



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย

โครงการย่อย

การประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิในประเทศไทยและการจำลองการอพยพหนีภัยของผู้คน
เพื่อศึกษาหามาตรการลดความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพ

Tsunami hazard evaluation in Thailand and tsunami evacuation simulation
for identifying effective disaster risk reduction measures

โดย ศ.ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย และคณะ

เมษายน 2564

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย

โครงการย่อย

การประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิในประเทศไทยและการจำลองการอพยพหนีภัยของผู้คน
เพื่อศึกษาหามาตรการลดความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพ

Tsunami hazard evaluation in Thailand and tsunami evacuation simulation
for identifying effective disaster risk reduction measures

คณะผู้วิจัย

1. ศ.ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย (หัวหน้าโครงการ)
2. ผศ.ดร. ปานนท์ ลาซโรจน์

สังกัด

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยมหิดล

ที่ปรึกษาโครงการ

1. รศ.ดร. อนวัช สรรพศรี
2. รศ.ดร. อาณัติ เรืองรัมย์

สังกัด

มหาวิทยาลัยโทโฮคุที่ประเทศญี่ปุ่น
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกสว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ชายฝั่งอันดามันและอ่าวไทยมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ สังคม และการท่องเที่ยวของประเทศไทย มีผู้อยู่อาศัยและนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติเป็นจำนวนมาก เหตุการณ์สึนามิในปี ค.ศ. 2004 ส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สิน มีผู้เสียชีวิตและสูญหายกว่า 8,000 ชีวิต และสร้างความเสียหายด้านเศรษฐกิจกว่า 68,000 ล้านบาท นอกจากนี้ ชายฝั่งของประเทศไทยยังมีความเสี่ยงภัยสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอื่น ๆ ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในอนาคต เช่น แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในทะเลอันดามันบริเวณทางตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดา และแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในทะเลจีนใต้บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา เป็นต้น ชุดโครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทยจึงได้จัดทำโครงการย่อยนี้เพื่อศึกษามาตรการลดความเสี่ยงต่อภัยสึนามิในอนาคตสำหรับประเทศไทยขึ้น แม้ว่าประเทศไทยมีการเตรียมความพร้อมรับมือกับภัยสึนามิจากมาตรการลดความเสี่ยงต่าง ๆ เช่น ระบบเตือนภัยล่วงหน้า ป้ายและแผนที่แสดงเส้นทางอพยพหนีภัยสึนามิ อาคารที่ถูกออกแบบโดยเฉพาะเพื่อใช้สำหรับหนีภัยสึนามิ เป็นต้น การเตรียมความพร้อมรับมือนั้นจะต้องมีการศึกษา การประเมิน และการพัฒนาปรับปรุงให้สอดคล้องกับสภาพการณ์ในปัจจุบัน รวมไปถึงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับภัยสึนามิต้องอ้างอิงจากข้อมูลการค้นพบในปัจจุบัน นอกจากนี้ ความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่เสี่ยงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ สังคมและการท่องเที่ยว ดังนั้นการประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิในประเทศไทยและการหามาตรการลดความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญอย่างมาก

โครงการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1) การศึกษาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เพื่อทำการประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิในอนาคตและจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เข้าใจถึงกลไกการเกิดและความเสี่ยงภัยสึนามิตามแนวชายฝั่งอันดามันโดยเฉพาะจากแผ่นดินไหวบริเวณตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดา และตามแนวชายฝั่งอ่าวไทยจากแผ่นดินไหวบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา และเพื่อจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิสำหรับใช้ในการเผยแพร่ให้ประชาชนมีความรู้ความเข้าใจอันตรายจากภัยสึนามิ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานรัฐและภาคส่วนต่าง ๆ ในการวางนโยบายและมาตรการลดความเสี่ยงที่เหมาะสม 2) การพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์การอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คนที่มีความเสมือนจริง มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แบบจำลองการอพยพของผู้คนในการศึกษาและหาแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพของมาตรการลดความเสี่ยงต่าง ๆ และเพื่อนำแบบจำลองการอพยพไปต่อยอดสู่การพัฒนาเป็นเกมคอมพิวเตอร์ในการใช้เป็นส่วนหนึ่งของการฝึกซ้อมการหนีภัยและการรักษาความตระหนักให้คงอยู่ต่อไป โครงการวิจัยนี้ต้องนำความรู้และความเข้าใจใหม่ ๆ มาประยุกต์ใช้ และเครื่องมือที่ถูกพัฒนาในโครงการวิจัยนี้จะกลายเป็นต้นแบบในการหามาตรการลดความเสี่ยงที่ช่วยให้ทุกพื้นที่ชายฝั่งสามารถรับมือกับภัยสึนามิได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากผลการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตและข้อมูลการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกในปัจจุบันที่สามารถทำให้เกิดภัยสึนามิต่อประเทศไทย พบว่าแนวมุดตัวซุนดาบริเวณมหาสมุทรอินเดียและแนวมุดตัวมะนิลาบริเวณทะเลจีนใต้ยังคงมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดสึนามิในอนาคต ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและข้อมูลความสูงภูมิประเทศชายฝั่งความละเอียดสูงได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจำลองเหตุการณ์สึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวดังกล่าว แบบจำลอง TUNAMI ได้ถูกนำมาใช้จำลองการเกิดคลื่นสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว การเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิเข้าสู่ชายฝั่ง และการท่วมถึงของคลื่นบริเวณชายฝั่งอันดามัน โดยได้ทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้วยการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกับข้อมูลการสำรวจเหตุการณ์สึนามิในปี ค.ศ. 2004 ของหน่วยงานต่าง ๆ รวมทั้งหมดยกกว่า 100 จุด พบว่าความสูงของคลื่นสึนามิจากแบบจำลองและการสำรวจมีความใกล้เคียงกัน จากผลการศึกษาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวทั้ง 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณอันดามัน บริเวณ

รอยต่อระหว่างอันดามันกับอาระกัน และบริเวณอาระกัน ที่ขนาด M_w 9.0 ผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าคลื่นสึนามิจากแผ่นดินไหวอาระกันที่แม้จะมีขนาด M_w 9.0 จะส่งผลกระทบต่อชายฝั่งอันดามันน้อยมาก จึงไม่ต้องมีความกังวลมากนักสำหรับพื้นที่ส่วนใหญ่บริเวณชายฝั่งอันดามันยกเว้นบริเวณพื้นที่ต่ำมากที่คลื่นสามารถท่วมถึงได้ ซึ่งต่างจากคลื่นสึนามิจากแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 9.0 จะส่งผลกระทบต่อชายฝั่งอันดามันเป็นอย่างมากเทียบเท่ากับเหตุการณ์สึนามิในปี ค.ศ. 2004 แต่ระยะเวลาที่คลื่นสึนามิเดินทางจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่ชายฝั่งจะสั้นกว่า ดังนั้นการเกิดคลื่นสึนามิจากแผ่นดินไหวอันดามันนี้จึงเป็นสิ่งที่ควรเฝ้าระวังอย่างยิ่งสำหรับชายฝั่งอันดามันทั้งที่มีขนาด M_w 9.0 และ M_w 8.5 ทั้งที่มีตำแหน่งจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวต่างกันซึ่งจะส่งผลกระทบต่อแต่ละพื้นที่ไม่เหมือนกัน ผลจากแบบจำลองได้ถูกนำมาต่อยอดเป็นแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิในบริเวณเขาหลักและบริเวณหาดป่าตอง โดยแผนที่เสี่ยงภัยแสดงถึงขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์สึนามิในปี ค.ศ. 2004 และขอบเขตพื้นที่เสี่ยงภัยสึนามิในอนาคตจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอันดามันขนาด M_w 9.0 ทั้งยังสามารถประเมินผลกระทบจากการกระจายตัวของประชากรในพื้นที่และสามารถวางแผนการเดินทางอพยพไปสู่ตำแหน่งที่ปลอดภัย รวมถึงหน่วยงานภาครัฐสามารถนำไปกำหนดนโยบายเพื่อให้สามารถติดตั้งหอเตือนภัยอาคารอพยพ และป้ายบอกเส้นทางอพยพอย่างมีประสิทธิภาพ

จากการพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์การอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คนที่ประกอบด้วยข้อมูลนำเข้าและแบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิ ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากแบบสำรวจพฤติกรรมการอพยพหนีภัยสึนามิและการสำรวจเชิงพื้นที่ แบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิเป็นการจำลองพฤติกรรมการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คนที่พบในเหตุการณ์จริงและผลลัพธ์จากแบบสำรวจ มีการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลองในแต่ละพฤติกรรมการอพยพที่สำคัญ นอกจากนี้การวิเคราะห์ความผันแปร (sensitivity analysis) บ่งชี้ว่าระยะเวลาเตือนภัยและระยะเวลาเตรียมตัวก่อนเริ่มเดินทางจะมีผลต่อจำนวนผู้อพยพสำเร็จมากที่สุด โดยปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ สัดส่วนของผู้ที่เลือกเดินทางด้วยเท้า สัดส่วนของพฤติกรรมการรวมตัวกับสมาชิกก่อนเริ่มอพยพ สัดส่วนของพฤติกรรมการอพยพในแนวตั้ง สัดส่วนของผู้ที่ไม่ชำนาญเส้นทาง จะมีผลต่อจำนวนผู้อพยพสำเร็จน้อยลงตามลำดับ เมื่อทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการอพยพหนีภัยสึนามิแล้ว จึงใช้แบบจำลองวิเคราะห์หามาตรการลดความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพสำหรับพื้นที่ศึกษา จากผลการประเมินประสิทธิภาพของมาตรการลดความเสี่ยงต่าง ๆ ในปัจจุบัน ในกรณีที่ระบบเตือนภัยสามารถแจ้งเตือนได้ภายในเวลา 15 นาทีหรือเป็นไปตามมาตรฐานการปฏิบัติงาน (SOP) ที่ตั้งไว้ และประชากรในพื้นที่ศึกษามีพฤติกรรมเป็นไปตามผลการศึกษาจากแบบสอบถาม พบว่าจำนวนประชากรกว่า 97.4% สามารถอพยพไปยังถึงที่ปลอดภัยได้ก่อนที่จะได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิ ทั้งนี้ในสถานการณ์ที่แย่ที่สุดกล่าวคือ ระบบเตือนภัยใช้เวลากว่า 42 นาที ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมาแล้วในอดีต และประชากรในพื้นที่ใช้เวลาเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพมากกว่าผลลัพธ์จากแบบสำรวจ 2 เท่า ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่พบได้ในเหตุการณ์จริง พบว่าจำนวนประชากรที่สามารถอพยพไปยังถึงที่ปลอดภัยได้เหลือเพียง 90% แต่หากพื้นที่ศึกษาใช้มาตรการเชิงโครงสร้างเพื่อลดระยะทางในการอพยพ เช่น การกำหนดให้อาคารสูงตั้งแต่ 4 ชั้นขึ้นไปเป็นสถานที่อพยพ และการติดตั้งป้ายอพยพเพิ่มเติม และใช้มาตรการที่ไม่ใช่เชิงโครงสร้างเพื่อเพิ่มความตระหนักต่อภัยสึนามิ เช่น การชักซ้อมอพยพ และการเน้นย้ำให้ผู้คนต่างคนต่างอพยพ พบว่าจำนวนประชากรที่สามารถอพยพไปยังถึงที่ปลอดภัยได้เพิ่มขึ้นเป็น 94%

โครงการวิจัยนี้จะนำความรู้และความเข้าใจใหม่ ๆ มาประยุกต์ใช้โดยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลเพื่อเข้าใจถึงกลไกการเกิดและความเสี่ยงภัยสึนามิตามแนวชายฝั่งอันดามันโดยเฉพาะจากแผ่นดินไหวบริเวณทางตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดาและตามแนวชายฝั่งอ่าวไทยจากแผ่นดินไหวบริเวณแนวมุดตัวมะนิลาใกล้ประเทศฟิลิปปินส์ เมื่อทำการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้วจึงใช้แบบจำลองเชิงเลข TUNAMI เพื่อศึกษาและเข้าใจความ

เสี่ยงภัยสึนามิที่อ้างอิงจากข้อมูลการค้นพบในปัจจุบัน นอกจากนี้ได้จัดทำแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิเพื่อใช้ในการเผยแพร่ให้ประชาชนมีความรู้ความเข้าใจอันตรายจากภัยสึนามิ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานรัฐและภาคส่วนต่างๆ ในการวางนโยบายและมาตรการลดความเสี่ยงที่เหมาะสม ต่อมาได้ทำการพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คนที่มีความเหมือนจริงและเหมาะสมกับประเทศไทย โดยแบบจำลองมีการคำนึงถึงตรรกะความคิดของผู้อพยพแต่ละคนขณะหนีภัยและการปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนรวมถึงสิ่งแวดล้อมรอบข้าง และเมื่อทำการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้วจึงใช้แบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คน ศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของมาตรการลดความเสี่ยงต่างๆ ในปัจจุบัน เช่น ระบบเตือนภัยอาคารหนีภัย ป้ายบอกเส้นทางอพยพ และการฝึกซ้อมการหนีภัย เพื่อนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงมาตรการดังกล่าว สรุปได้ว่าในพื้นที่ศึกษาบางเนียง หากระบบเตือนภัยใช้เวลาตั้งแต่ 1 ชั่วโมงขึ้นไป จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการอพยพหนีภัยสึนามิอย่างมาก โดยหากมีมาตรการต่างๆ ที่ช่วยลดระยะทางอพยพ จะช่วยให้สัดส่วนของผู้รอดชีวิตเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ การมีป้ายบอกเส้นทางอพยพที่สามารถนำทางไปสู่อาคารสูงที่มีอยู่แล้วเพื่อใช้เป็นอาคารหลบภัย การฝึกซ้อมการหนีภัยที่สามารถช่วยเพิ่มสัดส่วนการใช้อานพาดหนะในการอพยพ และลดสัดส่วนผู้คนที่จะรวมตัวกันก่อนอพยพไปยังสถานที่ปลอดภัย สุดท้ายนำแบบจำลองการอพยพที่มีความเหมือนจริงไปต่อยอดสู่การพัฒนาเป็นเกมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งในการฝึกซ้อมการหนีภัยและการรักษาความตระหนักให้คงอยู่ต่อไป ทั้งนี้ผลการศึกษาและเครื่องมือที่ถูกพัฒนาในโครงการวิจัยเหล่านี้จะกลายเป็นองค์ความรู้ที่มีประโยชน์ต่อการลดความเสี่ยงที่ช่วยให้ทุกพื้นที่ชายฝั่งสามารถรับมือกับภัยสึนามิได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาจกล่าวได้ว่าเป็นการศึกษาวิจัยอย่างเป็นระบบตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำจะมีส่วนสำคัญที่จะช่วยให้สร้างมาตรการที่ลดผลกระทบจากภัยพิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทคัดย่อ

ชายฝั่งของประเทศไทยยังคงมีความเสี่ยงภัยสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอื่น ๆ ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในอนาคต แม้ว่าประเทศไทยมีการเตรียมความพร้อมในการรับมือกับภัยสึนามิจากมาตรการลดความเสี่ยงต่าง ๆ การเตรียมความพร้อมรับมือนั้นจะต้องมีการศึกษา การประเมิน และการพัฒนาปรับปรุงให้สอดคล้องกับสภาพการณ์ในปัจจุบัน นอกจากนี้ ความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่เสี่ยงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ สังคมและการท่องเที่ยว ปัจจัยเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความเสี่ยงภัยสึนามิ รวมไปถึงการประเมินและพัฒนาปรับปรุงมาตรการลดความเสี่ยงให้ประสิทธิภาพ โครงการวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ส่วนแรกเป็นการศึกษาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เพื่อทำการประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิในอนาคตพร้อมจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง TUNAMI ที่ได้มีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง จากผลการศึกษาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวทั้ง 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณอันดามัน บริเวณรอยต่อระหว่างอันดามันกับอาระกัน และบริเวณอาระกัน ที่ขนาด M_w 9.0 ผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าคลื่นสึนามิจากแผ่นดินไหวอาระกันที่แม้จะมีขนาด M_w 9.0 จะส่งผลกระทบต่อชายฝั่งอันดามันน้อยต่างจากคลื่นสึนามิจากแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 9.0 จะส่งผลกระทบต่อชายฝั่งอันดามันเป็นอย่างมากเทียบเท่ากับเหตุการณ์สึนามิในปี ค.ศ. 2004 แต่ระยะเวลาที่คลื่นสึนามิเดินทางจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่ชายฝั่งจะสั้นกว่า ผลจากแบบจำลองได้ถูกนำมาต่อยอดเป็นแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิในบริเวณเขาหลักและบริเวณหาดป่าตอง โดยแผนที่เสี่ยงภัยแสดงถึงขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิ ทำให้สามารถประเมินผลกระทบจากการกระจายตัวของประชากรในพื้นที่และสามารถวางแผนการเดินทางอพยพไปสู่ตำแหน่งที่ปลอดภัย รวมถึงหน่วยงานภาครัฐสามารถนำไปกำหนดนโยบายเพื่อให้สามารถติดตั้งหอเตือนภัย อาคารอพยพ และป้ายบอกเส้นทางอพยพอย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วนที่สองเป็นการพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คนที่มีความเสมือนจริงเพื่อใช้แบบจำลองการอพยพของผู้คนศึกษาและหาแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพของมาตรการลดความเสี่ยงต่าง ๆ ซึ่งแบบจำลองประกอบด้วยข้อมูลนำเข้าและแบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิ มีการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลองในแต่ละพฤติกรรมการอพยพที่สำคัญ นอกจากนี้การวิเคราะห์ความผันแปร (sensitivity analysis) บ่งชี้ว่าระยะเวลาเตือนภัยและระยะเวลาเตรียมตัวก่อนเริ่มเดินทางจะมีผลต่อจำนวนผู้อพยพสำเร็จมากที่สุด โดยปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ สัดส่วนของผู้ที่เลือกเดินทางด้วยเท้า สัดส่วนของพฤติกรรมการรวมตัวกับสมาชิกก่อนเริ่มอพยพ สัดส่วนของพฤติกรรมการอพยพในแนวตั้ง สัดส่วนของผู้ที่ไม่ชำนาญเส้นทาง จะมีผลต่อจำนวนผู้อพยพสำเร็จน้อยลงตามลำดับ เมื่อทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการอพยพหนีภัยสึนามิแล้ว จึงใช้แบบจำลองวิเคราะห์หามาตรการลดความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพสำหรับพื้นที่ศึกษา จากผลการประเมินประสิทธิภาพของมาตรการลดความเสี่ยงต่าง ๆ ในปัจจุบัน ในกรณีที่ระบบเตือนภัยสามารถแจ้งเตือนได้ภายในเวลา 15 นาทีหรือเป็นไปตามมาตรฐานการปฏิบัติงาน (SOP) ที่ตั้งไว้ และประชากรในพื้นที่ศึกษามีพฤติกรรมเป็นไปตามผลการศึกษาจากแบบสอบถาม พบว่าจำนวนประชากรกว่า 97.4% สามารถอพยพไปยังถึงที่ปลอดภัยได้ก่อนที่จะได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิ ทั้งนี้ในสถานการณ์ที่แย่ที่สุดกล่าวคือ ระบบเตือนภัยใช้เวลากว่า 42 นาที ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมาแล้วในอดีต และประชากรในพื้นที่ใช้เวลาเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพมากกว่าผลลัพธ์จากแบบสำรวจ 2 เท่า ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่พบได้ในเหตุการณ์จริง พบว่าจำนวนประชากรที่สามารถอพยพไปยังถึงที่ปลอดภัยได้เหลือเพียง 90% แต่หากพื้นที่ศึกษาใช้มาตรการเชิงโครงสร้างเพื่อลดระยะทางในการอพยพ เช่น การกำหนดให้อาคารสูงตั้งแต่ 4 ชั้นขึ้นไปเป็นสถานที่อพยพ และการติดตั้งป้ายอพยพเพิ่มเติม และใช้มาตรการที่ไม่ใช่เชิงโครงสร้างเพื่อเพิ่มความตระหนักต่อภัยสึนามิ เช่น การซักซ้อมอพยพ และการเน้นย้ำให้ผู้คนต่างคนต่างอพยพ

พบว่าจำนวนประชากรที่สามารถอพยพไปยังถึงที่ปลอดภัยได้เพิ่มขึ้นเป็น 94% นอกจากนี้แบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คนถูกต่อยอดเป็นเกมคอมพิวเตอร์ที่ผู้เล่นสามารถชักซ้อมอพยพหนีภัยสึนามิได้ ซึ่งเป็นการสร้างความตระหนักแก่ผู้เล่นได้ไม่มากนักน้อย

Abstract

The coast of Thailand is still at risk of tsunamis from other earthquake sources in the future. Although Thailand is well prepared to cope with the tsunami through various risk mitigation measures. However, preparedness must be studied, assessed, and developed following current conditions. Moreover, the population density tends to increase due to economic development, society, and tourism in the tsunami-affected areas. The efficiency of assessment and development of tsunami evacuation measures can reduce the risk generated by these critical factors. This research project consists of two main parts. The first is to study the source of large earthquakes to assess future tsunami risks and to map the tsunami risk by applying the TUNAMI validated model with the 2004 survey. The study of the earthquake sources consists of the Andaman trench, the Andaman-Arakan trench, and the Arakan trench. The results from the model clearly show that the tsunami from the M_w 9.0 Arakan earthquake, will affect the Andaman coast less than the tsunami from other sources. In comparison with the 2004 tsunami, the M_w 9.0 Andaman earthquake can produce the same significant impact on the Andaman coast, but the arrival time of the tsunami is shorter. The simulation results were also used to create a tsunami hazard map in Khao Lak and Patong Beach. The hazard map shows the areas affected by the tsunami that makes it possible to assess the impact of population distribution in the area and to plan an evacuation journey to a safe location. Also, the governmental agencies can set a policy to enable the installation of warning towers, evacuation buildings, and evacuation route signs, effectively.

The second part is to develop a tsunami evacuation simulation using the multi-agent system to study and find ways to improve the effectiveness of risk mitigation measures. The model consists of model inputs and simulation models. Evacuation behavior models are verified separately. The sensitivity analysis results show that the warning and preparation times before the departure have the most significant impact on the evacuation success. Knowing the factors affecting the tsunami evacuation process, therefore, the effective risk mitigation measures can be proposed to the study area. From the existing condition of the study area, it was found that if the population in the study area behaved according to the questionnaires and the alarm system, which can be alerted within 15 min based on the Standard Operating Procedure (SOP). The result shows that 97.4% of the population were evacuated to a safe place. In the worst case, the population might delay their evacuation and the warning might alert late than the expectation. The population might spend time preparing before they began the evacuation twice as the result reported in the questionnaire survey. This case was reported in research according to the real tsunami evacuation in the past. The late warning would be 42 minutes after the earthquake that happened in the past. It was found that the number of people that can be evacuated to safety is only 90%. However, the structural measures can be implemented to reduce the evacuation distance such as designated evacuation buildings using the existing tall buildings and full-scale

evacuation sign coverage. Also, the non-structural measures can accelerate the evacuation process by the promotion of tsunami awareness, such as evacuation drills or emphasis on individual evacuation. It was found that the population that can be evacuated to safety has increased to 94%. In addition, the tsunami evacuation model can be further developed as a computer game where players can rehearse and evacuate tsunamis, which is to raise awareness of the players.

สารบัญ

สารบัญ	xiii
สารบัญตาราง	xv
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์	8
1.3 ขอบเขตการวิจัย	8
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	8
บทที่ 2 แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวและแบบจำลองคลื่นสึนามิ	23
2.1 ข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตและการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก	23
2.2 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลข	33
2.3 การสอบเทียบแบบจำลองคลื่นสึนามิ	41
บทที่ 3 ผลจากแบบจำลองคลื่นสึนามิและแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิ	45
3.1 ผลจากแบบจำลองคลื่นสึนามิ	45
3.2 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิ	60
บทที่ 4 การพัฒนาข้อมูลระบบความสูงภูมิประเทศด้วยอากาศยานไร้คนขับ	69
4.1 การสำรวจพื้นที่ชายฝั่งด้วยอากาศยานไร้คนขับ	69
4.2 การกำหนดและการหาค่าพิกัดหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และหมุดตรวจสอบ (CP)	72
4.3 การหาค่าพิกัดหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และหมุดตรวจสอบ (CP)	73
4.4 การประมวลผลภาพถ่าย	75
4.5 ผลการสำรวจ	79
บทที่ 5 การพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คน	83
5.1 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง	83
5.2 การพัฒนาต้นแบบและการปรับปรุงแบบจำลอง	114
5.3 แบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คน	116

บทที่ 6 ผลลัพธ์จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คน	129
6.1 การจำลองกรณีฐาน Questionnaire-based Case	129
6.2 การวิเคราะห์ความผันแปร Sensitivity analysis	130
6.3 การวิเคราะห์หามาตรการลดความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพ	135
6.4 เกมอพยพหนีภัยสึนามิ	137
บทที่ 7 บทสรุป	139
7.1 สรุปผลการศึกษา	139
7.2 การบูรณาการองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษา	140
7.3 การนำไปใช้ประโยชน์	140
เอกสารอ้างอิง	143
ภาคผนวก	148
แบบสอบถาม (ภาษาไทย)	155

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	สรุปเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทย	3
ตารางที่ 1.2	ตัวแปรของรอยเลื่อนที่ทำให้เกิดเหตุการณ์สึนามิในอดีตและอาจเกิดขึ้นในอนาคต	10
ตารางที่ 2.1	เหตุการณ์สึนามิบริเวณมหาสมุทรอินเดีย	24
ตารางที่ 2.2	เหตุการณ์สึนามิบริเวณทะเลจีนใต้	25
ตารางที่ 2.3	กลไกของรอยเลื่อนในการเกิดแผ่นดินไหวที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์สึนามิในอนาคต	32
ตารางที่ 2.4	ขอบเขตของข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและระบบความสูงภูมิประเทศสำหรับชายฝั่งอันดามัน	38
ตารางที่ 2.5	ขอบเขตของข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและระบบความสูงภูมิประเทศสำหรับชายฝั่งอ่าวไทย	39
ตารางที่ 2.6	ค่า RMSE สำหรับกลไกการเกิดสึนามิในปีค.ศ. 2004 ที่นำถูกนำเสนอโดยนักวิจัยต่างๆ	43
ตารางที่ 3.1	ค่าความสูงคลื่นสึนามิ (H) และระยะเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่ฝั่ง (T) จากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวต่างๆ	56
ตารางที่ 4.1	ค่าพิกัดหตุคควมภาคพื้นดิน (GCP)	74
ตารางที่ 4.2	ค่าพิกัดหตุคตรวจสอบ (CP)	74
ตารางที่ 4.3	ผลการตรวจสอบการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม	80
ตารางที่ 4.4	ผลการตรวจสอบผลการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม	81
ตารางที่ 5.1	อัตราการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้อยู่อาศัย (คน) ตำบลคึกคัก จังหวัดพังงาปี ค.ศ. 2008 - 2018	86
ตารางที่ 5.2	อัตราการเปลี่ยนแปลงจำนวนนักท่องเที่ยว (คน) จังหวัดพังงาปี ค.ศ. 2009 - 2018	87
ตารางที่ 5.3	จำนวนสถานให้บริการและจำนวนห้องพักของจังหวัดพังงาปี ค.ศ. 2008	87
ตารางที่ 5.4	ค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้อาคารช่วงเวลากลางวันและกลางคืน	89
ตารางที่ 5.5	ค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของจำนวนผู้ใช้อาคารช่วงเวลากลางวันและกลางคืน	91
ตารางที่ 5.6	ผลการประมาณจำนวนประชากรของพื้นที่ศึกษาเขาหลักจากค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้อาคารและฐานข้อมูลอาคารปีค.ศ. 2008 และปีค.ศ. 2018	93
ตารางที่ 5.7	เปรียบเทียบผลการประมาณจำนวนประชากรระหว่างฐานข้อมูลปีค.ศ. 2008 กับปีค.ศ. 2018	96
ตารางที่ 5.8	ผลการประมาณจำนวนประชากรที่แบ่งกลุ่มผู้อยู่อาศัยออกเป็น 2 กลุ่มย่อย จากฐานข้อมูลปีค.ศ. 2018	98
ตารางที่ 5.9	จำนวนกลุ่มตัวอย่างของผู้คนในพื้นที่ศึกษาจำแนกตามสถานะ	103
ตารางที่ 5.10	สถิติแสดงข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (ส่วนที่ 1)	105
ตารางที่ 5.11	สถิติแสดงความรู้เกี่ยวกับภัยสึนามิของผู้ตอบแบบสอบถาม (ส่วนที่ 2)	106
ตารางที่ 5.12	สถิติแสดงการตัดสินใจอพยพหนีภัยสึนามิของผู้ตอบแบบสอบถาม (ส่วนที่ 3)	107
ตารางที่ 5.13	ผลลัพธ์จากแบบสอบถามเกี่ยวกับการเข้าร่วมซักซ้อมอพยพหนีภัยสึนามิจำแนกตามกลุ่มอายุ	109
ตารางที่ 5.14	ผลลัพธ์จากแบบสอบถามเกี่ยวกับลักษณะการเดินทางอพยพจำแนกตามกลุ่มอายุ	109
ตารางที่ 5.15	ความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง โดยสถิติไคสแควร์	110
ตารางที่ 5.16	ความน่าจะเป็นของแต่ละสถานที่ ที่ผู้ตอบแบบสำรวจคาดว่าหาสมาชิกในครอบครัวเจอ	114
ตารางที่ 5.17	ตารางสรุปการพัฒนาด้านแบบและการปรับปรุงแบบจำลอง	115
ตารางที่ 5.18	ความสัมพันธ์ระหว่างผลจากแบบสอบถามและแบบจำลองการตัดสินใจเลือกจุดหมายปลายทางที่จะอพยพ	121

ตารางที่ 5.19 เหตุการณ์แผ่นดินไหวและการเตือนภัยในอดีต	123
ตารางที่ 6.1 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่าง ๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และระยะเวลาเตรียมตัวเฉลี่ยก่อนเริ่มเดินทาง (ประชากรในเวลากลางวัน)	129
ตารางที่ 6.2 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่าง ๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และระยะเวลาเตรียมตัวเฉลี่ยก่อนเริ่มเดินทาง (ประชากรในเวลากลางคืน)	130
ตารางที่ 6.3 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่าง ๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และสัดส่วนของพฤติกรรมการอพยพในแนวตั้ง	131
ตารางที่ 6.4 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่าง ๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และสัดส่วนของผู้รู้จักเส้นทางไปยังสถานที่ที่ต้องการ	132
ตารางที่ 6.5 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่าง ๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และสัดส่วนของผู้ที่เลือกเดินทางด้วยเท้า	133
ตารางที่ 6.6 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่าง ๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และสัดส่วนของพฤติกรรมการรวมตัวกับสมาชิกก่อนเริ่มอพยพ	134
ตารางที่ 6.7 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่าง ๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และมาตรการส่งเสริมการอพยพต่าง ๆ	137
ตารางที่ 7.1 จำนวนผู้รอดชีวิตแยกตามช่วงระยะเวลาที่ใช้อพยพ	140

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวในมหาสมุทรอินเดียนับตั้งแต่ปีค.ศ. 2005-2016	7
รูปที่ 1.2 ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวสำหรับเหตุการณ์สึนามิในอดีตและอาจเกิดขึ้นในอนาคตแนวมุดตัวซุนดาและแนวมุดตัวมะนิลา (Suppasri, Imamura, and Koshimura, 2012b)	11
รูปที่ 1.3 ตัวอย่างเหตุการณ์ในปีค.ศ. 2004 การเกิดของคลื่นสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (รูปซ้าย) การเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิเข้าสู่ชายฝั่ง (รูปกลาง) และความสูงของคลื่นสึนามิ (รูปขวา)	13
รูปที่ 1.4 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิแสดงความลึกและพื้นที่ของการท่วมถึงบริเวณเขาหลัก (รูปซ้าย และรูปกลาง) จากแหล่งกำเนิดคลื่นสึนามิในปีค.ศ. 2004 (รูปขวา) (Suppasri, Koshimura, and Imamura, 2011)	14
รูปที่ 1.5 Egress timeline model (Ronchi & Nilsson, 2016)	16
รูปที่ 1.6 ตัวอย่างกรอบความคิดของพฤติกรรมก่อนเริ่มตัดสินใจอพยพหนีภัยสึนามิ	18
รูปที่ 1.7 ตัวอย่างแผนผังการตัดสินใจเลือกจุดหมายปลายทางของแบบจำลอง	19
รูปที่ 2.1 สรุปเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดสึนามิในอดีตบริเวณมหาสมุทรอินเดียและทะเลจีนใต้	23
รูปที่ 2.2 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดียและซุนดาในบริเวณประเทศพม่า (Socquet et al., 2006)	26
รูปที่ 2.3 การจำลองคลื่นสึนามิจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่บริเวณทางตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดา (Cummins, 2007)	27
รูปที่ 2.4 คลื่นสึนามิจากแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ของ (Okal and Synolakis, 2008)	28
รูปที่ 2.5 การสำรวจภาคสนามและการวิเคราะห์ทางด้านธรณีกาลวิทยาบริเวณเกาะช็ูบาและเกาะรามรี (Wang et al., 2013)	28
รูปที่ 2.6 ตำแหน่งของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปีค.ศ. 1881 และค.ศ. 1941 (Ortiz and Bilham, 2003)	29
รูปที่ 2.7 แนวมุดตัวซุนดาบริเวณอันดามันและตำแหน่งของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปีค.ศ. 1941 (Rajendran, 2013)	30
รูปที่ 2.8 การระบุแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดภัยสึนามิต่อประเทศไทยได้ในอนาคต	31
รูปที่ 2.9 ผลของคลื่นสึนามิสูงสุดบริเวณชายฝั่งอันดามันจากแบบจำลอง TUNAMI	32
รูปที่ 2.10 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณทะเลอันดามันและอ่าวเบงกอลภายในมหาสมุทรอินเดีย	35
รูปที่ 2.11 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณทะเลอันดามัน	35
รูปที่ 2.12 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณเกาะพระทอง	36
รูปที่ 2.13 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณบ้านน้ำเค็ม	36
รูปที่ 2.14 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณแหลมปะการัง	37
รูปที่ 2.15 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณทะเลอันดามัน	37
รูปที่ 2.16 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณหาดป่าตอง	38
รูปที่ 2.17 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณทะเลจีนใต้และอ่าวไทย	40

รูปที่ 2.18 การแตกของรอยเลื่อนจากเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004 ที่ถูกนำเสนอโดยนักวิจัยต่างๆ	41
รูปที่ 2.19 แผนที่การท่วมถึงของคลื่นสึนามิบริเวณตำบลคึกคักจากแบบจำลอง (ซ้าย) และเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004 (ขวา)	42
รูปที่ 2.20 แผนที่การท่วมถึงของคลื่นสึนามิบริเวณตำบลปาดองจากแบบจำลอง (ซ้าย) และเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004 (ขวา)	42
รูปที่ 2.21 การเปรียบเทียบความสูงของคลื่นสึนามิจากการสำรวจ (ซ้าย) กับแบบจำลอง (ขวา) ของเหตุการณ์ในปีค.ศ. 2004	43
รูปที่ 3.1 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในจังหวัดพังงาจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวของเหตุการณ์สึนามิปีค.ศ. 2004	45
รูปที่ 3.2 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในจังหวัดภูเก็ตและเกาะพีพีจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวของเหตุการณ์สึนามิปีค.ศ. 2004	46
รูปที่ 3.3 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่เกาะพระทองจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในอนาคต	47
รูปที่ 3.4 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่เขาหลักจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในอนาคต	47
รูปที่ 3.5 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่บ้านน้ำเค็มจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในอนาคต	48
รูปที่ 3.6 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่หาดปาดองจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในอนาคต	48
รูปที่ 3.7 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่หาดทับตะวัน หาดลายัน หาดกะรน หาดกะตะ หาดราไวย์ และเกาะพีพี จากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในอนาคตบริเวณอันดามันขนาด M_w 9.0	49
รูปที่ 3.8 ความสูงคลื่นสึนามิที่ชายฝั่งอันดามันจากการสำรวจของเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004	50
รูปที่ 3.9 ความสูงคลื่นสึนามิที่ชายฝั่งอันดามันจากแบบจำลอง	51
รูปที่ 3.10 ความสูงคลื่นสึนามิที่ชายฝั่งอันดามันจากแบบจำลอง	53
รูปที่ 3.11 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่เขาหลักจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5	53
รูปที่ 3.12 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่หาดบางเทาและหาดกมลาจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5	54
รูปที่ 3.13 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่หาดปาดองจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5	55
รูปที่ 3.14 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิสำหรับตำบลคึกคัก อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา มาตรฐาน 1:100000	60
รูปที่ 3.15 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิสำหรับบ้านบางเนียง ตำบลคึกคัก อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา มาตรฐาน 1:10000	61
รูปที่ 3.16 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิสำหรับหาดนางทอง ตำบลคึกคัก อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา มาตรฐาน 1:10000	62
รูปที่ 3.17 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิสำหรับหาดปาดอง อำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต มาตรฐาน 1:100000	63
รูปที่ 3.18 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิสำหรับหาดปาดอง อำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต มาตรฐาน 1:10000	64
รูปที่ 3.19 แผนที่เสี่ยงภัยบริเวณบ้านน้ำเค็ม	65
รูปที่ 3.20 แผนที่เสี่ยงภัยบริเวณบ้านทับตะวัน	65
รูปที่ 3.21 แผนที่เสี่ยงภัยบริเวณหาดบางเทา หาดสุรินทร์ และหาดกมลา	66

รูปที่ 3.22 แผนที่เสี่ยงภัยบริเวณหาดกะตะและหาดกะตะน้อย	66
รูปที่ 3.23 แผนที่เสี่ยงภัยบริเวณเกาะพีพี	66
รูปที่ 3.24 แผนที่เสี่ยงภัยบริเวณชายฝั่งอ่าวไทย	67
รูปที่ 4.1 พื้นที่สำรวจ หาดเขาหลัก อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา	70
รูปที่ 4.2 ลักษณะสภาพทั่วไปของพื้นที่	71
รูปที่ 4.3 เทียบวันที่ 1 – 6 สำหรับการบินสำรวจพื้นที่เขาหลัก	72
รูปที่ 4.4 การกำหนดตำแหน่งหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และหมุดตรวจสอบ (CP) โดยการปูผ้าสัญลักษณ์ ขนาด 1.50 x 1.50 เมตร	73
รูปที่ 4.5 หลักการทำงานเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS	73
รูปที่ 4.6 แสดงการหาค่าพิกัดหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และหมุดตรวจสอบ (CP) โดยใช้เครื่องรับสัญญาณ ดาวเทียม GNSS	74
รูปที่ 4.7 กำหนดขนาดภาพที่จะสกัดหาข้อมูลจุดสำคัญและกำหนดจำนวนข้อมูลจุดสำคัญ	76
รูปที่ 4.8 กำหนดค่าพารามิเตอร์ขั้นตอนการโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย	77
รูปที่ 4.9 กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการสร้างพอยท์คลาวด์	77
รูปที่ 4.10 กำหนดค่าพารามิเตอร์กำหนดความละเอียดของ Mesh model และวิธีการเติมเต็มพื้นผิว	78
รูปที่ 4.11 กำหนดค่าพารามิเตอร์ความละเอียดของแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ	78
รูปที่ 4.12 กำหนดความละเอียดของ True Orthophoto และกำหนดแบบจำลองในการสร้าง True Orthophoto	78
รูปที่ 4.13 แบบจำลองพอยท์คลาวด์	79
รูปที่ 4.14 แผนที่ภาพถ่าย True Orthophoto	80
รูปที่ 4.15 แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ	80
รูปที่ 5.1 แผนที่พื้นที่ศึกษา เขาหลัก ตำบลคึกคัก จังหวัดพังงา	84
รูปที่ 5.2 แผนที่พื้นที่ศึกษา บางเนียง เขาหลัก ตำบลคึกคัก จังหวัดพังงา	85
รูปที่ 5.3 แผนที่พื้นที่ศึกษา นางทอง เขาหลัก ตำบลคึกคัก จังหวัดพังงา	85
รูปที่ 5.4 แผนที่แสดงฐานข้อมูลอาคารปีค.ศ. 2008 และปีค.ศ. 2018	95
รูปที่ 5.5 Egress timeline model (Ronchi & Nilsson, 2016)	99
รูปที่ 5.6 แบบสำรวจเพื่อหารูปแบบการอพยพด้วย Google Forms	113
รูปที่ 5.7 องค์ประกอบของแบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิ ในบริบทของเมืองจำลอง (city demo)	115
รูปที่ 5.8 แผนผังลำดับขั้นตอนการตัดสินใจและตอบสนองของบุคคล	118
รูปที่ 5.9 พื้นที่ศึกษาบางเนียง เขาหลัก	119
รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้ก่อนเริ่มอพยพ กับระยะเวลาเวลาที่คลื่นสึนามิใช้เดินทางจาก แหล่งกำเนิดมาถึงแผ่นดิน (Mas <i>et al.</i> , 2012)	124
รูปที่ 5.11 ลักษณะการแจกแจงของระยะเวลาการเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพ	125
รูปที่ 5.12 ช่วงระยะเวลาที่ใช้เพื่อ ณ สถานที่หนึ่งๆ เพื่อรวมตัวกับสมาชิก	126

รูปที่ 5.13 ระบบการเคลื่อนตามช่องทางจราจรของเอเจนต์	128
รูปที่ 6.1 เกมอพยพหนีภัยสึนามิ	138

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

ชายฝั่งอันดามันและอ่าวไทยนั้นมีความสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจ สังคมและการท่องเที่ยวของประเทศไทยเป็นอย่างมาก มีผู้อยู่อาศัยและนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติเป็นจำนวนมากในบริเวณนี้ จากเหตุการณ์ในอดีตปี ค.ศ. 2004 ได้เกิดภัยสึนามิที่บริเวณชายฝั่งอันดามัน ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตและสูญหายกว่า 8,000 ชีวิต พร้อมทั้งได้สร้างความเสียหายให้กับภาคเศรษฐกิจกว่า 68,000 ล้านบาท (ADPC, 2006; กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2008) ซึ่งการศึกษารายงานในช่วงที่ผ่านมาในระดับสากลได้บ่งชี้ว่า ชายฝั่งของประเทศไทยยังคงมีความเสี่ยงภัยสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอื่นที่แตกต่างจากเหตุการณ์ในปี ค.ศ. 2004 ซึ่งมีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 600 ปี และยังมีแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในอนาคต เช่น แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในทะเลอันดามันบริเวณทางตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดา และในทะเลจีนใต้บริเวณร่องมะนิลาที่อาจก่อให้เกิดสึนามิในฝั่งอ่าวไทย ชุดโครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทยจึงมีความจำเป็นที่จะทำโครงการย่อยนี้เพื่อครอบคลุมการลดความเสี่ยงต่อภัยสึนามิสำหรับประเทศไทยในอนาคตด้วย

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 การจัดการความเสี่ยงจากภัยพิบัติได้เริ่มขึ้นอย่างจริงจังในประเทศไทย เราได้รับบทเรียนว่าหนึ่งในสาเหตุหลักที่ภัยสึนามิครั้งนั้นสร้างความเสียหายอย่างมากคือ การขาดการศึกษาวิจัยในอดีตที่นำไปสู่การเตรียมความพร้อมรับมือในอนาคต แต่ในปัจจุบันเนื่องด้วยการสนับสนุนทั้งทางด้านเงินทุนและองค์ความรู้จากนานาชาติ ช่วยให้ประเทศไทยมีการเตรียมความพร้อมในการรับมือกับภัยสึนามิจากมาตรการลดความเสี่ยงต่าง ๆ เช่น 1) ระบบเตือนภัยล่วงหน้าที่มีเครือข่ายข้อมูลระดับภูมิภาคไปจนถึงระดับสากล 2) ป้ายและแผนที่แสดงเส้นทางอพยพหนีภัยสึนามิและขอบเขตของพื้นที่เสี่ยง 3) อาคารที่ถูกออกแบบโดยเฉพาะเพื่อใช้สำหรับหนีภัยสึนามิ 4) การชักซ้อมการอพยพตั้งแต่ระดับบัญชาการและปฏิบัติการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องไปจนถึงภาคประชาชนทั่วไป 5) การให้เพิ่มเนื้อหาเกี่ยวกับการเตรียมความพร้อมและการรับมือภัยธรรมชาติในบทเรียน ฯลฯ

อย่างไรก็ดี การเตรียมความพร้อมรับมือที่มีอยู่นั้นจะต่ำลง ถ้าหากไม่ถูกประเมินและพัฒนาปรับปรุงให้สอดคล้องเป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของยุคสมัย รวมไปถึงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับภัยสึนามิที่ต้องอ้างอิงจากข้อมูลการค้นพบในปัจจุบัน และถึงแม้ฝั่งอ่าวไทยมีโอกาสดังกล่าวแผ่นดินไหวสูงกว่าฝั่งอันดามัน แต่คลื่นสึนามิที่เกิดจากบริเวณแนวมุดตัวมะนิลาใกล้กับประเทศฟิลิปปินส์หรือที่อื่น ๆ ในทะเลจีนใต้จะใช้เวลามากกว่าสิบชั่วโมงและเสียพลังงานมากก่อนคลื่นสึนามิที่เกิดขึ้นนั้นจะเดินทางถึงประเทศไทย (Ruangrassamee and Saelem, 2009) แตกต่างจากฝั่งอันดามันที่คลื่นสึนามิใช้เวลาสั้นกว่ามาก (Suppasri, Imamura, and Koshimura, 2012b) อีกทั้งความหนาแน่นของประชากรที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น สืบเนื่องมาจากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ สังคมและการท่องเที่ยวในพื้นที่ (กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, 2018) โดยปัจจัยเหล่านี้เป็นสิ่งที่สำคัญที่ส่งผลต่อความเสี่ยงภัยสึนามิ รวมไปถึงการประเมินและพัฒนาปรับปรุงมาตรการลดความเสี่ยงให้ประสิทธิภาพ

จากแผนแม่บทป้องกันและบรรเทาภัยจากคลื่นสึนามิในปี ค.ศ. 2009 โดยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ได้วางกรอบและแนวทางในการดำเนินการระหว่างหน่วยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และมีการศึกษาแหล่งกำเนิดคลื่นสึนามิทั้งฝั่งอันดามันและอ่าวไทยรวม 4 แห่ง ซึ่งทั้ง 4 กรณีศึกษานี้ได้สมมติให้มีขนาดแผ่นดินไหวเท่ากับ 9 ริกเตอร์ (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2008) อย่างไรก็ตาม การศึกษา ยังไม่ได้ครอบคลุมแหล่งกำเนิดคลื่นสึนามิทั้งหมดที่อาจจะส่งผลกระทบต่อประเทศไทย เช่น แผ่นดินไหวบริเวณทางตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดาใกล้

ประเทศพม่า อีกทั้งลักษณะและกลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามแนวมุดตัวซุนดาและแนวมุดตัวมะนิลาอาจจะมีได้หลายกรณีที่มีขนาดแผ่นดินไหวต่าง ๆ ที่มีโอกาสการเกิดไม่เท่ากัน ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการสร้างความรู้และความเข้าใจเพิ่มเติมเกี่ยวกับกลไกการเกิดและความเสี่ยงภัยสึนามิตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันและอ่าวไทยโดยใช้แบบจำลองเชิงเลข TUNAMI ซึ่งถูกพัฒนาโดยคณาจารย์และนักวิจัยในมหาวิทยาลัยโทโฮคุที่ประเทศญี่ปุ่นกว่า 30 ปี รวมถึงการจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิเพื่อใช้ในการเผยแพร่ให้ประชาชนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโอกาสของการเกิดและพื้นที่เสี่ยงภัย อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานรัฐและภาคส่วนต่าง ๆ ในการวางนโยบายและมาตรการป้องกันที่เหมาะสม

จากคู่มือการลดความเสี่ยงที่จัดทำขึ้นโดยหน่วยงานขององค์การสหประชาชาติ (IOC-UNESCO, 2015) และงานวิจัยที่ผ่านมา (Mas et al., 2015; Makinoshima, Imamura, and Abe, 2018; Suppasri et al., 2015; Esteban et al., 2013; Imamura, 2009; Leelawat, Suppasri, and Imamura, 2015) แนะนำไปในทางเดียวกันว่า ระบบเตือนภัยล่วงหน้าและความพร้อมในการอพยพประชาชนไปสู่ที่ปลอดภัย เป็นเป้าหมายหลักและสิ่งที่ควรให้ความสำคัญมากที่สุด แม้ว่าลักษณะทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทยทำให้เรามีเวลาสำหรับการอพยพอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ดังเช่นกรณีที่เกิดขึ้นทางฝั่งอันดามันในปี ค.ศ. 2004 ซึ่งอาจเพียงพอที่จะอพยพประชาชนในพื้นที่เสี่ยงเหล่านั้นไปสู่พื้นที่ปลอดภัย ดังนั้นการใช้เงินทุนจำนวนมากเพื่อมาตรการทางโครงสร้างขนาดใหญ่ไม่เพียงแต่สิ้นเปลือง แต่ยังส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจและสังคมตามแนวชายฝั่งของประเทศอีกด้วย

ในปัจจุบันเราสามารถประเมินประสิทธิภาพของมาตรการลดความเสี่ยงที่มีอยู่จากการซักซ้อมอพยพชนิดเต็มรูปแบบหรือทำให้มีเหตุการณ์บางอย่างเกิดขึ้นจริง แต่ที่ผ่านมามีวิธีการเหล่านี้ก็ยังไม่สามารถใช้เพื่อป้องกันปัญหาและปรับปรุงมาตรการลดความเสี่ยงให้มีประสิทธิภาพได้ดีพอ ส่งผลให้ภาพความตื่นตระหนกของผู้คนและสภาพการจราจรที่น่าเป็นห่วงยังถูกพบเห็นอยู่บ่อยครั้ง เมื่อมีเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในทะเลใกล้กับประเทศไทย ซึ่งอยู่ในระดับที่สามารถก่อให้เกิดภัยสึนามิได้ดังตารางที่ 1.1 และรูปที่ 1.1 แม้เหตุการณ์ที่ผ่านมาไม่ได้ก่อให้เกิดภัยสึนามิที่เป็นอันตรายก็ตาม ซึ่งสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาพเหตุการณ์ดังกล่าวคือ การซักซ้อมอพยพที่ผ่านมายังไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงเท่าที่ควรได้แก่ 1) ผู้เข้าร่วมการซักซ้อมเริ่มอพยพจากสถานที่เดียวกันคือจากชายหาดที่มีการจัดงาน ซึ่งแตกต่างจากความเป็นจริงที่ผู้อพยพจะเริ่มจากหลากหลายพื้นที่ 2) ในการซักซ้อมผู้เข้าร่วมการซักซ้อมจะเริ่มทำการอพยพพร้อมๆ กัน แต่ในความเป็นจริงการตัดสินใจเริ่มอพยพของผู้คนจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและข้อมูลที่ได้รับ 3) เส้นทางอพยพถูกจัดเตรียมเพื่อให้ผู้การอพยพด้วยเท้าเป็นไปด้วยดี แต่ในเหตุการณ์จริงผู้คนส่วนมากเลือกที่จะอพยพด้วยยานพาหนะ 4) เจ้าหน้าที่จราจรประจำการอยู่ก่อนหน้าว่าการอพยพจะเริ่มขึ้นและสามารถควบคุมให้การอพยพเป็นไปด้วยความเรียบร้อย แต่ในเหตุการณ์จริงเจ้าหน้าที่เข้าทำการควบคุมการจราจรพร้อม ๆ กับการอพยพที่เริ่มต้นขึ้นส่งผลให้การควบคุมสภาพการจราจรมีปัญหา โดยการซักซ้อมให้เหมือนจริงนั้นทำได้ยากและอาจต้องใช้ต้นทุนสูง คณะผู้วิจัยเห็นว่า มีความจำเป็นต้องพัฒนาเครื่องมือที่มีความทันสมัยและใช้ได้จริง เช่น แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิที่มีความเสมือนจริง สำหรับเป็นทางเลือกเพื่อหามาตรการลดความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะมาตรการการอพยพ

ในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมาหลายประเทศได้ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการประเมินและศึกษาเพื่อหาแนวทางการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพของมาตรการอพยพหนีภัยสึนามิ เช่น สหรัฐอเมริกา (Wood et al., 2016) ญี่ปุ่น (Goto et al., 2012; Makinoshima, Imamura, and Abe, 2018) นิวซีแลนด์ (Fraser et al., 2014) เอลซัลวาดอร์ (González-Riancho et al., 2013) เปรู (Mas, Adriano, and Koshimura, 2013) และไทย (Srivihok et al., 2014; Trumikaborworn et al., 2017) ฯลฯ โดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในงานวิจัย

เหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ แบบจำลองเชิงพื้นที่ (Spatial Modeling) และแบบจำลองเชิงบุคคลด้วยวิธีระบบมัลติเอเจนต์ (Multi-Agent System) ที่สามารถคำนึงถึงพฤติกรรมที่เป็นปัจเจกบุคคลและสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยวิธีการจำลองเชิงบุคคลนี้สามารถจำลองพฤติกรรมของผู้อพยพและสภาพสิ่งแวดล้อมได้หลากหลาย ที่อาจทำได้ยากในการชักซ้อมอพยพชนิดเต็มรูปแบบ เช่น 1) การกระจายตัวของผู้คนในพื้นที่เสี่ยงที่มีความเสมือนจริง 2) พฤติกรรมการตัดสินใจเริ่มอพยพ เลือกจุดหมาย และเลือกวิธีการเดินทางด้วยยานพาหนะหรือด้วยเท้าที่แตกต่างกันไปในแต่ละบุคคลโดยอ้างอิงจากแบบสำรวจ ซึ่งพฤติกรรมที่เป็นปัจเจกบุคคลเหล่านี้สามารถถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์ตามคุณลักษณะพื้นฐานของผู้อพยพ เช่น สถานะ (คนในพื้นที่หรือนักท่องเที่ยว) อายุ ความตระหนักรู้ภัยสึนามิ ประสบการณ์การอพยพ ฯลฯ

ที่ผ่านมาความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของพฤติกรรมผู้อพยพในแบบจำลองเหล่านี้ถูกศึกษาและตรวจสอบด้วยแบบสอบถาม ภาพถ่าย และวิดีโอจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในอดีตของต่างประเทศ เช่นเดียวกัน ในกรณีของประเทศไทยแบบจำลองที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ จะสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการอพยพที่มีประสิทธิภาพ เช่น ใช้หาจำนวนและตำแหน่งของอาคารหลบภัยที่เหมาะสมต่อผู้คนในพื้นที่เสี่ยง ใช้หาจำนวนและตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพของป้ายบอกเส้นทางหนีภัย ใช้หาผลกระทบที่มีต่อสภาพการจราจรจากอัตราส่วนของจำนวนผู้อพยพด้วยยานพาหนะต่อจำนวนผู้อพยพด้วยเท้า ใช้หาความกว้างของถนนและทางเท้าที่เหมาะสม ฯลฯ โดยการหามาตรการที่มีประสิทธิภาพจากแบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถทำได้หลายกรณีที่สนใจและยังใช้ต้นทุนต่ำ

โครงการวิจัยนี้จะนำความรู้และความเข้าใจใหม่ ๆ มาประยุกต์ใช้โดยเริ่มจากการใช้แบบจำลองเชิงเลข TUNAMI เพื่อศึกษาและเข้าใจความเสี่ยงภัยสึนามิที่อ้างอิงจากข้อมูลการค้นพบในปัจจุบัน อีกทั้งผลการศึกษาจากแบบจำลองเชิงเลขนี้ยังสามารถนำไปเผยแพร่สู่สาธารณะในรูปแบบของแผนที่เสี่ยงภัย จากนั้นทำการประเมินมาตรการลดความเสี่ยงที่มีอยู่เพื่อหาแนวทางการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้นโดยใช้แบบจำลองการอพยพที่ถูกพัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยนี้ ยิ่งไปกว่านั้น แบบจำลองการอพยพดังกล่าวจะถูกพัฒนาต่อยอดเป็นเกมคอมพิวเตอร์เพื่อยกระดับความตระหนักรู้ภัยสึนามิและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการชักซ้อมอพยพ สุดท้ายแล้วผลการศึกษาและเครื่องมือที่ถูกพัฒนาในโครงการวิจัยเหล่านี้จะกลายเป็นองค์ความรู้ที่มีประโยชน์ต่อการลดความเสี่ยงที่ช่วยให้ทุกพื้นที่ชายฝั่งสามารถรับมือกับภัยสึนามิได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาจกล่าวได้ว่าเป็นการศึกษาวิจัยอย่างเป็นระบบตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำจะมีส่วนสำคัญที่จะช่วยให้สร้างมาตรการที่ลดผลกระทบจากภัยพิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1.1 สรุปเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทย

วัน-เดือน-ปี	เวลา	ขนาด (M_w)	ความลึก (กม.)	แหล่งกำเนิด
28 มี.ค. 48	23.10	8.6	30	ทางตอนเหนือของเกาะสุมาตรา
หลังจากเกิดแผ่นดินไหวไม่นาน ผู้คนในหลายพื้นที่ของประเทศไทยสามารถรับรู้ถึงแรงสั่นสะเทือน และเมื่อเวลา 23.30 น. มีรายงานเกี่ยวกับการเกิดแผ่นดินไหวจาก USGS และ ETH Zurich (RedPuma) ซึ่งถัดมาในเวลา 23.45 น. กรมอุตุนิยมวิทยาประกาศให้ประชาชนเคลื่อนย้ายไปยังที่สูงและคอยเฝ้าระวังเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้น (เนื่องจากในเวลานั้นระบบการแจ้งเตือนภัยล่วงหน้าของประเทศไทยอยู่ในระยะการศึกษาเพื่อจัดตั้งศูนย์				

วัน-เดือน-ปี	เวลา	ขนาด (M _w)	ความลึก (กม.)	แหล่งกำเนิด
เดือนกุมภาพันธ์แห่งชาติ ¹ โดยมีพิธีเปิดอย่างเป็นทางการเมื่อวันที่ 30 พ.ค. 2548) และสุดท้ายได้ประกาศยกเลิกการเตือนภัยสึนามิในเวลา 02.20 น. ² (ของวันถัดมา) ยิ่งไปกว่านั้นเหตุการณ์ในครั้งนี้ยังพบว่าการสื่อสารผ่านโทรศัพท์มือถือขัดข้อง ³				
24 ก.ค. 48	22.42	7.2	16	หมู่เกาะนิโคบาร์
ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติได้ออกประกาศเตือนภัยสึนามิในเวลาประมาณ 23.00 น. ⁴ . ให้ประชาชนอพยพขึ้นที่สูงและรอฟังการยืนยันความปลอดภัยจากทางการ โดยหากเกิดคลื่นยักษ์จริง คลื่นลูกแรกจะเข้าที่อ่าวกระน จังหวัดภูเก็ตในเวลา 00.12 น. ⁵ จนกระทั่งเวลา 01.30 น. จึงมีการประกาศยกเลิกการเตือนภัย				
12 ก.ย 50	18.10	8.4	35	ทางตอนใต้ของเกาะสุมาตรา
ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติออกประกาศแจ้งสถานการณ์เกิดแผ่นดินไหวในทะเล เมื่อเวลา 19.49 น. ผู้ประกอบการและนักท่องเที่ยวที่หาดป่าตองบางส่วน เลือกอพยพเข้าเมืองภูเก็ตส่งผลกระทบต่อชีวิตยาว ขณะที่ชาวบ้านที่อยู่ตามริมทะเลบางส่วนเลือกที่จะอพยพไปอยู่บนที่สูง ⁶ ต่อมาในเวลา 21.10 น. ยกเลิกการแจ้งเตือนภัย หลังไม่พบการเกิดคลื่นสึนามิที่มีผลกระทบต่อประเทศไทย				
20 ก.พ. 51	15.05	7.5	35	ทางตะวันตกของเกาะสุมาตรา
อธิบดีกรมอุตุนิยมวิทยากล่าวถึงสถานการณ์ว่า “ขอให้ประชาชนที่อยู่ในพื้นที่ชายหาดทั้ง 6 จังหวัด ได้แก่ ระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง สตูล อย่าตื่นตระหนกต่อการเกิดเหตุแผ่นดินไหวและการแจ้งเตือนสึนามิ แต่ขอให้ติดตามความเคลื่อนไหวและการแจ้งข่าวจากศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติเท่านั้น” และอธิบดีกรมทรัพยากรธรณีกล่าวถึงเหตุการณ์นี้ว่า “คนในเขตกรุงเทพมหานครชั้นในรับรู้ถึงแรงสั่นสะเทือนได้นั้น เพราะกรุงเทพมหานครนั้นพื้นที่เป็นดินอ่อน มีส่วนผสมของน้ำค่อนข้างมาก จึงอ่อนไหวต่อแรงสั่นสะเทือน แต่ไม่น่าเป็นกังวลแต่อย่างใด” ⁷				
30 ก.ย. 52	17.16	7.9	81	ทางตอนใต้ของเกาะสุมาตรา
เมืองปาดังแกบชายฝั่งบนเกาะสุมาตราของอินโดนีเซีย มีบ้านเรือนพังเสียหายนับร้อยหลังคาเรือน สะพานถล่มและเกิดไฟไหม้ โดยแรงสั่นสะเทือนขยายไกลไปถึงมาเลเซีย และสิงคโปร์ ด้านญี่ปุ่นประกาศว่า อาจเกิดสึนามิครั้งใหญ่ในมหาสมุทรอินเดีย ⁸ ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติประกาศยกเลิกเตือนภัยสึนามิเวลา 19.00 น. ⁹				
7 เม.ย. 53	05.15	7.8	31	ทางตอนเหนือของเกาะสุมาตรา

¹ ประวัติศูนย์โดย ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ <http://www.ndwc.go.th/>

² ลำดับเหตุการณ์ ธรณีพิบัติภัย 2 โดย MGR Online <http://www.manager.co.th/Around/ViewNews.aspx?NewsID=9480000043807>

³ ชาวบ้านอพยพขึ้นที่สูงอลหม่าน มือถือล้ม ชาร์จแบตหมดโดย MGR Online <http://www.manager.co.th/Home/ViewNews.aspx?newsID=9480000043204>

⁴ แผ่นดินไหวเมื่อคืนสะเทือนทั่วมหาสมุทรอินเดีย โชคดีไม่มีสึนามิโดย MGR Online <http://www.manager.co.th/Around/ViewNews.aspx?NewsID=9480000098813>

⁵ เตือนภัยสึนามิ!!! หวั่นลูกแรกเข้าภูเก็ต 00.12 น. โดย MGR Online <http://www.manager.co.th/OnlineSection/ViewNews.aspx?NewsID=9480000098768>

⁶ ชาวภูเก็ตผวาเริ่มหนีสึนามิเข้าเมืองขึ้นเขาแล้วโดย MGR Online <http://www.manager.co.th/South/ViewNews.aspx?NewsID=9500000108035>

⁷ แผ่นดินไหว 7.6 อินโดฯ สะเทือนถึงกรุงเทพฯ โดย MGR Online <http://www.manager.co.th/QOL/ViewNews.aspx?NewsID=9510000021285>

⁸ เตือนอาจเกิดสึนามิ หลังเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงที่อินโดฯ โดย MGR Online <http://www.manager.co.th/Around/ViewNews.aspx?NewsID=9520000115091>

⁹ ประกาศยกเลิกเตือนภัยสึนามิโดย MThai News <https://news.mthai.com/general-news/58460.html>

วัน-เดือน-ปี	เวลา	ขนาด (M _w)	ความลึก (กม.)	แหล่งกำเนิด
ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติของไทยได้ออกประกาศเตือนภัยสึนามิสำหรับประชาชนตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามัน ให้อพยพไปหาที่ปลอดภัย และผู้สื่อข่าวรายงานว่า เมื่อเวลา 05.30 น. ชาวบ้านน้ำเค็มประมาณ 2,000 คน ออกจากบ้านน้ำเค็ม หลังชุดอพพร. บ้านน้ำเค็มใช้ห่อมือหมุนแจ้งเตือนให้อพยพออกจากพื้นที่ ทำให้ทั้งคนไทย และแรงงานต่างด้าวหนีออกจากบ้านอย่างซุ่มมูล และบริเวณหน้าที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลบางม่วง ชาวบ้านส่วนใหญ่จะใช้รถจักรยานยนต์ที่ต่อกันเป็นรถสามล้อพ่วงหรือรถยนต์ และบรรดาแรงงานต่างด้าวก็หอบ ลูกจูงหลานและใช้รถจักรยานในการหนีภัย และส่วนที่หาดป่าตองประชาชนและนักท่องเที่ยวที่อยู่บริเวณ ชายหาดต่างๆ ได้ติดตามข่าวสารและได้ยินการแจ้งเตือนจากรถประชาสัมพันธ์เคลื่อนที่ให้ประชาชน เตรียมพร้อมอพยพกรณีหากมีเหตุสึนามิเกิดขึ้น ทำให้ประชาชนและนักท่องเที่ยวบางส่วนแตกตื่นอพยพออกจากบ้านเรือนมาอยู่ที่ปลอดภัย สุดท้ายในเวลา 07.30 น. ชาวบ้านเริ่มกลับเข้าบ้านหลังจากได้รับการยืนยันจาก เจ้าหน้าที่กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดพังงาว่าไม่เกิดคลื่นยักษ์				
บทสัมภาษณ์¹⁰ - เจ้าหน้าที่อพพร.บ้านน้ำเค็มกล่าวว่า “การอพยพครั้งนี้เป็นไปตามที่ฝึกซ้อมมา แต่ยังมีข้อด้อยในการอพยพ ตรงที่เคยมีข้อตกลงกันว่าถ้ามีอพยพคนจากหมู่บ้านห้ามมีรถวิ่งสวนทางเข้าไปเพราะต้องการให้ถนนเป็น วันเวย์แต่ยังมีชาวบ้านบางส่วนที่ฝ่าฝืน เพราะหลายคนต้องเอารถวิ่งสวนทางเข้าไปเพื่อรับญาติๆ” - ผู้ว่าราชการจังหวัดภูเก็ตกล่าวว่า “ได้สั่งให้นายอำเภอทุกอำเภอตลอดจนท้องถิ่นทุกแห่งให้อพยพประชาชน ไปจุดปลอดภัยและนำรถประชาสัมพันธ์เคลื่อนที่ออกแจ้งเตือนประชาชนให้รับทราบเพื่อเตรียมความพร้อม และให้มีการติดตามสถานการณ์ใกล้ชิด” - เจ้าหน้าที่ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดพังงาว่า “การเตือนภัยในครั้งนี้ไม่ได้เปิดสัญญาณ เตือนกันแต่อย่างใด เพราะอยู่ในช่วงระยะเวลาเฝ้าระวัง แต่ได้ประสานไปตามท้องถิ่นต่างๆในพื้นที่เสี่ยงภัย ให้เตรียมความพร้อมอย่างเต็มที่” - ผู้ใหญ่บ้านทับตะวันหลังกล่าวว่า “ได้รับแจ้งข่าวการเกิดแผ่นดินไหว เมื่อเวลา 05.30 น.จากเอสเอ็มเอส ที่ ส่งมาจากศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ จากนั้นได้เข้าไปในหมู่บ้านเพื่ออพยพชาวบ้านรวมประมาณ 150 คน ให้ออกมาสังเกตการณ์ที่ริมถนนเพชรเกษม กม.ที่ 778 ซึ่งเป็นที่สูงและห่างจากชายทะเลประมาณ 1 ก.ม. โดยการอพยพเป็นไปด้วยดีเพราะที่นี้คนไม่มากนัก ซึ่งไม่พบว่าชาวบ้านมีความตื่นตระหนกแต่อย่างใด”				
11 เม.ย. 55	15.38	8.6	20	ตะวันตกเฉียงเหนือของเกาะสุมาตรา
11 เม.ย. 55	17:43	8.2	25	ตะวันตกเฉียงเหนือของเกาะสุมาตรา
เวลา 15.57 น. มีการแจ้งเตือนภัยผู้ที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัย ให้อพยพไปที่ปลอดภัยโดยเร็ว และติดตามข่าวสาร จากจากศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ ถัดมาในเวลา 16.20 น. ส่งอพยพประชาชนผ่านทางหอเตือนภัย วิเคราะห์ ข้อมูลและติดตามผลหลังเกิดแผ่นดินไหวย่อย 17.47 น. และประกาศยกเลิกเตือนภัยสึนามิในเวลา 20.45 น.¹¹ พบผู้คนอพยพ มาอยู่บริเวณนี้เป็นจำนวนมากที่บริเวณหน้าห้างเซ็นทรัลภูเก็ต และพบเห็นการจราจรติดขัดใน หลายพื้นที่โดยผู้คนส่วนมากเลือกอพยพด้วยยานพาหนะ¹²				

¹⁰ แผ่นดินไหว 7.8 ที่อินโดนีเซียเตือนสึนามิโดย คม-ชัด-ลึก <http://www.komchadluek.net/news/local/55013>

¹¹ ประกาศแจ้งเตือนจากศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติโดย ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ <http://www.ndwc.go.th/>

¹² เกาะติด แผ่นดินไหว 8.6 ริกเตอร์ที่อินโดนีเซียเตือนสึนามิโดย MThai News <https://news.mthai.com/general-news/161304.html>

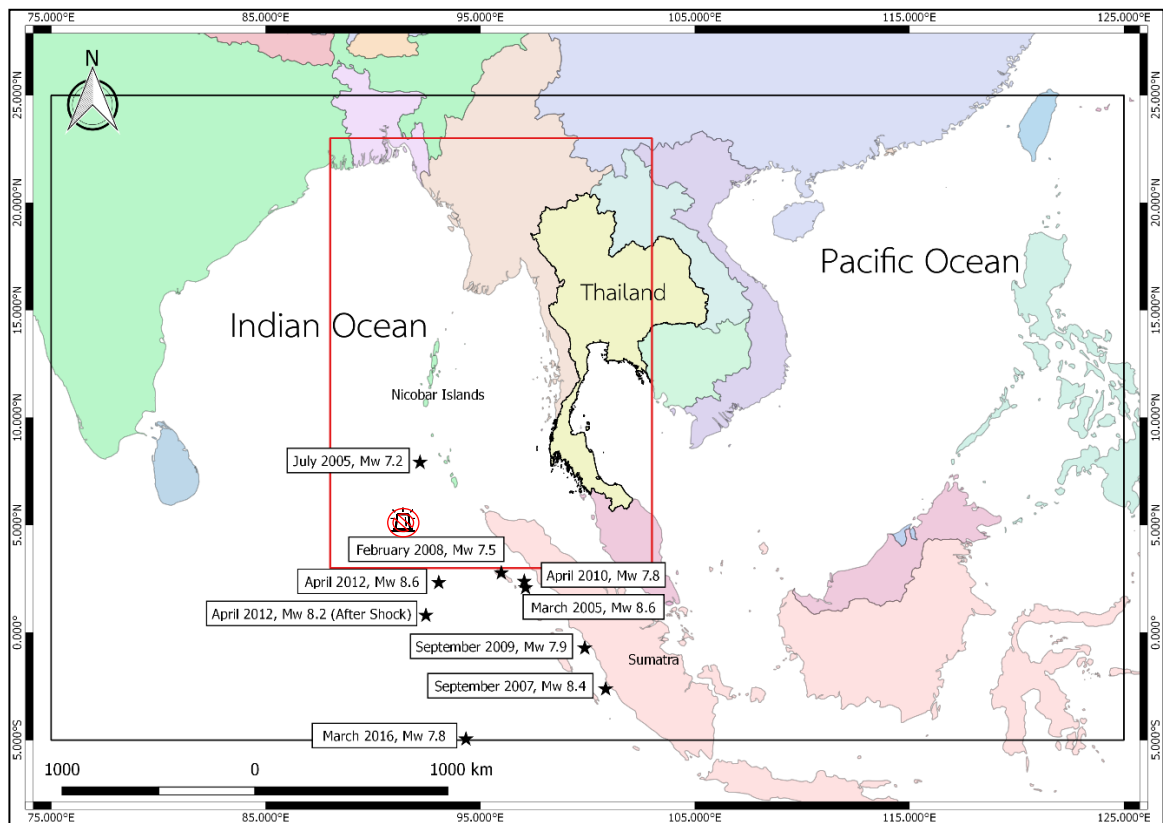
วัน-เดือน-ปี	เวลา	ขนาด (M _w)	ความลึก (กม.)	แหล่งกำเนิด
บทสัมภาษณ์¹³ - ผู้อำนวยการฝ่ายประชาสัมพันธ์ กะตะกรุ๊ป ดำเนินธุรกิจโรงแรม แบรินด์ กะตะ จ.ภูเก็ต กล่าวว่า “ทางโรงแรมได้ประกาศให้พนักงาน และแขกอพยพไปยังที่ที่ปลอดภัยแล้ว โดยดำเนินการตามแผนอพยพทุกอย่างที่เตรียมไว้ และจะติดตามความเคลื่อนไหวเป็นระยะ” - นายกสมาคมธุรกิจการท่องเที่ยว จังหวัดกระบี่ กล่าวว่า “ผู้ประกอบการท่องเที่ยวในบริเวณพื้นที่เสี่ยงใกล้ชายทะเลจังหวัดกระบี่ ได้ประกาศแจ้งเตือนภัยนักท่องเที่ยวที่อยู่ตามที่ต่างๆ เช่น เกาะพีพี อ่าวนาง เกาะลันตา ฯลฯ ซึ่งจากนี้ก็จะทำตามขั้นตอนที่ซ้อมไว้กรณีเกิดสึนามิ” - ประธานเจ้าหน้าที่บริหารสายการบินไทยแอร์เอเชียกล่าวว่า “กรณีสึนามิภูเก็ตปิดให้บริการจากเหตุแผ่นดินไหวที่เกาะสุมาตรา ทำให้สายการบินไทยแอร์เอเชียต้องงดเที่ยวบินในช่วงเย็นนี้” - ผู้จัดการแผนกสื่อสาร บริษัท สายการบินนกแอร์ จำกัด กล่าวว่า “หากลูกค้าที่จะเดินทางไป จ.ตรัง และภูเก็ตในช่วงระหว่างวันที่ 11-13 เมษายน หากมีความกังวล ต่อเหตุแผ่นดินไหวครั้งนี้ไม่สบายใจที่จะเดินทาง ทางสายการบินก็ยินดีเปิดให้เลื่อนการเดินทางออกไปได้นานสุด 1 เดือนโดยไม่เก็บค่าใช้จ่าย”				
2 มี.ค. 59	19.49	7.8	24	ทางตะวันตกเฉียงใต้ของเกาะสุมาตรา
เวลา 20.03 น.¹⁴ มีประกาศจากศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติแจ้งเตรียมพร้อมเฝ้าระวังภัยสึนามิ และต่อมาได้ประกาศยกเลิกในเวลา 23.00 น. เหตุการณ์ครั้งนี้พบชาวบ้านและนักท่องเที่ยว ที่พักอาศัยบริเวณชายฝั่งของทะเล ที่เคยเกิดสึนามิ รู้สึกตกตื่นได้อพยพวิ่งหนีกันอย่างอลหม่าน				
บทสัมภาษณ์¹⁵ - รองผู้ว่าราชการจังหวัดพังงา กล่าวว่า “ตามที่มีเหตุการณ์เกิดขึ้นทำให้นักท่องเที่ยวและชาวบ้าน รู้สึกตื่นตระหนก แต่ขณะเกิดเหตุการณ์ทางหน่วยงานได้เร่งประชาสัมพันธ์เพื่อทำความเข้าใจกับชาวบ้าน และถ้าเหตุการณ์เกิดขึ้น ก็สามารถดำเนินการตามแผนที่เคยซ้อมไว้ และหอดูดาวคลื่นยักษ์สึนามิทั้ง 18 หอทุกพื้นที่ของจังหวัดพังงา ก็ยังสามารถใช้งานได้ตามปกติ ขอให้ประชาชนอย่าตื่นตระหนก” - ชาวบ้านที่อาศัยในพื้นที่เสี่ยงกล่าวว่า “ขณะเกิดเหตุรู้สึกตื่นกลัวจนทำให้นักท่องเที่ยวและชาวบ้าน ที่อยู่บริเวณบ้านบางเนียง ได้ตื่นกลัวจนต้องปิดบ้านหนีขึ้นไปอยู่บนที่สูง เพื่อความปลอดภัย แต่ก็ยังคงเฝ้าระวังติดตามข่าวสารจากทางราชการ และยังเชื่อมั่นในระบบเตือนภัยในพื้นที่อยู่” - รศ.ดร.ปัญญา จารุศิริ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กล่าวว่า “แม้ค่าเฉลี่ยการเกิดสึนามิขนาดใหญ่ ที่จะส่งผลกระทบต่อประเทศไทยบริเวณชายฝั่งอันดามัน จะอยู่ที่ 1% ในรอบ 100 ปี แต่ตามธรรมชาติสึนามิจะเกิดขึ้นในพื้นที่เดิม ดังนั้น ในพื้นที่ที่เคยได้รับผลกระทบต้องเตรียมพร้อม”¹⁶				

¹³ โรงแรมนอพพพนักท่องเที่ยวยุโรปมีสึนามิ นกแอร์เลื่อนไฟล์ด-แอร์เอเชียปิดเช็คอินโดย MGR Online <https://mgronline.com/business/detail/9550000045625>

¹⁴ เกิดแผ่นดินไหว 7.9 ริกเตอร์ที่เกาะสุมาตรา เดือนเกิดสึนามิโดย MGR Online <http://www.manager.co.th/QOL/ViewNews.aspx?NewsID=9590000022596>

¹⁵ ชาวบ้าน-นักท่องเที่ยว พังงา ผนว ผวา แผ่นดินไหว 7.9 จนท.ขออย่าตระหนกโดย ไทยรัฐออนไลน์ <https://www.thairath.co.th/content/585278>

¹⁶ ซึ่คลื่นยักษ์สึนามิ กระทบไทย 100 ปี มีโอกาสเกิดเพียง 1% แต่มักเกิดในที่เดิมโดย PPTV News <https://www.pptvhd36.com/news>



คำอธิบายภาพ

- พื้นที่เฝ้าระวังที่ 1
- พื้นที่เฝ้าระวังที่ 2
- ไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับประกาศเตือนภัยสึนามิจาก ศภข.
- ★ เหตุการณ์แผ่นดินไหวในทะเล

แหล่งข้อมูล

Search Earthquake Catalog by United States Geological Survey (USGS)
 Tsunami Data and Information by National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
 เหตุการณ์แผ่นดินไหวในประเทศและใกล้เคียงโดย กองเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา (TMD)
 ประกาศแจ้งเตือนจากศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติโดย ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ (ศภข. หรือ NDWC)

รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวในมหาสมุทรอินเดียนับตั้งแต่ปีค.ศ. 2005-2016

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้เข้าใจถึงกลไกการเกิดและความเสี่ยงภัยสึนามิตามแนวชายฝั่งอันดามันโดยเฉพาะจากแผ่นดินไหวบริเวณทางตอนเหนือของแอมูตตัวซุนดาและตามแนวชายฝั่งอ่าวไทยจากแผ่นดินไหวบริเวณแอมูตตัวมะนิลาใกล้ประเทศฟิลิปปินส์
2. จัดทำแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิเพื่อใช้ในการเผยแพร่ให้ประชาชนมีความรู้ความเข้าใจอันตรายจากภัยสึนามิ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานรัฐและภาคส่วนต่างๆในการวางนโยบายและมาตรการลดความเสี่ยงที่เหมาะสม
3. ทำการพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คนที่มีความเสมือนจริงและเหมาะสมกับประเทศไทย โดยแบบจำลองมีการคำนึงถึงตรรกะความคิดของผู้อพยพแต่ละคนขณะหนีภัย และการปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนรวมถึงสิ่งแวดล้อมรอบข้าง
4. ใช้แบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คนเพื่อศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของมาตรการลดความเสี่ยงต่างๆในปัจจุบัน เช่น ระบบเตือนภัย อาคารหนีภัย ป้ายสัญญาณการหนีภัย และการฝึกซ้อมการหนีภัย เพื่อนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงมาตรการดังกล่าว
5. นำแบบจำลองการอพยพที่มีความเสมือนจริงไปต่อยอดสู่การพัฒนาเป็นเกมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งในการฝึกซ้อมการหนีภัยและการรักษาความตระหนักให้คงอยู่ต่อไป

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิจะถูกจัดทำขึ้นสำหรับพื้นที่ทั้งบริเวณชายฝั่งอันดามัน เช่น เกาะพระทอง บ้านน้ำเค็ม แหลมปะการัง เขาหลัก หาดป่าตอง เกาะพีพี ฯลฯ และบริเวณบางส่วนของชายฝั่งอ่าวไทย
2. แบบสำรวจและเกมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับศึกษาพฤติกรรมการอพยพรวมไปถึงการทดสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิ เลือกใช้พื้นที่ศึกษาบริเวณเขาหลักจังหวัดพังงา เนื่องจากมีหลายองค์ประกอบที่สำคัญต่องานวิจัย เช่น ประเภทของผู้คนในพื้นที่ที่มีความหลากหลาย (ผู้อยู่อาศัยและนักท่องเที่ยว) พื้นที่ที่มีความอันตรายจากภัยสึนามิสูงที่สุด และพื้นที่มีมาตรการลดความเสี่ยงภัยจากสึนามิที่สำคัญ ฯลฯ
3. โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาแบบจำลองการอพยพสำหรับภัยสึนามิเท่านั้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง ทั้งนี้โครงการวิจัยอื่นสามารถนำไปต่อยอดสำหรับภัยอื่นๆ ได้

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในโครงการนี้ได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 งานย่อย ซึ่งแต่ละงานย่อยจะมีความสัมพันธ์กันตามลำดับ ผลจากการประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิสำหรับพื้นที่ศึกษาต่างๆ ในงานย่อยที่ 1 จะถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลนำเข้าสำหรับการพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพในงานย่อยที่ 2 จากนั้นเครื่องมือวิจัยที่ได้พัฒนาขึ้นในงานย่อยที่ 2 จะถูกใช้เพื่อศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของมาตรการลดความเสี่ยงในงานย่อยที่ 3 รวมถึงการต่อยอดสู่การพัฒนาเป็นเกมคอมพิวเตอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

งานย่อยที่ 1 เน้นการศึกษาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เพื่อทำการประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิในอนาคต และจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิ โดยมีขั้นตอนหลักดังนี้

1. ทำการรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนที่ของเปลือกโลกและข้อมูลแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นในอดีตทั้งในทะเลอันดามันและทะเลจีนใต้รวมถึงบริเวณโดยรอบ จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อระบุตำแหน่งและลักษณะของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดภัยสึนามิต่อประเทศไทยได้ในอนาคต
2. ทำการรวบรวมและสร้างข้อมูลความลึกของพื้นมหาสมุทร (Bathymetry Data) และแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) ของภูมิภาคประเทศบริเวณชายฝั่งที่มีความถูกต้องและความละเอียดสูงโดยเฉพาะบริเวณรอบๆ ชายฝั่งสำหรับการจำลองเชิงเลขของคลื่นสึนามิ
3. ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง TUNAMI สำหรับประเทศไทย เพื่อจำลองการเกิดของคลื่นสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว การเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิเข้าสู่ชายฝั่ง และการท่วมถึงบริเวณชายฝั่ง
4. ทำการประเมินผลกระทบและจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจอันตรายจากภัยสึนามิในอนาคต

ในแต่ละขั้นตอนหลักของงานย่อยที่ 1 มีรายละเอียดของการดำเนินการดังนี้

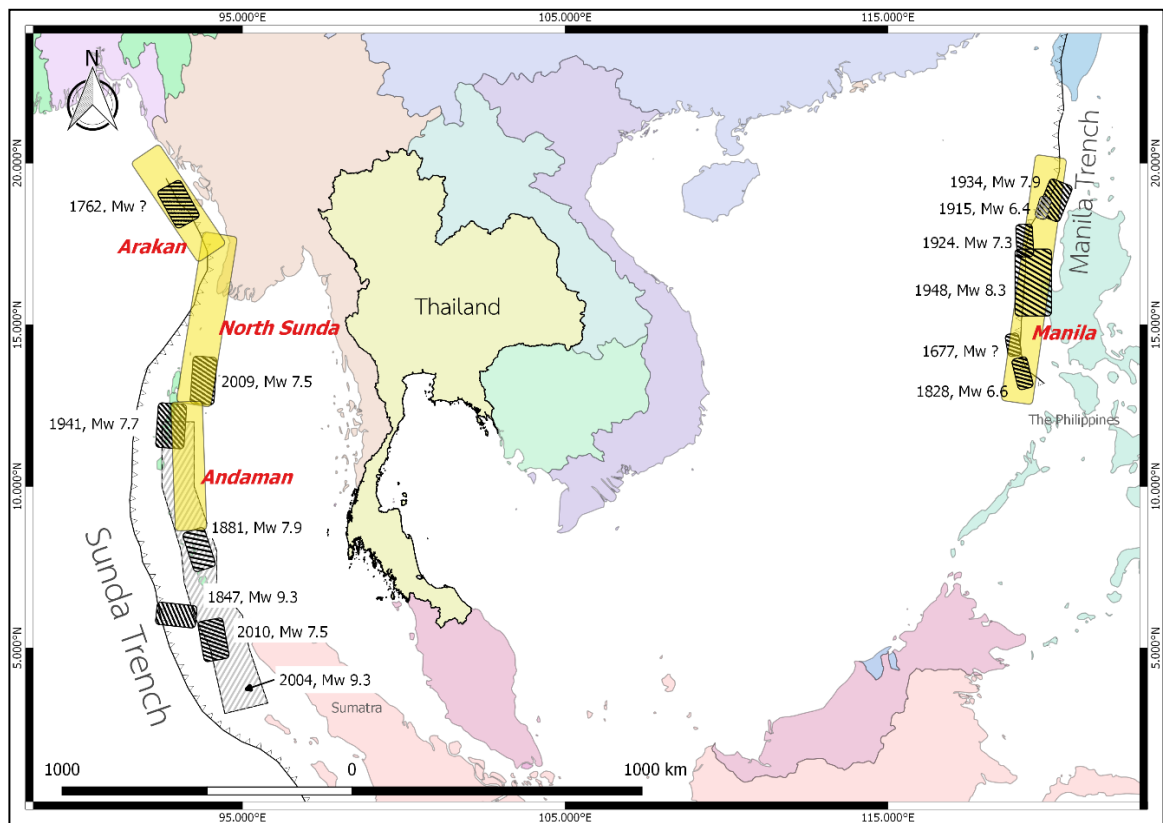
1. ทำการรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนที่ของเปลือกโลกและข้อมูลแผ่นดินไหวขนาดใหญ่และระบุแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดภัยสึนามิต่อประเทศไทยได้ในอนาคต

คณะผู้วิจัยจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ต่างๆที่เกิดขึ้นในอดีตทั้งในทะเลอันดามันดังแสดงในตารางที่ 1.2 และทะเลจีนใต้รวมถึงบริเวณโดยรอบ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดคลื่นสึนามิหรืออาจจะส่งผลกระทบบางอย่างต่อประเทศไทย โดยข้อมูลที่น่าสนใจได้แก่ ความสูงของคลื่นสึนามิและพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ และกลไกในการเกิดแผ่นดินไหว ข้อมูลเหล่านี้จะใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อจะสร้างเหตุการณ์จำลองที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต โดยการกำหนดตัวแปรต่างๆ ของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการจำลองเชิงเลขของการเกิดคลื่นสึนามิ นอกจากนี้คณะผู้วิจัยจะทำการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่สามารถทำให้เกิดคลื่นสึนามิได้ในอนาคต (Wang et al., 2013; Greenslade et al., 2014) รวมถึงการศึกษาการเคลื่อนที่ของเปลือกโลกในปัจจุบันตามแนวมุดตัวซุนดาและแนวมุดตัวมะนิลา โดยจะมุ่งเน้นไปที่แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณทางตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดาและแผ่นดินไหวบริเวณแนวมุดตัวมะนิลาใกล้ประเทศฟิลิปปินส์ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่แตกต่างจากเหตุการณ์สึนามิในปี ค.ศ. 2004 ทั้งนี้แนวมุดตัวซุนดาบริเวณหมู่เกาะอันดามันที่เป็นส่วนหนึ่งของเหตุการณ์ในปี ค.ศ. 2004 ก็อาจจะทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้อีกเนื่องจากการแตกของรอยเลื่อน (Fault Rupture) บริเวณนี้อาจยังไม่ได้ปลดปล่อยพลังงานออกมามากนัก การศึกษาข้อมูลที่ทันสมัยเกี่ยวกับคาบการเกิดซ้ำ (Return Period) และการเคลื่อนตัว (Convergent Rate) ของแนวมุดตัวซุนดาและแนวมุดตัวมะนิลาจะนำไปสู่การระบุแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดภัยสึนามิต่อประเทศไทยและสร้างเหตุการณ์จำลองสึนามิที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต โดยขนาดการเคลื่อนตัว (Fault Slip) อาจจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude) และเรขาคณิตของรอยเลื่อน (Fault Geometry) นำเสนอโดย Wells and Coppersmith (1994) อีกทั้งกลไกของรอยเลื่อน (Fault Mechanisms) อาจจะวิเคราะห์จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีตหรือใช้กลไกของรอยเลื่อนที่ทำให้สามารถสร้างเหตุการณ์จำลองสึนามิที่เลวร้ายที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้จากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวนี้ โดยอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทำ Inverse modeling เพื่อหาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในอดีต ซึ่งความเป็นไปได้ของการทำแบบจำลองประเภทนี้ต้องพิจารณาถึงข้อมูลและความรู้ที่ถูกต้องพบใน

งานวิจัยทางด้านธรณีวิทยาที่ผ่านมา เช่น Jankaew et al. (2008) ที่ได้ทำการศึกษาตะกอนสึนามิในอดีตจากพื้นที่
เกาะพระทอง จังหวัดพังงา และ Choowong et al. (2008) ที่ได้ทำการวิเคราะห์ตะกอนสึนามิปี ค.ศ. 2004 ฯลฯ

ตารางที่ 1.2 ตัวแปรของรอยเลื่อนที่ทำให้เกิดเหตุการณ์สึนามิในอดีตและอาจเกิดขึ้นในอนาคต

Event	Location	M _w	Lat (°N)	Lon (°E)	Depth (km)	Length (km)	Width (km)	Slip (m)	Strike (°)	Dip (°)	Slip (°)
Historical	Nicobar, 1847	7.5	7.33	93.67	15	100	50	1.2	340	15	90
	Nicobar, 1881	7.9	8.52	92.43	15	150	60	2.7	360	20	90
			10.75	92.43	15	40	35	0.9	360	15	90
	Andaman, 1941	7.7	12.50	92.00	15	110	55	1.4	10	15	90
	Sumatra, 2004	9.3	3.03	94.40	10	200	150	14.0	323	15	90
			4.48	93.20	10	125	150	12.6	335	15	90
			5.51	92.87	10	180	150	15.1	340	15	90
			7.14	92.34	10	145	150	7.0	340	15	90
			8.47	91.88	10	125	150	7.0	345	15	90
			9.63	91.57	10	380	150	7.0	7	15	90
	Andaman, 2009	7.5	14.10	92.89	20	100	50	1.2	60	63	-63
	Nicobar, 2010	7.5	7.75	91.94	35	100	50	1.2	116	61	152
Potential	Arakan	9.0	17.50	94.30	10	575	145	10.0	326	20	124
	North Sunda	9.0	14.10	92.30	10	575	145	10.0	20	15	90



คำอธิบายภาพ

- แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต
- แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในอดีต

แหล่งข้อมูล

Search Earthquake Catalog by United States Geological Survey (USGS)

รูปที่ 1.2 ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวสำหรับเหตุการณ์สึนามิในอดีตและอาจเกิดขึ้นในอนาคตแนวมุดตัวซุนดาและแนวมุดตัวมะนิลา (Suppasri, Imamura, and Koshimura, 2012b)

2. ทำการรวบรวมและสร้างข้อมูลความลึกของพื้นมหาสมุทร (Bathymetry Data) และแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) ของภูมิประเทศบริเวณชายฝั่งที่มีความถูกต้องและความละเอียดสูง

ในระหว่างดำเนินการขั้นตอนที่ 1 คณะผู้วิจัยจะทำการรวบรวมข้อมูลความลึกของพื้นมหาสมุทร (Bathymetry Data) และแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) ของภูมิประเทศบริเวณชายฝั่งที่มีอยู่ในปัจจุบันจากแหล่งต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองสึนามิ โดยทั่วไปข้อมูลความลึกของพื้นมหาสมุทรที่นิยมใช้กันในปัจจุบันจะมาจาก GEBCO ที่มีขนาดกริดเล็กที่สุดคือ 30 arc-sec หรือประมาณ 900 เมตร สำหรับแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขของภูมิประเทศบริเวณชายฝั่งที่นิยมใช้กันจะมาจาก SRTM ที่มีขนาดกริดอยู่ที่ 90 เมตร ทั้ง GEBCO และ SRTM เป็นแหล่งนี้เป็นข้อมูลที่สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีแต่มีความละเอียดต่ำ ทั้งนี้การสร้างระบบข้อมูลความลึกและความสูงที่มีความถูกต้องและความละเอียดสูงบริเวณชายฝั่งทะเลอันดามันและอ่าวไทยเป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำให้การจำลองการเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิเข้าสู่ชายฝั่ง การขึ้นสู่ชายฝั่งและการท่วมถึงของคลื่นสึนามิมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด ดังนั้นจึงอาจมีความจำเป็นที่จะต้องนำข้อมูลจากแหล่งอื่นๆมาใช้ประกอบด้วย เช่น แผนภาพดิจิทัลทางทะเล ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลจากการสำรวจด้วยวิธีต่างๆ ฯลฯ เพื่อพัฒนาเป็นระบบข้อมูลความสูงที่มีความถูกต้องมากที่สุดโดยเฉพาะบริเวณเส้นแนวชายฝั่งสำหรับประเทศไทยกรมอุทกศาสตร์ของกองทัพเรือได้มีการจำหน่ายข้อมูลความลึกของพื้นมหาสมุทรที่มีความ

ละเอียดยประมาณ 200-300 เมตร และกรมพัฒนาที่ดินได้มีการจำหน่ายข้อมูลแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขของภูมิประเทศบริเวณชายฝั่งที่มีความละเอียดสูงสุด 5 เมตร ที่คณะผู้วิจัยเชื่อว่าข้อมูลที่ได้จากกรมพัฒนาที่ดินเป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือได้ระดับหนึ่ง

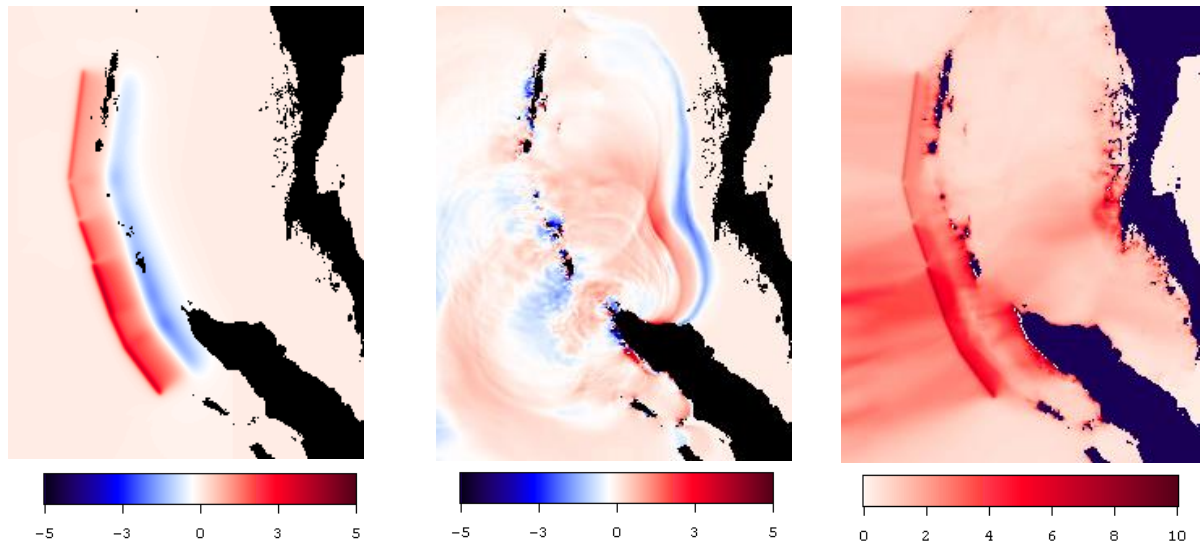
จากแหล่งข้อมูลที่สามารถหาได้ คณะผู้วิจัยจะทำการรวมข้อมูลของพื้นมหาสมุทรและภูมิประเทศบริเวณชายฝั่งเข้าด้วยกันเพื่อจัดทำเป็นกลุ่มข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองเชิงเลขสึนามิ โดยกลุ่มข้อมูลนำเข้าจะประกอบด้วยข้อมูลที่มีระดับความละเอียดแตกต่างกันได้แก่ 1,215 เมตรที่ขอบเขตที่ 1 ซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่ที่ใหญ่ที่สุดทั้งทะเลอันดามันหรือทะเลจีนใต้ สำหรับขอบเขตที่ 2 จะครอบคลุมพื้นที่เล็กลงมาที่ความละเอียด 405 เมตร สำหรับขอบเขตที่ 3 จะครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ตามชายฝั่งทะเลอันดามันหรือชายฝั่งอ่าวไทยมากขึ้นที่มีความละเอียด 135 เมตร ขอบเขตที่ 4 จะครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งที่ทางคณะผู้วิจัยให้ความสนใจที่ความละเอียด 45 เมตร สำหรับขอบเขตที่ 5 จะมีความละเอียดสูงสุดคือ 15 เมตร ครอบคลุมบริเวณที่ต้องการจำลองการท่วมถึงของคลื่นสึนามิ

3. ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง TUNAMI สำหรับประเทศไทย เพื่อจำลองการเกิดของคลื่นสึนามิจาก

แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว การเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิเข้าสู่ชายฝั่ง และการท่วมถึงบริเวณชายฝั่ง

ในงานวิจัยนี้การจำลองเชิงเลขจะถูกใช้เป็นวิธีการหลักในการประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิตามแนวชายฝั่งอันดามันและอ่าวไทย จากการระบุแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ทั้งในบริเวณทางตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดาและบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา รวมทั้งการกำหนดตัวแปรต่างๆสำหรับกลไกของรอยเลื่อนในขั้นตอนที่ 1 แบบจำลอง TUNAMI (Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of near-field tsunamis) ซึ่งพัฒนาโดย Imamura, Yalciner, and Gulizar Ozyurt (1989) จะถูกใช้ในการจำลองการเกิดของคลื่นสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Tsunami Generation) การเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิเข้าสู่ชายฝั่ง (Tsunami Propagation) การขึ้นสู่ชายฝั่ง (Run Up) และการท่วมถึงของคลื่นสึนามิ (Inundation) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 โดยพื้นที่ศึกษาบริเวณชายฝั่งอันดามันได้แก่ เกาะพระทอง บ้านน้ำเค็ม แหลมปะการัง เขาหลัก หาดป่าตอง เกาะพีพี ฯลฯ

กว่า 30 ปีที่แบบจำลอง TUNAMI นี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยคณาจารย์ของมหาวิทยาลัยโทโฮคุในประเทศญี่ปุ่น ภายใต้เงินสนับสนุนจากองค์การ UNESCO ได้ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยทางด้านสึนามิในหลายๆประเทศทั่วโลก โดยผู้วิจัยยังได้มีโอกาสพัฒนาและใช้แบบจำลองนี้ในการประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิของประเทศญี่ปุ่น ตุรกี และคูเวต ในระหว่างปี ค.ศ. 2014 ถึงปี ค.ศ. 2017 ณ มหาวิทยาลัยโทโฮคุ (Latcharote et al. 2016; Latcharote, Leelawat, et al. 2017; Latcharote, Al-Salem, et al. 2017; Srivihok et al. 2014) อีกทั้งยังสามารถใช้ร่วมกับแบบจำลองการหนีภัย (Mas et al., 2015) แบบจำลอง TUNAMI ได้เคยถูกนำมาใช้ศึกษาภัยสึนามิสำหรับประเทศไทยและตรวจสอบความน่าเชื่อถือกับเหตุการณ์สึนามิเมื่อปี ค.ศ. 2004 (Ruangrassamee and Saelem 2009; Suppasri, Imamura, and Koshimura 2012a, 2012b, 2013; Suppasri, Koshimura, and Imamura 2011) อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบความถูกต้องและตรวจสอบความน่าเชื่อถือเช่นเดียวกัน โดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลจากการสำรวจหลังเกิดเหตุการณ์ในปี ค.ศ. 2004 ที่ผ่านมา (Choowong et al. 2008) เพื่อที่จะมั่นใจได้ว่าแบบจำลองสามารถประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิจากเหตุการณ์ในอนาคตได้ถูกต้องมากที่สุด



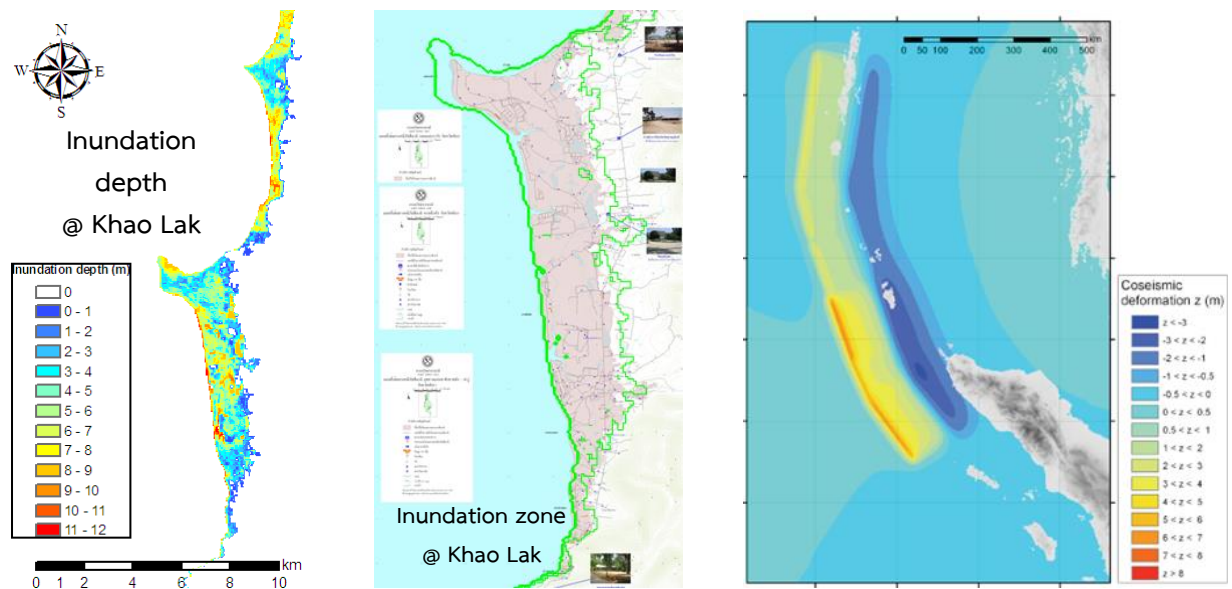
รูปที่ 1.3 ตัวอย่างเหตุการณ์ในปีค.ศ. 2004 การเกิดของคลื่นสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (รูปซ้าย) การเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิเข้าสู่ชายฝั่ง (รูปกลาง) และความสูงของคลื่นสึนามิ (รูปขวา)

ในแบบจำลอง TUNAMI-N2 ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน การจำลองการเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวเข้าสู่ชายฝั่งจะใช้ทฤษฎีคลื่นตามยาวแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Long-Wave Theory) แบบจำลอง TUNAMI-N2 ประยุกต์ใช้วิธีการ explicit staggered finite difference ในการแก้ปัญหา shallow water equations ที่สามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของคลื่นสึนามิ (Tsunami Evolution) ที่กำลังเข้าสู่ชายฝั่งไปสู่กระบวนการท่วมถึงบริเวณชายฝั่ง (Coastal Flooding Process) กระบวนการท่วมถึงใช้วิธีการ wet and dry moving boundary เพื่อจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำระหว่างการท่วมถึงและกระบวนการถอนตัวกลับสู่ทะเล (Imamura, 1995) จากกลุ่มข้อมูลความลึกของพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขในขั้นตอนที่ 2 โดยถูกนำมาใช้สร้างแบบจำลองแต่ละระดับความละเอียดใน 2 มิติ (2D Nested-Grids Simulation) การจำลองคลื่นสึนามิในทะเลลึกจะใช้ระดับความละเอียดที่ต่ำที่สุดและการจำลองคลื่นสึนามิบริเวณชายฝั่งในเขตนํ้าตื้นจะใช้ระดับความละเอียดที่สูงที่สุด การจำลองด้วยวิธีการนี้จะช่วยจัดการพื้นที่ขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพจากทรัพยากรที่มีอยู่จำกัด ผลลัพธ์ของการจำลองจะอยู่ในรูปแบบรหัสแอสกี (ASCII) ซึ่งสามารถนำไปสร้างแผนที่เสี่ยงภัยในขั้นตอนต่อไป รวมทั้งผลลัพธ์จำพวกความสูงและการท่วมถึงของคลื่นสึนามิ จะถูกนำไปเป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองการอพยพ (Evacuation Simulation) ในงานย่อยที่ 2 อีกด้วย

4. ทำการประเมินผลกระทบและทำแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจอันตรายจากภัยสึนามิในอนาคต

การจำลองสึนามิในหลายๆกรณีที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตดังแสดงในรูปที่ 1.2 ทำให้สามารถประเมินระดับความสูงของคลื่นสึนามิตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันได้ เช่น จากกรณีของ North Sunda กรณีของ Arakan และกรณีของ Andaman หรืออาจจะเป็นกรณีที่เกิดขึ้นพร้อมกัน และตามแนวชายฝั่งอ่าวไทย เช่น จากกรณีของ Manila ทำให้สามารถระบุแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดภัยสึนามิที่เป็นอันตรายต่อประเทศไทยได้และสามารถทราบได้ว่าแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวนั้นๆ สามารถก่อให้เกิดภัยสึนามิได้อย่างไร ในลักษณะและกลไกการเกิดแบบใด จากการจำลองสึนามิกรณีหนึ่งนอกจากจะทำให้ทราบความสูงของคลื่นบริเวณชายฝั่งแล้ว ยังทำให้ทราบความลึกและความเร็วของการท่วมถึงบนชายฝั่ง รวมทั้งเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดไปจนถึงชายฝั่ง

ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการกำหนดมาตรการการอพยพ อีกทั้งแผนที่เสี่ยงภัยจะถูกสร้างขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงความสูงของคลื่นสึนามิหรือการท่วมถึงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันและอ่าวไทยที่แตกต่างกันในแต่ละกรณีของการจำลอง รวมถึงการสร้างแผนที่เสี่ยงภัยโดยการแบ่งระดับตามขนาดของแผ่นดินไหวซึ่งจะสอดคล้องกับคาบการเกิดซ้ำ จากการศึกษาในงานย่อยที่ 1 นี้จะนำไปสู่การรายงานข้อสรุปจากข้อมูลการค้นพบในปัจจุบันเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจต่อเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต อีกทั้งในอนาคตอาจถูกใช้อ้างอิงเพื่อประเมินความเสี่ยงแบบฉับพลันหลังจากที่เกิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนในตำแหน่งนั้นๆ สำหรับประกอบการตัดสินใจในการเตือนภัย แผนที่การท่วมถึงของคลื่นสึนามิดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1.4 และจะถูกจัดเตรียมโดยอ้างอิงจากเอกสารที่มีการเผยแพร่จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนการอพยพประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยจากสึนามิ (กองนโยบายป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2018) ฯลฯ เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับข้อกำหนดที่มีอยู่แล้ว อีกทั้งอาจถูกใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อประชาชนและเศรษฐกิจโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งยังเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อคนในชุมชนและนักท่องเที่ยวในการเตรียมความพร้อมรับมือกับสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิจะถูกจัดทำขึ้นสำหรับพื้นที่ทั้งบริเวณชายฝั่งอันดามัน เช่น เกาะพระทอง บ้านน้ำเค็ม แหลมปะการัง เขาหลัก หาดป่าตอง เกาะพีพี ฯลฯ และบริเวณบางส่วนของชายฝั่งอ่าวไทย โดยจะมีความละเอียดแผนที่ขนาด 1 ต่อ 100000 สำหรับครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างและขนาด 1 ต่อ 4000 สำหรับพื้นที่เฉพาะแหล่ง



รูปที่ 1.4 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิแสดงความลึกและพื้นที่ของการท่วมถึงบริเวณเขาหลัก (รูปซ้าย และรูปกลาง) จากแหล่งกำเนิดคลื่นสึนามิในปีค.ศ. 2004 (รูปขวา) (Suppasri, Koshimura, and Imamura, 2011)

งานย่อยที่ 2 พัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คน โดยพฤติกรรมของผู้คนในแบบจำลองต้องสอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้อพยพในพื้นที่เสี่ยงของประเทศไทยทั้งผู้อยู่อาศัยและนักท่องเที่ยว มีขั้นตอนหลักดังนี้

1. ทำการศึกษาและรวบรวมพฤติกรรมของการอพยพหนีภัยสึนามิทั้งกรณีที่มีสึนามิเกิดขึ้นจริงและกรณีที่น่าจะเกิดสึนามิจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและรายงานข่าว
2. พัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คน โดยแบบจำลองสามารถแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของผู้อพยพทั้งก่อนเริ่มอพยพและระหว่างการเดินทางอพยพไปยังจุดหมาย
3. ศึกษาพฤติกรรมของผู้อพยพแล้วนำผลการศึกษาที่ได้จากแบบสำรวจและเกมคอมพิวเตอร์ไปปรับปรุงแบบจำลอง เพื่อให้พฤติกรรมของผู้อพยพในแบบจำลองสอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้อพยพในพื้นที่ที่สนใจทั้งผู้อยู่อาศัยและนักท่องเที่ยว
4. ทดสอบความถูกต้อง (Verification) และความน่าเชื่อถือ (Validation) ของแบบจำลอง

ในแต่ละขั้นตอนหลักของงานย่อยที่ 2 มีรายละเอียดของการดำเนินการดังนี้

1. ทำการรวบรวมและศึกษาพฤติกรรมของการอพยพหนีภัยสึนามิทั้งกรณีที่มีสึนามิเกิดขึ้นจริงและกรณีที่น่าจะเกิดสึนามิจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและรายงานข่าว

คณะผู้วิจัยจะทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของการอพยพหนีภัยสึนามิจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและรายงานข่าวที่ผ่านมาดังตัวอย่างก่อนหน้านั้นในตารางที่ 1.1 ทั้งในกรณีของเหตุการณ์ที่มีคลื่นสึนามิเกิดขึ้นจริงและกรณีของเหตุการณ์ที่เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในทะเลระดับที่สามารถก่อให้เกิดภัยสึนามิได้แต่ไม่ได้ก่อให้เกิดอันตรายต่อประเทศไทยแต่อย่างใด เหตุการณ์เหล่านี้ก่อให้เกิดงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการอพยพหนีภัยสึนามิเพื่อใช้ประเมินและปรับปรุงมาตรการการอพยพให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ในหลายประเทศ เช่น ญี่ปุ่น (Makinoshima, Imamura, and Abe, 2016; Murakami, Takimoto, and Pomonis, 2012) สหรัฐอเมริกา (Wood et al., 2014) นิวซีแลนด์ (Fraser et al., 2016) และเปรู (Mas, Adriano, and Koshimura, 2013) ฯลฯ โดยความจำเป็นที่ต้องทำการรวบรวมเหตุการณ์เหล่านี้เนื่องมาจากการศึกษาพฤติกรรมการอพยพจากภัยสึนามิในประเทศไทยนั้นค่อนข้างมีอยู่จำกัด (Charnkol and Tanaboriboon, 2006; Pananont and Srisomboon, 2014) โดยการศึกษาส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปในการศึกษาถึงผลกระทบด้านอื่นๆจากภัยสึนามิ (Suppasri et al., 2015; Ruangrassamee and Saelem, 2009; Choowong et al., 2008)

งานวิจัยด้านการศึกษาพฤติกรรมการอพยพนั้นใช้วิธีการเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามและการสัมภาษณ์เป็นหลัก โดยใช้หลักการทางสถิติในการจำลองพฤติกรรมของผู้อพยพ เช่น การตัดสินใจเริ่มอพยพ การตัดสินใจเลือกวิธีการเดินทาง การตัดสินใจเลือกเส้นทาง ฯลฯ โดยบางงานวิจัยได้เก็บข้อมูลจากแบบสอบถามโดยกำหนดให้ตอบคำถามเดียวกันจากสถานการณ์ที่แตกต่างกันไปตามระยะเวลาของคลื่นเข้าปะทะชายฝั่ง (Charnkol and Tanaboriboon, 2006) และบางงานวิจัยได้เปรียบเทียบคำตอบจากแบบสอบถามสองชนิด (Mas et al., 2012) คือ แบบสอบถามที่ถามหลังจากพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในการอพยพที่ผ่านมา (Revealed Preference survey) และแบบสอบถามที่ถามเพื่อคาดการณ์พฤติกรรมในอนาคต (Stated Preference survey) ฯลฯ

ดังนั้นในการศึกษาพฤติกรรมการอพยพ การสร้างสถานการณ์และข้อกำหนดที่แตกต่างกัน (Scenarios) ในแบบสอบถาม และการเปรียบเทียบคำตอบจากพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงกับการคาดการณ์ (Triangulate) จะช่วยให้การศึกษาพฤติกรรมเหล่านี้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น อีกทั้งเพื่อให้เห็นลักษณะการอพยพที่เป็นระบบ เราจึงทำการจำแนกตามแบบจำลองแผนผังแสดงลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามลำดับเวลา (Egress Timeline Model) ดัง

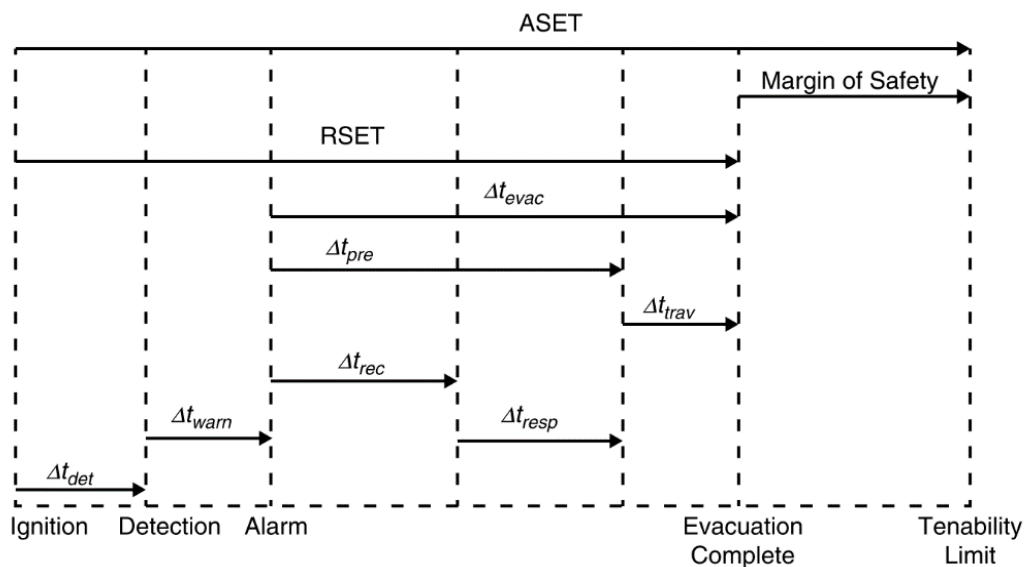
แสดงในรูปที่ 1.5 โดยสมการ (1.1) แสดงถึงเวลาที่ต้องใช้สำหรับการอพยพ (Required Safe Egress Time, RSET)

$$RSET = \Delta t_{det} + \Delta t_{warn} + \Delta t_{pre} + \Delta t_{trav} \quad (1.1)$$

ที่ซึ่งเป็นผลรวมจาก:

1. เวลาที่ใช้สำหรับการตรวจพบสาธารณภัย (Detection Time, Δt_{det}),
2. เวลาที่ใช้สำหรับการเตือนภัย (Warning Time, Δt_{warn}),
3. เวลาที่ใช้สำหรับเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพ (Pre-evacuation Time, Δt_{pre}) ที่แสดงถึงผลรวมของเวลาที่ใช้
อพยพรับรู้ถึงสาธารณภัยหรือสัญญาณเตือนภัย (Recognition Time, Δt_{rec}) และเวลาที่ผู้อพยพใช้
เตรียมตัวสำหรับเริ่มอพยพ (Response Time, Δt_{resp})
4. เวลาที่ใช้ระหว่างการเดินทางอพยพไปยังจุดหมาย (Travel Time, Δt_{trav})

โดยทั้ง 4 ช่วงเวลานี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มเพื่อให้สอดคล้องต่อการทำความเข้าใจกระบวนการอพยพหนีภัย
ภัยสึนามิ 1) กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับระบบเตือนภัยที่เป็นความรับผิดชอบโดยตรงของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องคือ Δt_{det}
และ Δt_{warn} 2) กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการหนีภัยที่เป็นพฤติกรรมของผู้อพยพโดยตรงคือ Δt_{pre} และ Δt_{trav}
จากนั้นนำผลการจำแนกเหล่านี้นมาศึกษาโดยการเปรียบเทียบกรณีศึกษาของต่างประเทศที่มีเงื่อนไขของ
สถานการณ์การอพยพคล้ายคลึงกับของประเทศไทย



รูปที่ 1.5 Egress timeline model (Ronchi & Nilsson, 2016)

2. พัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คน โดยที่แบบจำลองสามารถแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของผู้อพยพทั้งก่อนเริ่มอพยพและระหว่างการเดินทางอพยพไปยังจุดหมาย หลังจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้อพยพในขั้นตอนที่ผ่านมา ทำให้คณะผู้วิจัยเข้าใจถึงภาพรวมและพฤติกรรมในการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คน ซึ่งเพียงพอที่จะสามารถนำมาออกแบบและพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์สำหรับงานวิจัยนี้ โดยที่แบบจำลองสามารถแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของผู้อพยพทั้งก่อนเริ่มอพยพและระหว่างการเดินทางอพยพไปยังจุดหมาย ซึ่งกระบวนการสร้างแบบจำลองของผู้คน (Thalmann and Musse 2013) ประกอบด้วย

1) แบบจำลองบุคคล (Virtual Individuals) การกำหนดคุณสมบัติของแบบจำลองบุคคลให้มีประสาทสัมผัสคล้ายกับมนุษย์ เช่น การได้ยิน การมองเห็น และการสัมผัส ฯลฯ เพื่อใช้ปฏิสัมพันธ์ (Interaction) กับสิ่งแวดล้อม (Environments) แบบจำลองตัวบุคคลอื่นๆ (Agents) ที่สามารถกำหนดให้มีลักษณะแตกต่างกันไป (Heterogeneous) โดยอ้างอิงจากความเป็นจริง เช่น สถานะ (ผู้อพยพอาศัยหรือนักท่องเที่ยว) อายุ เพศ ความตระหนักต่อภัยสึนามิ ฯลฯ

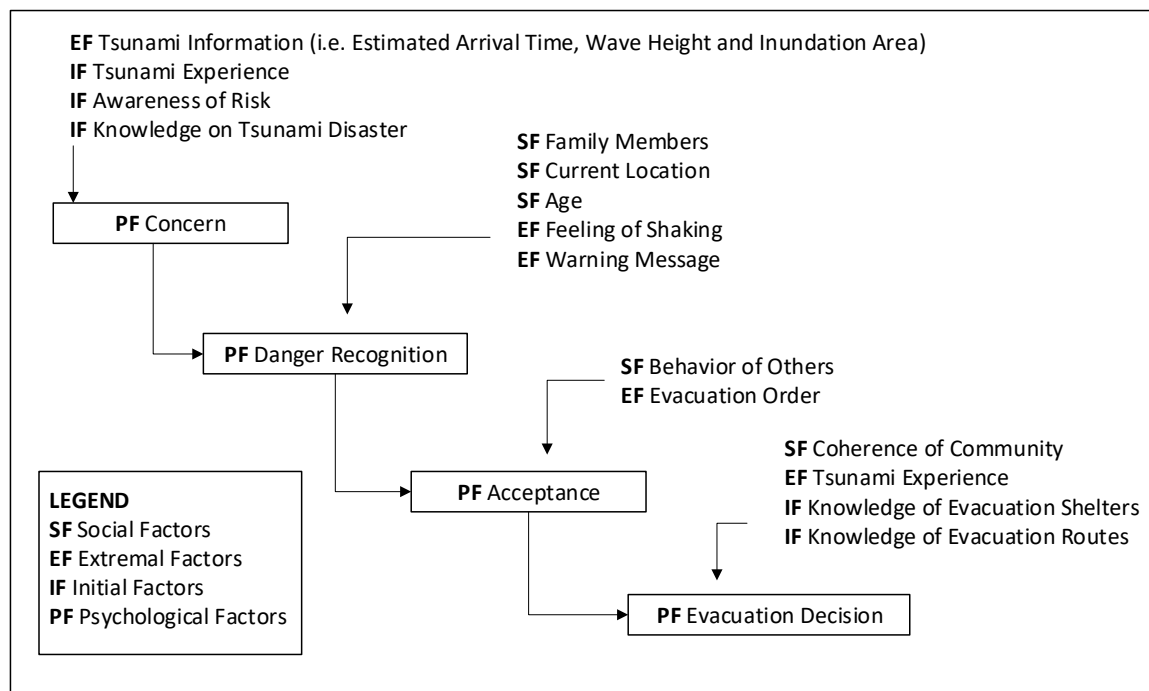
2) สภาพแวดล้อมจำลอง (Virtual Environments) การกำหนดคุณสมบัติของสภาพแวดล้อมจำลองให้เหมาะสมและคล้ายกับสถานที่จริง เพื่อให้แบบจำลองเกิดพฤติกรรมที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ โดยสามารถถูกแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ 1) สิ่งแวดล้อมที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Static Environments) เช่น ตำแหน่งของอาคารและถนน ฯลฯ 2) สิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Dynamic Environments) เช่น สภาพการจราจรที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ฯลฯ

3) พฤติกรรมของแบบจำลองบุคคล (Agent Behaviors) การที่แบบจำลองมีพฤติกรรมการตัดสินใจและการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงไปของสิ่งรอบตัว แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ 1) พฤติกรรมก่อนเริ่มตัดสินใจอพยพ และ 2) พฤติกรรมระหว่างการเดินทางอพยพไปสู่จุดหมาย โดยลักษณะพฤติกรรมการตัดสินใจเหล่านี้ถูกนำเสนอผ่านการแจกแจงทางสถิติด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง (Probability Density Function, PDF) เช่น ระยะเวลาที่ผู้คนใช้ก่อนตัดสินใจเริ่มอพยพหรือ ถูกนำเสนอด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่องหลายชนิด เช่น log-normal (Makinoshima, Imamura, and Abe 2016) และ Rayleigh (Mas et al. 2015) ฯลฯ แต่ลักษณะการแจกแจงที่ถูกเสนอดังกล่าวอาจไม่สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมการตัดสินใจในบริบทของประเทศไทยได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากพฤติกรรมและสัดส่วนประชากรในพื้นที่เสี่ยงของประเทศไทยระหว่างผู้อาศัยและนักท่องเที่ยวมีความแตกต่างกับพื้นที่ศึกษาของงานวิจัยข้างต้น เช่น นักท่องเที่ยวมีแนวโน้มที่จะตัดสินใจเริ่มอพยพเร็วกว่าผู้อาศัยในพื้นที่ (Trumikaborworn et al. 2017; Charnkol and Tanaboriboon, 2006) โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้ใช้แบบสำรวจเพื่อสร้างลักษณะการแจกแจงทางสถิติเหล่านั้น

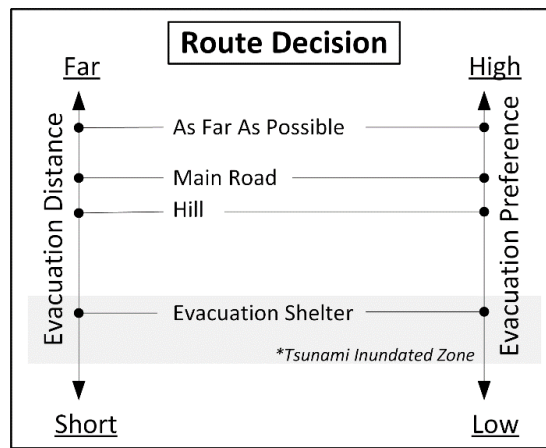
ยิ่งไปกว่านั้น (Simonovic and Ahmad, 2005) ได้พัฒนาแบบจำลองการอพยพหนีภัยน้ำท่วมของผู้คนที่อาศัยความรู้ทางด้านจิตวิทยาสำหรับการสร้างแบบจำลองพฤติกรรมก่อนเริ่มตัดสินใจอพยพแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน 1) พิจารณา (Concern) 2) รับรู้ถึงอันตราย (Danger Recognition) 3) ยอมรับ (Acceptable) และ 4) ตัดสินใจอพยพ (Evacuation Decision) โดยมีผลมาจาก 3 ปัจจัยที่สำคัญคือ 1) ปัจจัยเริ่มต้น (Initial Factors, IF) เช่น คุณสมบัติของแบบจำลองบุคคล และสิ่งแวดล้อมที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา 2) ปัจจัยทางสังคม (Social Factors, SF) เช่น แบบจำลองบุคคลอื่นๆ และ 3) ปัจจัยภายนอก (External Factors, EF) เช่น สิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ฯลฯ คณะผู้วิจัยจึงนำหลักการทางด้านจิตวิทยาข้างต้นมาดัดแปลงเป็นตัวอย่างแบบจำลองพฤติกรรมก่อนเริ่มตัดสินใจอพยพหนีภัยสึนามิดังแสดงในรูปที่ 1.6 อีกทั้งคณะผู้วิจัยจะ

ทำการศึกษาพฤติกรรมของการอพยพจากภัยที่มีลักษณะเกี่ยวข้องหรือใกล้เคียงกับอพยพหนีภัยสึนามิ เช่น การอพยพหนีภัยน้ำท่วมฉับพลัน และการอพยพหนีภัยพายุ ฯลฯ เพื่อให้มีกรณีศึกษาเพิ่มมากยิ่งขึ้น

หลังจากการตัดสินใจเริ่มอพยพ พฤติกรรมระหว่างการเดินทางอพยพไปสู่จุดหมายก็เป็นอีกหนึ่งส่วนสำคัญของแบบจำลองในงานวิจัยนี้โดย (Makinoshima, Imamura, and Abe 2016) ได้ออกแบบให้แบบจำลองบุคคลมีจะเลือกเส้นทางการอพยพ (Route Decision) ที่เป็นไปได้หลายกรณี โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในการอพยพ (Evacuation Distance) กับ ความต้องการอพยพไปในสถานที่ต่างๆ (Evacuation Preference) ดังตัวอย่างแผนผังการตัดสินใจเลือกจุดหมายปลายทางของแบบจำลองแสดงในรูปที่ 1.7 จากนั้นแบบจำลองจะเดินทางอพยพไปยังเป้าหมายนั้นๆ โดยในขณะที่แบบจำลองแต่ละตัวจะต้องสามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วและวิถีโค้งเพื่อระงับการชนกัน (Collision Avoidance) กับแบบจำลองบุคคลอื่นๆ และสิ่งแวดล้อมรอบตัว อีกทั้งความตระหนักของความเสี่ยงภัย การวางแผนอพยพ และการซ่อมอพยพที่ผ่านมาของผู้คน เป็นประเด็นที่คณะผู้วิจัยให้ความสำคัญสำหรับการพัฒนาแบบจำลองการอพยพให้มีความสมจริง โดยในเบื้องต้นจะทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์จากพื้นที่ศึกษา ก่อน แล้วหาแนวทางการขยายผลเพื่อให้แบบจำลองสามารถใช้ได้กับพื้นที่เสี่ยงอื่น ๆ ได้ด้วย



รูปที่ 1.6 ตัวอย่างกรอบความคิดของพฤติกรรมก่อนเริ่มตัดสินใจอพยพหนีภัยสึนามิ



รูปที่ 1.7 ตัวอย่างแผนผังการตัดสินใจเลือกจุดหมายปลายทางของแบบจำลอง

- ศึกษาพฤติกรรมผู้อพยพแล้วนำผลการศึกษาที่ได้จากแบบสำรวจและเกมคอมพิวเตอร์ไปปรับปรุงแบบจำลอง เพื่อให้พฤติกรรมของผู้อพยพในแบบจำลองสอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้อพยพในพื้นที่เสี่ยงของประเทศไทยทั้งผู้อพยพและนักท่องเที่ยว

การใช้แบบสำรวจช่วยให้เข้าใจเหตุการณ์ในอดีตและนำมาเป็นบทเรียนแล้วนำมาวางมาตรการในอนาคต (Suppasri 2010; Ikuta and Miyano 2017; Murakami and Ramos 2017; Rahayu and Nasu 2011) ส่วนการใช้เกมคอมพิวเตอร์ยังสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือเกี่ยวกับการตัดสินใจของผู้คนหรือผู้เล่นในบางกรณีที่เป็นข้อจำกัดของแบบสำรวจ ยิ่งไปกว่านั้น ผลการศึกษาทั้งสองจะถูกใช้ในการสร้างและปรับปรุงแบบจำลองคอมพิวเตอร์ เพื่อให้พฤติกรรมของผู้อพยพในแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือและถูกต้องมากพอ ที่จะสามารถอธิบายหรือสะท้อนสภาพความเป็นจริงของประชากรในแต่ละพื้นที่ (CHARNKOL and TANABORIBOON 2006; Mas et al. 2015; Makinoshima, Imamura, and Abe 2016) โดยจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำหรับแบบสอบถามมีตั้งแต่ 300-8000 ตัวอย่าง หรือบางงานวิจัยกำหนดเป็น 27% ของจำนวนประชากรที่สนใจ โดยแบบสอบถามประกอบด้วย (1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (2) คำถามเพื่อเข้าใจพฤติกรรมการอพยพ เช่น การตัดสินใจอพยพ สถานที่ที่จะอพยพไป เส้นทางที่ใช้อพยพ วิธีการเดินทางอพยพ ฯลฯ (3) ความตระหนักที่มีต่อการอพยพหนีสึนามิ แต่จำนวนของกลุ่มตัวอย่างอาจไม่สำคัญเท่าการได้มาซึ่งคำตอบโดยในงานวิจัยที่ผ่านมาชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการตั้งคำถาม (Makinoshima, Imamura, and Abe 2016) เช่น ถ้าต้องการทราบถึงสถานที่ที่ผู้ตอบต้องการอพยพไป แต่ตัวเลือกมีอยู่อย่างจำกัดคือ อาคารอพยพที่ถุกเตรียมไว้หรือสถานที่อื่น ซึ่งในเหตุการณ์จริงผู้ตอบหรือผู้อพยพนั้นอาจเลือกจากตำแหน่งที่ตนคิดว่าปลอดภัยเนื่องจากตำแหน่งของอาคารอพยพเหล่านั้นตั้งอยู่ใกล้กับชายฝั่ง เพื่อให้ผู้ตอบไม่รู้สึกรังเกียจถึงคำตอบ ดังนั้นวิธีการออกแบบคำถามควรจะถูกออกแบบด้วยความรอบคอบ อีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจคือ การสร้างสถานการณ์จำลองให้กลุ่มตัวอย่างเลือกตัดสินใจด้วยเกม (Xing et al. 2012) เพื่อศึกษาว่าความหนาแน่นของผู้อพยพในเส้นทางหรือระยะทางมีผลต่อการเลือกเส้นทางของกลุ่มตัวอย่างอย่างไร โดยกลุ่มตัวอย่างจะต้องเลือกเส้นทางอพยพในหลายๆเหตุการณ์ที่ต่างกัน

4. ทดสอบความถูกต้อง (Verification) และความน่าเชื่อถือ (Validation) ของแบบจำลอง

เมื่อมีการสร้างแบบจำลองใดๆ การทดสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้เข้าใจขีดความสามารถและข้อจำกัดของแบบจำลอง ซึ่งนำไปสู่การสรุปและอภิปรายผลได้อย่างถูกต้องเหมาะสม แต่เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีระเบียบวิธีการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิ ดังนั้นแบบจำลองในงานวิจัยนี้จะอ้างอิงคำแนะนำบางส่วนจากแบบจำลองที่ถูกเสนอในงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น การเปรียบเทียบจำนวนผู้อพยพได้สำเร็จจากแบบจำลองกับจำนวนที่มีการบันทึกจากเหตุการณ์จริง (Mas et al. 2012) การเปรียบเทียบสภาพการจราจรจากแบบจำลองกับภาพถ่ายวิดีโอที่ถูกบันทึกไว้ (Makinoshima, Imamura, and Abe 2016) การสอบถามผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสมจริงของแบบจำลองเทียบกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง (Cuesta, Abreu, and Alvear 2016) ฯลฯ

การทดสอบความถูกต้อง (Verification) เป็นการทดสอบว่าทฤษฎีที่นำมาใช้สร้างแบบจำลองนั้นถูกต้องแสดงผลอย่างถูกต้อง โดยสามารถออกแบบการทดสอบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เช่น (1) การทดสอบกำหนดให้แบบจำลองบุคคลเคลื่อนที่ผ่านกันโดยไม่เดินผ่านร่างของแบบจำลองบุคคลอื่นๆ (2) ทดสอบการกระจายตัวกันของผู้อพยพในพื้นที่ว่าไม่มีการกระจุกตัวของแบบจำลองในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง (3) ทดสอบการค้นหาและการเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายของแบบจำลองตามที่กำหนดไว้ ฯลฯ

การทดสอบความน่าเชื่อถือ (Validation) เป็นการทดสอบว่าแบบจำลองสามารถเป็นตัวแทนของสิ่งที่เกิดขึ้นในความเป็นจริงในระดับที่ยอมรับได้ โดยแบ่งออกเป็นการทดสอบความน่าเชื่อถือเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ (Qualitative and Quantitative Validation) ในงานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองการอพยพของกลุ่มคนที่ผ่านมาได้ทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในอดีตที่เป็นเชิงปริมาณ เช่น จำนวนของผู้อพยพที่อพยพไปยังที่หลบภัยนั้นๆ และจำนวนของผู้เสียชีวิตจากเหตุการณ์ในพื้นที่ประสบภัยนั้นๆ (Mas et al. 2015; Makinoshima, Imamura, and Abe 2016) แต่สำหรับงานวิจัยที่มีข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น ภาพถ่ายที่แสดงสภาพการจราจรในจำนวนที่สามารถนำมาสร้างแผนผังที่แสดงเส้นทางที่เกิดการจราจรติดขัด ก็ถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นจริงในอดีตกับผลของแบบจำลอง (Makinoshima, Imamura, and Abe 2016)

อย่างไรก็ตาม สำหรับการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองชนิดเต็มรูปแบบในงานวิจัยนี้อาจเป็นไปได้ยาก เนื่องจากข้อมูลสำหรับการทดสอบความน่าเชื่อถือนั้นมีอยู่อย่างจำกัด Xing et al. 2012 ได้ออกแบบเกมเพื่อใช้เก็บข้อมูลการสังเกตการณ์จากการทดลอง (Observable data) เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองโดยการเก็บข้อมูลจากการทดลองประเภทนี้สามารถทำได้ง่ายยิ่งขึ้น เพื่อใช้เปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองในพฤติกรรมกรอพยพเป็นส่วนๆไป เช่น พฤติกรรมการตัดสินใจเริ่มอพยพ และพฤติกรรมการเลือกเส้นทางในการอพยพ ฯลฯ แต่การใช้เกมสำหรับทดสอบพฤติกรรมกรอพยพของผู้คน อาจมีข้อสังเกตคือ เกมไม่สามารถใช้กับผู้คนบางช่วงอายุ หรือผู้ที่ไม่มีประสบการณ์จะเล่นเกม ดังนั้นเพื่อให้ข้อมูลพฤติกรรมกรอพยพของผู้คนมีความครอบคลุมกลุ่มตัวอย่างจากประชากรมากที่สุด การใช้เครื่องมือเก็บข้อมูลทั้งแบบสำรวจและเกมในการศึกษาพฤติกรรมกรอพยพของผู้คนจึงมีความสำคัญ และเครื่องมือเหล่านี้จะถูกออกแบบอย่างระมัดระวังให้มีความสอดคล้องกันให้มากที่สุด เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้มาจากเครื่องมือที่แตกต่างกัน

งานย่อยที่ 3 ใช้แบบจำลองการอพยพของผู้คนศึกษาและหาแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพของมาตรการลดความเสี่ยงต่างๆ และนำแบบจำลองไปต่อยอดสู่การพัฒนาเป็นเกมคอมพิวเตอร์ มีขั้นตอนหลักดังนี้

1. จัดเตรียมข้อมูลและวิเคราะห์พื้นที่ศึกษาเพื่อใช้สำหรับใช้ในแบบจำลองการอพยพ
2. ศึกษาและหาแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพของมาตรการลดความเสี่ยงต่างๆ ด้วยใช้แบบจำลองการอพยพของผู้คน
3. นำแบบจำลองไปต่อยอดสู่การพัฒนาเป็นเกมคอมพิวเตอร์ และใช้สร้างความตระหนักเกี่ยวกับการอพยพหนีภัยสึนามิ

ในแต่ละขั้นตอนหลักของงานย่อยที่ 3 มีรายละเอียดของการดำเนินการดังนี้

1. จัดเตรียมข้อมูลและวิเคราะห์พื้นที่ศึกษาเพื่อใช้สำหรับใช้ในแบบจำลองการอพยพ

งานวิจัยนี้เลือกพื้นที่ศึกษาจากบริเวณเขาหลักจังหวัดพังงา เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวและคลื่นสึนามิในมหาสมุทรอินเดียปี ค.ศ. 2004 ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดโดยมีสาเหตุหลักคือ พื้นที่ส่วนมากเป็นพื้นราบทำให้ระยะทางที่ต้องอพยพจากภัยสึนามินับจากชายหาดถึงที่สูงหรือภูเขาจะมีระยะกว่า 4 ก.ม. (Choowong et al. 2008) และบริเวณนี้มีนักท่องเที่ยวจำนวนมากขึ้นทุกปีทำให้การอพยพมีความซับซ้อนมากขึ้นไปอีก ยิ่งไปกว่านั้น พื้นที่เขาหลักยังเป็นหนึ่งในหลายพื้นที่เสี่ยงที่มีการวางมาตรการลดความเสี่ยง เช่น (1) ระบบเตือนภัยล่วงหน้า (2) อาคารที่ถูกออกแบบให้มีความเฉพาะสำหรับอพยพหนีภัยสึนามิ (3) การซักซ้อมแผนอพยพประจำปี (4) แผนที่และป้ายบอกเส้นทางสำหรับอพยพไปยังที่ปลอดภัย ฯลฯ ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สำคัญในการสร้างสิ่งแวดล้อมแบบจำลองและใช้เป็นตัวอย่างมาตรการที่มีอยู่เหล่านั้นในการทดสอบความสามารถของแบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิของกลุ่มคนที่ถูกพัฒนาในงานย่อยที่ 2

2. ศึกษาและหาแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพของมาตรการลดความเสี่ยงต่างๆ ด้วยใช้แบบจำลองการอพยพของผู้คน

แนวทางการลดความเสี่ยงตามมาตรฐานสากลและโครงการวางมาตรการลดความเสี่ยงในต่างประเทศได้ถูกศึกษาและเผยแพร่ไว้ เช่น (1) ประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิและวิธีการประเมินคู่มือการแนะนำการลดความเสี่ยงภัยสำหรับภูมิภาคในมหาสมุทรอินเดีย (Tsunami Risk Assessment and Mitigation for the Indian Ocean, (IOC-UNESCO 2015)) (2) คู่มือสำหรับการวางแผนอพยพหนีภัยสึนามิ (Handbook of Tsunami Evacuation Planning – SCHEMA, (Scheer et al. 2011)) ซึ่งแนวทางการวางมาตรการในระดับสากลเหล่านี้อาจเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมสำหรับบริบทของประเทศไทย จากการศึกษาเบื้องต้น (Srivihok et al. 2014; Trumikaborworn et al. 2017) พบว่าลักษณะทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทยทำให้เรามีเวลาสำหรับการอพยพอย่างน้อย 2 ชั่วโมงสำหรับกรณีที่เกิดขึ้นทางฝั่งอันดามันในปี ค.ศ. 2004 ประกอบกับระยะทางสำหรับอพยพไปยังที่ปลอดภัยนั้นมีระยะ 0.5 ถึง 4.0 กิโลเมตร ทำให้ผู้คนมีแนวโน้มการตัดสินใจอพยพออกนอกพื้นที่เสี่ยงภัยด้วยยานพาหนะ ดังนั้นมาตรการที่แนะนำจากคู่มือเหล่านี้ที่ให้อพยพด้วยเท้าอาจไม่เหมาะสมนัก ทั้งนี้คณะผู้วิจัยเชื่อว่าการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่ถูกพัฒนาในงานย่อยที่ 2 จะเป็นเครื่องมือสำคัญที่จะช่วยบ่งชี้ปัญหาหรือจุดอ่อนที่มีของมาตรการลดความเสี่ยงที่มีอยู่ โดยเฉพาะมาตรการการอพยพ ด้วยผลการศึกษาจากแบบจำลองที่สามารถแสดงให้เห็นถึงปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการอพยพ เช่น จำนวนและตำแหน่งที่ตั้งของอาคารหลบภัย จำนวนเส้นทางและขนาดความกว้างของถนน และพฤติกรรมการตัดสินใจของผู้อพยพทั้งก่อนเริ่มไปจนถึงระหว่างการอพยพ ฯลฯ ยิ่งไปกว่านั้น เนื่องจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สามารถทำได้หลายกรณีที่สนใจและใช้ต้นทุนที่ต่ำ ดังนั้นเราสามารถ

แบบจำลองเพื่อทดสอบและปรับปรุงมาตรการการอพยพต่างๆ ด้วยจำนวนที่ไม่จำกัด หรือจนกว่าจะพบมาตรการลดความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพ

3. นำแบบจำลองการอพยพที่มีความเหมือนจริงไปต่อยอดสู่การพัฒนาเป็นเกมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งในการฝึกซ้อมการหนีภัยและการรักษาความตระหนักให้คงอยู่ต่อไป

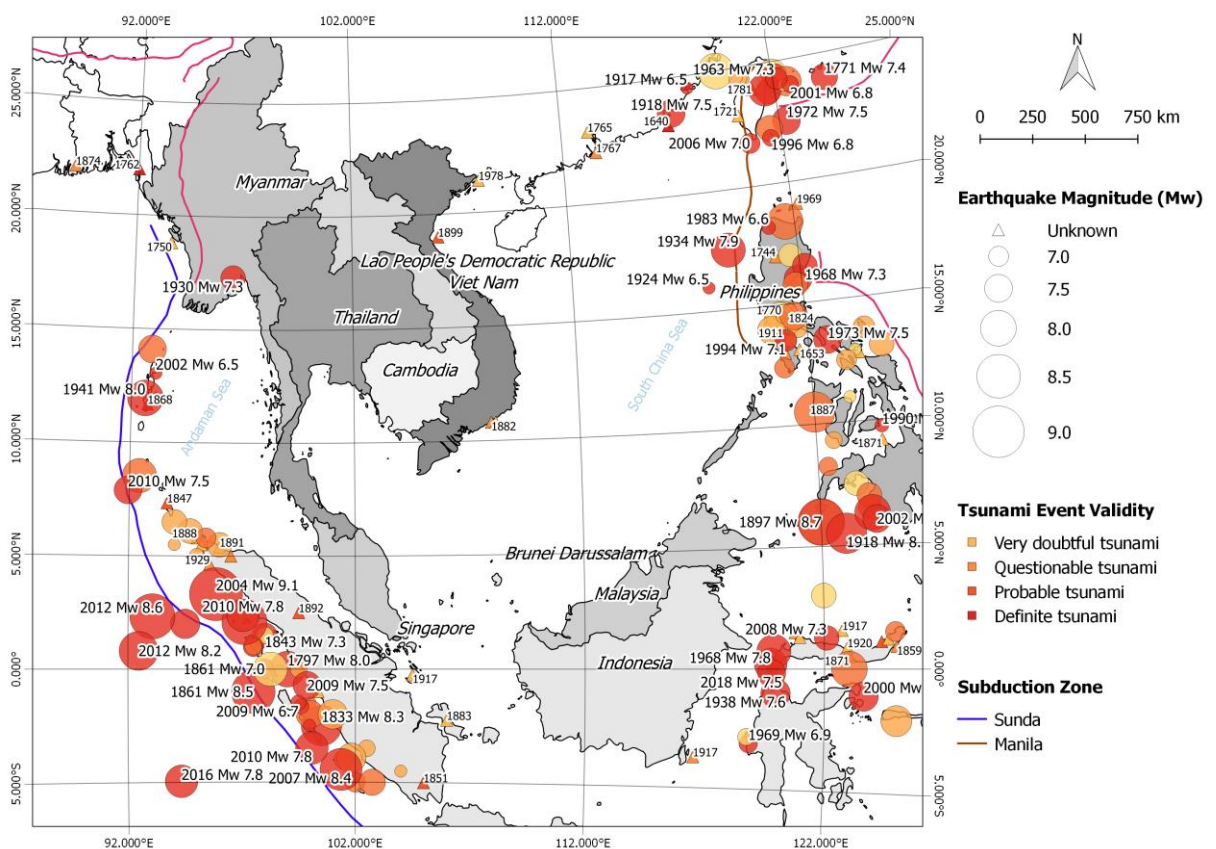
เพื่อเป็นการส่งเสริมความตระหนักของประชากรต่อการอพยพหนีภัยสึนามิเพิ่มเติมจากการซ้อมอพยพชนิดเต็มรูปแบบ คณะผู้วิจัยเล็งเห็นว่าจากแบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิในงานย่อยที่ 2 นั้นสามารถถูกพัฒนาให้เป็นเกมคอมพิวเตอร์ โดยผู้เล่นเกมจะได้ประสบการณ์การอพยพจากการที่ผู้เล่นเป็นตัวละครหนึ่งที่มีหน้าที่คือทำการอพยพหนีภัยสึนามิให้สำเร็จ ทั้งนี้สภาพแวดล้อมในเกมนั้นถูกอ้างอิงมาจากสถานที่จริง และตัวละครที่เป็นผู้อพยพอื่นภายในเกมถูกสร้างและปรับปรุงให้มีตรรกะความคิดของคนขณะหนีภัยและการปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนรวมถึงสิ่งแวดล้อมรอบข้าง ยิ่งไปกว่านั้น ในระหว่างเล่นเกมผู้เล่นสามารถรับรู้ข้อมูลเชิงพื้นที่หรือเส้นทางหนีภัยได้จากป้ายบอกเส้นทางหนีภัยในตำแหน่งตามที่มีอยู่จริงของพื้นที่เท่านั้น ที่ซึ่งคณะผู้วิจัยหวังว่าการใช้สภาพแวดล้อมจริงจะมีประโยชน์ไม่เพียงแต่ผู้เล่นจะมีประสบการณ์เชิงพื้นที่จริง แต่ยังช่วยส่งเสริมให้เกิดความตระหนักเห็นถึงความสำคัญของการอพยพหนีภัยสึนามิอีกด้วย

บทที่ 2

แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวและแบบจำลองคลื่นสึนามิ

2.1 ข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตและการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก

ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดเหตุการณ์สึนามิในอดีตตั้งแต่ค.ศ. 900 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณมหาสมุทรอินเดียและทะเลจีนใต้ที่อยู่โดยรอบประเทศไทยแสดงในรูปที่ 2.1 ข้อมูลดังกล่าวมีที่มาจาก NGDC/WDS Global Historical Tsunami Database ของหน่วยงาน National Oceanic and Atmospheric Administration หรือ NOAA โดยมีทั้งเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ทราบขนาดและเหตุการณ์ที่ไม่ได้บันทึกขนาดของแผ่นดินไหวฐานข้อมูลเหตุการณ์สึนามิดังแสดงในรูปที่ 2.1 นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทคือ เหตุการณ์สึนามิที่เกิดขึ้นจริง (Definite Tsunami) เหตุการณ์สึนามิที่น่าจะเกิดขึ้น (Probable Tsunami) เหตุการณ์สึนามิที่ยังเป็นข้อถกเถียง (Questionable Tsunami) และเหตุการณ์สึนามิที่สงสัยว่าไม่น่าจะเกิดขึ้นจริง (Doubtful Tsunami) จะสังเกตเห็นว่ากว่า 1,000 ปีที่ผ่านมาได้เกิดเหตุการณ์ขึ้นเป็นจำนวนมาก จากทั้งหมด 192 เหตุการณ์แบ่งเป็น 135 เหตุการณ์ที่ทราบขนาดของแผ่นดินไหว และ 57 เหตุการณ์ที่ไม่ทราบขนาดของแผ่นดินไหวซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นแผ่นดินไหวในอดีตที่นานมาแล้วและยังไม่มีการบันทึก เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของเหตุการณ์สึนามิพบว่ามีเหตุการณ์ที่เกิดสึนามิขึ้นจริง 64 ครั้ง พร้อมทั้งเหตุการณ์สึนามิที่น่าจะเกิดขึ้นอีก 38 ครั้ง ส่วนเหตุการณ์สึนามิที่ยังเป็นข้อถกเถียงมีจำนวน 42 ครั้ง และเหตุการณ์สึนามิที่สงสัยว่าไม่น่าจะเกิดขึ้นจริงจำนวน 48 ครั้ง จากอดีตถึงปัจจุบันสะท้อนให้เห็นว่าบริเวณมหาสมุทรอินเดียและทะเลจีนใต้ยังคงมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดสึนามิในอนาคต



รูปที่ 2.1 สรุปเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดสึนามิในอดีตบริเวณมหาสมุทรอินเดียและทะเลจีนใต้

ตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ได้แสดงเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดสึนามิขึ้นจริง (Definite Tsunami) ในอดีต ซึ่งระบุวันเดือนปีที่เกิดเหตุการณ์ ขนาดของแผ่นดินไหวเท่าที่มีการบันทึก ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว ความสูงคลื่นสึนามิที่สูงที่สุด จำนวนผู้เสียชีวิต และจำนวนผู้สูญหาย จากตารางดังกล่าวทำให้เห็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากแต่ละเหตุการณ์ในอดีต โดยมี 25 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรอินเดีย และมี 39 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในทะเลจีนใต้และบริเวณโดยรอบ

ตารางที่ 2.1 เหตุการณ์สึนามิบริเวณมหาสมุทรอินเดีย

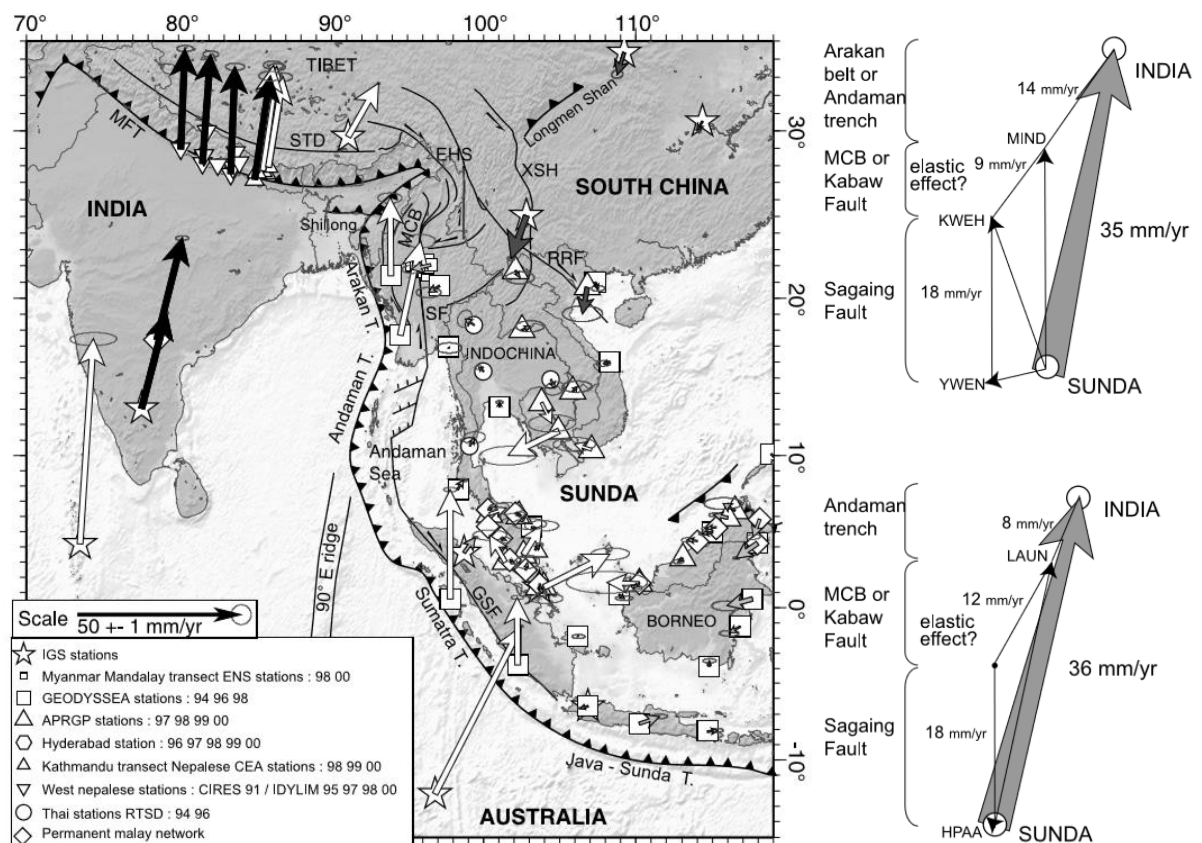
DATE	MAGNITUDE	COUNTRY	EPICENTER	TSUNAMI (m)	DEATH	MISSING
2 Apr 1762	-	BANGLADESH	NORTHERN BAY OF BENGAL	1.8	-	-
10 Feb 1797	8.0	INDONESIA	SOUTH WEST SUMATRA	-	300	-
24 Nov 1833	8.3	INDONESIA	SOUTH WEST SUMATRA	-	-	-
5 Jan 1843	7.3	INDONESIA	SOUTH WEST SUMATRA	-	-	-
16 Feb 1861	8.5	INDONESIA	SOUTH WEST SUMATRA	7.0	1,105	-
9 Mar 1861	7.0	INDONESIA	SOUTH WEST SUMATRA	-	950	-
26 Apr 1861	7.0	INDONESIA	SOUTH WEST SUMATRA	-	-	-
19 Aug 1868	-	INDIA	ANDAMAN ISLANDS	4.0	-	-
4 Jan 1907	7.6	INDONESIA	NORTH WEST SUMATRA	15.0	400	-
5 May 1930	7.3	MYANMAR	MYANMAR COAST	1.1	-	-
26 Jun 1941	8.0	INDIA	ANDAMAN SEA, EAST COAST INDIA	1.5	-	-
13 Sep 2002	6.5	INDIA	ANDAMAN ISLANDS, INDIA	-	-	-
26 Dec 2004	9.1	INDONESIA	OFF WEST COAST OF SUMATRA	50.9	227,899	-
28 Mar 2005	8.6	INDONESIA	INDONESIA	4.2	10	-
10 Apr 2005	6.7	INDONESIA	KEPULAUAN MENTAWAI	0.4	-	-
12 Sep 2007	8.4	INDONESIA	SUMATRA	5.0	-	-
25 Feb 2008	6.5	INDONESIA	SUMATRA	0.1	-	-
16 Aug 2009	6.7	INDONESIA	SUMATRA	0.2	-	-
30 Sep 2009	7.5	INDONESIA	SUMATRA	0.3	-	-
6 Apr 2010	7.8	INDONESIA	SUMATRA	0.4	-	-
12 Jun 2010	7.5	INDIA	LITTLE NICOBAR ISLAND	0.1	-	-
25 Oct 2010	7.8	INDONESIA	SUMATRA	16.9	431	-
11 Apr 2012	8.6	INDONESIA	OFF WEST COAST OF NORTH SUMATRA	-	-	-
11 Apr 2012	8.2	INDONESIA	OFF WEST COAST OF NORTH SUMATRA	-	-	-
2 Mar 2016	7.8	INDONESIA	SOUTH WEST SUMATRA	0.2	-	-

ตารางที่ 2.2 เหตุการณ์สึนามิบริเวณทะเลจีนใต้

DATE	MAGNITUDE	COUNTRY	EPICENTER	TSUNAMI (m)	DEATH	MISSING
16 Sep 1640	-	CHINA	SOUTH CHINA SEA	-	-	-
24 Sep 1716	-	PHILIPPINES	TAAL, LUZON ISLAND	-	-	-
12 Aug 1749	-	PHILIPPINES	TAAL, LUZON ISLAND	-	-	-
24 Apr 1771	7.4	JAPAN	RYUKYU ISLANDS	85.4	13,486	-
18 Jul 1880	7.5	PHILIPPINES	EAST LUZON ISLAND	-	-	-
21 Sep 1897	8.7	PHILIPPINES	SULU SEA	7.0	13	14
30 Jan 1911	-	PHILIPPINES	TAAL, LUZON ISLAND	3.0	50	-
25 Jan 1917	6.5	CHINA	SOUTH CHINA SEA	-	-	-
6 May 1917	5.8	TAIWAN	TAIWAN	0.5	-	-
13 Feb 1918	7.5	CHINA	GUANGDONG PROVINCE	-	-	-
15 Aug 1918	8.3	PHILIPPINES	CELEBES SEA	7.2	6	-
6 May 1924	6.5	PHILIPPINES	PHILIPPINES	-	-	-
14 Feb 1934	7.9	PHILIPPINES	SOUTH CHINA SEA	-	-	-
19 May 1938	7.6	INDONESIA	MAKASSAR STRAIT	3.0	17	-
22 Oct 1951	7.3	TAIWAN	TAIWAN	0.3	-	-
13 Feb 1963	7.3	TAIWAN	EAST TAIWAN-RYUKYU ISLANDS	0.2	-	-
28 Sep 1965	-	PHILIPPINES	TAAL, LUZON ISLAND	4.7	355	-
1 Aug 1968	7.3	PHILIPPINES	EAST LUZON ISLAND	0.2	1	-
14 Aug 1968	7.8	INDONESIA	BANDA SEA	10	200	58
23 Feb 1969	6.9	INDONESIA	MAKASSAR STRAIT	4.0	600	-
25 Jan 1972	7.5	TAIWAN	EAST TAIWAN	0.1	-	-
17 Mar 1973	7.5	PHILIPPINES	QUEZON	1.3	-	-
16 Aug 1976	8.0	PHILIPPINES	MORO GULF	9.0	6,800	6,500
17 Aug 1983	6.6	PHILIPPINES	LUZON ISLAND	0.1	-	-
14 Nov 1986	7.8	TAIWAN	TAIWAN	0.3	-	-
24 Jun 1988	5.4	PHILIPPINES	NORTH OF LUZON ISLAND	1.0	-	-
8 Feb 1990	6.6	PHILIPPINES	PHILIPPINES	2.1	-	-
13 Dec 1990	6.3	TAIWAN	TAIWAN	0.1	-	-
5 Jan 1992	3.7	CHINA	SOUTH CHINA SEA	0.8	-	-
14 Nov 1994	7.1	PHILIPPINES	PHILIPPINE ISLANDS	7.3	81	225
1 Jan 1996	7.9	INDONESIA	SULAWESI	3.4	9	63
5 Sep 1996	6.8	TAIWAN	TAIWAN REGION	0.1	-	-
4 May 2000	7.6	INDONESIA	SULAWESI	6.0	-	-
18 Dec 2001	6.8	TAIWAN	TAIWAN	0.1	-	-
5 Mar 2002	7.5	PHILIPPINES	MINDANAO ISLAND	3.0	-	-
31 Mar 2002	7.1	TAIWAN	TAIWAN	0.2	-	-
26 Dec 2006	7.0	CHINA	TAIWAN	0.1	-	-
16 Nov 2008	7.3	INDONESIA	SULAWESI	0.1	-	-
28 Sep 2018	7.5	INDONESIA	SULAWESI	10.7	3,879	4,612

หลังจากเหตุการณ์สึนามิที่เกิดขึ้นในปีค.ศ. 2004 ได้มีการศึกษาการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกตามแนวมุดตัวซุนดามากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณทางตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดาซึ่งมีความเป็นไปได้ที่ค่อนข้างสูงในการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่และทำให้เกิดสึนามิได้ในอนาคต โดยแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอาระกัน (Arakan) นี้อยู่ในอาณาเขตของอ่าวเบงกอลทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือเลียบชายฝั่งของประเทศพม่า ซึ่งแนวมุดตัวซุนดาประกอบด้วยบริเวณอาระกัน (Arakan) บริเวณอันดามัน (Andaman) และบริเวณสุมาตรา (Sumatra) ที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาด M_w 9.2 และคลื่นสึนามิในปีค.ศ. 2004 การศึกษาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวจากลักษณะการ

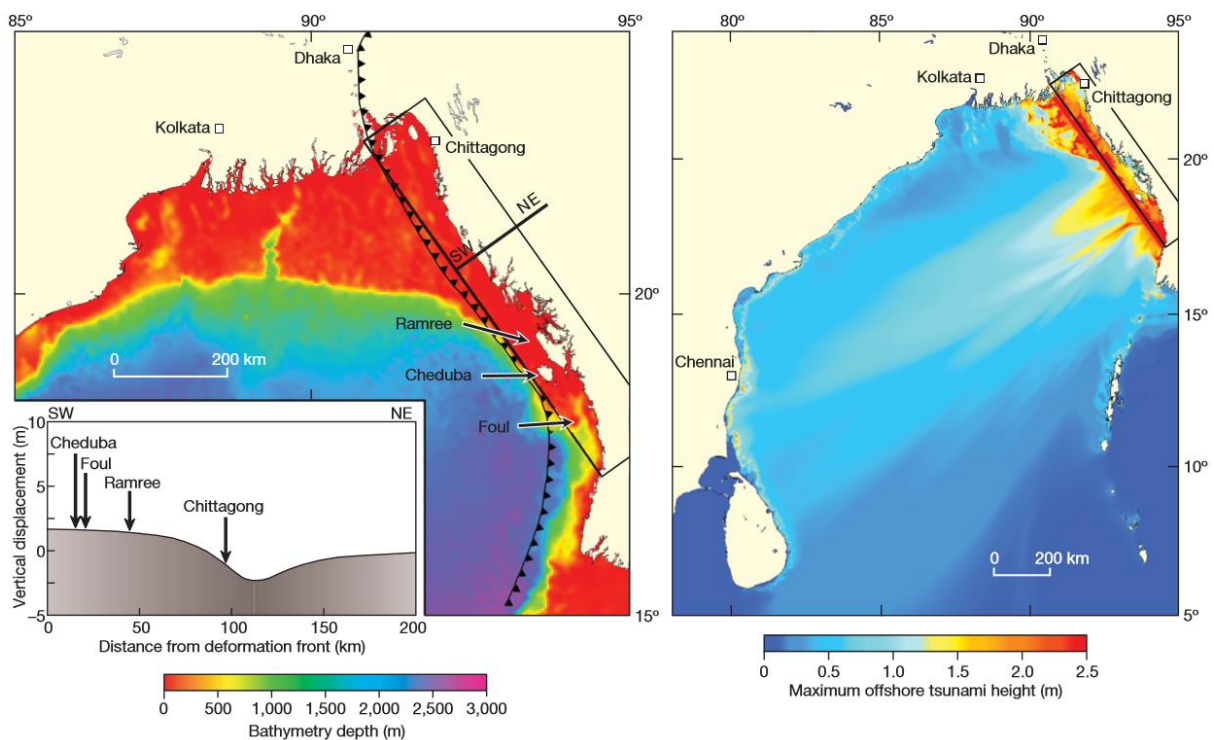
เคลื่อนตัวบริเวณอาระกันในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาเริ่มจาก Socquet et al. (2006) ซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูล GPS จาก 190 สถานีเป็นระยะเวลา 11 ปี ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เพื่อศึกษาการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดียและซุนดาในบริเวณประเทศพม่า ทำให้พบการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์บริเวณอาระกันเท่ากับ 35-36 มิลลิเมตรต่อปีซึ่งจะน้อยกว่าบริเวณอันดามันและสุมาตราที่มีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ประมาณ 50-57 มิลลิเมตรต่อปี เมื่อพิจารณาถึงรอยเลื่อนสะกาย (Sagaing Fault) ที่มีการเคลื่อนตัว (Slip Rate) เท่ากับ 18 มิลลิเมตรต่อปี และแนวมุดตัวซุนดาบริเวณอันดามันที่มีการเคลื่อนตัวเท่ากับ 20 มิลลิเมตรต่อปีแล้ว ทำให้สามารถคำนวณการเคลื่อนตัวของแนวมุดตัวซุนดาบริเวณอาระกันได้เท่ากับ 20-23 มิลลิเมตรต่อปีดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งถ้าพิจารณาการแตกของรอยเลื่อน (Rupture Zone) ที่มีความยาว 400-600 กิโลเมตรและความกว้าง 200 กิโลเมตร ที่ความลึก 50 กิโลเมตรและการเคลื่อนตัว 23 มิลลิเมตรต่อปี สามารถทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาด M_w 8.5 สำหรับคาบของการเกิดซ้ำ 100 ปี และแผ่นดินไหวขนาด M_w 9.0 สำหรับคาบของการเกิดซ้ำ 500 ปี จากผลการศึกษาซึ่งเมื่อพิจารณาพร้อมกับเหตุการณ์สึนามิที่เคยเกิดขึ้นบริเวณอาระกันในปีค.ศ. 1762 ที่ไม่ทราบขนาดแผ่นดินไหว พบว่ามีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาด M_w 8.5 ขึ้นในอนาคต



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดียและซุนดาในบริเวณประเทศพม่า (Socquet et al., 2006)

ในปีต่อมา Cummins (2007) ได้วิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่บริเวณทางตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดาเช่นกัน โดยมีการพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมและกลไกของแผ่นเปลือกโลกที่เชื่อมต่อกับแนวมุดตัวในประเทศพม่า โดยแนวมุดตัวซุนดาบริเวณอาระกันนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับแนวมุดตัวแคสคาเดีย (Cascadia) ที่ประเทศสหรัฐอเมริกาและแนวมุดตัวนันไก (Nankai) ที่ประเทศญี่ปุ่น จากการเฝ้าระวังค่าความเค้นและความเครียดบริเวณนี้บ่งชี้ว่าแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เคยเกิดขึ้นในอดีตและมีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 200-300

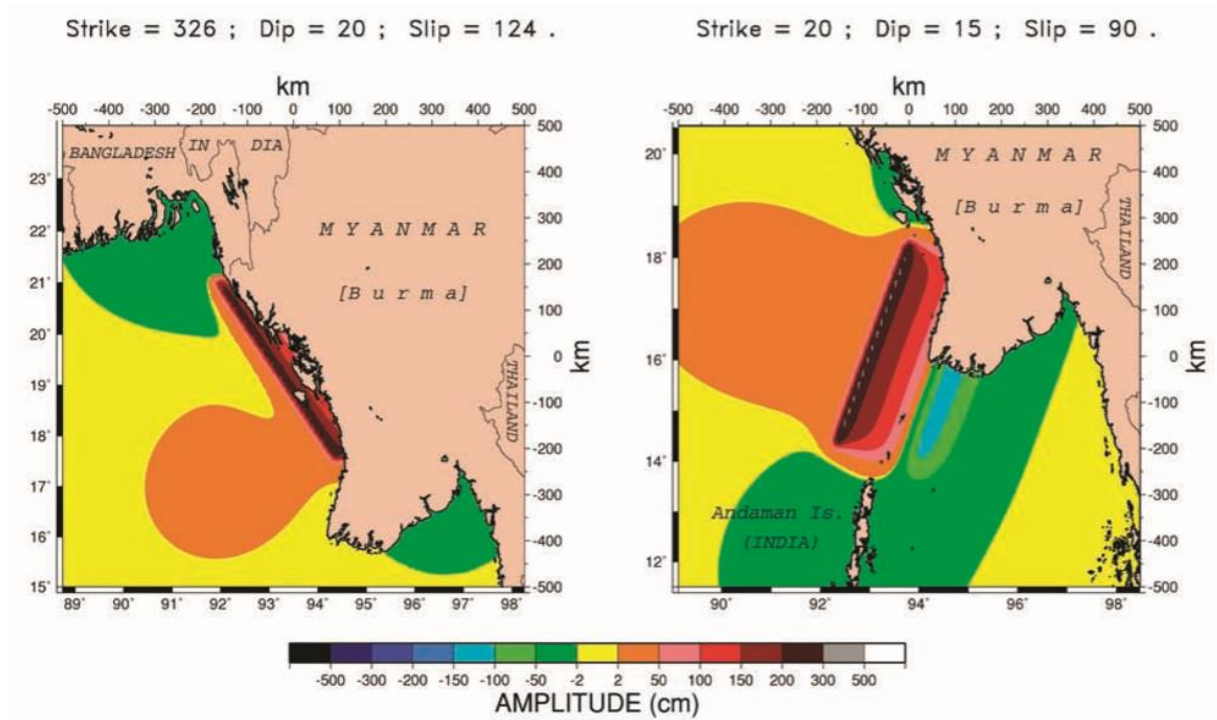
เมษายน ค.ศ. 1762 บ่งบอกถึงการยกตัว (Uplift) สูงประมาณ 3-7 เมตร ขนานกับแนวชายฝั่งของประเทศพม่า โดยวางตัวจากเมืองจิตตะกอง (Chittagong) ในประเทศบังคลาเทศ ไปยังเกาะรามรี (Ramree) และสิ้นสุดที่เกาะ Foul ในประเทศพม่า ดังแสดงในรูปที่ 2.3 จากคำบอกเล่าในบันทึกพบว่าไม่มีผู้เสียชีวิตจากเหตุการณ์สึนามิที่เกิดขึ้น แต่มีการอพยพถิ่นฐานขึ้นที่สูงของผู้คนในเกาะชีดูบา (Cheduba) จากนั้น Cummins (2007) ได้ทำการจำลองการเกิดคลื่นสึนามิจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวอาระกันในปีค.ศ. 1762 ขนาด M_w 8.8 ซึ่งน่าจะเป็นสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด การแตกของรอยเลื่อนมีความยาว 700 กิโลเมตรและความกว้าง 125 กิโลเมตร ขนาดการเคลื่อนตัว (Fault Slip) 10 เมตร สถานการณ์ดังกล่าวทำให้เกิดคลื่นสึนามิบริเวณชายฝั่งของประเทศพม่า ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งจะส่งผลต่อผู้ที่อาศัยอยู่บริเวณแนวชายฝั่งกว่าล้านคน



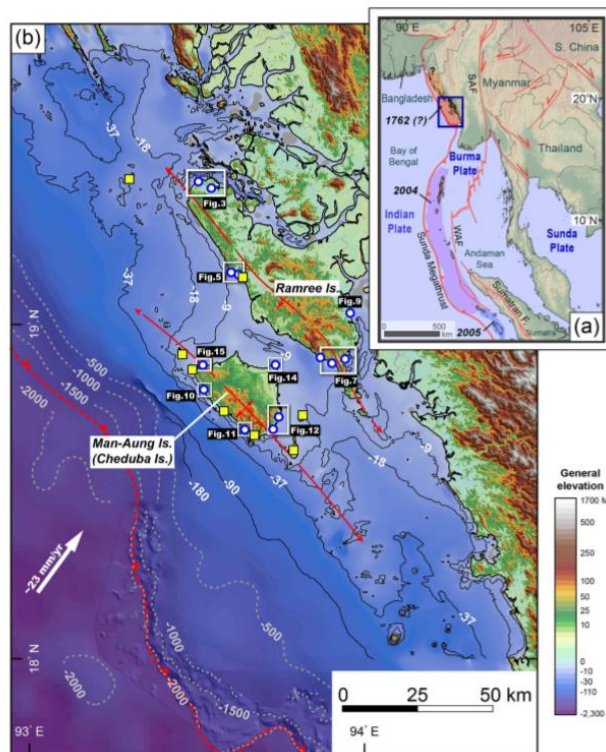
รูปที่ 2.3 การจำลองคลื่นสึนามิจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่บริเวณทางตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดา (Cummins, 2007)

Okal and Synolakis (2008) ได้ทำการประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิในมหาสมุทรอินเดีย โดยทำการวิเคราะห์จากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่เป็นไปได้ในสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุดอ้างอิงข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีต จากนั้นได้ทำการจำลองคลื่นสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอาระกันและบริเวณตอนเหนือของเกาะอันดามัน โดยการศึกษาแผ่นดินไหวขนาดใหญ่บริเวณอาระกัน พิจารณาจากเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นในอดีต อ้างอิงจากบันทึกการสำรวจในปีค.ศ. 1841 เช่นเดียวกับ Cummins (2007) ส่วนการศึกษาแผ่นดินไหวขนาดใหญ่บริเวณตอนเหนือของเกาะอันดามัน พิจารณาจากข้อมูลรอยเลื่อนโดยรอบและแผ่นดินไหวในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านความเค้นและการสะสมความเครียด อีกทั้งยังพิจารณาการเกิดอาฟเตอร์ช็อกบริเวณส่วนขยายไปทางตอนเหนือของเกาะอันดามันจากเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004 ซึ่งเพิ่มความต่อเนื่องในการส่งผ่านความเค้นจากเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 1833 บริเวณเกาะสุมาตรา ผลจากการจำลองอุทกพลศาสตร์แสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งได้แสดงถึงการกระจายตัวของคลื่นสึนามิบริเวณโดยรอบแหล่งกำเนิดและพบว่าหลายบริเวณตามแนวชายฝั่งประเทศ

พบว่าอาจจะได้รับผลกระทบคลื่นสึนามิเช่นเดียวกับเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004 ที่ได้สร้างผลกระทบอย่างมากต่อชายฝั่งของเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย



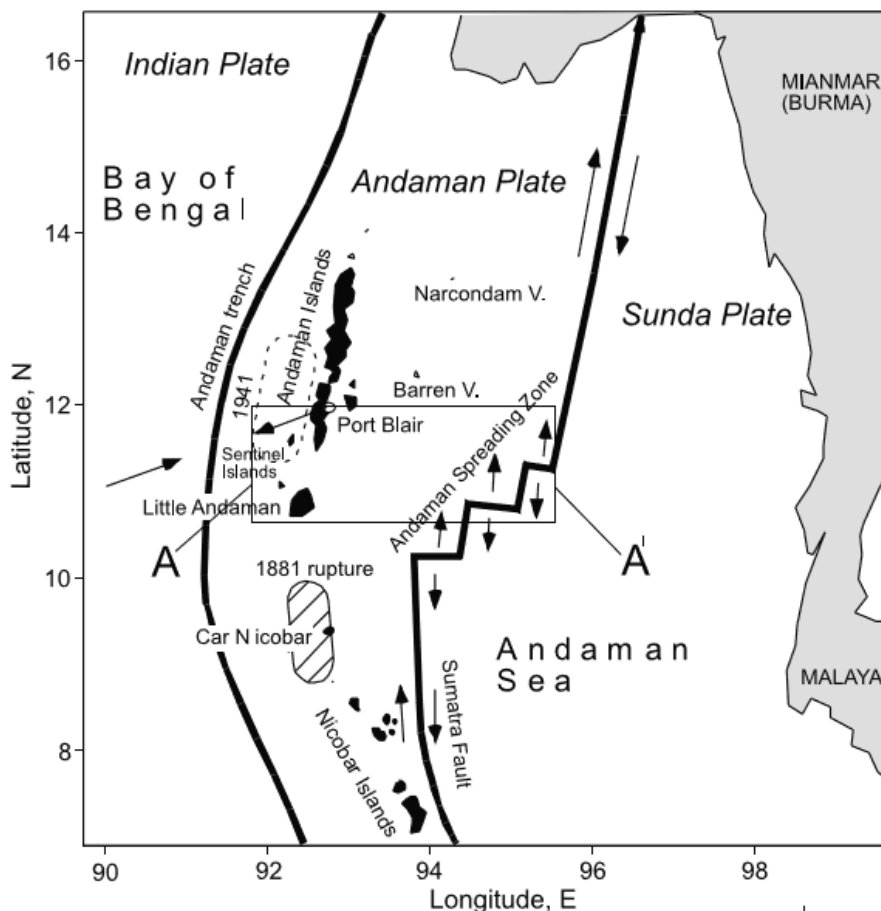
รูปที่ 2.4 คลื่นสึนามิจากแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ของ (Okal and Synolakis, 2008)



รูปที่ 2.5 การสำรวจภาคสนามและการวิเคราะห์ทางด้านธรณีกาลิทยาบริเวณเกาะชีดูบาและเกาะรามรี (Wang et al., 2013)

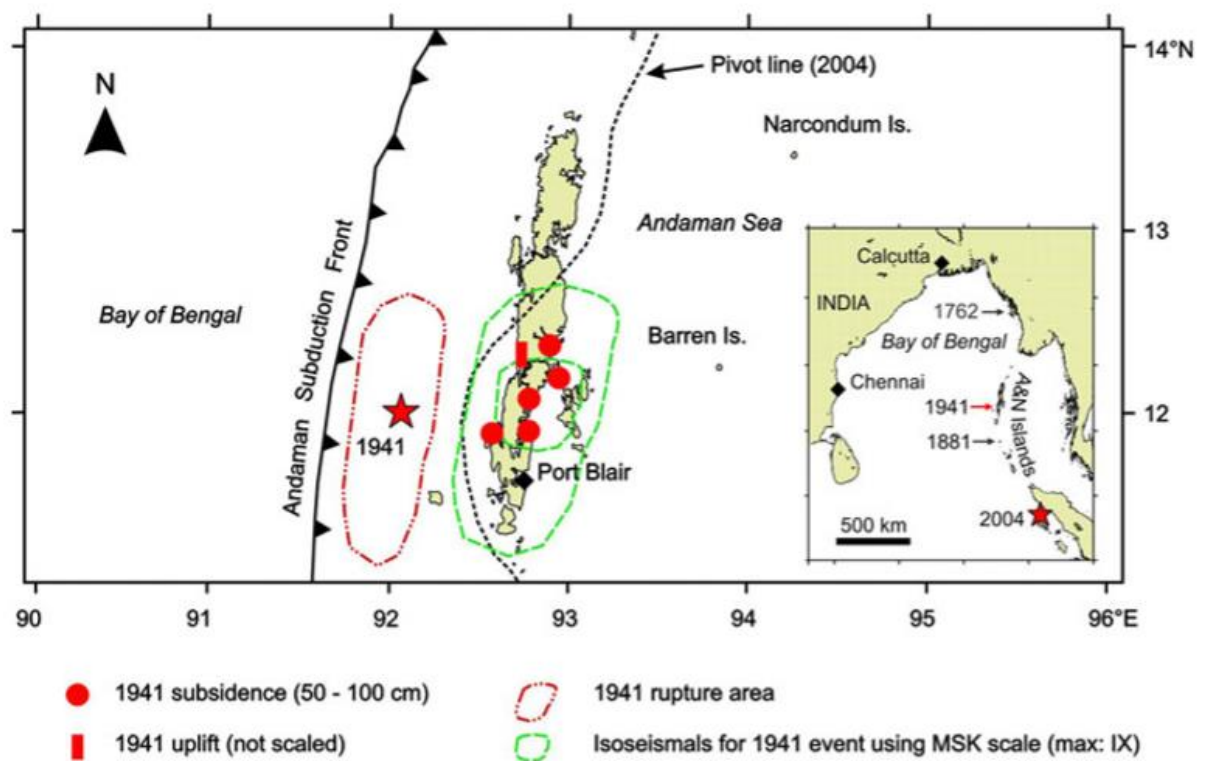
Wang et al. (2013) ได้ศึกษาการเกิดแผ่นดินไหวอาระกันในปีค.ศ. 1762 บริเวณทางตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดาเช่นเดียวกัน โดยการสำรวจภาคสนามและการวิเคราะห์ทางด้านธรณีกาลวิทยาอย่างละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.5 เพื่อหาการยกตัวที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งที่ทำการสำรวจบนเกาะชิตูบาและเกาะรามรีทางตะวันตกของประเทศพม่า จากการสำรวจชีวิวิทยาทางทะเล ตะกอนสะสม และการกัดเซาะชายฝั่ง ทำให้ยืนยันการยกตัวสูงของชายฝั่ง 3-4 เมตรทางตอนใต้ของเกาะชิตูบาและการยกตัวสูง 5-6 เมตรทางชายฝั่งตะวันตกของเกาะรามรี จากการค้นพบนี้ทำให้เกิดการวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหวอาระกันที่สามารถทำให้เกิดการยกตัวบริเวณเกาะชิตูบาและเกาะรามรีดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับแผ่นดินไหวขนาด M_w 8.5 ที่มีการเคลื่อนตัว 9-16 เมตร การแตกของรอยเลื่อนมีความยาว 500 กิโลเมตรและความกว้าง 60 กิโลเมตร โดยมีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500-700 ปี วิธีการวิเคราะห์เช่นนี้ได้ทำมาก่อนในการศึกษาเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในในปีค.ศ. 1797 และปีค.ศ. 1833 ทางตอนใต้ของแนวมุดตัวซุนดาบริเวณเกาะสุมาตรา (Natawidjaja et al., 2006)

สำหรับงานวิจัยแนวมุดตัวซุนดาบริเวณอันดามันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปีค.ศ. 1881 และค.ศ. 1941 ที่เกิดขึ้นบริเวณหมู่เกาะอันดามัน โดยสองเหตุการณ์นี้เป็นข้อถกเถียงกันอย่างมากว่าทำให้เกิดคลื่นสึนามิขึ้นในอดีตหรือไม่ Ortiz and Bilham (2003) ได้ศึกษาเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปีค.ศ. 1881 และมีการอ้างถึงบันทึกจากสถานีวัดระดับน้ำว่ามีคลื่นสึนามิสูง 0.8 เมตรบริเวณชายฝั่งของเกาะอันดามันดังแสดงในรูปที่ 2.6 ทำให้วิเคราะห์ย้อนกลับไปได้ว่าแผ่นดินไหวควรมีขนาด M_w 7.8 – 8.0 การแตกของรอยเลื่อนมีความยาว 150 กิโลเมตรและความกว้าง 60 กิโลเมตร ที่การเคลื่อนตัว 2.7 เมตร โดยมีคาบการเกิดซ้ำที่ประมาณ 150 ปี



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปีค.ศ. 1881 และค.ศ. 1941 (Ortiz and Bilham, 2003)

Rajendran (2013) ได้ศึกษาเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปีค.ศ. 1941 ที่เกิดขึ้นบริเวณหมู่เกาะอันดามันดังแสดงในรูปที่ 2.7 ว่ามีสึนามิเกิดขึ้นหรือไม่อย่างไรเนื่องจากไม่มีการบันทึกข้อมูลในอดีต จากการศึกษาพบว่าแผ่นดินไหวในปีค.ศ. 1941 ไม่ได้ทำให้เกิดคลื่นสึนามิซึ่งอาจจะขัดแย้งกับงานวิจัยอื่นๆ โดยมีการอ้างถึงความเป็นไปได้ 2 ข้อคือ 1) ลักษณะการเกิดเป็นแบบ oblique-slip ซึ่งไม่ได้ทำให้เกิดการยกตัวของพื้นมหาสมุทรมากนัก 2) ลักษณะการเกิดทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวตั้งอยู่บ้าง แต่เนื่องจากตำแหน่งอยู่ใกล้กับเกาะอย่างมากดังแสดงในรูปที่ 2.7 ทำให้ไม่เกิดคลื่นสึนามิ อย่างไรก็ตาม Okal (2019) ได้ทำการศึกษาเช่นกันและได้กล่าวถึงเหตุการณ์ในปีค.ศ. 1941 นี้ว่าเป็นการแตกของรอยเลื่อนที่ใหญ่ที่สุดในบริเวณนี้สำหรับแผ่นดินไหวก่อนปีค.ศ. 2004 โดยเหตุการณ์ในปีค.ศ. 1941 มีขนาด 8.1 และมีกลไกการเกิดแบบผสมระหว่าง strike-slip และ normal-slip ทำให้เกิดสึนามิขนาดเล็ก

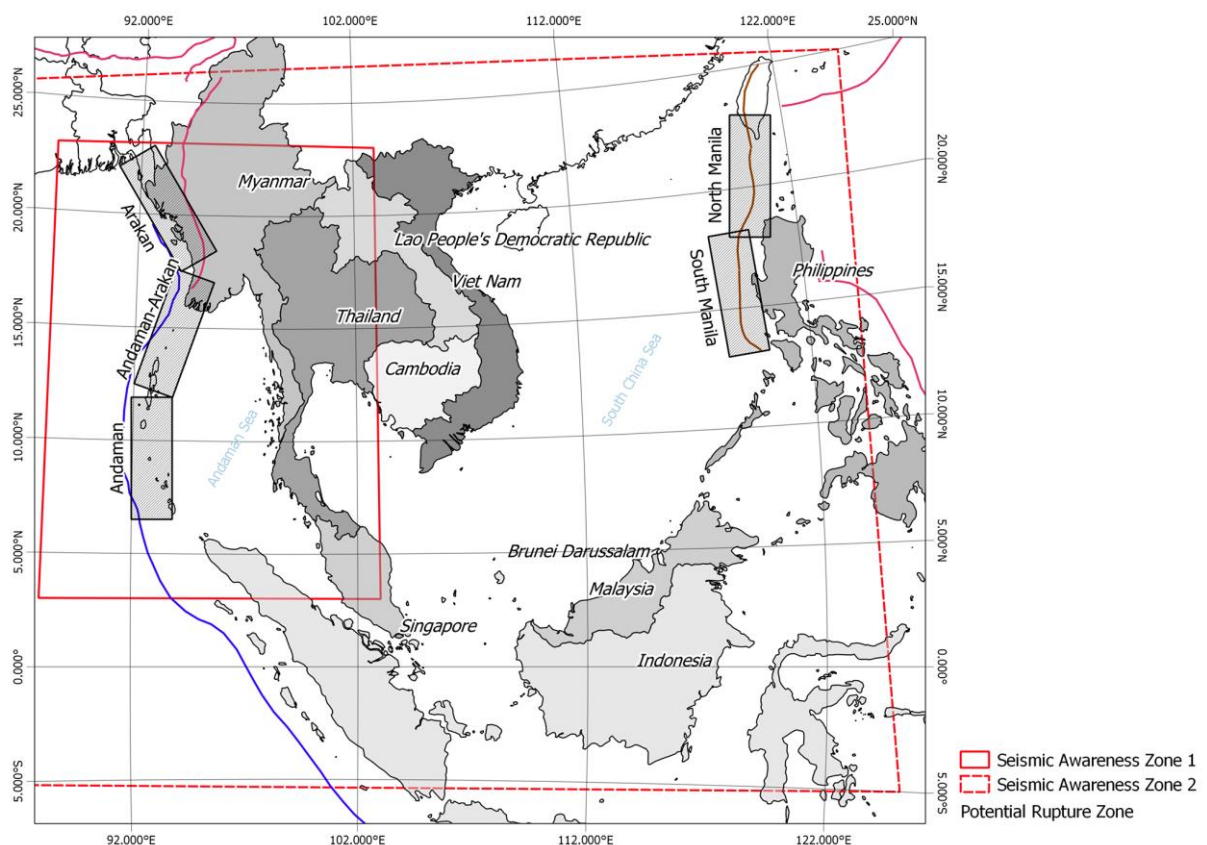


รูปที่ 2.7 แนวมุดตัวซุนดาบริเวณอันดามันและตำแหน่งของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปีค.ศ. 1941 (Rajendran, 2013)

สรุปผลการศึกษาการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณทางตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดาพบว่าแผ่นดินไหวบริเวณอาระกันขนาด 8.5-9.0 มีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเนื่องจากคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100-500 ปี (Socquet et al., 2006; Cummins, 2007; Wang et al., 2013) และแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในปีค.ศ. 1762 ที่เกิดขึ้นเมื่อประมาณ 250 ปีก่อน เช่นเดียวกับแผ่นดินไหวบริเวณรอยต่อระหว่างอันดามันกับอาระกันซึ่งเป็นส่วนที่ต่อเนื่องมาจากแนวมุดตัวซุนดาบริเวณอาระกันก็มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคตเช่นเดียวกัน (Okal and Synolakis, 2008) นอกจากนี้การที่แนวมุดตัวซุนดาบริเวณอันดามันมีการเคลื่อนตัวเท่ากับ 20 มิลลิเมตรต่อปีซึ่งไม่ต่างจากแนวมุดตัวซุนดาบริเวณอาระกัน ทำให้จำเป็นต้องมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่บริเวณอันดามันนี้เช่นเดียวกัน ประกอบกับการแตกของรอยเลื่อนบริเวณอันดามันที่เป็นส่วนหนึ่งของเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004 อาจยังไม่ได้ปลดปล่อยพลังงานออกมามากนัก ด้วยเหตุนี้

ระบบเตือนภัยต่างๆในบริเวณมหาสมุทรอินเดียยังให้ความสนใจกับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณนี้ ในการสร้างสถานการณ์เพื่อเตือนภัยในอนาคต (Greenslade et al., 2014) ได้ทำการจำลองคลื่นสึนามิจากสมมติฐานของสถานการณ์ต่างๆในมหาสมุทรอินเดีย เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองสึนามิจากระบบเตือนภัยของหน่วยงานต่างๆ หนึ่งในสมมติฐานของสถานการณ์ที่ใช้สำหรับระบบเตือนภัยคือแผ่นดินไหวขนาด M_w 7.5 และ M_w 8.2 บริเวณหมู่เกาะอันดามัน โดยหน่วยงานเตือนภัย RIMES ซึ่งตั้งอยู่ในประเทศไทยใช้แบบจำลอง TUNAMI เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมีการใช้ทฤษฎีในแบบจำลองที่มีความเหมือนจริงมากที่สุด รวมถึงการพัฒนาข้อมูลนำเข้าความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขที่มีความละเอียดสูงซึ่งอยู่ในหัวข้อถัดไป

รูปที่ 2.8 แสดงแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวตามแนวมุดตัวซุนดาบริเวณอาระกัน บริเวณรอยต่อระหว่างอันดามันกับอาระกัน และบริเวณอันดามัน ที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์สึนามิในอนาคตที่สามารถส่งผลกระทบต่อชายฝั่งอันดามัน โดยมีกลไกการเกิดแผ่นดินไหวแสดงในตารางที่ 2.3 ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในทะเลจีนใต้ที่ส่งผลกระทบต่อชายฝั่งอ่าวไทยได้อ้างอิงจากรายงานการสรุปของ IOC workshop ซึ่งจัดขึ้น 16-18 พฤศจิกายน ค.ศ. 2015 ที่ประเทศจีน (UNESCO, 2018) รายงานได้กล่าวถึงผลสรุปจากการศึกษาร่วมกันระหว่างผู้เชี่ยวชาญทางด้านสึนามิจากประเทศต่างๆ ได้แก่ จีน ไต้หวัน และฟิลิปปินส์ อ้างอิงจากงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์ไปแล้วรวมถึงงานวิจัยในปัจจุบัน เพื่อวิเคราะห์โอกาสการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา ซึ่งรวมถึงขนาดแผ่นดินไหวและกลไกรอยเลื่อน จึงเป็นที่มาในการพิจารณาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณทะเลจีนใต้เพื่อจำลองสถานการณ์การเกิดคลื่นสึนามิในอนาคตดังแสดงรูปที่ 2.8 ถึงแม้จะส่งผลกระทบต่อบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยค่อนข้างน้อยเนื่องจากระยะทางที่ไกลมากก็ตาม

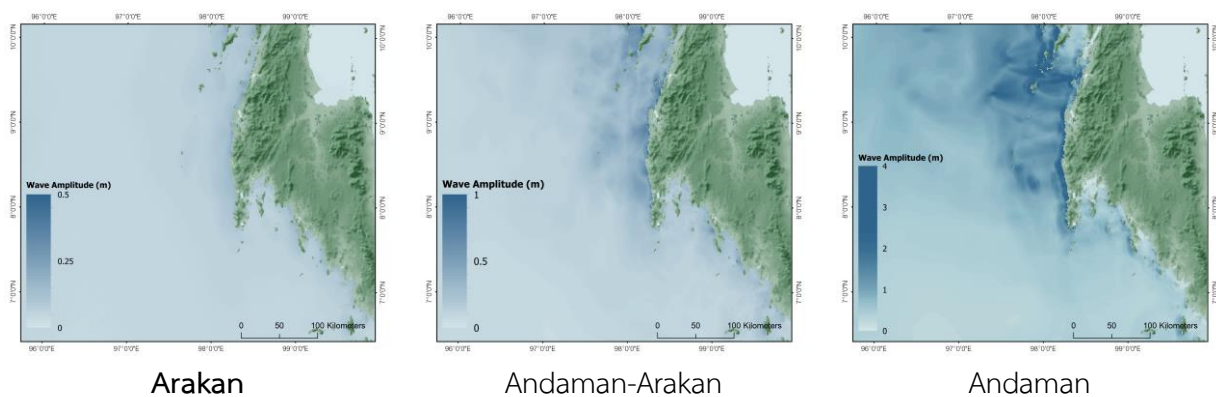


รูปที่ 2.8 การระบุแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดภัยสึนามิต่อประเทศไทยได้ในอนาคต

ตารางที่ 2.3 กลไกของรอยเลื่อนในการเกิดแผ่นดินไหวที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์สึนามิในอนาคต

Zone	Location	M_w	Lat (°N)	Lon (°E)	Depth (km)	Length (km)	Width (km)	Slip (m)	Strike (°)	Dip (°)	Slip (°)
Sunda Subduction	Arakan	9.0	17.5	94.0	10	500	200	12	325	15	90
	Andaman-	9.0	12.5	92.0	20	600	200	10	20	15	90
	Arakan	8.5	12.5	92.0	20	300	100	7	20	15	90
	Andaman	9.0	6.5	92.0	15	600	200	10	0	20	90
		8.5 ^a	6.5	92.0	15	300	100	7	0	20	90
		8.5 ^b	6.5	92.0	15	300	100	7	0	20	90
		8.5 ^c	6.5	92.0	15	300	100	7	0	20	90
		8.5 ^d	6.5	92.0	15	300	100	7	0	20	90
Manila Trench	North Manila	9.0	18.0	119.0	20	575	145	10	359	20	110
	South Manila	9.0	13.0	118.5	20	575	145	10	353	30	50

เนื่องด้วยงานวิจัยของ Okal and Synolakis (2008) นี้ไม่ได้พูดถึงผลกระทบของคลื่นสึนามิต่อชายฝั่งอันดามันของประเทศไทย ในหัวข้อนี้จึงได้ทำการจำลองคลื่นสึนามิเพื่อศึกษาผลกระทบเบื้องต้นต่อชายฝั่งอันดามัน การทดลองใช้แบบจำลอง TUNAMI และข้อมูลนำเข้าความลึกพื้นมหาสมุทรของ GEBCO เพื่อจำลองสถานการณ์เบื้องต้นนั้น ทำให้ได้ผลจากการจำลองแผ่นดินไหวระยะกันขนาด M_w 9.0 ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ทำให้เกิดคลื่นสึนามิสูงไม่เกิน 0.5 เมตรต่อชายฝั่งอันดามัน หลังจากเกิดแผ่นดินไหวประมาณ 4 ชั่วโมงดังแสดงรูปที่ 2.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการจำลองแผ่นดินไหวระยะกันขนาด M_w 9.0 ได้แสดงถึงผลกระทบค่อนข้างน้อยดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น สำหรับแผ่นดินไหวอันดามันระยะกัน ขนาด M_w 9.0 ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ได้ทำให้เกิดคลื่นสึนามิสูงไม่เกิน 2 เมตรต่อชายฝั่งอันดามัน หลังจากเกิดแผ่นดินไหวประมาณ 3 ชั่วโมงดังแสดงรูปที่ 2.9 ผลจากการจำลองเบื้องต้นของกรณีแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 9.0 ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ทำให้เกิดคลื่นสึนามิสูงประมาณ 8 เมตรต่อชายฝั่งอันดามันของประเทศไทย หลังจากเกิดแผ่นดินไหวไม่เกิน 2 ชั่วโมงดังแสดงรูปที่ 2.9 ทั้งหมดนี้เป็นผลการจำลองเบื้องต้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการจำลองอย่างละเอียดเพื่อศึกษาผลกระทบต่อบริเวณชายฝั่งอันดามันของประเทศไทยซึ่งจะอยู่ในหัวข้อถัดไป รวมถึงการจำลองสถานการณ์อื่นๆ โดยพิจารณาความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของตัวแปรการเกิดแผ่นดินไหวต่างๆ เพื่อยืนยันผลกระทบต่อบริเวณชายฝั่งอันดามันของประเทศไทย



รูปที่ 2.9 ผลของคลื่นสึนามิสูงสุดบริเวณชายฝั่งอันดามันจากแบบจำลอง TUNAMI

สำหรับงานวิจัยทางด้านสึนามิบรรพกาล (paleo-tsunami) ดร.เครือวัลย์ จันทร์แก้ว (Jankaew et al., 2008) ได้ทำการศึกษาตะกอนสึนามิในอดีตจากพื้นที่เกาะพระทอง จากลักษณะตะกอนสึนามิอาจนำไปสู่ค้นพบความเร็วและลักษณะการท่วมถึงของคลื่นสึนามิในอดีต ซึ่งอาจทำให้สามารถคำนวณย้อนกลับเพื่อหาที่มาของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดคลื่นสึนามิต่อชายฝั่งอันดามันในอดีตได้ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Malik et al. ในปีค.ศ. 2015 และค.ศ. 2019 ที่ได้ค้นพบตะกอนสึนามิบรรพกาลใน 8,000 ปีที่ผ่านมา ที่ปรากฏในบริเวณชั้นทรายของหมู่เกาะอันดามัน ทำให้สามารถประเมินคาบการเกิดซ้ำ 420-750 ปีสำหรับแผ่นดินไหวขนาดใหญ่และคาบการเกิดซ้ำ 80-120 ปีสำหรับแผ่นดินไหวขนาดกลาง ซึ่งในอดีตได้เกิดแผ่นดินไหวขนาดกลางขึ้นในปีค.ศ. 1679 (M_w 7.5) ค.ศ. 1762 (M_w 7.5) ค.ศ. 1847 (M_w 7.5) ค.ศ. 1881 (M_w 7.9) และค.ศ. 1941 (M_w 7.7) โดยแผ่นดินไหวระดับนี้ในบริเวณหมู่เกาะอันดามันจะสามารถทำให้เกิดคลื่นสึนามิที่สร้างผลกระทบไม่มากต่อชายฝั่งอันดามันของประเทศไทย อย่างไรก็ตามการเกิดแผ่นดินไหวขนาด M_w 8.5 ขึ้นไปซึ่งมีโอกาสเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นในบริเวณนี้ อาจทำให้เกิดคลื่นสึนามิที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อชายฝั่งอันดามันซึ่งจะแสดงในบทที่ 3

2.2 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลข

การรวบรวมข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทร (Bathymetry Data) และแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) ของภูมิประเทศบริเวณชายฝั่งที่มีอยู่ในปัจจุบันจากแหล่งต่างๆ เพื่อนำมาพัฒนาเป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองสึนามิที่มีความถูกต้องและความละเอียดสูง โดยแหล่งข้อมูลที่สามารถดาวน์โหลดได้มีดังนี้

- ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทร General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) ที่มีขนาดกริด 15 arcsec และ 30 arcsec จาก Intergovernmental Oceanic Commission (IOC) ของ UNESCO
- แบบจำลองระบบความสูงภูมิประเทศเชิงเลข ALOS World 3D (AW3D30) ที่มีขนาดกริด 30 เมตร จากองค์การอวกาศ (JAXA) ประเทศญี่ปุ่น
- แบบจำลองระบบความสูงภูมิประเทศเชิงเลขจาก Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ที่มีขนาดกริด 90 เมตร จากองค์การนาซา (NASA) ประเทศสหรัฐอเมริกา
- แบบจำลองระบบความสูงภูมิประเทศเชิงเลขจาก Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM) ที่มีขนาดกริด 30 เมตร จากองค์การนาซา (NASA) ประเทศสหรัฐอเมริกา
- แบบจำลองระบบความสูงภูมิประเทศเชิงเลข NASADEM ที่มีขนาดกริด 30 เมตร จากองค์การนาซา (NASA) ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยสร้างขึ้นจากหลายแหล่งข้อมูลรวมทั้ง SRTM และ GDEM

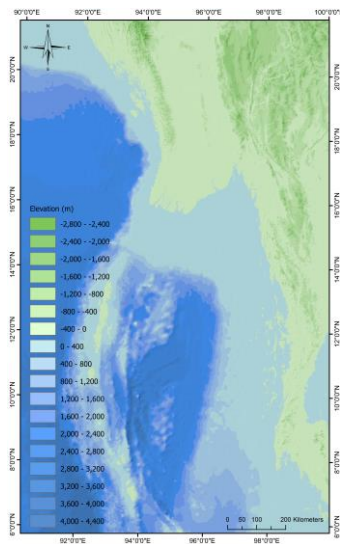
จากแหล่งข้อมูลที่สามารถดาวน์โหลดได้เหล่านี้ งานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทร GEBCO และแบบจำลองระบบความสูงภูมิประเทศเชิงเลข NASADEM ซึ่งเป็นข้อมูลความน่าเชื่อถือมากที่สุด อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องสร้างระบบข้อมูลความลึกของทะเลและความสูงภูมิประเทศบริเวณชายฝั่งให้มีความถูกต้องและความละเอียดสูงขึ้นเพื่อทำให้การจำลองการเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิเข้าสู่ชายฝั่ง การขึ้นสู่ชายฝั่ง และการท่วมถึงของคลื่นสึนามิให้มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องจัดหาข้อมูลจากแหล่งอื่นๆมาใช้ประกอบด้วยดังนี้

- แผนภาพดิจิทัลทางทะเลสำหรับแผนที่เดินเรือ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
- ข้อมูลการสำรวจทางทะเลจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ที่มีความละเอียดสูงบริเวณใกล้ชายฝั่งและมีความละเอียดน้อยลงเมื่อห่างจากชายฝั่ง
- ข้อมูลแบบจำลองระบบความสูงภูมิประเทศเชิงเลขจากกรมพัฒนาที่ดิน
- ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมของภูมิประเทศบริเวณชายฝั่งที่มีความละเอียด
- ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรเฉพาะบริเวณแนวชายฝั่งและความสูงภูมิประเทศจาก Earth Observation and Environmental Services (EOMAP) ที่พัฒนาจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณน้ำตื้นตามแนวชายฝั่ง ข้อมูลเส้นชายฝั่ง แผนภาพดิจิทัลทางทะเล และข้อมูลจากหลายๆแหล่งประกอบ

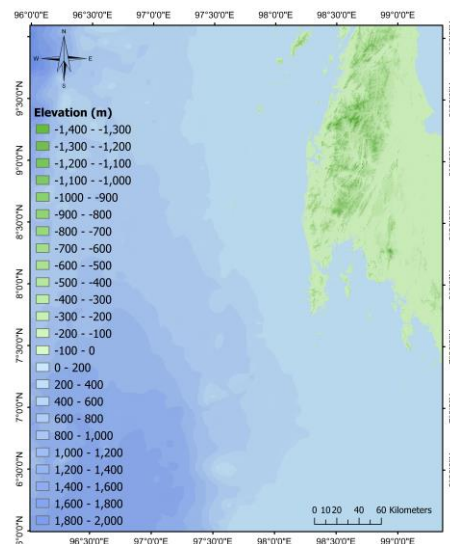
ทั้งนี้เพื่อการพัฒนาเป็นระบบข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและความสูงภูมิประเทศที่มีความถูกต้องมากที่สุดโดยเฉพาะบริเวณแนวชายฝั่งสำหรับประเทศไทย จึงจำเป็นต้องมีการจัดหาข้อมูลเหล่านี้ โดยแนวทางการพัฒนาระบบข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทร และความสูงภูมิประเทศจะใช้วิธีการเดียวกับ EOMAP ที่มีการรวบรวมข้อมูลจากหลายๆแหล่งมาพิจารณาร่วมกัน เพื่อพัฒนาเป็นชุดข้อมูลที่ดีที่สุดในแต่ละพื้นที่ ซึ่งการพัฒนาระบบข้อมูลของ EOMAP ต้องมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงจากประสบการณ์ผู้วิจัยในโครงการอื่น ดังนั้นในเบื้องต้นนี้ผู้วิจัยได้ใช้แหล่งข้อมูลที่สามารถดาวน์โหลดได้ดังกล่าว รวมถึงการขอข้อมูลในเครือข่ายงานวิจัยเดียวกันจากมหาวิทยาลัยโทโฮคุและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมาพัฒนาระบบข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและความสูงภูมิประเทศด้วยตนเอง จากนั้นจะได้ทำการพิจารณาจัดหาข้อมูลอื่นๆในบริเวณที่จำเป็นในลำดับถัดไป โดยจำเป็นต้องพิจารณาเลือกซื้อข้อมูลให้ดีที่สุด เนื่องด้วยงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดและการซื้อข้อมูลสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ต้องใช้เงินมหาศาล

จากการพัฒนาข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและระบบความสูงภูมิประเทศ ผู้วิจัยได้ทำการจัดกลุ่มข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง TUNAMI-N2 โดยกลุ่มข้อมูลนำเข้าจะประกอบด้วยข้อมูลที่มีขนาดกริดแตกต่างกันดังนี้

- ขอบเขตที่ 1 มีขนาดกริด 1,215 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ที่ใหญ่ที่สุดทั้งทะเลอันดามันและอ่าวเบงกอลภายในมหาสมุทรอินเดีย
- ขอบเขตที่ 2 มีขนาดกริด 405 เมตร ครอบคลุมพื้นที่เล็กลงมาที่บริเวณทะเลอันดามันและชายฝั่งของประเทศไทย
- ขอบเขตที่ 3 มีขนาดกริด 135 เมตร ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่สนใจต่างๆตามชายฝั่งทะเลอันดามัน อาทิเช่นขอบเขตของจังหวัดต่างๆตามแนวชายฝั่ง
- ขอบเขตที่ 4 มีขนาดกริด 45 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งที่สนใจ อาทิเช่นขอบเขตของอำเภอ
- ขอบเขตที่ 5 และ 6 มีขนาดกริด 15 และ 5 เมตรตามลำดับ ครอบคลุมบริเวณที่ต้องการจำลองการท่วมถึงของคลื่นสึนามิ



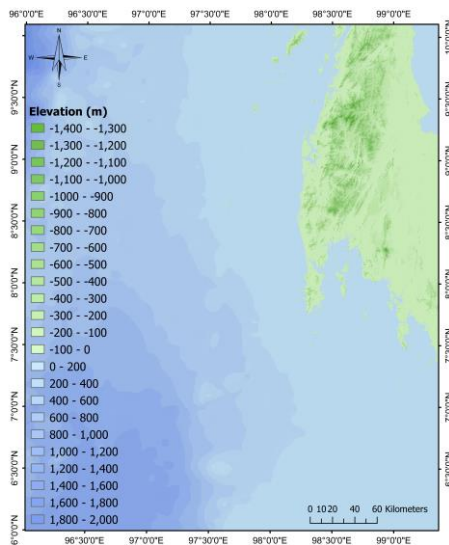
ขอบเขตที่ 1



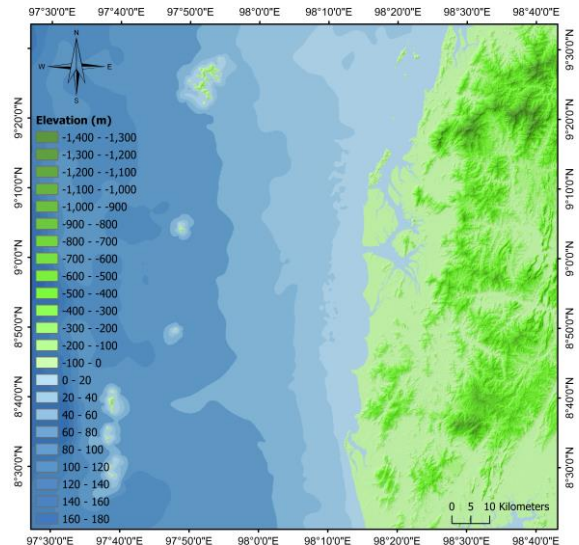
ขอบเขตที่ 2

รูปที่ 2.10 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณทะเลอันดามันและอ่าวเบงกอลภายในมหาสมุทรอินเดีย

รูปที่ 2.10 แสดงขอบเขตที่ 1 ซึ่งมีขนาดกริด 1,215 เมตร ครอบคลุมมหาสมุทรอินเดีย และขอบเขตที่ 2 ซึ่งมีขนาดกริด 405 เมตร ครอบคลุมจังหวัดตามแนวชายฝั่งอันดามันได้แก่ ระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ และตรัง ส่วนขอบเขตที่ 3 ซึ่งมีขนาดกริด 135 เมตรในรูปที่ 2.11 ครอบคลุมพื้นที่ตามแนวชายฝั่งในจังหวัดพังงา รูปที่ 2.12 แสดงขอบเขตที่ 4 ซึ่งมีขนาดกริด 45 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ตามแนวชายฝั่งในอำเภอกระบุรีและอำเภอตะกั่วป่า ส่วนขอบเขตที่ 5 และ 6 ซึ่งมีขนาดกริด 15 เมตรและ 5 เมตรตามลำดับในรูปที่ 2.12 ครอบคลุมพื้นที่ตำบลเกาะพระทอง

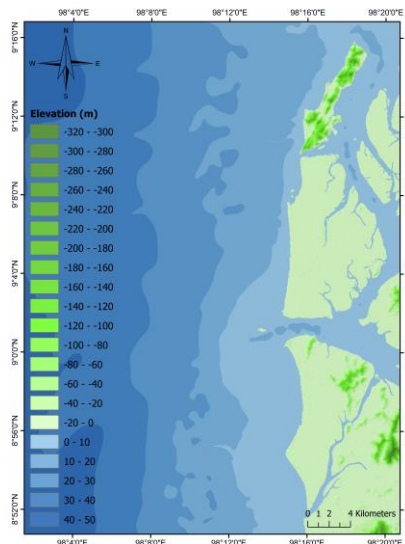


ขอบเขตที่ 2

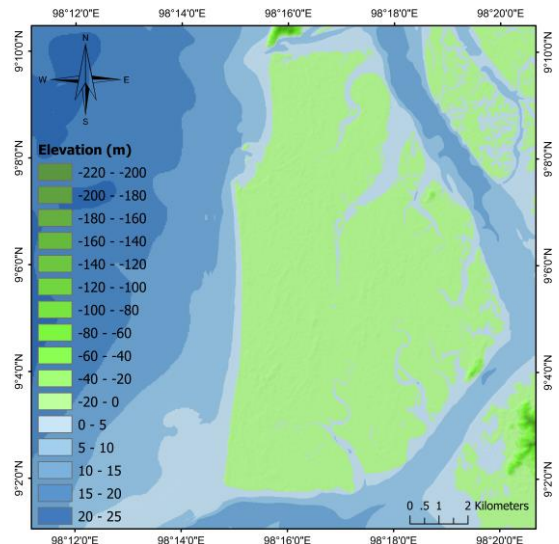


ขอบเขตที่ 3

รูปที่ 2.11 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณทะเลอันดามัน



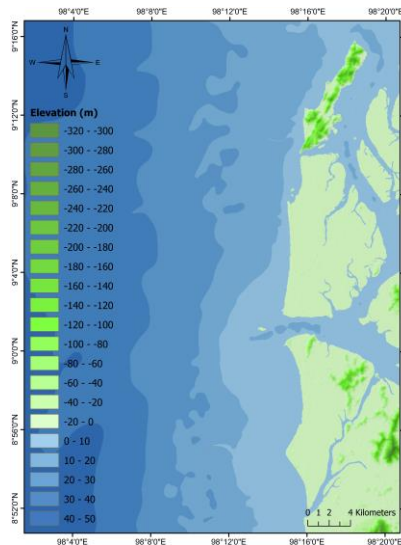
ขอบเขตที่ 4



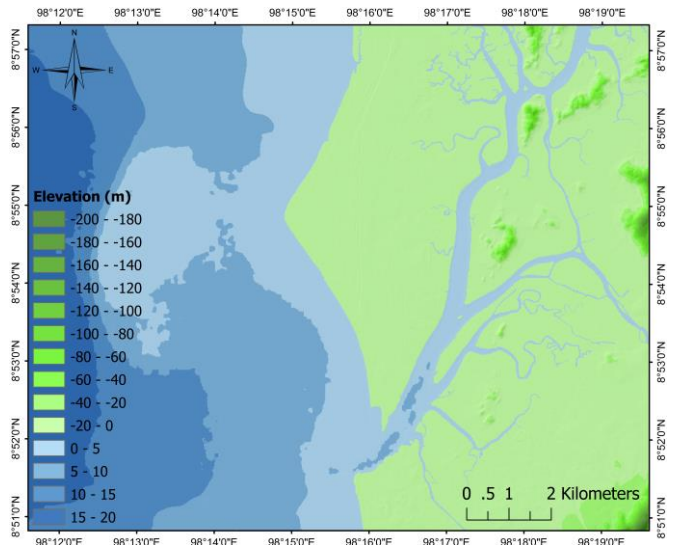
ขอบเขตที่ 5 และ 6

รูปที่ 2.12 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณเกาะพระทอง

รูปที่ 2.13 แสดงขอบเขตที่ 4 ซึ่งมีขนาดกริด 45 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ตามแนวชายฝั่งในอำเภอตะกั่วป่า ส่วนขอบเขตที่ 5 และ 6 ซึ่งมีขนาดกริด 15 เมตรและ 5 เมตรตามลำดับในรูปที่ 2.13 ครอบคลุมพื้นที่ตำบลบ้านน้ำเค็ม



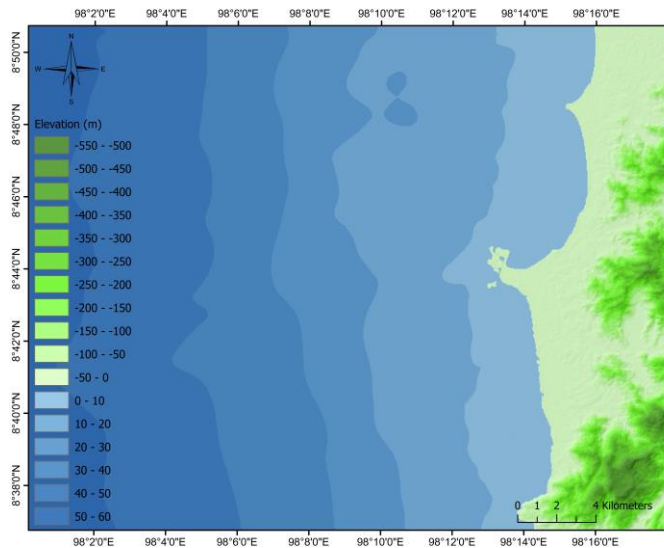
ขอบเขตที่ 4



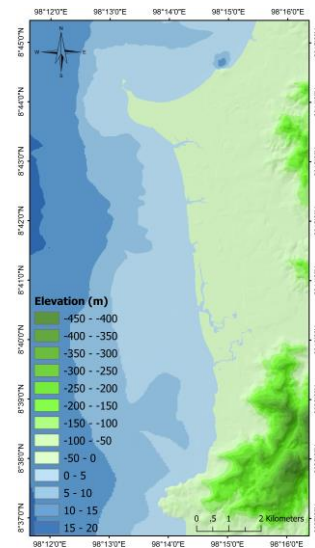
ขอบเขตที่ 5 และ 6

รูปที่ 2.13 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณบ้านน้ำเค็ม

รูปที่ 2.14 แสดงขอบเขตที่ 4 ซึ่งมีขนาดกริด 45 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ตามแนวชายฝั่งในอำเภอตะกั่วป่า ส่วนขอบเขตที่ 5 และ 6 ซึ่งมีขนาดกริด 15 เมตรและ 5 เมตรตามลำดับในรูปที่ 2.14 ครอบคลุมพื้นที่ตำบลคึกคัก



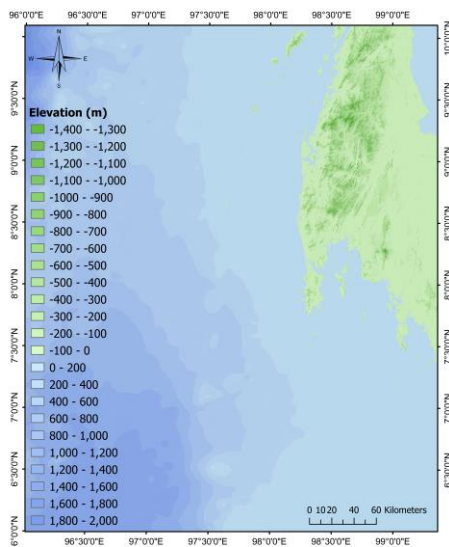
ขอบเขตที่ 4



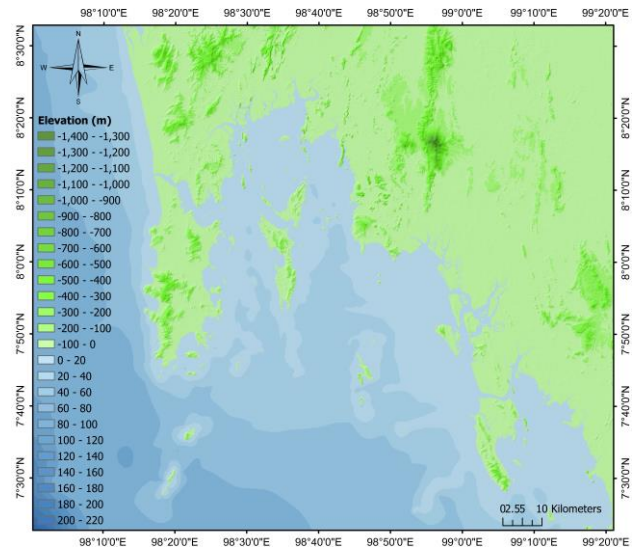
ขอบเขตที่ 5 และ 6

รูปที่ 2.14 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณแหลมปะการัง

รูปที่ 2.15 แสดงขอบเขตที่ 3 ซึ่งมีขนาดกริด 135 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ตามแนวชายฝั่งในจังหวัดภูเก็ต
รูปที่ 2.16 แสดงขอบเขตที่ 4 ซึ่งมีขนาดกริด 45 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ตามแนวชายฝั่งในอำเภอกะทู้ อำเภอถลาง และอำเภอเมือง ส่วนขอบเขตที่ 5 และ 6 ซึ่งมีขนาดกริด 15 เมตรและ 5 เมตรตามลำดับในรูปที่ 2.16 ครอบคลุมพื้นที่ตำบลป่าตอง

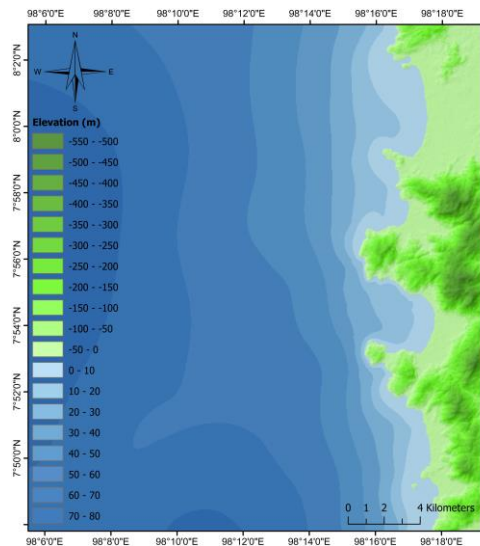


ขอบเขตที่ 2

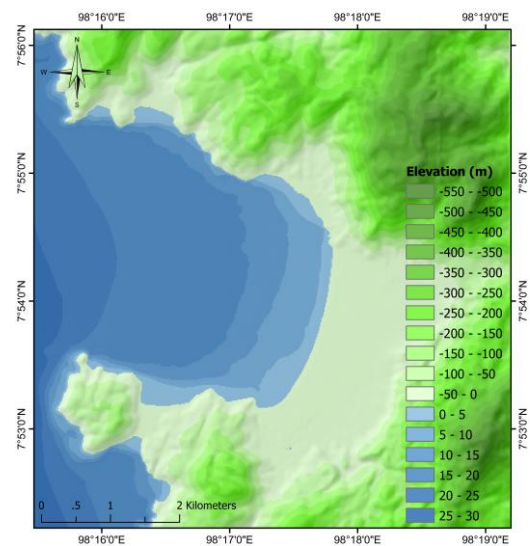


ขอบเขตที่ 3

รูปที่ 2.15 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณทะเลอันดามัน



ขอบเขตที่ 4



ขอบเขตที่ 5 และ 6

รูปที่ 2.16 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณหาดป่าตอง

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังสร้างพื้นที่สนใจเพิ่มเติมในขอบเขตที่ 5 และ 6 ได้แก่ หาดทับตะวัน หาดลายัน หาดกะรน หาดราไวย์ และเกาะพีพี ทำให้ได้สรุปขอบเขตของข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและระบบความสูงภูมิประเทศที่ใช้ในแบบจำลองสึนามิสำหรับชายฝั่งอันดามันดังแสดงในตารางที่ 2.4 สำหรับชายฝั่งอ่าวไทย ตารางที่ 2.5 แสดงข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและระบบความสูงภูมิประเทศที่ใช้ในแบบจำลองสึนามิประกอบด้วยขอบเขตที่ 1 ขอบเขตที่ 2 และขอบเขตที่ 3 เท่านั้น

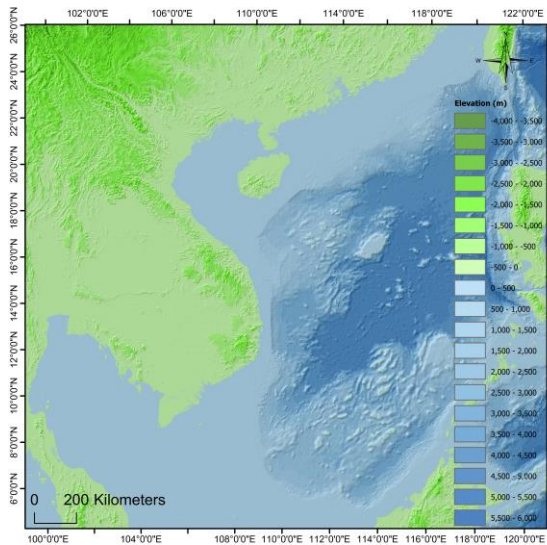
ตารางที่ 2.4 ขอบเขตของข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและระบบความสูงภูมิประเทศสำหรับชายฝั่งอันดามัน

Region	Grid Size (m)	Area of Interest (AOI)	Extent (WGS 1984/UTM Zone 47)				Number	
			Left	Bottom	Right	Top	Column	Row
1	1215	Indian Ocean	-456425	223815	604270	1990425	873	1454
2	405	Andaman Sea	170515	663645	539875	1116840	912	1119
3	135	Ranong	373420	1044345	469000	1116840	708	537
		Phang Nga	329680	922845	469000	1056900	1032	993
		Phuket / Krabi	390025	815520	538660	945120	1101	960
4	45	North Phang Nga	392860	977925	428095	1025985	783	1068
		South Phang Nga	390295	952005	422965	977925	726	576
		West Phuket	399880	861960	425125	890040	561	624
		East Phuket	423910	845490	478450	866415	1212	465
5	15	Ko Phra Thong	410590	996870	428005	1014285	1161	1161
		Ban Nam Khem	411310	978015	425980	989985	978	798
		Tab Tawan Beach	411355	968025	421975	977925	708	660
		Khao Lak	411355	952005	419995	967980	576	1065
		Bang Tao Beach / Kamala Beach	418150	877260	424000	889995	390	849
		Patong Beach	418150	869925	424720	877260	438	489
		Karon Beach / Kata Beach	418150	862005	424000	869925	390	528
		Ra Wai Beach	424000	856020	428680	863985	312	531
		Phi Phi Islands	471520	845490	478450	866325	462	1389

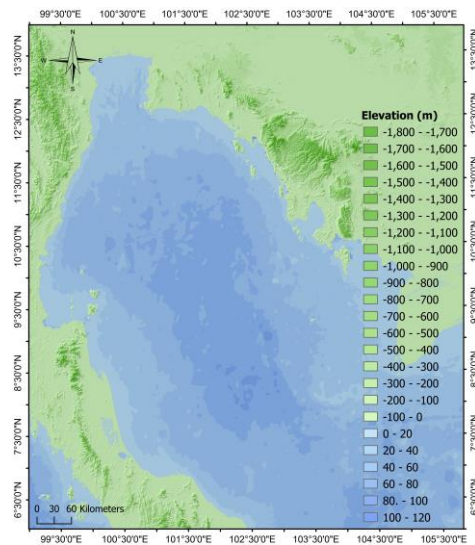
ตารางที่ 2.5 ขอบเขตของข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและระบบความสูงภูมิประเทศสำหรับชายฝั่งอ่าวไทย

Region	Grid Size (m)	Area of Interest (AOI)	Extent (WGS 1984/UTM Zone 47)				Number	
			Left	Bottom	Right	Top	Column	Row
1	1215	South China Sea	498565	474105	2991745	2878590	2052	1979
2	405	Gulf of Thailand	499780	668505	1254295	1546950	1863	2169
3	135	East Thailand	714835	1253325	937180	1422210	1647	1251
		Bangkok	575515	1289775	723745	1504425	1098	1590
		Prachuab Khiri Khan	499780	1090515	646390	1310430	1086	1629
		Surat Thani	499780	979950	710785	1120890	1563	1044
		Nakhon Si Thammarat	591310	802560	730225	1001415	1029	1473
		Songkhla	676360	668505	869140	826860	1428	1173

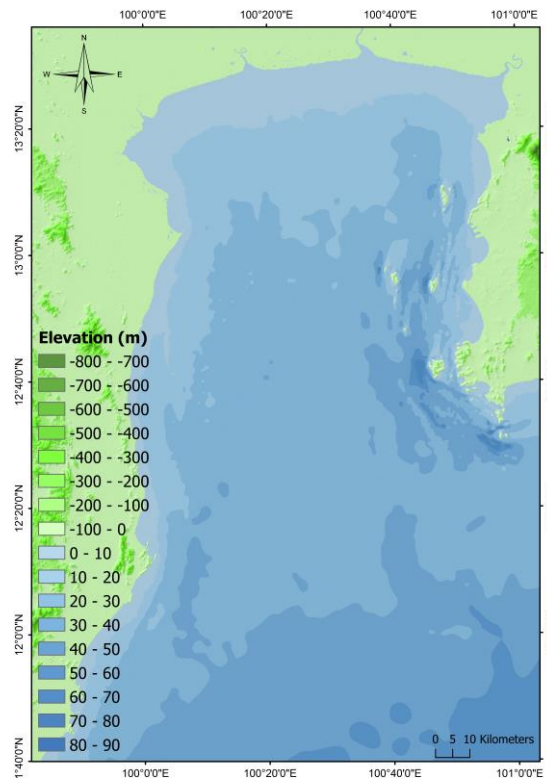
รูปที่ 2.17 แสดงขอบเขตที่ 1 ซึ่งมีขนาดกริด 1,215 เมตร ครอบคลุมทะเลจีนใต้ และขอบเขตที่ 2 ซึ่งมีขนาดกริด 405 เมตร ครอบคลุมจังหวัดตามแนวชายฝั่งอ่าวไทย ส่วนขอบเขตที่ 3 ซึ่งมีขนาดกริด 135 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการทราบความสูงคลื่นและเวลาการมาของคลื่นตั้งแต่จังหวัดนราธิวาส ปัตตานี สงขลา นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร กรุงเทพฯ สมุทรปราการ ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด



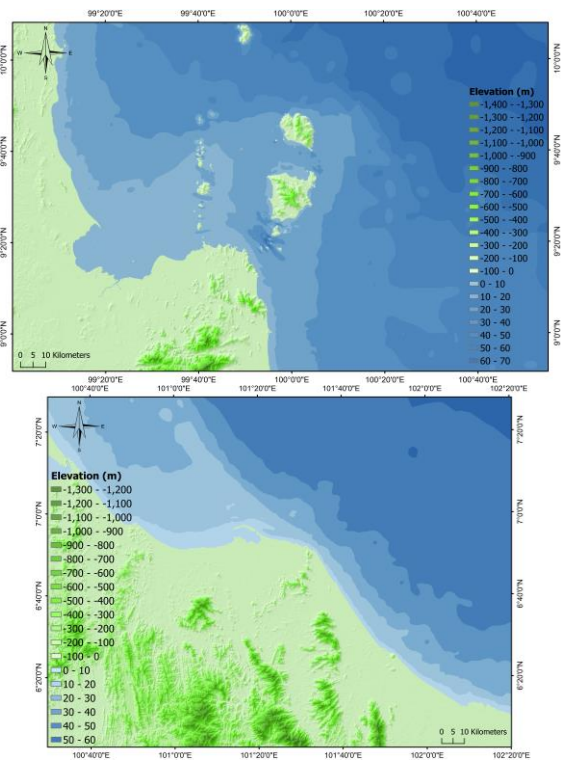
ขอบเขตที่ 1



ขอบเขตที่ 2



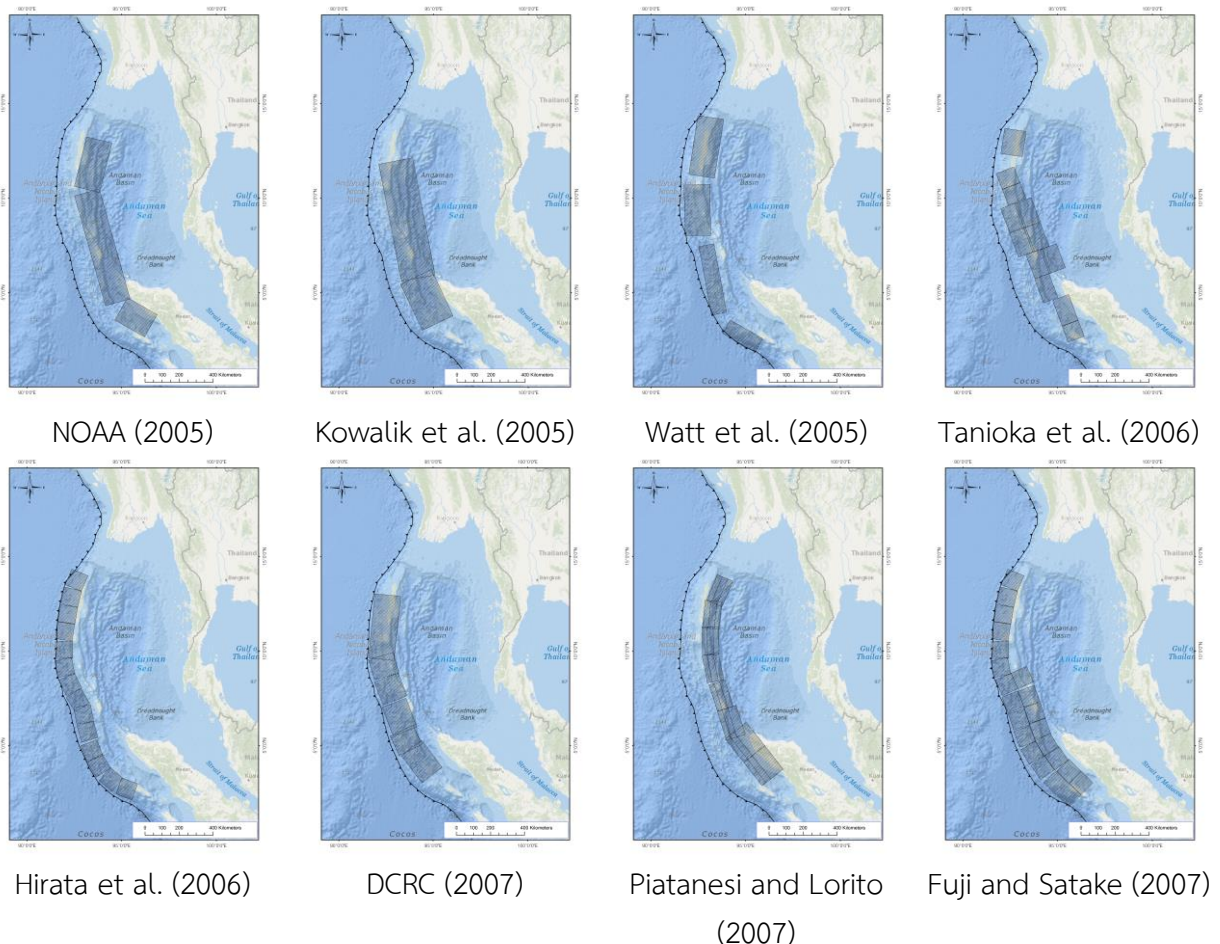
ขอบเขตที่ 3



รูปที่ 2.17 ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและแบบจำลองระบบความสูงเชิงเลขบริเวณทะเลจีนใต้และอ่าวไทย

2.3 การสอบเทียบแบบจำลองคลื่นสึนามิ

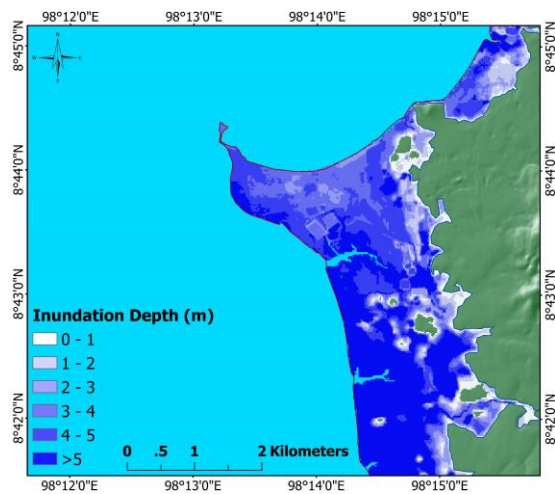
รูปที่ 2.18 แสดงกลไกการแตกของรอยเลื่อนจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดสึนามิในปีค.ศ. 2004 ที่ถูกนำเสนอโดยนักวิจัยต่างๆ ข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและระบบความสูงภูมิประเทศที่ถูกพัฒนาขึ้นในหัวข้อก่อนหน้านี้ได้ถูกนำมาจำลองเหตุการณ์สึนามิที่เกิดขึ้นในปีค.ศ. 2004 โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง TUNAMI-N2 ที่สามารถจำลองการเกิดของคลื่นสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว การเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิเข้าสู่ชายฝั่ง และการท่วมถึงบริเวณชายฝั่ง แบบจำลองคณิตศาสตร์ดังกล่าวจะใช้วิธีการ explicit staggered finite difference ในการแก้ปัญหา shallow water equations ที่สามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของคลื่นสึนามิ (Tsunami Evolution) ที่กำลังเข้าสู่ชายฝั่งไปสู่กระบวนการท่วมถึงบริเวณชายฝั่ง (Coastal Flooding Process) รวมถึงกระบวนการท่วมถึงใช้วิธีการ wet and dry moving boundary เพื่อจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำระหว่างการท่วมถึงและกระบวนการถอนตัวกลับสู่ทะเล โดยข้อมูลความลึกพื้นมหาสมุทรและระบบความสูงภูมิประเทศตั้งแต่ขอบเขตที่ 1 ถึงขอบเขตที่ 5 ได้ถูกนำมาใช้สร้างแบบจำลองใน 2 มิติ (2D Nested-Grids Simulation) การจำลองคลื่นสึนามิในทะเลลึกจะใช้ระดับความละเอียดที่ต่ำที่สุดในขอบเขตที่ 1 ส่วนการจำลองคลื่นสึนามิในทะเลตื้นและการท่วมถึงของคลื่นสึนามิบริเวณชายฝั่งจะใช้ระดับความละเอียดที่สูงที่สุดในขอบเขตที่ 5 และ 6



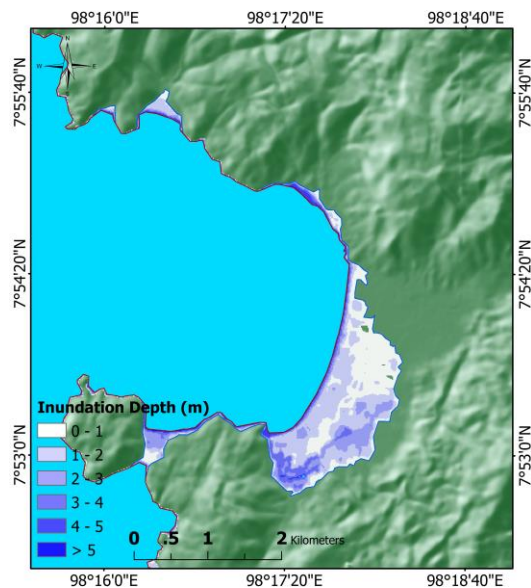
รูปที่ 2.18 การแตกของรอยเลื่อนจากเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004 ที่ถูกนำเสนอโดยนักวิจัยต่างๆ

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองทำโดยการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองคลื่นสึนามิกับข้อมูลการสำรวจผลกระทบต่อน้ำที่ชายฝั่งหลังเหตุการณ์ในปีค.ศ. 2004 รูปที่ 2.19 และ 2.20 แสดงการจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิจากข้อมูลการสำรวจพื้นที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์สึนามิปีค.ศ. 2004 โดยกรมทรัพยากร

กรณีสำหรับพื้นที่บริเวณตำบลคึกคักและตำบลป่าตอง ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับพื้นที่ท่วมถึงของคลื่นสึนามิที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์จากกลไกการเกิดสึนามิที่นำเสนอโดย DCRC (2007) ทั้งนี้การเปรียบเทียบบ้างกล่าวเป็นการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองในเบื้องต้น



รูปที่ 2.19 แผนที่การท่วมถึงของคลื่นสึนามิบริเวณตำบลคึกคักจากแบบจำลอง (ซ้าย) และเหตุการณ์สึนามิในปี ค.ศ. 2004 (ขวา)



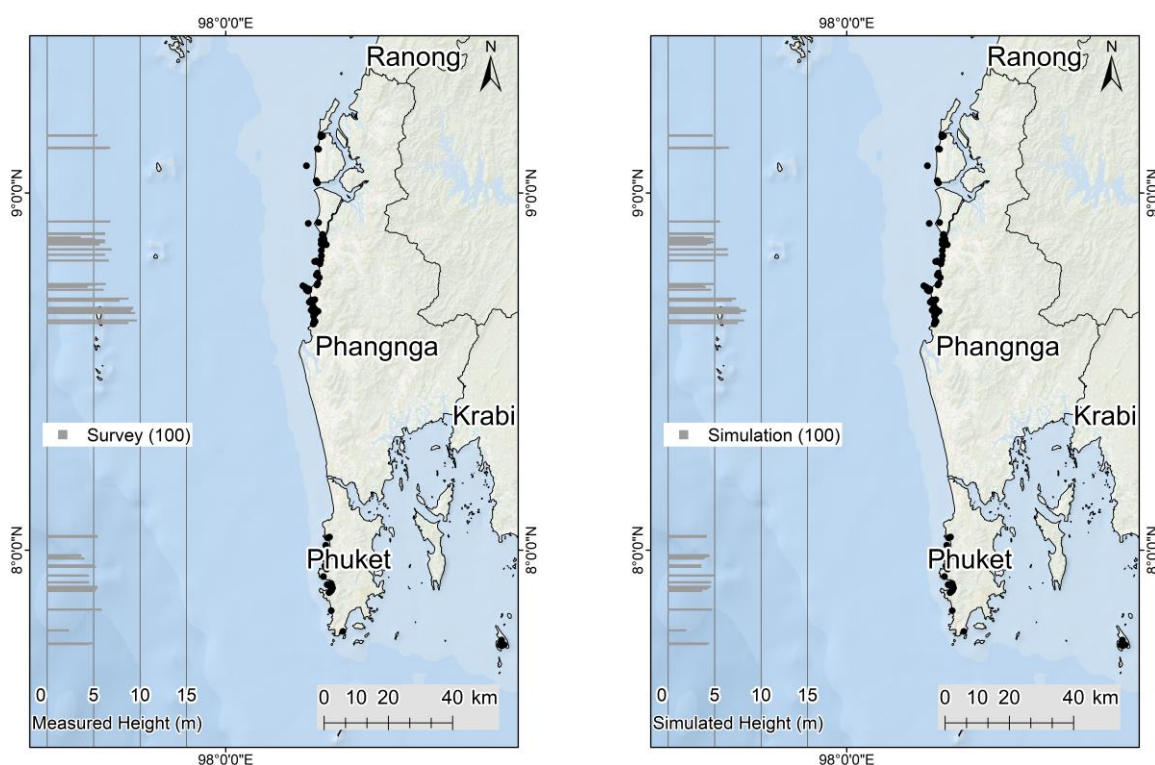
รูปที่ 2.20 แผนที่การท่วมถึงของคลื่นสึนามิบริเวณตำบลป่าตองจากแบบจำลอง (ซ้าย) และเหตุการณ์สึนามิในปี ค.ศ. 2004 (ขวา)

ต่อมาได้มีตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองโดยการหาค่า RMSE ของความสูงของคลื่นสึนามิสำหรับพื้นที่ท่วมถึงบริเวณชายฝั่งระหว่างผลจากแบบจำลองและข้อมูลจากการสำรวจ ซึ่งได้นำเอาข้อมูลจากการสำรวจทั้งสิ้นกว่า 80 จุดข้อมูล กระจ่ายตัวไปตามชายฝั่งบริเวณเกาะพระทอง บ้านน้ำเค็ม เขาหลัก และหาดป่าตอง ซึ่งข้อมูลความสูงของคลื่นสึนามิจากการสำรวจนี้มาจาก International Tsunami Survey Team (ITST) และ NGDC/WDS Global Historical Tsunami Database รวมถึงกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (ปภ.) ทำให้ได้ค่า RMSE สำหรับแบบจำลองในแต่ละกลไกการเกิดสึนามิในรูปที่ 2.18 ที่นำเสนอโดยนักวิจัยต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากลไกการแตกของรอยเลื่อนของ DCRC ให้ค่า RMSE น้อยที่สุด

ตารางที่ 2.6 ค่า RMSE สำหรับกลไกการเกิดสึนามิในปีค.ศ. 2004 ที่นำภูมูนาเสนอโดยนักวิจัยต่างๆ

Source	NOAA	Kowalik	Watt	Tanioka	Hirata	DCRC	Piatanesi	Fuji
RMSE	2.74	2.89	3.09	3.25	2.97	1.89	2.11	4.51

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้การจำลองเชิงเลขในการประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิตามแนวชายฝั่งอันดามันบริเวณ จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต และจังหวัดกระบี่ โดยการจำลองการท่วมถึงของคลื่นสึนามิจะเน้นไปที่พื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง 9 พื้นที่ได้แก่ เกาะพระทอง บ้านน้ำเค็ม หาดทับตะวัน เขาหลัก หาดลายัน หาดป่าตอง หาดกะรน หาดราไวย์ และเกาะพีพี ซึ่งได้มีการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นสึนามิจากการสำรวจทั้งหมด 100 จุด ประกอบด้วย การสำรวจของ ITST จำนวน 71 จุด การสำรวจของ NGDC จำนวน 21 จุด และการสำรวจของปภ.จำนวน 8 จุด กับความสูงคลื่นสึนามิจากแบบจำลองของเหตุการณ์ในปีค.ศ. 2004 ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความใกล้เคียงกันแต่ผลลัพธ์จากแบบจำลองให้ค่าความสูงที่ต่ำกว่าเล็กน้อย การจำลองสถานการณ์สึนามิในอนาคตที่อาจจะส่งผลกระทบต่อชายฝั่งอันดามันจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวตามแนวมุดตัวซุนดาบริเวณอาระกัน บริเวณเหนือเกาะอันดามัน และบริเวณใต้เกาะอันดามัน ทำให้ทราบถึงผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต ทั้งนี้ทำให้สามารถระบุแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดภัยสึนามิที่เป็นอันตรายต่อชายฝั่งอันดามันและสามารถทราบได้ว่าแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวนั้นๆสามารถก่อให้เกิดภัยสึนามิต่อพื้นที่ชายฝั่งภายในช่วงเวลาเท่าใด ในลักษณะการท่วมถึงแบบใดที่แบบจำลองสามารถบอกความลึกและความเร็วของการท่วมถึง



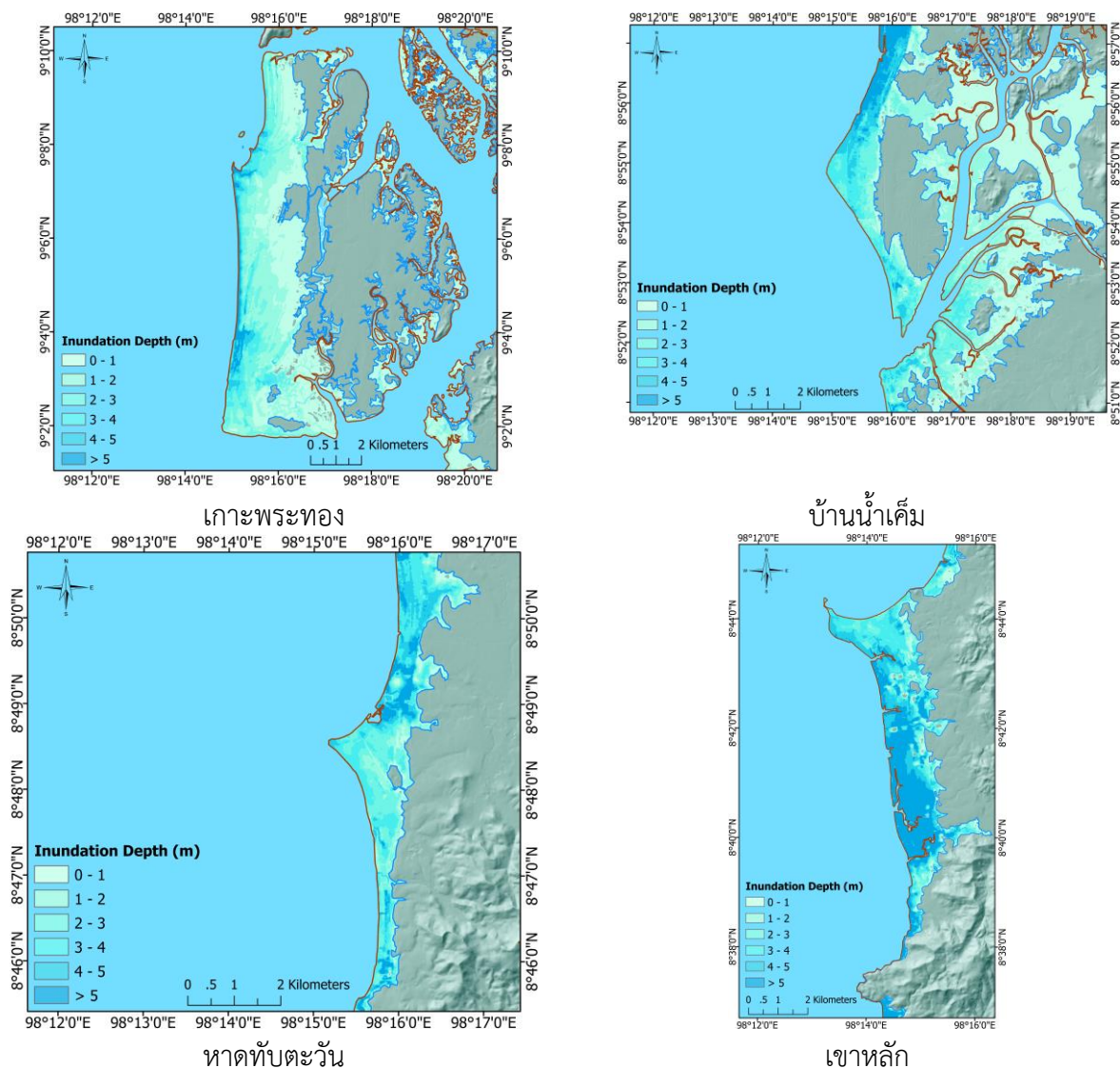
รูปที่ 2.21 การเปรียบเทียบความสูงของคลื่นสึนามิจากการสำรวจ (ซ้าย) กับแบบจำลอง (ขวา) ของเหตุการณ์ในปีค.ศ. 2004

บทที่ 3

ผลจากแบบจำลองคลื่นสึนามิและแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิ

3.1 ผลจากแบบจำลองคลื่นสึนามิ

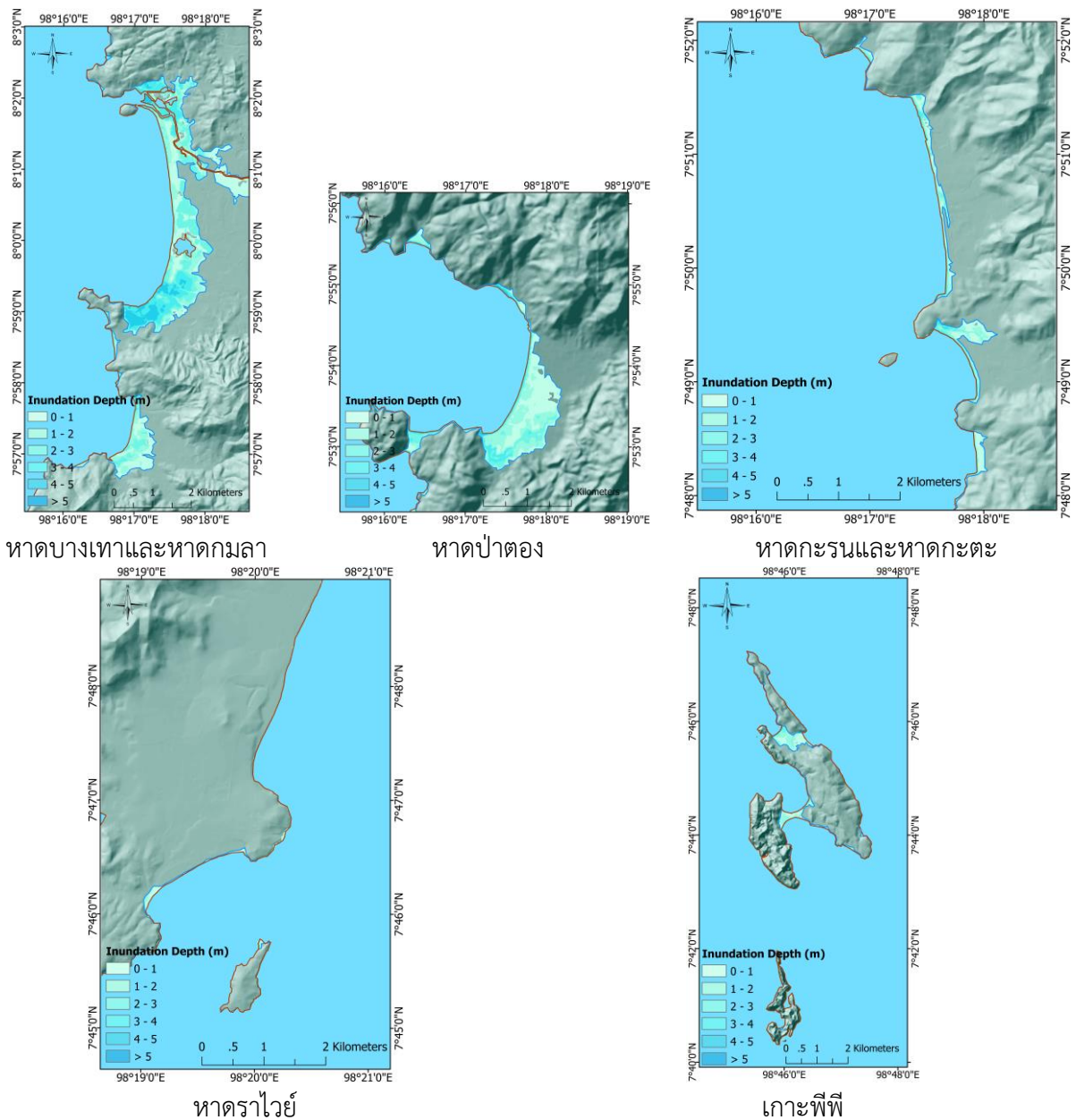
จากบทที่ 2 ที่ได้มีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองคลื่นสึนามิกับข้อมูลการสำรวจหลังเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004 มาแล้วนั้น รูปที่ 3.1 และ 3.2 แสดงผลจากแบบจำลองคลื่นสึนามิในพื้นที่อื่นๆเพิ่มเติมจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวปีค.ศ. 2004 ขนาด Mw 9.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ท่วมถึงของคลื่นสึนามิที่ได้จากการจำลองมีความใกล้เคียงกับแผนที่ของกรมทรัพยากรธรณีจากการสำรวจพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์สึนามิปีค.ศ. 2004 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับพื้นที่บริเวณเขาหลักและหาดทับตะวันของจังหวัดพังงาแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในจังหวัดพังงาจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวของเหตุการณ์สึนามิปีค.ศ. 2004

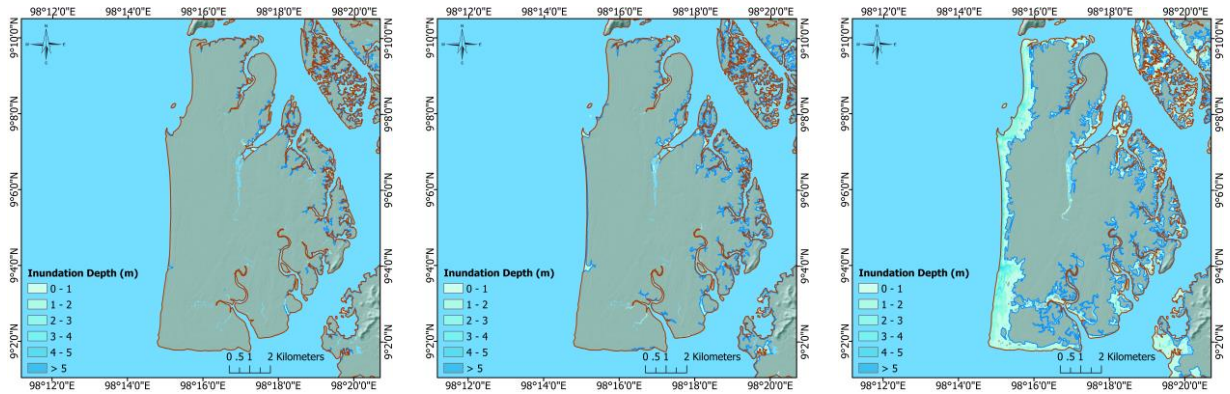
รูปที่ 3.2 แสดงผลจากแบบจำลองคลื่นสึนามิปีค.ศ. 2004 ของจังหวัดภูเก็ตและเกาะพีพี ซึ่งจะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ท่วมถึงของคลื่นสึนามิที่ได้จากการจำลองมีความใกล้เคียงกับแผนที่ของกรมทรัพยากรธรณีเช่นเดียวกัน

โดยเฉพาะบริเวณชายหาดป่าตอง ยกเว้นพื้นที่ที่ท่วมถึงของหาดราไวย์จากแบบจำลองที่ค่อนข้างต่างกับแผนที่ของกรมทรัพยากรธรณีเนื่องจากการเดินทางของคลื่นเข้าสู่ฝั่งมีระยะที่ไกลกว่า รวมถึงข้อมูลภูมิประเทศบริเวณใกล้ชายฝั่งหาดราไวย์อาจมีความละเอียดไม่เพียงพอที่จะแสดงการท่วมถึงได้อย่างชัดเจน ผลจากแบบจำลองคลื่นสึนามิดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของแบบจำลองในการศึกษาความเสี่ยงภัยสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวอื่นๆที่มีขนาดต่างๆกัน



รูปที่ 3.2 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในจังหวัดภูเก็ตและเกาะพีพีจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวของเหตุการณ์สึนามิปี ค.ศ. 2004

จากตารางที่ 2.3 ในบทที่ 2 ได้มีการนำกลไกของรอยเลื่อนในการเกิดแผ่นดินไหวที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์สึนามิในอนาคตมาใส่ในแบบจำลองซึ่งได้มีสมมติการเกิดแผ่นดินไหวเป็นแบบ normal-slip ทั้งนี้ผลการจำลองคลื่นสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในอนาคตขนาด M_w 9.0 บริเวณอันดามัน บริเวณรอยต่อระหว่างอันดามันกับอาระกัน และบริเวณอาระกันแสดงในรูปที่ 3.3-3.6 ซึ่งเป็นการแสดงขอบเขตการท่วมถึงและระดับน้ำท่วมสำหรับพื้นที่เกาะพระทอง เขาหลัก บ้านน้ำเค็ม และหาดป่าตองตามลำดับ

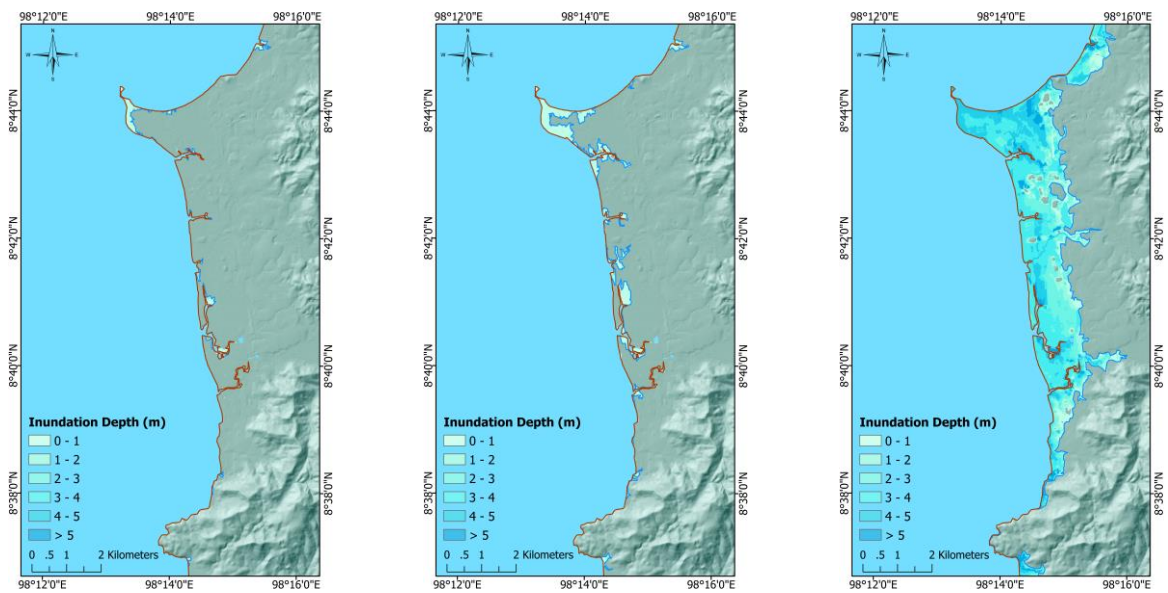


M_w 9.0 Arakan

M_w 9.0 Andaman-Arakan

M_w 9.0 Andaman

รูปที่ 3.3 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่เกาะพระทองจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในอนาคต

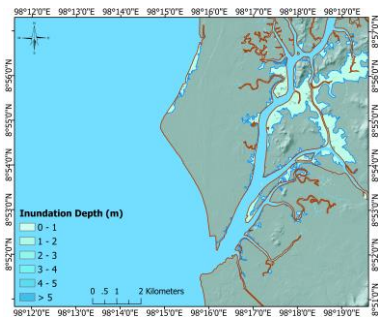


M_w 9.0 Arakan

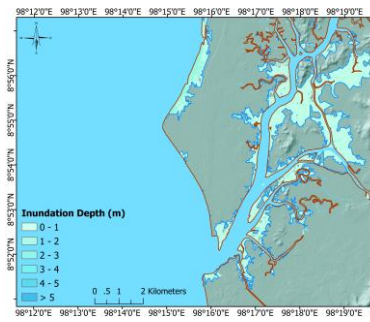
M_w 9.0 Andaman-Arakan

M_w 9.0 Andaman

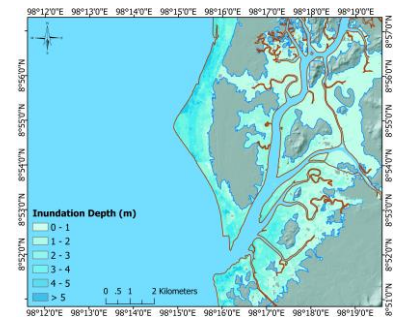
รูปที่ 3.4 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่เขาหลักจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในอนาคต



M_w 9.0 Arakan

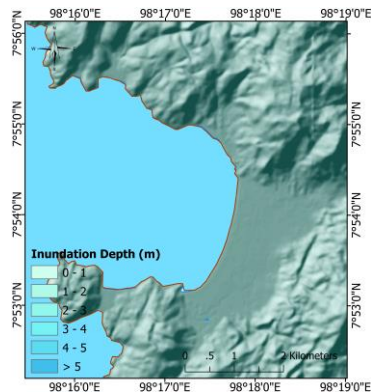


M_w 9.0 Andaman-Arakan

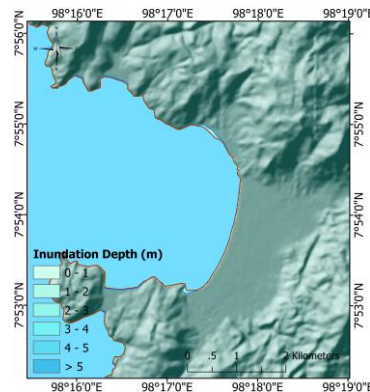


M_w 9.0 Andaman

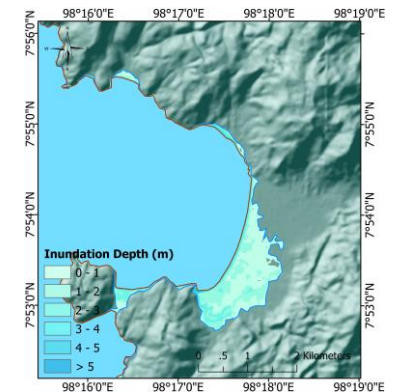
รูปที่ 3.5 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่บ้านน้ำเค็มจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในอนาคต



M_w 9.0 Arakan



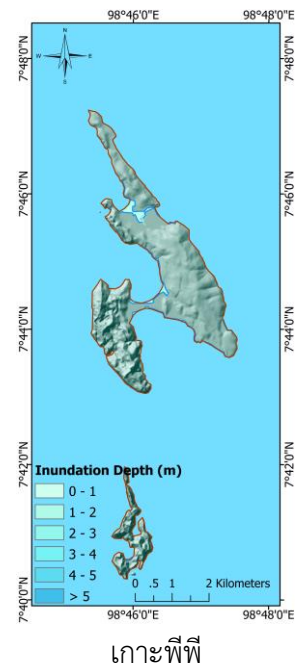
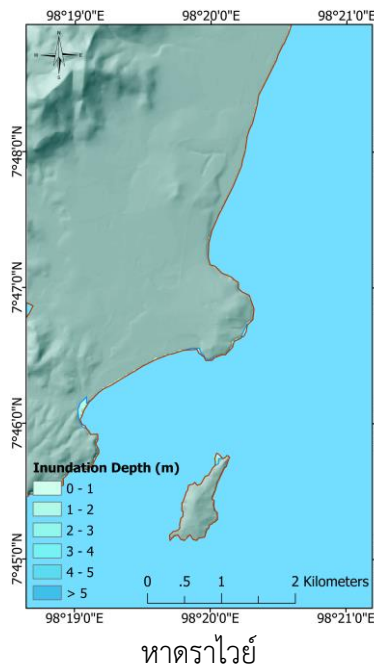
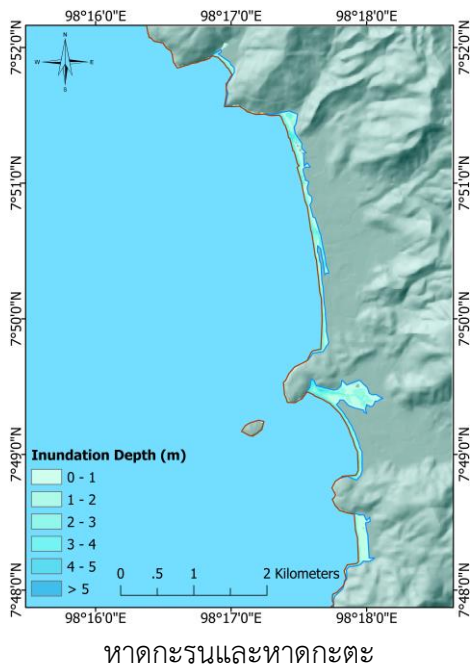
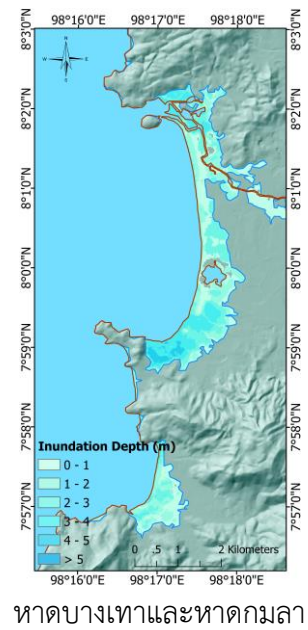
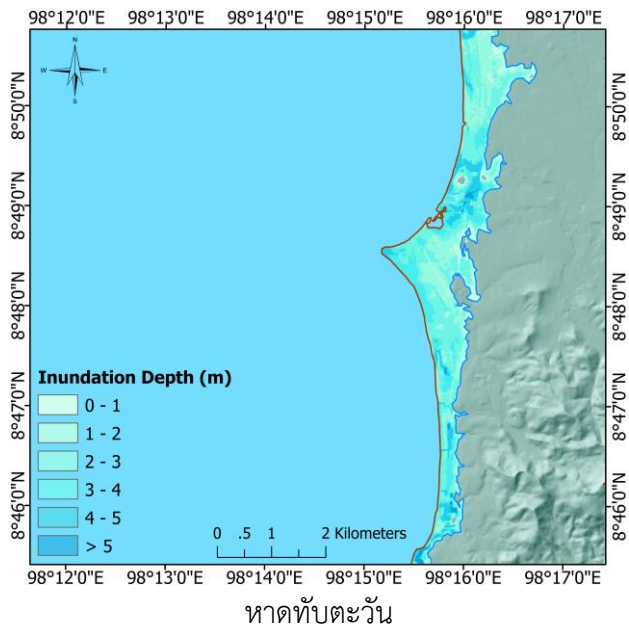
M_w 9.0 Andaman-Arakan



M_w 9.0 Andaman

รูปที่ 3.6 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่หาดป่าตองจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในอนาคต

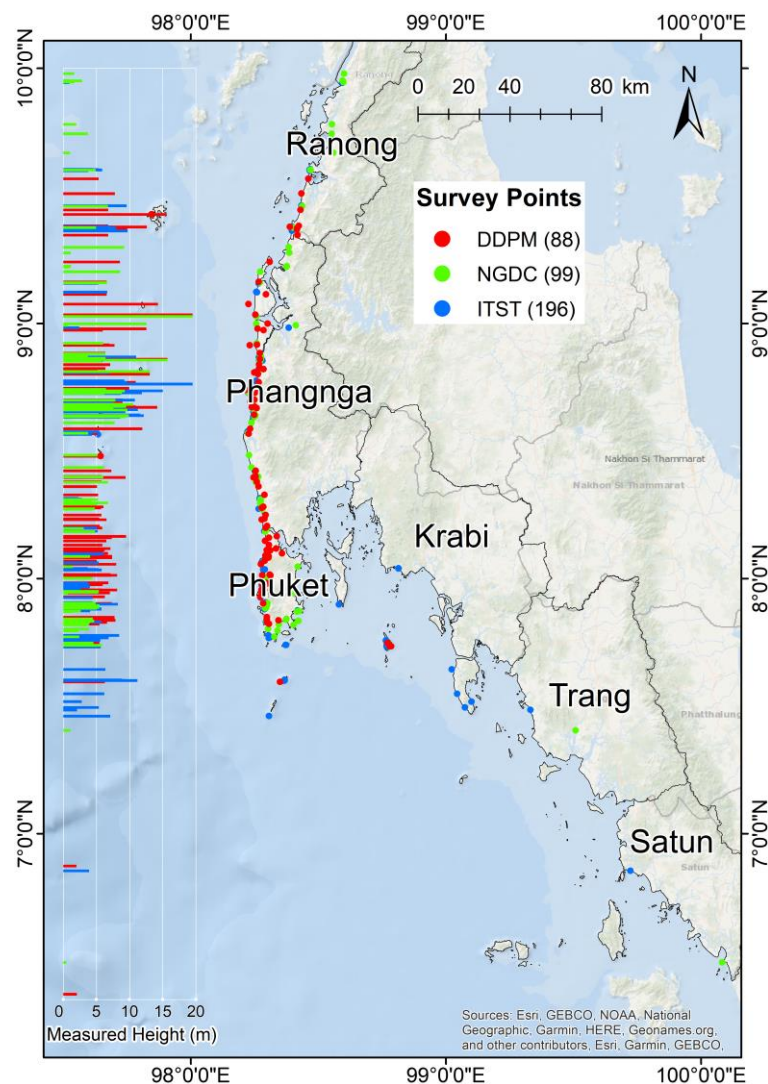
ดังแสดงในรูปที่ 3.3-3.6 จะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอันดามันขนาด M_w 9.0 ได้ส่งผลให้เกิดการท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่ดังกล่าวอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอาระกันและบริเวณรอยต่อระหว่างอันดามันกับอาระกันที่ขนาด M_w 9.0 เท่ากัน อย่างไรก็ตามแผ่นดินไหวอันดามันอาระกันขนาด M_w 9.0 สามารถทำให้เกิดคลื่นสึนามิท่วมถึงเล็กน้อยในบางพื้นที่ได้แก่ เกาะคอเขาในพื้นที่แหลมปะการังและบ้านน้ำเค็มในพื้นที่เขาหลักดังแสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ รวมถึงบริเวณตอนใต้ของหาดบางเทา ส่วนแผ่นดินไหวอาระกันขนาด M_w 9.0 แทบจะไม่ส่งผลกระทบต่อชายฝั่งอันดามันเลยยกเว้นบริเวณปลายแหลมปะการังดังแสดงในรูปที่ 3.4 ดังนั้นผู้วิจัยจึงให้ความสนใจเพิ่มเติมสำหรับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอันดามันขนาด M_w 9.0 ที่ทำให้เกิดการท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่ชายฝั่งอันดามันรวมทั้งหมด 9 แห่ง ได้แก่ เกาะพระทอง เขาหลัก (แหลมปะการัง) บ้านน้ำเค็ม หาดป่าตอง เกาะพีพี หาดทับตะวัน หาดบางเทา (หาดกมลา) หาดกะรน (หาดกะตะ) หาดราไวย์ และเกาะพีพี ซึ่งเพิ่มเติมดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเกิดการท่วมถึงในพื้นที่หาดทับตะวัน หาดบางเทา และหาดกมลาเป็นบริเวณกว้าง เมื่อเทียบกับหาดกะรน หาดกะตะ หาดราไวย์ และเกาะพีพีที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิค่อนข้างน้อย ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการท่วมถึงของเหตุการณ์สึนามิปี ค.ศ. 2004 ในรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.7 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่หาดทับตะวัน หาดลายัน หาดกะรน หาดกะตะ หาดตราไย และเกาะพีพี จากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในอนาคตบริเวณอันดามันขนาด M_w 9.0

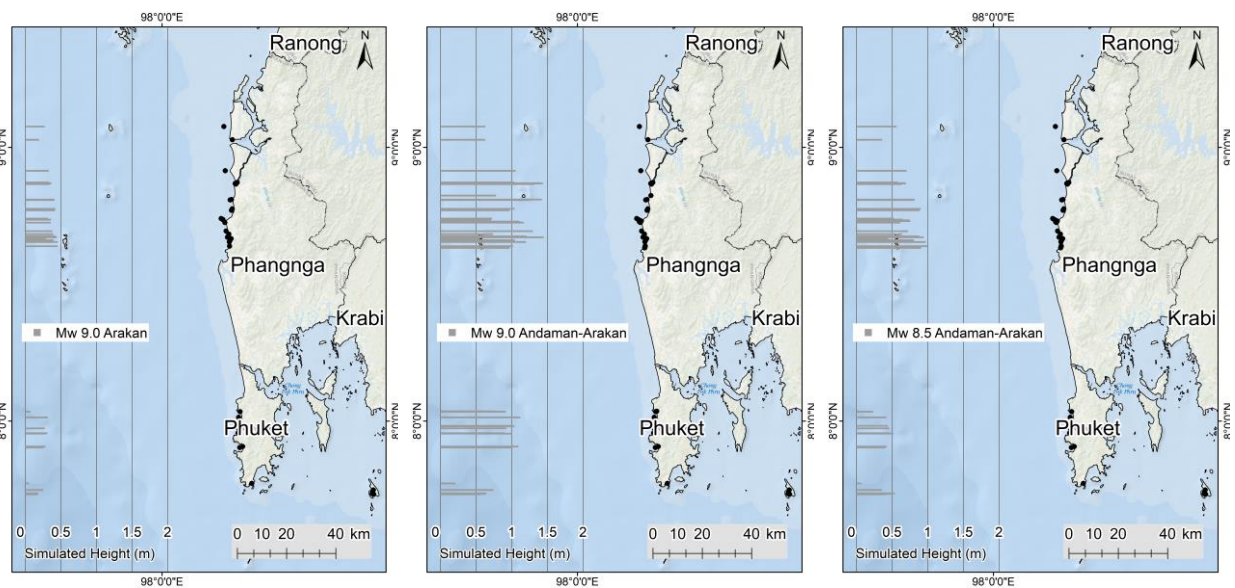
เป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อพิจารณาในภาพรวมของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวทั้ง 3 บริเวณได้แก่ บริเวณอันดามัน บริเวณรอยต่อระหว่างอันดามันกับบอร์เนียว และบริเวณบอร์เนียว ที่ขนาด M_w 9.0 ผลจากแบบจำลองจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าคลื่นสึนามิจากแผ่นดินไหวบอร์เนียวที่แม้จะมีขนาด M_w 9.0 จะส่งผลกระทบต่อชายฝั่งอันดามันน้อยมาก ซึ่งแผ่นดินไหวบอร์เนียวมีโอกาสเกิดสูงที่สุดในอนาคตอันใกล้จากการศึกษาในบทที่ 2 เนื่องจากเคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มาแล้วในปีค.ศ. 1762 ดังนั้นจึงไม่ต้องมีความกังวลมากนักสำหรับพื้นที่ส่วนใหญ่บริเวณชายฝั่งอันดามัน ยกเว้นบริเวณพื้นที่ต่ำมากๆ ที่คลื่นสามารถท่วมถึงได้แม้จะมีความสูงเพียง 0.5 เมตรก็ตาม ต่อมาเมื่อพิจารณาถึงแผ่นดินไหวขนาดใหญ่บริเวณรอยต่อระหว่างอันดามันกับบอร์เนียวก็สามารถทำให้เกิดคลื่นสึนามิที่สร้างผลกระทบให้เกิดการท่วมถึงบริเวณชายฝั่งพื้นที่ต่ำในบางบริเวณของบ้านน้ำเค็ม เขาหลัก และหาดบางเทา

โดยความสูงคลื่นประมาณ 1.0-1.5 เมตร ทั้งนี้จากการที่แนวมุดตัวซุนดาบริเวณอันดามันมีการเคลื่อนตัวไม่ต่างจากบริเวณอาระกัน ทำให้ความเป็นไปได้ในการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่บริเวณอันดามันมีอยู่เช่นเดียวกัน ซึ่งอาจจะเป็นการปลดปล่อยพลังงานกักจากการแตกของรอยเลื่อนในเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004 ผลจากการจำลองคลื่นสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอันดามันขนาด M_w 9.0 จะเห็นได้ว่าสามารถสร้างผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญเทียบเท่ากับเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004 โดยความสูงคลื่นสึนามิบริเวณชายฝั่งจากแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 9.0 จะไม่เกิน 8 เมตร ซึ่งจะต่ำกว่าคลื่นสึนามิในปีค.ศ. 2004 เล็กน้อยในหลายๆพื้นที่ อย่างไรก็ตามก็ระยะเวลาที่คลื่นสึนามิเดินทางจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่ชายฝั่งจะสั้นกว่าเล็กน้อย ดังนั้นการเกิดคลื่นสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอันดามันนี้จึงเป็นสิ่งที่ควรเฝ้าระวังอย่างยิ่งสำหรับชายฝั่งอันดามันประเทศไทย ทั้งแผ่นดินไหวอันดามันที่มีขนาด M_w 8.5 และ M_w 9.0 รวมทั้งที่มีตำแหน่งจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวต่างกัน จากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวทั้งสามบริเวณของแนวมุดตัวซุนดาที่กล่าวข้างต้น รูปที่ 3.9 และ 3.10 แสดงความสูงคลื่นสึนามิที่ชายฝั่งอันดามันจากแบบจำลอง TUNAMI ณ ตำแหน่งเดียวกับจุดสำรวจต่างๆหลังจากเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004 ดังที่แสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ความสูงคลื่นสึนามิที่ชายฝั่งอันดามันจากการสำรวจของเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004

รูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่าแผ่นดินไหวบริเวณอาระกันขนาด M_w 9.0 สามารถส่งผลกระทบให้เกิดคลื่นสึนามิบริเวณชายฝั่งจังหวัดพังงาที่ความสูงคลื่นสูงสุดไม่เกิน 0.5 เมตร สำหรับบริเวณชายฝั่งจังหวัดภูเก็ตซึ่งมีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอาระกันที่มากขึ้น ได้เกิดคลื่นสึนามิสูงสุดไม่เกิน 0.3 เมตร เช่นเดียวกับบริเวณชายฝั่งเกาะพีพี ซึ่งจะเห็นได้ว่าคลื่นสึนามิจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอาระกันนี้สามารถสร้างผลกระทบที่ค่อนข้างน้อยต่อชายฝั่งอันดามันของประเทศไทย ส่วนบริเวณแนวมุดตัวซุนดาถัดลงมาจากอาระกันคือบริเวณรอยต่อระหว่างอันดามันกับอาระกัน แผ่นดินไหวบริเวณนี้ขนาด M_w 9.0 และ M_w 8.5 สามารถส่งผลกระทบให้เกิดคลื่นสึนามิกับชายฝั่งอันดามันที่มีนัยสำคัญมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.9 แผ่นดินไหวบริเวณรอยต่อระหว่างอันดามันกับอาระกันขนาด M_w 9.0 สามารถส่งผลกระทบให้เกิดคลื่นสึนามิบริเวณชายฝั่งจังหวัดพังงาที่ความสูงคลื่นสูงสุดไม่เกิน 1.5 เมตร สำหรับบริเวณชายฝั่งจังหวัดภูเก็ตได้เกิดคลื่นสึนามิสูงสุดประมาณ 1.0 เมตรและไม่เกิน 1.0 เมตรบริเวณชายฝั่งเกาะพีพี สำหรับจุดกำเนิดแผ่นดินไหวเดียวกันนี้ที่มีขนาด M_w 8.5 สามารถส่งผลกระทบให้เกิดคลื่นสึนามิบริเวณชายฝั่งจังหวัดพังงาที่ความสูงคลื่นสูงสุดประมาณ 1.0 เมตร สำหรับบริเวณชายฝั่งจังหวัดภูเก็ตได้เกิดคลื่นสึนามิสูงสุดประมาณ 0.5 เมตรเช่นเดียวกับบริเวณชายฝั่งเกาะพีพี ส่วนบริเวณแนวมุดตัวซุนดาถัดลงมาจากรอยต่อระหว่างอันดามันกับอาระกันคือบริเวณอันดามันซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่อยู่ใกล้กับชายฝั่งอันดามันของประเทศไทยมากที่สุด รูปที่ 3.10 แสดงความสูงคลื่นสึนามิจากแบบจำลองทั้ง 5 กรณีประกอบด้วยแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 9.0 และแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5 ที่มีจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวต่างกัน 4 ตำแหน่ง

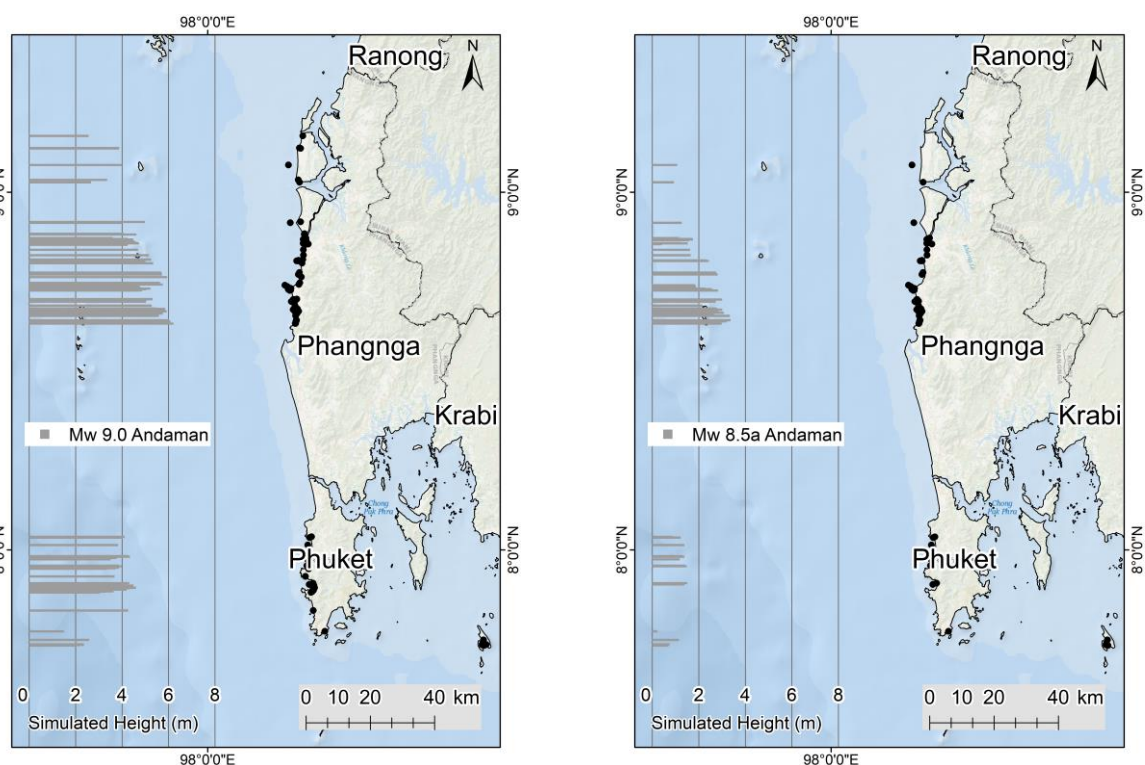


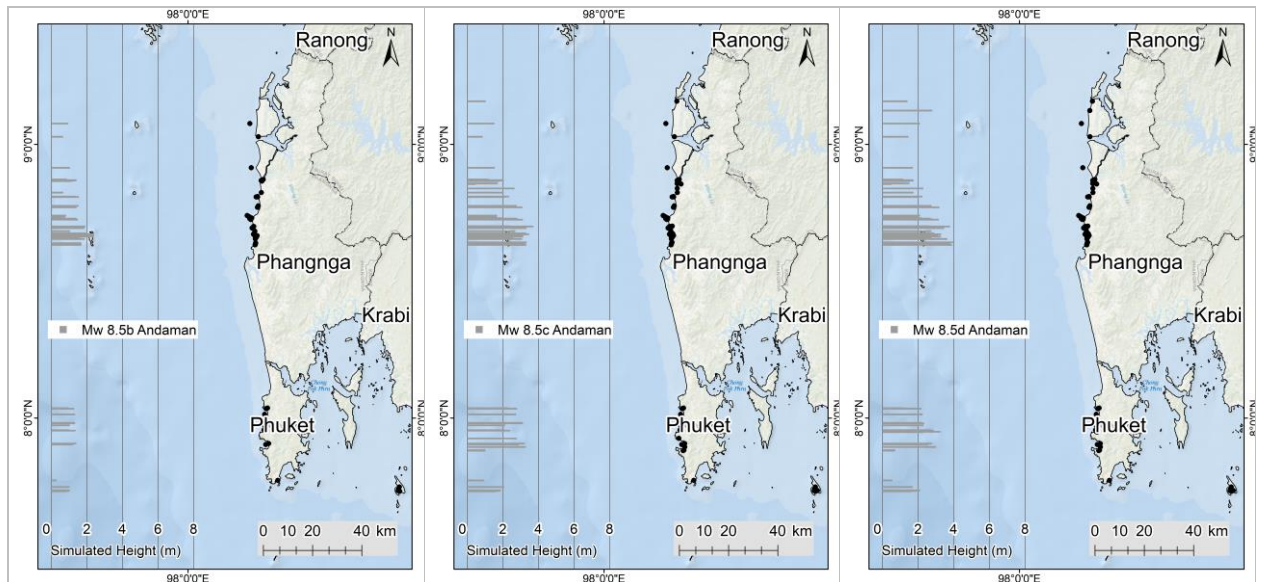
รูปที่ 3.9 ความสูงคลื่นสึนามิที่ชายฝั่งอันดามันจากแบบจำลอง

รูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นว่าแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 9.0 สามารถส่งผลกระทบให้เกิดการท่วมถึงของคลื่นสึนามิอย่างชัดเจนในหลายพื้นที่ชายฝั่งของจังหวัดพังงาและภูเก็ต โดยคลื่นสึนามิบริเวณชายฝั่งจังหวัดพังงามีความสูงคลื่นสูงสุดประมาณ 6 เมตร สำหรับบริเวณชายฝั่งจังหวัดภูเก็ตได้เกิดคลื่นสึนามิสูงสุดไม่เกิน 5 เมตรและไม่เกิน 3 เมตรบริเวณชายฝั่งเกาะพีพี ในขณะที่ผลจากแบบจำลองของเหตุการณ์สึนามิปีค.ศ. 2004 ให้ความสูงคลื่นสูงสุดประมาณ 8 เมตรบริเวณชายฝั่งจังหวัดพังงาและความสูงคลื่นสูงสุดประมาณ 5 เมตรบริเวณชายฝั่งจังหวัดภูเก็ตและบริเวณชายฝั่งเกาะพีพีที่ตำแหน่งตรงจวัดเดียวกัน ต่อมาเมื่อพิจารณาที่รูปที่ 3.10 ในอีก 4 กรณีที่เหลือจะเห็นได้ว่าแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5 ที่มีจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวต่างกัน 4 ตำแหน่ง สามารถทำ

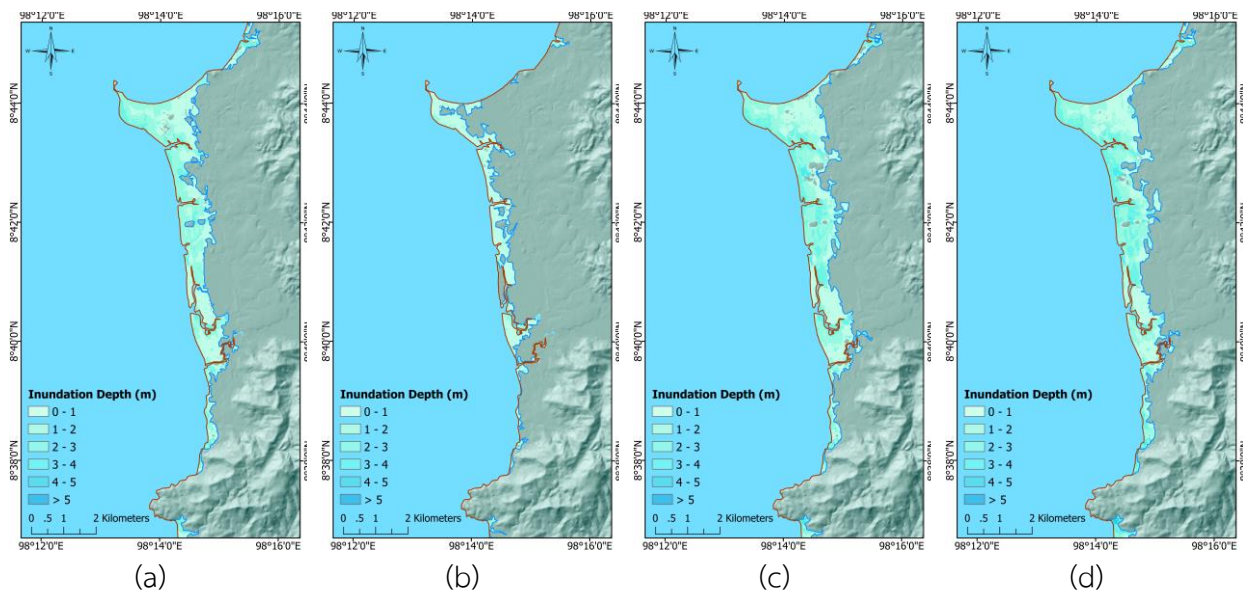
ให้เกิดคลื่นสึนามิที่ส่งผลกระทบต่อชายฝั่งอันดามันไม่เหมือนกัน โดยแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5 ที่จุดศูนย์กลาง a ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่ตำแหน่งเดียวกับแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 9.0 จะเห็นได้ว่าสามารถส่งผลกระทบให้เกิดคลื่นสึนามิบริเวณชายฝั่งจังหวัดพังงาที่มีความสูงคลื่นสูงสุดไม่เกิน 4 เมตรและไม่เกิน 2 เมตรสำหรับบริเวณชายฝั่งจังหวัดภูเก็ตและเกาะพีพี โดยความสูงคลื่นสึนามิจะต่ำกว่าแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 9.0

ต่อมาเมื่อพิจารณาแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5 ที่จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว b ซึ่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว a ไปทางทิศเหนือ 300 กิโลเมตร ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางที่ไกลจากชายฝั่งอันดามันมากที่สุด ใน 4 ตำแหน่ง พบว่าสามารถทำให้เกิดคลื่นสึนามิบริเวณชายฝั่งจังหวัดพังงาที่มีความสูงคลื่นสูงสุดมากกว่า 2 เมตรและมากกว่า 1 เมตรสำหรับบริเวณชายฝั่งจังหวัดภูเก็ตและเกาะพีพี จากนั้นเมื่อพิจารณาแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5 ที่จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว c ซึ่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว a ไปทางทิศตะวันออก 100 กิโลเมตร ทำให้จุดศูนย์กลางมีความใกล้กับชายฝั่งอันดามันมากที่สุด ใน 4 ตำแหน่ง พบว่าสามารถส่งผลกระทบให้เกิดคลื่นสึนามิบริเวณชายฝั่งจังหวัดพังงาที่มีความสูงคลื่นสูงสุดไม่เกิน 4 เมตร สำหรับบริเวณชายฝั่งจังหวัดภูเก็ตได้เกิดคลื่นสึนามิสูงสุดประมาณ 3 เมตรและ 2 เมตรสำหรับบริเวณชายฝั่งเกาะพีพี ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณชายฝั่งจังหวัดภูเก็ตและเกาะพีพีเกิดคลื่นสึนามิที่ต่างกับกรณี a อย่างชัดเจนในขณะที่บริเวณชายฝั่งจังหวัดพังงาจะต่างกันเล็กน้อย เมื่อพิจารณาแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5 ที่จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว d ซึ่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลาง a ไปทางทิศเหนือ 300 กิโลเมตรและไปทางทิศตะวันออก 100 กิโลเมตร พบว่าความสูงคลื่นสึนามิจากแบบจำลองมีความแตกต่างเล็กน้อยจากกรณี c

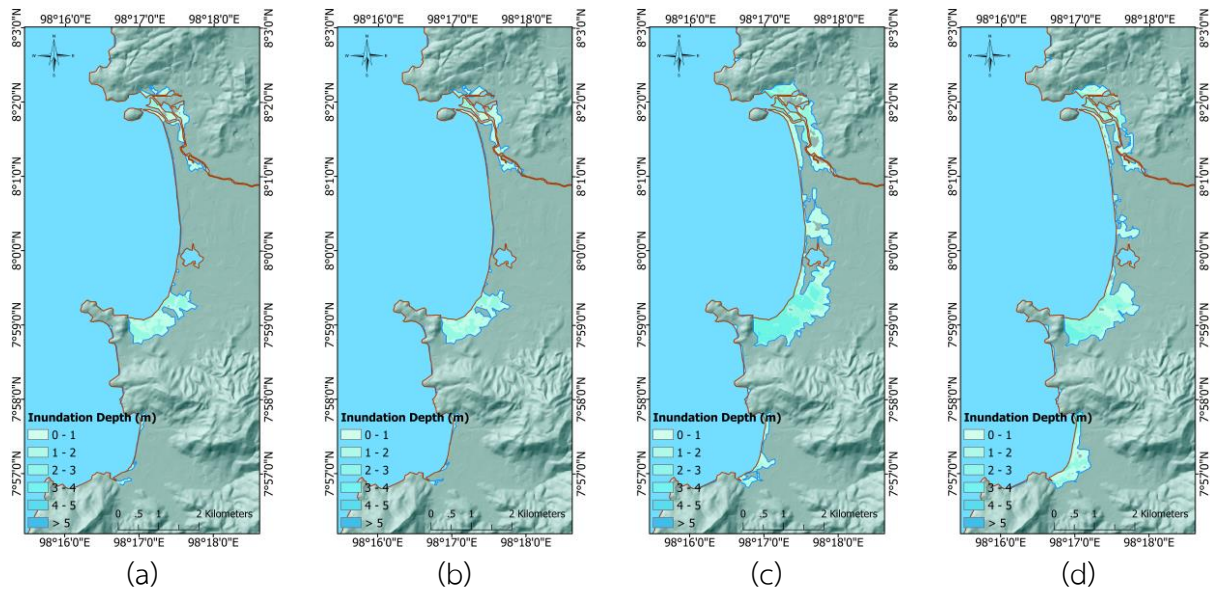




รูปที่ 3.10 ความสูงคลื่นสึนามิที่ชายฝั่งอันดามันจากแบบจำลอง

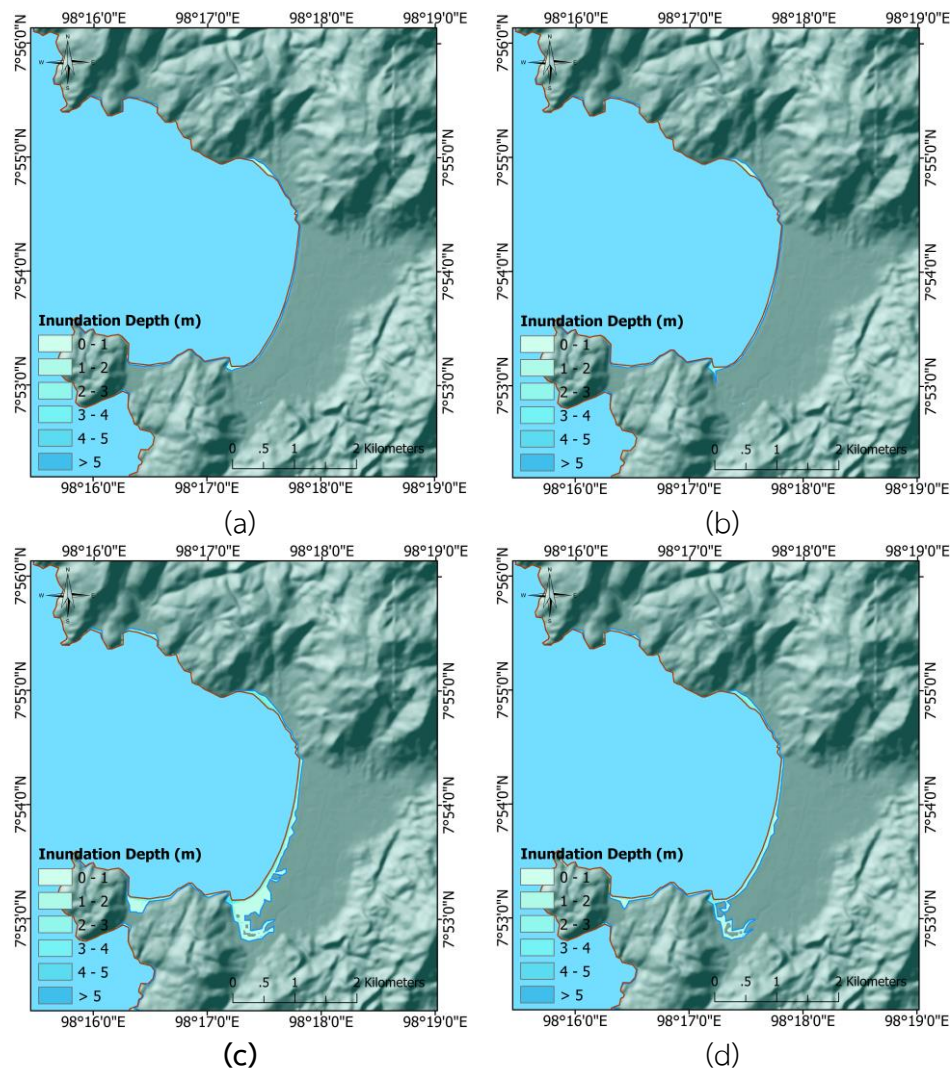


รูปที่ 3.11 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่ชายฝั่งจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5



รูปที่ 3.12 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่หาดบางเทาและหาดกมลาจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวอันดามัน ขนาด M_w 8.5

รูปที่ 3.11 แสดงการท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่เขาหลักจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอันดามัน ขนาด M_w 8.5 ที่มีตำแหน่งจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าทั้ง 4 ตำแหน่งสามารถทำให้เกิดคลื่นสึนามิท่วมถึงพื้นที่เขาหลักในลักษณะที่ไม่เหมือนกัน โดยแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5 จากจุดศูนย์กลาง c และ d ส่งผลทำให้เกิดลักษณะการท่วมถึงของคลื่นสึนามิที่ใกล้เคียงกันซึ่งจะเห็นได้ว่าสามารถเกิดผลกระทบได้เป็นวงกว้างใกล้เคียงกับแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 9.0 รวมถึงแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5 จากจุดศูนย์กลาง a ที่สามารถผลกระทบต่อเขาหลักและแหลมปะการังได้อย่างมากเช่นเดียวกัน รูปที่ 3.12 แสดงการท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่หาดบางเทาและหาดกมลา จะเห็นได้ว่าแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5 จากจุดศูนย์กลาง a และ b ส่งผลทำให้เกิดลักษณะการท่วมถึงของคลื่นสึนามิที่ใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับจุดศูนย์กลาง c และ d ที่ผลกระทบใกล้เคียงกัน แต่ผลกระทบมากกว่าจุดศูนย์กลาง a และ b รูปที่ 3.13 แสดงการท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่หาดป่าตองจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอันดามันขนาด M_w 8.5 ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5 จากจุดศูนย์กลาง a และ b แทบจะไม่ส่งผลกระทบให้เกิดการท่วมถึงบริเวณพื้นที่หาดป่าตองเลย ส่วนแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5 จากจุดศูนย์กลาง d ส่งผลให้เกิดการท่วมถึงเพียงเล็กน้อย ส่วนกรณี c จะเกิดการท่วมถึงมากที่สุด ใน 4 ตำแหน่ง แต่ก็ยังเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 9.0



รูปที่ 3.13 การท่วมถึงของคลื่นสึนามิในพื้นที่หาดป่าตองจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 8.5

การประเมินความเสี่ยงภัยสึนามิในประเทศไทยจากแบบจำลองแสดงให้เห็นถึงความเสี่ยงภัยสึนามิที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตจากแหล่งกำเนิดของแผ่นดินไหวที่ต่างจากสึนามิเมื่อปีค.ศ. 2004 แสดงเป็นแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจอันตรายจากภัยสึนามิในอนาคต ที่มีการพิจารณาโอกาสและโอกาสในการเกิดสึนามิตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ในตำแหน่งต่างๆที่มีการสำรวจหลังเหตุการณ์สึนามิเมื่อปีค.ศ. 2004 ได้มีการประเมินระยะเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่ฝั่งในพื้นที่สนใจทั้ง 9 แห่งดังแสดงตารางที่ 3.1 สิ่งเหล่านี้จะเป็นประโยชน์เมื่อเกิดการเผยแพร่ให้ประชาชนมีความรู้ความเข้าใจ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานรัฐและภาคส่วนต่างๆในการวางนโยบายต่างๆอย่างเหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 3.1 ค่าความสูงคลื่นสึนามิ (H) และระยะเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่ฝั่ง (T) จากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวต่างๆ

AOI	Lat (°N)	Lon (°E)	M _w 9.0 Arakan		M _w 8.5 AN-AR		M _w 9.0 AN-AR		M _w 8.5 Andaman		M _w 9.0 Andaman	
			H (m)	T (min)	H (m)	T (min)	H (m)	T (min)	H (m)	T (min)	H (m)	T (min)
Ko Phra Thong	9.1578	98.2661	-	-	-	-	-	-	1.42	156	2.56	159
	9.1238	98.2567	-	-	-	-	-	-	2.81	148	3.88	149
	9.1227	98.2597	-	-	-	-	-	-	-	-	3.84	165
	9.0280	98.2570	0.19	257	0.36	208	0.63	211	1.47	147	2.67	150
	9.0764	98.2258	0.27	245	0.57	194	0.63	199	2.11	137	3.99	144
	9.0347	98.2532	-	-	-	-	-	-	-	-	3.36	161
Ban Nam Khem	8.8695	98.2692	0.37	251	0.69	203	1.41	179	2.04	151	4.24	151
	8.8681	98.2671	0.37	252	0.69	203	1.44	179	2.06	150	4.49	151
	8.8672	98.2699	0.32	254	0.61	207	1.05	183	1.33	152	4.10	152
	8.8665	98.2696	0.33	254	0.62	206	1.19	182	1.58	152	4.22	151
	8.8658	98.2697	0.34	254	0.64	205	1.32	181	1.78	151	4.37	151
	8.8645	98.2756	-	-	-	-	-	-	-	-	3.49	157
	8.8644	98.2756	-	-	-	-	-	-	-	-	3.49	157
	8.8643	98.2741	-	-	-	-	-	-	-	-	4.10	158
	8.8642	98.2743	-	-	-	-	-	-	-	-	3.88	158
	8.8641	98.2751	-	-	-	-	-	-	-	-	3.43	160
	8.8640	98.2745	-	-	-	-	-	-	-	-	3.72	159
	8.8636	98.2750	-	-	-	-	-	-	-	-	3.14	159
	8.8636	98.2744	-	-	-	-	-	-	-	-	3.97	158
	8.8630	98.2734	-	-	-	-	-	-	-	-	4.39	156
	8.8625	98.2728	-	-	-	-	-	-	-	-	4.44	156
	8.8617	98.2716	-	-	-	-	-	-	-	-	4.54	157
	8.8615	98.2713	-	-	-	-	-	-	-	-	4.54	158
	8.8613	98.2711	-	-	-	-	-	-	-	-	4.56	158
	8.8579	98.2682	-	-	-	-	-	-	1.64	160	4.70	156
	8.8571	98.2672	-	-	-	-	-	-	1.72	158	4.70	156
	8.8550	98.2813	-	-	-	-	-	-	0.52	186	2.63	169
	8.8820	98.2700	-	-	-	-	-	-	-	-	4.62	161
	8.8720	98.2750	0.33	258	0.58	208	1.04	185	1.21	154	3.60	154
	8.8640	98.2740	-	-	-	-	-	-	-	-	4.39	157
	8.8600	98.2750	-	-	-	-	-	-	-	-	4.48	160
	8.8570	98.2680	-	-	-	-	-	-	1.69	159	4.73	156
	8.8530	98.2720	-	-	-	-	-	-	-	-	4.24	164
	8.9171	98.2600	-	-	-	-	-	-	-	-	4.99	160
	8.9147	98.2311	0.33	250	0.70	202	1.06	178	1.71	140	3.99	149
	8.8840	98.2708	-	-	-	-	-	-	-	-	4.07	159
	8.8605	98.2718	-	-	-	-	-	-	-	-	4.51	158

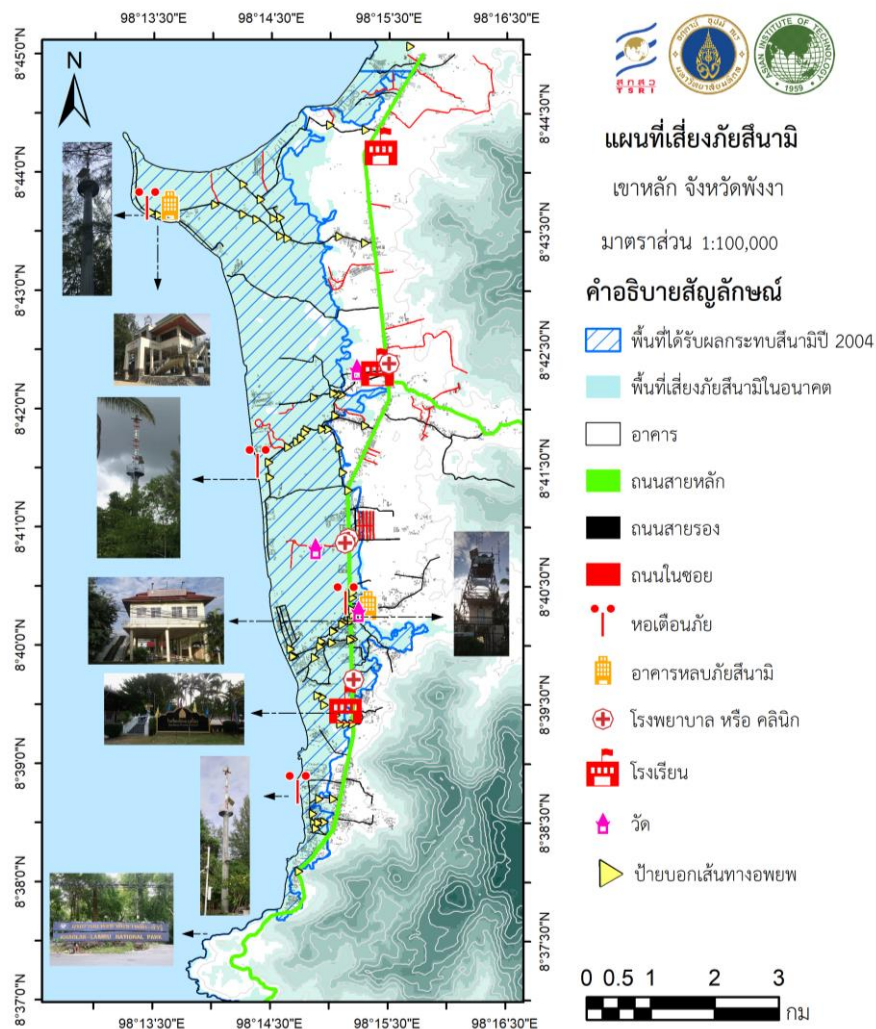
Tab Tawan Beach	8.8096	98.2535	0.41	264	0.82	210	1.42	212	2.35	151	4.98	151
	8.8079	98.2544	-	-	-	-	-	-	2.43	171	5.01	151
	8.7755	98.2565	0.42	251	0.90	200	1.04	207	2.79	148	5.70	148
	8.7700	98.2536	0.42	251	0.89	200	0.97	206	2.79	148	5.72	147
	8.7629	98.2619	-	-	-	-	-	-	3.21	144	5.94	151
	8.8120	98.2660	-	-	-	-	-	-	3.21	144	5.25	158
	8.8392	98.2675	-	-	-	-	-	-	2.66	152	4.69	151
	8.8240	98.2678	-	-	-	-	0.78	222	2.04	154	5.15	153
	8.8078	98.2489	0.41	251	0.80	204	1.24	182	2.11	168	4.89	147
	8.8016	98.2638	-	-	-	-	-	-	-	-	5.34	163
Khao Lak	8.7364	98.2224	0.36	248	0.65	205	0.66	185	1.99	139	4.73	139
	8.7307	98.2326	-	-	0.76	216	0.66	219	2.28	168	5.23	144
	8.7289	98.2317	-	-	-	-	-	-	2.54	143	5.03	143
	8.7281	98.2255	-	-	-	-	1.06	206	2.74	140	4.71	140
	8.7272	98.2269	-	-	0.45	210	1.12	204	2.85	140	4.77	140
	8.7252	98.2297	0.36	245	0.62	195	1.17	199	3.16	140	4.75	140
	8.7003	98.2394	-	-	-	-	-	-	3.66	142	4.95	142
	8.6952	98.2440	-	-	-	-	-	-	3.19	145	4.96	144
	8.6714	98.2429	-	-	-	-	-	-	3.16	147	5.27	146
	8.6673	98.2544	-	-	-	-	-	-	-	-	5.92	153
	8.6670	98.2539	-	-	-	-	-	-	3.13	145	5.89	152
	8.6667	98.2439	-	-	-	-	-	-	3.15	146	5.24	145
	8.6664	98.2527	0.29	267	0.45	214	0.53	190	2.87	147	5.81	150
	8.6639	98.2474	-	-	-	-	-	-	3.29	145	5.57	147
	8.6630	98.2458	-	-	-	-	-	-	3.64	143	5.41	145
	8.6545	98.2460	0.46	249	0.97	195	1.20	171	3.92	145	5.59	143
	8.6421	98.2478	-	-	-	-	-	-	3.80	143	6.02	143
	8.6391	98.2473	-	-	1.00	213	1.02	257	3.81	142	6.08	142
	8.6390	98.2468	0.46	248	0.96	197	0.96	251	3.83	141	6.07	142
	8.6328	98.2448	-	-	0.91	205	0.90	254	3.88	142	6.12	141
	8.6328	98.2451	-	-	-	-	-	-	3.92	142	6.13	142
	8.6327	98.2453	-	-	-	-	-	-	3.92	142	6.17	142
	8.6327	98.2455	-	-	-	-	-	-	-	-	6.21	142
	8.7420	98.2550	-	-	-	-	-	-	-	-	5.75	159
	8.7360	98.2220	-	-	0.62	201	0.71	178	2.06	139	4.68	139
	8.7340	98.2250	-	-	0.74	209	0.66	188	1.86	140	4.79	140
	8.7290	98.2260	-	-	-	-	-	-	2.78	140	4.80	141
	8.7260	98.2320	-	-	-	-	-	-	2.85	144	4.86	143
	8.7000	98.2400	-	-	-	-	-	-	3.80	142	5.09	142
	8.6830	98.2440	0.39	267	0.64	209	0.74	184	2.75	146	5.27	145
	8.6750	98.2420	0.43	253	0.88	199	1.21	176	3.32	145	5.46	144
	8.6710	98.2430	-	-	-	-	-	-	3.14	147	5.25	146

	8.6610	98.2490	0.40	253	0.81	200	1.04	176	2.76	145	5.68	145
	8.6610	98.2500	-	-	-	-	-	-	2.40	146	5.75	146
	8.7467	98.2575	-	-	-	-	-	-	-	-	5.63	165
	8.7400	98.2158	0.32	246	0.52	197	0.72	177	2.13	137	4.74	137
	8.7012	98.2493	-	-	-	-	-	-	2.62	152	5.32	148
	8.6942	98.2339	0.38	246	0.73	195	1.30	168	3.47	140	5.03	140
	8.6738	98.2512	-	-	-	-	-	-	3.13	157	5.85	151
	8.6717	98.2392	0.44	249	0.94	194	1.45	173	3.48	143	5.61	142
	8.6421	98.2485	-	-	-	-	-	-	3.97	144	6.01	143
Bang Tao Beach / Kamala Beach	8.0363	98.2907	-	-	-	-	-	-	-	-	4.11	131
	8.0362	98.2904	-	-	-	-	-	-	2.33	131	4.08	130
	8.0360	98.2896	-	-	-	-	-	-	2.28	129	3.98	129
	8.0358	98.2892	-	-	-	-	0.73	218	2.22	128	3.92	129
	8.0350	98.2872	-	-	-	-	-	-	2.14	127	3.63	127
	8.0350	98.2872	-	-	-	-	-	-	2.19	127	3.61	127
	8.0347	98.2862	-	-	-	-	-	-	2.70	125	3.78	126
	8.0342	98.2850	0.07	269	0.23	211	0.92	199	2.80	124	3.99	126
	8.0342	98.2849	0.07	269	0.23	211	0.92	199	2.80	124	4.02	126
	7.9824	98.2855	-	-	0.44	207	1.01	198	3.04	123	4.23	124
	7.9814	98.2859	-	-	-	-	1.03	205	3.09	124	4.30	125
	7.9808	98.2861	-	-	-	-	1.04	205	3.11	125	4.32	126
	7.9806	98.2863	-	-	-	-	-	-	3.13	126	4.34	127
	7.9773	98.2788	-	-	-	-	-	-	-	-	3.76	121
	7.9733	98.2788	0.28	235	0.46	182	0.93	185	2.32	120	3.51	119
	7.9500	98.2800	-	-	-	-	-	-	3.26	142	3.87	123
	7.9470	98.2820	-	-	-	-	-	-	-	-	3.30	127
	7.9470	98.2830	-	-	-	-	-	-	-	-	3.34	128
	8.0133	98.2800	0.32	235	0.42	185	1.12	187	2.75	117	3.83	119
	7.9556	98.2772	0.31	232	0.47	179	0.90	182	2.74	119	3.86	117
	7.9539	98.2816	0.28	235	0.52	179	1.00	183	2.89	120	3.99	119
	7.9487	98.2829	-	-	-	-	-	-	2.31	131	3.71	125
Patong Beach	7.9258	98.2734	-	-	-	-	-	-	2.79	117	3.68	125
	7.9255	98.2734	-	-	-	-	-	-	2.79	117	3.66	118
	7.9068	98.2946	0.28	232	0.43	182	1.10	149	3.23	112	4.31	116
	7.9003	98.2970	-	-	-	-	-	-	-	-	4.49	121
	7.8942	98.2950	-	-	-	-	-	-	3.29	121	4.60	120
	7.8941	98.2952	-	-	-	-	-	-	-	-	4.47	121
	7.8940	98.2954	-	-	-	-	-	-	-	-	4.46	121
	7.8939	98.2958	-	-	-	-	-	-	-	-	4.52	122
	7.8938	98.2960	-	-	-	-	-	-	-	-	4.52	122
	7.8938	98.2961	-	-	-	-	-	-	-	-	4.52	122
	7.8933	98.2976	-	-	-	-	-	-	-	-	4.30	124

	7.8932	98.2980	-	-	-	-	-	-	-	-	4.22	124
	7.8927	98.2967	-	-	-	-	-	-	-	-	4.31	123
	7.8923	98.2958	-	-	-	-	-	-	-	-	4.25	123
	7.8886	98.2950	-	-	-	-	-	-	-	-	4.19	124
	7.8832	98.2916	-	-	-	-	-	-	-	-	3.32	124
	7.8826	98.2920	-	-	-	-	-	-	1.03	137	3.10	124
	7.8806	98.2891	-	-	-	-	-	-	1.03	127	3.04	124
	7.8940	98.2990	-	-	-	-	-	-	-	-	3.95	125
	7.8920	98.2980	-	-	-	-	-	-	-	-	4.06	125
	7.8870	98.2960	-	-	-	-	-	-	-	-	2.44	125
	7.8840	98.2920	-	-	-	-	-	-	-	-	3.63	124
	7.9031	98.2839	0.26	234	0.41	182	1.01	150	2.90	112	4.08	115
Karon Beach / Kata Beach	7.8303	98.2951	-	-	-	-	-	-	-	-	4.26	122
	7.8303	98.2952	-	-	-	-	-	-	-	-	4.26	122
Ra Wai Beach	7.7720	98.3280	0.05	300	0.07	249	0.21	216	0.94	128	1.49	129
Phi Phi Islands	7.7356	98.7679	0.19	285	0.54	228	0.65	197	2.12	166	2.36	159
	7.7340	98.7678	0.18	285	0.51	228	0.63	197	2.08	166	2.34	160
	7.7338	98.7703	0.18	285	0.48	229	0.61	197	1.92	166	2.18	160
	7.7325	98.7723	0.17	285	0.42	230	0.57	198	1.68	165	1.99	160
	7.7323	98.7732	0.16	286	0.40	230	0.55	198	1.59	165	1.90	160
	7.7480	98.7720	0.26	286	0.36	226	0.75	201	2.08	159	2.58	164
	7.7478	98.7714	0.25	286	0.35	226	0.74	201	2.02	158	2.55	164
	7.7350	98.7797	-	-	-	-	-	-	1.50	162	1.85	165

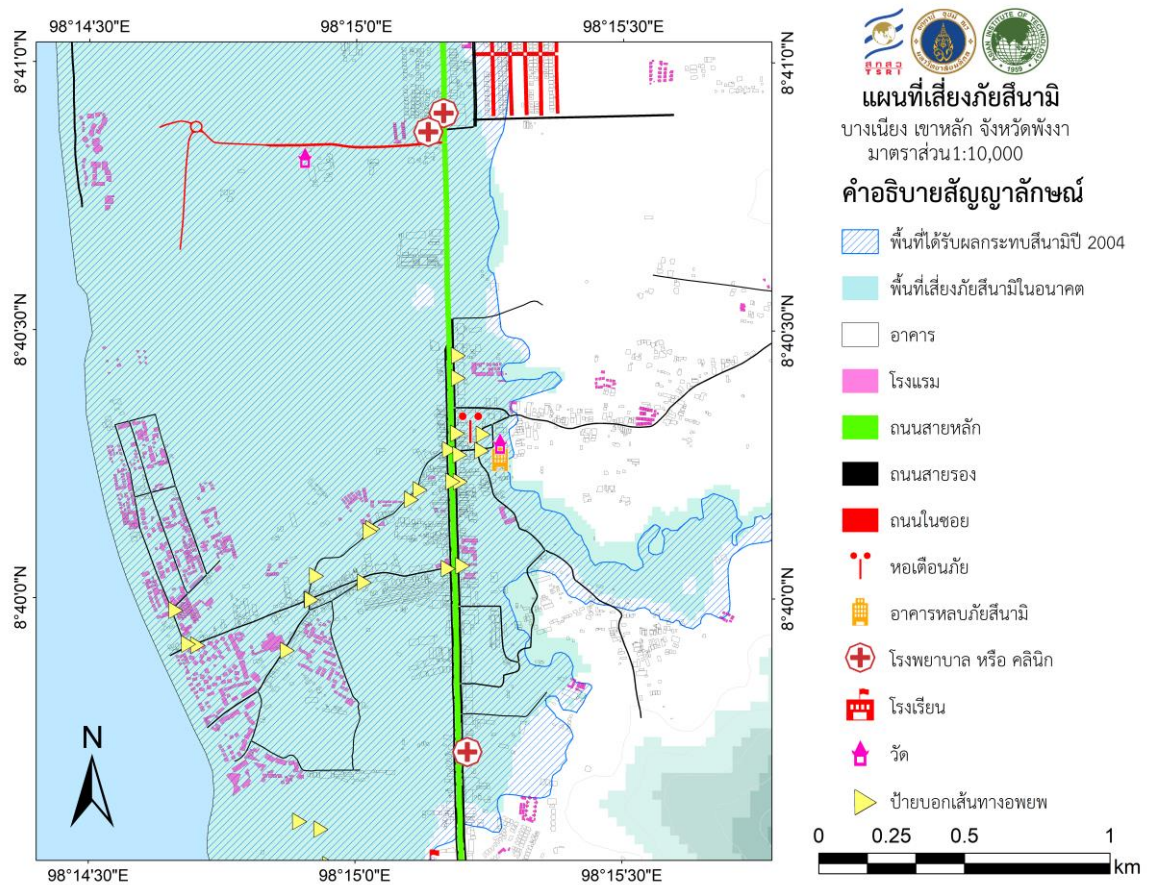
3.2 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิ

รูปที่ 3.14 แสดงแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิบริเวณตำบลคึกคัก อำเภอดงแก้ว จังหวัดพังงา โดยแผนที่เสี่ยงภัยแสดงถึงขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004 และขอบเขตพื้นที่เสี่ยงภัยสึนามิในอนาคตจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอันดามันขนาด M_w 9.0 ซึ่งมีความใกล้เคียงกันดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมาสำหรับพื้นที่เขาหลักที่ลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบต่ำคล้ายๆกับพื้นที่ชายฝั่งแบบ Sendai Plain ที่ภูมิภาคโทโฮคุของประเทศญี่ปุ่น พื้นที่เสี่ยงภัยสึนามิดังกล่าวได้นำมาแสดงซ้อนทับกับตำแหน่งอาคารและถนนต่างๆที่ได้จากการลงพื้นที่สำรวจร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อให้ประชาชนและนักท่องเที่ยวในพื้นที่ได้เห็นภาพรวมความเสี่ยงภัยสึนามิในพื้นที่เขาหลัก อีกทั้งแสดงถึงหอเตือนภัยจำนวน 4 ตำแหน่งที่ค่อนข้างครอบคลุมพื้นที่พักอาศัยบริเวณชุมชนและโรงแรมต่างๆ ตำแหน่งป้ายบอกเส้นทางอพยพในแผนที่แสดงถึงเส้นทางไปสู่อาคารหลบภัยสึนามิจำนวน 2 อาคารในพื้นที่ทั้งเขาหลัก รูปที่ 3.14 ยังแสดงถึงตำแหน่งของพื้นที่สาธารณะที่น่าจะมีประชากรจำนวนมากในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น โรงพยาบาล โรงเรียน และวัด



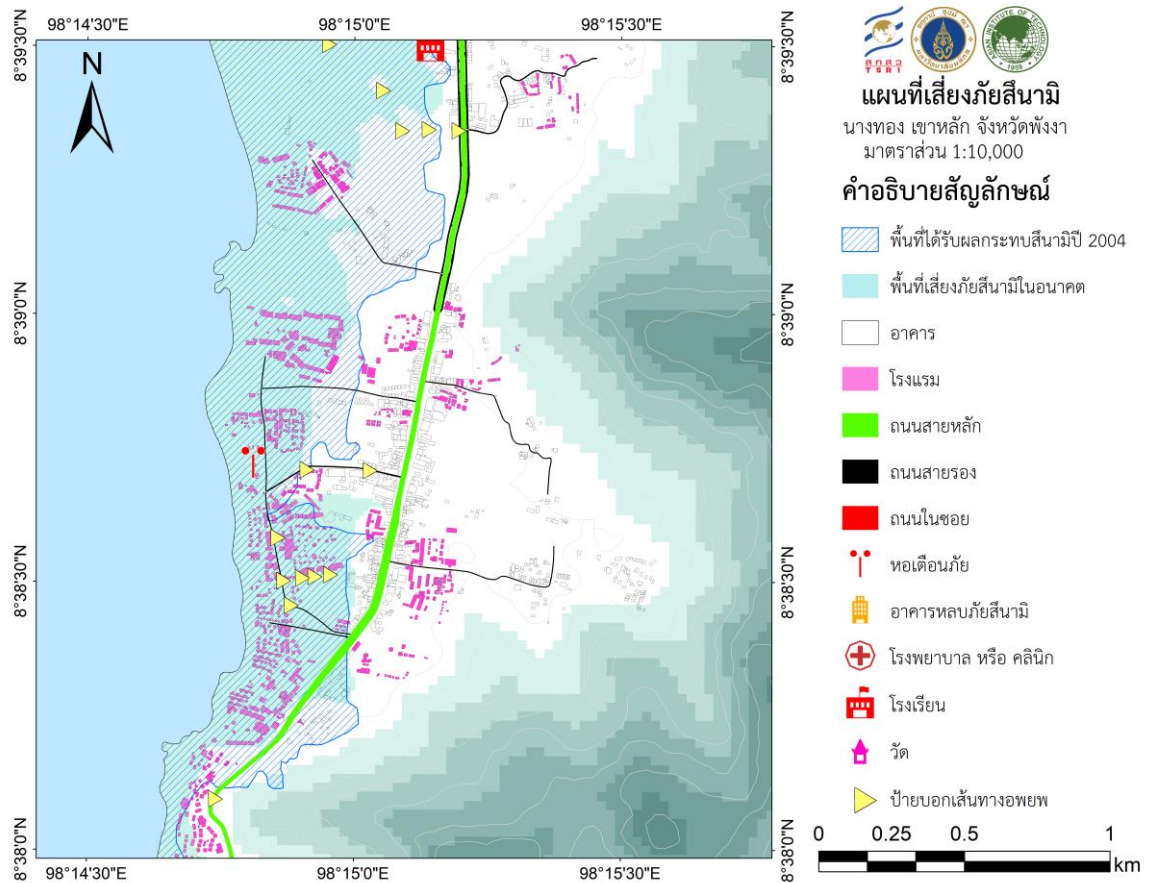
รูปที่ 3.14 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิสำหรับตำบลคึกคัก อำเภอดงแก้ว จังหวัดพังงา มาตราส่วน 1:100000

รูปที่ 3.15 และ 3.16 แสดงแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิบริเวณบ้านบางเนียงและหาดนางทองในมาตราส่วน 1:10000 ซึ่งทำให้เห็นสภาพพื้นที่ในปัจจุบันได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจากตำแหน่งอาคาร โรงแรม และพื้นที่สาธารณะต่างๆ ทำให้พอที่จะทราบผลกระทบจากการคาดการณ์การกระจายตัวของประชากรในพื้นที่เหล่านั้น รูปที่ 3.15 แสดงป้ายบอกเส้นทางอพยพในพื้นที่บางเนียงที่สามารถเดินทางไปสู่อาคารหลบภัยสึนามิที่ใกล้ที่สุดและแสดงให้เห็นว่าควรอพยพให้พ้นจากพื้นที่ท่วมถึงของคลื่นสึนามิได้อย่างไร นอกจากแผนที่จะแสดงให้เห็นได้ว่าควรอพยพไปอาคารหลบภัยสึนามิหรือพื้นที่สูงนอกขอบเขตท่วมถึงได้อย่างไรแล้ว ควรมีการพิจารณาที่จะอพยพขึ้นอาคารสูงบริเวณใกล้เคียงโดยเฉพาะพื้นที่บริเวณชายหาดอีกด้วย เพื่อที่จะไม่ต้องมีการเดินทางอพยพด้วยระยะทางที่ไกลและใช้เวลานานมากเกินไปซึ่งมีความเสี่ยงที่จะไม่สามารถอพยพได้สำเร็จ นอกจากนี้แผนที่ยังแสดงตำแหน่งของหอเตือนภัยและพื้นที่ชุมชนที่อยู่ภายในรัศมีประมาณ 1.5 กิโลเมตร ซึ่งระยะทางจากหอเตือนภัยจะมีผลต่อการรับรู้ถึงการเตือนภัยและช่วงเวลาที่จะเริ่มอพยพของประชาชนในพื้นที่นั้นๆ



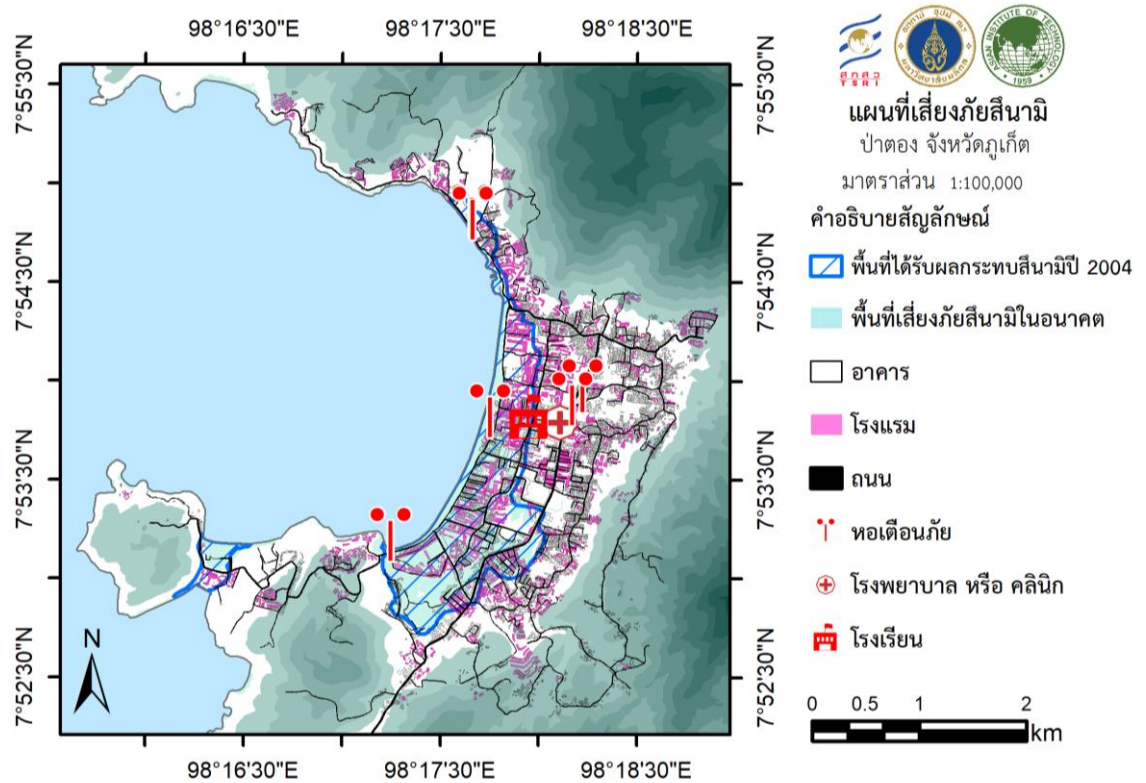
รูปที่ 3.15 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิสำหรับบ้านบางเนียง ตำบลคึกคัก อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา มาตราส่วน 1:10000

รูปที่ 3.16 แสดงป้ายบอกเส้นทางอพยพในพื้นที่นางทองที่สามารถเดินทางไปสู่พื้นที่สูงนอกขอบเขตการท่วมถึงของคลื่นสึนามิ ด้วยระยะทางที่ไม่ไกลมากและเส้นทางของถนนที่สามารถอพยพห่างจากชายฝั่งและขึ้นสู่พื้นที่สูงนอกขอบเขตการท่วมถึงได้โดยใช้เวลาไม่นาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มป้ายบอกเส้นทางอพยพที่เส้นทางของถนนน่าจะช่วยให้ทำการอพยพได้เร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้แผนที่ยังแสดงตำแหน่งของหอเตือนภัยที่อยู่ใกล้ชายหาดซึ่งอาคารส่วนใหญ่ในบริเวณนี้เป็นโรงแรมที่มีอยู่จำนวนมาก การให้ความรู้กับนักท่องเที่ยวเกี่ยวกับความเสี่ยงภัยสึนามิและเส้นทางอพยพจึงเป็นสิ่งที่ควรทำอย่างมากในบริเวณที่มีโรงแรมหนาแน่นเช่นนี้



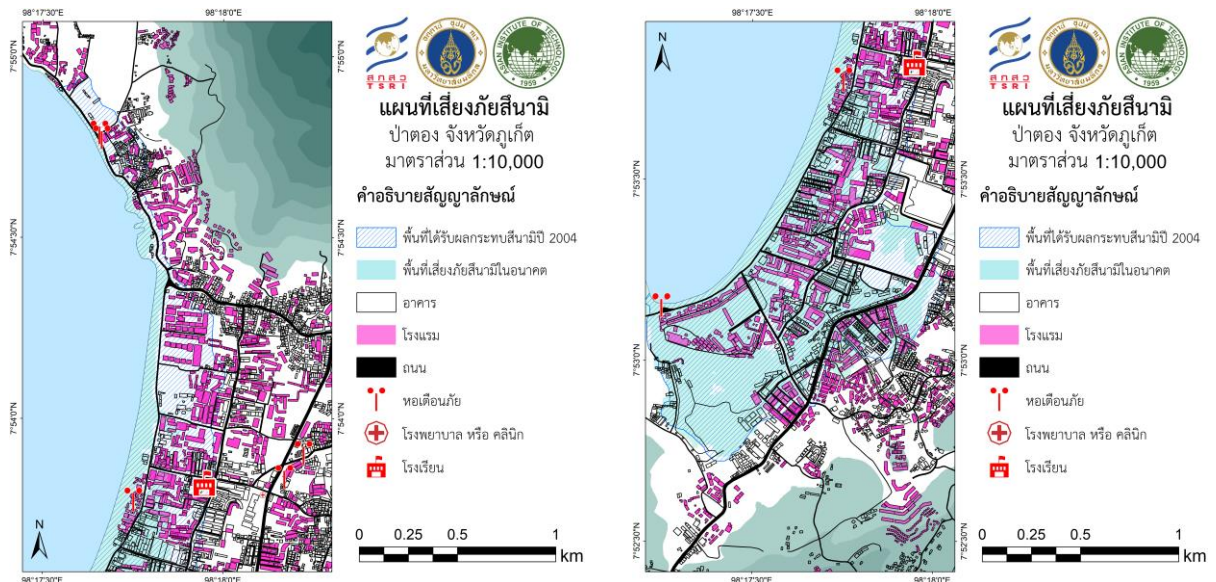
รูปที่ 3.16 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิสำหรับหาดนางทอง ตำบลคึกคัก อำเภอดงแก้ว จังหวัดพังงา มาตราส่วน 1:10000

รูปที่ 3.17 แสดงแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิบริเวณหาดป่าตอง อำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต โดยแผนที่เสี่ยงภัยดังกล่าวได้แสดงขอบเขตพื้นที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์สึนามิในปีค.ศ. 2004 และขอบเขตพื้นที่เสี่ยงภัยสึนามิในอนาคตจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณอันดามันขนาด M_w 9.0 โดยแสดงซ้อนทับกับอาคารต่างๆ และหอเตือนภัยจำนวน 4 แห่งที่ครอบคลุมทั้งพื้นที่



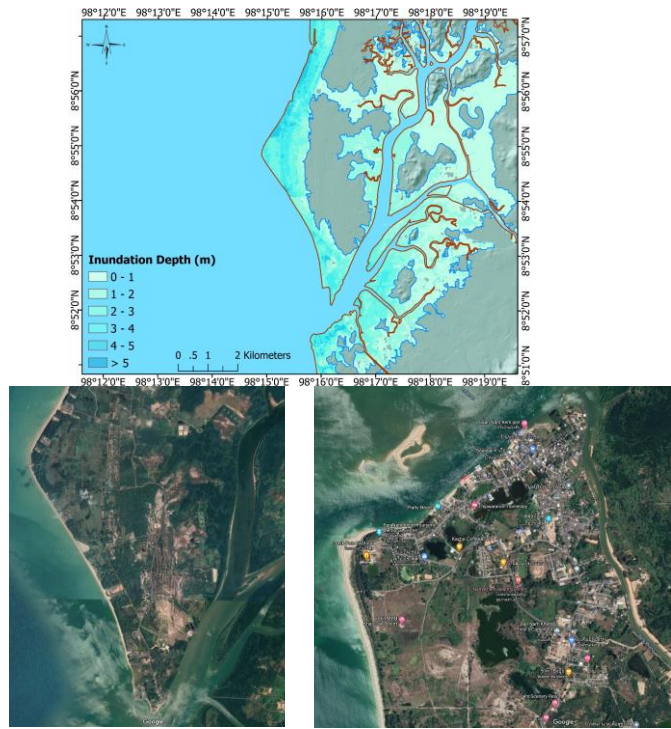
รูปที่ 3.17 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิสำหรับหาดป่าตอง อำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต มาตรฐาน 1:100000

เช่นเดียวกับพื้นที่เขาหลัก รูปที่ 3.18 แสดงแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิบริเวณหาดป่าตอง ในมาตรฐาน 1:10000 ซึ่งทำให้เห็นสภาพพื้นที่ในปัจจุบันได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจากตำแหน่งอาคาร โรงแรม และพื้นที่สาธารณะที่สำคัญต่างๆ ทำให้พอที่จะทราบผลกระทบต่อประชากรในพื้นที่หาดป่าตองซึ่งเป็นบริเวณที่มีประชากรโดยเฉพาะนักท่องเที่ยวอยู่กันอย่างหนาแน่นในสภาวะปกติ แผนที่แสดงเส้นทางของถนนที่สามารถอพยพห่างจากชายฝั่งไปสู่พื้นที่นอกขอบเขตการท่วมถึงได้ สามารถนำไปใช้วางแผนเพื่อให้สามารถติดตั้งป้ายบอกเส้นทางอพยพให้มีประสิทธิภาพได้

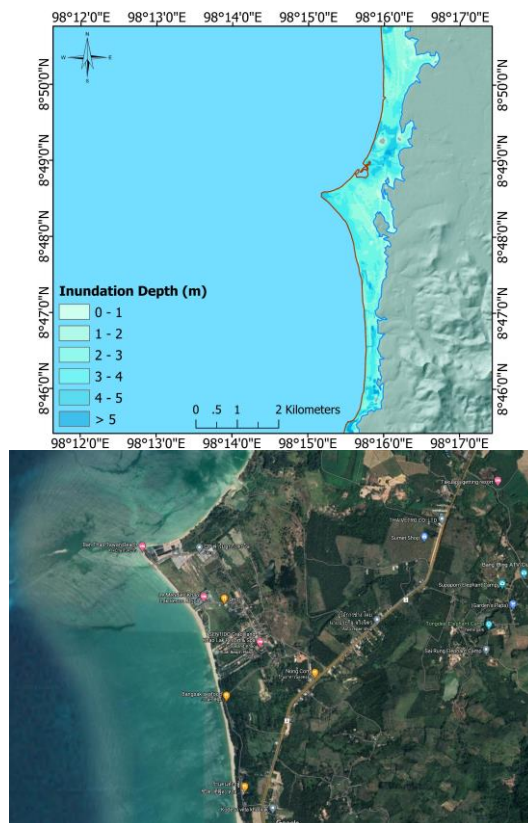


รูปที่ 3.18 แผนที่เสี่ยงภัยสึนามิสำหรับหาดปัตตานี อำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต มาตราส่วน 1:10000

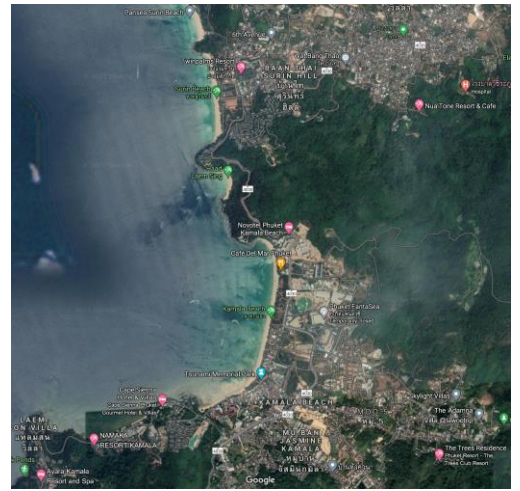
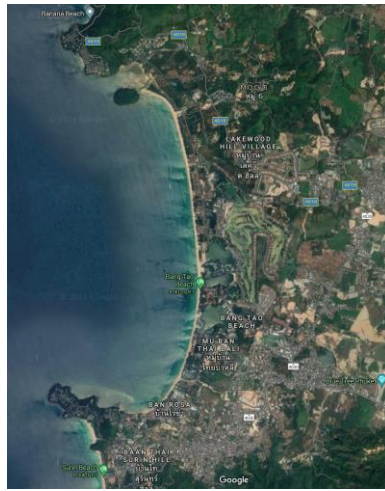
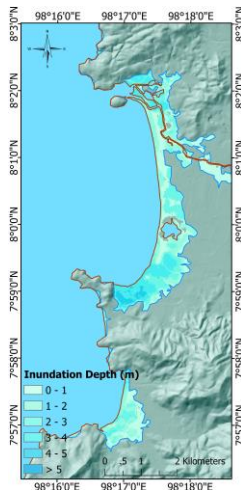
การจำลองสึนามิในหลายกรณีที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคตทำให้สามารถประเมินระดับความสูงของคลื่นสึนามิตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันได้ หัวข้อที่ 3.1 แสดงให้เห็นแล้วว่าเราสามารถระบุแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดภัยสึนามิที่เป็นอันตรายต่อประเทศไทยได้และสามารถทราบได้ว่าแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวนั้นๆสามารถก่อให้เกิดภัยสึนามิได้อย่างไรในลักษณะและกลไกการเกิดแบบใด จากการจำลองสึนามิกรณีหนึ่งนอกจากจะทำให้ทราบความสูงของคลื่นบริเวณชายฝั่งแล้ว ยังทำให้ทราบการท่วมถึงบนชายฝั่งรวมทั้งระยะเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง แผนที่เสี่ยงภัยดังกล่าวถูกสร้างขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงการท่วมถึงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันในกรณีผลกระทบสูงสุดเทียบกับผลกระทบสึนามิที่ผ่านมา อย่างไรก็ตามการสร้างแผนที่เสี่ยงภัยยังสามารถแบ่งระดับตามขนาดของแผ่นดินไหวดังแสดงในหัวข้อที่ 3.1 ที่แสดงการท่วมถึงของขนาดแผ่นดินไหว M_w 8.5 และ M_w 9.0 โดยพื้นที่อื่นๆที่มีการจำลองการท่วมถึงของคลื่นสึนามิในอนาคตจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวอันดามันขนาด M_w 9.0 รูปที่ 3.19-3.23 แสดงการท่วมถึงของคลื่นสึนามิจากแบบจำลองเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth ซึ่งทำให้พอประเมินผลกระทบที่จะเกิดได้บ้างว่าขอบเขตการท่วมถึงของคลื่นสึนามิในอนาคตจะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ต่างๆอย่างไร ควรมีการเตรียมการวางแผนรับมือกับเหตุการณ์ในอนาคตด้วยการอพยพไปยังพื้นที่ปลอดภัยได้อย่างไร จากรูปที่ 3.19-3.23 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อบริเวณพื้นที่ชุมชนบ้านน้ำเค็ม ผลกระทบต่อพื้นที่ทำการเกษตรบริเวณบ้านเกาะคอเขาและบริเวณบ้านทับตะวันในจังหวัดพังงา สำหรับจังหวัดภูเก็ตจะเห็นได้ว่าส่งผลกระทบเป็นวงกว้างในบริเวณหาดบางเทาและหาดกมลาแต่เป็นที่น่าสนใจที่แทบจะไม่มีผลกระทบต่อพื้นที่บริเวณหาดสุรินทร์ ผลกระทบต่อพื้นที่โรงแรมหนาแน่นบริเวณหาดกะตะและหาดกะตะน้อยเช่นเดียวกับโรงแรมบนเกาะพีพีที่ตั้งอยู่บริเวณริมชายหาด



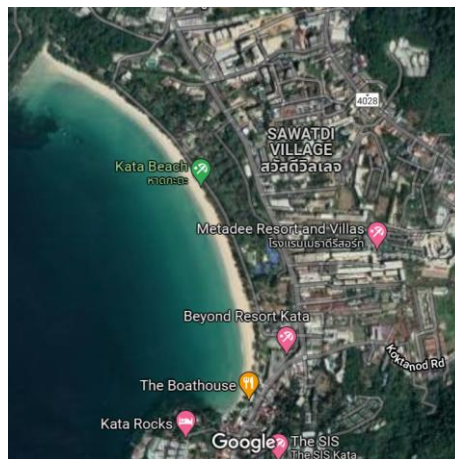
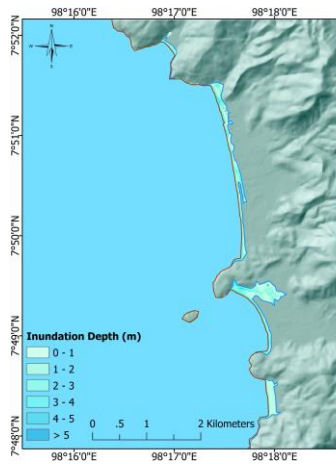
รูปที่ 3.19 แผนที่เสี่ยงภัยบริเวณบ้านน้ำเค็ม



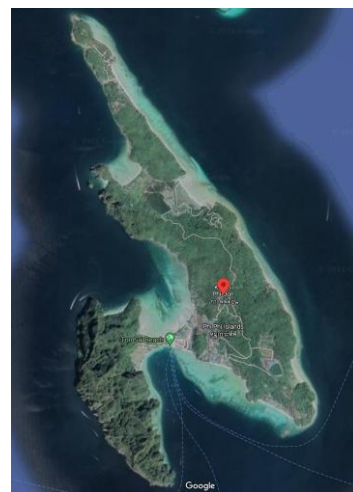
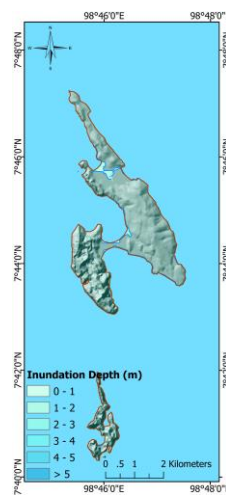
รูปที่ 3.20 แผนที่เสี่ยงภัยบริเวณบ้านทับตะวัน



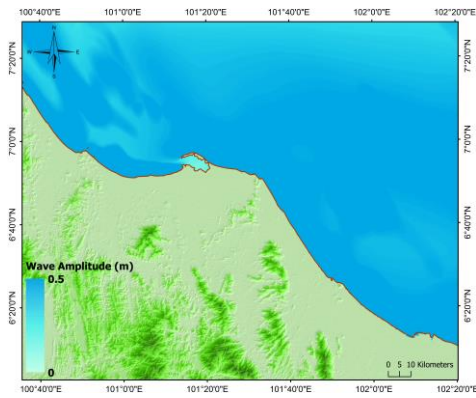
รูปที่ 3.21 แผนที่เสี่ยงภัยบริเวณหาดบางเทา หาดสุรินทร์ และหาดกมลา



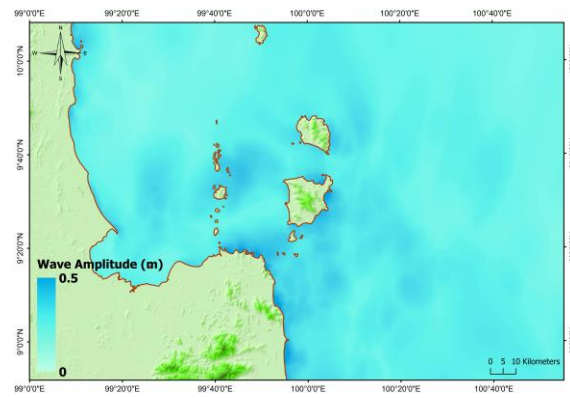
รูปที่ 3.22 แผนที่เสี่ยงภัยบริเวณหาดกะตะและหาดกะตะน้อย



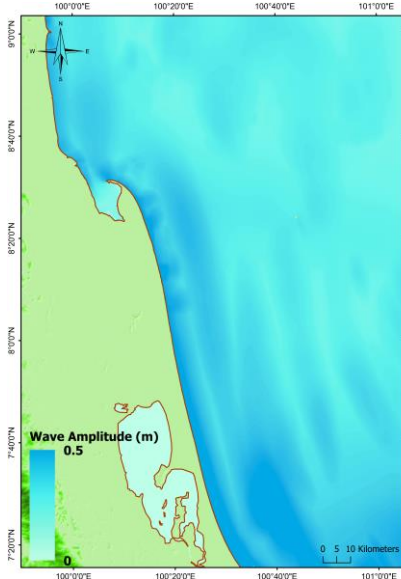
รูปที่ 3.23 แผนที่เสี่ยงภัยบริเวณเกาะพีพี



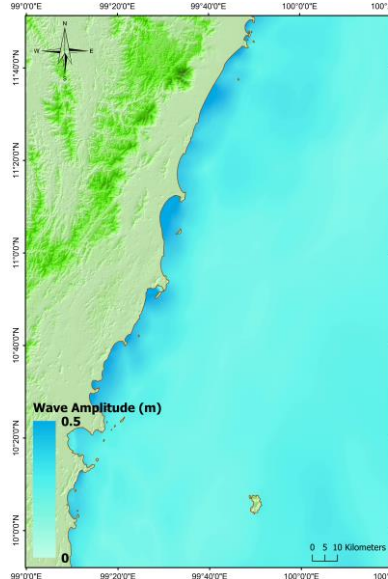
นราธิวาส ปัตตานี และสงขลา



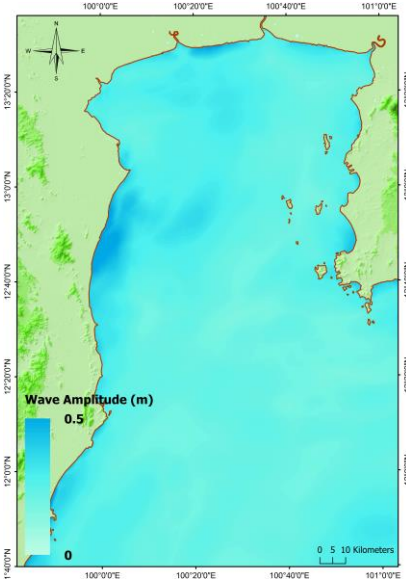
นครศรีธรรมราชและสุราษฎร์ธานี



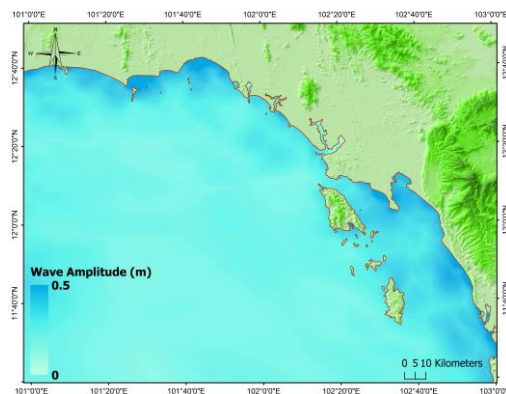
สงขลาและนครศรีธรรมราช



ชุมพรและประจวบคีรีขันธ์



เพชรบุรี สมุทรสงคราม
สมุทรสาคร กรุงเทพฯ สมุทรปราการ
ฉะเชิงเทรา และชลบุรี



ระยอง จันทบุรี และตราด

รูปที่ 3.24 แผนที่เสี่ยงภัยบริเวณชายฝั่งอ่าวไทย

รูปที่ 3.24 แสดงความสูงคลื่นสึนามิบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในทะเลจีนใต้ที่แนวมุดตัวมะนิลาขนาด M_w 9.0 จะเห็นได้ว่าสร้างผลกระทบมากที่สุดที่บริเวณชายฝั่ง 3 จังหวัดภาคใต้ได้แก่นราธิวาส ปัตตานี และสงขลา ที่ความสูงคลื่นสึนามิสูงสุดประมาณ 0.5 เมตร จากการที่ชายฝั่งอ่าวไทยอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่แนวมุดตัวมะนิลาเป็นระยะทางที่ไกลมากซึ่งคลื่นเดินทางกว่า 12 ชั่วโมง ทำให้เกิดผลกระทบจากคลื่นสึนามิค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตามบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยในบางบริเวณเป็นทะเลน้ำตื้น อาจส่งผลให้เกิดการขยายตัวของคลื่นสึนามิได้เล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 3.24 จากการศึกษาดังกล่าวจะนำไปสู่การรายงานข้อสรุปจากข้อมูลการค้นพบในปัจจุบันเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจต่อเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต อีกทั้งในอนาคตอาจถูกใช้อ้างอิงเพื่อประเมินความเสี่ยงภัยแบบฉบับพลันหลังจากที่เกิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนในตำแหน่งนั้นๆสำหรับประกอบการตัดสินใจในการเตือนภัย อีกทั้งยังเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อคนในชุมชนและนักท่องเที่ยวในการเตรียมความพร้อมรับมือกับสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้

บทที่ 4

การพัฒนาข้อมูลระบบความสูงภูมิประเทศด้วยอากาศยานไร้คนขับ

4.1 การสำรวจพื้นที่ชายฝั่งด้วยอากาศยานไร้คนขับ

การสำรวจสภาพภูมิประเทศ สามารถดำเนินการโดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมในระบบ GNSS เพื่อหาตำแหน่งค่าพิกัดทางราบ การสำรวจรังวัดทางพื้นดินทางตั้งโดยใช้กล้องระดับ (Leveling) และการรังวัดที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณเพื่อหาขอบเขต ขนาด ปริมาณ ตำแหน่ง และสภาพต่างๆ ทางภูมิศาสตร์โดยใช้กล้อง (Total Station) ทั้งนี้ในบางพื้นที่ วิธีการสำรวจดังกล่าวอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากข้อจำกัดในการเข้าพื้นที่สำรวจโดยบุคคล อีกทั้งต้องใช้ระยะเวลา อุปกรณ์ เครื่องมือและแรงงานจำนวนมาก การนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในการสำรวจ เช่น การใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) มาประยุกต์ใช้จึงเป็นวิธีที่สามารถเข้าถึงพื้นที่ได้มากขึ้นและได้ข้อมูลที่ครบถ้วน ถูกต้อง รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพช่วยลดระยะเวลา ลดการใช้ อุปกรณ์เครื่องมือ อีกทั้งรูปแบบของข้อมูลภาพถ่าย สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) ซึ่งส่งผลให้สามารถพัฒนาข้อมูลระบบความสูงภูมิประเทศ

การสำรวจพื้นที่ชายฝั่งด้วยอากาศยานไร้คนขับการในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (UAV) และสร้างแผนที่ภาพถ่ายและแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Digital Surface Model, DSM) ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในแบบจำลองสึนามิ โดยมีสถานที่ทำการสำรวจคือพื้นที่เขาหลัก อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา 8 40 00N, 98 15 16.0E พื้นที่ในการสำรวจประมาณ 6.00 ตารางกิโลเมตร ความละเอียด (Resolution) หรือ Ground Sample Distance (GSD) เท่ากับ 7 เซนติเมตรต่อพิกเซล โดยผลการสำรวจต้องมีค่าความถูกต้องทางราบของแผนที่ 15 เซนติเมตร และทางตั้งเท่ากับ 30 เซนติเมตร อีกทั้งยังจัดทำภายใต้ข้อกำหนดและรายละเอียดการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับในงานวิศวกรรมได้แก่ สภาวิศวกร (2551) มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ (Code of Practice) แผนที่ภูมิประเทศเพื่องานวิศวกรรม สภาวิศวกร และ ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data Accuracy (2014)

4.1.1 การวางแผนการบิน

ขอบเขตพื้นที่ที่ใช้ในการสำรวจเพื่อสร้างแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ เป็นพื้นที่ติดชายทะเล บริเวณเขาหลัก อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา ขนาดพื้นที่ประมาณ 6.44 ตารางกิโลเมตร ลักษณะเป็นพื้นที่ราบและมีพื้นที่ลาดชันเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.1และรูปที่ 4.2

4.1.2 ความละเอียดของจุดภาพบนพื้นดิน GSD

การกำหนดค่าความละเอียดของจุดภาพบนพื้นดิน Ground Sampling Distance (GSD) ในมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของ ASPRS เพื่อให้ผลของภาพถ่ายทางอากาศมีความถูกต้องเทียบเท่ากับแผนที่มาตราส่วน 1:300 มาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของ ASPRS กำหนดไว้ว่าจะต้องมีความละเอียดของจุดภาพบนพื้นดิน GSD อยู่ในช่วง 3.8 เซนติเมตร ถึง 7.5 เซนติเมตร แล้วนำมาคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของกล้องถ่ายภาพและความสูงในการบินสำรวจดังสมการ (4.1)

$$H = \frac{GDS \times I \times F}{S} \quad (4.1)$$

โดย

GDS คือ ค่าความละเอียดของจุดภาพบนพื้นดิน (cm.)

I คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมด (pixel)

F คือ ความยาวโฟกัส (mm.)

S คือ ขนาดฉากรับภาพ (mm.)

H คือ ความสูงที่ใช้ในการบิน (cm.)



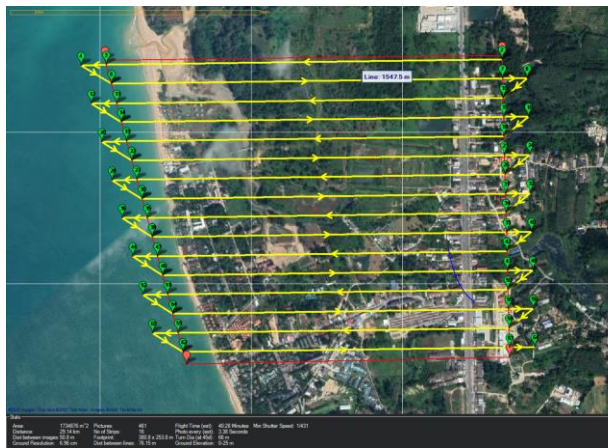
รูปที่ 4.1 พื้นที่สำรวจ หาดเขาหลัก อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา



รูปที่ 4.2 ลักษณะสภาพทั่วไปของพื้นที่

4.1.3 การกำหนดแนวกบินและทิศทางการบินของ UAV

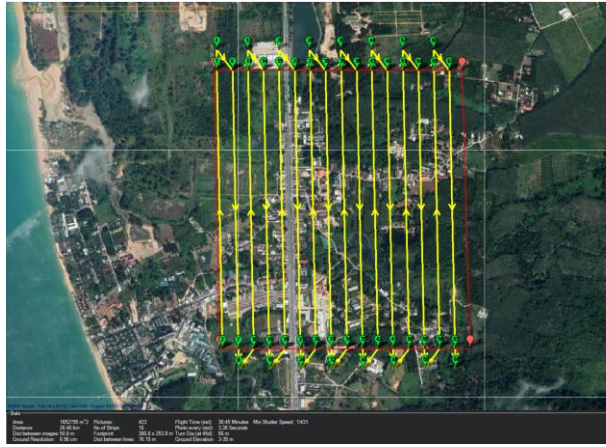
แนวกบินของอากาศยานไร้คนขับจะต้องมีส่วนซ้อนระหว่างภาพตามแนวกบิน (Overlap) 80% และส่วนซ้อนระหว่างแนวกบิน (Side lap) 80% และความสูงที่บินจากการคำนวณในสมการ (4.1) โดยในการสำรวจได้แบ่งพื้นที่ในการทำการบินจำนวน 6 เทียวกบินดังแสดงในรูปที่ 4.3



แนวการบินเทียวกที่ 1



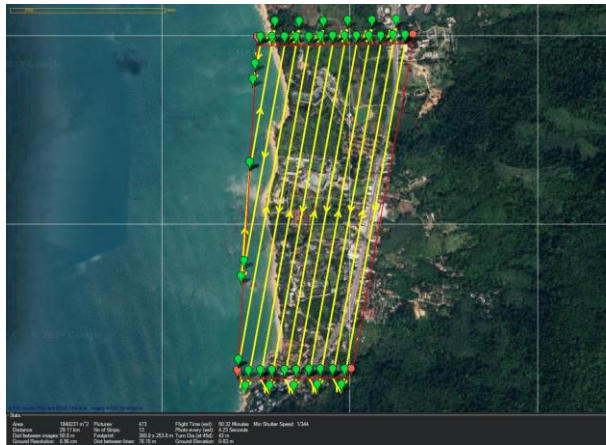
แนวการบินเทียวกที่ 2



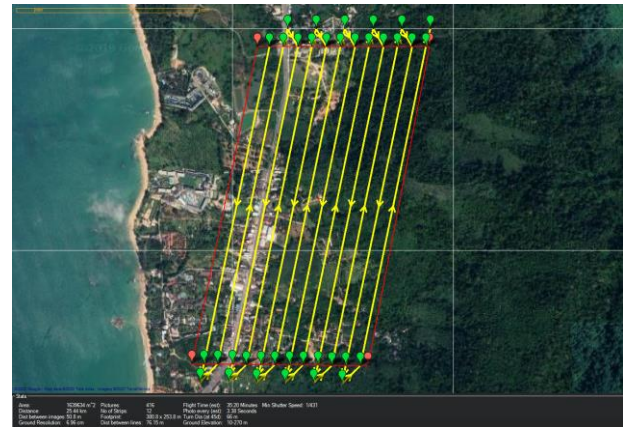
แนวการบินเที่ยวที่ 3



แนวการบินเที่ยวที่ 4



แนวการบินเที่ยวที่ 5



แนวการบินเที่ยวที่ 6

รูปที่ 4.3 เที่ยวบินที่ 1 – 6 สำหรับการบินสำรวจพื้นที่เขาหลัก

4.2 การกำหนดและการหาค่าพิกัดหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และหมุดตรวจสอบ (CP)

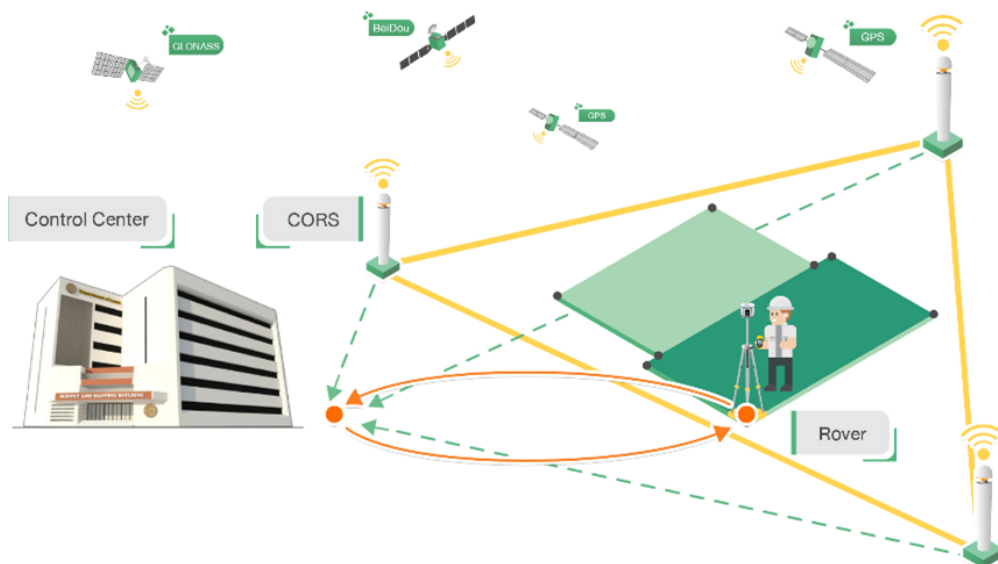
หมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และหมุดตรวจสอบ (CP) จะต้องกระจายครอบคลุมพื้นที่ที่ทำการสำรวจ โดยในโครงการนี้ได้ทำการกำหนดหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) จำนวน 14 จุด เพื่อใช้ในการตรึงและปรับแก้ภาพถ่าย และกำหนดหมุดตรวจสอบ (CP) จำนวน 24 จุด เพื่อใช้ในการตรวจสอบค่าพิกัดของภาพถ่ายทางอากาศ หลังจากการประมวลผลแล้ว ตำแหน่งของหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และหมุดตรวจสอบ (CP) จะเป็นตำแหน่งที่เปิดโล่ง และสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนจากภาพถ่ายทางอากาศ โดยได้ทำการปูผ้าสัญลักษณ์ขนาด 1.50×1.50 เมตร สีขาวสลับดำ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การกำหนดตำแหน่งหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และหมุดตรวจสอบ (CP) โดยการปูผ้าสัญลักษณ์ ขนาด 1.50 x 1.50 เมตร

4.3 การหาค่าพิกัดหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และหมุดตรวจสอบ (CP)

การหาค่าพิกัดหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และหมุดตรวจสอบ (CP) โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS รุ่น CHC i80 โดยทำการประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดโดยใช้โครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS NETWORK) ของกรมที่ดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งค่าพิกัดที่ได้จะมีความถูกต้องสูง ความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดไม่เกิน 4 เซนติเมตร เป็นค่าพิกัดในระบบ UTM อ้างอิงบนพื้นหลักฐาน WGS84 ซึ่งจะมีความสอดคล้องกับค่าพิกัดหมุดหลักฐานแผนที่ที่ใช้ในราชการของกรมที่ดิน ผลของการรังวัดค่าพิกัดหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) ดังตารางที่ 4.1 และค่าพิกัดหมุดตรวจสอบ (CP) ดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.5 หลักการทำงานเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS



รูปที่ 4.6 แสดงการหาค่าพิกัดหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และหมุดตรวจสอบ (CP) โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS

ตารางที่ 4.1 ค่าพิกัดหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP)

Name	N	E	H	Solution	Ho-Error	V-Error
Gcp1	958345.040	417462.675	3.547	Fix	0.013	0.019
Gcp2	958116.507	417036.984	3.240	Fix	0.012	0.022
Gcp3	958827.377	416875.306	1.655	Fix	0.011	0.020
Gcp4	957896.931	417675.876	4.719	Fix	0.007	0.016
Gcp5	956868.040	417626.512	6.997	Fix	0.008	0.018
Gcp6	957290.707	417372.471	3.426	Fix	0.009	0.019
Gcp7	958644.873	418014.361	6.697	Fix	0.009	0.019
Gcp8	957925.037	418003.469	3.757	Fix	0.009	0.019
Gcp9	957337.478	418133.637	10.993	Fix	0.009	0.014
Gcp10	956878.139	417987.856	9.666	Fix	0.008	0.012
Gcp11	956403.171	417773.629	12.495	Fix	0.008	0.012
Gcp12	955974.217	417217.310	5.579	Fix	0.015	0.020
Gcp13	955316.707	417980.601	19.361	Fix	0.014	0.020
Gcp14	954978.339	417374.142	6.707	Fix	0.014	0.020

ตารางที่ 4.2 ค่าพิกัดหมุดตรวจสอบ (CP)

Name	N	E	H	Solution	H-Error	V-Error
cp1	958422.516	417375.192	2.318	Fix	0.009	0.018
cp2	958320.390	416999.973	2.995	Fix	0.010	0.020
cp3	958893.636	417243.129	3.370	Fix	0.008	0.017
cp4	957650.753	417782.210	4.371	Fix	0.007	0.015
cp5	957078.372	417524.213	7.262	Fix	0.011	0.020

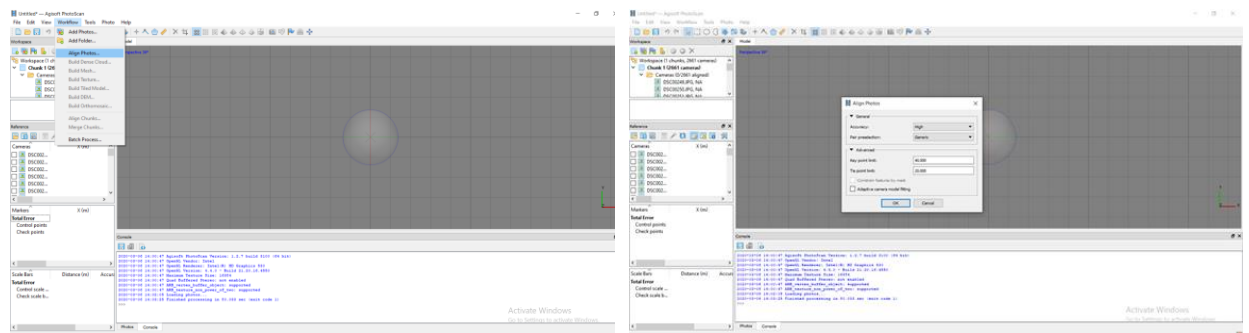
Name	N	E	H	Solution	H-Error	V-Error
cp6	958649.690	418481.017	16.965	Fix	0.010	0.019
cp7	958544.234	417976.364	6.507	Fix	0.010	0.016
cp8	958195.153	417953.575	3.553	Fix	0.011	0.019
cp9	957693.257	418050.312	6.334	Fix	0.012	0.017
cp10	957043.845	418237.112	12.648	Fix	0.014	0.020
cp11	955738.245	417432.579	10.707	Fix	0.012	0.017
cp12	957956.007	417410.008	3.327	Fix	0.008	0.013
cp14	958914.290	417827.061	4.922	Fix	0.008	0.014
cp15	958054.371	417918.352	3.970	Fix	0.008	0.013
cp16	958362.300	417809.818	4.602	Fix	0.010	0.018
cp17	955515.456	417633.719	12.731	Fix	0.009	0.016
cp18	955273.005	417582.736	14.552	Fix	0.010	0.018
cp19	956103.755	417754.694	20.505	Fix	0.010	0.017
cp20	955662.525	417233.212	8.737	Fix	0.009	0.018
cp21	959256.971	417819.233	5.851	Fix	0.010	0.020
cp22	958630.454	417803.510	4.727	Fix	0.009	0.015
cp23	957941.259	418406.515	14.781	Fix	0.009	0.015
cp24	955285.984	417246.824	4.110	Fix	0.012	0.019
cp25	957171.533	417848.651	9.203	Fix	0.012	0.017

4.4 การประมวลผลภาพถ่าย

ในการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ เป็นกระบวนการที่สำคัญต่อความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการประมวลผลจะบ่งชี้ถึงคุณภาพของชุดข้อมูลภาพถ่ายดังนั้นก็ทำให้ต้องมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม และตรวจสอบรายงานผลการประมวลผลทุกขั้นตอน

4.4.1 ค่าพารามิเตอร์ของการประมวลผลภาพถ่าย

การประมวลผลภาพถ่ายในแต่ละขั้นตอนจะส่งผลต่อคุณภาพและความถูกต้องของข้อมูลเชิงตำแหน่ง ดังนั้นจึงทำให้ผู้ปฏิบัติงานจะต้องให้ความสำคัญกับค่าพารามิเตอร์ในการประมวลผลและตรวจสอบรายงานการประมวลผลให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การจับคู่ภาพเพื่อสร้าง Tie point 2) การโยงยึดพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย 3) การสร้างพอยท์คลาวด์ 4) การสร้าง Mesh Model 5) การสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ 6) การสร้าง True Orthophoto ขั้นตอนการจับคู่ภาพจะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นตั้งแต่การคำนวณตำแหน่งของภาพจับคู่ภาพรวมถึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญและส่งผลต่อขั้นตอนการประมวลผลในขั้นตอนต่อไปกำหนดขนาดภาพที่จะสกัดหาข้อมูลจุดสำคัญและกำหนดจำนวนข้อมูลจุดสำคัญดังแสดงในรูปที่ 4.7

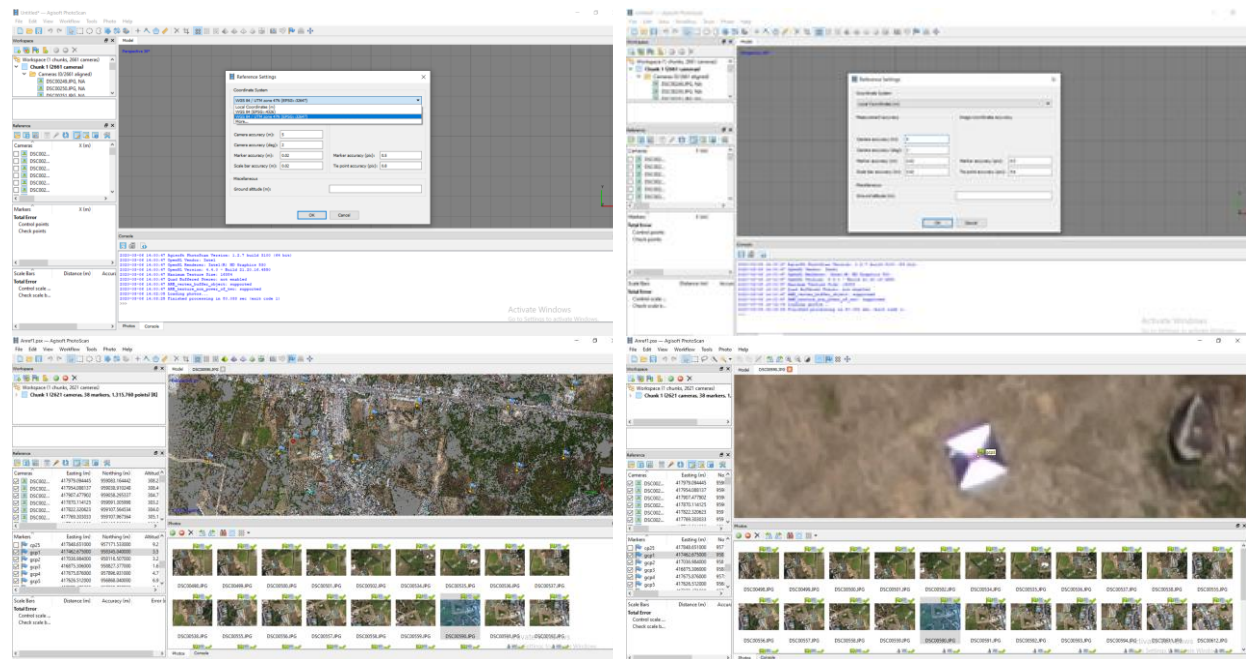


รูปที่ 4.7 กำหนดขนาดภาพที่จะสกัดหาข้อมูลจุดสำคัญและกำหนดจำนวนข้อมูลจุดสำคัญ

4.4.2 การโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพ

การโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่ายคือขั้นตอนในการปรับแก้ค่าพิกัด tie point ด้วยวิธี Bundle Block Adjustment โดยมีขั้นตอนดังนี้ 1) กำหนดค่าความถูกต้องทางราบของจุดควบคุมภาพถ่าย 2) กำหนดความถูกต้องทางดิ่งของจุดควบคุมภาพถ่าย 3) กำหนดค่าความถูกต้องของการวัดจุดควบคุมภาพถ่ายบนภาพ 4) กำหนดค่าความถูกต้องของ Tie Point

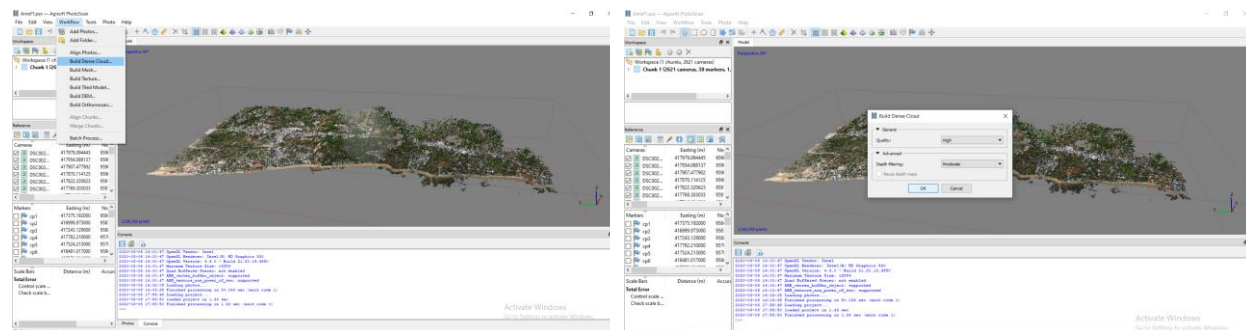




รูปที่ 4.8 กำหนดค่าพารามิเตอร์ขั้นตอนการโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย

4.4.3 การสร้างพอยท์คลาวด์

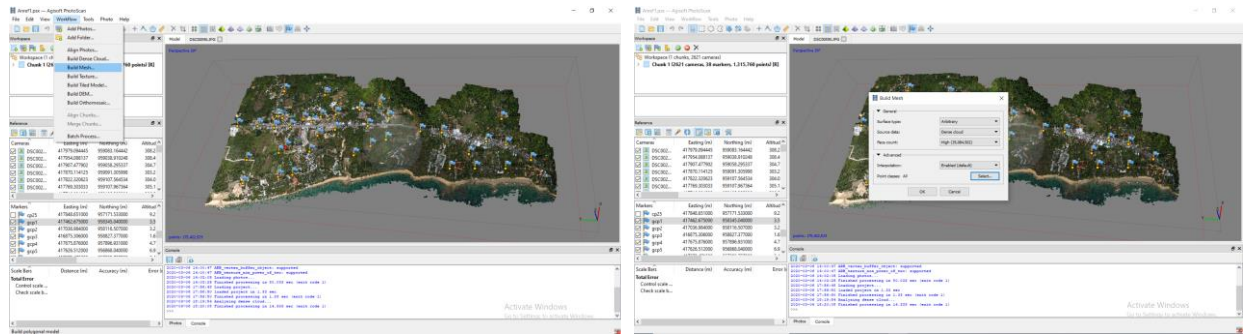
ขั้นตอนประมวลผลสร้างพอยท์คลาวด์คือการสร้างจุดพิกัดสามมิติที่มีจำนวนมากเพื่อให้เห็นรายละเอียดข้อมูลในการประมวลผลชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งพอยท์คลาวด์ที่สร้างในขั้นตอนนี้จะถูกนำไปประมวลผลเพื่อสร้าง Mesh Model โดยมีขั้นตอนกำหนดขนาดภาพสำหรับการสร้างพอยท์คลาวด์และ กำหนดความหนาแน่นของจุด



รูปที่ 4.9 กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการสร้างพอยท์คลาวด์

4.4.4 การสร้าง Mesh Model

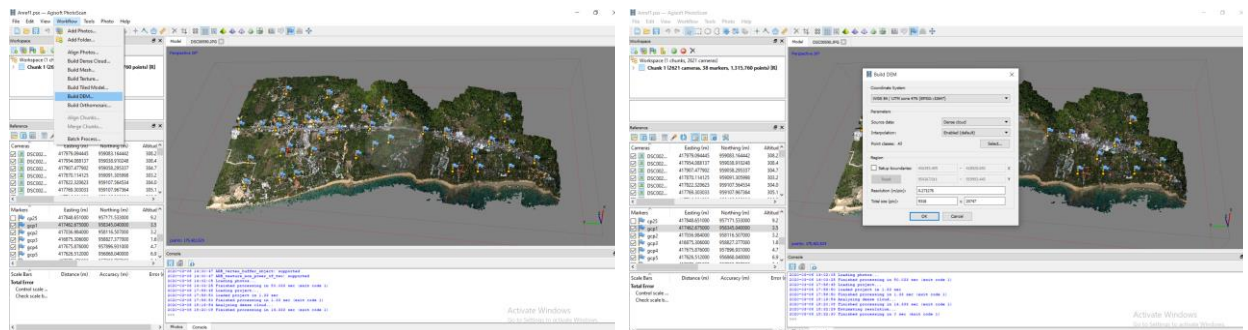
การประมวลผล Mesh Model เป็นขั้นตอนที่ประมวลผลสร้างข้อมูลพื้นผิวที่มีโครงสร้างแบบเวกเตอร์ ที่ใช้แสดงลักษณะรูปร่างของโมเดลซึ่งมีความสำคัญต่อการประมวลผลสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ โดยมีขั้นตอนกำหนดความละเอียดของ Mesh model และกำหนดวิธีการเติมเต็มพื้นผิว



รูปที่ 4.10 กำหนดค่าพารามิเตอร์กำหนดความละเอียดของ Mesh model และวิธีการเติมเต็มพื้นผิว

4.4.5 การสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ

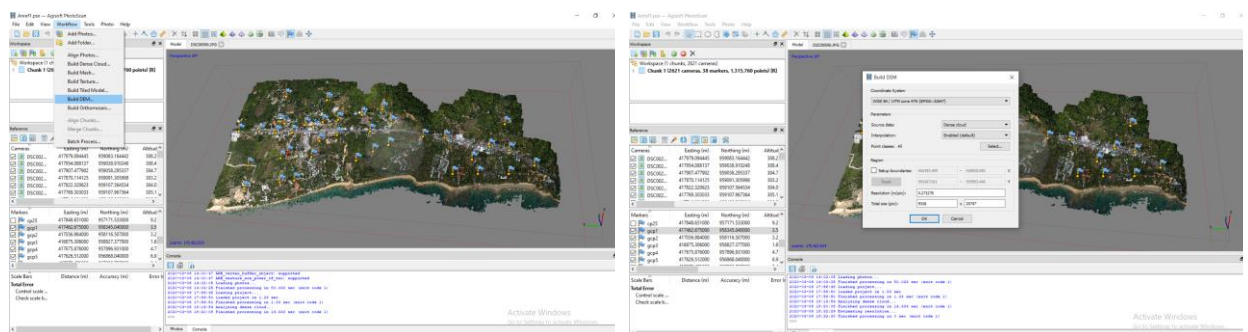
การประมวลผลสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ มีการกำหนดรายละเอียดของข้อมูลและขั้นตอนการประมวลผลของโมเดลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ



รูปที่ 4.11 กำหนดค่าพารามิเตอร์ความละเอียดของแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ

4.4.6 การสร้าง True Orthophoto

ขั้นตอนการสร้าง True Orthophoto มีพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการนำไปผลิตแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ มาตรฐานที่เหมาะสมต่อไป โดยมีขั้นตอนกำหนดความละเอียดของ True Orthophoto และกำหนดแบบจำลองในการสร้าง True Orthophoto



รูปที่ 4.12 กำหนดความละเอียดของ True Orthophoto และกำหนดแบบจำลองในการสร้าง True Orthophoto

4.5 ผลการสำรวจ

จากการสำรวจ หาดเขาหลัก อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา 8 40 00N, 98 15 16.0E พื้นที่ในการสำรวจ ทั้งหมดประมาณ 9.00 ตารางกิโลเมตร ในการบินทำแผนที่ครั้งนี้ ขนาดของ Ground Sample Distance (GSD) เท่ากับ 6.78 เซนติเมตรต่อพิกเซล ปริมาณส่วนซ้อน (Overlap) 80% ปริมาณส่วนเกย (Sidelap) 80% รูปแบบการบินทั่วไป มีจำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย (GCP) 14 จุด และ จุดเช็กค่าความถูกต้องของแผนที่ (CP) 24จุด ค่าความถูกต้องทางราบของแผนที่ตามมาตรฐาน NSSDA Horizontal Accuracy at 95% confidence level เท่ากับ 11.40 เซนติเมตร ค่าความถูกต้องทางดิ่งของแผนที่ตามมาตรฐาน NSSDA Vertical Accuracy at 95% confidence level เท่ากับ 17.01 เซนติเมตร ได้ผลลัพธ์ทั้งหมด 3 ส่วนคือ 1) True Orthophoto 2) พอยท์คลาวด์ และ 3) แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ ดังรูปที่ 4.13 รูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.13 แบบจำลองพอยท์คลาวด์



รูปที่ 4.14 แผนที่ภาพถ่าย True Orthophoto



รูปที่ 4.15 แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม

ลำดับ	เกณฑ์การพิจารณา	รายงานผล	หน่วย	หมายเหตุ
แผนการบิน				
1	ขนาดพื้นที่ที่โครงการ	9.00	ตร.กม	
2	ความถูกต้องทางราบของข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ต้องการ	0.114	m.	NSSDA Vertical Accuracy at 95% confidence level
3	ความถูกต้องทางดิ่งของข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ต้องการ	0.170	m.	NSSDA Vertical Accuracy at 95% confidence level
4	ขนาดของ Ground Sample Distance (GSD)	6.78	Cm/pix	
5	ความสูงบิน	300	m.	
6	ปริมาณส่วนซ้อน (Overlab)	80	%	
7	ปริมาณส่วนเกย (Sidelab)	80	%	
8	รูปแบบการบิน	ทั่วไป	-	
กล้องถ่ายภาพ				

ลำดับ	เกณฑ์การพิจารณา	รายงานผล	หน่วย	หมายเหตุ
1	ประเภทกล้องถ่ายภาพ	DSC-RX100	-	
2	ความถูกต้องของพิกัดจุดถ่ายภาพ	8.49	m.	
3	ความยาวโฟกัส	10.4	mm.	
4	จำนวนพิกเซลของกล้องถ่ายภาพ	5472x3648	Pixel.	
5	ขนาดเซนเซอร์	2.44x2.44	µm.	
6	ประเภทชัตเตอร์	อิเล็กทรอนิกส์ชัตเตอร์		
จุดควบคุมภาพถ่าย				
1	จำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย	14	จุด	
2	รูปร่างของจุดควบคุมภาพถ่าย	ครอบคลุมพื้นที่	-	
3	ขนาดของจุดควบคุมภาพถ่าย	1.50x1.50	m.	
4	ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่าย	2.00	cm.	

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจสอบผลการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม

ลำดับ	เกณฑ์การพิจารณา	ผลการตรวจสอบ		หมายเหตุ
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	
คุณภาพของภาพถ่าย				
1	ภาพมีความคมชัด	✓		
2	ภาพมีสีเป็นไปตามจริง	✓		
3	ภาพมีความสว่างสม่ำเสมอ	✓		
การประมวลผลภาพถ่าย				
1	ภาพถ่ายที่นำมาประมวลผลสามารถวัดสอบได้ทุกภาพ	✓		
2	ค่าความถูกต้องของ Tie Point ไม่เกิน 1 พิกเซล	✓		
3	ค่าความถูกต้องของการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายไม่เกิน 2 พิกเซล	✓		
4	ค่า Reprojection Error ไม่เกิน 0.3 พิกเซล	✓		
5	ความละเอียดของ True Orthophoto ไม่น้อยกว่า 1 เท่าของ GSD	✓		
ข้อมูลเชิงตำแหน่ง				
1	True Orthophoto มีความคมชัด และไม่ผิดปกตินอกจากการนำไปใช้งาน	✓		
2	พอยท์คลาวด์มีรายละเอียดที่ชัดเจนและเกาะกลุ่มไปตามลักษณะพื้นที่	✓		

บทที่ 5

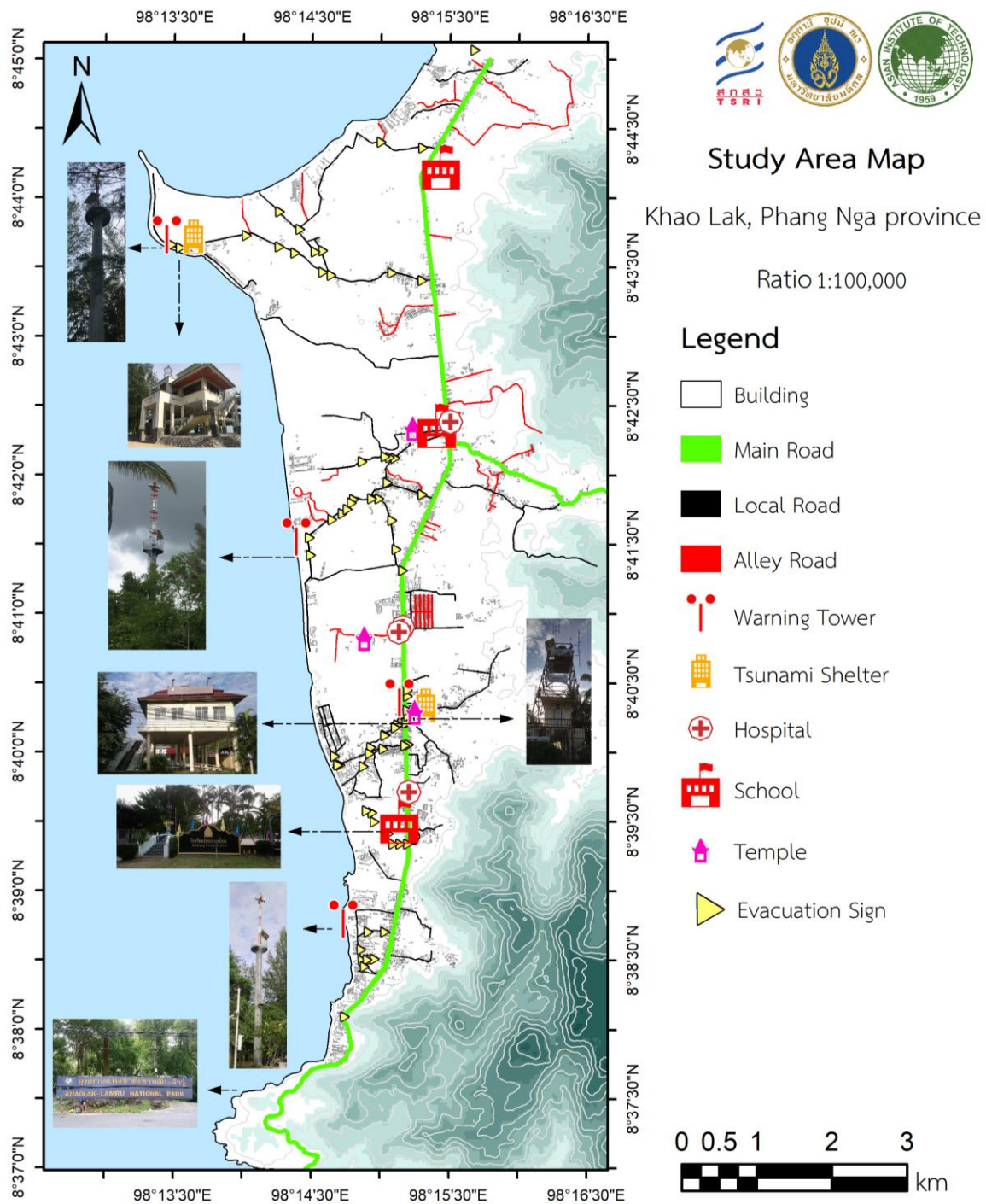
การพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คน

5.1 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง

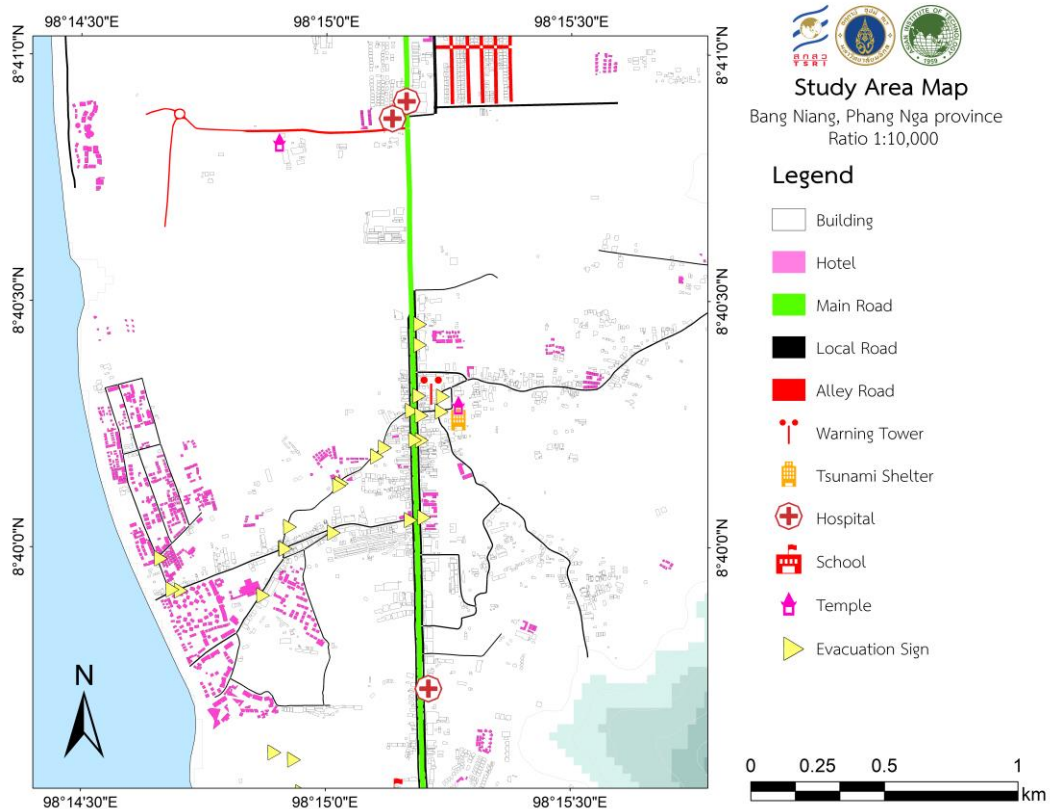
5.1.1 พื้นที่ศึกษาหลัก

พื้นที่ศึกษาหลัก ตั้งอยู่ในตำบลคึกคัก จังหวัดพังงา เป็นพื้นที่ท่องเที่ยวสำคัญของจังหวัด โดยเริ่มตั้งแต่ละติจูดที่ 8.75° ถึง 8.62° และลองจิจูดที่ 98.21° ถึง 98.28° ครอบคลุมพื้นที่โดยประมาณ 112.5 ตารางกิโลเมตร เขาหลักเป็นหนึ่งในหลายพื้นที่เสี่ยงภัยสึนามิที่มีการวางมาตรการลดความเสี่ยง เช่น 1) ระบบเตือนภัยล่วงหน้า 2) อาคารที่ถูกออกแบบให้มีความเฉพาะสำหรับอพยพหนีภัยสึนามิ 3) การซักซ้อมแผนอพยพประจำปี 4) แผนที่และป้ายบอกเส้นทางสำหรับอพยพไปยังที่ปลอดภัย ฯลฯ ซึ่งเป็นข้อมูลองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับการใช้มาตรการที่มีอยู่เหล่านั้นเป็นตัวอย่างในการทดสอบเพื่อหามาตรการอพยพหนีภัยสึนามิที่เหมาะสมกับพื้นที่

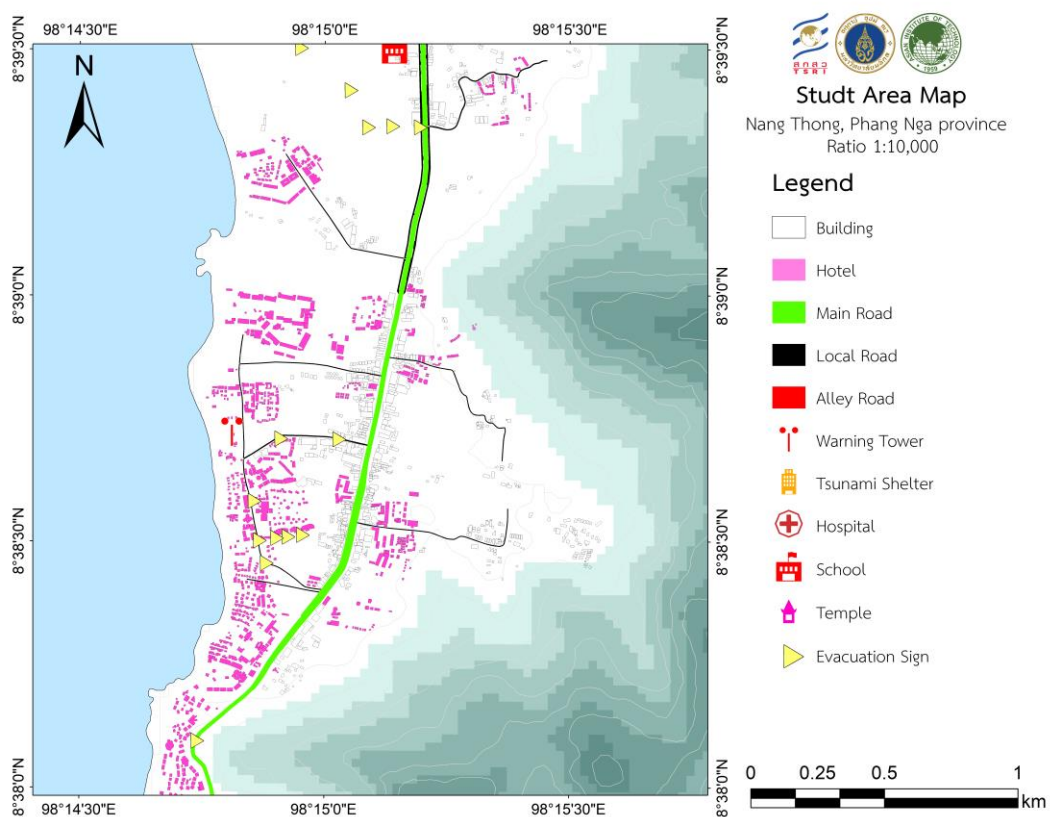
โดยข้อมูลที่ปรากฏในแผนที่ดังรูปที่ 5.1 รูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3 ถูกพัฒนาขึ้นด้วยวิธีการ Digitize อาคารแต่ละหลังจากภาพถ่ายทางอากาศของโปรแกรม ArcMap สำหรับการสร้างข้อมูลขนาดพื้นที่ใช้สอยของแต่ละอาคารเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรคณะผู้วิจัยใช้วิธีการสำรวจด้วย Google Street View เพื่อสร้างข้อมูลลักษณะการใช้งานตาม HAZUS และจำนวนชั้นของแต่ละอาคาร จากนั้นลงพื้นที่สำรวจจริงเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของฐานข้อมูลดังกล่าวบางส่วนจากอาคารที่มีอยู่จริงแทนการลงพื้นที่สำรวจจริงทั้งหมด เขาหลักเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวและสึนามิในมหาสมุทรอินเดียในปี ค.ศ. 2004 มากที่สุด เนื่องจากพื้นที่นี้เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยมมากและมีภูมิประเทศที่ราบ การอพยพในแนวราบมีระยะทางไกลสุดถึงประมาณ 4.5 กิโลเมตร พื้นที่ส่วนหนึ่งของเขาหลักหรือที่เรียกว่า บ้านบางเนียง ได้รับเลือกให้เป็นพื้นที่ศึกษาสำหรับการจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิ โดยพื้นที่นี้มีมาตรการลดความเสี่ยงของสึนามิในทุกมิติ มีอาคารหลบภัย 1 แห่ง เพื่อรองรับการอพยพในแนวดิ่งซึ่งห่างจากชายหาดไปประมาณ 1.4 กิโลเมตร และมีศูนย์อพยพ 1 แห่ง ที่มีการเตรียมเครื่องอุปโภคบริโภครองรับการอพยพ มีการเพิ่มขึ้นของอาคารจำนวนมาก โดยในปี ค.ศ. 2008 มีจำนวนอาคารเพียงประมาณ 650 หลัง และในปี ค.ศ. 2019 มีจำนวนอาคารเกือบ 3,000 หลัง ซึ่งกว่า 70% เป็นตั้งอยู่ในพื้นที่ที่เคยได้รับผลกระทบจากภัยสึนามิปี ค.ศ. 2004 และ 70% ของอาคารเหล่านั้นเป็นที่พักอาศัยหรือโรงแรม โดยสถิตินี้บ่งชี้ถึงแนวโน้มจะเป็นที่มีจำนวนประชากรที่เสี่ยงภัยเพิ่มมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นผู้อยู่อาศัยหรือนักท่องเที่ยว



รูปที่ 5.1 แผนที่พื้นที่ศึกษา เขาหลัก ตำบลคึกคัก จังหวัดพังงา



รูปที่ 5.2 แผนที่พื้นที่ศึกษา บางเนียง เขาหลัก ตำบลคึกคัก จังหวัดพังงา



รูปที่ 5.3 แผนที่พื้นที่ศึกษา นางทอง เขาหลัก ตำบลคึกคัก จังหวัดพังงา

5.1.2 การประมาณจำนวนประชากร (exposure population)

การประมาณจำนวนประชากรสำหรับการจำลองการอพยพจากสึนามิเป็นขั้นตอนที่สำคัญ มีสองวิธีที่นิยมวิธีแรกคือ การใช้ข้อมูลสำมะโนประชากรซึ่งปกติจะแทนจำนวนผู้อยู่อาศัย วิธีที่สองคือ การประมาณจากฐานข้อมูลอาคารในรูปแบบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ที่มีข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ใช้สอยของอาคารประเภทการใช้งาน และสถิติค่าเฉลี่ยจำนวนผู้ใช้อาคารต่อหน่วยพื้นที่ใช้สอย (average number of building occupants per unit area) สถิตินี้อาจได้มาจากการสำรวจอาคารในพื้นที่อื่นที่มีรูปแบบและการใช้งานคล้ายกัน เขาหลักเป็นส่วนหนึ่งของตำบลคึกคัก จังหวัดพังงา สถิติประชากรของตำบลคึกคักระหว่างปี ค.ศ. 2008 ถึง 2018 ระบุว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรตั้งแต่ 0.62% ถึง 4.58% ต่อปี ปี ค.ศ. 2018 มีประชากรทั้งหมด 6,323 คน แม้ว่าวิธีแรกคือการประมาณค่าประชากรที่สะดวก การประมาณนี้ไม่สามารถเป็นตัวแทนของประชากรในพื้นที่ศึกษาได้อย่างถูกต้อง จำนวนประชากรสำหรับการจำลองการอพยพจากสึนามิควรรวมนักท่องเที่ยวและคนนอกพื้นที่ที่มาทำงานด้วย สถิตินักท่องเที่ยวในจังหวัดพังงาระหว่างปี ค.ศ. 2009 ถึง 2018 ระบุว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงนักท่องเที่ยวอยู่ระหว่าง -12.53 ถึง 93.33 ต่อปี ปี ค.ศ. 2018 มีนักท่องเที่ยวทั้งหมด 4,868,330 คน อย่างไรก็ตาม บ้านบางเนียงเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่เขาหลัก ข้อมูลประชากรและนักท่องเที่ยวข้างต้นไม่ได้แสดงถึงประชากรในพื้นที่ศึกษาอย่างถูกต้อง

ในทางกลับกัน การประมาณจำนวนประชากรจากฐานข้อมูลอาคารจำเป็นต้องใช้ในรูปแบบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) พื้นที่ใช้สอยของแต่ละอาคารคำนวณจากพื้นที่อาคารและจำนวนชั้น พื้นที่อาคารถูกสร้างขึ้นโดยการแปลงข้อมูลอาคารแต่ละหลังให้เป็นดิจิทัล (digitize) ตามภาพถ่ายดาวเทียมของโปรแกรม ArcMap หลังจากนั้น ใช้ Google Street View เพื่อจำแนกประเภทการใช้งาน (building occupancy class) และจำนวนชั้นของแต่ละอาคาร ประกอบกับการไปยังพื้นที่ศึกษาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของฐานข้อมูลจากอาคารจริงบางแห่ง สำหรับสถิติค่าเฉลี่ยจำนวนผู้ใช้อาคารต่อหน่วยพื้นที่ใช้สอยเป็นข้อมูลที่คณะผู้วิจัยรวบรวมจากการสำรวจจริงในประเทศไทย ได้แก่ โครงการจัดทำฐานข้อมูลแห่งชาติเพื่อป้องกันและบรรเทาภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวและสึนามิ โดยกรมอุตุนิยมวิทยาปี ค.ศ. 2008 สำรวจอาคารในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต จำนวน 219 หลัง และโครงการจัดทำแผนแม่บทป้องกันและบรรเทาภัยจากแผ่นดินไหวและอาคารถล่ม (ระยะที่ 1) โดยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยปี ค.ศ. 2009 สำรวจอาคารในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพฯ เชียงใหม่ และกาญจนบุรี จำนวน 3,527 1,266 และ 427 หลัง ตามลำดับ ซึ่งแบ่งประเภทการใช้งานของแต่ละอาคาร ที่สำรวจตาม HAZUS ดังตารางที่ 5.4 และตารางที่ 5.5 แม้ว่าในจังหวัดภูเก็ตอาจมีลักษณะการใช้งานของแต่ละอาคารคล้ายกับพื้นที่ศึกษาในจังหวัดพังงา บางประเภทการใช้งานอาคารมีจำนวนที่ถูกสำรวจน้อยจึงเลือกใช้ข้อมูลบางส่วนจากการสำรวจของจังหวัดอื่นๆ ค่าสถิติที่ใช้สำหรับพื้นที่ศึกษาถูกแสดงดังตารางที่ 5.6 สถิติค่าเฉลี่ยจำนวนผู้ใช้อาคารต่อหน่วยพื้นที่ใช้สอยแตกต่างกันอย่างชัดเจนในเวลากลางวันและกลางคืนซึ่งสะท้อนความถึงที่ว่าผู้คนมีการกระจายตัวที่ต่างกันไปในแต่ละช่วงเวลา เช่น บ้านเดี่ยว (RES1) และ โรงแรม (RES4) จะมีจำนวนผู้ใช้อาคารมากในเวลากลางคืน ต่างจาก ร้านค้า ร้านอาหาร (COM) โรงเรียน (GOV1) จะมีจำนวนผู้ใช้อาคารมากในเวลากลางวัน

ตารางที่ 5.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้อยู่อาศัย (คน) ตำบลคึกคัก จังหวัดพังงาปี ค.ศ. 2008 - 2018

อัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างปี (ค.ศ.)	ชาย (ร้อยละ)	หญิง (ร้อยละ)	รวม (ร้อยละ)
2008 - 2009	3.71	5.48	4.58
2009 - 2010	2.36	1.45	1.90
2010 - 2011	1.19	2.70	1.94
2011 - 2012	1.14	0.11	0.62

อัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างปี (ค.ศ.)	ชาย (ร้อยละ)	หญิง (ร้อยละ)	รวม (ร้อยละ)
2012 – 2013	1.30	2.28	1.79
2013 – 2014	2.29	1.70	2.00
2014 – 2015	3.26	2.49	2.88
2015 – 2016	2.80	1.17	1.99
2016 – 2017	1.34	1.05	1.20
2017 – 2018	1.17	1.73	1.44

ที่มา: สำนักบริหารการทะเบียนกรมการปกครอง

ตารางที่ 5.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงจำนวนนักท่องเที่ยว (คน) จังหวัดพังงาปี ค.ศ. 2009 - 2018

อัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างปี (ค.ศ.)	ชาวไทย (ร้อยละ)	ชาวต่างประเทศ (ร้อยละ)	รวม (ร้อยละ)
2009 – 2010	-52.93	18.58	-12.53
2010 – 2011	39.35	23.28	27.04
2011 – 2012	266.78	33.39	93.33
2012 – 2013	6.10	60.18	33.83
2013 – 2014	25.74	102.44	72.81
2014 – 2015	12.07	11.92	11.96
2015 – 2016	5.55	7.77	7.15
2016 – 2017	6.21	5.82	5.93
2017 – 2018	7.01	1.03	2.69

ที่มา: สำนักงานปลัดกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา

ตารางที่ 5.3 จำนวนสถานให้บริการและจำนวนห้องพักของจังหวัดพังงาปี ค.ศ. 2008

	จำนวนสถานให้บริการ	%	จำนวนห้องพัก	%	จำนวนผู้เข้าพัก / ห้อง
เกสต์เฮาส์	39	11%	438	4%	1.84
รีสอร์ทและอื่นๆ	260	75%	9554	77%	1.68
โรงแรม	46	13%	2364	19%	1.80
รวม	345	100%	12,356	100%	

ที่มา: สำนักงานปลัดกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา

จากการเปรียบเทียบผลการประเมินจำนวนประชากรระหว่างปี ค.ศ. 2008 ถึงปี ค.ศ. 2018 มีจำนวนอาคารเพิ่มขึ้น 6,657 หลัง หรือประมาณ 2.15 เท่า ดังรูปที่ 5.4 โดยลักษณะการใช้งานอาคารประเภทบ้านเดี่ยว (RES1) และโรงแรม (RES4) มีอัตราการเพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งจากจำนวนอาคารที่เพิ่มขึ้นส่งผลโดยตรงให้การประเมินจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยจากปี ค.ศ. 2008 ประเมินจำนวนประชากรได้ 14,258 คนในเวลากลางวัน 15,046 คนในเวลากลางคืน และปี ค.ศ. 2018 ประเมินจำนวนประชากรได้ 34,781 คนในเวลากลางวัน 42,741 คนในเวลากลางคืน ยิ่งไปกว่านั้นพื้นที่ศึกษามีนักท่องเที่ยวจำนวนมาก ผลการศึกษาจากแบบสำรวจที่ผ่านมาชี้ว่า นักท่องเที่ยว (tourist) และผู้อยู่อาศัย (resident) มีพฤติกรรมการอพยพหนีภัยสึนามิที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อแยกความแตกต่างของประชากร 2 กลุ่มนี้ในแง่ของการกระจายของประชากร คณะผู้วิจัยตั้งสมมติฐานเพื่อแบ่งสัดส่วนของประชากรแต่ละกลุ่มตามประเภทการใช้งานของแต่ละอาคาร เช่น กำหนดให้ลักษณะการใช้งานอาคารประเภทโรงเรียน (EDU1) สำนักงานของรัฐ (GOV1, GOV2) ธนาคาร (COM5) และโรงเก็บของ (COM2) มีเพียงผู้อยู่อาศัยเท่านั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากสมมติฐานดังกล่าวมีที่ 2 ของตารางที่ 5.7

เมื่อวิเคราะห์ผลการประเมินจำนวนประชากรของฐานข้อมูลโครงการวิจัยนี้ (ปี ค.ศ. 2018) ที่มีสัดส่วนจำนวนประชากรระหว่างผู้อยู่อาศัยต่อนักท่องเที่ยวประมาณร้อยละ 34 ต่อ 66 จากจำนวนประชากรในเวลากลางวันทั้งหมด 34,781 คน และ 31 ต่อ 69 จากจำนวนประชากรในเวลากลางคืนทั้งหมด 42,741 คน ซึ่งหากเทียบกับผลการประเมินจำนวนประชากรของฐานข้อมูลเมื่อปี ค.ศ. 2008 พบว่า แม้ว่ามีจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นในปี ค.ศ. 2018 ประมาณ 20,523 คนหรือ 2.44 เท่าในเวลากลางวัน และ 27,695 คนหรือ 2.84 เท่าในเวลากลางคืน สัดส่วนประชากรระหว่างผู้อยู่อาศัยและนักท่องเที่ยวที่กำหนดจากสมมติฐานแทบจะไม่เปลี่ยนแปลง อีกทั้งการกำหนดสัดส่วนประชากรดังกล่าวส่งผลให้ ในปี ค.ศ. 2008 มีจำนวนประชากรที่ลงทะเบียนไว้กับตำบลคึกคัก 5,172 คน มีความใกล้เคียงกับผลการประเมินจากฐานข้อมูลอาคาร 4,213 คนในเวลากลางวัน และ 4,381 คนในเวลากลางคืน ซึ่งต่างจากผลลัพธ์ของปี ค.ศ. 2018 ที่ในปี ค.ศ. 2018 มีจำนวนประชากรที่ลงทะเบียนไว้กับตำบลคึกคัก 6,323 คน แต่มีผลการประเมินจากฐานข้อมูลอาคาร 11,955 คนในเวลากลางวัน และ 13,461 คนในเวลากลางคืน หรือแตกต่างกันประมาณ 1.89 และ 2.13 ตามลำดับ ซึ่งจำนวนที่แตกต่างนี้มีผลมาจากจำนวนอาคารประเภทบ้านเดี่ยว (RES1) ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาคารประเภทนี้ในปัจจุบันไม่ได้เป็นเพียงที่อยู่อาศัยของประชากรที่ลงทะเบียนไว้กับตำบลคึกคักเท่านั้น แต่ส่วนหนึ่งเป็นที่อาศัยของประชากรเป็นคนนอกพื้นที่ด้วย อีกทั้งยังมีส่วนที่ทำเป็นที่พักอาศัยสำหรับนักท่องเที่ยวราคาประหยัด (Guest house และ Hostel) ที่เป็นที่ยอมรับของนักท่องเที่ยวประเภทแบกเป้เที่ยว (backpacker) ดังตารางที่ 5.3

นอกจากนี้ยังพบว่า ในส่วนของจำนวนนักท่องเที่ยวที่ประเมินได้ในเวลากลางวันปี ค.ศ. 2008 คือ 10,045 คน (กลางวัน) และ 10,666 คน (กลางคืน) เทียบกับปี ค.ศ. 2018 คือ 22,826 คน (กลางวัน) และ 29,280 คน (กลางคืน) มีจำนวนแตกต่างกันประมาณ 2.27 และ 2.75 เท่าตามลำดับ โดยจำนวนที่เพิ่มขึ้นมีผลมาจากจำนวนอาคารประเภทโรงแรม (RES4) ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาคารประเภทเป็นที่พักอาศัยหลักของนักท่องเที่ยว โดยแนวโน้มการเพิ่มขึ้นนี้มีความสอดคล้องกับอัตราการเพิ่มขึ้นของนักท่องเที่ยวในจังหวัดพังงาระหว่างปี ค.ศ. 2009 และปี ค.ศ. 2018 ประมาณ 5.48 เท่า ซึ่งพื้นที่ศึกษาเขาหลักเป็นแหล่งท่องเที่ยวสำคัญแห่งหนึ่งของจังหวัด สำหรับการจำลองการอพยพในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยเลือกใช้ข้อมูลที่เป็นปัจจุบันและเหมาะสมมากที่สุด ดังนั้นข้อมูลนำเข้าของจำนวนประชากรทั้งหมดสำหรับพื้นที่ศึกษาเขาหลักจึงอ้างอิงจากฐานข้อมูลปี ค.ศ. 2018 และจากผลวิเคราะห์ข้างต้น จำนวนผู้อยู่อาศัยที่ประมาณได้แตกต่างจากจำนวนประชากรที่ลงทะเบียนไว้กับตำบลคึกคัก หรือกล่าวคือในกลุ่มประชากรผู้อยู่อาศัยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ ผู้อยู่อาศัยที่ลงทะเบียนและไม่ได้ลงทะเบียน ดังตารางที่ 5.8 และเพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการอพยพจากแบบสำรวจ ดังนั้นจำนวนประชากรทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักคือ ผู้คนในพื้นที่และผู้คนนอกพื้นที่ โดยในเบื้องต้นกำหนดให้จำนวนผู้คนในพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับจำนวนประชากรที่ลงทะเบียนไว้กับตำบลคึกคัก ซึ่งจะมีพฤติกรรมการอพยพแบบผู้อยู่อาศัย (local resident) และผู้คนนอกพื้นที่ที่มีจำนวนเท่ากับผู้อยู่อาศัยที่ลงทะเบียนและไม่ได้ลงทะเบียนรวมกับนักท่องเที่ยว ซึ่งจะมีพฤติกรรมการอพยพแบบผู้มาเยือน (visitor) สุดท้ายแล้วจะมีจำนวนผู้คนในพื้นที่และผู้คนนอกพื้นที่ที่อัตราส่วนร้อยละ 18 ต่อ 82 ในเวลากลางวัน และ 15 ต่อ 85 ในเวลากลางคืน

ตารางที่ 5.4 ค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้อาคารช่วงเวลากลางวันและกลางคืนต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร 100 ตร.ม. (X)

รหัส	คำอธิบาย	จำนวนอาคารที่สำรวจ	กลางวัน	กลางคืน
RES1	บ้านเดี่ยว	26	1.94	3.32
RES2	บ้านเคลื่อนที่ได้ (Mobile home)	-	-	-
RES3A	บ้านแฝด 2 Units	4	1.13	2.28
RES3B	ทาวเฮาส์ ตึกแถว(อยู่อาศัย) คอนโดพาตเมนต์ 3-4 Units	4	0.98	2.89
RES3C	ทาวเฮาส์ ตึกแถว(อยู่อาศัย) คอนโดพาตเมนต์ 5-9 Units	4	1.32	3.69
RES3D	ทาวเฮาส์ ตึกแถว(อยู่อาศัย) คอนโดพาตเมนต์ 10-19 Units	2	1.24	2.37
RES3E	ทาวเฮาส์ ตึกแถว(อยู่อาศัย) คอนโดพาตเมนต์ 20-49 Units	6	1.34	4.68
RES3F	ทาวเฮาส์ ตึกแถว(อยู่อาศัย) คอนโดพาตเมนต์ +50 Units	-	-	-
RES3	ทาวเฮาส์ ตึกแถว (ไม่ได้จำแนกลักษณะการใช้งานตาม Units)	0	1.20	3.18
RES4	โรงแรม บังกะโล รีสอร์ท	9	1.12	3.27
RES5	หอพักในมหาวิทยาลัย เรือนจำ ที่พักทหาร ตำรวจ	4	0.46	5.15
RES6	บ้านพักคนชรา	-	-	-
COM1	ร้านค้าปลีก ร้านขายของ	26	7.31	4.42
COM2	ร้านค้าส่ง โรงเก็บของ	3	1.09	0.71
COM3	ร้านซ่อมรถ ศูนย์บริการซ่อมรถ คาร์แคร์ ร้านบริการซักรีด ถ่ายเอกสาร ซ่อมทีวี	14	3.14	1.39
COM4	บริษัท ห้างหุ้นส่วน	14	3.95	1.89
COM5	ธนาคาร	6	5.64	0.09
COM6	โรงพยาบาล จำนวนเตียง (< 50 50-150 > 150 เตียง)	1	2.56	0.85
COM7	คลินิก ร้านขายยา	7	2.37	1.31
COM8	ร้านอาหาร สถานบันเทิง ร้านเสริมสวย ตัดผม สปา ร้านเกม ร้านอินเทอร์เน็ต	36	8.28	6.42
COM9	โรงภาพยนตร์	-	-	-
COM10	อาคารจอดรถ โรงจอดรถ	9	0.00	0.00
COM	ร้านค้าอื่นๆ (ไม่สามารถจำแนกลักษณะการใช้งานได้)	0	3.82	1.90
IND1	โรงงานประกอบรถยนต์ โรงงานผลิตแบตเตอรี่โรงงานผลิตยางรถยนต์ (อุตสาหกรรมหนัก)	-	-	-
IND2	โรงพิมพ์/กระดาษ โรงงานผลิตเครื่องเขียน เฟอร์นิเจอร์ โรงงานเจียรพลอย (อุตสาหกรรมขนาดย่อม, ครั้วเรือน)	-	-	-
IND3	โรงงานผลิตอาหาร/ยา/เคมีภัณฑ์	-	-	-

รหัส	คำอธิบาย	จำนวนอาคารที่สำรวจ	กลางวัน	กลางคืน
IND4	โรงงานถลุงแร่ โรงโม่หิน ปูนซีเมนต์ โรงเหล็ก	-	-	-
IND5	โรงงานผลิตชิ้นส่วนคอมฯ เครื่องมือแพทย์	-	-	-
IND6	อาคารที่กำลังก่อสร้าง	1	2.35	0.31
AGR1	โรงเพาะชำ ปศุสัตว์	-	-	-
REL1	วัด โบสถ์ มัสยิด ศาลเจ้า สมาคม มูลนิธิ	10	12.83	1.46
GOV1	เทศบาล ศาล ไปรษณีย์ หน่วยงานรัฐบาลอื่นๆ	8	9.10	1.45
GOV2	สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง	4	3.30	1.95
EDU1	โรงเรียนอนุบาล โรงเรียนประถม/มัธยม หอสมุด	21	15.27	0.00
EDU2	วิทยาลัย มหาวิทยาลัย	0	3.25	0.10
UTIL	อื่นๆ (ไม่สามารถเข้าถึงหรือระบุลักษณะการใช้งานได้)	-	-	-
	รวม	219		

ที่มา: โครงการจัดทำฐานข้อมูลแห่งชาติเพื่อป้องกันและบรรเทาภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวและสึนามิ โดยกรมอุตุนิยมวิทยาปีค.ศ. 2008

ตารางที่ 5.5 ค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของจำนวนผู้ใช้อาคารช่วงเวลากลางวันและกลางคืนต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร 100 ตร.ม. ($\bar{X} \pm \sigma$)

	กรุงเทพฯ			เชียงใหม่			กาญจนบุรี			ATC-13	
รหัส	จำนวนอาคารที่สำรวจ	กลางวัน	กลางคืน	จำนวนอาคารที่สำรวจ	กลางวัน	กลางคืน	จำนวนอาคารที่สำรวจ	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
RES1	353			187			94			1.29	3.33
RES2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RES3A	19	1.19±1.67	3.02±3.03	17	1.33±1.22	1.78±1.41	7	0.9±1.08	2.48±1.18	2.15	3.23
RES3B	74	1.4±1.58	3.29±3.59	21	0.86±2.08	1±1.67	15	0.86±0.95	1.19±1.33	2.15	3.23
RES3C	182	1.49±1.74	2.59±1.98	34	0.67±0.86	2.48±2.05	22	0.73±1.09	1.64±1.33	2.15	3.23
RES3D	111	2.23±2.29	5.2±4.9	50	1.63±1.75	3.57±1.37	9	1.1±1.42	7.09±1.2	2.15	3.23
RES3E	154	1.41±1.52	4.84±4.28	69	2.17±2.64	4.08±1.37	0	1.1±1.42	7.09±1.2	2.15	3.23
RES3F	224	0.93±0.96	3.15±2.97	30	1.05±1.65	3.05±1.69	0	1.1±1.42	7.09±1.2	2.15	3.23
RES3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RES4	70	0.71±0.07	0.88±0.99	54	1.07±1.27	1.7±1.41	6	1.92±2.32	4.47±1.95	0.65	2.69
RES5	272	1.05±0.94	4.03±2.06	76	1.49±1.8	4.09±1.64	23	1.08±1.35	2.9±1.33	2.15	3.23
RES6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COM1	42	1.33±2.29	1.03±2.19	21	2.13±4.03	0.24±4.86	39	1.76±1.12	1.32±1.22	10.76	0.00
COM2	103	0.71±1.45	0.06±0.29	25	1.68±2.24	0.66±2.06	29	2.15±2.27	0.61±1.82	1.08	0.00
COM3	117	2.03±2.3	0.3±0.56	75	1.47±1.73	0.61±1.93	32	2.88±2.82	0.5±2.16	4.31	0.11
COM4	284	2.33±2.8	0.18±0.62	97	1.69±1.68	0.3±2.7	12	1.8±1.33	0.47±1.91	4.31	0.00
COM5	59	2.41±2.64	0.18±0.26	18	2.29±2.42	0.08±1.86	6	5.48±9.2	0.09±4.11	4.31	0.00
COM6	126	0.22±0.27	0.11±0.17	14	5.01±4.48	3.25±1.55	14	9.88±5.8	3.32±1.17	5.38	2.15
COM7	101	5.16±4.6	0.89±1.35	27	3.29±3.27	0.77±2.21	10	2.91±1.89	1.02±1.14	5.38	2.15
COM8	292	5.76±4.87	0.66±2.7	119	3.38±3.34	3.88±2.63	21	2.17±3.43	1.35±1.7	6.46	0.00
COM9	8	7.78±4.48	4.22±2.02	0	0±0	0±0	0	0±0	0±0	6.46	0.00
COM10	56	1.97±2.39	0.62±0.92	13	0.21±0.38	0.01±3.1	7	2.29±4.24	0.91±2.7	0.22	0.00
COM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

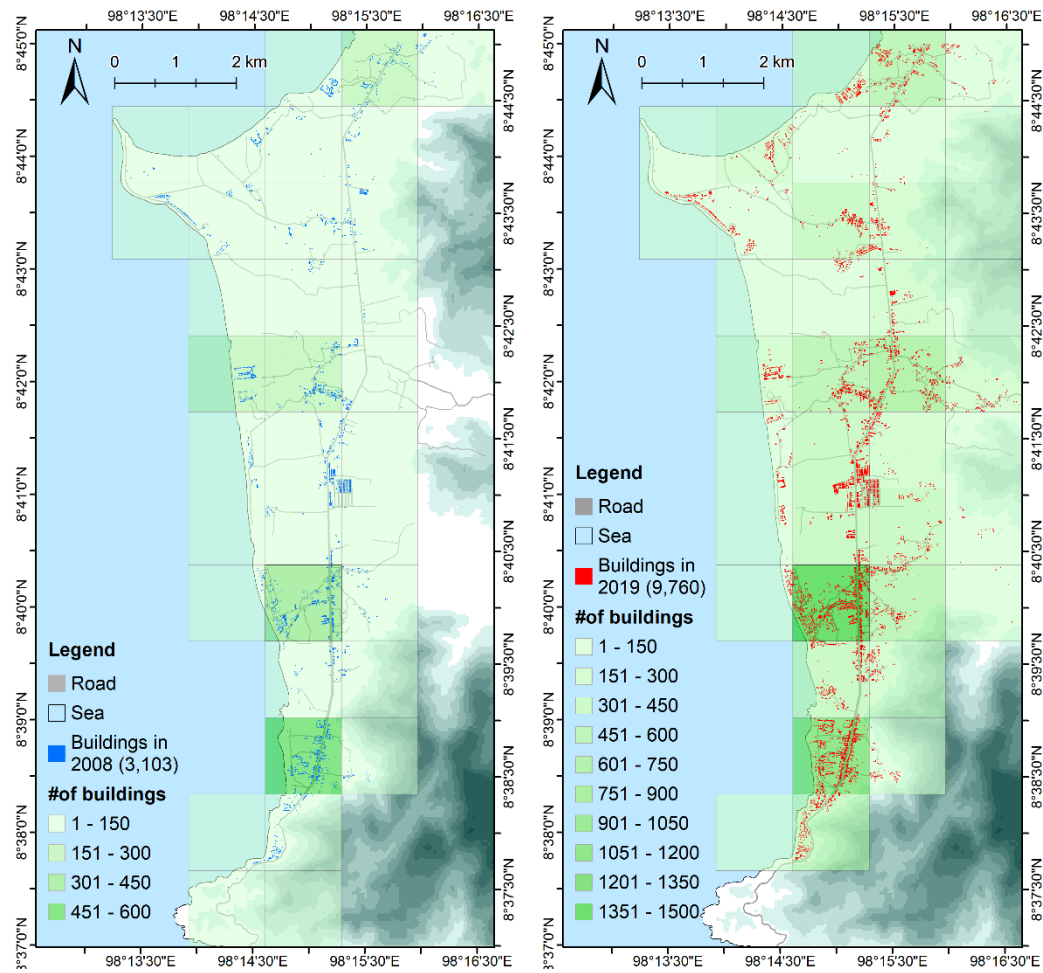
	กรุงเทพฯ			เชียงใหม่			กาญจนบุรี			ATC-13	
รหัส	จำนวนอาคารที่สำรวจ	กลางวัน	กลางคืน	จำนวนอาคารที่สำรวจ	กลางวัน	กลางคืน	จำนวนอาคารที่สำรวจ	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
IND1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IND2	46	0.77±0.94	0.2±0.51	31	1.38±1.24	0.2±2.61	8	0.65±1.84	0.03±3.62	5.38	0.32
IND3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IND4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IND5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IND6	29	0.2±0.36	0.01±0.04	0	1.38±1.24	0.2±2.61	0	0.65±1.84	0.03±3.62	2.69	0.32
AGR1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
REL1	86	0.78±1.29	0.12±0.4	102	3.15±3.12	1.11±2.86	25	1.65±1.65	0.15±4.04	69.97	0.00
GOV1	250	2.8±2.6	0.09±0.57	49	2.52±2.77	0.13±4.57	28	5.31±2.5	0.19±2.93	4.31	0.00
GOV2	29	3.83±4.19	0.82±1.24	0	2.52±2.77	0.13±4.57	0	5.31±2.5	0.19±2.93	3.23	0.43
EDU1	218	9.76±7.41	0.14±0.94	65	7.23±6.68	0.21±4.05	20	8.03±6.75	0.05±2.61	21.53	0.00
EDU2	222	3.25±3.03	0.1±0.39	72	5.08±4.91	0.31±3.84	0	8.03±6.75	0.05±2.61	21.53	0.00
UTIL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	3,527			1,266			427				

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทป้องกันและบรรเทาภัยจากแผ่นดินไหวและอาคารถล่ม (ระยะที่ 1) โดยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยปีค.ศ. 2009

ตารางที่ 5.6 ผลการประมาณจำนวนประชากรของพื้นที่ศึกษาหลักจากค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้อาคารและฐานข้อมูลอาคารปีค.ศ. 2008 และปีค.ศ. 2018

รหัส	อ้างอิง	ค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้ อาคารต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร 100 ตร.ม. ($\bar{X}$)		ฐานข้อมูลอาคารปีค.ศ. 2008				ฐานข้อมูลอาคารปีค.ศ. 2018			
				จำนวน อาคาร	%	ผลการประมาณ จำนวนผู้ใช้อาคาร		จำนวน อาคาร	%	ผลการประมาณ จำนวนผู้ใช้อาคาร	
		กลางวัน	กลางคืน			กลางวัน	กลางคืน			กลางวัน	กลางคืน
RES1	ภูเก็ต	1.94	3.32	1,093	35.22%	3,619	6,197	4,599	47.12%	10,514	18,006
RES2	ภูเก็ต	0.00	0.00	98	3.16%	0	0	0	0.00%	0	0
RES3A	เชียงใหม่	1.33	1.78	18	0.58%	361	483	0	0.00%	0	0
RES3B	เชียงใหม่	0.86	1.00	15	0.48%	209	246	0	0.00%	0	0
RES3	เชียงใหม่	1.33	2.58	0	0.00%	0	0	205	2.10%	2,094	4,077
RES4	เชียงใหม่	1.07	1.70	814	26.23%	2,749	4,334	3,348	34.30%	8,014	12,619
RES5	เชียงใหม่	1.49	4.09	1	0.03%	15	40	0	0.00%	0	0
RES6	ภูเก็ต	0.00	0.00	1	0.03%	0	0	0	0.00%	0	0
COM1	ภูเก็ต	7.31	4.42	228	7.35%	5,786	3,493	263	2.69%	3,941	2,384
COM2	กาญจนบุรี	2.15	0.61	47	1.51%	158	44	89	0.91%	600	168
COM3	ภูเก็ต	3.14	1.39	9	0.29%	30	14	57	0.58%	262	116
COM4	ภูเก็ต	3.95	1.89	1	0.03%	15	7	46	0.47%	795	382
COM5	ภูเก็ต	5.64	0.09	1	0.03%	4	0	6	0.06%	180	3
COM7	ภูเก็ต	2.37	1.31	2	0.06%	7	4	11	0.11%	78	45
COM8	เชียงใหม่	3.38	3.88	9	0.29%	62	70	677	6.94%	3,414	3,911
COM10	ภูเก็ต	0.00	0.00	34	1.10%	0	0	7	0.07%	0	0
COM	เชียงใหม่	2.33	1.09	0	0.00%	0	0	203	2.08%	1,621	748
IND2	เชียงใหม่	1.38	0.20	1	0.03%	1	0	0	0.00%	0	0
IND4	เชียงใหม่	1.38	0.20	1	0.03%	2	0	0	0.00%	0	0
IND6	เชียงใหม่	1.38	0.20	4	0.13%	1	0	0	0.00%	0	0
AGR1	ภูเก็ต	0.00	0.00	18	0.58%	0	0	0	0.00%	0	0

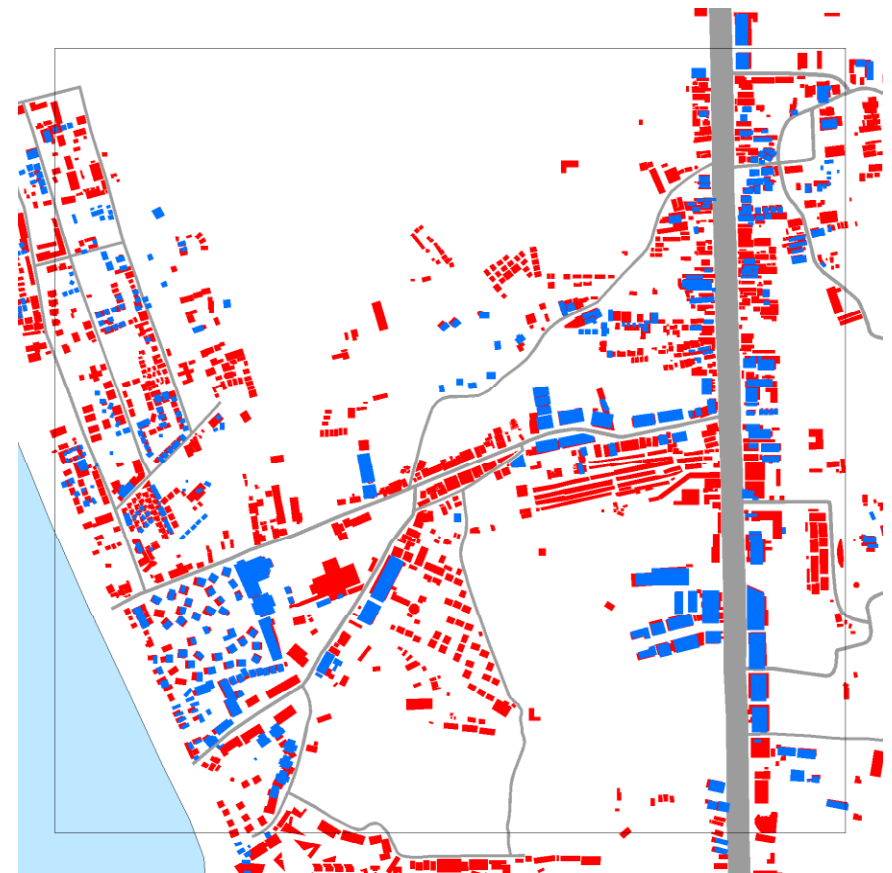
รหัส	อ้างอิง	ค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้ อาคารต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร 100 ตร.ม. ($\bar{X}$)		ฐานข้อมูลอาคารปีค.ศ. 2008				ฐานข้อมูลอาคารปีค.ศ. 2018			
				จำนวน อาคาร	%	ผลการประมาณ จำนวนผู้ใช้อาคาร		จำนวน อาคาร	%	ผลการประมาณ จำนวนผู้ใช้อาคาร	
		กลางวัน	กลางคืน			กลางวัน	กลางคืน			กลางวัน	กลางคืน
REL1	เชียงใหม่	3.15	1.11	58	1.87%	323	110	107	1.10%	640	220
GOV1	เชียงใหม่	2.52	0.13	31	1.00%	77	1	49	0.50%	270	9
GOV2	ภูเก็ต	3.30	1.95	0	0.00%	0	0	9	0.09%	91	53
EDU1	ภูเก็ต	15.27	0.00	21	0.68%	793	0	50	0.51%	2,267	0
EDU2	เชียงใหม่	5.08	0.31	1	0.03%	46	3	0	0.00%	0	0
UTIL	ภูเก็ต	0.00	0.00	597	19.24%	0	0	34	0.35%	0	0
รวม				3,103	100%	14,258	15,046	9,760	100%	34,781	42,741



ฐานข้อมูลอาคารปีค.ศ. 2008

ฐานข้อมูลอาคารปีค.ศ. 2018

รูปที่ 5.4 แผนที่แสดงฐานข้อมูลอาคารปีค.ศ. 2008 และปีค.ศ. 2018



ตัวอย่างภาพซ้อนทับของพื้นที่บางเนียง (BN)
ระหว่างฐานข้อมูลปีค.ศ. 2008 (สีฟ้า) กับปีค.ศ. 2018 (สีแดง)

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบผลการประมาณจำนวนประชากรระหว่างฐานข้อมูลปีค.ศ. 2008 กับปีค.ศ. 2018

รหัส	สัดส่วนของผู้ใช้อาคาร		จำนวนผู้ใช้อาคาร (ฐานข้อมูลปีค.ศ. 2008)						จำนวนผู้ใช้อาคาร (ฐานข้อมูลปีค.ศ. 2018)					
			ช่วงเวลากลางวัน			ช่วงเวลากลางคืน			ช่วงเวลากลางวัน			ช่วงเวลากลางคืน		
	ผู้อยู่อาศัย	นักท่องเที่ยว	ทั้งหมด	ผู้อยู่อาศัย	นักท่องเที่ยว	ทั้งหมด	ผู้อยู่อาศัย	นักท่องเที่ยว	ทั้งหมด	ผู้อยู่อาศัย	นักท่องเที่ยว	ทั้งหมด	ผู้อยู่อาศัย	นักท่องเที่ยว
RES1	50%	50%	3,619	1,810	1,810	6,197	3,099	3,099	10,514	5,257	5,257	18,006	9,003	9,003
RES2	50%	50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES3A	50%	50%	361	181	181	483	242	242	0	0	0	0	0	0
RES3B	50%	50%	209	105	105	246	123	123	0	0	0	0	0	0
RES3	50%	50%	0	0	0	0	0	0	2,094	1,047	1,047	4,077	2,039	2,039
RES4	10%	90%	2,749	275	2,474	4,334	433	3,901	8,014	801	7,213	12,619	1,262	11,357
RES5	50%	50%	15	8	8	40	20	20	0	0	0	0	0	0
RES6	50%	50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COM1	10%	90%	5,786	579	5,207	3,493	349	3,144	3,941	394	3,547	2,384	238	2,146
COM2	100%	0%	158	158	0	44	44	0	600	600	0	168	168	0
COM3	10%	90%	30	3	27	14	1	13	262	26	236	116	12	104
COM4	20%	80%	15	3	12	7	1	6	795	159	636	382	76	306
COM5	100%	0%	4	4	0	0	0	0	180	180	0	3	3	0
COM7	50%	50%	7	4	4	4	2	2	78	39	39	45	23	23
COM8	10%	90%	62	6	56	70	7	63	3,414	341	3,073	3,911	391	3,520
COM10	50%	50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COM	10%	90%	0	0	0	0	0	0	1,621	162	1,459	748	75	673
IND2	50%	50%	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IND4	50%	50%	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IND6	50%	50%	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AGR1	50%	50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
REL1	50%	50%	323	162	162	110	55	55	640	320	320	220	110	110

รหัส	สัดส่วนของผู้ใช้อาคาร		จำนวนผู้ใช้อาคาร (ฐานข้อมูลปีค.ศ. 2008)						จำนวนผู้ใช้อาคาร (ฐานข้อมูลปีค.ศ. 2018)					
			ช่วงเวลากลางวัน			ช่วงเวลากลางคืน			ช่วงเวลากลางวัน			ช่วงเวลากลางคืน		
	ผู้อยู่อาศัย	นักท่องเที่ยว	ทั้งหมด	ผู้อยู่อาศัย	นักท่องเที่ยว	ทั้งหมด	ผู้อยู่อาศัย	นักท่องเที่ยว	ทั้งหมด	ผู้อยู่อาศัย	นักท่องเที่ยว	ทั้งหมด	ผู้อยู่อาศัย	นักท่องเที่ยว
GOV1	100%	0%	77	77	0	1	1	0	270	270	0	9	9	0
GOV2	100%	0%	0	0	0	0	0	0	91	91	0	53	53	0
EDU1	100%	0%	793	793	0	0	0	0	2,267	2,267	0	0	0	0
EDU2	100%	0%	46	46	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0
UTIL	50%	50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รวม			14,258	4,213	10,045	15,046	4,381	10,666	34,781	11,955	22,826	42,741	13,461	29,280
				30%	70%		29%	71%		34%	66%		31%	69%

ตารางที่ 5.8 ผลการประมาณจำนวนประชากรที่แบ่งกลุ่มผู้อยู่อาศัยออกเป็น 2 กลุ่มย่อย จากฐานข้อมูลปีค.ศ. 2018

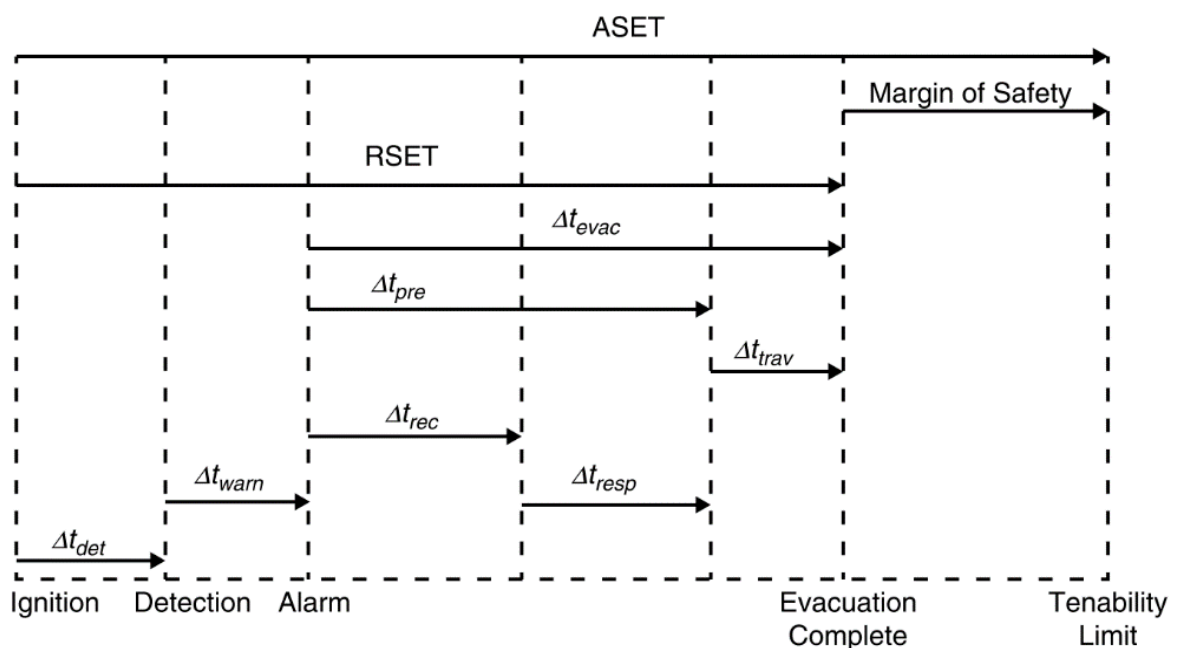
รหัส	จำนวนอาคาร	%	ช่วงเวลากลางวัน					ช่วงเวลากลางคืน				
			ทั้งหมด	ผู้อยู่อาศัย	ลงทะเบียน	ไม่ลงทะเบียน	นักท่องเที่ยว	ทั้งหมด	ผู้อยู่อาศัย	ลงทะเบียน	ไม่ลงทะเบียน	นักท่องเที่ยว
RES1	4,599	47.12%	10,514	5,257	2,780	2,477	5,257	18,006	9,003	4,229	4,774	9,003
RES3	205	2.10%	2,094	1,047	554	493	1,047	4,077	2,039	958	1,081	2,039
RES4	3,348	34.30%	8,014	801	424	378	7,213	12,619	1,262	593	669	11,357
COM1	263	2.69%	3,941	394	208	186	3,547	2,384	238	112	126	2,146
COM2	89	0.91%	600	600	317	283	0	168	168	79	89	0
COM3	57	0.58%	262	26	14	12	236	116	12	5	6	104
COM4	46	0.47%	795	159	84	75	636	382	76	36	41	306
COM5	6	0.06%	180	180	95	85	0	3	3	1	2	0
COM7	11	0.11%	78	39	21	18	39	45	23	11	12	23
COM8	677	6.94%	3,414	341	181	161	3,073	3,911	391	184	207	3,520
COM10	7	0.07%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COM	203	2.08%	1,621	162	86	76	1,459	748	75	35	40	673
REL1	107	1.10%	640	320	169	151	320	220	110	52	58	110
GOV1	49	0.50%	270	270	143	127	0	9	9	4	5	0
GOV2	9	0.09%	91	91	48	43	0	53	53	25	28	0
EDU1	50	0.51%	2,267	2,267	1,199	1,068	0	0	0	0	0	0
UTIL	34	0.35%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รวม	9,760	100%	34,781	11,955	6,323	5,632	22,826	42,741	13,461	6,323	7,138	29,280
				34%	18%	16%	66%		31%	15%	16%	69%

5.1.3 ข้อมูลเชิงพฤติกรรมกรอพยพหนีภัยสึนามิจากงานวิจัย

คณะผู้วิจัยรวบรวมพฤติกรรมที่พบเห็นทั้งจากงานวิจัยและรายงานข่าวที่ผ่านมา และนำมาจำแนกตามแบบจำลองแผนผังลำดับเวลาเหตุการณ์ (Timeline model) ดังแสดงในรูปที่ 5.5 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1) กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับระบบเตือนภัย ที่เป็นความรับผิดชอบโดยตรงของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องคือ การตรวจพบสาธารณภัย (Δt_{det}) และการเตือนภัย (Δt_{warn}) พบว่าสำหรับประเทศไทยการวิเคราะห์แผ่นดินไหวโดยกรมอุตุนิยมวิทยาจะใช้เวลาไม่เกิน 5 นาที หรือ $\Delta t_{det} \leq 5$ จากนั้นเมื่อข้อมูลมาถึงศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ (ศภช.) จะวิเคราะห์ตามเกณฑ์การเตือนภัย (criteria) ที่กำหนด โดยจะใช้เวลาอีกไม่เกิน 5 นาที หรือ $\Delta t_{warn1} \leq 5$ เพื่อแจ้งผู้ที่เกี่ยวข้องในช่องทางต่างๆ (channels) เช่น ข้อความสั้น (SMS) แฟกซ์ (Fax) อีเมล (Email) หรือข้อความวิ่ง แต่สำหรับการส่งสัญญาณไปยังหอเตือนภัยจะต้องรอการยืนยันจากการตรวจสอบข้อมูลการเกิดสึนามิจากทุ่นจะใช้เวลานานที่สุดไม่เกิน 30 นาที หรือ $\Delta t_{warn2} \leq 30$ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของแผ่นดินไหว (ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ, 2017)

2) กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการหนีภัยที่เป็นพฤติกรรมของผู้อพยพโดยตรงคือ การเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพ (Δt_{pre}) และการเดินทางอพยพไปยังจุดหมาย (Δt_{trav}) ซึ่งเวลาที่ใช้มีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของผู้อพยพแต่ละคน กล่าวคือการอพยพเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อน (complex) และเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา (dynamic) แต่ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้อพยพมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีโอกาสดูที่พฤติกรรมเหล่านี้ถูกเข้าใจมากขึ้นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 5.5 Egress timeline model (Ronchi & Nilsson, 2016)

5.1.3.1 พฤติกรรมที่พบในต่างประเทศ

ในประเทศญี่ปุ่น Song et al. (2017) ศึกษาการอพยพเคลื่อนที่ของผู้คนในเหตุการณ์แผ่นดินไหวด้วยข้อมูล GPS จากมือถือของผู้คนทั่วประเทศญี่ปุ่นพบว่า ถ้ามีการแจ้งเตือนในเวลาฉุกเฉินและความรุนแรงของแผ่นดินไหวไม่มากนัก ผู้คนเลือกที่จะอยู่ที่บ้าน แต่ถ้าหากได้รับข่าวสารเกี่ยวกับแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ระหว่างการเดินทาง บางส่วนเลือกที่จะกลับไปที่บ้านก่อน Makinoshima, Imamura, & Abe (2016) ศึกษาพฤติกรรมของผู้อพยพที่รวบรวมจากแบบสอบถาม การสัมภาษณ์ และมัลติมีเดียพบว่า ผู้คนประมาณ 20% เริ่มอพยพภายใน 5 นาที หลังการแจ้งเตือน โดยมีลักษณะการแจกแจงคล้ายกับ log-normal และเลือกอพยพไปที่ศูนย์อพยพมากกว่าไปที่อาคารอพยพที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ ซึ่งในจำนวนของผู้อพยพประมาณ 50% เลือกที่จะใช้รถ อีกทั้งยังพบว่า 70% มีแนวโน้มที่จะอพยพไปไกลถึง 3 กิโลเมตร และพบการจราจรติดขัดบริเวณถนนสายหลัก Goto, Mikami, & Nakabayashi (2012) เสนอข้อเท็จจริงเกี่ยวกับการอพยพหนีภัยสึนามิไว้ว่า ผู้สูงอายุหลายคนที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างคล่องแคล่วจึงเลือกที่จะขึ้นไปขึ้นสองของบ้าน ในทางตรงกันข้ามผู้คนที่เคยย้ายที่อยู่เนื่องจากเหตุการณ์สึนามิในอดีต มีแนวโน้มที่จะไม่อพยพ แต่ก็ยังมีผู้คนจำนวนมากเลือกอพยพทันทีเมื่อรู้สึกถึงแรงสั่นสะเทือน แม้แผนที่เสี่ยงภัยส่งผลต่อความตระหนักของผู้คน ผู้อพยพบางส่วนเลือกที่จะกลับไปที่บ้านเพื่อช่วยเหลือผู้สูงอายุ อีกทั้งจุดอพยพบางส่วนไม่สูงพอที่จะใช้หลบภัย และหลายพื้นที่ไม่สามารถยับยั้งการอพยพด้วยยานพาหนะได้ Yun & Hamada (2012) ให้ความสนใจเกี่ยวกับพฤติกรรมที่แตกต่างกันระหว่างผู้รอดชีวิตกับผู้เสียชีวิตหรือผู้สูญหาย พบว่าข้อมูลผู้คนประมาณ 39.4% เริ่มอพยพตามคำแนะนำของผู้อพยพคนอื่น และประมาณ 48% ของผู้เสียชีวิตที่ไม่สามารถหรือไม่อพยพเพราะเชื่อว่าที่อยู่ของตนปลอดภัยจากสึนามิ โดย 34% ของผู้อพยพเลือกที่จะกลับไปที่บ้านเพื่อหาและรับคนในครอบครัว

แม้ว่าจะมีการศึกษาพฤติกรรมการอพยพหนีภัยสึนามิจำนวนมากในประเทศญี่ปุ่น แต่ก็สามารถพบเห็นการศึกษาในลักษณะนี้ในประเทศอื่นๆ เช่น ในประเทศนิวซีแลนด์ Fraser, Johnston, & Leonard (2013) ศึกษาความตระหนักและความตั้งใจของผู้อพยพพบว่า ผู้คนอาจมีการตอบสนองต่อแผ่นดินไหวแต่อาจไม่สามารถอพยพหนีภัยสึนามิได้อย่างเหมาะสม และแม้ว่าผู้คนบางส่วนเลือกอพยพไปยังพื้นที่สูง แต่ก็มีผู้คนจำนวนหนึ่งก็เลือกกลับไปที่บ้านที่อยู่ในเมืองที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัย โดยลักษณะโครงสร้างอาคารอพยพมีผลต่อการตัดสินใจของผู้คนยิ่งไปกว่านั้นผู้อยู่อาศัย ครึ่งต่อครึ่งเลือกอพยพทั้งทางเท้าและยานพาหนะ แต่นักท่องเที่ยวเลือกอพยพทางเท้ามากกว่ายานพาหนะ ในประเทศอินโดนีเซีย Yulianto et al. (2010) ได้ถอดบทเรียนการอพยพหนีภัยสึนามิที่ผ่านมา พบว่าประชากรส่วนมากไม่ได้รับการแจ้งเตือน เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานหลายอย่างได้รับความเสียหาย ส่งผลให้ไฟฟ้าดับและการสื่อสารขัดข้อง อีกทั้งหลังเกิดแผ่นดินไหว ประชากรส่วนหนึ่งเลือกที่จะไม่อพยพ ซึ่งขัดกับนโยบายของเมืองที่เมื่อรับรู้ได้ถึงแรงสั่นสะเทือนให้อพยพทันที โดยประชากรบางส่วนเลือกที่จะไปมุงดูตึกที่เสียหายจากแผ่นดินไหว หรือไปรวมตัวกันที่ชายหาดเพื่อสังเกตการณ์ และผู้อพยพเลือกอพยพทั้งทางเท้าและยานพาหนะ โดยเส้นทางอพยพบางส่วนอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยสึนามิและมีระยะไกล

5.1.3.2 พฤติกรรมที่พบในประเทศไทย

ในประเทศไทย Charnkol & Tanaboriboon (2006) ศึกษาพฤติกรรมการอพยพระหว่างนักท่องเที่ยวและผู้อยู่อาศัย พบว่าจำนวนสมาชิกในครอบครัวและจำนวนทรัพย์สินมีค่า ส่งผลต่อการตัดสินใจเริ่มอพยพ โดยกลุ่มวัยรุ่นมีแนวโน้มที่จะเริ่มอพยพหาเนื่องจากขาดความตระหนัก และนักท่องเที่ยวมีแนวโน้มที่จะเริ่มอพยพไวกว่าคนในพื้นที่ นอกจากนั้นพฤติกรรมที่พบจากเหตุการณ์สึนามิได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้สร้างแบบจำลองการอพยพ

เช่น แบบจำลอง TUNAMI-EVAC1 ที่อัตราการเสียชีวิตของผู้คนขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสึนามิ (Mas et al., 2012) แบบจำลองที่คำนึงถึงลักษณะการเดินทางของผู้อพยพ (Makinoshima, Imamura, and Abe 2016) แบบจำลองเพื่อการจัดการภัยพิบัติ (Trumikaborworn et al., 2017) แบบจำลอง Artisoc ที่คำนึงถึงผู้อพยพที่เป็นนักท่องเที่ยวและผู้อยู่อาศัย (Takabatake et al., 2017) และแบบจำลองจราจร (traffic simulation) Human Flow กับพฤติกรรมผู้อพยพ (Kashiyama et al., 2018)

จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า แม้บริบทของการอพยพของกรณีศึกษาจะแตกต่างกัน แต่พบว่ามีหลายพฤติกรรมที่มักพบในการอพยพหนีภัยสึนามิดังแสดงในตารางที่ ผ.1 โดยแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วงย่อย คือ 1) เริ่มอพยพ พบว่า ผู้คนบางส่วนไม่ได้เริ่มอพยพทันทีหลังได้รับการแจ้งเตือนและบางส่วนเลือกที่จะไม่อพยพ ช่วงเวลาที่ได้รับการแจ้งเตือน กลางวัน กลางคืน มีผลต่อการตัดสินใจ ผู้คนในพื้นที่เสี่ยงบางคนไม่ได้รับการแจ้งเตือนเนื่องจากปัญหาทางเทคนิค จำนวนสมาชิกในครอบครัวมีผลต่อการตัดสินใจเริ่มอพยพ ผู้คนในแต่ละช่วงอายุมีการตัดสินใจที่แตกต่างกัน นักท่องเที่ยวมีแนวโน้มที่จะเริ่มอพยพไวกว่าคนในพื้นที่ เป็นต้น 2) จุดหมายปลายทาง พบว่า ผู้อพยพเลือกเดินทางไปจุดอพยพมากกว่าอาคารอพยพที่มีการออกแบบมาโดยเฉพาะ หากขณะนั้นผู้อพยพไม่ได้อยู่ที่บ้าน บ้านมักเป็นสถานที่แรกๆที่ผู้คนเลือกที่จะไปก่อนเริ่มอพยพ ผู้คนบางส่วนเลือกที่จะมุ่งดูตึกที่เสียหายจากแผ่นดินไหว หรือไปรวมตัวกันที่ชายหาดเพื่อสังเกตการณ์ ช่วงเวลาในการอพยพกลางวัน กลางคืน มีผลต่อการตัดสินใจเลือกจุดหมายปลายทาง เป็นต้น 3) ลักษณะการเดินทาง พบว่า ผู้คนเลือกอพยพทั้งทางเท้าและยานพาหนะ ในบางประเทศประชากรส่วนมากเลือกที่จะเดินเท้า แต่มีแนวโน้มที่จะเลือกอพยพด้วยรถมากขึ้นเนื่องจากประชากรซื้อรถมากขึ้น ระยะทางมีผลต่อการตัดสินใจเลือกลักษณะการเดินทาง โดยถ้าต้องเดินนานกว่า 15 นาที มีแนวโน้มที่ผู้คนจะเลือกอพยพด้วยยานพาหนะ เป็นต้น 4) เส้นทางที่เลือกใช้ พบว่า มีการจราจรติดขัดบริเวณถนนสายหลัก เส้นทางอพยพมีระยะทางที่ไกลและบางส่วนอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยสึนามิ นักท่องเที่ยวอาจไม่ได้อพยพในเส้นทางที่ใกล้ที่สุดเนื่องจากขาดความชำนาญในพื้นที่แตกต่างจากผู้อยู่อาศัย เป็นต้น

5.1.4 การศึกษาและรวบรวมพฤติกรรมกรรมการอพยพหนีภัยสืนามิจากแบบสำรวจ

คณะผู้วิจัยเลือกใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาเกี่ยวข้องกับกระบวนการวิจัยหลายขั้นตอน เช่น การคำนวณขนาดตัวอย่าง แผนการสุ่มตัวอย่าง การสร้างแบบสอบถาม การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อบรรยายลักษณะกลุ่มประชากรที่ศึกษา การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตอบคำถามการวิจัยหรือสรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ การทดสอบสมมติฐานการวิจัย การนำเสนอและสรุปผลการวิจัย การออกแบบวิธีเก็บข้อมูลด้วยแบบสำรวจ การคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับงานวิจัยมีความสำคัญอย่างมาก โดยการกำหนดให้มีขนาดตัวอย่างมากเกินไปจะใช้เวลาเก็บข้อมูลนานและอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูล ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากขนาดตัวอย่างเล็กเกินไป การวิเคราะห์ทางสถิติอาจมีความเที่ยงต่ำ (low precision) ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างตามสูตรการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง Finite Population Correction (Israel, 2003) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในเว็บไซต์สร้างแบบสอบถามระดับโลก เช่น Qualtrics และ Survey Monkey โดยสูตรการคำนวณดังกล่าวประกอบด้วยสมการ (5.1) และสมการ (5.2) ซึ่งจำนวนประชากรของพื้นที่ศึกษาสูงสุด(ประชากรในเวลากลางคืน) เท่ากับ 15,046 คน (ฐานข้อมูลปี ค.ศ. 2008) และเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างอีกร้อยละ 5 เพื่อป้องกันการเก็บข้อมูลผิดพลาดหรือไม่ครบถ้วน ทำให้จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเท่ากับ 398 ตัวอย่าง (มีระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 มีความแปรปรวนสูงสุด และมีความคลาดเคลื่อนที่ร้อยละ 5)

$$n_0 = \frac{Z^2 p(1-p)}{e^2} \quad (5.1)$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{(n_0 - 1)}{N}} \quad (5.2)$$

โดยที่

n_0	คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง (เมื่อไม่ทราบจำนวนประชากร)
n	คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง (เมื่อทราบจำนวนประชากร)
Z	คือ พิกัดที่หนึ่งจากโค้งปกติที่ตัดกับ α (ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95, $Z = 1.96$)
p	คือ ค่าความแปรปรวน (ความแปรปรวนสูงสุด $p = 0.5$)
e	คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (ค่าความคลาดเคลื่อนที่ร้อยละ 5, $e = 0.05$)

วิธีการเลือกหน่วยตัวอย่าง แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) การเลือกหน่วยตัวอย่างโดยไม่ใช้ความน่าจะเป็น (nonprobability sampling) และ 2) การเลือกหน่วยตัวอย่างโดยใช้ความน่าจะเป็น (probability sampling) โดยการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (stratified sampling) ซึ่งเป็นแผนการสุ่มตัวอย่างที่มีการแบ่งหน่วยต่างๆ ในประชากรออกเป็นกลุ่มๆ ตามลักษณะบางอย่าง แล้วเลือกหน่วยตัวอย่างจากประชากร แต่ละกลุ่มมาให้ครบทุกกลุ่ม ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่นักท่องเที่ยว (ร้อยละ 74) และผู้อยู่อาศัย (ร้อยละ 26) ในอัตราส่วนดังตารางที่ 5.9 วิธีการสุ่มตัวอย่างนี้เป็นวิธีการเลือกหน่วยตัวอย่างโดยใช้ความน่าจะเป็นที่สามารถประมาณค่าไปยังประชากรได้ โดยใช้การเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (accidental sampling) ตามจุดที่คาดว่าจะมีนักท่องเที่ยวและผู้อยู่อาศัยหนาแน่น เช่น โรงแรม และสถานที่ท่องเที่ยว (ชายหาด พิพิธภัณฑ์)

ตารางที่ 5.9 จำนวนกลุ่มตัวอย่างของผู้คนในพื้นที่ศึกษาจำแนกตามสถานะ

ชั้นข้อมูล	อัตราส่วน	จำนวนประชากร (คน)	กลุ่มตัวอย่าง	กลุ่มตัวอย่าง (+5%)
นักท่องเที่ยว	74%	14,378	280	294
ผู้อยู่อาศัย	26%	5,164	99	104
รวม	100%	19,542	379	398

แบบสอบถามที่ใช้ศึกษาพฤติกรรมการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คนประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ ประเทศ สถานะ (นักท่องเที่ยว หรือผู้อยู่อาศัย) จำนวนสมาชิก สถานที่พักแรม ระยะห่างของที่พักจากทะเล ระยะเวลาที่อยู่ในพื้นที่ ลักษณะการเดินทางในพื้นที่ (ในเวลาปกติ)

ส่วนที่ 2) ความรู้เกี่ยวกับภัยสึนามิ ได้แก่ การเข้าร่วมซ้อมอพยพหนีภัยสึนามิ ลักษณะที่บ่งบอกถึงอัตราจากภัยสึนามิ แหล่งข้อมูลของการแจ้งเตือน ช่องทางสำหรับการรับการแจ้งเตือน ระยะเวลาอพยพภายหลังได้รับการแจ้งเตือน ป้ายสัญลักษณ์ที่เคยพบเห็น

ส่วนที่ 3) การตัดสินใจอพยพหนีภัยสึนามิ ได้แก่ เหตุการณ์ที่จะทำให้ตัดสินใจเริ่มอพยพ การตัดสินใจอพยพ ระยะเวลาในการเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพ ระยะเวลาในการเดินทางไปยังที่ปลอดภัย สิ่งที่จะทำหลังตัดสินใจอพยพ การติดต่อผู้คนที่ต้องการในสถานการณ์ฉุกเฉิน การปฏิบัติเมื่อไม่สามารถติดต่อสมาชิกได้ เหตุผลที่ไม่อพยพ จุดหมายปลายทางที่จะอพยพ ความรู้เรื่องเส้นทางอพยพ แนวทางการปฏิบัติหากไม่ทราบเส้นทาง ลักษณะการเดินทางอพยพ โดยมีทั้งหมด 3 ภาษา ได้แก่ ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และภาษาเยอรมัน เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ตอบแบบสอบถาม

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามได้แก่ 1) สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ใช้ในการพรรณนาหรือบรรยายลักษณะของสิ่งที่ศึกษา เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะของข้อมูลที่เก็บรวบรวมมา เช่น การนำข้อมูลที่รวบรวมได้ ซึ่งเป็นข้อมูลดิบ (raw data) มาจัดให้เป็นระเบียบโดยอาศัยการบรรยายข้อมูลตามความถี่เป็นจำนวนและร้อยละ และ 2) สถิติเชิงอ้างอิงหรือสถิติอนุมาน (inferential statistics) ใช้ในการสรุปลักษณะของประชากรจากผลการศึกษาข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง โดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นในการอนุมานลักษณะประชากร เช่น การทดสอบสมมติฐาน (hypothesis testing)

ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างจะนำมาหาความสัมพันธ์และวิเคราะห์อยู่ในรูปแบบตารางไขว้ (cross tabulation) ซึ่งใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร โดยจะทดสอบความสัมพันธ์ด้วยสถิติไคสแควร์ (chi-square, χ^2) โดยการแจกแจงนี้สร้างขึ้นมาด้วยการสุ่ม z_i จำนวน n จากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ แล้วนำค่าที่สุ่มได้มา ยกกำลังสองแล้วนำมารวมกัน n ค่า ซึ่งผลรวมที่ได้เรียกว่า χ^2 ซึ่งลักษณะการแจกแจงขึ้นอยู่กับขนาดองศาเสรี (degree of freedom, df) ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น SPSS จะคำนวณค่าความน่าจะเป็นมาให้พร้อมกับค่า χ^2 หรือสามารถคำนวณได้จาก สมการ (5.3) สมการ (5.4) และสมการ (5.5)

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n z_i^2 \quad (5.3)$$

$$z_i = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (5.4)$$

$$df = (r - 1)(c - 1) \quad (5.5)$$

โดยที่

O_i คือ ค่าสังเกต

E_i คือ ค่าคาดหวัง

df คือ องศาเสรี ที่ r เป็นจำนวนกลุ่มของตัวแปรที่อยู่ในแถว และ c เป็นจำนวนกลุ่มของตัวแปรที่อยู่ในสดมภ์

ผลการศึกษาจากแบบสำรวจ การศึกษาครั้งนี้สามารถเก็บแบบสอบถามได้ทั้งหมด 444 ตัวอย่าง แม้ว่าจะมากกว่าจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการทั้งหมด 398 ตัวอย่าง พบว่ามีเพียง 368 (82.9%) ตัวอย่างที่มีที่พักอยู่ภายในพื้นที่ศึกษาเขาหลัก โดยผลจากแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 5.10 ตารางที่ 5.11 และตารางที่ 5.12 เหตุการณ์สึนามิเกิดขึ้นเมื่อปีค.ศ. 2004 ดังนั้นผู้ตอบแบบสอบถามที่อายุน้อยกว่า 15 ปี ถือว่าเป็นผู้ที่ไม่มีประสบการณ์ตรงมีเพียงร้อยละ 0.90 ของจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด โดยผู้ตอบแบบสอบถามที่มีประสบการณ์ตรงมีเพียงร้อยละ 4.74 ของจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด ซึ่งส่วนมากมีอายุระหว่าง 31 - 45 ปี ผลลัพธ์จากแบบสอบถามดังตารางที่ 5.13 ชี้ว่ามีเพียงร้อยละ 21.40 ที่มีความตระหนักรู้ภัยสึนามิมากกว่ากลุ่มที่ไม่เคยเข้าร่วมซักซ้อม เนื่องจากมีประสบการณ์ตรงหรือเคยเข้าร่วมซักซ้อมอพยพหนีภัยสึนามิ เมื่อวิเคราะห์ผลจากแบบสอบถามเกี่ยวกับลักษณะการเดินทางอพยพดังตารางที่ 5.14 พบว่าประมาณร้อยละ 30.72 ของผู้ตอบแบบสอบถามเลือกที่จะอพยพด้วยการเดิน และมีประมาณร้อยละ 66.74 ของผู้ตอบแบบสอบถามที่เลือกอพยพด้วยยานพาหนะ โดยกลุ่มผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีอายุมากกว่า 60 ปี เลือกที่จะอพยพด้วยยานพาหนะมากกว่าเดินเท้า

ตารางที่ 5.10 สถิติแสดงข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (ส่วนที่ 1)

	ความถี่	ร้อยละ
1. เพศ		
ชาย	156	42.4
หญิง	212	57.6
2. อายุ		
เด็ก (อายุน้อยกว่า 12 ปี)	1	.3
ผู้ใหญ่ (12-60 ปี)	346	94.0
ผู้สูงอายุ (อายุมากกว่า 60 ปี)	21	5.7
4. สถานะ		
ผู้อาศัย	126	34.2
นักท่องเที่ยว	242	65.8
5. มีสมาชิกที่พักอาศัยอยู่กับท่าน หรือ เดินทางมากับท่านหรือไม่		
มี	271	73.6
ไม่มี	97	26.4
5.1 จำนวนทั้งหมด (โดยไม่นับรวมตัวผู้ตอบ)		
มีสมาชิกอีก 1 คน	167	61.6
มีสมาชิกอีก 2 คน	45	16.6
มีสมาชิกอีกกว่า 3 คน	59	21.8
6. ที่พักอาศัย		
นอกพื้นที่เขาหลัก	76	17.1
ภายในพื้นที่เขาหลัก	368	82.9
7. ที่พักของท่านอยู่ห่างจากทะเลเท่าใด		
อยู่ติดกับทะเล	112	30.4
100 - 300 เมตร	103	28.0
มากกว่า 300 เมตร	153	41.6
9. ลักษณะการเดินทางในพื้นที่ ในเวลาปกติ		
9.1 เดิน	142	21.6%
9.2 จักรยานยนต์	139	21.1%

	ความถี่	ร้อยละ
9.3 รถยนต์	110	16.7%
9.4 รถบริการจากโรงแรม	103	15.7%
9.5 บริการรถแท็กซี่ในพื้นที่	150	22.8%
9.6 อื่นๆ	14	2.1%

ตารางที่ 5.11 สถิติแสดงความรู้เกี่ยวกับภัยสึนามิของผู้ตอบแบบสอบถาม (ส่วนที่ 2)

	ความถี่	ร้อยละ
10. เคยเข้าร่วมซักซ้อมอพยพหนีภัยสึนามิหรือไม่		
ไม่เคยเข้าร่วมซักซ้อม	296	80.4
ไม่เคยเข้าร่วมซักซ้อม, แต่เคยเป็นผู้ประสบภัย	17	4.6
เคยเข้าร่วมน้อยกว่า 1 ปีที่ผ่านมา	18	4.9
เคยเข้าร่วมมากกว่า 1 ปีที่ผ่านมา	37	10.1
12. ท่านคิดว่า ท่านจะได้รับการเตือนภัยสึนามิจากแหล่งข้อมูลใดบ้าง		
12.1 ปรากฏการณ์ธรรมชาติ	265	23.53
12.2 ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ	264	23.45
12.3 เจ้าหน้าที่ของรัฐ	135	11.99
12.4 ผู้คนรอบๆข้าง	178	15.81
12.5 เจ้าหน้าที่โรงแรม	193	17.14
12.6 ครอบครัวหรือคนรู้จัก	66	5.86
12.7 ไม่ทราบ	8	0.71
12.8 อื่นๆ	17	1.51
12.1. ช่องทางใดบ้างที่ท่านคิดว่า ท่านจะได้รับการแจ้งเตือนจาก ศภข.		
12.1.1 หอเตือนภัย	261	31.15
12.1.2 ทีวี / วิทยุ	162	19.33
12.1.3 สื่อสังคมออนไลน์	191	22.79
12.1.4 เสียงตามสาย	131	15.63
12.1.5 อีเมลล์	12	1.43
12.1.6 ข้อความสั้น SMS	49	5.85
12.1.7 ไม่ทราบ	20	2.39
12.1.8 อื่นๆ	12	1.43
12.2 ท่านคิดว่า ท่านมีเวลาอพยพเท่าใด หลังจากได้รับการเตือนภัยสึนามิ		
น้อยกว่า 10 นาที	103	28.0
10 – 30 นาที	144	39.1
31 – 60 นาที	30	8.2
61 – 90 นาที	7	1.9
มากกว่า 90 นาที	16	4.3
ไม่แน่ใจ	68	18.5
13. ในบริเวณนี้ ท่านเคยพบเห็นป้ายสัญลักษณ์ใดบ้าง		
13.1 ป้ายบอกเขตพื้นที่เสี่ยงภัยสึนามิ	222	28.17
13.2 ป้ายบอกเส้นทางอพยพ	292	37.06
13.3 ป้ายบอกจุดอพยพ	141	17.89
13.4 ป้ายบอกความสูงคลื่นสึนามิ ปี 2547	51	6.47

	ความถี่	ร้อยละ
13.5 ป้ายแสดงแผนที่อพยพ	82	10.41

ตารางที่ 5.12 สถิติแสดงการตัดสินใจอพยพหนีภัยสึนามิของผู้ตอบแบบสอบถาม (ส่วนที่ 3)

	ความถี่	ร้อยละ
14. ท่านจะเริ่มอพยพหนีภัยสึนามิเมื่อใด		
14.1 รู้สึกถึงแผ่นดินไหว	234	13.38
14.2 พบเห็นระดับน้ำทะเลจะลดลงผิดปกติ	243	13.89
14.3 การเตือนภัยจากศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ	303	17.32
14.4 การเตือนจากเจ้าหน้าที่ของรัฐ	196	11.21
14.5 การเตือนจากเจ้าหน้าที่โรงแรม	229	13.09
14.6 การเตือนจากครอบครัวหรือคนรู้จัก	141	8.06
14.7 การเตือนภัยสึนามิ ผ่านสื่อสังคมออนไลน์	147	8.40
14.8 ผู้คนรอบๆ ช้าง เริ่มทยอยออกจากชายฝั่ง	167	9.55
14.9 ตรวจสอบข้อมูลการเตือนภัยด้วยตนเอง	84	4.80
14.10 อื่นๆ	5	0.29
15. หลังจากที่ท่านทราบว่า อาจมีสึนามิเกิดขึ้น ท่านคิดว่าจะอพยพหรือไม่		
อพยพ	352	95.65
ไม่อพยพ	16	4.35
15.1 ท่านจะใช้เวลาเท่าใดเพื่อเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพ		
น้อยกว่า 10 นาที	227	64.49
10 – 30 นาที	82	23.30
31 – 60 นาที	8	2.27
มากกว่า 90 นาที	13	3.69
ไม่แน่ใจ	22	6.25
15.2 ท่านจะใช้เวลาเท่าใดในการเดินทางไปยังที่ปลอดภัย		
น้อยกว่า 10 นาที	113	32.10
10 – 30 นาที	177	50.28
31 – 60 นาที	19	5.40
มากกว่า 90 นาที	15	4.26
ไม่แน่ใจ	28	7.95
15.3 เมื่อท่านตัดสินใจอพยพแล้ว ท่านคิดว่าจะทำสิ่งใดบ้างต่อไปนี้		
15.3.1 มุ่งหน้าไปยังสถานที่ปลอดภัยทันที	302	32.09
15.3.2 ไปยังชายหาด เพื่อสังเกต	16	1.70
15.3.3 รวมกลุ่มกับสมาชิก	147	15.62
15.3.4 กลับไปยังที่พัก เพื่อรวบรวมเอกสาร	79	8.40
15.3.5 เตือนผู้คนรอบๆ ช้าง ให้อพยพ	134	14.24
15.3.6 ช่วยเหลือคนที่อพยพลำบาก	145	15.41
15.3.7 ติดต่อกับ สมาชิก	116	12.33
15.3.8 อื่นๆ	2	0.21
15.3.1 ในสถานการณ์ฉุกเฉิน ท่านจะสามารถติดต่อกับผู้คนที่ท่านต้องการ		
สามารถติดต่อได้	122	58.10
ไม่สามารถติดต่อได้	88	41.90

15.3.2 ท่านจะทำอย่างไร ถ้าพวกท่าน ไม่ได้อยู่ด้วยกันและไม่สามารถติดต่อกันได้		
15.3.2.1 กลับไปยังที่พัก	12	11.21
15.3.2.1 อยู่บริเวณเดิม	5	4.67
15.3.2.1 ขอความช่วยเหลือจากผู้คนรอบๆ ข้าง	23	21.50
15.3.2.1 ไปที่จุดอพยพ	65	60.75
15.3.2.1 อื่นๆ	2	1.87
15.4 เหตุผลที่ท่านเลือกที่จะไม่อพยพ		
15.4.1 เชื่อว่าตำแหน่งที่อยู่ปลอดภัย	13	92.86
15.4.2 เชื่อว่าเป็นเพียงการชักซ้อม	0	0.00
15.4.3 ต้องการเห็นสันามิด้วยตนเอง	0	0.00
15.4.4 สถานที่อพยพอยู่ไกล และใช้เวลามาก	1	7.14
15.4.5 เชื่อว่าจะไม่มีสันามิเกิดขึ้น	0	0.00
15.4.6 อื่นๆ	0	0.00
16. หลังจากตัดสินใจเริ่มอพยพ ท่านจะเลือกอพยพไปที่ใด		
16.1 อาคารหลบภัยสันามิ	117	16.86
16.2 อาคารสูง	115	16.57
16.3 พื้นที่สูง	207	29.83
16.4 จุดอพยพ	244	35.16
16.5 อื่นๆ	11	1.59
17. จากจุดอพยพที่ท่านเลือก ท่านทราบเส้นทาง ไปยังจุดหมายนั้นๆ หรือไม่		
ทราบ	158	44.89
ไม่ทราบ	194	55.11
17.1 หากท่านไม่ทราบ เส้นทางอพยพไปยังจุดที่ท่านเลือก ท่านจะทำอย่างไร		
17.1 ไปตามป้ายอพยพ	156	46.43
17.2 ไปตามผู้คนรอบๆ ข้าง	98	29.17
17.3 ใช้มือถือนำทาง	72	21.43
17.4 อื่นๆ	10	2.98
18. สำหรับการเดินทางไปยังจุดที่ท่านเลือก ท่านจะเดินทางด้วยวิธีการใด		
18.1 เดิน	227	30.19
18.2 จักรยานยนต์	160	21.28
18.3 รถยนต์	124	16.49
18.4 รถบริการจากโรงแรม	113	15.03
18.5 บริการรถแท็กซี่ในพื้นที่	107	14.23
18.6 อื่นๆ	21	2.79

ตารางที่ 5.13 ผลลัพธ์จากแบบสอบถามเกี่ยวกับการเข้าร่วมชักซ้อมอพยพหนีภัยสึนามิจำแนกตามกลุ่มอายุ

การเข้าร่วมชักซ้อมอพยพหนีภัยสึนามิ	อายุน้อย กว่า 15 ปี	อายุ 16 - 30 ปี	อายุ 31 - 45 ปี	อายุ 46 - 60 ปี	อายุ มากกว่า 60	รวม
ไม่เคยเข้าร่วมชักซ้อม	0.90%	29.95%	26.35%	16.89%	4.50%	78.60%
ไม่เคยเข้าร่วมชักซ้อม, แต่เคยเป็นผู้ประสบภัย	0.00%	0.90%	2.48%	1.13%	0.23%	4.73%
เคยเข้าร่วมน้อยกว่า 1 ปีที่ผ่านมา	0.00%	2.25%	2.25%	0.45%	0.00%	4.95%
เคยเข้าร่วมมากกว่า 1 ปีที่ผ่านมา	0.00%	3.60%	6.08%	1.80%	0.23%	11.71%
รวม	0.90%	36.71%	37.16%	20.27%	4.95%	100.00%

ตารางที่ 5.14 ผลลัพธ์จากแบบสอบถามเกี่ยวกับลักษณะการเดินทางอพยพจำแนกตามกลุ่มอายุ

ลักษณะการเดินทางอพยพ	อายุน้อย กว่า 15 ปี	อายุ 16 - 30 ปี	อายุ 31 - 45 ปี	อายุ 46 - 60 ปี	อายุ มากกว่า 60 ปี	รวม
เดิน	50.00%	26.48%	31.52%	36.02%	34.00%	30.72%
จักรยานยนต์	25.00%	26.48%	19.77%	16.13%	10.00%	21.08%
รถยนต์	0.00%	16.62%	19.20%	15.59%	16.00%	17.27%
บริการจากโรงแรม	0.00%	13.80%	15.19%	16.13%	16.00%	14.83%
บริการรถแท็กซี่	25.00%	13.52%	12.03%	15.05%	18.00%	13.56%
อื่นๆ	0.00%	3.10%	2.29%	1.08%	6.00%	2.54%

ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติไคสแควร์ (chi-square, χ^2)

จากการศึกษาพฤติกรรมการตัดสินใจอพยพของผู้คน จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 368 ตัวอย่าง เพื่อค้นหาว่าตัวแปรใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กัน พบว่า ตัวแปรสถานะ (ผู้อยู่อาศัย หรือนักท่องเที่ยว) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ มากที่สุดดังตารางที่ 5.15 ได้แก่ ลักษณะการเดินทางในพื้นที่ ประสบการณ์การเข้าร่วมชักซ้อมอพยพ แหล่งที่มาของข้อมูลการเตือนภัย ช่องทางที่คาดว่าจะได้รับการเตือนภัย ความเข้าใจเกี่ยวกับระยะเวลาที่เหลือสำหรับการอพยพหลังจากได้รับการแจ้งเตือน การสังเกตเห็นป้ายอพยพต่างๆ เหตุปัจจัยที่ทำให้เริ่มอพยพ สิ่งที่จะทำหลังตัดสินใจเริ่มอพยพ ความรู้เกี่ยวกับเส้นทางอพยพ วิธีการที่จะไปยังจุดอพยพกรณีที่ไม่ทราบเส้นทาง และลักษณะการเดินทางไปยังจุดอพยพ

ตารางที่ 5.15 ความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง โดยสถิติไคสแควร์

Pearson χ^2 Tests						
		1. เพศ	4. สถานะ	2. อายุ	5. มีสมาชิกที่พักอาศัยอยู่กับท่าน หรือ เดินทางมากับท่านหรือไม่	5.1 จำนวนทั้งหมด (โดยไม่นับ รวมตัวผู้ตอบ)
9. ลักษณะการเดินทางในพื้นที่ ในเวลาปกติ	χ^2	8.404	209.966	17.459	44.928	20.315
	df	6	6	12	6	12
	Sig.	.210	.000*	.133 ^{b,c}	.000*	.061
10. เคยเข้าร่วมชักซ้อมอพยพหนีภัยสึนามิหรือไม่	χ^2	1.769	84.477	3.612	20.556	9.192
	df	3	3	6	3	6
	Sig.	.622	.000*	.729 ^{b,c}	.000 ^{a,b}	.163 ^b
12. ท่านคิดว่า ท่านจะได้รับการเตือนภัยสึนามิจาก แหล่งข้อมูลใดบ้าง	χ^2	9.711	74.661	16.576	15.813	21.960
	df	8	8	16	8	16
	Sig.	.286	.000*	.414 ^{b,c}	.045*	.144 ^b
12.1. ช่องทางใดบ้างที่ท่านคิดว่า ท่านจะได้รับการ แจ้งเตือนจาก ศภช.	χ^2	8.059	46.649	34.444	12.676	19.140
	df	8	8	8	8	16
	Sig.	.428	.000*	.000 ^{a,b,c}	.123	.261 ^b
12.2 ท่านคิดว่า ท่านมีเวลาอพยพเท่าใด หลังจาก ได้รับการเตือนภัยสึนามิ	χ^2	3.134	49.654	4.925	21.953	4.573
	df	5	5	10	5	10
	Sig.	.679	.000*	.896 ^{b,c}	.001*	.918 ^{b,c}
13. ในบริเวณนี้ ท่านเคยพบเห็นป้ายสัญลักษณ์ ใดบ้าง	χ^2	12.013	38.959	8.390	3.044	4.210
	df	5	5	10	5	10
	Sig.	.035*	.000*	.591 ^{b,c}	.693	.937
14. ท่านจะเริ่มอพยพหนีภัยสึนามิเมื่อใด	χ^2	10.247	78.154	15.927	19.953	11.700
	df	10	10	20	10	20
	Sig.	.419	.000*	.721 ^{b,c}	.030*	.926 ^c
15. หลังจากที่ท่านทราบว่า อาจมีสึนามิเกิดขึ้น ท่านคิดว่าจะอพยพหรือไม่	χ^2	4.759	.672	.054	.016	1.406
	df	1	1	2	1	2

Pearson χ^2 Tests						
		1. เพศ	4. สถานะ	2. อายุ	5. มีสมาชิกที่พักอาศัยอยู่กับท่าน หรือ เดินทางมากับท่านหรือไม่	5.1 จำนวนทั้งหมด (โดยไม่นับ รวมตัวผู้ตอบ)
15.1 ท่านจะใช้เวลาเท่าใดเพื่อเตรียมตัวก่อนเริ่ม อพยพ	Sig.	.029*	.412	.973 ^{b,c}	.900 ^b	.495 ^b
	χ^2	14.936	43.054	2.110	14.100	9.973
	df	4	4	8	4	8
	Sig.	.005 ^{*,b}	.000 ^{*,b}	.977 ^{b,c}	.007 ^{*,b}	.267 ^{b,c}
15.2 ท่านจะใช้เวลาเท่าใดในการเดินทางไปยังที่ ปลอดภัย	χ^2	7.505	13.126	5.328	6.714	12.944
	df	4	4	8	4	8
	Sig.	.111	.011*	.722 ^{b,c}	.152 ^b	.114 ^b
	χ^2	12.368	98.137	10.063	55.101	60.323
15.3 เมื่อท่านตัดสินใจอพยพแล้ว ท่านคิดว่าจะทำ สิ่งใดบ้างต่อไปนี้	df	8	8	16	8	16
	Sig.	.136 ^c	.000 ^{*,c}	.863 ^{b,c}	.000 ^{*,c}	.000 ^{*,b,c}
	χ^2	.687	3.796	.819	.053	1.144
	df	1	1	2	1	2
15.3.1 ในสถานการณ์ฉุกเฉิน ท่านจะสามารถ ติดต่อกับผู้คนที่ท่านต้องการ	Sig.	.407	.051	.664 ^{b,c}	.818	.564
	χ^2	4.586	8.010	6.355	4.675	3.993
	df	5	5	5	5	10
	Sig.	.468 ^b	.156 ^b	.273 ^{b,c}	.457 ^b	.948 ^{b,c}
15.3.2 ท่านจะอย่างไร ถ้าพวกท่าน ไม่ได้อยู่ ด้วยกันและไม่สามารถติดต่อกันได้	χ^2	3.066	11.489	3.394	4.721	9.218
	df	6	6	6	6	12
	Sig.	.800 ^b	.074 ^b	.758 ^{b,c}	.580 ^b	.684 ^{b,c}
	χ^2	12.348	7.462	1.784	7.760	9.725
15.4 เหตุผลที่ท่านเลือกที่จะไม่อพยพ	df	5	5	5	5	10
	Sig.	.030*	.189	.878 ^{b,c}	.170	.465
	χ^2	2.331	106.738	.873	16.286	1.260
	df	5	5	5	5	10
	Sig.	.030*	.189	.878 ^{b,c}	.170	.465
16. หลังจากตัดสินใจเริ่มอพยพ ท่านจะเลือก อพยพไปที่ใด	χ^2	2.331	106.738	.873	16.286	1.260
	df	5	5	5	5	10
	Sig.	.030*	.189	.878 ^{b,c}	.170	.465
	χ^2	2.331	106.738	.873	16.286	1.260

Pearson χ^2 Tests						
		1. เพศ	4. สถานะ	2. อายุ	5. มีสมาชิกที่พักอาศัยอยู่กับท่าน หรือ เดินทางมากับท่านหรือไม่	5.1 จำนวนทั้งหมด (โดยไม่นับ รวมตัวผู้ตอบ)
17. จากจุดอพยพที่ท่านเลือก ท่านทราบเส้นทาง ไปยังจุดหมายนั้นๆ หรือไม่	df	1	1	2	1	2
	Sig.	.127	.000*	.646 ^{b,c}	.000*	.533
17.1 หากท่านไม่ทราบ เส้นทางอพยพไปยังจุดที่ ท่านเลือก ท่านจะอย่างไร	χ^2	20.901	39.723	.884	7.347	8.340
	df	4	4	4	4	8
	Sig.	.000*	.000*	.927 ^b	.119	.401
18. สำหรับการเดินทางไปยังจุดที่ท่านเลือก ท่าน จะเดินทางด้วยวิธีการใด	χ^2	6.290	171.113	9.476	42.975	11.662
	df	6	6	6	6	12
	Sig.	.391	.000*	.149 ^b	.000*	.473
Results are based on nonempty rows and columns in each innermost sub-table.						
*. The χ^2 statistic is significant at the .05 level.						
b. More than 20% of cells in this sub-table have expected cell counts less than 5. χ^2 results may be invalid.						
c. The minimum expected cell count in this sub-table is less than one. χ^2 results may be invalid.						

5.1.5 การศึกษาหารูปแบบการอพยพด้วยแบบสำรวจ Google Form

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของการอพยพหนีภัยสึนามิในงานย่อยที่ 2 พบว่า การอพยพในสถานการณ์จริงมีความซับซ้อนและมีหลายปัจจัยที่การชักซ้อมเต็มรูปแบบทำได้ยาก ผลจากแบบสำรวจจากกลุ่มตัวอย่างดังตารางที่ 5.12 ชี้ว่าผู้อพยพส่วนมาก (68%) ไม่ได้มุ่งหน้าไปยังสถานที่ปลอดภัยทันทีหลังจากได้รับการเตือนภัย แต่กลับใช้เวลาบางส่วนไปกับการเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพจริง ซึ่งการเตรียมตัวดังกล่าวเกิดจากความต้องการที่จะตรวจสอบหรือรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเหตุการณ์ ความต้องการที่จะรวมตัวกับสมาชิกในครอบครัว ความต้องการนำเอกสารสำคัญหรือสิ่งมีค่าส่วนตัวไปด้วย และผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติโคสแควร์ชี้ว่าผู้คนมีความต้องการเหล่านี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของบุคคลคนนั้นๆ เช่น สถานะ (ผู้อพยพอาศัย หรือนักท่องเที่ยว) และจำนวนสมาชิกในครอบครัว

เนื่องจากผลการศึกษาข้างต้นไม่สามารถบ่งบอกลำดับก่อนหลังของสิ่งที่ผู้อพยพจะทำได้ จึงนำมาสู่การค้นหารูปแบบของพฤติกรรมของผู้อพยพ ภายหลังจากที่ได้รับการแจ้งเตือนภัยสึนามิ เพื่อนำมาสร้างตรรกะของเงื่อนไขให้เสมือนจริงมากขึ้น คณะผู้วิจัยใช้แบบสอบถามใหม่ที่ย่อออกมาโดยเฉพาะด้วย Google Form ดังตารางที่ 5.3 ที่ผู้ตอบแบบสำรวจหรือกลุ่มตัวอย่างจะได้รับคำถามถัดไปขึ้นอยู่กับคำตอบของคำถามก่อนหน้านี้ เช่น หากผู้ตอบแบบสำรวจเลือกที่จะไปยังสถานที่ปลอดภัย จะต้องเลือกระหว่าง เก็บข้อมูลเพิ่มเติม หรือไม่สนใจจะทำอะไรเลยนอกจากไปยังสถานที่ปลอดภัยทันที หรือรวมกลุ่มกับสมาชิก หากเลือกที่จะรวมกลุ่มกับสมาชิก เขาจะต้องเลือกต่อไปว่าจะเป็นผู้รอหรือผู้ติดตามหาหา



<https://forms.gle/byOvi5v3hx2dL5739>

ภาษาไทย



<https://forms.gle/wAdXJHSTOQC9CRMf7>

English



<https://forms.gle/xMhQt7dRLaNmVVeA9>

German

รูปที่ 5.6 แบบสำรวจเพื่อหารูปแบบการอพยพด้วย Google Forms

จากการเก็บกลุ่มตัวอย่างด้วย Google Forms จำนวน 430 ตัวอย่าง จากประชากรที่เป็นนักท่องเที่ยวและผู้อพยพอาศัยที่เขาลัก ระหว่างวันที่ 6-26 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2020 โดยใช้แล็ปท็อปและแท็บเล็ต พบว่ามีรูปแบบการอพยพทั้งหมด 9 รูปแบบ โดยไม่ว่าจะเปรียบเทียบระหว่างสถานะ (ผู้อพยพอาศัยหรือนักท่องเที่ยว) หรือระหว่างเพศ (ชายหรือหญิง) ก็มีรูปแบบการอพยพที่คล้ายคลึงกัน และส่วนมากต้องการที่จะรวมกลุ่มกับสมาชิกในครอบครัวก่อนเริ่มอพยพ ยิ่งไปกว่านั้นรูปแบบดังกล่าวยังพบจากงานวิจัยในประเทศญี่ปุ่น (Goto et al., 2012a; Yun & Hamada, 2012b) และงานวิจัยในประเทศนิวซีแลนด์ (Stuart A. Fraser et al., 2013a)

จากการศึกษารูปแบบการอพยพในลักษณะที่ต้องการรวมกลุ่มก่อนไปยังจุดปลอดภัย พบว่ามีสถานที่ที่ผู้อพยพอาจไปแวะกลับไปที่บ้านเพื่อตามหาหรือรวมตัวสมาชิกในครอบครัว โดยในแบบสำรวจมีจุดหมายเพิ่มเติม นอกจากการกลับไปที่บ้าน (accommodation) ได้แก่ รออยู่ที่เดิมที่แยกจากกัน (the place where I last saw them) ที่ศูนย์อพยพ (the evacuation center) เพื่อศึกษาว่าในบริบทของพื้นที่เขาลัก ผู้คนอาจเลือกไปที่ไหน

ได้บ้างเพื่อที่จะรวมกลุ่มกับสมาชิกในครอบครัว โดยให้ตอบในลักษณะของความน่าจะเป็น 5 ระดับ ซึ่งจากรูปแบบการอพยพทั้งกลุ่มผู้ติดตามหาและกลุ่มผู้รอแล้วออกตามหา รวม 45% พบว่าบ้านยังคงเป็นสถานที่อันดับต้นๆ ที่ผู้อพยพเลือกที่จะไปตามหาสมาชิกในครอบครัวอย่างแน่นอน ดังตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 ความน่าจะเป็นของแต่ละสถานที่ ที่ผู้ตอบแบบสำรวจคาดว่าจะหาสมาชิกในครอบครัวเจอ

	Definitely (100%)	Probably (75%)	No preference (50%)	Probably Not (25%)	Definitely Not (0%)
The place where I last saw them	 22%	 31%	 35%	 11%	 1%
Our accommodation	 33%	 36%	 22%	 7%	 2%
The evacuation center	 30%	 40%	 21%	 5%	 3%

5.2 การพัฒนาต้นแบบและการปรับปรุงแบบจำลอง

แบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิ (tsunami evacuation model) ประกอบด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial input) ข้อมูลเชิงประชากร (population input) ข้อมูลภัยสึนามิ (tsunami hazard) และชุดตรรกะของแบบจำลองเอเจนต์ (agent logic) โดยซอฟต์แวร์ที่เลือกใช้สำหรับการพัฒนาแบบจำลองคือ ยูนิตี เกมเอนจินท์ (Unity Game Engine) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาวิดีโอเกม แต่มีความเหมาะสมกับการพัฒนาแบบจำลองการอพยพอยู่หลายปัจจัย เช่น 1) ชุดตรรกะของตัวละครในวิดีโอเกมถูกพัฒนาให้มีความซับซ้อนใกล้เคียงกับมนุษย์อย่างต่อเนื่อง 2) มีความยืดหยุ่นในการนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งข้อมูล GIS และภัยสึนามิ 3) สามารถนำเสนอผลวิจัยได้ทั้งทางสถิติและสื่อสามมิติ 4) สามารถนำแบบจำลองมาต่อยอดเป็นวิดีโอเกมเพื่อแพร่สู่สาธารณะได้เป็นอย่างดี 5) มีการชุมชนที่คอยสนับสนุนและคอยให้คำปรึกษา

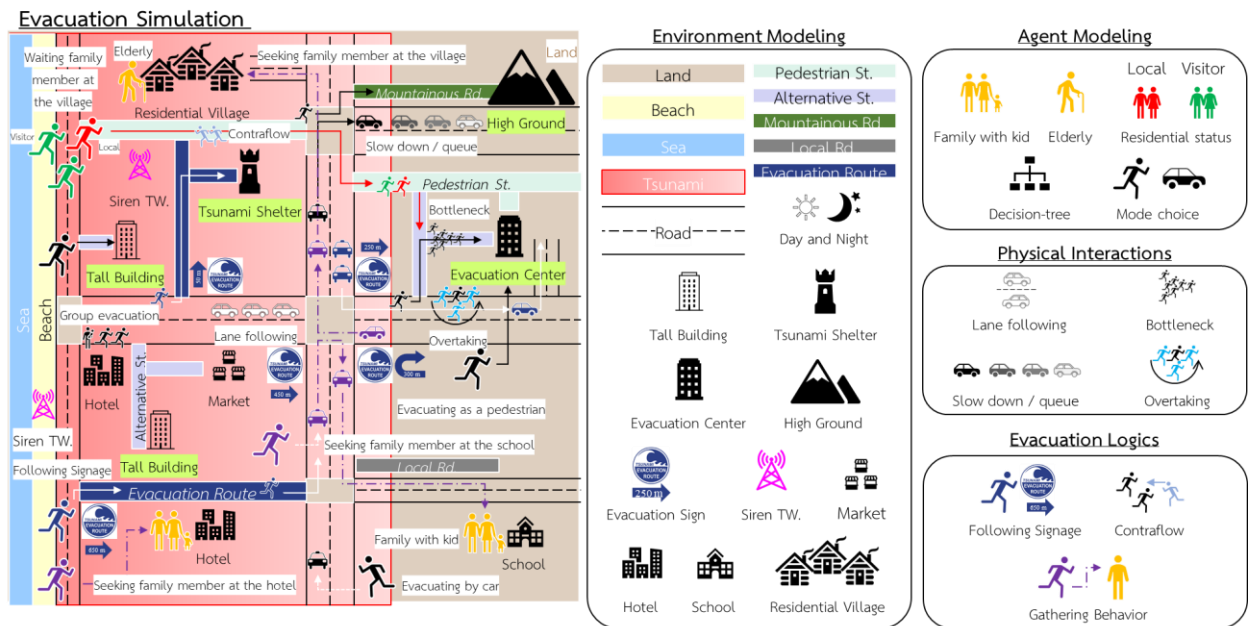
แบบจำลองเอเจนต์จะประมวลผลและเริ่มทำการอพยพ โดยแบ่งออกเป็นชั้นๆ (layers) ที่มีโครงสร้างคล้ายกับผลการศึกษาในหัวข้อ 3.1 ได้แก่ การตัดสินใจเริ่มอพยพ การตัดสินใจเลือกจุดหมายปลายทาง การเลือกเส้นทางอพยพ และเดินทางไปยังจุดหมายปลายทาง อีกทั้งแบบจำลองเอเจนต์จะถูกพัฒนาให้สามารถนำเสนอพฤติกรรมที่มักพบในการอพยพหนีภัยสึนามิ เช่น 1) การตัดสินใจเกิดขึ้นจากแต่ละเอเจนต์หรือเป็นอิสระ 2) แต่ละเอเจนต์สามารถมีปฏิสัมพันธ์ทั้งต่อเอเจนต์อื่นและต่อสภาพแวดล้อมหรือเป็นสังคม 3) เอเจนต์สามารถ รับรู้ เข้าใจ แลกเปลี่ยน และเก็บข้อมูล 4) เอเจนต์ต้องมีจุดประสงค์หรือเป้าหมาย 5) เอเจนต์มีการแสดงออกหรือปฏิกิริยาตอบสนอง องค์ประกอบเหล่านี้ส่งผลให้สามารถใช้แบบจำลองเอเจนต์แสดงพฤติกรรมที่อาจเกิดขึ้นของผู้อพยพในสถานการณ์จริง และนำเสนอความหลากหลายทั้งของประชากรและสภาพแวดล้อม

แบบจำลองการอพยพอย่างง่าย (ต้นแบบที่ 1) เริ่มจากการนำเข้าข้อมูล (loading inputs) ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ (ถนน อาคาร) และข้อมูลเชิงประชากร (จำนวนประชากร) จากนั้นกำหนดเวลาเริ่มอพยพของแต่ละเอเจนต์ (setting a preparation time) กำหนดจุดหมายปลายทางของแต่ละเอเจนต์ (identify a shelter) สุดท้ายแต่ละเอเจนต์จะเดินทางไปยังจุดหมายของตน (finding and following a route)

แบบจำลองต้นแบบที่ 2 ได้นำเข้าข้อมูลที่มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยเป็นข้อมูลนำเข้าที่ได้จากการลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลด้วยแบบสำรวจ ซึ่งข้อมูลนำเข้าเชิงพื้นที่เป็นข้อมูลที่ได้มาจากการลงพื้นที่สำรวจ เช่น ความหนาแน่นจำนวนประชากร แบ่งแยกตาม สถานะ (ผู้อพยพ หรือนักท่องเที่ยว) และความสูงของอาคาร ตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งปลูกสร้างที่สำคัญต่างๆ และข้อมูลการตัดสินใจของผู้คนที่ได้มาจากการลงพื้นที่สำรวจ โดยมีการรวมกลุ่มของตัวเลือกหรือผลจากแบบสำรวจเพื่อให้ง่ายต่อการนำเข้าแบบจำลอง เช่น ลักษณะการอพยพ ใน

แบบจำลองนี้ได้แบ่งประเภทของเอเจนต์ตามสถานะของผู้ตอบแบบสำรวจ เนื่องจากพบว่าตัวแปรนี้มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ ในแบบสำรวจมากที่สุดโดยอ้างอิงจากผลการทดสอบด้วยสถิติไคสแควร์

แบบจำลองปรับปรุงที่ 1 ใช้ฐานข้อมูลอาคารที่ปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อให้การกระจายตัวและจำนวนของผู้คนในพื้นที่ศึกษาถูกต้องมากขึ้น อีกทั้งยังใช้ข้อมูลจากแบบสำรวจเพิ่มเติม เช่น ระยะเวลาที่ใช้เตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพของผู้คน (preparation time) นอกเหนือไปจากลักษณะการอพยพ และการเลือกจุดหมายปลายทาง เพื่อสร้างพฤติกรรมการทยอยเริ่มอพยพของผู้คน



รูปที่ 5.7 องค์ประกอบของแบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิ ในบริบทของเมืองจำลอง (city demo)

ตารางที่ 5.17 ตารางสรุปการพัฒนาต้นแบบและการปรับปรุงแบบจำลอง

	ต้นแบบที่ 1	ต้นแบบที่ 1	ปรับปรุงที่ 1	ปรับปรุงที่ 2
แบบจำลองเชิงพื้นที่				
ฐานข้อมูลอาคาร และถนน				
- อ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมา	○			
- อ้างอิงจากฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้น		○	○	○
ตำแหน่งจุดเริ่มต้นของเอเจนต์				
- อ้างอิงจากความหนาแน่นประชากรด้วยฐานข้อมูลอาคาร (เดิม)	○			
- อ้างอิงจากความหนาแน่นประชากรด้วยฐานข้อมูลอาคาร (ใหม่)		○	○	○
ตำแหน่งจุดสำคัญต่างๆ				
- จุดอพยพ		○	○	○
- ป้ายบอกเส้นทางอพยพ		○	○	○
แบบจำลองทางกายภาพ				

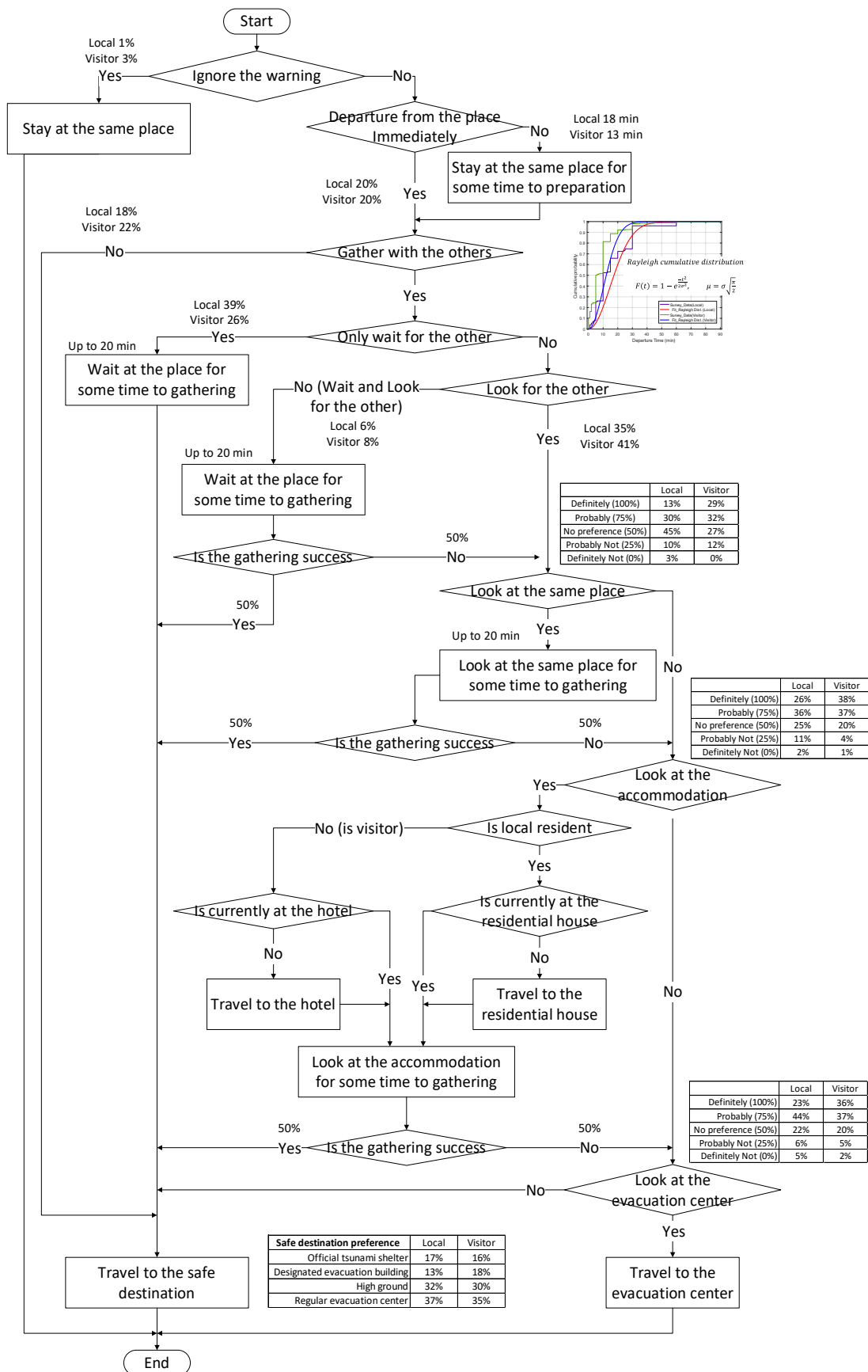
	ต้นแบบที่ 1	ต้นแบบที่ 1	ปรับปรุงที่ 1	ปรับปรุงที่ 2
กำหนดเส้นทางไปยังจุดหมาย				
- แบบสุ่ม	○	○	○	○
- ใกล้ที่สุด			○	○
- มีข้อจำกัดด้วยระยะทาง			○	○
- ตามเอเจนท์อื่น				○
ความเร็วในการเคลื่อนที่			○	○
- ค่าคงที่	○	○	○	
- แตกต่างกันไปตามอายุ				○
ปรับเปลี่ยนความเร็วในการเคลื่อนที่				○
ทำตามกฎจราจรเบื้องต้น เช่น หยุดเมื่อเห็นสัญญาณไฟแดง และขับยานพาหนะชิดซ้าย				○
แบบจำลองการตัดสินใจ				
เลือกจุดหมายปลายทาง (จุดอพยพ)				
- กำหนดเอง	○	○	○	○
- อ้างอิงจากแบบสำรวจ		○	○	○
เลือกจุดหมายอื่น ก่อนไปยังจุดอพยพ				
- อ้างอิงจากแบบสำรวจ				○
เวลาที่เริ่มอพยพ				
- พื้นที่ที่เริ่มการจำลอง (พร้อมๆ กัน)	○	○		
- อ้างอิงจากแบบสำรวจ			○	○
ลักษณะการเดินทาง				
- เดินเท้า	○	○	○	○
- ยานพาหนะ		○	○	○
เปลี่ยนจุดหมาย เนื่องจากพบเห็นป้ายบอกเส้นทางอพยพ				○

5.3 แบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คน

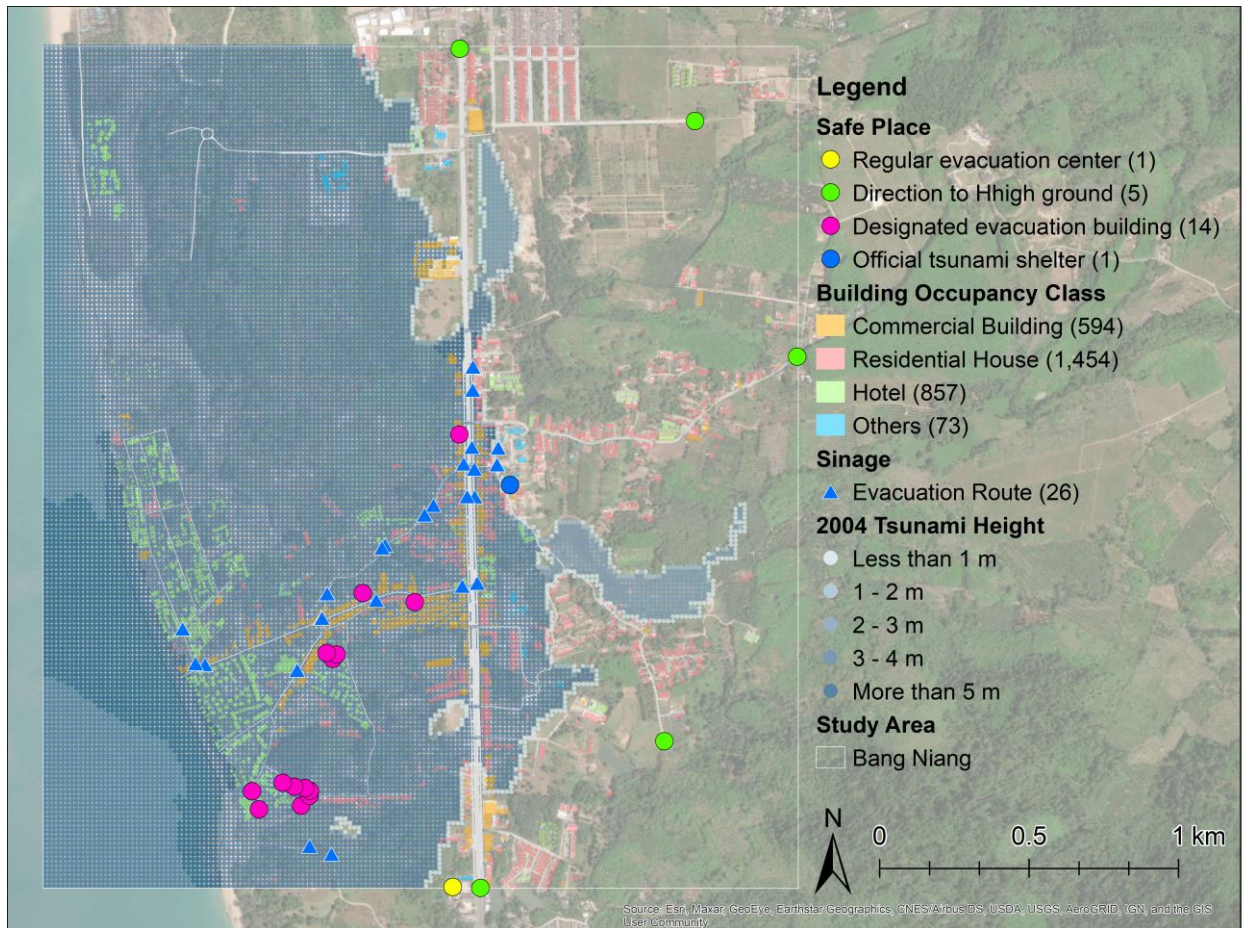
กระบวนการอพยพหนีภัยสึนามิเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน เริ่มจากการกระจายตัวของผู้คนในพื้นที่ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1.2 และเมื่อผู้คนได้รับการเตือนให้อพยพก็จะตามมาด้วยการตัดสินใจต่างๆ เช่น จะอพยพหรือไม่ หลังจากตัดสินใจอพยพแล้วจะใช้เวลาเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพเมื่อไหร่ เมื่อพร้อมอพยพแล้วจะเดินทางไปยังสถานที่ปลอดภัยลักษณะใด จะรวมตัวกับสมาชิกก่อนเริ่มอพยพหรือไม่ หากไม่ได้อยู่ด้วยกัน จะเดินทางอพยพในลักษณะใด ทราบเส้นทางไปยังสถานที่อพยพที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งการตัดสินใจเหล่านี้ได้ถูกนำมาเขียนเป็นแผนภาพการตัดสินใจและตอบสนองของบุคคลดังรูปที่ 5.8

5.3.1 แบบจำลองเชิงพื้นที่บางเนียง

สำหรับพื้นที่ศึกษา บางเนียง เป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่เขาหลัก จากวิธีการประเมินจำนวนประชากรในหัวข้อ 5.1.2 สำหรับพื้นที่ศึกษาบางเนียง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเขาหลัก มีจำนวนประชากรในเวลากลางวันทั้งหมด 13,879 คน แบ่งเป็นผู้อยู่อาศัย 4,024 (29%) คน และนักท่องเที่ยว 9,855 (71%) คน และในเวลากลางคืนทั้งหมด 14,674 คน แบ่งเป็นผู้อยู่อาศัย 4,819 (33%) คน และนักท่องเที่ยว 9,855 (67%) คน เนื่องจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวและสึนามิสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งเวลากลางวันและกลางคืน ดังนั้นการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการจำลองจึงพิจารณาถึงจำนวนประชากรทั้งสองเวลา โดยมีคุณลักษณะของพื้นที่ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.8 แผนผังลำดับขั้นตอนการตัดสินใจและตอบสนองของบุคคล



รูปที่ 5.9 พื้นที่ศึกษาบางเนียง เขตหลัก

5.3.2 แบบจำลองการตัดสินใจที่เกี่ยวกับกระบวนการอพยพ

การตัดสินใจที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ผู้คนที่เสี่ยงต่อภัยสึนามิในหลายพื้นที่ชายฝั่งทะเลไม่ได้มีเพียงผู้คนที่ในพื้นที่เท่านั้น แต่ผู้คนที่อยู่นอกพื้นที่ เช่น ผู้ที่เข้ามาทำงานหรือนักท่องเที่ยวที่มีความเสี่ยงเท่ากันหรืออาจมากกว่าเนื่องจากอาจขาดความตระหนักต่อภัยสึนามิและมีความคุ้นเคยต่อพื้นที่น้อยกว่าผู้คนที่อยู่ในพื้นที่ ส่งผลให้ผู้คนที่อยู่นอกพื้นที่ไม่สามารถอพยพได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างความแตกต่างระหว่างกลุ่มประชากรข้างต้นสามารถจำลองด้วยแบบจำลองเชิงบุคคลด้วยวิธีระบบมัลติเอเจนต์ (Multi-Agent System) ซึ่งประกอบไปด้วยแบบจำลองการตัดสินใจการตัดสินใจของแต่ละเอเจนต์ การสร้างแบบจำลองการตัดสินใจในกระบวนการอพยพหนีภัยสึนามิให้มีความสมจริง คณะผู้วิจัยใช้ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (conditional probability) เพื่อให้เหตุการณ์การตัดสินใจหนึ่ง (A) และอีกการตัดสินใจหนึ่ง (B) เกี่ยวข้องกัน (dependent events) เมื่อเหตุการณ์ A และ B เกี่ยวข้องกัน ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ B เมื่อเหตุการณ์ A เกิดขึ้นแล้ว (probability of B given A) เขียนแทนสัญลักษณ์ $P(B | A)$ หรือเรียกว่าความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของเหตุการณ์ B เมื่อเหตุการณ์ A เกิดขึ้นแล้ว

เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ด้านข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามกับการตัดสินใจในกระบวนการอพยพหนีภัยสึนามิ ดังที่กล่าวในหัวข้อ 5.1.4 พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีสถานะเป็นผู้คนที่อยู่ในพื้นที่ที่มีการตัดสินใจในการเลือกลักษณะการอพยพแตกต่างจากกลุ่มตัวอย่างที่มีสถานะเป็นผู้คนนอกพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญ ($\chi^2 = 19.50, p = 0.00$) และเมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการตัดสินใจในกระบวนการอพยพหนีภัยสึนามิพบว่า การเลือกกลุ่มลักษณะ

การอพยพยังส่งผลต่อการเลือกจุดหมายปลายทางที่จะอพยพอย่างมีนัยสำคัญ ($\chi^2 = 64.05$, $p = 0.04$) โดยตารางที่ 5.18 ผลจากแบบสอบถาม (คอลัมน์ที่ 4) แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็น (probability distribution) ของตัวแปรชนิดไม่ต่อเนื่อง (discrete variable) หรือค่าของตัวแปรเหล่านั้นได้มาจากการนับ (คอลัมน์ที่ 1-3) และสัญญาณลักษณะของความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของแต่ละเหตุการณ์ (คอลัมน์ที่ 6) แสดงเงื่อนไขของการตัดสินใจเลือกจุดหมายปลายทางที่จะอพยพ (dest) เกี่ยวข้องกับกลุ่มลักษณะการอพยพ (mode) และเกี่ยวข้องกับสถานะ (status) เช่น $P(\text{dest} = \text{TS} \mid \text{mode} = \text{ped and stat} = \text{loc})$ หมายถึง ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของการตัดสินใจเลือกจุดหมายปลายทางที่จะอพยพเป็นอาคารหลบภัยสึนามิ (TS) เมื่อตัดสินใจเลือกกลุ่มลักษณะการอพยพเป็นการเดินเท่านั้น (ped) และเมื่อบุคคลนี้มีสถานะเป็นผู้คนในพื้นที่ (loc) เท่ากับร้อยละ 10

เพื่อทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง คณะผู้วิจัยจึงได้ใช้วิธีการทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างฐานข้อมูลและแบบจำลอง ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 5.18 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างผลจากแบบจำลอง (คอลัมน์ที่ 5) และผลจากแบบสอบถาม (คอลัมน์ที่ 4) มีทิศทางเดียวกัน กล่าวคือวิธีการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจโดยใช้ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขสามารถรักษาร้อยละการแจกแจงความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์ที่พบในผลจากแบบสอบถาม

เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ด้านข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามกับการตัดสินใจในกระบวนการอพยพหนีภัยสึนามิ ดังที่กล่าวในหัวข้อ 5.1.4 พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีสถานะเป็นผู้คนในพื้นที่มีสิ่งที่จะทำหลังตัดสินใจอพยพการตัดสินใจอพยพแตกต่างจากกลุ่มตัวอย่างที่มีสถานะเป็นผู้คนนอกพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญ ($\chi^2 = 122.29$, $p = 0.00$) ซึ่งความต้องการที่รวมตัวกับสมาชิกระหว่างกระบวนการอพยพมีสัดส่วนร้อยละ 15.80 ซึ่งสูงเป็นอันดับหนึ่งจากกลุ่มสิ่งที่จะทำหลังจากตัดสินใจอพยพทั้งหมด และความต้องการดังกล่าวยังเป็นพฤติกรรมที่พบในกรณีศึกษาของต่างประเทศด้วย (Goto et al., 2012) เนื่องจากพฤติกรรมดังกล่าวอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการอพยพหนีภัยสึนามิที่มีประสิทธิภาพ คณะผู้วิจัยจึงสร้างแบบสอบถามให้สามารถวิเคราะห์หารูปแบบการอพยพต่างๆ รวมไปถึงพฤติกรรมการรวมตัวกับสมาชิก ดังที่กล่าวในหัวข้อ 5.1.4

ตารางที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างผลจากแบบสอบถามและแบบจำลองการตัดสินใจเลือกจุดหมายปลายทางที่จะอพยพ

สถานะ (stat)	กลุ่มลักษณะการอพยพ (mode)	จุดหมายปลายทางที่จะอพยพ (dest)	ผลจากแบบสอบถาม		ผลจากแบบจำลอง		สัญลักษณ์ของความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (conditional probability)
			จำนวนตัวอย่าง	ร้อยละ	จำนวนเอเจนท์	ร้อยละ	
ผู้คนในพื้นที่ (loc)	เดินเท่านั้น (ped)	อาคารหลบภัยสึนามิ (TS)	2	10.00	51	10.54	$P(\text{dest} = \text{TS} \mid \text{mode} = \text{ped and stat} = \text{loc})$
		อาคารสูง (TB)	2	10.00	52	10.74	$P(\text{dest} = \text{TB} \mid \text{mode} = \text{ped and stat} = \text{loc})$
		พื้นที่สูง (HG)	10	50.00	249	51.45	$P(\text{dest} = \text{HG} \mid \text{mode} = \text{ped and stat} = \text{loc})$
		จุดอพยพ (EC)	5	25.00	98	20.25	$P(\text{dest} = \text{EC} \mid \text{mode} = \text{ped and stat} = \text{loc})$
		อื่นๆ (OTH)	1	5.00	34	7.02	$P(\text{dest} = \text{OTH} \mid \text{mode} = \text{ped and stat} = \text{loc})$
	ยานพาหนะเท่านั้น (veh)	อาคารหลบภัยสึนามิ (TS)	19	15.32	439	15.20	$P(\text{dest} = \text{TS} \mid \text{mode} = \text{veh and stat} = \text{loc})$
		อาคารสูง (TB)	13	10.48	315	10.91	$P(\text{dest} = \text{TB} \mid \text{mode} = \text{veh and stat} = \text{loc})$
		พื้นที่สูง (HG)	33	26.61	770	26.66	$P(\text{dest} = \text{HG} \mid \text{mode} = \text{veh and stat} = \text{loc})$
		จุดอพยพ (EC)	57	45.97	1,315	45.53	$P(\text{dest} = \text{EC} \mid \text{mode} = \text{veh and stat} = \text{loc})$
		อื่นๆ (OTH)	2	1.61	49	1.70	$P(\text{dest} = \text{OTH} \mid \text{mode} = \text{veh and stat} = \text{loc})$
	เดินและอื่นๆ (any)	อาคารหลบภัยสึนามิ (TS)	29	19.33	585	19.82	$P(\text{dest} = \text{TS} \mid \text{mode} = \text{any and stat} = \text{loc})$
		อาคารสูง (TB)	24	16.00	479	16.23	$P(\text{dest} = \text{TB} \mid \text{mode} = \text{any and stat} = \text{loc})$
		พื้นที่สูง (HG)	49	32.67	982	33.28	$P(\text{dest} = \text{HG} \mid \text{mode} = \text{any and stat} = \text{loc})$
		จุดอพยพ (EC)	46	30.67	861	29.18	$P(\text{dest} = \text{EC} \mid \text{mode} = \text{any and stat} = \text{loc})$
		อื่นๆ (OTH)	2	1.33	44	1.49	$P(\text{dest} = \text{OTH} \mid \text{mode} = \text{any and stat} = \text{loc})$
ผู้คนนอกพื้นที่ (vis)	เดินเท่านั้น (ped)	อาคารหลบภัยสึนามิ (TS)	15	13.39	1,016	13.42	$P(\text{dest} = \text{TS} \mid \text{mode} = \text{ped and stat} = \text{vis})$
		อาคารสูง (TB)	33	29.46	2,221	29.35	$P(\text{dest} = \text{TB} \mid \text{mode} = \text{ped and stat} = \text{vis})$
		พื้นที่สูง (HG)	28	25.00	1,913	25.28	$P(\text{dest} = \text{HG} \mid \text{mode} = \text{ped and stat} = \text{vis})$
		จุดอพยพ (EC)	34	30.36	2,284	30.18	$P(\text{dest} = \text{EC} \mid \text{mode} = \text{ped and stat} = \text{vis})$
		อื่นๆ (OTH)	2	1.79	134	1.77	$P(\text{dest} = \text{OTH} \mid \text{mode} = \text{ped and stat} = \text{vis})$
	ยานพาหนะเท่านั้น (veh)	อาคารหลบภัยสึนามิ (TS)	18	13.74	1,495	14.02	$P(\text{dest} = \text{TS} \mid \text{mode} = \text{veh and stat} = \text{vis})$
		อาคารสูง (TB)	13	9.92	1,079	10.12	$P(\text{dest} = \text{TB} \mid \text{mode} = \text{veh and stat} = \text{vis})$
		พื้นที่สูง (HG)	52	39.69	4,172	39.13	$P(\text{dest} = \text{HG} \mid \text{mode} = \text{veh and stat} = \text{vis})$

สถานะ (stat)	กลุ่มลักษณะการอพยพ (mode)	จุดหมายปลายทางที่จะอพยพ (dest)	ผลจากแบบสอบถาม		ผลจากแบบจำลอง		สัญลักษณ์ของความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (conditional probability)
			จำนวนตัวอย่าง	ร้อยละ	จำนวนเอเจนท์	ร้อยละ	
		จุดอพยพ (EC)	43	32.82	3,528	33.09	$P(\text{dest} = \text{EC} \mid \text{mode} = \text{veh and stat} = \text{vis})$
		อื่นๆ (OTH)	5	3.82	388	3.64	$P(\text{dest} = \text{OTH} \mid \text{mode} = \text{veh and stat} = \text{vis})$
	เดินและอื่นๆ (any)	อาคารหลบภัยสึนามิ (TS)	60	17.96	3,397	18.14	$P(\text{dest} = \text{TS} \mid \text{mode} = \text{any and stat} = \text{vis})$
		อาคารสูง (TB)	59	17.66	3,216	17.18	$P(\text{dest} = \text{TB} \mid \text{mode} = \text{any and stat} = \text{vis})$
		พื้นที่สูง (HG)	90	26.95	5,059	27.02	$P(\text{dest} = \text{HG} \mid \text{mode} = \text{any and stat} = \text{vis})$
		จุดอพยพ (EC)	123	36.83	6,947	37.10	$P(\text{dest} = \text{EC} \mid \text{mode} = \text{any and stat} = \text{vis})$
		อื่นๆ (OTH)	2	0.60	104	0.56	$P(\text{dest} = \text{OTH} \mid \text{mode} = \text{any and stat} = \text{vis})$

ระยะเวลาที่เตรียมตัวก่อนเริ่มเดินทาง แม้ว่าภัยพิบัติสึนามิที่เกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 2004 คลื่นสึนามิใช้เวลาเดินทางจากแหล่งกำเนิดมาถึงแผ่นดินเป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง แต่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นอย่างมาก ปัจจุบันประเทศไทยมีระบบเตือนภัยล่วงหน้า (early warning system) ที่จะช่วยให้ผู้คนในพื้นที่เสี่ยงสามารถเตรียมตัวเพื่ออพยพหนีภัยสึนามิ โดยมีศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ (ศภช.) เป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่รับผิดชอบการเตือนภัยดังกล่าว อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่ใช้สำหรับการเตือนภัยนี้อาจใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกันไป ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาดังตารางที่ 5.19 ศูนย์เตือนภัยใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 15 นาที หรือมากที่สุดประมาณ 42 นาที หรือโดยเฉลี่ยประมาณ 27.5 นาที ดังนั้นการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการจำลองจึงพิจารณาถึงความเป็นไปได้ของระยะเวลาที่ใช้ทั้ง 3 กรณี โดยให้น้ำหนักความเป็นไปได้มากที่สุดก็คือค่าของระยะเวลาเฉลี่ย

ตารางที่ 5.19 เหตุการณ์แผ่นดินไหวและการเตือนภัยในอดีต

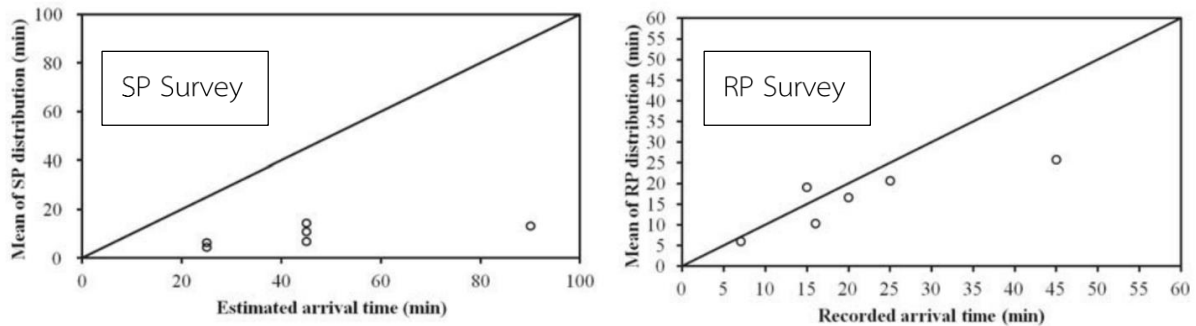
วัน-เดือน-ปี	เวลา	แผ่นดินไหว			เวลาที่ประกาศเตือนภัย	ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)
		ขนาด (M_w)	ความลึก (กม.)	แหล่งกำเนิด		
28 มี.ค. 48	23:10	8.6	30	ทางตอนเหนือของเกาะสุมาตรา	23:45 (ให้อพยพ)	35
24 ก.ค. 48	22:42	7.2	16	หมู่เกาะนิโคบาร์	23:00 (ให้อพยพ)	18
12 ก.ย. 50	18:10	8.4	35	ทางตอนใต้ของเกาะสุมาตรา	19:49 (แจ้งสถานการณ์)	1 ชม 39 นาที
20 ก.พ. 51	15:05	7.5	35	ทางตะวันตกของเกาะสุมาตรา	-	-
30 ก.ย. 52	17:16	7.9	81	ทางตอนใต้ของเกาะสุมาตรา	-	-
7 เม.ย. 53	5:15	7.8	31	ทางตอนเหนือของเกาะสุมาตรา	5:30 (ให้อพยพ)	15
11 เม.ย. 55	15:38	8.6	20	ตะวันตกเฉียงเหนือของเกาะสุมาตรา	16:20 (ให้อพยพ)	42
	17:43	8.2	25	ตะวันตกเฉียงเหนือของเกาะสุมาตรา	17:47 (อพยพ)	4
2 มี.ค. 59	19:49	7.8	24	ทางตะวันตกเฉียงใต้ของเกาะสุมาตรา	20:03 (เผ่าระวัง)	14

การเตือนภัยเป็นหนึ่งในสิ่งกระตุ้น (trigger) ที่นำมาสู่การตัดสินใจเริ่มอพยพของผู้คน โดยภายหลังที่ผู้คนได้รับการเตือนภัยแล้ว ผลการศึกษาจากแบบสำรวจชี้ว่าผู้คน 80% เลือกใช้เวลาระยะหนึ่งเพื่อเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพ โดยผลการศึกษาจากแบบสำรวจชี้ว่าระยะเวลาดังกล่าวอาจถูกใช้ไปกับ การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสถานการณ์ การติดต่อกับสมาชิกคนอื่นๆ การเตือนผู้คนรอบข้าง การจัดเก็บสิ่งของที่สำคัญ และอื่นๆ ซึ่งคล้ายกับพฤติกรรมที่พบในประเทศญี่ปุ่น (Goto et al., 2012a)

ระยะเวลาเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพดังกล่าวส่วนมากได้มาจากการสำรวจซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ Revealed Preference (RP) surveys ที่เป็นการเก็บข้อมูลจากผู้คนที่เพิ่งประสบภัย ในขณะที่ Stated Preference (SP) surveys ที่เป็นการเก็บข้อมูลจากพฤติกรรมสมมุติ (hypothetical behavior) ในอนาคต Mas et al., 2012 ได้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้ก่อนเริ่มอพยพจากแบบสำรวจ RP และ SP กับระยะเวลาที่คลื่นสึนามิใช้เวลาเดินทางจากแหล่งกำเนิดมาถึงชายฝั่ง พบว่า ผลจากแบบสำรวจชนิด RP มีความสัมพันธ์ที่สูงกว่าชนิด SP ดังรูปที่ 5.10 โดยให้เหตุผลว่าผลจากแบบสำรวจชนิด SP อาจให้ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้ก่อนเริ่มอพยพน้อยกว่าความเป็นจริง ดังนั้นเนื่องจากค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นผลจากการเก็บข้อมูลชนิด SP แบบจำลองระยะเวลาที่ผู้คนใช้ในการเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพจึงพิจารณาความเป็นไปได้ของกรณีที่ผู้คนอาจใช้เวลาเตรียมตัวมากกว่าค่าเฉลี่ย 2 เท่าและ 3 เท่าด้วย สำหรับการวิเคราะห์ความผันแปร (sensitivity analysis)

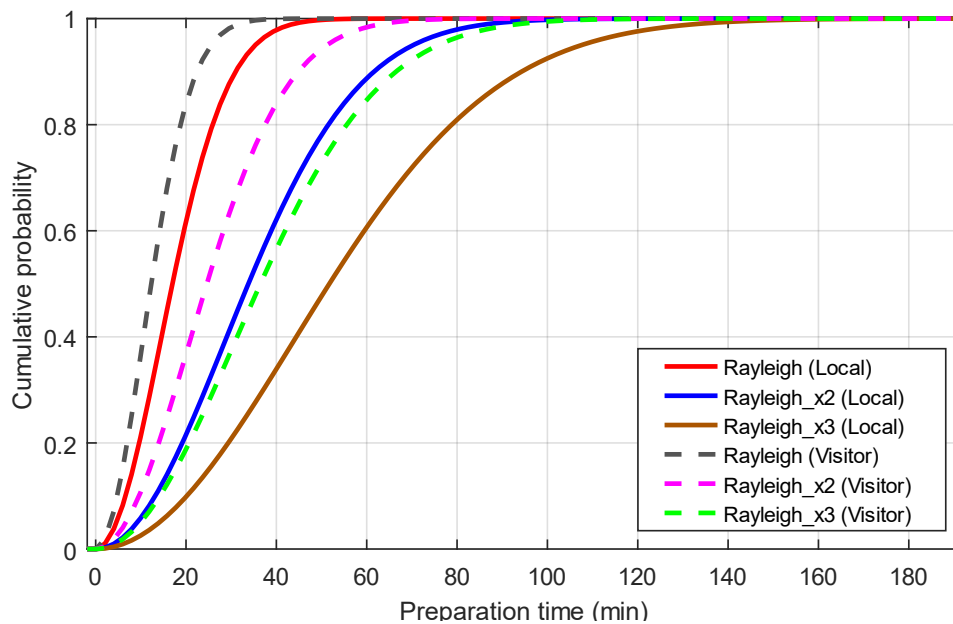
No	Survey Type	Country	City	Event	Survey	No of respondents	Arrival Time (min)	Mean time (min)	Correlation	NRMSE	Reference	Wave Height
1	SP	Japan	Arahama	-	[?].07.2000	1073	45	7	0.964	11%	(Suzuki T et al, 2005)	-
2	SP	Japan	Miyagi	-	[?].10.2002	1460	45	11	0.992	11%	(Hayakawa T. et al, 2003)	-
3	SP	Thailand	Phuket	-	18.03.2009	46	90	13	0.968	12%	(Suppasri, A., 2010)	-
4	SP	Japan	Matsushima	-	01.06.2009	750	45	15	0.994	4%	(Shishido, N., 2010)	-
5	SP	Peru	La Punta	-	20.09.2010	128	25	7	0.988	6%	This study	-
6	SP	Peru	La Punta	-	10.09.2011	127	25	5	0.994	4%	This study	-
1	RP	Japan	Sanriku	02.11.1989	14.11.1989	1778	25	21	0.998	3%	(Saito, T., 1990)	0.56
2	RP	Japan	Okushiri	12.07.1993	[?].01.1994	182	7	6	1.000	3%	Online (*)	20.00
3	RP	Japan	Hokkaido	26.09.2003	[?].03.2005	2500	16	10	0.991	6%	(Hiroi, O. et al, 2005)	1.30
4	RP	Indonesia	Padang	12.09.2007	29.10.2007	29	45	26	0.988	6%	GTZ (2007)	0.90
5	RP	Indonesia	Padang	30.09.2009	07.11.2009	98	15	19	0.998	3%	GTZ (2009)	0.27
6	RP	Japan	Kamaishi	11.03.2011	28.04.2011	61	20	17	0.983	8%	NPO CeMI (2011)	8.00

(*) <http://www.drcsnp.org/Tsunami1993.JAPAN/Okushiri.html>



รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้ก่อนเริ่มอพยพ กับระยะเวลาเวลาที่คลื่นสึนามิใช้เดินทางจากแหล่งกำเนิดมาถึงแผ่นดิน (Mas *et al.*, 2012)

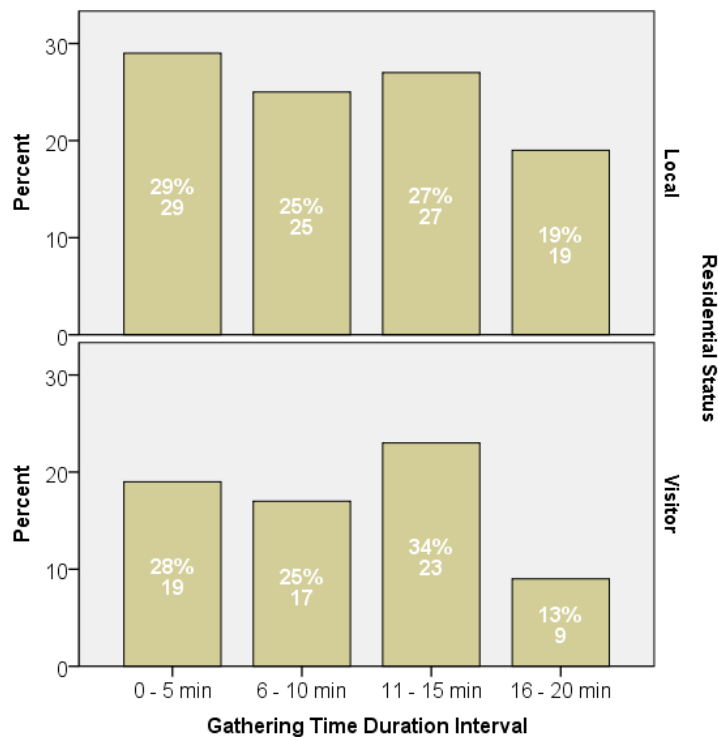
เป็นที่ทราบกันดีว่าผู้คนต่างใช้เวลาในการเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพที่แตกต่างกัน Mas *et al.*, 2012 เสนอว่าเวลาที่ผู้คนเริ่มอพยพมีการแจกแจงแบบ Rayleigh ซึ่งใช้พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย μ ในการจำลอง เนื่องจากการแจกแจงนี้สามารถจำลองความหลากหลายได้และใกล้เคียงกับความเป็นจริง อีกทั้งยังใช้พารามิเตอร์เพียงตัวเดียว จึงเป็นที่นิยมใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับการอพยพหนีภัยสึนามิ (S. A. Fraser *et al.*, 2014; Mostafizi *et al.*, 2017; Takabatake *et al.*, 2018, 2017; Wang *et al.*, 2016) เช่นเดียวกัน ระยะเวลาการเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพในแบบจำลองนี้ใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบสำรวจ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 18 นาทีสำหรับผู้อยู่อาศัย และ 13 นาทีสำหรับนักท่องเที่ยว โดยให้มีการแจกแจง Rayleigh ดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 ลักษณะการแจกแจงของระยะเวลาการเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพ

5.3.3 แบบจำลองตรรกะ

การรวมตัวกับสมาชิกก่อนเริ่มอพยพ ณ สถานที่ต่าง ๆ หลังจากผู้คนเริ่มเดินทางแล้ว นอกจากเดินทางไปยังสถานที่ปลอดภัย (safe place) ยังมีผู้คนบางส่วนต้องการที่จะรวมตัวกับสมาชิก (gathering) ก่อน ซึ่งผลการศึกษาจากแบบสำรวจชี้ว่า ผู้อยู่อาศัยประมาณ 19% และนักท่องเที่ยวประมาณ 22% เลือกที่จะไปยังสถานที่ปลอดภัยทันที และสำหรับผู้คนที่เลือกจะรวมตัวกับสมาชิกประมาณ 80% นั้นแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ 1) รอ ณ สถานที่เดิมระยะเวลาหนึ่ง (wait) 2) ออกไปตามหาสมาชิก (look for) 3) รอ ณ สถานที่เดิมระยะเวลาหนึ่งแล้วออกไปตามหาสมาชิก ในกรณีที่รอแล้วไม่เจอกับสมาชิก (wait and look for) โดยมีสถานที่ 3 แห่ง ที่ผู้คนอาจเลือกที่จะเดินทางไปเพื่อตามหาสมาชิก ได้แก่ 1) สถานที่ที่เจอกันล่าสุด (the same place) 2) ที่พักอาศัย (the accommodation) โดยที่กำหนดให้อาคารประเภทบ้านเดี่ยว (residential house) เป็นสถานที่สำหรับตามหาสมาชิกของผู้อยู่อาศัย และกำหนดให้โรงแรม (hotel) เป็นสถานที่สำหรับตามหาสมาชิกของนักท่องเที่ยว 3) ศูนย์อพยพ (regular evacuation center) ซึ่งระยะเวลาที่รอหรือระยะเวลาที่ใช้ตามหาสมาชิก ณ สถานที่นั้นๆ ไม่เกิน 20 นาที โดยมีสัดส่วนอ้างอิงจากผลการศึกษาจากแบบสอบถามดังรูปที่ 5.12 อีกทั้งกำหนดให้โอกาสที่จะรวมตัวกับสมาชิกสำเร็จในแต่ละครั้งมีเพียง 50% เนื่องจากผลการศึกษาชี้ว่าผู้คนบางส่วนเลือกที่จะออกตามหาสมาชิกมากกว่า 1 จุดหมาย สุดท้ายเมื่อรวมตัวกันสำเร็จจึงจะอพยพไปยังจุดหมายปลายทางที่ปลอดภัย ซึ่งพฤติกรรมรวมตัวกับสมาชิกอาจลดลงได้หากผู้คนได้ในพื้นที่ที่ได้รับคำแนะนำที่เหมาะสม เช่น จากคู่มือภายในโรงแรม การชักซ้อมอพยพหนีภัยสึนามิ หรือการทำความเข้าใจกับภายในกลุ่มสมาชิก



รูปที่ 5.12 ช่วงระยะเวลาที่ใช้เพื่อ ณ สถานที่หนึ่งๆ เพื่อรวมตัวกับสมาชิก

การเลือกเส้นทางไปยังจุดหมายปลายทาง การอพยพหนีภัยสึนามิแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การอพยพแนวราบ (horizontal evacuation) เป็นพื้นที่สูง (high ground) หรือศูนย์อพยพ (regular evacuation center) ที่จะอยู่นอกพื้นที่การท่วมถึงของคลื่นสึนามิเมื่อในอดีต และการอพยพแนวตั้ง (vertical evacuation) เป็นอาคารหลบภัยสึนามิ (tsunami shelter) ที่อยู่ในพื้นที่การท่วมถึงของคลื่นสึนามิเมื่อในอดีต และอาคารสูงสำหรับอพยพหนีภัยสึนามิ (designated evacuation building) แม้ว่าจะไม่ถูกกำหนดไว้อย่างเป็นทางการสำหรับพื้นที่ศึกษา แต่ก็เป็จุดหมายปลายทางประเภทหนึ่งที่ผู้คนเลือกที่จะอพยพไป โดยสำหรับกรณีฐานกำหนดให้ผู้คนที่ต้องการไปยังจุดหมายปลายทางนี้เดินทางไปยังอาคารหลบภัยสึนามิแทน เนื่องจากการอพยพในแนวตั้งเหมือนกัน อย่างไรก็ตาม ในแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จะพิจารณาถึงผลลัพธ์ของให้มีอาคารสูงสำหรับอพยพหนีภัยสึนามิ โดยกำหนดให้อาคารสูงตั้งแต่ 4 ชั้น (tall building) เป็นจุดหมายสำหรับการอพยพในแนวตั้ง แม้ว่าอาคารสูงในพื้นที่ศึกษาไม่ได้ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะเหมือนกับอาคารหลบภัยสึนามิ ซึ่งการกำหนดให้อาคารสูงที่มีอยู่ในพื้นที่ใช้เป็นจุดหมายปลายทางที่ปลอดภัยสำหรับการอพยพหนีภัยสึนามิ อาจช่วยลดระยะเวลาการเดินทางของผู้คนและจำนวนผู้เสียชีวิตได้ ซึ่งผลจากแบบสำรวจชี้ว่ามีผู้คนเพียง 30% เลือกที่จะอพยพในแนวตั้ง

การเลือกเส้นทางและการเปลี่ยนเส้นทางระหว่างอพยพ เนื่องจากจุดหมายปลายทางแต่ละประเภทอาจมีมากกว่า 1 แห่ง ดังนั้นการไปยังจุดหมายปลายทางของบุคคลในแบบจำลองอาจไม่ใช่จุดหมายปลายทางที่ใกล้ที่สุด การเลือกและการเดินทางไปยังจุดหมายปลายทางที่ปลอดภัยนั้นจึงขึ้นอยู่กับความรู้หรือความคุ้นเคยกับพื้นที่นั้นๆ ซึ่งในแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานให้แบบจำลองบุคคลที่ไม่รู้จักเส้นทางในพื้นที่นั้นจะเดินทางไปยังจุดหมายปลายทางในประเภทที่ต้องการแบบสุ่ม (random) หรือกล่าวคือหากจุดปลอดภัยประเภทนั้นๆ มีมากกว่า 1 แห่ง โอกาสที่แต่ละแห่งจะถูกเลือกนั้นมีค่าเท่าๆ กัน ส่วนแบบจำลองบุคคลที่รู้จักเส้นทางในพื้นที่นั้นจะเดินทางไปยังจุดหมายปลายทางในประเภทที่ต้องการที่ใกล้ที่สุด (the closest) ซึ่งผลจากแบบสำรวจชี้ว่า ผู้อยู่

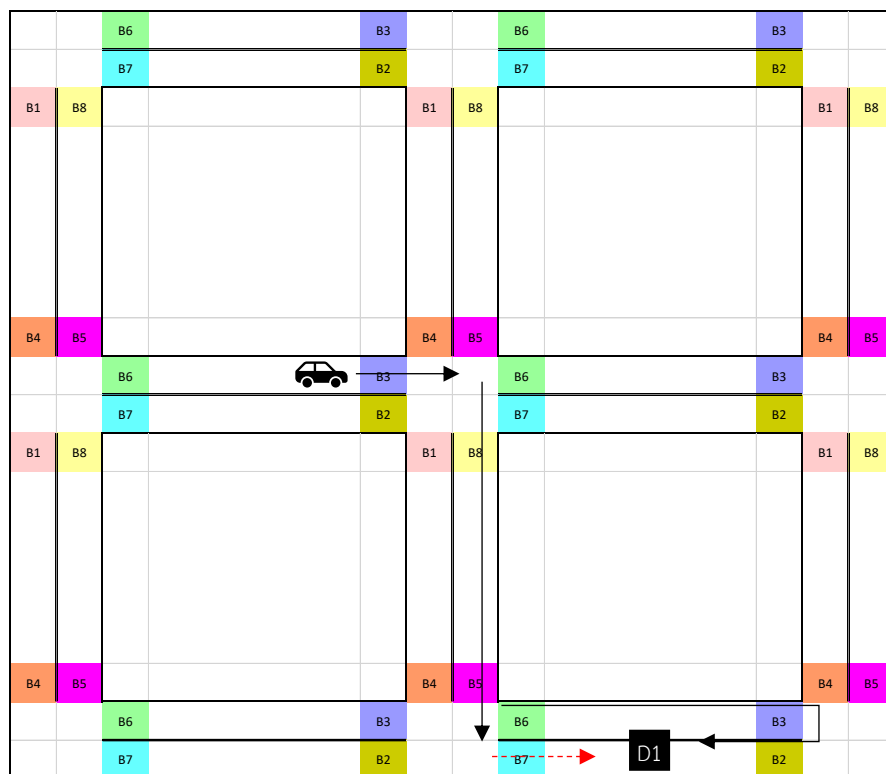
อาศัย 80% มีทราบเส้นทางไปยังจุดหมายปลายทางที่ตนต้องการ ต่างจากนักท่องเที่ยวที่มีเพียง 20% ดังนั้นหากสามารถทำให้ผู้คนในพื้นที่สามารถไปยังจุดหมายปลายทางที่ต้องการได้ผ่านเส้นทางที่ใกล้ที่สุด อาจส่งผลดีต่อการอพยพหนีภัยสึนามิ เช่น ใช้แอปพลิเคชันที่ช่วยนำทางได้

5.3.4 แบบจำลองทางกายภาพ

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเอเจนต์ตามลักษณะการเดินทาง การเดินทางไปยังจุดหมาย (mode choice) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ 1) ทางเท้า (pedestrian) ถูกกำหนดให้ความเร็วในอพยพทางเท้ามีความแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงอายุ 0 - 14 ปี 15 - 64 ปี และมากกว่า 65 ปี (Takabatake et al., 2018) ซึ่งความเร็วในการอพยพของแต่ละช่วงอายุถูกกำหนดให้มีการแจกแจงแบบปกติ Normal distribution (Chandra & Bharti, 2013) ที่มีค่าความเร็วเฉลี่ย μ เท่ากับ 1.20 1.38 และ 1.00 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ เท่ากับ 0.109 เมตรต่อวินาที และ 2) ทางยานพาหนะ (vehicle) ถูกกำหนดให้ความเร็วในอพยพที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.00 เมตรต่อวินาที ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.277 เมตรต่อวินาที อ้างอิงจากความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ส่วนบุคคลในเขตกรุงเทพมหานครในปี ค.ศ. 2019 โดยสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.)

การหลบหลีกกันของเอเจนต์ การหลบหลีกกันของเอเจนต์อาจเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ ลักษณะแรกเกิดขึ้นระหว่างการอพยพอาจมีผู้คนที่เดินทางสวนกับผู้อื่น (contraflow) ซึ่งเป็นพฤติกรรมการอพยพที่พบจริงและได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1.3 และอีกลักษณะเกิดขึ้นเมื่อผู้คนที่ต้องการที่จะแซง (overtaking) โดยการบังคับเลี้ยวหรือหลบหลีกกันของเอเจนต์จะรับตำแหน่งของมุมถัดไปและพิจารณาจากทิศทางที่ต้องการและความเร็ว (หรืออัตราเร็ว) ที่จำเป็นในการไปถึงจุดหมาย การใช้ความเร็วที่ต้องการในการเคลื่อนย้ายเอเจนต์อาจทำให้เกิดการชนกับเอเจนต์อื่นได้ อีกทั้งการหลีกเลี่ยงอุปสรรคจะเลือกความเร็วใหม่ที่สมดุลระหว่างการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการและป้องกันการชนกับตัวแทนอื่น ๆ โดยอาศัยหลักการ reciprocal velocity obstacles, RVO เพื่อทำนายและป้องกันการชนกัน

การเคลื่อนตามช่องทางจราจรของเอเจนต์ เนื่องจากลักษณะการเดินทางอพยพหนีภัยสึนามิไม่ได้มีเพียงแค่การเดินเท้า แต่ครั้งหนึ่งของประชากรในพื้นที่ศึกษาอาจเลือกเดินทางด้วยยานพาหนะ อีกทั้งระหว่างการอพยพอาจมีผู้คนที่เดินทางสวนกับผู้อื่นๆ เพื่อที่จะกลับไปยังที่พักอาศัย ดังนั้นการที่ยานพาหนะสามารถเคลื่อนตามช่องทางจราจรประกอบกับการปรับลดความเร็วของเอเจนต์ จะช่วยให้ลักษณะพฤติกรรมการต่อแถว (queue behavior) ซึ่งหลายครั้งก็นำไปสู่สถานะคอขวด (bottleneck) แสดงผลได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยได้พัฒนาระบบการเคลื่อนตามช่องทางจราจรของเอเจนต์ดังรูปที่ 5.13 ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้กำหนดให้ยานพาหนะทำตามกฎจราจรของประเทศไทย หรือการจราจรซ้ายมือ โดยพื้นฐานแล้วการหาเส้นทางไปยังจุดหมายหนึ่งๆ (pathfinding) ของแบบจำลองจะอาศัยหลัก least cost distance ซึ่งระบบการเคลื่อนตามช่องทางจราจรของเอเจนต์อาศัยกฎพื้นฐานอย่างง่ายคือ ยานพาหนะจะไม่ต้องไม่วิ่งเข้าช่องจราจรที่เป็นการสวนช่องทางจราจรผ่านการกำหนดกล่องขึ้นมา 8 กล่องตามแยกต่างๆ (blockers) ซึ่งจะมีค่าปรับเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับการเดินทางของแต่ละเอเจนต์ ตัวอย่างเช่น หากแบบจำลองยานพาหนะต้องการเดินทางไปยัง D1 ซึ่งโดยพื้นฐานแล้วแบบจำลองจะเดินทางดั่งเส้นประสีแดง โดยผ่านช่อง B3 B8 B5 และ B7 โดยรถจะวิ่งสวนทางเมื่อผ่านช่อง B7 แต่เมื่อใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น ยานพาหนะจะเดินทางตามเส้นสีดำ โดยผ่านช่อง B3 B8 B5 และ B6 ซึ่งมีการกลับรถผ่านช่อง B3 และ B2



รูปที่ 5.13 ระบบการเคลื่อนตามช่องทางจราจรของเอเจนต์

บทที่ 6

ผลลัพธ์จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คน

6.1 การจำลองกรณีฐาน Questionnaire-based Case

พารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับกรณีฐานอ้างอิงจากผลของแบบสำรวจของงานวิจัย (reference) ที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 5.1.4 และ 5.1.5 ซึ่งตรรกะของแบบจำลองบุคคลหรือเอเจนต์เป็นไปตามหัวข้อ 5.3.3 โดยการวิเคราะห์กรณีฐานนี้กำหนดให้ หลังจากเกิดแผ่นดินไหวในทะเล คลื่นสึนามิจะใช้เวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเดินทางมาถึงชายฝั่งหรือพื้นที่ศึกษา ซึ่งในกรณีนี้คือพื้นที่ศึกษาบางเนียง และผลลัพธ์ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นจำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่างๆ เช่น อาคารหลบภัยสึนามิ อาคารสูงที่ถูกกำหนดให้เป็นสถานที่อพยพ ศูนย์อพยพ และพื้นที่สูง ดังรูปที่ 5.9 และพิจารณาผลลัพธ์ในแต่ละกรณีของระยะเวลาเตือนภัย ตัวอย่างเช่น เมื่อใช้เวลาเตือนภัย 42 นาที จะมีจำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่าง ๆ ทั้งสิ้นประมาณ 95.9% ของจำนวนประชากรของพื้นที่ศึกษาบางเนียงในเวลากลางวัน สึนามิสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา จากผลการประเมินจำนวนประชากรหัวข้อ 5.1.2 ด้วยสถิติค่าเฉลี่ยจำนวนผู้ใช้อาคารต่อหน่วยพื้นที่ใช้สอยที่แตกต่างกันไปในเวลากลางวันหรือกลางคืน ส่งผลให้การกระจายตัวของประชากรแตกต่างกันด้วย เช่น ในเวลากลางคืนผู้คนส่วนมากจะอยู่ตามที่พักอาศัย ส่วนในเวลากลางวันจะมีผู้คนอยู่ตามร้านค้าและสถานที่สาธารณะ จากตารางที่ 6.1 และตารางที่ 6.2 ชี้ว่า จำนวนและการกระจายตัวประชากรในเวลากลางวันและกลางคืนไม่ส่งผลต่อผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญ

ผลจากแบบสำรวจในหัวข้อ 5.1.4 และ 5.1.5 ชี้ว่ามีผู้คนประมาณ 80% เลือกใช้เวลาระยะหนึ่งเพื่อเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพ และ Mas et al., 2012 ชี้ว่าระยะเวลาที่ใช้ก่อนเริ่มอพยพในสถานการณ์จริงอาจมากกว่าที่ได้ผลสำรวจที่ได้จากแบบสอบถาม เมื่อพิจารณาข้อเท็จจริงดังกล่าวเป็นไปได้ว่าในเหตุการณ์จริงผู้คนอาจใช้เวลามากกว่าที่คาดไว้ถึง 2 เท่า (reference x2) ซึ่งการพิจารณาในส่วนนี้คำนึงถึงความเป็นไปของกรณีที่ใช้เวลามากผลจากแบบสำรวจจำนวนอื่นๆ ด้วย เช่น 3 4 และ 5 เท่า จากตารางที่ 6.1 และตารางที่ 6.2 ชี้ว่า ระยะเวลาที่ใช้เตรียมตัวก่อนเริ่มต้นอพยพที่เพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบสำรวจส่งผลต่อผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีประชากรเพียงครึ่ง (50.9%) ที่สามารถอพยพไปยังสถานที่ปลอดภัยได้ หากใช้เวลาเตือนภัย 42 นาที และระยะเวลาเตรียมตัวเฉลี่ยก่อนเริ่มเดินทางมากกว่าผลการศึกษาจากแบบสำรวจ 5 เท่า

ตารางที่ 6.1 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่าง ๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และระยะเวลาเตรียมตัวเฉลี่ยก่อนเริ่มเดินทาง (ประชากรในเวลากลางวัน)

Case No.	Warning Time						ระยะเวลาเตรียมตัวเฉลี่ยก่อนเริ่มเดินทาง (Mean of preparation time)
	Min 15 min		Avg. 27.5 min		Max 42 min		
	Count	%	Count	%	Count	%	
1	13,499	97.3%	13,432	96.8%	13,315	95.9%	Reference (11 min)
2	13,415	96.7%	13,113	94.5%	12,448	89.7%	Reference X2
3	13,006	93.7%	11,971	86.3%	10,583	76.3%	Reference X3
4	11,907	85.8%	10,161	73.2%	8,519	61.4%	Reference X4
5	10,518	75.8%	8,603	62.0%	7,061	50.9%	Reference X5

ตารางที่ 6.2 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่าง ๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และระยะเวลาเตรียมตัวเฉลี่ยก่อนเริ่มเดินทาง (ประชากรในเวลากลางคืน)

Case No.	Warning Time						ระยะเวลาเตรียมตัวเฉลี่ยก่อนเริ่มเดินทาง (Mean of preparation time)
	Min 15 min		Avg. 27.5 min		Max 42 min		
	Count	%	Count	%	Count	%	
6	14,292	97.4%	14,241	97.0%	14,113	96.2%	Reference (11 min)
7	14,221	96.9%	13,884	94.6%	13,205	90.0%	Reference X2
8	13,707	93.4%	12,529	85.4%	11,063	75.4%	Reference X3
9	12,512	85.3%	10,669	72.7%	9,004	61.4%	Reference X4
10	11,133	75.9%	9,064	61.8%	7,475	50.9%	Reference X5

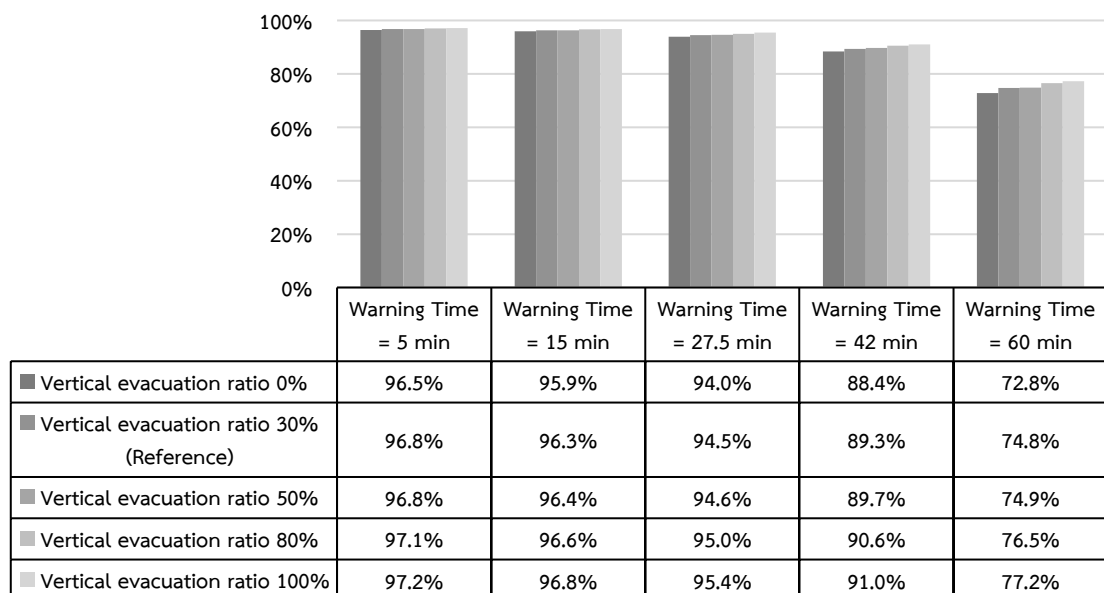
6.2 การวิเคราะห์ความผันแปร Sensitivity analysis

การวิเคราะห์ความผันแปรแบบ deterministic sensitivity analysis (DSA) เป็นการหาขนาดและทิศทางของการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับกรณีฐาน หากกำหนดให้ค่าความผันแปรของค่าตัวแปรสำคัญอยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ การวิเคราะห์ความผันแปรแบบทางเดียว (one-way sensitivity analysis) เป็นวิธี DSA ที่เข้าใจง่ายและนิยมใช้อย่างแพร่หลาย การวิเคราะห์นี้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของผลการศึกษา (Questionnaire-based Case) เมื่อกำหนดความผันแปรที่ละปัจจัย ซึ่งในการวิเคราะห์ความไวแบ่งออกเป็น 4 ปัจจัยดังหัวข้อ 6.2.1 - 6.2.4 โดยทั้ง 4 ปัจจัยนี้อ้างอิงจากกรณีที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด กำหนดให้ระยะเวลาเตรียมตัวเฉลี่ยก่อนเริ่มเดินทางมากกว่าผลที่ได้จากแบบสอบถาม 2 เท่า จากผลวิจัยของ Mas et al., 2012 ที่ชี้ว่าระยะเวลาที่ใช้ก่อนเริ่มอพยพในสถานการณ์จริงอาจมากกว่าที่ได้ผลสำรวจที่ได้จากแบบสอบถาม ซึ่งในหัวข้อ 6.1 ได้พิจารณา 2 ตัวแปรคือ ระยะเวลาเตือนภัยที่ใช้ (warning time) และระยะเวลาเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพ (preparation time) พบว่าตัวแปรทั้งสองส่งผลต่อผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญ

6.2.1 สัดส่วนของพฤติกรรมการอพยพในแนวดิ่ง

เมื่อนำผลจากแบบสำรวจในหัวข้อ 5.1.4 และ 5.1.5 มาสร้างแบบจำลองพบว่า มีผู้คนประมาณ 30% เลือกการอพยพในแนวดิ่งหรือการอพยพไปยังอาคารสูง ซึ่งหมายถึงต้องการอพยพไปยังอาคารหลบภัยสึนามิหรืออาคารสูงที่ถูกกำหนดให้เป็นสถานที่อพยพ ส่วนมากอาคารเหล่านี้ตั้งอยู่ในพื้นที่ใกล้ชายฝั่ง เนื่องจากแผนอพยพประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยจากคลื่นยักษ์ “สึนามิ” โดยเทศบาลตำบลคึกคัก หรือแผนอพยพสำหรับพื้นที่ศึกษาบางเนียงไม่มีอาคารสูงที่ถูกกำหนดให้เป็นสถานที่อพยพ ดังนั้นจึงกำหนดให้แบบจำลองเดินทางไปยังอาคารหลบภัยสึนามิแทน จากตารางที่ 6.3 ชี้ว่า สัดส่วนของพฤติกรรมการอพยพในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงส่งผลต่อผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญ โดยสำหรับกรณีที่ศูนย์เตือนภัยใช้เวลา 1 ชั่วโมงก่อนส่งสัญญาณเตือนให้ผู้คนเริ่มอพยพ (มีเวลาอพยพเหลือเพียง 1 ชั่วโมง) หากเพิ่มสัดส่วนดังกล่าวขึ้น 20% หรือ 50% จากสัดส่วนที่พบในแบบสำรวจ 30% จะมีจำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่อพยพต่าง ๆ 74.9% และ 76.5% ของจำนวนประชากร ตามลำดับ

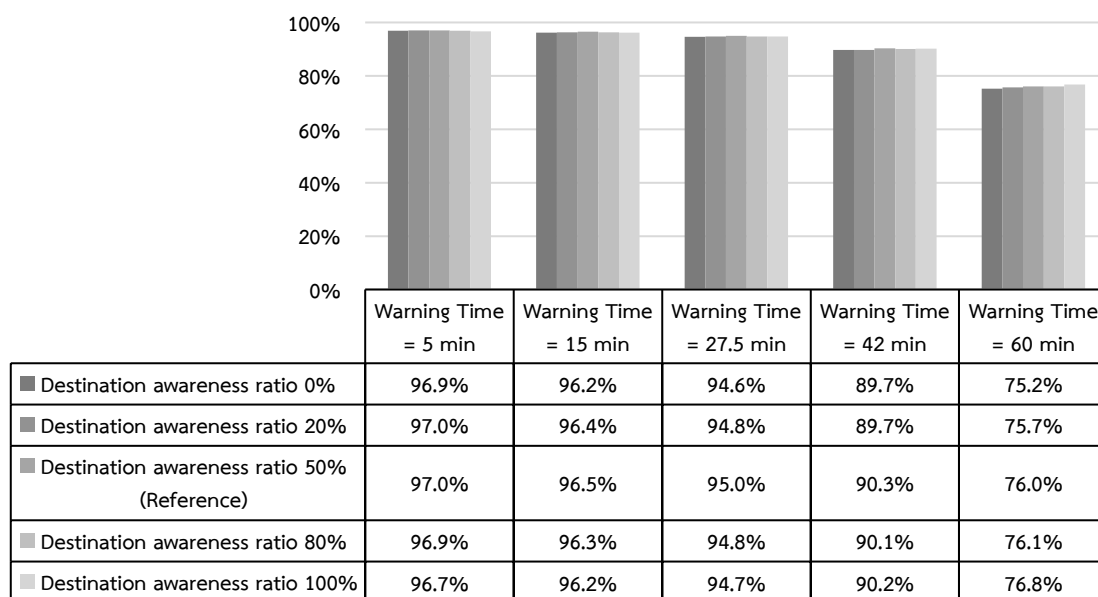
ตารางที่ 6.3 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่าง ๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และสัดส่วนของพฤติกรรมการอพยพในแนวดิ่ง



6.2.2 สัดส่วนของผู้รู้จักเส้นทางไปยังสถานที่ที่ต้องการ

เมื่อนำผลจากแบบสำรวจในหัวข้อ 5.1.4 และ 5.1.5 มาสร้างแบบจำลองพบว่า มีผู้คนประมาณ 50% ที่รู้จักเส้นทางไปยังสถานที่ที่ต้องการ ซึ่งหมายถึงระยะทางในการอพยพของผู้คนเหล่านี้จะสั้นกว่าผู้ที่ไม่รู้จักหรือคุ้นชินเส้นทางในพื้นที่ จากตารางที่ 6.4 ชี้ว่า สัดส่วนของผู้รู้จักเส้นทางไปยังสถานที่ที่ต้องการที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ไม่ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุมาจากการที่จุดอพยพส่วนมากอยู่นอกพื้นที่ท่วมถึงของสึนามิ ทำให้ผู้คนในพื้นที่ส่วนมากเดินทางไปยังที่สูงไม่ว่าจะรู้จักเส้นทางหรือไม่ สำหรับกรณีนี้จะส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญหากในพื้นที่ศึกษาได้กำหนดให้มีอาคารสูงที่ถูกกำหนดให้เป็นสถานที่อพยพ ซึ่งจะมีจุดอพยพเพิ่มขึ้นกว่า 14 แห่ง โดยสำหรับกรณีที่ศูนย์เตือนภัยใช้เวลา 1 ชั่วโมงก่อนส่งสัญญาณเตือนให้ผู้คนเริ่มอพยพ (มีเวลาอพยพเหลือเพียง 1 ชั่วโมง) หากผู้คนในพื้นที่ทั้งหมดรู้จักเส้นทางในพื้นที่เป็นอย่างดี จะมีจำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่อพยพต่าง ๆ 76.8% ของจำนวนประชากร

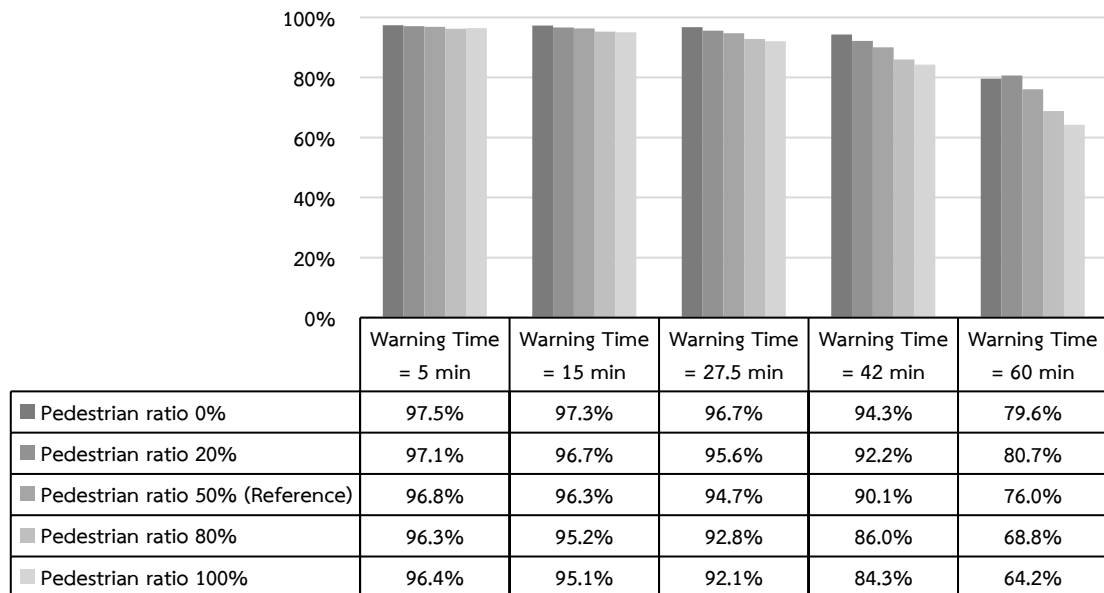
ตารางที่ 6.4 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่าง ๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และสัดส่วนของผู้รู้จักเส้นทางไปยังสถานที่ที่ต้องการ



6.2.3 สัดส่วนของผู้ที่เลือกเดินทางด้วยเท้า

เมื่อนำผลจากแบบสำรวจในหัวข้อ 5.1.4 และ 5.1.5 มาสร้างแบบจำลองพบว่า มีผู้คนประมาณ 50% เลือกเดินทางด้วยเท้า ซึ่งส่งผลต่อความเร็วในการเดินทางไปยังสถานที่ต่างๆ โดยจะความเร็วแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงอายุ หรือมีค่าเฉลี่ยที่ 1.34 เมตรต่อวินาที ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ เท่ากับ 0.154 เมตรต่อวินาที และส่วนความเร็วในการเดินทางของยานพาหนะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6 เมตรต่อวินาที (20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ เท่ากับ 0.278 เมตรต่อวินาที จากตารางที่ 6.5 ซึ่งว่า สัดส่วนของผู้ที่เลือกเดินทางด้วยเท้าที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงส่งผลต่อผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญ โดยสำหรับกรณีที่ศูนย์เตือนภัยใช้เวลา 1 ชั่วโมงก่อนส่งสัญญาณเตือนให้ผู้คนเริ่มอพยพ (มีเวลาอพยพเหลือเพียง 1 ชั่วโมง) หากลดสัดส่วนดังกล่าวลง 30% จะมีจำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่อพยพต่าง ๆ 80.7% ของจำนวนประชากร

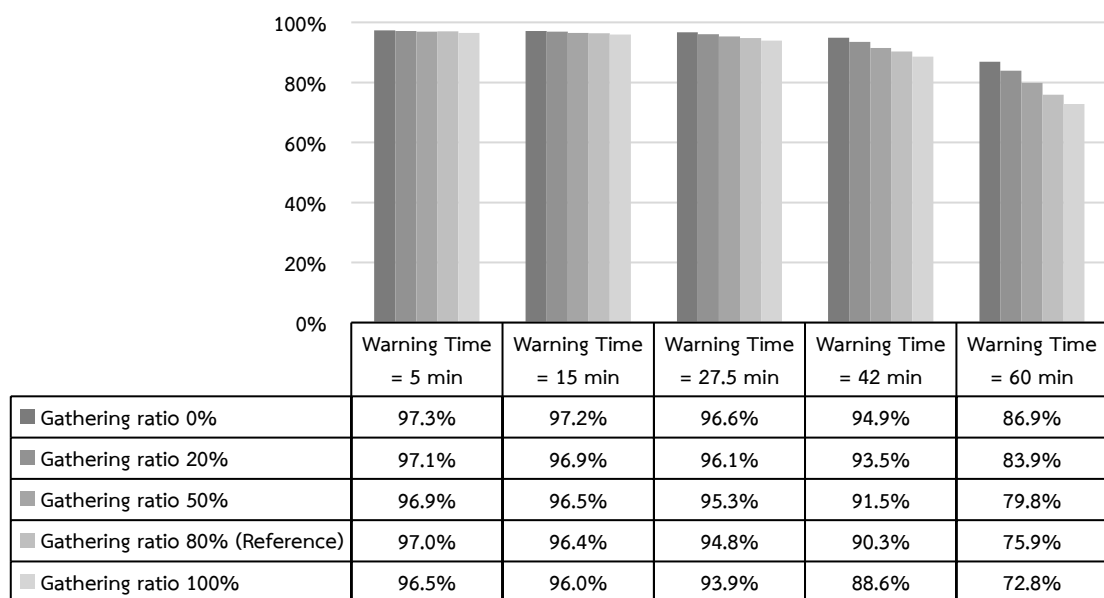
ตารางที่ 6.5 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่างๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และสัดส่วนของผู้ที่เลือกเดินทางด้วยเท้า



6.2.4 สัดส่วนของพฤติกรรมการรวมตัวกับสมาชิกก่อนเริ่มอพยพ

เมื่อนำผลจากแบบสำรวจในหัวข้อ 5.1.4 และ 5.1.5 มาสร้างแบบจำลองพบว่า มีผู้คนประมาณ 80% เลือกที่จะรวมตัวกับสมาชิกก่อนเริ่มอพยพ โดยพฤติกรรมดังกล่าวทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการอพยพที่มากขึ้น ซึ่งเกิดจากทั้งการรอ การตามหา และการเดินทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ เช่น ที่พักอาศัย หรือ บริเวณใกล้เคียง จากตารางที่ 6.6 ซึ่งว่า สัดส่วนของพฤติกรรมการรวมตัวกับสมาชิกก่อนเริ่มอพยพที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงส่งผลต่อผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญ โดยสำหรับกรณีที่ศูนย์เตือนภัยใช้เวลา 1 ชั่วโมงก่อนส่งสัญญาณเตือนให้ผู้คนเริ่มอพยพ (มีเวลาอพยพเหลือเพียง 1 ชั่วโมง) หากลดสัดส่วนดังกล่าวลง 30% หรือ 60% จากสัดส่วนที่พบจากแบบสำรวจ 80% จะมีจำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่อพยพต่าง ๆ 79.8% และ 83.9% ของจำนวนประชากร ตามลำดับ

ตารางที่ 6.6 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่างๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และสัดส่วนของพฤติกรรมการรวมตัวกับสมาชิกก่อนเริ่มอพยพ



6.3 การวิเคราะห์หามาตรการลดความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์หนึ่งของการชักจูงอพยพหนีภัยสึนามิในปัจจุบันคือ เพื่อให้ผู้คนสามารถรู้จักเส้นทางอพยพ แต่ทักษะหรือความตระหนักรู้นี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อบุคคลนั้น ๆ เข้าร่วมกิจกรรม ซึ่งมาตรการส่งเสริมให้ผู้คนในพื้นที่ทุกคนรู้จักเส้นทางอพยพเรียกว่า Measure No.1 เช่น แอปพลิเคชันนำทาง เกมจำลองการอพยพ (เกมคอมพิวเตอร์) การติดตั้งป้ายบอกเส้นทางอพยพ เป็นต้น จากตารางที่ 6.7 ชี้ว่ามาตรการส่งเสริมให้ผู้คนในพื้นที่ทุกคนรู้จักเส้นทางอพยพช่วยให้ผลลัพธ์ดีขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกรณีฐาน โดยสำหรับกรณีที่ศูนย์เตือนภัยใช้เวลา 1 ชั่วโมงก่อนส่งสัญญาณเตือนให้ผู้คนเริ่มอพยพ ผู้คนจะมีเวลาอพยพเหลือเพียง 1 ชั่วโมง ในการอพยพ จะมีจำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่อพยพต่าง ๆ 76.8% ของจำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษา

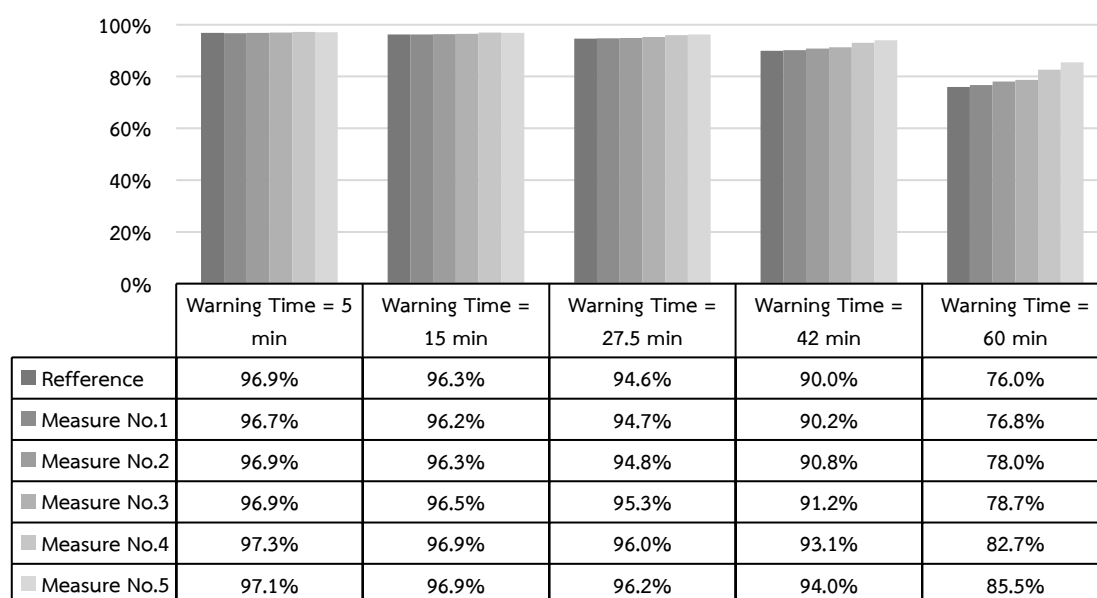
แม้ว่ามาตรการส่งเสริมให้ผู้คนในพื้นที่ทุกคนรู้จักเส้นทางอพยพจะช่วยให้ผลลัพธ์ดีขึ้นเล็กน้อย แต่หากประกอบกับมาตรการการใช้อาคารสูงตั้งแต่ 4 ชั้นขึ้นไปสำหรับเป็นสถานที่อพยพ ซึ่งเป็นอาคารสูงที่ไม่ได้ออกแบบมาโดยเฉพาะ แต่มีความแข็งแรงและสูงเพียงพอสำหรับการอพยพหนีภัยสึนามิ (designated evacuation building) การใช้อาคารสูงในลักษณะนี้เป็นที่นิยมในประเทศญี่ปุ่น สำหรับพื้นที่ศึกษาบางเนียง หากใช้อาคารสูงตั้งแต่ 4 ชั้นขึ้นไปสำหรับเป็นสถานที่อพยพจะส่งผลให้ผู้คนที่ต้องการอพยพในแนวตั้งมีตัวเลือกเพิ่มมากขึ้นถึง 14 แห่ง จากเดิมที่มีเพียง 1 แห่ง คืออาคารหลบภัยสึนามิ ส่งผลให้มีพื้นที่สำหรับอพยพเพิ่มมากขึ้นว่า 5,200 ตารางเมตร ซึ่งอาจเพิ่มโอกาสการรอดชีวิตได้ จากตารางที่ 6.7 ชี้ว่าการใช้มาตรการนี้ร่วมกับ Measure No.1 หรือเรียกการใช้ทั้ง 2 มาตรการนี้ว่า Measure No.2 จะช่วยให้ผลลัพธ์ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกรณีฐาน เนื่องจากจำนวนที่เพิ่มขึ้นของสถานที่อพยพช่วยให้ผู้คนเดินทางอพยพในระยะทางที่สั้นลง โดยสำหรับกรณีที่ศูนย์เตือนภัยใช้เวลา 1 ชั่วโมงก่อนส่งสัญญาณเตือนให้ผู้คนเริ่มอพยพ ที่ผู้คนจะมีเวลาอพยพเหลือเพียง 1 ชั่วโมง ในการอพยพ จะมีจำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่อพยพต่าง ๆ 78% ของจำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษา

นอกเหนือจากมาตรการ Measure No.1 และ Measure No.2 แล้ว หากเพิ่มมาตรการส่งเสริมให้ผู้คนเลือกอพยพในแนวตั้งมากยิ่งขึ้นอย่างน้อย 50% ซึ่งเป็นสัดส่วนสูงสุดที่อาคารสูงในพื้นที่ศึกษาจะรองรับได้ ก็สามารถส่งผลในทางบวกให้กับกระบวนการอพยพหนีภัยสึนามิเช่นกัน โดยจากกรณีฐานมีผู้คนประมาณ 30% เลือกการอพยพในแนวตั้งหรือการอพยพไปยังอาคารสูง จากตารางที่ 6.7 ชี้ว่าการใช้มาตรการนี้ร่วมกับ Measure No.1 และ Measure No.2 หรือเรียกการใช้ทั้ง 3 มาตรการนี้ว่า Measure No.3 จะช่วยให้ผลลัพธ์ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกรณีฐาน เนื่องจากจำนวนที่เพิ่มขึ้นของสถานที่อพยพช่วยให้ผู้คนเดินทางอพยพในระยะทางที่สั้นลง และมีจำนวนผู้คนอพยพในแนวตั้งเพิ่มมากขึ้น โดยสำหรับกรณีที่ศูนย์เตือนภัยใช้เวลา 1 ชั่วโมงก่อนส่งสัญญาณเตือนให้ผู้คนเริ่มอพยพ ที่ผู้คนจะมีเวลาอพยพเหลือเพียง 1 ชั่วโมง ในการอพยพ จะมีจำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่อพยพต่าง ๆ 78.7% ของจำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษา

นอกจากองค์ประกอบของมาตรการข้างต้น เป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจุบันมีการส่งเสริมหรือแนะนำให้ผู้คนไม่ใช้ยานพาหนะในการอพยพหนีภัยสึนามิ แต่จากคุณลักษณะเชิงพื้นที่ของกรณีศึกษาเป็นพื้นที่ราบ ทำให้การอพยพด้วยเท้าอาจมีความยากลำบากเพราะต้องเดินทางระยะไกลเพื่อไปยังที่สูง ซึ่งจากกรณีฐานมีผู้คนประมาณ 50% เลือกที่จะอพยพด้วยยานพาหนะ โดยหากสามารถเพิ่มสัดส่วนผู้ที่อพยพด้วยยานพาหนะเพิ่มมากขึ้นและต้องระวังไม่ให้มีสัดส่วนดังกล่าวมากเกินไปเพื่อป้องกันการจราจรเป็นอัมพาต โดยการใช้มาตรการนี้ต้องผ่านการพูดคุยหรือการทำแผนให้มีสัดส่วนที่พอเหมาะ ซึ่งผลจากแบบสำรวจชี้ว่าประมาณ 50% ของผู้ตอบแบบสอบถามยังไม่ตัดสินใจเลือกลักษณะการอพยพ และประมาณ 30% ของผู้ตอบแบบสอบถามเลือกที่จะอพยพด้วยยานพาหนะเท่านั้น โดยหากสามารถเพิ่มสัดส่วนผู้ที่อพยพด้วยยานพาหนะเป็น 80% ของจำนวนประชากรจากผู้ที่ยังไม่ตัดสินใจเลือกลักษณะการอพยพ ซึ่งเหมาะสมโดยเฉพาะกรณีการอพยพที่มีผู้สูงอายุอยู่ด้วย จากตารางที่ 6.7 ชี้ว่าการใช้มาตรการนี้ร่วมกับ Measure No.1 และ Measure No.2 และ Measure No.3 หรือเรียกการใช้ทั้ง 4 มาตรการนี้ว่า Measure No.4 ช่วยให้ผลลัพธ์ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกรณีฐาน เนื่องจากจำนวนที่เพิ่มขึ้นของสถานที่อพยพช่วยให้ผู้คนเดินทางอพยพในระยะทางที่สั้นลง มีจำนวนผู้คนอพยพในแนวตั้งเพิ่มมากขึ้น และสามารถอพยพด้วยความเร็วที่มากขึ้น โดยสำหรับกรณีที่ศูนย์เตือนภัยใช้เวลา 1 ชั่วโมงก่อนส่งสัญญาณเตือนให้ผู้คนเริ่มอพยพ ที่ผู้คนจะมีเวลาอพยพเหลือเพียง 1 ชั่วโมง ในการอพยพ จะมีจำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่อพยพต่าง ๆ 82.7% ของจำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษา

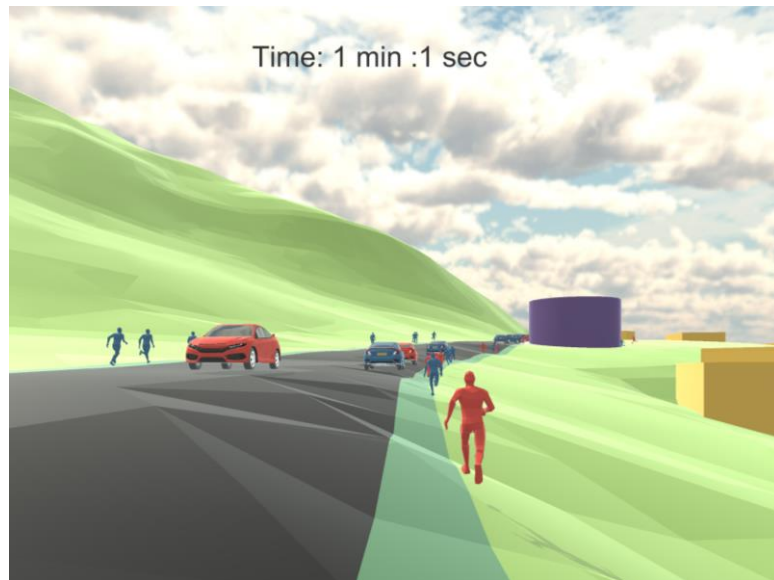
สุดท้ายแม้ว่าพฤติกรรมการรวมตัวกับสมาชิกก่อนเริ่มอพยพจะส่งผลเสียต่อผลลัพธ์ ซึ่งการห้ามไม่ให้ผู้คนรวมตัวกับสมาชิกก่อนเริ่มอพยพอาจเป็นไปได้ แต่หากลดสัดส่วนดังกล่าวลงก็จะส่งผลดีต่อการอพยพได้มาก ซึ่งในประเทศญี่ปุ่นส่งเสริมให้ผู้คนต่างคนต่างอพยพผ่านแคมเปญ TENDENKO ก็อาจช่วยให้ลดสัดส่วนของพฤติกรรมการรวมตัวกับสมาชิกของผู้คนในพื้นที่ลงได้น้อย 30% ซึ่งสัดส่วนนี้อ้างอิงจากผลสำรวจของ Yun & Hamada (2012) ที่ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีการส่งเสริมให้ผู้คนมีพฤติกรรมต่างคนต่างอพยพ จากกรณีฐานมีผู้คนประมาณ 80% โดยตารางที่ 6.7 ชี้ว่าการใช้มาตรการที่กล่าวมาทั้ง 5 นี้ร่วมกัน หรือเรียกว่า Measure No.5 ช่วยให้ผลลัพธ์ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกรณีฐาน เนื่องจากจำนวนที่เพิ่มขึ้นของสถานที่อพยพช่วยให้ผู้คนเดินทางอพยพในระยะทางที่สั้นลง และมีจำนวนผู้คนอพยพในแนวตั้งเพิ่มมากขึ้น และสามารถอพยพด้วยความเร็วที่มากขึ้น และผู้คนส่วนมากต่างมุ่งหน้าไปยังสถานที่ปลอดภัยโดยทันที โดยสำหรับกรณีที่ศูนย์เตือนภัยใช้เวลา 1 ชั่วโมงก่อนส่งสัญญาณเตือนให้ผู้คนเริ่มอพยพ ที่ผู้คนจะมีเวลาอพยพเหลือเพียง 1 ชั่วโมง ในการอพยพ จะมีจำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่อพยพต่าง ๆ 85.5% ของจำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 6.7 ผลลัพธ์จำนวนผู้อพยพ ณ สถานที่ปลอดภัยต่าง ๆ แบ่งตามระยะเวลาเตือนภัย และมาตรการส่งเสริมการอพยพต่าง ๆ



6.4 เกมอพยพหนีภัยสึนามิ

แม้ว่าการชักซ้อมอพยพหนีภัยสึนามิสามารถเพิ่มความตระหนักให้แก่ผู้เข้าร่วมชักซ้อมได้ ยังมีผู้คนอีกจำนวนมากที่ไม่มีโอกาสจะเข้าร่วมการชักซ้อมดังกล่าว เนื่องจากการจัดชักซ้อมอพยพต้องใช้ทั้งงบประมาณและ ผู้เข้าร่วมจำนวนมาก ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์เกม ถูกเสนอเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการสร้างความตระหนักให้แก่ผู้เล่น (serious game) (Almeida et al., 2017; Sharma et al., 2017, 2014; Silva et al., 2013) และบางครั้ง เกมคอมพิวเตอร์ก็ถูกใช้เป็นเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลพฤติกรรมของผู้เล่น ที่หลายครั้งเป็นพฤติกรรมนั้นที่ไม่สามารถได้จากการสอบถามโดยตรง การทดสอบหรือศึกษาพฤติกรรมกลุ่มที่หลายครั้งทำได้ยากในสถานการณ์จริง เช่น การให้ผู้คนหรือผู้เล่นจำนวนมากอยู่ในสถานการณ์เดียวกัน (multi player) ซึ่งจะช่วยให้สามารถนำ พฤติกรรมเหล่านั้นกลับพัฒนาแบบจำลองการอพยพให้มีความถูกต้องมากขึ้น และการพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์นี้ ช่วยให้สามารถครอบคลุมกลุ่มเป้าหมายได้มากขึ้น ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้สร้างเกมอพยพหนีภัยสึนามิที่พัฒนาต่อจาก แบบจำลองการอพยพ เพื่อสร้างความตระหนักเกี่ยวกับภัยสึนามิให้แก่ผู้เล่น เนื่องจากเกมคอมพิวเตอร์มี คุณสมบัติที่ช่วยให้ผู้เล่นมีความจดจ่อกับสถานการณ์ที่อยู่ตรงหน้า ซึ่งผู้พัฒนาเกมสามารถเพิ่มหรือกำหนด สถานการณ์เฉพาะเพื่อสร้างความท้าทายต่าง ๆ ให้แก่ผู้เล่น เช่น กำหนดให้ผู้เล่นจะต้องทำการอพยพไปยังสถานที่ ปลอดภัยก่อนที่คลื่นสึนามิจะมาถึง ด้วยมุมมองบุคคลที่ 1 (First Person View) ซึ่งเกมอพยพหนีภัยสึนามินี้ดัง แสดงในรูปที่ 6.1 ประกอบไปด้วย 1) สภาพแวดล้อมสามมิติ (3D) เพื่อให้ผู้เล่นได้รู้สึกถึงระดับความสูงต่ำของพื้นที่ 2) ความเร็วในการเดินหรือวิ่งของตัวละคร (avatar) 3) ตัวละครอื่นๆ หรือผู้อพยพอื่นๆ ที่มีตรรกะเช่นเดียวกับที่ใช้ ในแบบจำลองการอพยพ เกมอพยพหนีภัยสึนามิเป็นการพัฒนาด้านแบบ ผู้ที่สนใจสามารถดาวน์โหลดไฟล์ executable (.exe) ไปเล่นได้ โดยผู้เล่นจะได้อยู่ในสถานการณ์จำลองอพยพหนีภัยสึนามิร่วมกับแบบจำลองเอ เจนทีในสภาพแวดล้อมที่จำลองมาจากพื้นที่จริง



รูปที่ 6.1 เกมอพยพหนีภัยสึนามิ

7.1 สรุปผลการศึกษา

โครงการวิจัยนี้จะนำความรู้และความเข้าใจใหม่ ๆ มาประยุกต์ใช้โดยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลเพื่อเข้าใจถึงกลไกการเกิดและความเสี่ยงภัยสึนามิตามแนวชายฝั่งอันดามันโดยเฉพาะจากแผ่นดินไหวบริเวณทางตอนเหนือของแนวมุดตัวซุนดาและตามแนวชายฝั่งอ่าวไทยจากแผ่นดินไหวบริเวณแนวมุดตัวมะนิลาใกล้ประเทศฟิลิปปินส์ เมื่อทำการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้วจึงใช้แบบจำลองเชิงเลข TUNAMI เพื่อศึกษาและเข้าใจความเสี่ยงภัยสึนามิที่อ้างอิงจากข้อมูลการค้นพบในปัจจุบัน นอกจากนี้ได้จัดทำแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิเพื่อใช้ในการเผยแพร่ให้ประชาชนมีความรู้ความเข้าใจอันตรายจากภัยสึนามิ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานรัฐและภาคส่วนต่างๆ ในการวางแผนนโยบายและมาตรการลดความเสี่ยงที่เหมาะสม ต่อมาได้ทำการพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คนที่มีความเสมือนจริงและเหมาะสมกับประเทศไทย โดยแบบจำลองมีการคำนึงถึงตรรกะความคิดของผู้อพยพแต่ละคนขณะหนีภัยและการปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนรวมถึงสิ่งแวดล้อมรอบข้าง และเมื่อทำการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้วจึงใช้แบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิของผู้คน ศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของมาตรการลดความเสี่ยงต่างๆ ในปัจจุบัน เช่น ระบบเตือนภัยอาคารหนีภัย ป้ายบอกเส้นทางอพยพ และการฝึกซ้อมการหนีภัย เพื่อนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงมาตรการดังกล่าว สรุปได้ว่าในพื้นที่ศึกษาบางเนียง หากระบบเตือนภัยใช้เวลาตั้งแต่ 1 ชั่วโมงขึ้นไป จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการอพยพหนีภัยสึนามิอย่างมาก โดยหากมีมาตรการต่างๆ ที่ช่วยลดระยะทางอพยพ จะช่วยให้สัดส่วนของผู้รอดชีวิตเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ การมีป้ายบอกเส้นทางอพยพที่สามารถนำไปสู่อาคารสูงที่มีอยู่แล้วเพื่อใช้เป็นอาคารหลบภัย การฝึกซ้อมการหนีภัยที่สามารถช่วยเพิ่มสัดส่วนการใช้อานพาหนะในการอพยพ และลดสัดส่วนผู้คนที่จมน้ำก่อนอพยพไปยังสถานที่ปลอดภัย สุดท้ายนำแบบจำลองการอพยพที่มีความเสมือนจริงไปต่อยอดสู่การพัฒนาเป็นเกมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งในการฝึกซ้อมการหนีภัยและการรักษาความตระหนักให้คงอยู่ต่อไป ทั้งนี้ผลการศึกษาและเครื่องมือที่ถูกพัฒนาในโครงการวิจัยเหล่านี้จะกลายเป็นองค์ความรู้ที่มีประโยชน์ต่อการลดความเสี่ยงที่ช่วยให้ทุกพื้นที่ชายฝั่งสามารถรับมือกับภัยสึนามิได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาจกล่าวได้ว่าเป็นการศึกษาวิจัยอย่างเป็นระบบตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำจะมีส่วนสำคัญที่จะช่วยให้สร้างมาตรการที่ลดผลกระทบจากภัยพิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยในระยะต่อไปจะมีการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เป็นการทวนสอบกับการซักซ้อมอพยพจริงในพื้นที่ศึกษา จะใช้เทคโนโลยีดิจิทัล GPS Tracker ติดตามและระบุตำแหน่งต่างๆ ของผู้เข้าร่วมซักซ้อม โดยกำหนดรูปแบบการอพยพให้มีความซับซ้อนแตกต่างกันอย่างน้อย 3 รูปแบบ ซึ่งพบได้จากการซักซ้อมอพยพและการอพยพจริงในอดีต เริ่มจากรูปแบบที่มีความซับซ้อนจากน้อยไปมาก เช่น 1) ให้อาสาสมัครเริ่มอพยพไปยังจุดปลอดภัยที่กำหนดไว้ทันที 2) ให้อาสาสมัครสามารถใช้เวลาเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพไปยังจุดปลอดภัยที่กำหนดไว้ 3) ให้อาสาสมัครสามารถใช้เวลาเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพและสามารถแวะไปยังสถานที่ที่ต้องการเพื่อรวมตัวกับสมาชิกในครอบครัวก่อนไปยังจุดปลอดภัยที่กำหนดไว้ เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลตำแหน่งและเวลาทวนสอบกับผลที่ได้จากแบบจำลองที่กำหนดเงื่อนไขเช่นเดียวกันกับการซักซ้อมทั้ง 3 รูปแบบ นอกจากรูปแบบการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลองข้างต้น อาจใช้สถานการณ์แทรก (injection) เพื่อเป็นตัวแทนของสถานการณ์ที่พื้นที่มีการ

เปลี่ยนแปลง เช่น การมีเจ้าหน้าที่เข้ามาช่วยอพยพทำให้ผู้คนอพยพไปในทางที่ถูกต้องปลอดภัยและรวดเร็วที่สุด การที่อาคารสูงที่เป็นจุดอพยพมีจำนวนผู้อพยพมากเกินกว่าจะรับไหวทำให้ผู้อพยพบางส่วนต้องเลือกจุดอพยพใหม่ เป็นต้น นอกจากนี้ แบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปขยายผลในพื้นที่อื่น เช่น หาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต ที่มีข้อมูลเชิงพื้นที่อยู่แล้วซึ่งอาจต้องมีการปรับปรุงแบบสำรวจให้ครอบคลุมประเด็นสำคัญอื่นๆ และให้พฤติกรรมในแบบจำลองมีความถูกต้องมากที่สุด

7.2 การบูรณาการองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษา

แบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิสามารถใช้วิเคราะห์กรณีศึกษา ร่วมกับสถานการณ์อื่น ๆ เช่น การอพยพผู้คนในอาคารสูง เนื่องจากพื้นที่ศึกษาที่มีอาคารประเภทโรงแรมจำนวนมาก หากภายใต้กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารกำหนดให้ทางหนีไฟต้องสามารถใช้ลำเลียงบุคคลทั้งหมดภายในอาคารออกนอกอาคารใน 1 ชั่วโมง และหากผู้คนในพื้นที่ที่มีเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ก่อนคลื่นสึนามิจะเคลื่อนตัวมาถึงชายฝั่งดังเหตุการณ์ในปี ค.ศ. 2004 ผู้คนเหล่านี้เหลืออีกเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง สำหรับการลำเลียงผู้คนจากอาคารไปยังที่สูง เมื่อกำหนดให้แบบจำลองมุ่งหน้าไปยังที่สูงทันทีพบว่า ผู้ที่อพยพด้วยยานพาหนะกว่าร้อยละ 56.53 ของผู้รอดชีวิตทั้งหมด ใช้เวลาน้อยกว่า 10 นาที และจำนวนผู้รอดชีวิตกว่าร้อยละ 99.06 ของจำนวนผู้รอดชีวิตทั้งหมด ใช้เวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมง ดังตารางที่ 7.1 ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวอาจนำมาต่อยอดสู่การพัฒนามาตรฐานใหม่ ที่กำหนดให้ผู้คนในพื้นที่เสี่ยงภัยสึนามิใช้เวลาอพยพไปยังอาคารสูงหรือที่สูงภายในเวลา 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 7.1 จำนวนผู้รอดชีวิตแยกตามช่วงระยะเวลาที่ใช้อพยพ

ช่วงระยะเวลาที่ใช้อพยพ	ผู้รอดชีวิตที่เดินทางด้วยเท้า	%	ผู้รอดชีวิตที่ใช้ยานพาหนะ	%	ผู้รอดชีวิตทั้งหมด	%
0 - 9 นาที	1,496	10.48%	8,070	56.53%	9,566	67.01%
10 - 19 นาที	2,446	17.13%	86	0.60%	2,532	17.74%
20 - 29 นาที	1,396	9.78%	-	0.00%	1,396	9.78%
30 - 39 นาที	603	4.22%	-	0.00%	603	4.22%
40 - 49 นาที	138	0.97%	-	0.00%	138	0.97%
50 - 59 นาที	35	0.25%	-	0.00%	35	0.25%
60 นาทีขึ้นไป	6	0.04%	-	0.00%	6	0.04%
รวม	6,120	42.87%	8,156	57.13%	14,276	100.00%

7.3 การนำไปใช้ประโยชน์

ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย หรือหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถนำผลจากแบบจำลองคลื่นสึนามิตั้งความสูงของคลื่น ระยะเวลาที่คลื่นเข้าถึงฝั่ง และการท่วมถึงบริเวณชายฝั่ง มาใช้เป็นส่วนหนึ่งของระบบการเตือนภัยสึนามิในปัจจุบัน การสร้างแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิสามารถใช้เผยแพร่และผลักดันให้เกิดความตระหนักเกี่ยวกับอันตรายจากสึนามิและความเป็นไปได้ในอนาคตสำหรับประชาชน ซึ่งเป็นการเตรียมความพร้อมรับมือด้วยความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง สำหรับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการวางแผนมีแนวทางปรับปรุงมาตรการอพยพให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพิ่มขีดความสามารถในการวางแผนปรับปรุงมาตรการลดความเสี่ยงที่มีอยู่ในปัจจุบันและสามารถประเมินความสูญเสียจากสถานการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต และสามารถทำให้เกิดการนำไปใช้ได้อย่างแท้จริง เช่น แนวทางการเพิ่มป้ายสัญลักษณ์พื้นที่เสี่ยงภัย เส้นทางอพยพ และอาคารอพยพ

ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการเตรียมความพร้อมรับมือเหตุการณ์ในอนาคต อีกทั้งเครื่องมือที่ถูกพัฒนาขึ้นจากโครงการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้จำลองเหตุการณ์สำหรับพื้นที่อื่นๆ รวมถึงการประเมินผลกระทบจากสถานการณ์ที่ไม่ได้คาดคิด ตัวอย่างเช่น เมื่อคำนึงถึงระยะเวลาที่คลื่นสึนามิจะเคลื่อนตัวมาถึงชายฝั่งเร็วกว่าเมื่อเหตุการณ์ปีค.ศ. 2004 (ประมาณ 2 ชั่วโมง) อาจเกิดจากลักษณะทางธรณีวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ภูเขาไฟระเบิด หรือ แผ่นดินถล่ม ที่อาจทำให้คลื่นสึนามิจะเคลื่อนตัวมาถึงชายฝั่งภายในเวลา 30 นาที เมื่อกำหนดพฤติกรรมของแบบจำลองอ้างอิงจากผลของแบบสำรวจของงานวิจัย ผลลัพธ์จากแบบจำลองชี้ว่า อาจมีจำนวนผู้รอดชีวิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีผู้รอดชีวิตประมาณร้อยละ 47.2 กรณีที่คลื่นใช้เวลาเดินทางเพียง 30 นาทีสำหรับพื้นที่บางเนียง เขาหลัก

เอกสารอ้างอิง

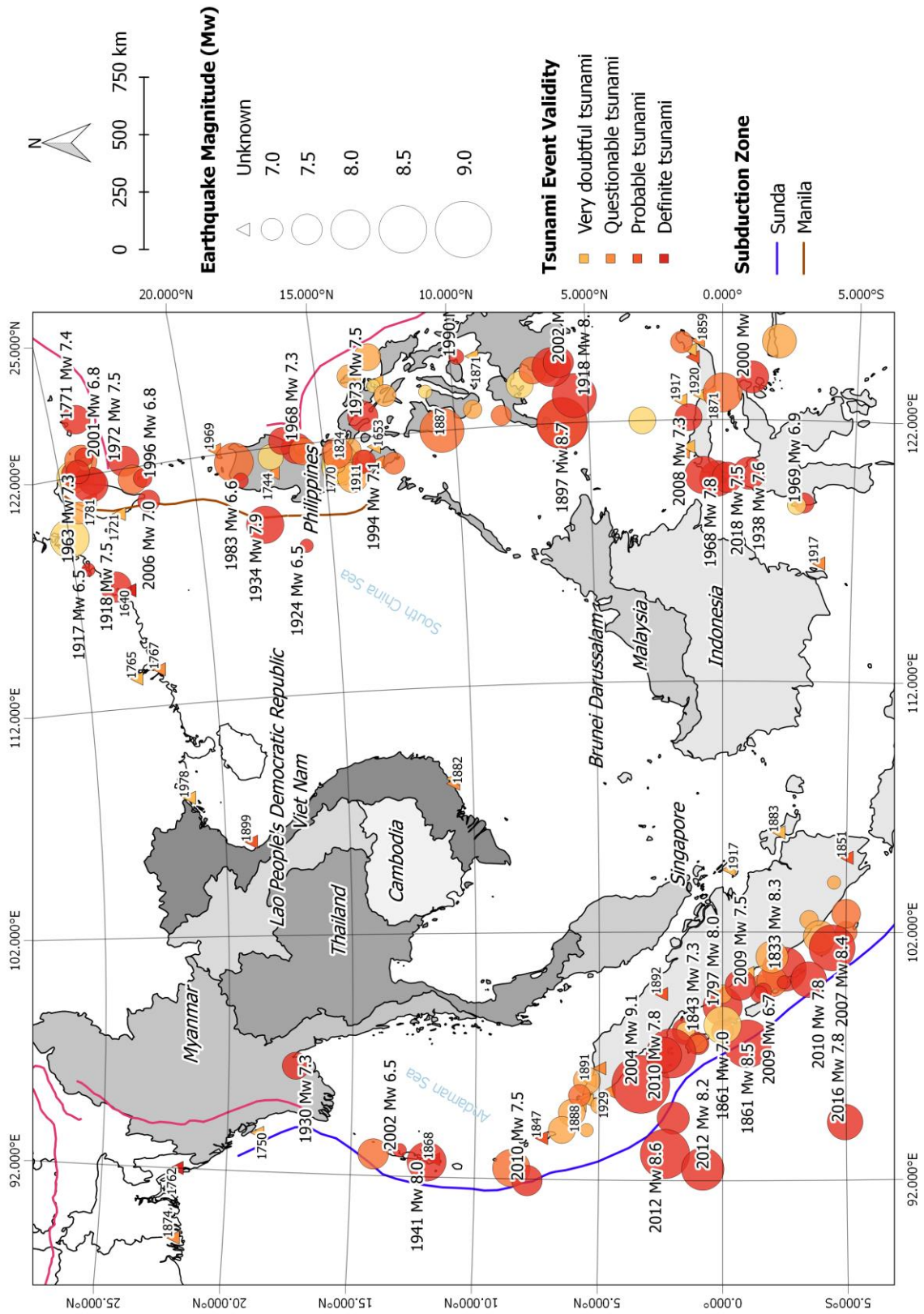
- ADPC. 2006. "The Economic Impact of the Tsunami in Thailand."
- CHARNKOL, Thai, and Yordphol TANABORIBOON. 2006. "TSUNAMI EVACUATION BEHAVIOR ANALYSIS." *IATSS Research* 30 (2): 83–96. [https://doi.org/10.1016/S0386-1112\(14\)60173-4](https://doi.org/10.1016/S0386-1112(14)60173-4).
- Choowong, Montri, Naomi Murakoshi, Ken-ichiro Hisada, Thasinee Charoentitirat, Punya Charusiri, Sumet Phantuwongraj, Prawpan Wongkok, et al. 2008. "Flow Conditions of the 2004 Indian Ocean Tsunami in Thailand, Inferred from Capping Bedforms and Sedimentary Structures." *Terra Nova* 20 (2): 141–49. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2008.00799.x>.
- Cuesta, Arturo, Orlandos Abreu, and Daniel Alvear. 2016. *Evacuation Modeling Trends*. Edited by Arturo Cuesta, Orlando Abreu, and Daniel Alvear. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20708-7>.
- Cummins, Phil R. 2007. "The Potential for Giant Tsunamigenic Earthquakes in the Northern Bay of Bengal." *Nature* 449(7158):75–78.
- Esteban, M., V. Tsimopoulou, T. Mikami, N. Y. Yun, A. Suppasri, and T. Shibayama. 2013. "Recent Tsunamis Events and Preparedness: Development of Tsunami Awareness in Indonesia, Chile and Japan." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 5: 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2013.07.002>.
- Fraser, S A, N J Wood, D M Johnston, G S Leonard, P D Greening, and T Rossetto. 2014. "Variable Population Exposure and Distributed Travel Speeds in Least-Cost Tsunami Evacuation Modelling." *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14 (11): 2975–91. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-2975-2014>.
- Fraser, S., David M. Johnston, and G. S. Leonard. 2013. *Intended Evacuation Behaviour in a Local Earthquake and Tsunami at Napier, New Zealand*.
- Fraser, Stuart A, Emma E.H. Doyle, Kim C Wright, Sally H Potter, John McClure, David M Johnston, Graham S Leonard, Maureen A Coomer, Julia S Becker, and Sarb Johal. 2016. "Tsunami Response Behaviour during and Following Two Local-Source Earthquakes in Wellington, New Zealand." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 16 (June): 123–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.02.008>.
- González-Riancho, P., I. Aguirre-Ayerbe, I. Aniel-Quiroga, S. Abad, M. González, J. Larreynaga, F. Gavidia, O. Q. Gutiérrez, J. A. Álvarez-Gómez, and R. Medina. 2013. "Tsunami Evacuation Modelling as a Tool for Risk Reduction: Application to the Coastal Area of El Salvador." *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13 (12): 3249–70. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-3249-2013>.
- Goto, Yozo, Muzailin Affan, Agussabti, Yudha Nurdin, Diyah K Yuliana, and Ardiansyah. 2012. "Tsunami Evacuation Simulation for Disaster Education and City Planning." *Journal of Disaster Research* 7 (1): 92–101. <https://doi.org/10.20965/jdr.2012.p0092>.
- Greenslade, Diana J.M., Alessandro Annunziato, Andrey Y. Babeyko, David R. Burbidge, Enrico Ellguth, Nick Horspool, T. Srinivasa Kumar, et al. 2014. "An Assessment of the Diversity in Scenario-Based Tsunami Forecasts for the Indian Ocean." *Continental Shelf Research* 79 (May): 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.06.001>.
- Ikuta, E, and M Miyano. 2017. "Tsunami Evacuation Risk Evaluation of the Elderly Person Based on the Questionnaire Survey" 1647 (Abstract ID).
- Imamura, Fumihiko, Ahmet Cevdet Yalciner, and Gulizar Ozyurt. 1989. "TSUNAMI NUMERICAL SIMULATION with the Staggered Leap-Frog Scheme (Numerical Code of TUNAMI-N1)." Sendai, Japan: Disaster Control Research Center, Tohoku University.
- Imamura, Fumihiko. 1995. "Review of Tsunami Simulation with a Finite Difference Method." In *Long-Wave Runup Models*, 25–42.

- IMAMURA, FUMIHIKO. 2009. "DISSEMINATION OF INFORMATION AND EVACUATION PROCEDURES IN THE 2004–2007 TSUNAMIS, INCLUDING THE 2004 INDIAN OCEAN." *Journal of Earthquake and Tsunami* 03 (02): 59–65. <https://doi.org/10.1142/S1793431109000457>.
- IOC Brochure. 2014. *Surviving a Tsunami: Lessons From Chile, Hawaii, and Japan*, 2014 Edition.
- IOC-UNESCO. 2015. *Tsunami Risk Assessment and Mitigation for the Indian Ocean; Knowing Your Tsunami Risk – and What to Do about It*. IOC Manuals and Guides No. 52.
- IOC-UNESCO. 2018. *Scientific Meeting of Experts for Coordinated Scenario Analysis of Future Tsunami Events and Hazard Mitigation Schemes for the South China Sea Region Xiamen, China 16–18 November 2015*.
- Jankaew, Kruawun, Brian F. Atwater, Yuki Sawai, Montri Choowong, Thasinee Charoentitirat, Maria E. Martin, and Amy Prendergast. 2008. "Medieval Forewarning of the 2004 Indian Ocean Tsunami in Thailand." *Nature* 455(7217):1228–31.
- Kashiyama, Takehiro, Yoshihide Sekimoto, Masao Kuwahara, Takuma Mitani, and Shunichi Koshimura. 2018. "Hybrid System for Generating Data on Human Flow in a Tsunami Disaster." *Journal of Disaster Research* 13(2):347–57.
- Latcharote, Panon, Anawat Suppasri, Fumihiko Imamura, Betul Aytore, and Ahmet Cevdet Yalciner. 2016. "Possible Worst-Case Tsunami Scenarios around the Marmara Sea from Combined Earthquake and Landslide Sources." *Pure and Applied Geophysics* 173 (12): 3823–46. <https://doi.org/10.1007/s00024-016-1411-z>.
- Latcharote, Panon, Khaled Al-Salem, Anawat Suppasri, Tanuspong Pokavanich, Shinji Toda, Yogeesha Jayaramu, Abdullah Al-Enezi, Alanoud Al-Ragum, and Fumihiko Imamura. 2017. "Tsunami Hazard Evaluation for Kuwait and Arabian Gulf Due to Makran Subduction Zone and Subaerial Landslides." *Natural Hazards*, November, 1–26. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3097-7>.
- Latcharote, Panon, Natt Leelawat, Anawat Suppasri, Patcharavadee Thamarux, and Fumihiko Imamura. 2017. "Estimation of Fatality Ratios and Investigation of Influential Factors in the 2011 Great East Japan Tsunami." *International Journal of Disaster Risk Reduction*, no. June (June): 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.06.024>.
- Leelawat, Natt, Anawat Suppasri, and Fumihiko Imamura. 2015. *Post-Tsunami Hazard*. Edited by V. Santiago-Fandiño, Y.A. Kontar, and Y. Kaneda. Vol. 44. *Advances in Natural and Technological Hazards Research*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10202-3>.
- Makinoshima, F., Imamura, F., & Abe, Y. (2018). Enhancing a tsunami evacuation simulation for a multi-scenario analysis using parallel computing. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 83, 36–50. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2017.12.016>
- Makinoshima, Fumiyasu, Fumihiko Imamura, and Yoshi Abe. 2016. "Behavior from Tsunami Recorded in the Multimedia Sources at Kesennuma City in the 2011 Tohoku Tsunami and Its Simulation by Using the Evacuation Model with Pedestrian–Car Interaction." *Coastal Engineering Journal* 58 (04): 1640023. <https://doi.org/10.1142/S0578563416400234>.
- Makinoshima, Fumiyasu, Fumihiko Imamura, and Yoshi Abe. 2016. "Behavior from Tsunami Recorded in the Multimedia Sources at Kesennuma City in the 2011 Tohoku Tsunami and Its Simulation by Using the Evacuation Model with Pedestrian—Car Interaction." *Coastal Engineering Journal* 58(4):1640023-1-1640023–28.
- Mas, Erick, Bruno Adriano, and Shunichi Koshimura. 2013. "An Integrated Simulation of Tsunami Hazard and Human Evacuation in La Punta, Peru." *Journal of Disaster Research* 8 (2): 285–95. <https://doi.org/10.20965/jdr.2013.p0285>.
- Mas, Erick, Shunichi Koshimura, Fumihiko Imamura, Anawat Suppasri, Abdul Muhari, and Bruno Adriano. 2015. "Recent Advances in Agent-Based Tsunami Evacuation Simulations: Case Studies in Indonesia, Thailand,

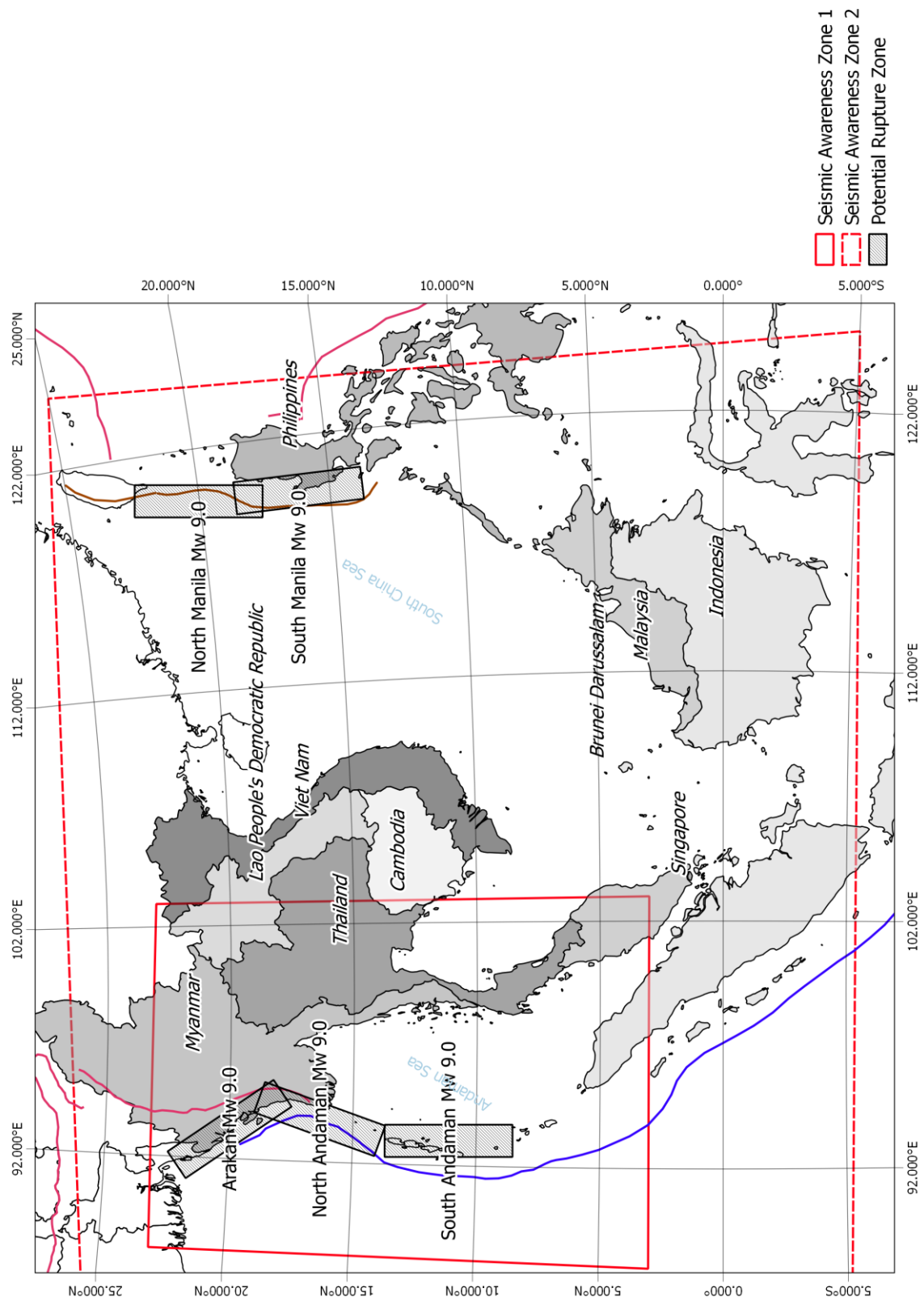
- Japan and Peru.” *Pure and Applied Geophysics* 172 (12): 3409–24. <https://doi.org/10.1007/s00024-015-1105-y>.
- Murakami, Hitomi and Leonel Ramos. 2017. “Comparative Study on the Processes of Tsunami Evacuation in Biobio 2010 and That in Iquique 2014 , Chile.” 16th World Conference on Earthquake Engineering 1072(Abstract ID).
- Murakami, Hitomi, Kouichi Takimoto, and Antonios Pomonis. 2012. “Tsunami Evacuation Process and Human Loss Distribution in the 2011 Great East Japan Earthquake - A Case Study of Natori City , Miyagi Prefecture -.” 15th World Conference on Earthquake Engineering.
- Natawidjaja, Danny Hilman, Kerry Sieh, Mohamed Chlieh, John Galetzka, Bambang W. Suwargadi, Hai Cheng, R. Lawrence Edwards, Jean Philippe Avouac, and Steven N. Ward. 2006. “Source Parameters of the Great Sumatran Megathrust Earthquakes of 1797 and 1833 Inferred from Coral Microatolls.” *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 111(6):1–37.
- Okal, Emile A. 2019. “The Large Andaman Islands Earthquake of 26 June 1941: Why No Significant Tsunami?” *Pure and Applied Geophysics* (June 1941).
- Okal, Emile A. and Costas E. Synolakis. 2008. “Far-Field Tsunami Hazard from Mega-Thrust Earthquakes in the Indian Ocean.” *Geophysical Journal International* 172(3):995–1015.
- Ortiz, Modesto and Roger Bilham. 2003. “ Source Area and Rupture Parameters of the 31 December 1881 M w = 7.9 Car Nicobar Earthquake Estimated from Tsunamis Recorded in the Bay of Bengal .” *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 108(B4).
- Malik, J.N.; Banerjee, C.; Khan, A. et al. Stratigraphic evidence for earthquakes and tsunamis on the west coast of South Andaman Island, India during the past 1000 years. *Tectonophysics* 2015, 661, 49–65. 12.
- Malik, J.N.; Johnson, F.C.; Khan, A. et al. Tsunami records of the last 8000 years in the Andaman Island, India, from mega and large earthquakes: Insights on recurrence interval. *Sci Rep* 2019, 9, 18463.
- Pananont, Passakorn, and Raykha Srisomboon. 2014. “2004 Tsunami in Southern Thailand, Lessons Learned for the Thai Communities.” In *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, 35:399–416. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7269-4_23.
- Rahayu, Harkunti P, and Seigo Nasu. 2011. “Logic Model of People’s Mind toward Tsunami Early Warning.” *Society for Social Management Systems*.
- Rajendran, C. P. 2013. “Was the 1941 Andaman Earthquake Tsunamigenic? Comments on ‘Inundation Studies for Nagapattinam Region on the East Coast of India Due to Tsunamigenic Earthquakes from the Andaman Region’ by Srivastava et Al. 2012.” *Natural Hazards* 65(1):981–84.
- Ronchi, Enrico and Daniel Nilsson. 2016. “Basic Concepts and Modelling Methods.” Pp. 1–23 in *Evacuation Modeling Trends*. Cham: Springer International Publishing.
- Ronchi, Enrico, Erica D Kuligowski, Paul A Reneke, Richard D. Peacock, and Daniel Nilsson. 2013. “The Process of Verification and Validation of Building Fire Evacuation Models.” Gaithersburg, MD. <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.1822>.
- Ruangrassamee, Anat, and Nopporn Saelem. 2009. “Effect of Tsunamis Generated in the Manila Trench on the Gulf of Thailand.” *Journal of Asian Earth Sciences* 36 (1): 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2008.12.004>.
- Scheer, S, A Gardi, R Guillande, G Eftichidis, V Varela, B De Vanssay, and L. Colbeau-Justin. 2011. *Handbook of Tsunami Evacuation Planning*. JRS Scientific and Technical Reports. <https://doi.org/10.2788/34292>.
- Simonovic, Slobodan P., and Sajjad Ahmad. 2005. “Computer-Based Model for Flood Evacuation Emergency Planning.” *Natural Hazards* 34 (1): 25–51. <https://doi.org/10.1007/s11069-004-0785-x>.

- Socquet, Anne, Christophe Vigny, Nicolas Chamot-Rooke, Wim Simons, Claude Rangin, and Boudewijn Ambrosius. 2006. "India and Sunda Plates Motion and Deformation along Their Boundary in Myanmar Determined by GPS." *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 111(B5):n/a-n/a.
- SONG, XUAN, RYOSUKE SHIBASAKI, NICHOLAS JING YUAN, XING XIE, T. A. O. LI, and RYUTARO ADACHI. 2017. "DeepMob: Learning Deep Knowledge of Human Emergency Behavior and Mobility from Big and Heterogeneous Data." *ACM Transactions on Information Systems* 35(4):1–19.
- Srivihok, P., K. Honda, A. Ruangrassamee, V. Muangsin, P. Naparat, P. Foytong, N. Promdumrong, et al. 2014. "Development of an Online Tool for Tsunami Inundation Simulation and Tsunami Loss Estimation." *Continental Shelf Research* 79 (May): 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.08.021>.
- SUPPASRI, A., IMAMURA, F., & KOSHIMURA, S. (2012). TSUNAMI HAZARD AND CASUALTY ESTIMATION IN A COASTAL AREA THAT NEIGHBORS THE INDIAN OCEAN AND SOUTH CHINA SEA. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 06(02), 1250010. <https://doi.org/10.1142/S1793431112500108>
- SUPPASRI, A., IMAMURA, F., & KOSHIMURA, S. (2013). TSUNAMI HAZARD AND BUILDING DAMAGE ASSESSMENT IN THAILAND USING NUMERICAL MODEL AND FRAGILITY CURVES. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 07(05), 1250028. <https://doi.org/10.1142/S1793431112500285>
- Suppasri, A., S. Koshimura, and F. Imamura. 2011. "Developing Tsunami Fragility Curves Based on the Satellite Remote Sensing and the Numerical Modeling of the 2004 Indian Ocean Tsunami in Thailand." *Natural Hazards and Earth System Science* 11 (1): 173–89. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-173-2011>.
- Suppasri, Anawat, Fumihiko Imamura, and Shunichi Koshimura. 2012a. "PROBABILISTIC TSUNAMI HAZARD ANALYSIS AND RISK TO COASTAL POPULATIONS IN THAILAND." *Journal of Earthquake and Tsunami* 06 (02): 1250011. <https://doi.org/10.1142/S179343111250011X>.
- Suppasri, Anawat, Kazuhisa Goto, Abdul Muhari, Prasanthi Ranasinghe, Mahmood Riyaz, Muzailin Affan, Erick Mas, Mari Yasuda, and Fumihiko Imamura. 2015. "A Decade After the 2004 Indian Ocean Tsunami: The Progress in Disaster Preparedness and Future Challenges in Indonesia, Sri Lanka, Thailand and the Maldives." *Pure and Applied Geophysics* 172 (12): 3313–41. <https://doi.org/10.1007/s00024-015-1134-6>.
- Suppasri, Anawat. 2010. "Tsunami Risk Assessment to Coastal Population and Building in Thailand." Tohoku University.
- Takabatake, Tomoyuki, Tomoya Shibayama, Miguel Esteban, Hidenori Ishii, and Go Hamano. 2017. "Simulated Tsunami Evacuation Behavior of Local Residents and Visitors in Kamakura, Japan." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 23(January):1–14.
- Thalmann, Daniel, and Soraia Raupp Musse. 2013. *Crowd Simulation*. London: Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4450-2>.
- Trumikaborworn, Nattapon, Pennung Warnitchai, Erick Mas, and Anawat Suppasri. 2017. "An Agent-Based Simulation of Tsunami Evacuation for Disaster Management : A Case Study of Khao Lak, Thailand." In *New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia*, 1–8. Sendai, Japan.
- Wang, Chung-Che, Soe Thura Tun, Hong-Wei Chiang, Kerry Sieh, Oo Than, Chuan-Chou Shen, Yu Wang, J. Bruce H. Shyu, Thura Aung, Soe Min, Kyaw Kyaw Lin, and Yu-nung Nina Lin. 2013. "Permanent Upper Plate Deformation in Western Myanmar during the Great 1762 Earthquake: Implications for Neotectonic Behavior of the Northern Sunda Megathrust." *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 118(3):1277–1303.
- Wang, Yu, J. Bruce H. Shyu, Kerry Sieh, Hong-Wei Chiang, Chung-Che Wang, Thura Aung, Yu-nung Nina Lin, et al. 2013. "Permanent Upper Plate Deformation in Western Myanmar during the Great 1762 Earthquake: Implications for Neotectonic Behavior of the Northern Sunda Megathrust." *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 118 (3): 1277–1303. <https://doi.org/10.1002/jgrb.50121>.

- Wells, Donald L, and Kevin J Coppersmith. 1994. "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement." *Bulletin of the Seismological Society of America* 84 (4): 974–1002. <https://doi.org/10.1785/BSSA-1994-0017>.
- Wood, Nathan, Jamie Jones, Jeff Peters, and Kevin Richards. 2018. "Pedestrian Evacuation Modeling to Reduce Vehicle Use for Distant Tsunami Evacuations in Hawai'i." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 28:271–83.
- Wood, Nathan, Jeanne Jones, John Schelling, and Mathew Schmidtlein. 2014. "Tsunami Vertical-Evacuation Planning in the U.S. Pacific Northwest as a Geospatial, Multi-Criteria Decision Problem." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 9: 68–83. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.04.009>.
- Wood, Nathan, Jeanne Jones, Mathew Schmidtlein, John Schelling, and Tim Frazier. 2016. "Pedestrian Flow-Path Modeling to Support Tsunami Evacuation and Disaster Relief Planning in the U.S. Pacific Northwest." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 18: 41–55. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.05.010>.
- Xing, Pengfei, Michael Lees, Hu Nan, and T. Vaisagh Viswanathan. 2012. "Validation of Agent-Based Simulation through Human Computation: An Example of Crowd Simulation." In , 90–102. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28400-7_7.
- Yulianto, Eko, Fauzi Kusmayanto, Nandang Supriyatna, Mohammad Dirhamsyah, Brian F. Atwater, and Ardito M. Kodijat. 2010. *Where the First Wave Arrives in Minutes Indonesian Lessons on Surviving Tsunamis near Their Sources*.
- Yun, Nam-Yi and Masanori Hamada. 2012. "Evacuation Behaviors in the 2011 Great East Japan Earthquake." *Journal of Disaster Research* 7(sp):458–67.
- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. 2008. "แผนแม่บทป้องกันและบรรเทาภัยจากคลื่นสึนามิ (ระยะ 5 ปี)."
- กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. 2018. "ภาวะเศรษฐกิจท่องเที่ยวไทย ฉบับที่ 7."
- ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ. (2017). "สรุปผลการดำเนินโครงการสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการแจ้งเตือนภัยล่วงหน้า."



รูปที่ ผ.1 เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดสึนามิในอดีตบริเวณมหาสมุทรอินเดียและทะเลจีนใต้



รูปที่ ๒.2 การระบุแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ทำให้ภัยสึนามิต่อประเทศไทยได้ในอนาคต

ตารางที่ ผ.1 พฤติกรรมและสถานการณ์การอพยพหนีภัยสึนามิ ที่พบได้จากบทความและงานวิจัยที่ผ่านมา(ปล. ตัวเอียง หมายถึงพฤติกรรมที่ใช้ในแบบจำลอง)

ประเทศ	ลักษณะข้อมูลและเหตุการณ์	พฤติกรรมกาอพยพ			
		Δt_{pre}		Δt_{trav}	
		ตัดสินใจเริ่มอพยพ	จุดหมายปลายทางในการอพยพ	ลักษณะการเดินทาง	เส้นทางที่เลือกใช้
ญี่ปุ่น					
Kesennuma City, Miyagi (Makinoshima et al., 2016)	ข้อมูลจากแบบสอบถามการสัมภาษณ์และมัลติมีเดียจากเหตุการณ์ March 11, 2011	20% เริ่มอพยพภายใน 5 นาทีหลังการแจ้งเตือน โดยมีลักษณะการแจกแจงคล้ายกับ log-normal	เลือกอพยพไปที่ศูนย์อพยพมากกว่าไปที่อาคารอพยพที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ	ผู้คน 50% เลือกที่จะใช้รถ และ 70% มีแนวโน้มที่จะอพยพไปไกลถึง 3 กิโลเมตร	พบการจราจรติดขัดบริเวณถนนสายหลัก
ทั่วญี่ปุ่น (Song et al., 2017)	ข้อมูล GPS จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวและสึนามิตั้งแต่ January 1, 2010 ถึง December 31, 2013	ถ้ามีการแจ้งเตือนในเวลากลางคืนและความรุนแรงแผ่นดินไหวไม่มาก ผู้คนเลือกที่จะอยู่ที่บ้าน	ถ้าหากผู้คนได้รับข่าวสารเกี่ยวกับแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ระหว่างการเดินทาง บางส่วนเลือกที่จะกลับไปที่บ้านก่อน		
Yamada, Iwate and Ishinomaki, Miyagi (Goto et al., 2012b)	ข้อมูลจากทีมสำรวจเพื่อหาข้อเท็จจริงเกี่ยวกับการอพยพหนีภัยสึนามิ ด้วยแบบสอบถามหรือการสัมภาษณ์ผู้รอดชีวิต จากเหตุการณ์ March 11, 2011	ผู้สูงอายุหลายคนที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างคล่องแคล่วเลือกที่จะขึ้นไปชั้นสองของบ้าน ผู้คนที่เคยย้ายที่อยู่เนื่องจากเหตุการณ์สึนามิในอดีต มีแนวโน้มที่จะไม่อพยพ ผู้คนจำนวนมากเลือกอพยพทันทีเมื่อรู้สึกถึงแรงสั่นสะเทือน แผนที่เสี่ยงภัยส่งผลต่อความตระหนักของผู้คน	ผู้อพยพบางส่วนเลือกที่จะกลับไปที่บ้านเพื่อช่วยเหลือผู้สูงอายุ จุดอพยพบางส่วนไม่สูงพอที่จะใช้หลบภัยครั้งนี้	ไม่สามารถยับยั้งการอพยพด้วยยานพาหนะได้	

ประเทศ	ลักษณะข้อมูล และเหตุการณ์	พฤติกรรมกรรมการอพยพ			
		Δt_{pre}		Δt_{trav}	
		ตัดสินใจเริ่ม อพยพ	จุดหมาย ปลายทางในการ อพยพ	ลักษณะการ เดินทาง	เส้นทางที่ เลือกใช้
Iwate, Miyagi, and Fukushima (Yun & Hamada, 2012a)	ข้อมูลจากแบบสอบถามหรือการสัมภาษณ์ผู้รอดชีวิตจากเหตุการณ์ March 11, 2011	ผู้คน 39.4% เริ่มอพยพตามคำแนะนำของผู้อพยพคนอื่น 48% ของผู้เสียชีวิตเนื่องจากไม่สามารถหรือไม่อพยพ บางส่วนมีสาเหตุมาจากเชื่อว่าที่อยู่ของตนปลอดภัยจากสึนามิ	34% ของผู้อพยพเลือกที่จะกลับไปที่บ้านเพื่อหาและรับคนในครอบครัว		
Yuigahama Beach, Kamakura (Takabatake et al., 2017)	แบบจำลองด้วยวิธีเอเจนต์ (Artisoc) ในกรณีศึกษา Keicho Earthquake	ผู้คนเริ่มอพยพตามลักษณะการแจกแจงคล้ายกับ Rayleigh distribution	ผู้คนเลือกอพยพไปยังศูนย์อพยพ แต่ถ้าเกินจำนวนที่จะรับได้และสึนามิยังมาไม่ถึง ผู้อพยพจะเปลี่ยนไปยังศูนย์อพยพอื่นแทน	ผู้คนเลือกอพยพด้วยเท้าเท่านั้น	ผู้ผู้อาศัยในพื้นที่รู้จักและเลือกเส้นทางอพยพที่ใกล้ที่สุด ตรงกันข้ามกับนักท่องเที่ยวที่อาจไม่รู้เกี่ยวกับเส้นทางที่ใกล้ที่สุด
Kochi City, Kochi (Kashiyama et al., 2018)	แบบจำลองจราจร (Human Flow) ในกรณีศึกษา Nankai Trough Earthquake	ผู้อพยพเริ่มอพยพในเวลาที่แตกต่างกัน		ลักษณะการเดินทางของผู้อพยพไม่เปลี่ยนแปลง เช่น ผู้ที่ใช้รถอยู่ในขณะเกิดเหตุ จะเลือกใช้รถในการอพยพ	ผู้อพยพเลือกเดินทางไปยังจุดอพยพที่ใกล้ที่สุด
สหรัฐอเมริกา					
เกาะ O'ahu, Hawai'i (Wood et al., 2018)	แบบจำลอง least-cost-distance ศึกษากรณีการแบ่งโซนอพยพ	ผู้คนอาจใช้เวลาในการตัดสินใจก่อนเริ่มอพยพประมาณ 7-38 นาที		ผู้คนอาจเลือกอพยพด้วยยานพาหนะ ถ้าต้องอพยพด้วยเท้ามากกว่า 15 นาที	

พฤติกรรมกรรมการอพยพ					
ประเทศ	ลักษณะข้อมูล และเหตุการณ์	Δt_{pre}		Δt_{trav}	
		ตัดสินใจเริ่ม อพยพ	จุดหมาย ปลายทางในการ อพยพ	ลักษณะการ เดินทาง	เส้นทางที่ เลือกใช้
อินโดนีเซีย					
Padang, Aceh (Yulianto et al., 2010)	ถอดบทเรียนจาก เหตุการณ์สึนามิที่ ผ่านมา ใน ประเทศ อินโดนีเซีย	ผู้คนส่วนมาก ไม่ได้รับการแจ้ง เตือน เนื่องจาก โครงสร้างพื้นฐาน หลายอย่างได้รับ ความเสียหาย ส่งผลให้ไฟฟ้าดับ และการสื่อสาร ขัดข้อง หลังเกิด แผ่นดินไหว ประชากรส่วน หนึ่งเลือกที่จะไม่ อพยพ ซึ่งขัดกับ นโยบายของเมือง ที่เมื่อรับรู้ได้ถึง แรงสั่นสะเทือน ให้อพยพทันที	ผู้คนบางส่วน เลือกที่จะไปมุงดู ตึกที่เสียหายจาก แผ่นดินไหว หรือ ไปรวมตัวกันที่ ชายหาดเพื่อ สังเกตการณ์	ผู้อพยพเลือก อพยพทั้งทางเท้า และยานพาหนะ	เส้นทางอพยพมี ระยะไกล และ บางส่วนอยู่ใน พื้นที่เสี่ยงภัย
นิวซีแลนด์					
Napier, Hawke's Bay (Stuart A. Fraser et al., 2013b)	ข้อมูลแบบสำรวจ ผู้อพยพอาศัยและ นักท่องเที่ยว	ผู้คนอาจมีการ ตอบสนองต่อ แผ่นดินไหว แต่ อาจไม่สามารถ อพยพหนีภัยสึนามิ ได้อย่าง เหมาะสม	ผู้คนบางส่วน เลือกอพยพไปยัง พื้นที่สูง แต่ บางส่วนเลือก กลับไปที่บ้าน ที่ อยู่ในเมือง แม้ว่า จะอยู่ในพื้นที่ เสี่ยงภัย ลักษณะ โครงสร้างอาคาร อพยพมีผลต่อ การตัดสินใจของ ผู้คน	ผู้อพยพอาศัย ครึ่ง ต่อครึ่งเลือก อพยพทั้งทางเท้า และยานพาหนะ แต่นักท่องเที่ยว เลือกอพยพทาง เท้ามากกว่า ยานพาหนะ	

ประเทศ	ลักษณะข้อมูล และเหตุการณ์	พฤติกรรมอาการอพยพ			
		Δt_{pre}		Δt_{trav}	
		ตัดสินใจเริ่ม อพยพ	จุดหมาย ปลายทางในการ อพยพ	ลักษณะการ เดินทาง	เส้นทางที่ เลือกใช้
ชิลี					
Biobio 2010 and Iquique 2014 (Murakami & Ramos, 2017)	ข้อมูลจากแบบ สำรวจ จาก 2 เหตุการณ์สึนามิที่ ชิลี ปีค.ศ. 2010 และ 2014	5-10% ของ ประชากรเลือกที่ จะอยู่ที่บ้าน เพราะเป็นห่วง ทรัพย์สินมีค่า หลายครอบครัวมี คุชชิงแผน ทำให้ สามารถตัดสินใจ เริ่มอพยพได้ รวดเร็วขึ้น ประชากรที่เข้า ร่วมฝึกซ้อม อพยพ มีแนวโน้ม ที่จะเริ่มอพยพ ก่อน ซึ่งประชากร ส่วนมากที่เข้า ร่วมฝึกซ้อมอาศัย อยู่ใกล้กับชายฝั่ง หรือพื้นที่เสี่ยงภัย	ถ้าต้องอพยพใน เวลากลางวัน ประชากร บางส่วนอาจเลือก ที่จะกลับบ้าน หรือโรงเรียนก่อน อพยพไปยังที่ ปลอดภัย	ประชากร ส่วนมากเลือกที่ จะเดินเท้า แต่มี แนวโน้มที่จะ เลือกอพยพด้วย รถมากขึ้น เนื่องจาก ประชากรซื้อรถ มากขึ้น ประชากรที่เลือก อพยพทางเท้า บางส่วนพบกับ ความยากลำบาก จากรถที่วิ่งด้วย ความเร่งรีบ	
ชิลี (IOC Brochure, 2014)	ถอดบทเรียนการ อพยพหนีภัยสึนามิเมื่อปีค.ศ. 2014	ผู้อพยพมีความ เข้าใจเกี่ยวกับ สัญญาณเตือนภัยที่ แตกต่างกัน			

ประเทศ	ลักษณะข้อมูล และเหตุการณ์	พฤติกรรมอาการอพยพ			
		Δt_{pre}		Δt_{trav}	
		ตัดสินใจเริ่ม อพยพ	จุดหมาย ปลายทางในการ อพยพ	ลักษณะการ เดินทาง	เส้นทางที่ เลือกใช้
ไทย					
จังหวัดภูเก็ต และ พังงา (Charnkol & Tanaboriboon, 2006)	ข้อมูลจาก แบบสอบถาม เพื่อใช้ศึกษา พฤติกรรมอาการ อพยพ ระหว่าง นักท่องเที่ยวและ ผู้อยู่อาศัย	จำนวนสมาชิกใน ครอบครัว และ จำนวนทรัพย์สิน มีค่า ส่งผลต่อการ ตัดสินใจเริ่ม อพยพ วัยรุ่นมีแนวโน้มที่ จะเริ่มอพยพหา เนื่องจากขาด ความตระหนัก นักท่องเที่ยวมี แนวโน้มที่จะเริ่ม อพยพไวกว่าคน ในพื้นที่			

แบบสอบถาม (ภาษาไทย)



แบบสอบถามสำหรับงานวิจัยด้านการจัดการภัยพิบัติ

เรื่อง การจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิ

คำชี้แจง: แบบสอบถามชุดนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) จุดมุ่งหมายในงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาแบบจำลองการอพยพหนีภัยสึนามิสำหรับศึกษาหามาตรการลดความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพ โดยข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามนี้จะถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการศึกษาเท่านั้น

ขอขอบคุณอย่างสูง

ส่วนที่ 1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ: _____ 2. อายุ: _____ ปี 3. ประเทศ: _____

4. ท่านเป็น ☐ ผู้อยู่อาศัย หรือทำงานในพื้นที่นี้ ☐ นักท่องเที่ยว

5. มีสมาชิกที่พักอาศัยอยู่กับท่าน หรือ เดินทางมาอยู่กับท่านหรือไม่

☐ มี (ตอบข้อ 5.1 และ 5.2)

☐ ไม่มี (ข้ามไป/ตอบข้อ 6.)

5.1. จำนวนทั้งหมด (โดยไม่นับรวมตัวท่าน) : _____ คน

5.2. อายุต่ำกว่า 12 ปี จำนวน : _____ คน

5.3. อายุมากกว่า 60 ปี จำนวน : _____ คน

6. ท่านพักอยู่ที่ใด (ระบุ ชื่อที่พัก หรือ ชื่อหาด) : _____

7. ที่พักของท่านอยู่ห่างจากทะเลเท่าใด

☐ อยู่ติดกับทะเล

☐ 100 - 300 เมตร

☐ มากกว่า 300 เมตร

8. ท่านอยู่ในพื้นที่นี้มานานแล้วเท่าใด (ระบุ ระยะเวลา) : _____ วัน หรือ เดือน หรือ ปี

9. โดยปกติแล้วท่านเดินทางในพื้นที่อย่างไร (จเรียงลำดับ ถ้ามีมากกว่า 1 ตัวเลือก)

☐ เดิน

☐ ใช้จักรยานยนต์

☐ ใช้รถยนต์

☐ ใช้รถบริการจากโรงแรม

☐ ใช้บริการรถแท็กซี่ในพื้นที่

☐ อื่นๆ โปรดระบุ : _____

ส่วนที่ 2. ความรู้เกี่ยวกับภัยสึนามิ

10. ท่านเคยเข้าร่วมซักซ้อมอพยพหนีภัยสึนามิหรือไม่

☐ ไม่เคยเข้าร่วมซักซ้อม

☐ ไม่เคยเข้าร่วมซักซ้อม แต่เคยเป็นผู้ประสบภัย

☐ เคยเข้าร่วมน้อยกว่า 1 ปีที่ผ่านมา

☐ เคยเข้าร่วมมากกว่า 1 ปีที่ผ่านมา

11. ท่านจะรู้ได้อย่างไรว่า อาจมีสึนามิเกิดขึ้นและอาจส่งผลกระทบต่อพื้นที่บริเวณที่ท่านอยู่

12. ท่านคิดว่า ท่านจะได้รับการเตือนภัยสึนามิจากแหล่งข้อมูลใดบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ตัวเลือก)

☐ ปรากฏการณ์ธรรมชาติ (เช่น เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในทะเล, น้ำทะเลลดลงผิดปกติ)

☐ ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ (ตอบข้อ 12.1 และ 12.2)

☐ เจ้าหน้าที่โรงแรม

☐ เจ้าหน้าที่ของรัฐ (เช่น ตำรวจ, ผู้นำชุมชน)

☐ ครอบครัวหรือคนรู้จัก

☐ ผู้คนรอบๆข้าง

☐ ไม่ทราบ

☐ อื่นๆ โปรดระบุ : _____

12.1. ช่องทางใดบ้างที่ท่านคิดว่า ท่านจะได้รับการแจ้งเตือนจากศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ

(ตอบได้มากกว่า 1 ตัวเลือก)

☐ หอเตือนภัย

☐ ทีวี / วิทยุ

☐ สื่อสังคมออนไลน์

☐ เสียงตามสาย

☐ อีเมลล์

☐ ข้อความสั้น SMS

☐ ไม่ทราบ

☐ อื่นๆ โปรดระบุ : _____

12.2. ท่านคิดว่า ท่านมีเวลาอพยพเท่าใด หลังจากได้รับการเตือนภัยสึนามิจากศูนย์เตือนภัย

☐ น้อยกว่า 10 นาที

☐ 10 – 30 นาที

☐ 31 – 60 นาที

☐ 61 – 90 นาที

☐ มากกว่า 90 นาที

☐ ไม่แน่ใจ

13. ในบริเวณนี้ ท่านเคยพบเห็นป้ายสัญลักษณ์ใดบ้าง



☐ เคย ☐ ไม่เคย



☐ เคย ☐ ไม่เคย



☐ เคย ☐ ไม่เคย

ความสูงสึนามิเมื่อปี 2547



☐ เคย ☐ ไม่เคย

แผนที่อพยพ



☐ เคย ☐ ไม่เคย

ส่วนที่ 3. การตัดสินใจอพยพหนีภัยสึนามิ

14. ท่านจะเริ่มอพยพหนีภัยสึนามิเมื่อใด (ตอบได้มากกว่า 1 ตัวเลือก)

- ☐ รู้สึกถึงแผ่นดินไหว
- ☐ พบเห็นระดับน้ำทะเลจะลดลงผิดปกติ
- ☐ ได้รับการเตือนภัยจากศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ เช่น ผ่านทางหอเตือนภัย, ทีวี / วิทยุ
- ☐ ได้รับการเตือนจากเจ้าหน้าที่ของรัฐ (เช่น ตำรวจ, ผู้นำชุมชน) โดยประกาศผ่านเสียงตามสาย
- ☐ ได้รับการเตือนจากเจ้าหน้าที่โรงแรม โดยประกาศผ่านเสียงตามสาย
- ☐ ได้รับการเตือนจากครอบครัวหรือคนรู้จัก ผ่านโทรศัพท์ หรือช่องทางออนไลน์
- ☐ พบเห็นข่าวการเตือนภัยสึนามิ ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ (เช่น เฟสบุค, ไลน์, ทวิตเตอร์)
- ☐ เห็นผู้คนรอบๆ ช้าง เริ่มทยอยออกจากชายฝั่ง
- ☐ ยืนยันหรือตรวจสอบข้อมูลการเตือนภัยด้วยตนเองแล้ว
- ☐ อื่นๆ โปรดระบุ : _____

15. หลังจากที่ท่านทราบว่า อาจมีสึนามิเกิดขึ้นและอาจส่งผลกระทบต่อพื้นที่บริเวณที่ท่านอยู่ ท่านคิดว่าจะอพยพหรือไม่

- ☐ อพยพ (ตอบข้อ 15.1, 15.2 และ 15.3) ☐ ไม่อพยพ (ข้ามไปตอบข้อ 15.4)

- 15.1. ท่านคิดว่า ท่านจะใช้เวลาเท่าใดเพื่อเตรียมตัวก่อนเริ่มอพยพ : _____ นาที
- 15.2. ท่านคิดว่า ท่านจะใช้เวลาเท่าใดในการเดินทางไปยังที่ปลอดภัย : _____ นาที
- 15.3. เมื่อท่านตัดสินใจอพยพแล้ว ท่านคิดว่าจะทำสิ่งใดบ้างต่อไป (ตอบได้มากกว่า 1 ตัวเลือก)
- ☐ มุ่งหน้าไปยังสถานที่ปลอดภัยทันที
 - ☐ ไปยังชายหาด เพื่อสังเกตปรากฏการณ์ธรรมชาติก่อน แล้วจึงเริ่มอพยพ
 - ☐ รวมกลุ่มกับสมาชิกในครอบครัว หรือเพื่อน หรือคนรู้จัก ให้ครบก่อน จึงเริ่มอพยพ (ตอบข้อ 15.3.1)
 - ☐ กลับไปยังที่พัก เพื่อรวบรวมเอกสาร หรือของมีค่าก่อน จึงเริ่มอพยพ
 - ☐ เตือนผู้คนรอบๆ ช้าง ให้อพยพ แล้วจึงเริ่มอพยพ
 - ☐ ช่วยเหลือคนที่อพยพลำบาก (เช่น เด็ก, ผู้พิการ, ผู้สูงวัย) ให้อพยพไปด้วยกัน
 - ☐ ติดต่อกับ สมาชิกในครอบครัว หรือเพื่อน หรือคนรู้จัก ระหว่างอพยพ (ตอบข้อ 15.3.1)
 - ☐ อื่นๆ โปรดระบุ : _____

15.3.1. ในสถานการณ์ฉุกเฉิน ท่านคิดว่า ท่านจะสามารถติดต่อกับผู้ที่ท่านต้องการ ได้หรือไม่
☐ สามารถติดต่อได้ ☐ ไม่สามารถติดต่อได้

15.3.2. ท่านจะอย่างไร ถ้าพวกท่าน ไม่ได้อยู่ด้วยกันและไม่สามารถติดต่อกันได้
 (ตอบได้มากกว่า 1 ตัวเลือก)

- ☐ กลับไปยังที่พัก ☐ อยู่บริเวณเดิม ☐ ขอความช่วยเหลือจากผู้คนรอบๆ ข้าง
☐ ไปที่จุดอพยพ ☐ อื่นๆ โปรดระบุ : _____

15.4. โปรดระบุเหตุผลที่ท่านเลือกที่จะไม่อพยพ (ตอบได้มากกว่า 1 ตัวเลือก)

- ☐ เชื่อว่าตำแหน่งที่อยู่ปลอดภัยจากสึนามิ ☐ สถานที่อพยพอยู่ไกล และใช้เวลานาน
☐ เชื่อว่าเป็นเพียงการชักชวน ☐ เชื่อว่าจะไม่มีสึนามิเกิดขึ้น
☐ ต้องการเห็นสึนามิด้วยตนเอง ☐ อื่นๆ โปรดระบุ : _____

16. หลังจากตัดสินใจเริ่มอพยพ ท่านจะเลือกอพยพไปที่ใด (จงเรียงลำดับ ถ้ามีมากกว่า 1 ตัวเลือก)

- ☐ อาคารหลบภัยสึนามิ ซึ่งอยู่ห่างออกไปไม่ถึง 1 กิโลเมตร แต่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยสึนามิ
☐ อาคารสูงตั้งแต่ 4 ชั้น ซึ่งอยู่ห่างออกไปไม่ถึง 1 กิโลเมตร แต่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยสึนามิ
☐ พื้นที่สูง ซึ่งอยู่ห่างออกไปมากกว่า 2 กิโลเมตร แต่ไม่มีสิ่งอำนวยความสะดวก เช่น ห้องน้ำ หรือ อุปกรณ์ปฐมพยาบาล
☐ จุดอพยพ (เช่น โรงเรียน, ศาสนสถาน) ซึ่งอยู่ห่างออกไป 1 ถึง 2 กิโลเมตร อยู่นอกพื้นที่เสี่ยงภัยสึนามิ
☐ อื่นๆ โปรดระบุ : _____

17. จากจุดอพยพที่ท่านเลือก ท่านทราบเส้นทาง

☐ ทราบ ☐ ไม่ทราบ (ตอบข้อ 17.1)

ไปยังจุดหมายนั้นๆ หรือไม่

17.1 หากท่านไม่ทราบ เส้นทางอพยพไปยังจุดที่ท่านเลือก ท่านจะอย่างไร

(จงเรียงลำดับ ถ้ามีมากกว่า 1 ตัวเลือก)

- ☐ ไปตามป้ายอพยพ ☐ ใช้มือถือนำทาง (เช่น ภูเก็ตแมพ)
☐ ไปตามผู้คนรอบๆ ข้าง ☐ อื่นๆ โปรดระบุ : _____

18. สำหรับการเดินทางไปยังจุดที่ท่านเลือก ท่านจะเดินทางด้วยวิธีการใด (จงเรียงลำดับ ถ้ามีมากกว่า 1 ตัวเลือก)

- ☐ เดิน ☐ ใช้จักรยานยนต์ ☐ ใช้รถยนต์
☐ ใช้รถบริการจากโรงแรม ☐ ใช้บริการรถแท็กซี่ในพื้นที่ ☐ อื่นๆ โปรดระบุ : _____

Questionnaire (English)



Questionnaire for a disaster management research

Title: Tsunami Evacuation Simulation

Explanation: This questionnaire is a part of doctoral of engineering program at Asian Institute of Technology (AIT). The purposes of this research are to develop the tsunami evacuation simulation for identifying effective disaster risk reduction measures. The information in this questionnaire will be used only for educational purposes.

Thank you for your time.

Part 1: General information about the answerer

1. Gender : _____ 2. Age : _____ years old 3. Country : _____

4. You are ☐ living or working in this area ☐ a tourist

5. Is there anyone living or traveling with you?

☐ Yes (*Please proceed 5.1, 5.2, and 5.3*) ☐ No (*Skip to 6.*)

5.1. How many (*Excluding yourself*) : _____ people

5.2. Age below 12 years old : _____ people

5.3. Age over 60 years old : _____ people

6. Where do you stay? (*Please specify the residence or beach name*) : _____

7. How far is your residence from the beach?

☐ next to the beach ☐ 100 - 300 meters ☐ more than 300 meters

8. How long have been staying at the residence? (*Please specify the duration in days*) : _____

9. Normally, how do you travel from place to place during your trip?

(*Please rank from most likely to less with numbers starting from 1 if there is more than one answer*)

☐ walk

☐ motorcycle

☐ car

☐ hotel shuttle

☐ local taxi

☐ others (please specify) : _____

Part 2: Tsunami-related knowledge

10. Have you ever participated in tsunami evacuation drill?

☐ No

☐ No, but was a tsunami victim

☐ Yes, within the last one year

☐ Yes, over a year ago

11. How would you know if a tsunami incident may occur and may affect the area where you are?

12. From which **sources** do you think you will receive tsunami warning (*Can choose more than one*)

☐ Natural phenomenon (large earthquakes in the sea, receding tide, etc.)

☐ National Disaster Warning Center (*Please proceed 12.1 and 12.2*) ☐ Hotel staffs

☐ Government officials (police, community leaders, etc.)

☐ Family or friend

☐ People around the area

☐ No idea

☐ Others (please specify) : _____

12.1. From which **channels** do you think you will receive tsunami warning from the National Disaster Warning Center? (*Can choose more than one*)

☐ Warning Tower ☐ TV/Radio ☐ Social media ☐ Public Address System

☐ Email ☐ SMS ☐ No idea ☐ Others (please specify): _____

12.2. How long do you think you have for evacuation after being warned about the tsunami?

☐ Less than 10 minutes ☐ 10 – 30 minutes ☐ 31 – 60 minutes

☐ 61 – 90 minutes ☐ more than 90 minutes ☐ Not sure

13. Have you ever seen these signs in this area?



☐ Yes ☐ No



☐ Yes ☐ No



☐ Yes ☐ No

Tsunami Height of 2004



☐ Yes ☐ No

Evacuation Map



☐ Yes ☐ No

14. When will you start evacuating? (Can choose more than one)

15. Will you evacuate after being informed that a tsunami incident may occur and may affect the area where you are?

- 15.1. How long do you think you would need **to prepare before the evacuation?** : ____ minutes
- 15.2. How long do you think you would need **to get to the safe place?** : ____ minutes
- 15.3. What would you do when you **decided to evacuate?** (*Can choose more than one*)
- ☐ Go to the safe place immediately
- ☐ Go to the beach to observe the natural phenomenon before beginning to evacuate
- ☐ Gather with family members or friends before beginning to evacuate (*Please proceed 15.3.1*)
- ☐ Go back to your resident to collect documents or valuables before beginning to evacuate
- ☐ Warn people around you to evacuate before beginning to evacuate
- ☐ Help people who are difficult to evacuate (children, elderly, etc.) to evacuate together
- ☐ Contact family members or friends during immigration (*Please proceed 15.3.1*)
- ☐ Others (please specify) : _____

- ☐ Yes ☐ No

15.3.2. What would you do if you are not with them and are not able to contact them?

(Can choose more than one)

☐ head back to the resident ☐ stay at the place ☐ ask for help from people

☐ head to the evacuation site ☐ Others (please specify) : _____

15.4. Please specify the reason you chose not to evacuate after informed about potential tsunami.

(Can choose more than one)

☐ believe that the position is ☐ evacuation site is far and require a lot of time to get there.
safe from the tsunami

☐ believe that it is just a drill ☐ believe that the tsunami will not occur

☐ want to see the tsunami ☐ Others (please specify) : _____

16. After deciding to evacuate from the tsunami, where do you choose to go?

(Please rank from most likely to less with numbers starting from 1 if there is more than one answer)

☐ **Tsunami shelter**, which is less than 1
km away, but is in the tsunami hazard zone

☐ **High-rise buildings** (4 floors or higher),
which are less than 1 km away but are in the
tsunami hazard zone

☐ **High ground**, which is more than 2
kilometers away, but does not have facilities
such as bathrooms or first aid equipment

☐ **Tsunami evacuation site** (schools, religious
place, etc.), which are 1 to 2 kilometers away,
outside the tsunami hazard zone

☐ Others (please specify) : _____

17. Do you know the route to the place you chose? ☐ yes ☐ No (Please proceed 17.1)

17.1. What would you do if you do not know the route to the place you chose?

(Please rank from most likely to less with numbers starting from 1 if there is more than one answer)

☐ follow evacuation signs

☐ use navigation system such as google map

☐ follow other people

☐ Others (please specify) : _____

18. In evacuation process, how will you travel to the place of your choice?

(Please rank from most likely to less with numbers starting from 1 if there is more than one answer)

☐ walk

☐ motorcycle

☐ car

☐ hotel shuttle

☐ local taxi

☐ others (please specify) : _____

Fragebogen (German)



Fragebogen für eine Katastrophenforschung

Titel: Tsunami-Evakuierungssimulation

Erläuterung: Dieser Fragebogen ist Teil eines Promotionsstudiums der Ingenieurwissenschaften am Asian Institute of Technology (AIT). Ziel dieser Forschung ist es, eine Tsunami-Evakuierungssimulation zu entwickeln, um daraus wirksame Maßnahmen zur Reduzierung des Katastrophenrisikos zu bestimmen. Die Informationen in diesem Fragebogen werden nur zu Bildungszwecken verwendet.

Vielen Dank für Ihre Zeit

Teil 1: Allgemeine Informationen über der Beantworter

1. Geschlecht: _____ 2. Alter: _____ Jahre alt 3. Land: _____

4. Sie ☐ wohnen oder arbeiten in dieser Gegend ☐ sind ein Tourist

5. Lebt oder reist jemand mit Ihnen?

☐ Ja (*Bitte fahren Sie mit 5.1, 5.2 und 5.3 fort*) ☐ Nein (*Weiter mit 6.*)

5.1. Wie viele (*Sie selbst ausschließen*) : _____ Leute

5.2. Alter unter 12 Jahre alt : _____ Leute

5.3. Alter über 60 Jahre alt: _____ Leute

6. Wo wohnen Sie? (*Bitte geben Sie den Namen der Residenz oder des Strandes an*) :

7. Wie weit ist Ihre Residenz vom Strand entfernt??

☐ neben dem Strand ☐ 100 - 300 Meter ☐ mehr als 300 Meter

8. Wie lange bleiben Sie schon in der Residenz? (*Bitte geben Sie die Dauer in Tagen an*) : _____

9. Wie reisen Sie normalerweise von Ort zu Ort während Ihrer Reise? (Falls es mehrere Antworten gibt, geben Sie bitte die Wahrscheinlichkeit an mit 1= sehr wahrscheinlich)

☐ Laufen ☐ Motorrad ☐ Auto
☐ Hotel-Shuttle ☐ Locales Taxi ☐ sonstige (bitte angeben): _____

Teil 2: Tsunami-verwandt Wissen

10. Haben Sie schon einmal an Tsunami-Evakuierungsübungen teilgenommen?

☐ Nein ☐ Nein, war aber ein Tsunami- Geschädigte
☐ Ja, innerhalb des letzten Jahres ☐ Ja, vor über einem Jahr

11. Woher wissen Sie, ob ein Tsunami-Zwischenfall eintreten und sich auf das Gebiet auswirken kann, in dem Sie sich befinden? : _____

12. Aus welchen **Quellen** werden Sie Ihrer Meinung nach eine Tsunami-Warnung erhalten?

(Mehrfachnennung möglich)

☐ Naturphänomen (große Erdbeben im Meer, Tide zurücktreten, usw.)
☐ Nationales Katastrophenwarnzentrum ☐ Hotelmitarbeiter
 (Bitte fahren Sie mit 12.1 und 12.2 fort)
☐ Regierungsbeamte (Polizei, Gemeindevorsteher usw.) ☐ Familie und Freunde
☐ Leute in der Gegend ☐ Keine Ahnung
☐ sonstige (bitte angeben): _____

- 12.1. Von welchen Kanälen werden Sie Tsunami-Warnungen vom Nationalen Katastrophenwarnzentrum erhalten? (Mehrfachnennung möglich)

☐ Warnturm ☐ TV/Radio ☐ Soziale Medien ☐ Lautsprecheranlage
☐ Email ☐ SMS ☐ keine Ahnung ☐ sonstige (bitte angeben): _____

- 12.2. Wie lange haben Sie Ihrer Meinung nach Zeit, um evakuiert zu werden, nachdem Sie vor dem Tsunami gewarnt wurden?

☐ weniger als 10 Minuten ☐ 10 – 30 Minuten ☐ 31 – 60 Minuten
☐ 61 – 90 Minuten ☐ mehr als 90 Minuten ☐ nicht sicher

13. Haben Sie jemals diese Zeichen in diesem Bereich gesehen?



☐ Ja ☐ Nein



☐ Ja ☐ Nein



☐ Ja ☐ Nein

Tsunami Höhe von 2004



☐ Ja ☐ Nein

Evakuierungskarte



☐ Ja ☐ Nein

Teil 3: Entscheidungsfindung bei der Tsunami-Evakuierung

14. Wann würden Sie eine Evakuierung beginnen? (Mehrfachnennung möglich)

- ☐ nach einem Erdbeben
- ☐ nach dem Bemerken einer abnormalen Abnahme des Meeresspiegels
- ☐ nach einer Warnung von Katastrophenwarnzentren durch Warntürme, Fernseher, usw.
- ☐ nach erhaltener Warnung von Regierungsbeamten durch Lautsprecheranlagen
- ☐ nach erhaltener Abmahnung vom Hotelpersonal durch Lautsprecheranlagen
- ☐ nach Warnung von Familie oder Freunden über das Telefon oder die sozialen Medien
- ☐ nach Erhalt von Nachrichten über die Tsunami-Warnung durch soziale Medien (Facebook, Line, Twitter, usw.)
- ☐ Wenn Sie andere Menschen in Ihrer Umgebung evakuieren sehen
- ☐ nach Überprüfen der Informationen selbst
- ☐ sonstige (bitte angeben): _____

15. Würden Sie evakuiert, nachdem Sie informiert worden, dass ein Tsunami-Zwischenfall eintreten und sich auf das Gebiet auswirken kann, in dem Sie sich befinden?

- ☐ Ja (Bitte fahren Sie mit 15.1, 15.2 und 15.3 fort) ☐ Nein (Weiter mit 15.4)

15.1. Wie lange müssen Sie sich wohl auf **die Evakuierung vorbereiten**? : ____ Minuten

15.2. Wie lange würden Sie wohl brauchen, **um an den sicheren Ort zu gelangen**? : ____ Minuten

15.3. Was würden Sie tun, nach dem Sie sich für eine Evakuierung haben?

(Mehrfachnennung möglich)

- ☐ sofort zu einem sicheren Ort gehen
- ☐ an den Strand gehen, um das natürliche Phänomen zu beobachten, bevor Sie mit der Evakuierung beginnen
- ☐ sich mit Familienmitgliedern oder Freunden treffen, bevor Sie mit der Evakuierung beginnen
(Bitte fahren Sie mit 15.3.1 fort)
- ☐ zu Ihrem Aufenthalt zurück gehen, um Dokumente oder Wertsachen zu sammeln, bevor Sie mit der Evakuierung beginnen
- ☐ alle Personen in Ihrer Umgebung warnen, bevor Sie mit der Evakuierung beginnen
- ☐ Personen, die Hilfe benötigen helfen (Kinder, Alten usw.), gemeinsam zu evakuieren
- ☐ Familienmitgliedern oder Freunden kontaktieren während der Evakuierung *(Bitte fahren Sie mit 15.3.1 fort)*
- ☐ sonstige (bitte angeben): _____

15.3.1. Denken Sie, dass Sie in einer Notsituation die gewünschte Person kontaktieren können?

- ☐ Ja ☐ Nein *(Bitte fahren Sie mit 15.3.2 fort)*

15.3.2. Was würden Sie tun, wenn Sie nicht mit ihnen und sind nicht in der Lage, sie zu kontaktieren? *(Mehrfachnennung möglich)*

- ☐ zum Aufenthalt zurück gehen ☐ am Ort bleiben ☐ um die Leute Hilfe bitten
☐ zur Evakuierungsstelle gehen ☐ sonstige (bitte angeben): _____

15.4. Bitte geben Sie den Grund, den Sie gewählt haben, nachdem über mögliche Tsunami informiert nicht zu evakuieren. *(Mehrfachnennung möglich)*

- ☐ glauben, dass die Position von der Tsunami-sicher ist
- ☐ der Evakuierungsort ist weit und erfordert viel Zeit, um dorthin zu gelangen
- ☐ glauben, dass es nur ein Bohrer
- ☐ glauben, dass der Tsunami nicht auftreten wird
- ☐ den Tsunami sehen wollen
- ☐ sonstige (bitte angeben): _____

16. Nach der Entscheidung von dem Tsunami zu evakuieren, wo würden Sie gehen? (Falls es mehrere Antworten gibt, geben Sie bitte die Wahrscheinlichkeit an mit 1= sehr wahrscheinlich)

☐ **Tsunami Obdach**, das weniger als 1 km entfernt ist, ist aber in der Tsunami-Gefahrenzone

☐ **Hochhäuser** (4 Etagen oder höher), die weniger als 1 km entfernt, sind aber in der Tsunami-Gefahrenzone

☐ **Hoche boden**, die mehr als 2 Kilometer entfernt ist, aber keine Einrichtungen wie Badezimmer oder Erste-Hilfe-Ausrüstung hat

☐ **Tsunami-Evakuierungsstelle** (Schulen, religiöser Ort usw.), die 1 bis 2 Kilometer außerhalb der Tsunami-Gefahrenzone liegt

[] sonstige (bitte angeben): _____

17. Kennen Sie den Weg zu dem Ort, den Sie [] Ja [] Nein (Bitte fahren Sie mit 17.1 fort) gewählt haben?

17.1. Was würden Sie tun, wenn Sie die Route zu dem von Ihnen ausgewählten Ort nicht

kennen? (Falls es mehrere Antworten gibt, geben Sie bitte die Wahrscheinlichkeit an mit 1= sehr wahrscheinlich)

☐ die Evakuierungsschildern folgen

☐ ein Navigationssystem wie Google Maps Verwenden

☐ um andere Menschen folgen

☐ sonstige (bitte angeben): _____

18. Im Evakuierungsprozess, wie würden Sie an den Ort Ihrer Wahl reisen?

(Falls es mehrere Antworten gibt, geben Sie bitte die Wahrscheinlichkeit an mit 1= sehr wahrscheinlich)

☐ Laufen

☐ Motorrad

☐ Auto

☐ Hotel-Shuttle

☐ Locales Taxi

☐ sonstige (bitte angeben): _____