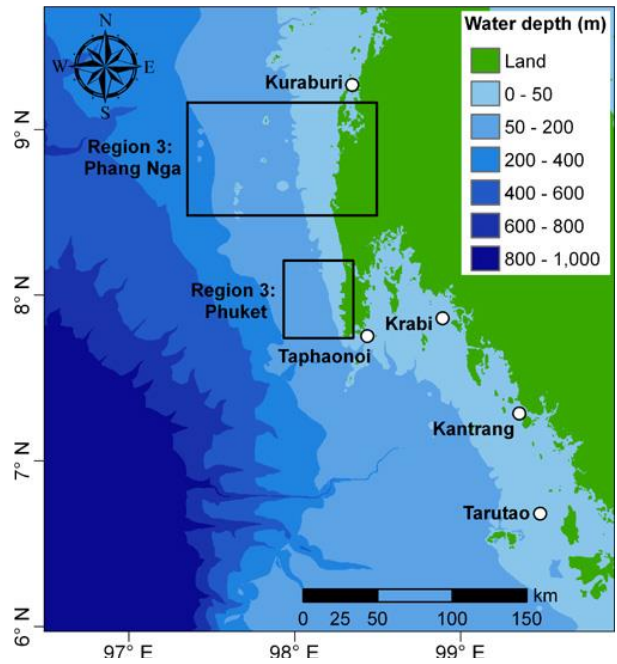
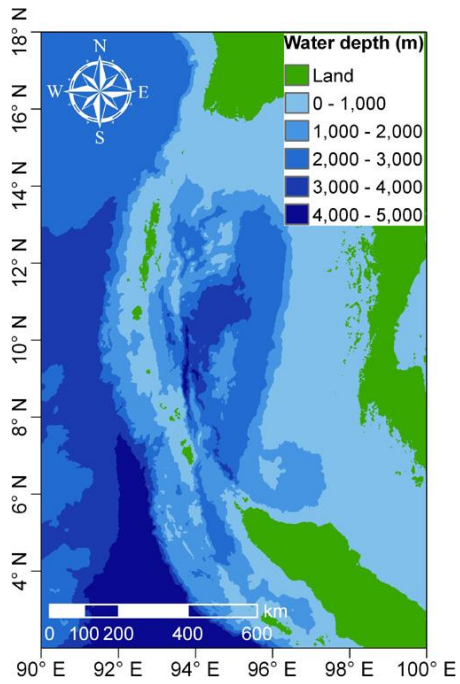
$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (2)$$

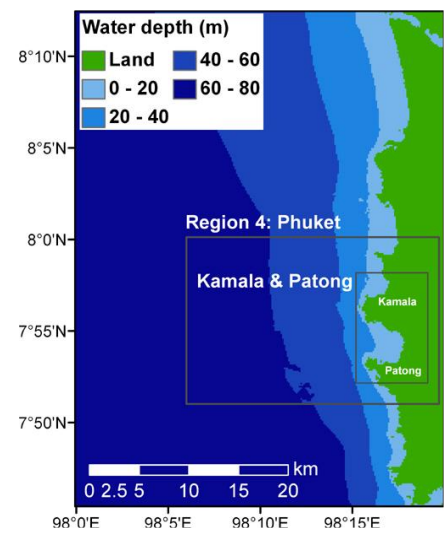
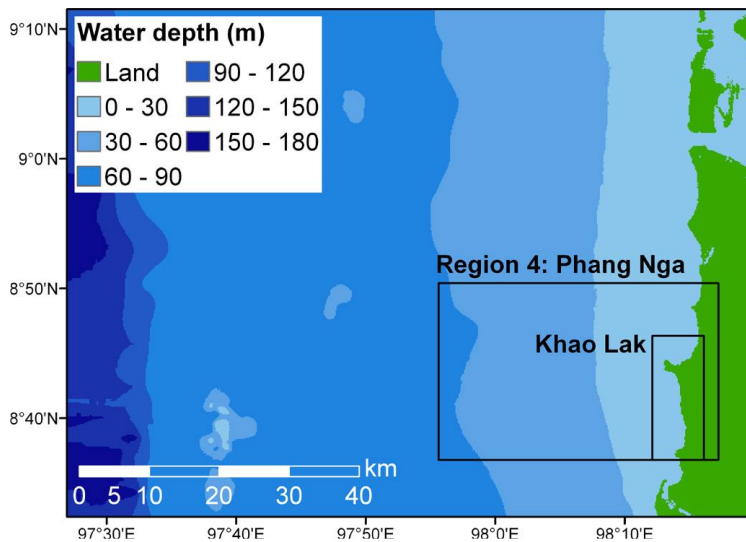
ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ของรอยเลื่อนจากเหตุการณ์สึนามิที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรอินเดีย ปี พ.ศ. 2547

พารามิเตอร์ ของรอยเลื่อน	กลุ่มรอยเลื่อน					
	1	2	3	4	5	6
ละติจูด (° N)	3.03	4.48	5.51	7.14	8.47	9.63
ลองจิจูด (° E)	94.40	93.32	92.87	92.34	91.88	91.57
Strike (deg)	323	335	340	340	345	7
Dip (deg)	15	15	15	15	15	15
Slip (deg)	90	90	90	90	90	90
ความยาว (km)	200	125	180	145	125	380
ความกว้าง (km)	150	150	150	150	150	150
การเคลื่อนที่ (m)	14	12.6	15.1*	7	7	7
ความลึก (km)	10	10	10	10	10	10

* ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าการเคลื่อนที่ของกลุ่มรอยเลื่อนที่ 3 ในแบบจำลองสึนามิสำหรับจังหวัดพังงา เป็น 12 m สำหรับจังหวัดภูเก็ต เป็น 10 m เนื่องจากได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด



รูปที่ 5a พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาจังหวัดพังงาและจังหวัดภูเก็ต



รูปที่ 5b พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา จังหวัดพังงาและจังหวัดภูเก็ต

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (3)$$

โดย

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz \quad (4)$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz \quad (5)$$

$$D = \eta + h \quad (6)$$

ในสมการนี้ M และ N เป็น Discharge flux ของทิศ x และ y

η ระดับน้ำ

h ความลึกของน้ำเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง

การคำนวณขอบเขตของแบบจำลองโดยใช้แผนที่กริด (grid) กริดที่ขนาดใหญ่ที่สุดรูปที่ 5a ซ้ายมือ ขนาดกริด 1855 m ขวามือขนาดกริด 465 m ในขณะที่กริดในรูปที่ 5b ขนาดกริด 155 m โดยแผนที่ได้จาก General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) ในขณะที่รูปที่ 6 และ 7 มีขนาดกริด 52 m ได้จากแผนที่ของกรมอุทกศาสตร์ (Foytong, 2007)

4.3 กฎของแรงต้านทานในพื้นที่ที่คลื่นสึนามิท่วมถึง

โดยทั่วไปแล้วกฎที่ใช้สำหรับแบบจำลองแรงต้านทานการไหลของสึนามิแบ่งเป็นสองวิธีซึ่งขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสิ่งกีดขวางและขนาดของกริด วิธีที่หนึ่งคือ แบบจำลองสภาพภูมิประเทศ (topography model) และ วิธีที่สองคือ แบบจำลองความขรุขระของพื้นผิว (equivalent roughness model) (Hong, 2004) แบบจำลองสภาพภูมิประเทศจะใช้ในกรณีที่ขนาดของกริดละเอียดกว่าสิ่งกีดขวาง สึนามิในแบบจำลองจะไม่ผ่านไปยังพื้นที่กริดที่มีสิ่งกีดขวางอยู่แต่จะจำลองให้สึนามิไหลรอบๆสิ่งกีดขวางและจะหดตัวในกรณีที่อยู่ระหว่างสิ่งกีดขวาง แต่ในงานวิจัยนี้สิ่งกีดขวางมีขนาดเล็กกว่าขนาดของกริดดังนั้นแบบจำลองความขรุขระของพื้นผิวจึงเหมาะที่จะแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้

Aburaya and Imamura (2002) ได้ศึกษาแบบจำลองความขรุขระของพื้นผิวที่เหมาะสม โดยพิจารณาถึงลักษณะของแรงทางอุทกพลศาสตร์ Hong (2004) แสดงผลการคำนวณของแบบจำลองความขรุขระของเขาเทียบกับขนาดของกริด 13.7 เมตร ในอัตราส่วน 43% เมื่อนำไปใช้กับเหตุการณ์สึนามิที่มีผลกระทบกับชายฝั่งตะวันออกของเกาหลีในปี ค.ศ. 1983

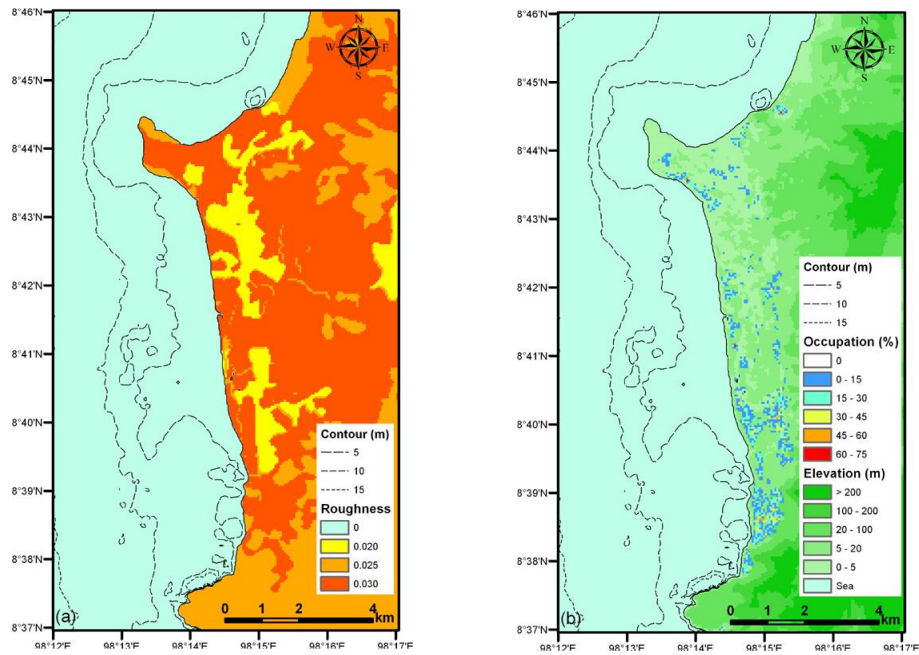
ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning, n.

พื้นเรียบ	0.020
พื้นที่น้ำตื้นหรือชายฝั่งธรรมชาติ	0.025
พื้นที่เกษตรกรรม	0.030
พื้นที่ประชากรหนาแน่น	สมการที่ (7)

4.3.1 ความต้านทานการไหลในพื้นที่ที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย

แบบจำลองความขรุขระเทียบเท่าถูกนำไปใช้ในพื้นที่ 4 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ละเอียดที่สุดคือมีความละเอียด 52×52 ตารางเมตร อธิบายในหัวข้อ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระจะถูกอ้างอิงถึงการใช้ประโยชน์ที่ดินทั่วพื้นที่ศึกษา รูปที่ 6 (ซ้าย) และ 7 (ซ้าย) แสดงการกระจายสัมประสิทธิ์ความขรุขระประยุกต์จากแผนที่การใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษาในช่วงพ.ศ. 2543-2545 จากกรมพัฒนาที่ดิน (ปีพ.ศ. 2552) แผนที่นี้จะใช้ในการกำหนดปริมาณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ($\text{sm}^{-1/3}$) ดังแสดงในตารางที่ 4

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning สำหรับพื้นเรียบมีค่า 0.02 สำหรับเขตน้ำตื้นหรือชายหาดธรรมชาติมีค่า 0.025 และ สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมมีค่า 0.03 อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ในพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นมีผลกับจำนวนของอาคารในแต่ละกริดที่ทำการคำนวณ



รูปที่ 6 พื้นที่ศึกษา: พื้นที่ 4 บริเวณเขาหลัก จังหวัดพังงา แสดงถึงสัมประสิทธิ์ความขรุขระและอัตราส่วนร้อยละของสิ่งปลูกสร้างต่อพื้นที่

4.3.2 ความต้านทานการไหลในเขตที่อยู่อาศัย

Aburaya และ Imamura (2002) ศึกษาทฤษฎีของแรงต้านทานกับสัมประสิทธิ์ความขรุขระ เทียบเท่าคอมโพสิตโดยพิจารณาเงื่อนไขการใช้ที่ดินและอาคารในเมืองที่มีประชากรและสิ่งก่อสร้างหนาแน่น และโดย Koshimura et al . (2009c) นำมาใช้ดังแสดงในสมการ (7)

$$n = \sqrt{n_0^2 + \frac{C_D}{2gd} \times \frac{\theta}{100 - \theta} \times D^{4/3}} \quad (7)$$

n_0 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ($n_0 = 0.025, \text{sm}^{-1/3}$)

θ อัตราส่วนร้อยละของสิ่งก่อสร้างในกริดที่มีความละเอียด 52 เมตร

มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 และได้มาจากการคำนวณพื้นที่สิ่งก่อสร้างที่อยู่ในกริด

โดยใช้ข้อมูล GIS

C_D สัมประสิทธิ์การลาก ($C_D = 1.5$ เช่น FEMA (Federal Emergency Management Agency), 2003)

d สเกลแนวนอนของบ้าน (โดยจะใช้ประมาณ 15 เมตร)

D ความลึกของการไหลของแบบจำลอง

อัตราส่วนในพื้นที่ที่ศึกษาแสดงในรูปที่ 6 (ขวา) และ 7 (ขวา) อัตราส่วนพื้นที่ที่อยู่อาศัยใน จ. พังงา และภูเก็ตมีค่าเฉลี่ยประมาณ 25% และ 40% ตามลำดับ

4.4 ผลจากแบบจำลองน้ำท่วมถึงของคลื่นสึนามิและการตรวจสอบความถูกต้อง

4.4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองและรูปแบบของคลื่นสึนามิ

สร้างแบบจำลองรูปคลื่นสึนามิจากสถานีตรวจวัดระดับน้ำทะเลรอบประเทศไทยจำนวน 5 สถานี (รูปที่ 5a ขวา)เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริง ผลจากชั้นความลึกของระดับน้ำทะเล แสดงโดยการเปรียบเทียบรูปคลื่นที่ได้รับใน บริเวณที่ 1 (R1) และบริเวณที่ 2 (R2) ดังแสดงในรูปที่ 8 จากการจำลองคลื่นสามารถเห็นได้ทั้งระดับน้ำและเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่มาถึงทุกสถานที่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานีคุระบุรี ตะพานน้อย และ กระบี่ ชั้นความลึกที่มีความละเอียดสูงใน R2 มีความละเอียดและความถูกต้องมากเนื่องจากขนาดกริดมีความละเอียดแตกต่างกันถึงสี่เท่า (1855 เมตร ไป 465 เมตร) ดังนั้นผู้วิจัยแนะนำให้ใช้ชั้นความลึกที่มีรายละเอียดสูง จะทำให้รูปแบบคลื่นที่ได้ มีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น

การตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณรูปแบบคลื่นใช้วิธี Root Mean Square Error (RMSE) และ ค่าพารามิเตอร์ K และ κ เสนอโดย Aida (1978) มีรายละเอียดดังนี้

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log K_i \quad (8)$$

$$\log \kappa = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - (\log K)^2} \quad (9)$$

$$K_i = \frac{x_i}{y_i} \quad (10)$$

โดยที่ x_i และ y_i เป็นค่าที่บันทึกและค่าที่ได้จากการคำนวณแอมพลิจูดของคลื่นที่สถานี i ตามลำดับ ดังนั้น K จะหมายถึงค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิต (geometrical mean) ของ K_i และ κ หมายถึงค่าเบี่ยงเบนหรือความแปรปรวนของ K โดยดัชนีเหล่านี้ใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองและผลจากการตรวจวัด

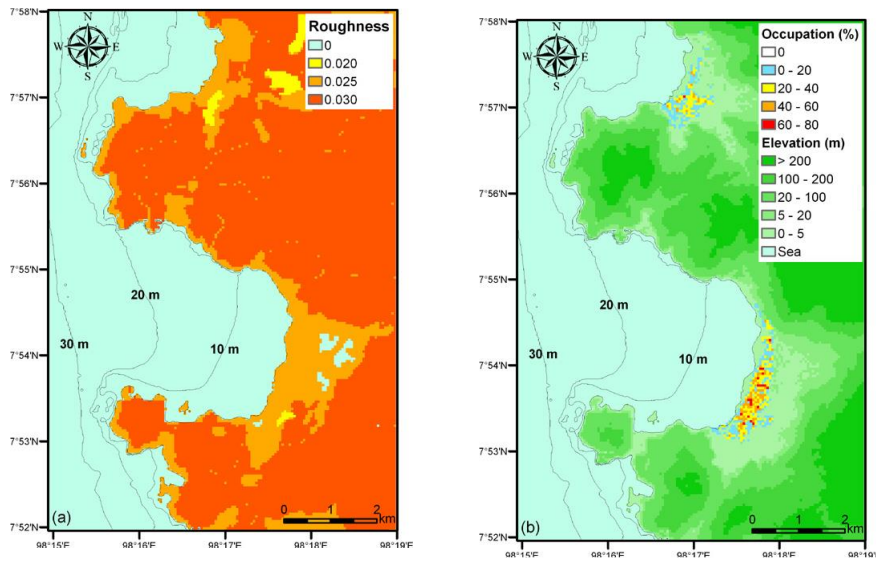
สถานที่ตั้งและรายละเอียดของแต่ละสถานีรวมทั้งแอมพลิจูดของคลื่นแสดงในตารางที่ 5a และตารางที่ 5b แสดงเวลาที่คลื่นเดินทางมาถึง

จากแบบจำลอง ผลลัพธ์โดยรวมได้ผลดี ถึงแม้ว่าบางสถานีเช่น กันตรัง และเกาะตะรุเตา จะให้ค่าแอมพลิจูด และเวลาที่คลื่นเดินทางมาถึงแตกต่างออกไป ค่าของ K และ κ สำหรับคลื่นลูกแรก ท้องคลื่นและยอดคลื่นแสดงในตารางที่ 6 พิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองแหล่งกำเนิดสึนามิ และแบบจำลองรูปแบบคลื่น

ความเร็วของการแตกของรอยเลื่อนที่ใช้ในแบบจำลองนี้เป็นข้อมูล ปี พ.ศ. 2547 มีค่าอยู่ระหว่าง $0.7 - 2.8 \text{ kms}^{-1}$ (Suppasri et al., 2010) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการจำลองรูปคลื่นหาลักษณะการแพร่กระจายรูปแบบคลื่นสึนามิโดยใช้สมการ nonlinear ในพื้นที่ 2 (R2) ความเร็วของการแตกของรอยเลื่อนระหว่าง 1.0 และ 2.5 kms^{-1} ผลที่ได้จะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยของแอมพลิจูด (10-20 ซม.) และเวลาที่คลื่นมาถึง (5-10 นาที) และรูปแบบคลื่นที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ nonlinear (ที่ความลึกระดับน้ำทะเล 465 m) เมื่อไม่คำนึงถึงผลกระทบทางไดนามิกของการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนนี้ ถือได้ว่าเป็นค่าที่ดีที่สุด

4.4.2 การตรวจสอบแบบจำลองน้ำท่วมถึงสึนามิ

ผลจากแบบจำลองจะถูกตรวจสอบโดยใช้ข้อมูลระดับน้ำจากการสำรวจภาคสนามจากทีมงานมหาวิทยาลัยเกียวโต (กลุ่มวิจัย, 2009) และทีมวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CU - EVR, 2009) ทำการตรวจสอบพื้นที่จำนวน 36 และ 70 สถานี (รูปที่ 9) ข้อมูลระดับน้ำหมายถึงร่องรอยที่ปรากฏเครื่องหมายระดับน้ำบนเศษซากสึนามิหรือบนอาคารที่สูงกว่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงตามปกติเมื่อสึนามิมาถึง ในขณะที่ความลึกของน้ำท่วมจะหมายถึงร่องรอยเครื่องหมายระดับน้ำในโครงสร้างหรือเศษซากสึนามิเหนือพื้นดิน



รูปที่ 7 พื้นที่ศึกษา: พื้นที่ 4 บริเวณหาดกมลา / หาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ตและ แสดงถึงสัมประสิทธิ์ความขรุขระและอัตราส่วนร้อยละของสิ่งปลูกสร้างต่อพื้นที่

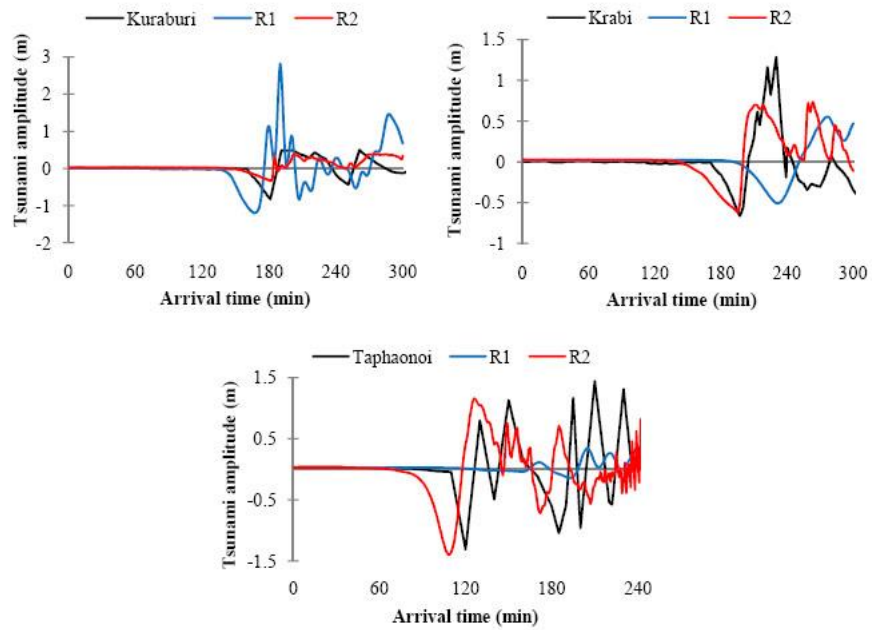
ตารางที่ 5a ข้อมูลและตำแหน่งของสถานีวัดระดับน้ำทะเลใช้สำหรับคำนวณรูปคลื่นกับผลจากแบบจำลอง

สถานีวัดระดับน้ำทะเล	ละติจูด (°N)	ลองจิจูด (°E)	ความลึกของน้ำ (m)	ท้องคลื่น (m)		ยอดคลื่น (m)	
				พื้นที่ 2	บันทึก	แบบจำลอง	บันทึก
1. คุระบุรี	9.25	98.28	13.5	0.83	0.33	0.50	0.40
2. กระปี่	8.01	98.90	1.0	0.66	0.62	1.29	0.73
3. ตะเภาน้อย	7.76	98.43	47.4	1.31	1.56	0.80	1.36
4. กันตรัง	7.26	99.50	3.7	0.58	0.43	0.78	0.65
5. ตะรุเตา	6.72	99.65	8.2	0.92	1.40	1.07	2.60

ตาราง 5b รายละเอียดของสถานีวัดระดับน้ำทะเลสำหรับสถานีที่ตั้งของการคำนวณรูปแบบของคลื่น
และผลการคำนวณจากแบบจำลอง

สถานี	เวลาที่คลื่นเคลื่อนที่มาถึง (นาที)					
	ท้องคลื่นลูกแรก			ยอดคลื่นลูกแรก		
	บันทึก	แบบจำลอง	แตกต่าง*	บันทึก	แบบจำลอง	แตกต่าง*
1.คุระบุรี	181	183	+2	201	203	+2
2.กระบี่	200	194	-6	230	217	-13
3.ตะกวน้อย	120	110	-10	130	127	-3
4. กันตัง	258	217	-41	290	283	-7
5.ตะรุเตา	175	194	-19	180	207	+27

* เครื่องหมายบวกหมายถึงเวลาที่มาถึงช้า เครื่องหมายลบหมายถึงเวลาที่มาถึงก่อน



รูปที่ 8 ตัวอย่างของการเปรียบเทียบรูปคลื่นสำหรับข้อมูลจากสถานีวัดระดับน้ำทะเลเลขของประเทศไทย

ตารางที่ 6 การตรวจสอบของผลการจำลองรูปแบบของคลื่น

ผลจากแบบจำลอง	RMSE (m)	K	κ	ค่าเฉลี่ย Δt
ท้องถิ่นลูกแรก	0.34	1.15	1.58	-16
ยอดคลื่นลูกแรก	0.77	0.92	1.71	-10

ตารางที่ 7 การตรวจสอบ การสร้างแบบจำลองระดับน้ำสูงสุดและความลึกของน้ำท่วม

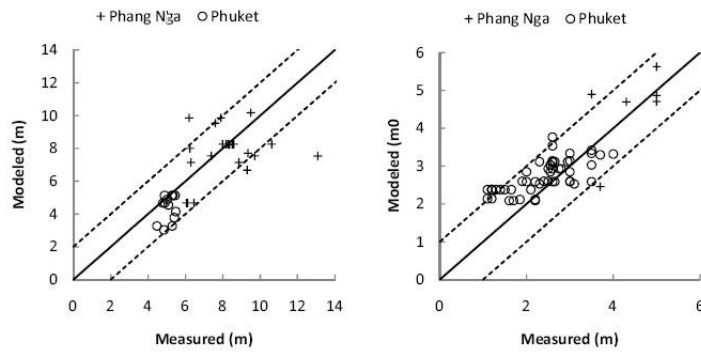
ผลจากแบบจำลอง	RMSE (m)	K	κ
ระดับน้ำ (n = 36)	1.67	1.10	1.24
ความลึกของน้ำท่วม (n = 70)	0.66	0.84	1.30

แบบจำลองความลึกของน้ำท่วมแสดงใน รูปที่ 10 และ 11 ในจังหวัดพังงา ความเสียหายเนื่องจากระดับน้ำและความลึกของน้ำท่วมถึงที่ 10 เมตรและ 6 เมตรตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าจังหวัดภูเก็ตที่ 5 เมตรและ 4 เมตรตามลำดับ จากรูปที่ 9 ค่าของระดับน้ำที่ยอมรับได้ที่ 2 เมตร แต่มากกว่า 1 เมตรสำหรับความลึกของน้ำท่วมถึง ระยะทางน้ำท่วมถึงในพื้นที่เขาหลัก จังหวัดพังงา ประมาณ 2 กิโลเมตร เพราะคลื่นขนาดใหญ่และภูมิประเทศเป็นพื้นราบ ในทางกลับกันระยะทางน้ำท่วมในป่าตองและหาดกมลา จังหวัดภูเก็ตมีระยะน้อยกว่า 1 กิโลเมตร เนื่องจากเป็นคลื่นขนาดเล็กและเคลื่อนผ่านอาคารสิ่งปลูกสร้างและประชากรที่อยู่อย่างหนาแน่น

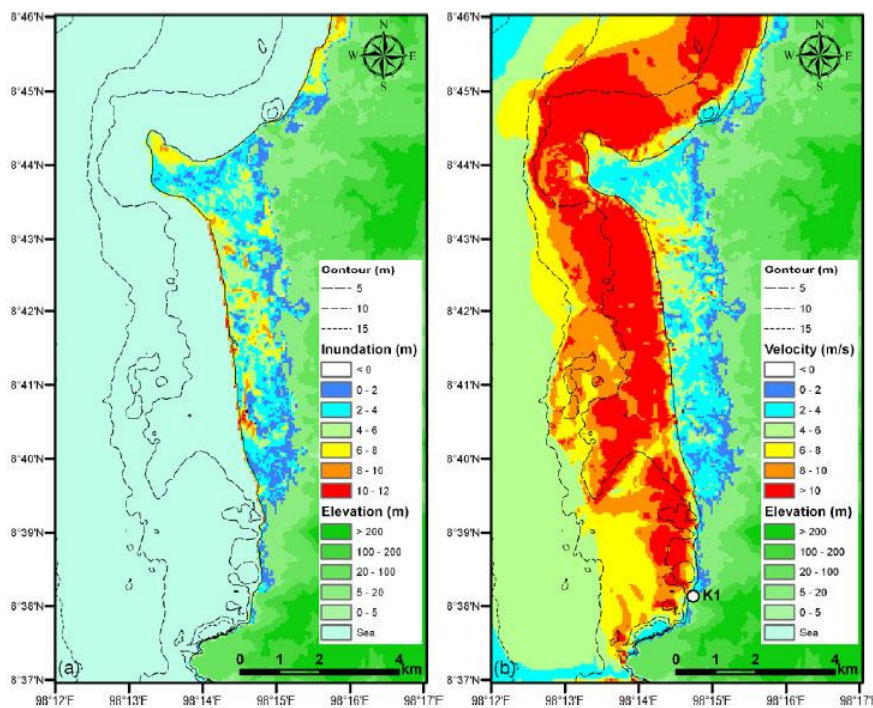
นอกจากนั้น ได้คำนวณหาความถูกต้องของระดับน้ำและความลึกของน้ำท่วม ได้โดยใช้ Root Mean Square Error (RMSE) และค่า K และ κ เสนอโดย Aida (1978) ที่ได้อธิบายไว้ใน สมการ (8) ถึง สมการ (10) แต่ตอนนี้ K_i จะหาได้โดยสมการดังต่อไปนี้

$$K_i = \frac{R_i}{H_i} \quad (11)$$

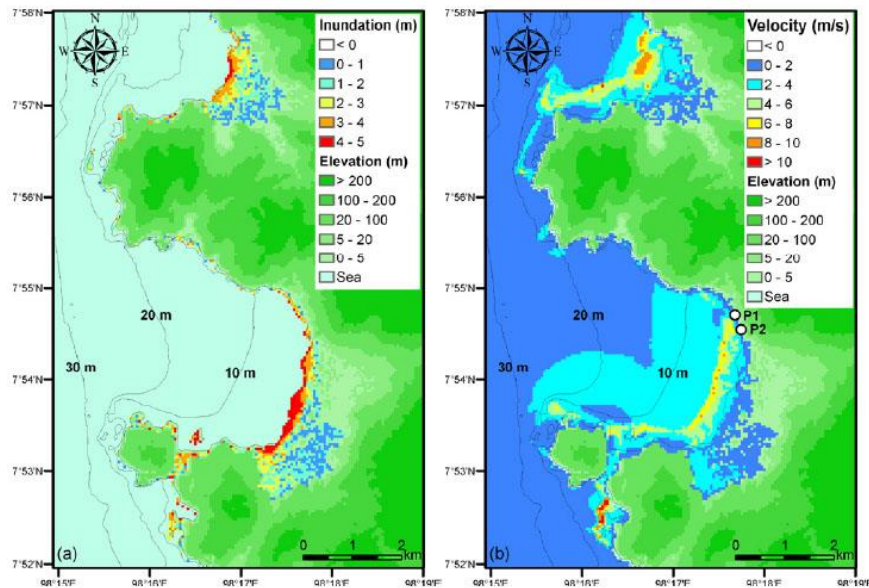
ในสมการนี้ R_i และ H_i แสดงถึงค่าที่วัดได้และค่าของแบบจำลองของความสูงของน้ำท่วมและความลึกของน้ำท่วมที่จุด i ค่า K และ κ สำหรับระดับจำลองน้ำ ($n = 36$) และระดับความลึกน้ำท่วม ($n = 70$) ที่ได้คำนวณไว้ดังแสดงในตารางที่ 7 สมาคมวิศวกรรมโยธา ประเทศญี่ปุ่น (JSCE 2002) ได้กำหนดเกณฑ์ในการประเมินผลแบบจำลองแหล่งกำเนิดสึนามิและแบบจำลองน้ำท่วมถึง โดยกำหนดให้ $0.95 < K < 1.05$ และ $\kappa < 1.45$ เป็นค่าที่ยอมรับได้ในการศึกษานี้ ค่า κ จะตรงตามค่ามาตรฐานที่ให้ไว้ ในขณะที่ค่า K จะมีค่าเกินกว่าที่กำหนด ในกรณีนี้ ผลการจำลองไม่เป็นที่ยอมรับแต่ผลลัพธ์ที่ได้ถูกปรับปรุงและตรวจสอบโดยใช้ข้อมูลคลื่นสึนามิที่บันทึกได้ (รูปที่ 8) นอกจากนี้แบบจำลองที่ดีที่สุดที่สามารถดำเนินการภายใต้ข้อจำกัดของการใช้แบบจำลองสึนามิ ปี พ.ศ. 2547 และใช้ข้อมูลความลึกของทะเลเฉลี่ยตื้นที่สุดที่ 52 เมตร



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบผลการจำลองและการตรวจวัดข้อมูลของระดับน้ำและความลึกของน้ำท่วม



รูปที่ 10 แบบจำลองความลึกของน้ำท่วมถึงและความเร็วสึนามิ ที่เขาหลัก จังหวัดพังงา



รูปที่ 11 แบบจำลองความลึกของน้ำท่วมถึงและความเร็วสึนามิ ที่หาดกมลาและหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

ตรวจสอบแบบจำลองสึนามิโดยใช้ความเร็วกระแสน้ำสูงสุดจากการศึกษาความเร็วสึนามิจากวิดีโอของผู้รอดชีวิตโดย Foytong (2007) ที่ริมชายหาดในพื้นที่เขาหลักวัดความเร็วที่ 8.0 เมตรต่อวินาที ซึ่งรับการตรวจสอบโดยใช้แบบจำลองที่ระดับความเร็ว 8.3 เมตรต่อวินาที (รูปที่ 10, จุด k1) พื้นที่ทั้งสองแห่งที่หาดป่าตอง วัดได้ 8.9 และ 7.0 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ โดยการตรวจสอบความเร็วในแบบจำลองที่ระดับความเร็ว 6.3 และ 6.1 เมตรต่อวินาที (รูปที่ 11, จุด P1 และ P2)

5. การพัฒนาเส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิ

จากการตรวจสอบสภาพอาคารที่ถูกทำลาย กราฟคุณสมบัติของสึนามิ (ระดับความลึกของน้ำที่ท่วม, ความเร็วกระแสน้ำและแรงทางอุทกพลศาสตร์) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอาคารที่เสียหายและไม่เสียหาย ความน่าจะเป็นของอาคารที่เสียหายและค่าที่ไม่ต่อเนื่องจะถูกคำนวณและเปรียบเทียบกับค่ามัธยฐาน ในจังหวัดพังงาประมาณ 100 อาคาร และในจังหวัดภูเก็ต 50 อาคาร ซึ่งการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นจะถูกนำไปดำเนินการในการพัฒนาฟังก์ชันการพังทลาย

ความน่าจะเป็นสะสม (P) ของความเสียหายที่เกิดขึ้น เป็นไปตามสมการที่ 12 หรือสมการที่ 13

$$P(x) = \Phi \left[\frac{x - \mu}{\sigma} \right] \quad (12)$$

$$P(x) = \Phi \left[\frac{\ln x - \mu'}{\sigma'} \right] \quad (13)$$

Φ ฟังก์ชันการแจกแจงมาตรฐานปกติ (lognormal)

x อุทกพลศาสตร์ของคลื่นสึนามิ (เช่นระดับความลึกของน้ำที่ท่วมถึง
ความเร็วกระแสน้ำและแรงทางอุทกพลศาสตร์)

μ และ σ (μ' และ σ') ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ x ($\ln x$)

ทั้งสองตัวแปรของฟังก์ชันการพังทลาย μ และ σ (μ' และ σ') ได้มาจากการพล็อต x ($\ln x$)
แปรผกผันกับ Φ และวิเคราะห์โดยใช้ least-square fitting ดังนั้นทั้งสองตัวแปรจะได้จากการ
intercept (= μ หรือ μ') และค่าสัมประสิทธิ์เชิงมุม (= σ หรือ σ') ในสมการที่ 14 หรือ 15

$$x = \sigma \Phi^{-1} + \mu \quad (14)$$

$$\ln x = \sigma' \Phi^{-1} + \mu' \quad (15)$$

การวิเคราะห์การถดถอย ตัวแปรจะถูกกำหนดไว้ในตารางที่ 8 เพื่อให้เหมาะสมกับเส้นโค้งการ
พังทลาย โดยคำนึงถึงระดับความลึกของน้ำที่ท่วมถึง(รูปที่ 12) ความเร็วกระแสน้ำสูงสุด(รูปที่13)
และแรงทางอุทกพลศาสตร์ที่กระทำต่อโครงสร้างคือแรงต่อหน่วยความกว้างดังสมการ

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho u^2 D \quad (16)$$

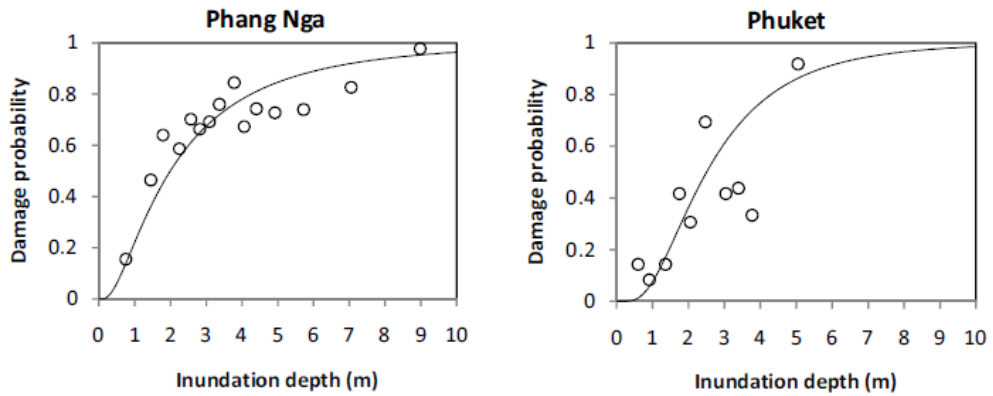
เมื่อ C_D ค่าสัมประสิทธิ์การลาก ($C_D = 1$ เพื่อให้ง่ายในการคำนวณ)

ρ ความหนาแน่นของน้ำ (= 1000 kgm^{-3})

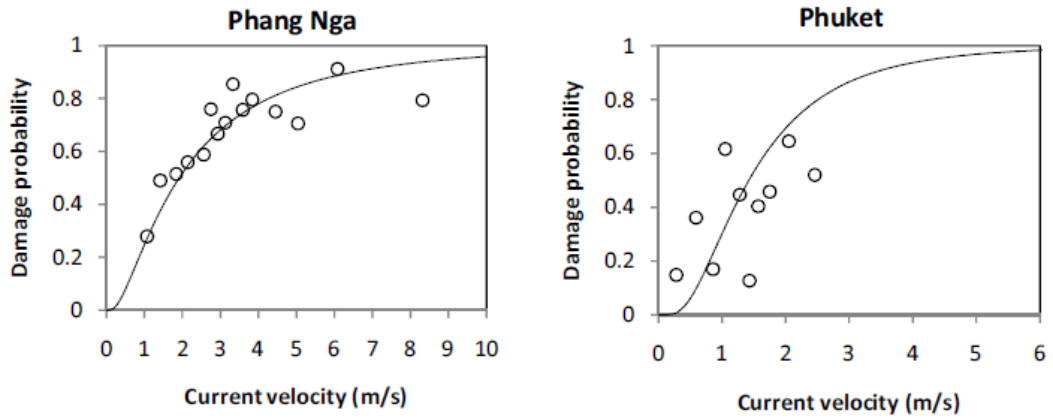
u ความเร็วกระแสน้ำ (ms^{-1})

และ D ระดับความลึกของน้ำที่ท่วม (m)

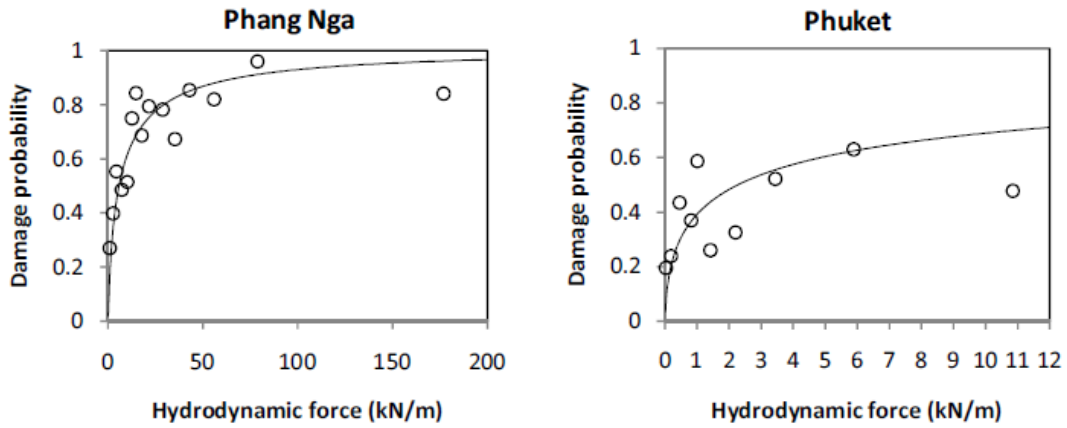
งานวิจัยนี้ฟังก์ชันการพังทลายเกี่ยวข้องกับระดับความลึกของน้ำที่ท่วม, ความเร็วกระแสน้ำ และแรงทางอุทกพลศาสตร์ ที่กำหนดโดยมาตรฐานฟังก์ชันการแจกแจงล็อกปกติ ประกอบด้วย μ' และ σ'



รูปที่ 12 เส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิของโครงสร้างที่เสียหายกับระดับความลึกของน้ำท่วม



รูปที่ 13 เส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิของโครงสร้างที่เสียหายกับความเร็วของกระแสน้ำ



รูปที่ 14 เส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิของโครงสร้างที่เสียหายกับแรงทางอุทกพลศาสตร์

ตารางที่ 8 พารามิเตอร์ของเส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิ

เขาหลัก , พังงา					
X สำหรับฟังก์ชันการพังทลาย P(x)	μ	σ	μ'	σ'	R^2
ระดับความลึกของน้ำท่วมถึง (m)	-	-	0.689	0.903	0.80
ความเร็วกระแสน้ำ (ms^{-1})	-	-	0.649	0.952	0.72
แรงทางอุทกพลศาสตร์ต่อความกว้าง (kNm^{-1})	-	-	1.748	1.937	0.75
หาดกมลา/หาดป่าตอง , ภูเก็ต					
X สำหรับฟังก์ชันการพังทลาย P(x)	μ	σ	μ'	σ'	R^2
ระดับความลึกของน้ำท่วมถึง (m)	-	-	0.917	0.642	0.62
ความเร็วกระแสน้ำ (ms^{-1})	-	-	0.352	0.675	0.32
แรงทางอุทกพลศาสตร์ต่อความกว้าง (kNm^{-1})	-	-	0.821	3.000	0.50

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบฟังก์ชันการพังทลายที่พัฒนาและนำเสนอ

ความน่าจะเป็นของความเสียหาย (%)	บันดาอาเจอร์ห์ (อินโดนีเซีย)	โอกูซิริ (ญี่ปุ่น)	พังงา (ไทย)	ภูเก็ต (ไทย)	6 จังหวัดในประเทศไทย*
25	2.25	1	1.5	2	4
50	3	1.5	3	3	6.25
75	4	2	4.5	3.75	10
100	6	5	8	6	>10

6. สรุปและอภิปราย

6.1 การเปรียบเทียบระหว่างการพัฒนาและ เส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิที่มีอยู่

ตารางที่ 9 ศึกษาเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความเสียหายจากระดับความลึกของน้ำท่วม ระหว่างการพัฒนาเส้นโค้งการพังทลายในข้างต้น ผลจากบันดาอาเจอร์ห์, โอกูซิริ, พังงาและภูเก็ต แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความเสียหายซึ่งมีแนวโน้มเดียวกัน ซึ่งได้จากการรวบรวมสิ่งก่อสร้างที่เสียหาย ซึ่งที่ระดับ 2-3 เมตรมีค่าความเสียหาย 25%, ที่ระดับ3-4 เมตรมีค่าความเสียหาย 50% และที่ระดับความลึกเกิน 6 เมตรมีค่าความเสียหาย 100% เส้นโค้งการพังทลาย จะถูกพัฒนาจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 6 จังหวัดในประเทศไทย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงค่าความน่าจะเป็นของความเสียหาย นอกจากนี้เส้นโค้งการพังทลายก็สอดคล้องกับหลักเกณฑ์การทำลายโครงสร้างของมัตสึโตะมิ จากการสำรวจข้อมูล(ตารางที่10) โดยสรุปแล้ว เส้นโค้งการพังทลาย ที่สำรวจโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดสูงในแต่ละสถานที่ที่มีความแตกต่างกันไม่มากนัก และในแต่ละระดับก็มีความแตกต่างกันเล็กน้อย ลักษณะของคลื่นสึนามิและวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างของแต่ละประเทศในเอเชียมีความแตกต่างกัน ดังนั้น เส้นโค้งการพังทลาย ที่ได้จึงแตกต่างกัน สำหรับสึนามิในทวีปอื่นๆ ผู้ใช้งานต้องตรวจสอบความเสียหายของอาคารเปรียบเทียบกับคลื่นสึนามิ ควรเลือกใช้ เส้น

โค้งการพังทลาย ดังเหตุผลที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง สถานที่ ผลกระทบในพื้นที่ และข้อจำกัดของแบบจำลองเชิงตัวเลข

6.2 เส้นความโค้งของการพังทลายจากสึนามิสำหรับทำลายสิ่งปลูกสร้างในประเทศไทย และสิ่งปลูกสร้างที่แตกต่างออกไป

ตามจำนวนประชากรและข้อมูลเคหะจากสำนักงานสถิติแห่งชาติของประเทศไทย(พ.ศ.2551) โครงสร้างของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารในสองพื้นที่กรณีศึกษาที่แตกต่างกันอย่างมากรวม (ดังตารางที่ 11) อำเภอเขาหลักเป็นอำเภอขนาดใหญ่ตั้งอยู่นอกเขตเทศบาลจังหวัดพังงาซึ่งเคยได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์สึนามิ ในทางกลับกัน หาดกมลาและหาดป่าตองเป็นเขตพื้นที่ตั้งอยู่ในเขตเทศบาลซึ่งหนาแน่นไปด้วยสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อการค้าและสำหรับนักท่องเที่ยว จำนวนวัสดุชนิดที่นำกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้สำหรับงานก่อสร้างในจังหวัดพังงาคิดเป็นร้อยละ 11.7% ในจังหวัดภูเก็ตคิดเป็นร้อยละ 5.6% ในทางกลับกัน ในจังหวัดภูเก็ตใช้วัสดุก่อสร้างที่เป็นคอนกรีตหรืออิฐคิดเป็นร้อยละ 44.2% ของสิ่งปลูกสร้างในขณะที่จังหวัดพังงาใช้คอนกรีตหรืออิฐในการสร้างบ้านเรือนคิดเป็นร้อยละ 33.6% ด้วยเหตุนี้จึงเห็นได้ชัดว่าสิ่งปลูกสร้างในจังหวัดภูเก็ตแข็งแรงกว่าสิ่งปลูกสร้างในจังหวัดพังงา

สิ่งก่อสร้างที่ถูกทำลายในจังหวัดภูเก็ตและพังงามีลักษณะต่างแตกต่างกันเนื่องจากวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง โดยสังเกตได้จากเส้นความโค้งของการพังทลายที่เกิดขึ้น แม้ว่าความสูงคลื่นเท่ากับ 6 เมตร และเป็นไปได้ที่จะเกิดการสูญเสีย 100% ของทั้งสองพื้นที่ แต่ในจังหวัดพังงาได้รับผลกระทบจากคลื่นสูงเพียง 2 เมตร ซึ่งถือว่าไม่รุนแรงมากนัก แต่ถูกทำลายถึง 35% ในขณะที่จังหวัดภูเก็ตถูกทำลายจากเหตุการณ์สึนามิคิดเป็น 25% ซึ่งน้อยกว่าจังหวัดพังงา จากข้อมูลล่าสุดในเรื่องสิ่งปลูกสร้างที่ได้รับความเสียหายในภูเก็ตนั้นยังไม่เพียงพอต่อการกำหนดกำลังความเร็วของกระแสน้ำและกำลังอุทกพลศาสตร์ที่ส่งผลต่อความน่าจะเป็นให้เกิดความเสียหาย 100% การประมาณความน่าจะเป็นของความเสียหาย สามารถหาได้จากภาพที่ถ่ายก่อนเกิด และหลังเกิดสึนามิ โดยใช้หลังคาบ้านในการพิจารณา โดยดูจากโครงสร้างที่เกิดความเสียหายซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดจากระดับน้ำท่วมของสึนามิ นอกจากนี้ยังมีผลกระทบจากเศษซากที่ลอยอยู่มากมาย บางอาคารอาจยังได้รับความเสียหายจากเศษซากที่ลอยอยู่เหล่านี้แม้ว่าน้ำจะท่วมไม่ถึง และความเร็วของกระแสน้ำจะไม่มากก็ตาม กล่าวอีกนัยหนึ่ง การคำนวณแรงทางอุทกพลศาสตร์ที่แสดงในเส้นความโค้งของการพังทลายจากสึนามิ อาจจะมี

การประมาณค่าที่สูงเกินไป เพราะสิ่งปลูกสร้างที่ถูกทำลายโดยเศษซากสึนามิต้องอาศัยแรงทางอุทกพลศาสตร์น้อยกว่าสิ่งปลูกสร้างที่เกิดจากน้ำท่วมอย่างเดียว ในเงื่อนไขที่มีระดับความเสียหายเท่ากัน

Koshimura และคณะ (2009c) แนะนำให้ใช้ฟังก์ชันการพังทลายโดยใช้ความลึกของน้ำท่วม ซึ่งไม่เกี่ยวกับกับการประมาณของแบบจำลอง โดยการประมาณค่าความเร็วของกระแสน้ำมีผลต่อความละเอียดของกริดซึ่งขึ้นอยู่กับความถูกต้องของภูมิประเทศ และกฎของความต้านทาน

6.3 เส้นความโค้งของการพังทลายจากสึนามิสำหรับวัสดุที่แตกต่างกันในการก่อสร้าง

ฐานข้อมูลการสำรวจคลื่นสึนามิในประเทศไทย มีให้บริการโดย Foytong (2007) และที่มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ (CUEVR 2009) ในความเป็นจริง Foytong (2007) ได้นำเสนอ เส้นความโค้งของการพังทลายจากสึนามิสำหรับความเสียหาย 3 ระดับ ของสิ่งปลูกสร้างที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กโดยเขาได้ใช้ข้อมูลตอนที่ 0.5 เมตร ในการคำนวณความน่าจะเป็นของเส้นความโค้งของการพังทลาย (สำหรับแต่ละระดับของกาพังทลาย) แต่อย่างไรก็ตามฐานข้อมูลดังกล่าวก็ไม่ได้ครอบคลุมถึงช่วงความลึกของน้ำท่วม ตัวอย่างเช่น ในฐานข้อมูลนี้ไม่มีสิ่งปลูกสร้างใดถูกทำลายในระดับ 3 ในช่วงระหว่าง 3.5 – 6.0 เมตร ซึ่งทำให้ความน่าจะเป็นของ 5 จุด ในช่วงเวลานี้เป็นศูนย์ในการสร้างเส้นโค้ง กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ความน่าจะเป็นของความพังทลายระดับ 3 จะเท่ากับ 0 ในช่วงน้ำท่วมสูง 3.5 – 6.0 เมตร และจะเท่ากับ 1 เมื่อน้ำท่วมสูงกว่า 6.0 เมตร เพื่อหลีกเลี่ยงความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลในการศึกษานี้ได้คำนวณความน่าจะเป็นของการพังทลายโดยใช้จำนวนตัวอย่างของสิ่งปลูกสร้างที่เท่ากัน ซึ่งทุกๆ 100 อาคารในพังงา (จากทั้งหมด 3007 อาคาร) และทุกๆ 50 อาคารในภูเก็ต (จากทั้งหมด 1589 อาคาร) ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 5.2 แล้ว คุณสมบัติของสึนามิ เช่น ความสูงของน้ำท่วมได้มาจากค่าเฉลี่ยจากกลุ่มตัวอย่าง 50 หรือ 100 อาคาร

การใช้ข้อมูลการพังทลายของตึกเดียวกัน แต่การใช้วิธีการที่ต่างกัน ทำให้เส้นความโค้งของการพังทลายของสึนามิทั้งระดับ 3 สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC) ได้แสดงให้เห็นจากกราฟ รูปที่ 15 สำหรับพารามิเตอร์ที่มีผลต่อเส้นความโค้งของการพังทลายได้แสดงไว้ในตารางที่ 12 โดยระดับความเสียหาย 1,2 และ3 แทนด้วยความเสียหายของโครงสร้างส่วนที่ 1 คือ คาน เสา และฐานราก ส่วนที่ 2 คือ หลังคาและผนัง และส่วนที่ 3 คือ การยุบตัว ตามลำดับ จากตัวอย่าง ระดับ

ความสูงของน้ำท่วม 3 เมตร ความน่าจะเป็นของการพังทลายระดับ 1,2 และ 3 แทนด้วย 1.0 , 0.7 และ 0.2 ตามลำดับ ในทางกลับกัน ข้อมูลดิบการพังทลายของโครงสร้างทั้งในพังงา และภูเก็ต ได้นำมารวมกัน ใช้ฟังก์ชันของความสูงของน้ำท่วมจากเส้นความโค้งของการพังทลาย โดยคิดจากวัสดุทุกอย่างที่ใช้ในการก่อสร้างในประเทศไทย (ดังแสดงในรูปที่ 16) จากรูปที่ 16 แสดงให้เห็นถึงเส้นโค้งความพังทลายของบ้านไม้ในญี่ปุ่น (Koshimura และคณะ 2009a) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพด้านโครงสร้างจากวัสดุก่อสร้างต่างๆ ความโค้งของการพังทลายที่แสดงในพารามิเตอร์เป็นรูปแบบวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 13 พร้อมกับการเปรียบเทียบด้านความเสียหายในระดับ 3 ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก และบ้านไม้ การปรับเปลี่ยนเส้นโค้งการพังทลายให้ดีขึ้นจากรูปที่ 16 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการสำรวจโดย Maysutomi และ Harada (2010) เป็นข้อมูลที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากสิ่งปลูกสร้างจากไม้ที่ได้รับความเสียหายในระดับปานกลางถึงขั้นรุนแรงเริ่มจาก 1.5 และ 2 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นจึงสันนิษฐานได้ว่าความเสียหายจากน้ำท่วมสูงของที่น้อยกว่า 2 เมตรนั้นมีส่วนทำลายสิ่งปลูกสร้างจากไม้และน้ำท่วมสูงตั้งแต่ 2 เมตรขึ้นไปมีส่วนทำลายสิ่งปลูกสร้างจากคอนกรีตและอิฐเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นน้ำท่วมสูง 7-8 เมตรในหลายๆ พื้นที่แสดงให้เห็นเป็นเส้นทึบและเส้นปะ นอกจากนี้สิ่งปลูกสร้างจาก คอนกรีตเสริมเหล็กที่แสดงในรูปที่ 16 นั้น เกิดความเสียหายจากระดับน้ำท่วมสูงมากกว่า 10-12 เมตรขึ้นไป

ตารางที่ 10 เกณฑ์การพังทลายสิ่งก่อสร้างของมัตสึโตะ

วัสดุในการ ก่อสร้าง	รุนแรงปานกลาง			รุนแรงมาก		
	น้ำท่วมสูง (m)	ความเร็ว กระแสน้ำ (ms ⁻¹)	แรงทางอุทก พลศาสตร์ (kNm ⁻¹)	น้ำท่วมสูง (m)	ความเร็ว กระแสน้ำ (ms ⁻¹)	แรงทางอุทก พลศาสตร์ (kNm ⁻¹)
คอนกรีตเสริม เหล็ก	-	-	-	>8.0	>5.8	>155-281
หิน อิฐ หรือ คอนกรีต	3.0	3.6	21.8 - 39.6	7.0	5.5	118 - 215
ไม้	1.5	2.5	5.4 - 9.9	2.0	2.9	9.7 - 17.6
ระดับการพังทลาย	ส่วนมากเสาจะยังคงเหลืออยู่ แต่ผนังยังมีร่องรอยความเสียหาย			ผลความเสียหายทั้งหมดของผนังที่แตก หรือยุบตัว ส่วนมากจะพบที่เสา		

ตารางที่ 11 จำนวนคร่าวเรือนแบ่งตามวัสดุที่ใช้ในโครงสร้างของที่พักอาศัย และเขตการปกครอง

(ในปีพ.ศ. 2543)

วัสดุที่ใช้ในโครงสร้างที่อยู่อาศัย และพื้นที่	พังงา (นอกเขตเทศบาล)		ภูเก็ต (เขตเทศบาล)	
จำนวนทั้งหมด (ครัวเรือน/ เปอร์เซนต์)	50975	100.0	26238	100.0
ปูนซีเมนต์ หรืออิฐ	17146	33.6	11586	44.2
ไม้ และปูนซีเมนต์ หรือ อิฐ	6490	12.7	3860	14.7
วัสดุถาวรเป็นส่วนใหญ่	21042	41.3	9191	35.0

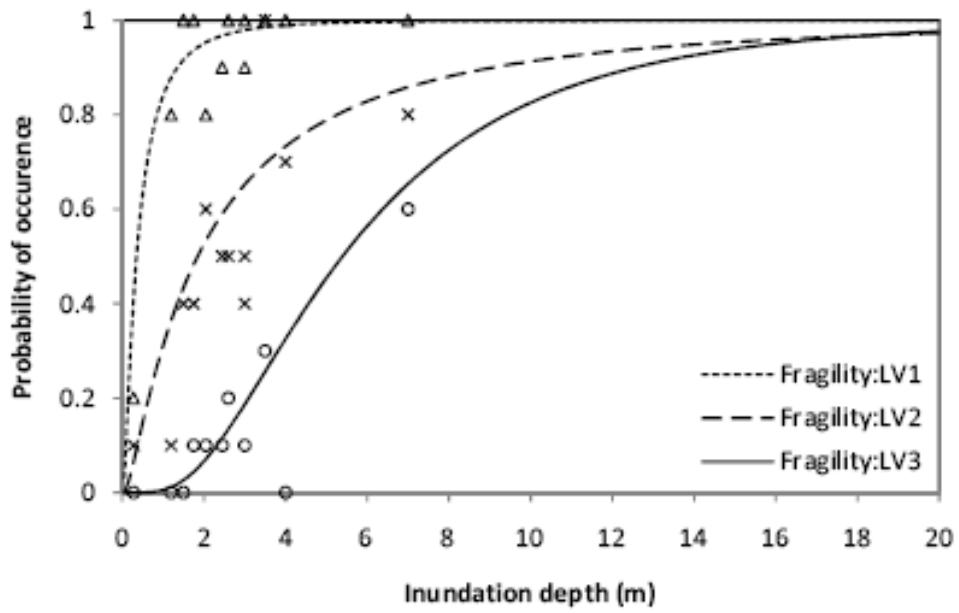
วัสดุที่ชั่วคราว	5323	10.4	1016	3.9
วัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่	659	1.3	456	1.7
ไม่ทราบ	314	0.6	131	0.5

ตารางที่ 12 พารามิเตอร์สำหรับเส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิที่ทำลายโครงสร้างของคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเทียบกับระดับความสูงของน้ำท่วม

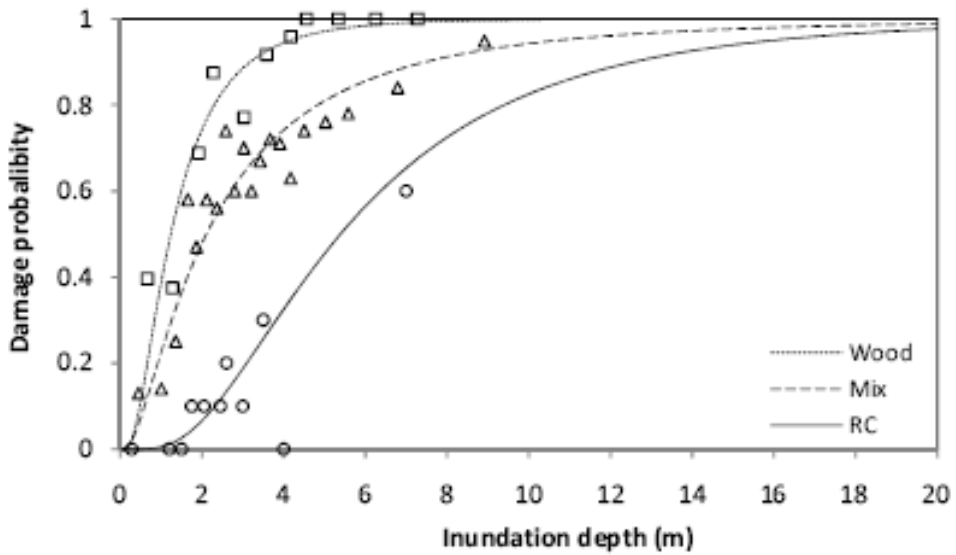
ฟังก์ชันของการพังทลาย $P(x)$	μ	σ	μ'	σ'	R^2
ความเสียหายระดับ 1 (RC)	-	-	-1.037	1.0455	0.83
ความเสียหายระดับ 2 (RC)	-	-	0.615	1.241	0.71
ความเสียหายระดับ 3 (RC)	-	-	1.686	0.660	0.77

ตารางที่ 13 พารามิเตอร์สำหรับเส้นความโค้งของการพังทลายจากสึนามิที่ทำลายโครงสร้างของวัสดุก่อสร้างประเภทผสม โดยเทียบกับระดับความสูงของน้ำท่วม

ฟังก์ชันของการพังทลาย $P(x)$	μ	σ	μ'	σ'	R^2
วัสดุผสม	-	-	0.747	0.984	0.88
ความเสียหายระดับ 3 (RC)	-	-	1.686	0.660	0.77
ไม้	-	-	0.241	0.697	0.83



รูปที่ 15 เส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิที่ทำลายโครงสร้างของคอนกรีตเสริมเหล็กโดยเทียบกับระดับความสูงของน้ำท่วม



รูปที่ 16 เส้นโค้งการพังทลายจากสึนามิที่ทำลายโครงสร้างของคอนกรีตเสริมเหล็ก และโครงสร้างของวัสดุก่อสร้างประเภทผสมโดยเทียบกับระดับความสูงของน้ำท่วม

6.4 สรุป

แบบจำลองสึนามิที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรอินเดีย ปีพ.ศ. 2547 ใช้ข้อมูลชั้นความลึกของท้องทะเลที่มีความละเอียดสูงเพื่อศึกษาคุณลักษณะของสึนามิและสร้างแบบจำลองน้ำท่วมถึงของสึนามิแบบจำลองการส่งผ่านพลังงานของสึนามิตตรวจสอบความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบกับรูปแบบคลื่นที่บันทึกได้จากสถานีวัดระดับน้ำทะเลรอบๆประเทศไทย การจำลองแสดงผลลัพธ์ของข้อมูลลักษณะภูมิประเทศของท้องทะเลเมื่อมีการปรับปรุงรูปแบบคลื่นสึนามิจำลองจากสถานีวัดระดับน้ำทะเลผลของแบบจำลองน้ำท่วมถึงของคลื่นสึนามิถูกตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจระดับความลึกของน้ำท่วมถึงและความเร็วของกระแสน้ำจากเทปบันทึกภาพของผู้รอดชีวิต ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเป็นแบบจำลองที่ดีทั้งในพจน์ของ RMSE , Aida K และ ค่า k ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดสูง (IKONOS) ซึ่งถ่ายก่อนและหลังการเกิดเหตุการณ์สึนามิถูกนำมาวิเคราะห์ด้วย GIS ตามด้วยการตรวจวัดด้วยสายตาโดยใช้การประมาณความเสียหายของบ้านเรือนโดยใช้หลังคาที่เหลืออยู่เป็นเกณฑ์ เส้นโค้งการพังทลายถูกพัฒนาจากคุณลักษณะของสึนามิซึ่งคำนวณจากแบบจำลองและจากข้อมูลสิ่งปลูกสร้างที่ถูกทำลาย ในการศึกษาครั้งนี้แสดงเส้นโค้งการพังทลายของสิ่งปลูกสร้างในพังกาและภูเก็ตที่มีคุณสมบัติคล้ายกับสิ่งปลูกสร้างของประเทศอินโดนีเซียและญี่ปุ่น สิ่งปลูกสร้างจะเริ่มพังทลายที่ความลึกของการท่วม 2- 3 เมตร และพังทลายโดยสิ้นเชิงเมื่อมีความลึกมากกว่า 6 เมตร เส้นโค้งการพังทลายนำมาใช้กับข้อมูลเชิงสำรวจ แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่ดีกว่าเพราะมันถูกพัฒนามาจากฐานข้อมูลอาคารชนิดคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC) ประเทศไทยเป็นประเทศแรกที่พัฒนาเส้นโค้งการพังทลายสึนามิสำหรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างที่ใช้วัสดุต่างชนิดกัน โดยแยกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (ข้อมูลจากการสำรวจโดยตรง) จากรูปแบบสิ่งปลูกสร้างผสมและบ้านไม้ (ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม) เส้นโค้งการพังทลายถูกพัฒนาให้สะท้อนถึงโครงสร้างของคุณสมบัติผลสรุปที่ได้คืออาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมีโอกาสถูกทำลายต่ำที่สุด รองมาคืออาคารชนิดผสม และอาคารไม้ เส้นโค้งการพังทลายที่เสนอในงานวิจัยนี้มีประโยชน์ในการประมาณความเสียหายจากสึนามิในประเทศไทย รวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับประเทศอื่นๆได้ แต่อย่างไรก็ตาม เส้นโค้งการพังทลายเหล่านี้ควรประยุกต์ใช้ด้วยความระมัดระวังเพราะว่าขึ้นอยู่กับลักษณะของสึนามิและชนิดของสิ่งปลูกสร้างซึ่งอาจจะแตกต่างกันในแต่ละประเทศ

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบคุณกระทรวงศึกษาวัฒนธรรมกีฬาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (MEXT), Industrial Technology Research Grant Program in 2008 (Project ID: 08E52010a) New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) และ the Willis Research Network (WRN) สำหรับการสนับสนุนทุนในการศึกษาคั้งนี้

แก้ไขโดย : S. Tinti

สอบทานโดย : S. Scheer และ M. Papathoma-Koehle

เอกสารอ้างอิง

- Aburaya, T. and Imamura, F.: The proposal of a tsunami run-up simulation using combined equivalent roughness, Annual Journal of Coastal Engineering, Japan Society of Civil Engineers, 49, 276–280, 2002 (in Japanese).
- Aida, I.: Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters, J. Phys. Earth, 26, 57–73, 1978.
- Asian Disaster Preparedness Center (ADPC): The economic impact of the 26 December 2004 earthquake & Indian Ocean tsunami in Thailand, available at: http://www.adpc.net/maininforesource/dms/Thailand_Assessment_Report_.pdf , access: 21 July 2007.
- Center of Excellence in Earthquake Engineering and Vibration (CU-EVR), Department of Civil Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand: Database of Structural Damage due to the Asian Tsunami in Thailand, <http://evr.eng.chula.ac.th/earthquake/DamageSurvey/view.asp>, access: 27 March 2009.
- Department of Disaster Prevention and Mitigation (DDPM), Ministry of Interior, Thailand: Tsunami damage report, <http://61.19.54.131/tsunami/index.php?pack=overall>, access: 6 August 2007(in Thai).
- Federal Emergency Management Agency (FEMA): Coastal construction manual, Third Edition (FEMA 55), 296 pp., 2003.
- Foytong, P.: Fragility of buildings damaged in the 26 December 2004 tsunami, Master thesis, Graduate School of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2007 (in Thai).
- Foytong, P. and Ruangrassamee, A.: เส้นโค้งการพังทลาย of reinforced concrete buildings damaged by a tsunami for tsunami risk analysis, The Twentieth KCCNN Symposium on Civil Engineering, Jeju, Korea, 4–5 October 2007, 58-47, 2007.

Gokon, H., Koshimura, S., and Matsuoka, M.: in: Proceedings of the 8th International Workshop on Remote Sensing for Post Disaster Response, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, 30 September–1 October 2010, (CD-ROM), 2010.

Hong, S. J.: Study on the Two and Three Dimensional Numerical Analysis of Tsunamis near a coastal Area, PhD thesis, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan, 2004.

Imamura, F.: Review of tsunami simulation with a finite difference method, Long-Wave Runup Models, World Scientific, 25–42, 1995.

Japan Society of Civil Engineers (JSCE): Tsunami assessment method for nuclear power plants in Japan, available at:

[http://www.jsce.or.jp/committee/ceofnp/Tsunami/eng/JSCE
Tsunami_060519.pdf](http://www.jsce.or.jp/committee/ceofnp/Tsunami/eng/JSCE_Tsunami_060519.pdf), 2002.

Koshimura, S. and Kayaba, S.: Tsunami damage detection using high-resolution optical satellite imagery, in: Proceedings of the 6th International Workshop on Remote Sensing for Post Disaster Response, University of Pavia, Italy, 11–12 September 2008 (CD-ROM), 2008.

Koshimura, S. and Yanagisawa, H.: Developing เส้นโค้งการพังทลาย for tsunami damage estimation using the numerical model and satellite imagery, in: Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Response, George Washington University, Washington, United States, 10–12 September 2007 (CD-ROM), 2007.

Koshimura, S., Matsuoka, M., and Kayaba, S.: Tsunami hazard and structural damage inferred from the numerical model, aerial photos and SAR imageries, in: Proceedings of the 7th International Workshop on Remote Sensing for Post Disaster Response, University of Texas, Texas, United States, 22–23 October 2009 (CD-ROM), 2009a.

Koshimura, S., Namegaya, Y., and Yanagisawa, H.: Tsunami Fragility – A new measure to assess tsunami damage, Journal of Disaster Research, 4, 479–488, 2009b.

Koshimura, S., Oie, T., Yanagisawa, H., and Imamura, F.: Developing เส้นโค้งการพังทลาย for tsunami damage estimation using numerical model and post-tsunami data from Banda Aceh, Indonesia, Coast. Eng. J., 51, 243–273, 2009c.

Land Development Department: Land use in Phang Nga and Phuket province during 2000–2002, <http://www.ddd.go.th>, 2008.

Matsutomi, H. and Harada, K.: Tsunami-trace distribution around building and its practical use, in: Proceedings of the 3rd International tsunami field symposium, Sendai, Japan, 10–11 April 2010, session 3–2, 2010.

National Statistical Office Thailand: Population and housing census, http://web.nso.go.th/pop2000/pop_e2000.htm, access: 8 February 2008.

Okada, Y.: Surface deformation due to shear and tensile faults in a half space, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 75, 1135–1154, 1985.

Research Group on the December 26, 2004 Earthquake Tsunami Disaster of Indian Ocean: <http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/sumatra/index-e.html>, access: 27 March 2009.

Ruangrassamee, A., Yanagisawa, H., Foytong, P., Lukkunaprasit, P., Koshimura, S., and Imamura, F.: Investigation of Tsunami-Induced Damage and Fragility of Buildings in Thailand after the December 2004 Indian Ocean Tsunami, *Earthq. Spectra*, 22, 377–401, 2006.

Suppasri, A., Imamura, F., and Koshimura, S.: Comparison among the proposed source models for the 2004 Indian Ocean tsunami, in: Proceedings of the 2008 Western Pacific Geophysics Meeting, Cairns, Australia, 29 July–1 August 2008, U35B, 2008.

Suppasri, A., Imamura, F., and Koshimura, S.: Effect of rupture velocity of fault motion, ocean current and initial sea level on the transoceanic propagation of tsunami, *Coast. Eng. J.*, 52(2),

107–132, doi:10.1142/S0578563410002142, 2010.