

การประยุกต์ใช้ข้อมูลระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิเพื่อการเตือนภัยหน่วยงาน ของกองทัพเรือซึ่งตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน

An Application of Tsunami Travel Time for Warning to Naval Units along Andaman Coast

พิเชษฐ ปัวเฮงทรัพย์
Pichet Puahengsup

รองผู้อำนวยการ กองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ้ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

*Deputy Director, Department of Hydrographic Engineering, Academic Branch,
Royal Thai Naval Academy*

Corresponding Author. E-mail : ppuahengsup@yahoo.com

(Received: May 2, 2024, Revised: May 27, 2024, Accepted: May 31, 2024)

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์นำข้อมูลระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิมาใช้ในการเตือนภัยหน่วยของกองทัพเรือซึ่งมีที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน โดยพิจารณากำหนดจุดกำเนิดแผ่นดินไหวที่มีศักยภาพตามแนวรอยเลื่อนแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลียกับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ในทะเลอันดามันระหว่างละติจูด $2^{\circ}00'$ ถึง $16^{\circ}00'$ เหนือ และระหว่างลองจิจูด $92^{\circ}00'$ ถึง $98^{\circ}00'$ ตะวันออก เพื่อนำไปคำนวณหาระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิไปยังพื้นที่บริเวณชายฝั่งซึ่งเป็นที่ตั้งหน่วยงานของกองทัพเรือในจังหวัดระนอง จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต และจังหวัดสตูล ระยะเวลาวิกฤตคือ ระยะเวลาเดินทางน้อยสุดที่คลื่นยักษ์สึนามิจะมาถึงชายฝั่งซึ่งเป็นที่ตั้งแต่ละหน่วยของกองทัพเรือ โดยสามารถคำนวณได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ WinITDB (Windows-Based Integrated Tsunami Database) ผลจากการวิจัยทำให้ทราบว่าพื้นที่เสี่ยงภัยจากคลื่นยักษ์สึนามิ ได้แก่ พื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามันตั้งแต่จังหวัดระนองถึงจังหวัดสตูล โดยเมื่อเกิดแผ่นดินไหวตามแนวรอยเลื่อนในทะเลอันดามันที่มีขนาดความรุนแรงมากกว่า 6.5 ริกเตอร์ และพิสูจน์ทราบได้ว่าจะเกิดคลื่นยักษ์สึนามิ ศูนย์ปฏิบัติการกองทัพเรือจะต้องดำเนินการแจ้งให้หน่วยต่าง ๆ ของกองทัพเรือซึ่งมีที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งตั้งแต่จังหวัดระนองถึงจังหวัดสตูล และตามเกาะต่าง ๆ ให้ทำการอพยพกำลังพลอาวุธยุทโธปกรณ์ที่มีความสำคัญไปไว้ในบริเวณที่ปลอดภัยจากคลื่นยักษ์สึนามิภายในเวลา 2 ชั่วโมง

คำสำคัญ: คลื่นยักษ์สึนามิ แผ่นดินไหว แบบจำลองคณิตศาสตร์ รอยเลื่อน

Abstract: This research has objective to apply tsunami travel time for warning naval units on the Andaman coast. The potential tsunamigenic source along the fault line, between latitude $2^{\circ}00'$ to $16^{\circ}00'$ N and longitude $92^{\circ}00'$ to $98^{\circ}00'$ E, of the Indo-Australian plate and the Eurasian plate is designated to calculate the tsunami travel time to those locations in Ranong, Phang-Nga, Phuket, and Satun. Critical time is defined as a minimum time for a tsunami wave travelling to the coast where each naval unit is located. It can be calculated by mathematical model, namely WinITDB (Windows-Based Integrated Tsunami Database). The results reveal that a risky area from tsunami is the coastal area from Ranong to Satun. The Royal Thai Navy Command Center must immediately notify naval units, in those locations, to evacuate personnel, and move important munitions to safety area within 2 hours when an earthquake, is greater than 6.5 Richter scale, occurred along the fault line in Andaman Sea and tsunami was approved about to occur.

Keywords: Tsunami, Earthquake, Mathematical Model, Fault

1. บทนำ

เหตุการณ์ธรณีพิบัติจากภัยคลื่นยักษ์สึนามิในมหาสมุทรอินเดียซึ่งเกิดจากแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ริกเตอร์ เมื่อปี พ.ศ. 2547 ได้สร้างความเสียหายอย่างมากจนถูกจารึกไว้ในประวัติศาสตร์ของประเทศไทย พื้นที่และชุมชนชายฝั่งทะเลใน 6 จังหวัดภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามันที่ได้รับผลกระทบ ได้แก่ ภูเก็ต พังงา กระบี่ ตรัง สตูล และระนอง โดยมีรายงานจำนวนผู้เสียชีวิตทั้งชาวไทยและต่างประเทศรวมกันมากกว่า 5,000 คน และสูญหายอีกประมาณ 3,000 คน [1] ในส่วนของกองทัพเรือ มีหน่วยงานซึ่งมีที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามันอยู่ในหลายจังหวัด เช่น หน่วยปฏิบัติการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง 451 ตั้งอยู่ในจังหวัดระนอง ฐานทัพเรือพังงา ตั้งอยู่ในจังหวัดพังงา หน่วยปฏิบัติการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง 591 ตั้งอยู่ในจังหวัดภูเก็ต หน่วยปฏิบัติการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง 452 หน่วยปฏิบัติการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง 491 และสถานีเรือหลวง ตั้งอยู่ในจังหวัดสตูล เป็นต้น หน่วยเหล่านี้ต่างก็ได้รับความเสียหายอย่างมากเช่นกัน

ธรณีแปรสัณฐานของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เกิดขึ้นจากแผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่ชนกันและมุดจมตัวลง แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับประเทศไทยและเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงมากที่สุดซึ่งจะเกิดแผ่นดินไหวขนาดความรุนแรงมากกว่า 7.0 ริกเตอร์ได้ในรอบ 10 ปี คือ แนวมุดตัวสุมาตรา-อันดามัน โดยเฉพาะบริเวณหมู่เกาะนิโคบาร์-อันดามัน [2], [3] อัตราการเปลี่ยนรูป (Deformation rates) ตามแนวรอยต่อระหว่างแผ่นเหล่านี้มีการผันแปรซึ่งมีค่าไม่แน่นอนในกรณีนี้จึงทำให้เกิดการเคลื่อนตัวตลอดแนวรอยเลื่อนจากทางตอนเหนือของเกาะสุมาตราขึ้นไปยังชายฝั่งด้านตะวันตกของประเทศพม่ารวมระยะทางประมาณ 1,400 กิโลเมตร และทำให้เกิดกิจกรรมทางธรณีแปรสัณฐาน (Tectonic activity) เกิดการเคลื่อนที่ของแนวรอยเลื่อน (Inland Seismogenic

Faults) ทำให้เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวเป็นจำนวนมากทั้งในบริเวณแนวมุดตัวสุมาตรา-อันดามัน (Subduction) และบริเวณภายในแผ่นยูเรเชีย (Intraplate) [4] หากสืบค้นข้อมูลสถิติการเกิดแผ่นดินไหวในฝั่งทะเลอันดามันจากเว็บไซต์ของกองเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา จะพบว่าตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันมีเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในฝั่งทะเลอันดามันมากมาย หากแต่ยังไม่มีปัจจัยมากพอที่จะก่อให้เกิดคลื่นยักษ์สึนามิ แต่นั่นก็ไม่ได้หมายความว่าไม่มีโอกาสในการเกิดภัยพิบัติดังกล่าวได้อีก

แม้ว่าในปัจจุบันเรายังไม่สามารถยับยั้งธรณีพิบัติภัยที่เกิดจากคลื่นยักษ์สึนามิได้ แต่เราสามารถที่จะเตรียมการป้องกันและวางแผนรับมือกับภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้นได้ ในปัจจุบันกองทัพเรือได้มีการจัดตั้ง ศูนย์ประสานและสนับสนุนข้อมูลการแจ้งเตือนภัย ศูนย์บรรเทาสาธารณภัย กองทัพเรือ โดยมีภารกิจหลักสำคัญประการหนึ่งคือการเฝ้าระวังแผ่นดินไหวและแจ้งเตือนการเกิดคลื่นยักษ์สึนามิให้กับศูนย์ปฏิบัติการกองทัพเรือ (ศปท.ทร.) เพื่อแจ้งให้หน่วยต่าง ๆ ของกองทัพเรือและเรือรบหลวงที่ปฏิบัติราชการอยู่ในทะเลได้ทราบ โดยกองทัพเรือได้มอบหมายให้กรมอุทกศาสตร์ (อศ.) ในฐานะหน่วยขึ้นตรงของกองทัพเรือเป็นหน่วยรับผิดชอบโดยตรง สำหรับการแจ้งเตือนภัยที่ผ่านมานั้นจะอาศัยข้อมูลจากสถานีวัดความสั่นสะเทือน จังหวัดเชียงใหม่ (สวท.ชม.) สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีเฝ้าระวังแผ่นดินไหวต่างๆ ของโลก สถานีวัดระดับน้ำเพื่อการเตือนภัยคลื่นยักษ์สึนามิในฝั่งทะเลอันดามันของกรมอุทกศาสตร์ ทู่นเตือนภัยคลื่นยักษ์สึนามิ (DART-Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami) ของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย สถานีวัดระดับน้ำของหน่วยงานอื่น ๆ ร่วมกับการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ผ่านมามีการศึกษาผลการเกิดคลื่นยักษ์สึนามิที่ปังกันดาร์ (Pangandaran) ประเทศอินโดนีเซีย โดยคำนวณระยะเวลาการเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิจากแบบจำลอง WiniTDB ซึ่งเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มี

ความสามารถในการประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว [5]

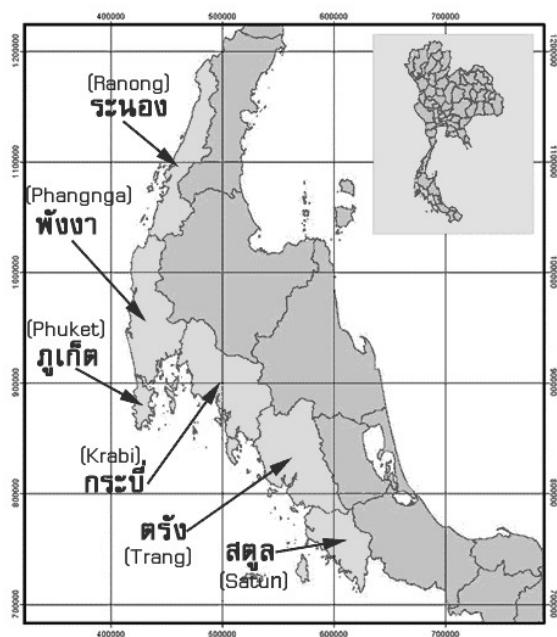
ในปี ค.ศ. 2009 ได้มีการศึกษาระยะเวลาการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิที่เดินทางมายังชายฝั่งประเทศไต้หวัน โดยกำหนดจุดกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณแนวเขตทะเลลึกมะนิลา เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ซึ่งมีโอกาสเกิดแผ่นดินไหว [6] สำนักเฝ้าระวังและบรรเทาผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวของโลก (The World Agency of Planetary Monitoring and Earthquake Risk Reduction; WAPMERR) ได้จัดทำแผนที่ระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิกระทบฝั่งในขอบเขตพื้นที่ระดับโลกและระดับภูมิภาค โดยใช้ฐานข้อมูลการเกิดคลื่นยักษ์สึนามิตั้งแต่ 1,628 ปีก่อนคริสตกาล เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความสูญเสียกับตำบลที่ของจุดกำเนิดแผ่นดินไหว รวมถึงอธิบายเกี่ยวกับห้วงเวลาที่เกิดความสูญเสีย [7] นอกจากนี้ ภูเวียง ประคำมินทร์ เคยทำการศึกษาระยะเวลาการเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิในอ่าวไทย โดยกำหนดจุดกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณกลางอ่าวไทย เนื่องจากพิจารณาแล้วว่ามีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มบริเวณแท่นขุดเจาะกลางอ่าวไทย [8] และอาจเป็นเหตุให้เกิดคลื่นยักษ์สึนามิ แต่ยังไม่เคยปรากฏการศึกษาว่าหากเกิดแผ่นดินไหวตามแนวรอยเลื่อนในทะเลอันดามันแล้วจะมีพื้นที่ใดของหน่วยงานกองทัพเรือบ้างที่ได้จะรับผลกระทบบ้าง ระยะเวลาจนเท่าใดที่คลื่นยักษ์สึนามิเหล่านั้นจะเดินทางมาถึงพื้นที่ชายฝั่งซึ่งเป็นที่ตั้งหน่วยของกองทัพเรือ และกองทัพเรือจะมีระยะเวลามากที่สุดเท่าใดในการแจ้งเตือนกำลังพลเพื่อทำการอพยพและเคลื่อนย้ายอาวุธยุทธโปกรณ์ที่สำคัญไปยังพื้นที่ปลอดภัย ระยะเวลาดังกล่าวถูกพิจารณาว่าเป็นระยะเวลาน้อยสุดที่คลื่นยักษ์สึนามิจะเดินทางมาถึงฝั่งในตำบลที่ตั้งหน่วยใด ๆ ของกองทัพเรือซึ่งงานวิจัยนี้ได้ให้คำจำกัดความว่าเป็นระยะเวลาวิกฤต หรือ Critical period โดยจุดกำเนิดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกันก็จะทำให้ระยะเวลาเดินทางของ คลื่นยักษ์สึนามิไปยังแต่ละพื้นที่แตกต่างกันด้วย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอข้อมูลระยะเวลาวิกฤตเพื่อใช้

สำหรับการแจ้งเตือนภัย อพยพกำลังพลและขนย้ายอาวุธยุทธโปกรณ์ที่สำคัญของกองทัพเรือซึ่งมีที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน เพื่อบรรเทาความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นกับชีวิตและทรัพย์สินรวมทั้งอาวุธยุทธโปกรณ์ที่สำคัญของกองทัพเรือ

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะกายภาพของกลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน

กลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามันตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของภาคใต้ประกอบด้วย 6 จังหวัด ได้แก่ ระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูล พื้นที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก ลักษณะภูมิประเทศนี้เกิดจากแผ่นดินยุบตัว ทำให้ชายฝั่งทะเลมีลักษณะเว้าแหว่ง โดยบริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันตกของภาคใต้จะมีลักษณะเว้าแหว่งมากกว่าทางด้านตะวันออก มีอ่าวและเกาะจำนวนมากมีป่าชายเลน เขตที่ราบทางด้านตะวันตกจะเป็นบริเวณแคบ ๆ ขนานกับชายฝั่งทะเล



ภาพที่ 1 กลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอันดามัน 6 จังหวัด [9]

2.2 คลื่นยักษ์สึนามิ

2.2.1 ลักษณะของคลื่นยักษ์สึนามิ

คลื่นยักษ์สึนามิเคลื่อนตัวออกจากจุดกำเนิดในลักษณะเป็นชุดของคลื่น กล่าวคือเมื่อมีการกำเนิดคลื่นแล้ว คลื่นลูกที่หนึ่งเคลื่อนออกจากจุดกำเนิดไปได้สักระยะหนึ่งประมาณ 10-60 นาที คลื่นลูกที่สองจึงจะเคลื่อนที่ตามออกไป จากนั้นอีกสักระยะหนึ่งคลื่นลูกที่สามและลูกต่อ ๆ ไปจึงจะเคลื่อนตัวออกไป คลื่นยักษ์สึนามิเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นนานหลายนาทีและมีความยาวคลื่นยาวมาก โดยมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 80-200 กิโลเมตร คลื่นยักษ์สึนามิเคลื่อนที่จากทะเลลึกเข้าหาฝั่งจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยตั้งแต่ 200 กิโลเมตร/ชั่วโมง จนถึงมากกว่า 1,000 กิโลเมตร/ชั่วโมง หากทราบความเร็วของคลื่นยักษ์สึนามิจะสามารถคาดหมายระยะเวลาที่คลื่นเคลื่อนตัวถึงชายฝั่งได้ โดยตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็วของคลื่นยักษ์สึนามิ ได้แก่ ความลึกของน้ำกับอัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยที่ความเร็วในการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิจะเท่ากับรากที่สองของความลึกของน้ำกับอัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลกตามสมการด้านล่าง

$$C = \sqrt{gD}$$

เมื่อ

C คือ ความเร็วในการเคลื่อนตัวของสึนามิ (เมตร/วินาที)

D คือ ความลึกของน้ำที่สึนามิเคลื่อนตัวผ่าน (เมตร)

g คือ อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตร/วินาที²)

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของคลื่นยักษ์สึนามิที่ระดับความลึกน้ำต่าง ๆ พร้อมกับยกตัวอย่างลักษณะของภูมิประเทศบริเวณพื้นท้องทะเล (Bathymetry) ตามความลึกอีกด้วย องค์ความรู้พื้นฐานที่กล่าวมาข้างต้นนั้นถูกนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณระยะเวลาการเคลื่อนที่ของคลื่นยักษ์สึนามิเข้าสู่ฝั่ง

ตารางที่ 1 ความเร็วของคลื่นยักษ์สึนามิที่ความลึกต่าง ๆ [10]

ความลึกน้ำ (ม.)	ความเร็วคลื่น (กม./ชม.)	หมายเหตุ
10	36	ชายฝั่งทั่วไป
20	50	อ่าวไทยตอนบน และบริเวณชายฝั่ง
100	113	จุดลึกสุดในอ่าวไทย
200	159	เขตไหล่ทวีป
3,000	504	จุดลึกสุดในฝั่งทะเลอันดามัน
4,000	713	ความลึกเฉลี่ยของมหาสมุทร
10,000	1,127	หุบเหวใต้สมุทร

2.2.2 สาเหตุการเกิดคลื่นยักษ์สึนามิ

คลื่นยักษ์สึนามิเกิดขึ้นเมื่อมวลน้ำทะเลปริมาตรมหาศาลถูกผลักดันให้เคลื่อนตัวออกจากตำแหน่งเดิมอย่างฉับพลันด้วยพลังงานมหาศาล มวลน้ำทะเลจึงกระจายตัวออกเป็นคลื่นยักษ์สึนามิ โดยคลื่นยักษ์สึนามิเกิดได้จากสาเหตุหลายประการ เช่น การระเบิดอย่างรุนแรงของภูเขาไฟ แผ่นดินถล่มใต้น้ำ การเคลื่อนตัวของเปลือกโลกจากการเกิดแผ่นดินไหว เป็นต้น โดยคลื่นยักษ์สึนามิส่วนใหญ่เกิดจากแผ่นดินไหวในทะเลหรือการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกใต้ทะเลอย่างฉับพลัน อันเนื่องมาจากเปลือกโลกซึ่งเป็นของแข็งลอยตัวอยู่บนหินหนืด (Mantle) ซึ่งเป็นของไหลที่มีความร้อนสูงและมีความหนาแน่นสูง โดยเปลือกโลกมิได้ต่อเนื่องเป็นผืนเดียวกันโดยตลอด แต่มีลักษณะเป็นแผ่นย่อย ๆ จำนวนหลายแผ่น ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งที่มีความหนาเล็กน้อย ประมาณ 100-150 กิโลเมตร เมื่อเทียบกับรัศมีของโลก มันจึงถูกเรียกว่า

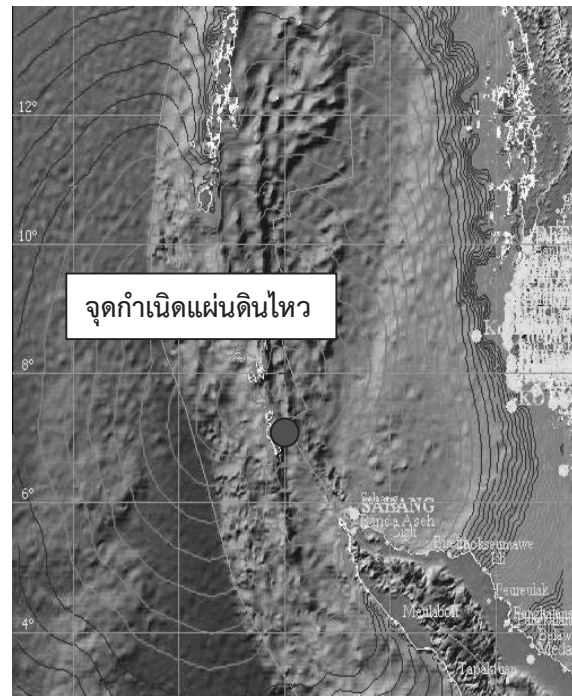
เพลท (Plate) [11] เมื่อเพลทซึ่งลอยตัวอยู่บนหินหนืด (Mantle) ซึ่งเป็นของไหลที่มีความร้อนสูงประมาณ 1,500-3,000 องศาเซลเซียส และมีความหนาแน่นสูง (มีค่าประมาณ 3.3 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) เคลื่อนตัวจะเกิดลักษณะขอบของเพลทแบบต่าง ๆ เช่น ขอบของเพลทแบบชนกัน (Convergence) ขอบของเพลทแบบแยกจากกัน (Divergence) และขอบของเพลทแบบเคลื่อนที่สวนทางกัน (Transform) โดยแผ่นดินไหวในมหาสมุทรอินเดียเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 นั้นก็มีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่ชนกันระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (India Plate) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลีย (Indo-Australian Plate) กับแผ่นเปลือกโลกพม่า (Burma plate) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian Plate) โดยในปัจจุบันแผ่นเปลือกโลกดังกล่าวก็ยังมีการเคลื่อนที่ชนกันอยู่ตลอดเวลา

2.3 แบบจำลอง WiniTDB

WiniTDB เป็นฟรีแวร์ (Freeware) ที่ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดได้จากอินเทอร์เน็ตเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งสามารถใช้งานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows Operation) ถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณหาระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิ โดยศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยได้ใช้แบบจำลองนี้ในการคำนวณหาระยะเวลาการเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิเข้าสู่ฝั่ง [12] ศูนย์ประสานและสนับสนุนข้อมูลการแจ้งเตือนภัย ศูนย์บรรเทาสาธารณภัย กองทัพเรือก็ใช้แบบจำลองนี้เช่นกัน จึงเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มีความน่าเชื่อถือเป็นอย่างยิ่ง

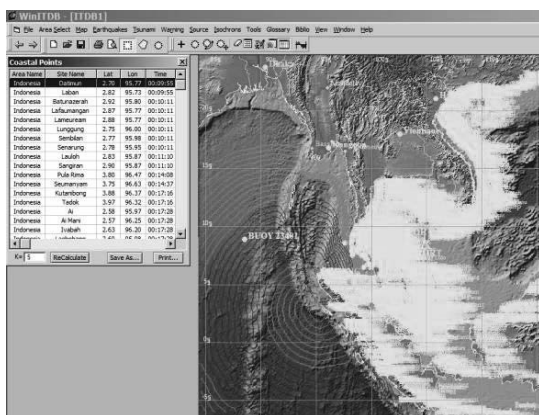
ผลจากการใช้งานแบบจำลอง WiniTDB เพื่อจำลองการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิเข้าสู่ฝั่งจะแสดงระยะเวลาการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวไปยังพื้นที่ชายฝั่งต่าง ๆ ตั้งแต่ระดับจังหวัดจนถึงระดับหมู่บ้านได้ตามที่ถูกระบุไว้ในฐานข้อมูลของ WiniTDB ซึ่งในปัจจุบันศูนย์ประสานและสนับสนุนข้อมูลการแจ้งเตือนภัย ศูนย์บรรเทาสาธารณภัยกองทัพเรือ ได้

ทำการปรับแก้ไฟล์ที่มีชื่อว่า CITIES.CTY ในฐานข้อมูลของแบบจำลอง WiniTDB เพื่อให้สามารถแสดงผลการจำลองการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิเข้าสู่ฝั่งซึ่งเป็นพื้นที่ของกองทัพเรือที่จะได้รับผลกระทบจากคลื่นยักษ์สึนามิ ในการวิจัยนี้ได้กำหนดไว้จำนวน 4 พื้นที่ ได้แก่ ท่าเรือ น้ำลึกระนอง จังหวัดระนอง ฐานทัพเรือพังงา จังหวัดพังงา ท่าเรือภาค 3 จังหวัดภูเก็ต และเกาะหลีเป๊ะ จังหวัดสตูล โดยเกาะหลีเป๊ะนั้นเป็นที่ตั้งของหน่วยปฏิบัติการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง 491 นอกจากนั้น ในบริเวณใกล้เคียงยังเป็นที่ตั้งของสถานีเรือหลวง รวมถึงหน่วยปฏิบัติการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง 452 อีกด้วย การแสดงผลระยะเวลาการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิเข้าสู่ฝั่งจะถูกแสดงในรูปของแผนที่ (Travel Time Map) ประกอบด้วยวงสีต่าง ๆ โดย 1 วงสีหรือที่เรียกว่า “คอนทัวร์ (Contour)” คือระยะเวลา 1 ชั่วโมง ตามที่แสดงในรูปที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างผลการพยากรณ์เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่ง (1 วงสี คือ 1 ชั่วโมง) วงกลมสีแดงคือ จุดกำเนิดแผ่นดินไหว กรณีนี้จุดกำเนิดแผ่นดินไหว ละติจูด 8°00' เหนือ ลองจิจูด 94°00' ตะวันออก

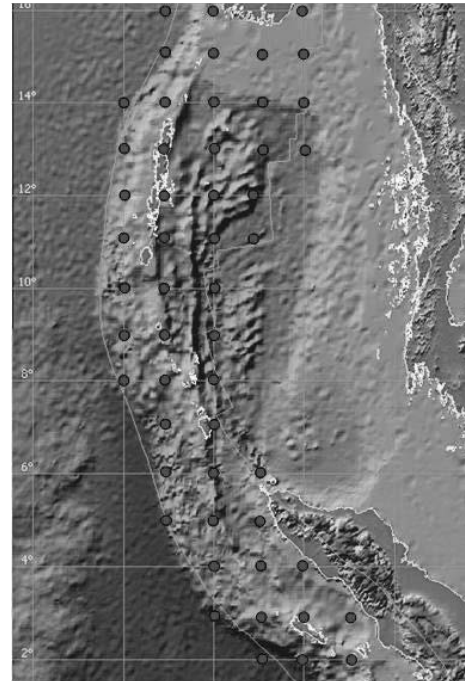
นอกจาก WinITDB จะแสดงผลการคำนวณออกมาในรูปแบบที่แสดงระยะเวลาการเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิแล้ว หากผู้ใช้งานต้องการทราบระยะเวลาที่คลื่นยักษ์สึนามิเดินทางถึงจุดต่าง ๆ ตามชายฝั่งที่เราสนใจก็สามารถตรวจสอบได้จากตารางข้อมูลที่ WinITDB สร้างขึ้นมาตามที่แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยชื่อสถานที่ ละติจูด ลองจิจูด และเวลา



ภาพที่ 3 การแสดงผลของแบบจำลองคณิตศาสตร์ WinITDB จะแสดงตำบลพื้นที่ชายฝั่งที่สนใจเป็นค่าพิกัด (ละติจูด กับ ลองจิจูด) และเวลาที่คลื่นยักษ์สึนามิเดินทางไปถึงจุดชายฝั่งเหล่านั้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการวิจัย



ภาพที่ 4 การกำหนดจุดกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลียเนียนกับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย สำหรับการพยากรณ์เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิ

การวิจัยนี้จะกำหนดจุดกำเนิดแผ่นดินไหวซึ่งก่อให้เกิดคลื่นยักษ์สึนามิบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลียเนียน (Indo-Australian Plate) กับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian Plate) ซึ่งอยู่ในทะเลอันดามันระหว่างละติจูด 2°00' ถึง 16°00' เหนือ ลองจิจูด 92°00' ถึง 98°00' ตะวันออก โดยแต่ละจุดจะมีระยะห่างประมาณ 1 องศา หรือประมาณ 60 ไมล์ทะเล หรือประมาณ 111 กิโลเมตร ดังแสดงตามรูปที่ 4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับการใช้งานแบบจำลอง จะกำหนดค่าดังนี้ ค่า Time Limit กำหนดไว้เท่ากับ 10,800 วินาที ค่า Color Range กำหนดไว้เท่ากับ 3,600 วินาที และค่า Step กำหนดไว้เท่ากับ 300 วินาที

3.2 ขอบเขตการวิจัย

3.2.1 ผลจากการใช้แบบจำลอง WinITDB เพื่อจำลองการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิเข้าสู่ฝั่งสามารถแสดงเวลาการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิของพื้นที่ได้ตั้งแต่ระดับจังหวัดถึงระดับหมู่บ้าน อย่างไรก็ตาม ในการวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะตำบลที่ซึ่งเป็นที่ตั้งหน่วยของกองทัพอากาศเพียง 4 พื้นที่เท่านั้น ได้แก่ ท่าเรือน้ำลึกกระนอง จังหวัดระนอง ฐานทัพเรือพังงา จังหวัดพังงา ทัพเรือภาค 3 จังหวัดภูเก็ต และเกาะหลีเป๊ะ จังหวัดสตูล การวิจัยนี้จะจำกัดขอบเขตการวิจัยและขอบเขตของการอภิปรายผลของการวิจัยเฉพาะพื้นที่ดังกล่าวข้างต้นเท่านั้น

3.2.2 การวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะคลื่นยักษ์สึนามิซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดแผ่นดินไหวเท่านั้น เนื่องจากการเกิดคลื่นยักษ์สึนามิจากสาเหตุอื่น ๆ เช่น การปะทุอย่างรุนแรงของภูเขาไฟใต้ทะเล การเกิดแผ่นดินถล่มขนาดใหญ่ใกล้ชายฝั่งทะเล (Landslides) การพุ่งชนของอุกกาบาตลงบนพื้นน้ำ ในมหาสมุทรบริเวณพื้นที่ดังกล่าวนี้ ไม่ใช่สาเหตุหลักและมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก โดยจะพิจารณาแหล่งกำเนิดคลื่นยักษ์สึนามิจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยต่อแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลีย (Indo-Australian Plate) กับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian Plate) ในทะเลอันดามันระหว่างละติจูด $2^{\circ}00'$ ถึง $16^{\circ}00'$ เหนือ และระหว่างลองจิจูด $92^{\circ}00'$ ถึง $98^{\circ}00'$ ตะวันออก

3.2.3 การใช้แบบจำลอง WinITDB นั้นมีขีดจำกัดคือ ไม่สามารถพยากรณ์ความสูงและความรุนแรงของคลื่นยักษ์สึนามิได้ ดังนั้นการวิจัยจะไม่อภิปรายเกี่ยวกับความสูงและความรุนแรงของคลื่นยักษ์สึนามิ แต่จะตั้งสมมติฐานว่าคลื่นยักษ์สึนามิที่เกิดขึ้นตามแนวรอยเลื่อนในทะเลอันดามันนั้นมีความรุนแรงมากพอที่จะสามารถทำให้เกิดความเสียหายให้กับพื้นที่และหน่วยงานตามชายฝั่งทะเลของกองทัพอากาศได้

4. ผลการศึกษา

ตารางที่ 2 เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่งท่าเรือน้ำลึกกระนอง จังหวัดระนอง

LON \ LAT	92°	93°	94°	95°	96°	97°	98°
16°	–	4:29	4:38	–	5:28	–	–
15°	–	4:17	4:37	4:47	4:36	–	–
14°	3:46	3:34	3:18	3:08	3:09	–	–
13°	3:49	3:18	3:05	2:53	2:50	–	–
12°	3:40	5:02	2:54	2:43	–	–	–
11°	3:28	3:00	2:46	2:36	–	–	–
10°	3:15	2:57	2:45	–	–	–	–
9°	6:03	5:43	5:31	–	–	–	–
8°	6:03	5:55	5:36	–	–	–	–
7°	–	3:20	3:04	–	–	–	–
6°	–	3:27	3:15	3:10	–	–	–
5°	–	3:36	3:27	3:28	–	–	–
4°	–	–	3:40	3:38	3:58	–	–
3°	–	–	4:05	4:07	4:12	4:26	–
2°	–	–	–	4:17	4:25	4:39	5:09

ผลการคำนวณจากแบบจำลอง WinITDB จะถูกแสดงผลการคำนวณออกมาในรูปแบบของแผนที่ระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิกระทบฝั่ง ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้นั้นอาจจะไม่สะดวกนักสำหรับผู้ที่ไม่มีความคุ้นเคยกับการใช้งานแบบจำลองดังกล่าว ดังนั้นเพื่อให้เป็นการง่ายและสะดวกต่อการนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อประยุกต์ใช้งานต่อไปนั้น ผู้วิจัยจึงจะสรุปข้อมูลที่ได้จากการใช้แบบจำลอง WinITDB ในรูปแบบตาราง โดยกำหนดให้แนวนอน คือ ลองจิจูด และแนวตั้งคือ ละติจูด เวลาที่แสดงในตารางจะแสดงใน

รูปแบบ ชั่วโมง:นาที รายละเอียดตามที่แสดงในตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 5

ตารางที่ 3 เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่ง
ฐท.พง.ทรภ.3 จังหวัดพังงา

LON \ LAT	92°	93°	94°	95°	96°	97°	98°
16°	–	3:41	3:40	–	4:46	–	–
15°	–	3:30	3:50	4:04	3:54	–	–
14°	3:32	3:19	3:07	2:43	3:01	–	–
13°	3:24	3:02	2:51	2:59	2:43	–	–
12°	3:15	4:42	2:38	2:31	–	–	–
11°	3:03	2:38	2:27	2:21	–	–	–
10°	2:49	2:32	2:21	–	–	–	–
9°	2:47	2:29	2:16	–	–	–	–
8°	2:46	2:37	2:14	–	–	–	–
7°	–	2:40	2:17	–	–	–	–
6°	–	2:35	2:21	2:13	–	–	–
5°	–	2:42	2:31	2:23	–	–	–
4°	–	–	2:44	2:42	3:02	–	–
3°	–	–	2:51	2:54	2:58	3:12	–
2°	–	–	–	3:03	3:11	3:25	3:26

ตารางที่ 4 เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่ง
ทรภ.3 จังหวัดภูเก็ต

LON \ LAT	92°	93°	94°	95°	96°	97°	98°
16°	–	4:00	4:09	–	5:05	–	–
15°	–	3:49	4:09	4:23	4:13	–	–
14°	3:54	3:43	3:31	3:24	3:27	–	–
13°	3:44	3:26	3:15	3:08	3:08	–	–
12°	3:35	5:05	3:02	2:57	–	–	–
11°	3:23	3:00	2:51	2:46	–	–	–
10°	3:09	2:52	2:44	–	–	–	–
9°	3:32	3:14	3:02	–	–	–	–
8°	3:31	3:21	2:58	–	–	–	–
7°	–	2:52	2:29	–	–	–	–
6°	–	2:47	2:33	2:23	–	–	–
5°	–	2:54	2:43	2:44	–	–	–
4°	–	–	2:56	2:54	3:14	–	–
3°	–	–	2:52	2:55	2:59	3:13	–
2°	–	–	–	3:04	3:12	3:26	3:57

จากตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 5 ตัวเลขสีแดงในตารางคือ เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่งซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่เคยเกิดเหตุการณ์ธรณีพิบัติขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2547 ส่วนในช่องของตารางที่มีการไฮไลต์ด้วยสีเหลืองคือ จุดกำเนิดแผ่นดินไหวที่เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่งน้อยที่สุดซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ จากผลการวิจัยทำให้สามารถตอบคำถามวิจัยได้ว่าเมื่อเกิดแผ่นดินไหวตามแนวรอยเลื่อนในทะเลอันดามันแล้วพื้นที่ท่าเรือ น้ำลึกระนอง จังหวัดระนอง ฐานทัพเรือพังงา ทัพเรือภาค 3 จังหวัดพังงา ทัพเรือภาค 3 จังหวัดภูเก็ต และเกาะหลีเป๊ะ จังหวัดสตูล จะได้รับผลกระทบจากคลื่นยักษ์สึนามิอย่างแน่นอน และเมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้วจะพบว่า

ตารางที่ 5 เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่ง
เกาะหลีเป๊ะ จังหวัดสตูล

LON \ LAT	92°	93°	94°	95°	96°	97°	98°
16°	–	4:25	4:34	–	5:31	–	–
15°	–	4:13	4:34	4:48	4:38	–	–
14°	4:05	4:00	3:48	3:41	3:44	–	–
13°	3:54	3:42	3:32	3:25	3:26	–	–
12°	3:45	3:16	3:19	3:14	–	–	–
11°	3:33	3:11	3:06	3:03	–	–	–
10°	3:19	3:03	2:56	–	–	–	–
9°	3:27	3:10	2:58	–	–	–	–
8°	3:26	3:15	2:52	–	–	–	–
7°	–	3:01	2:38	–	–	–	–
6°	–	2:55	2:40	2:27	–	–	–
5°	–	3:01	2:48	2:48	–	–	–
4°	–	–	3:01	2:58	3:18	–	–
3°	–	–	3:16	3:19	3:23	3:37	–
2°	–	–	–	3:28	3:37	3:50	4:21

1. ฐานทัพเรือพังงา ทัพเรือภาค 3 จังหวัดพังงา เป็นพื้นที่ที่คลื่นยักษ์สึนามิมีโอกาสเดินทางมาถึงบริเวณชายฝั่งด้วยระยะเวลาที่น้อยที่สุดคือ 2 ชั่วโมง 14 นาที หากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณละติจูด 8°00' เหนือ ลองจิจูด 94°00' ตะวันออก หรือบริเวณใกล้เคียง

2. ทัพเรือภาค 3 จังหวัดภูเก็ต เป็นพื้นที่ที่คลื่นยักษ์สึนามิมีโอกาสเดินทางมาถึงบริเวณชายฝั่งด้วยระยะเวลาที่น้อยที่สุดคือ 2 ชั่วโมง 23 นาที หากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณละติจูด 6°00' เหนือ ลองจิจูด 95°00' ตะวันออก หรือบริเวณใกล้เคียง

3. เกาะหลีเป๊ะ จังหวัดสตูล เป็นพื้นที่ที่คลื่นยักษ์สึนามิมีโอกาสเดินทางมาถึงบริเวณชายฝั่งด้วยระยะเวลาที่น้อยที่สุดคือ 2 ชั่วโมง 27 นาที หากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณ ละติจูด 6°00' เหนือ ลองจิจูด 95°00' ตะวันออก หรือบริเวณใกล้เคียง

4. ท่าเรือน้ำลึกระนอง จังหวัดระนอง เป็นพื้นที่ที่คลื่นยักษ์สึนามิมีโอกาสเดินทางมาถึงบริเวณชายฝั่งด้วยระยะเวลาที่น้อยที่สุดคือ 2 ชั่วโมง 36 นาที หากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณละติจูด 11°00' เหนือ ลองจิจูด 95°00' ตะวันออก หรือบริเวณใกล้เคียง

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยทำให้ทราบว่าพื้นที่เสี่ยงภัยจากคลื่นยักษ์สึนามิ ได้แก่ พื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามันตั้งแต่จังหวัดระนองถึงจังหวัดสตูล ซึ่งคลื่นยักษ์สึนามิสามารถเดินทางถึงฐานทัพเรือพังงา ทัพเรือภาค 3 จังหวัดพังงา โดยใช้เวลาการเดินทางน้อยสุดเพียง 2 ชั่วโมง 14 นาที เดินทางถึงทัพเรือภาค 3 จังหวัดภูเก็ต ใช้เวลาน้อยสุดเพียง 2 ชั่วโมง 23 นาที เดินทางถึงเกาะหลีเป๊ะ จังหวัดสตูล ใช้เวลาน้อยสุดเพียง 2 ชั่วโมง 27 นาที และเดินทางถึงท่าเรือน้ำลึกระนอง จังหวัดระนอง ใช้เวลาน้อยสุดเพียง 2 ชั่วโมง 36 นาที ด้วยเหตุนี้ในพื้นที่ที่ศูนย์ปฏิบัติการกองทัพอเรือ ได้รับการแจ้งและยืนยันจุดกำเนิดแผ่นดินไหวในทะเลอันดามันที่มีขนาดความรุนแรงมากกว่า 6.5 ริกเตอร์ (ซึ่งเป็นไปตามหลักเกณฑ์การแจ้งเตือนภัยของศูนย์ประสานและสนับสนุนข้อมูลการแจ้งเตือนภัย ศูนย์บรรเทาสาธารณภัยกองทัพอเรือ) จากสถานีวัดความสั่นสะเทือนจังหวัดเชียงใหม่ และพิสูจน์ทราบได้ว่ากำลังจะเกิดคลื่นยักษ์สึนามิ ศูนย์ปฏิบัติการกองทัพอเรือจะต้องดำเนินการแจ้งให้หน่วยต่าง ๆ ของกองทัพอเรือซึ่งมีที่ตั้งอยู่ตามเกาะบริเวณชายฝั่งตั้งแต่จังหวัดระนองถึงจังหวัดสตูลให้ทำการอพยพกำลังพล อาวุธยุทโธปกรณ์ที่มีความสำคัญไปไว้ในบริเวณที่ปลอดภัยจากคลื่นยักษ์สึนามิภายในเวลา 2 ชั่วโมง (ระยะเวลาวิกฤต) นอกจากนี้ กองทัพอเรือควรจะให้มีการจัดทำแผนที่น้ำท่วมถึงจากคลื่นยักษ์สึนามิ (Inundation Map) ในพื้นที่เสี่ยงภัยของกองทัพอเรือดังกล่าวข้างต้น รวมถึงกำหนดเส้นทางอพยพให้ชัดเจนเพื่อลดความคับคั่งในการอพยพ เรือที่เทียบท่าอยู่那儿จะต้องจอดเรือโดยหันหัวเรือออกสู่ทะเลเปิด และเตรียมการออกเรือให้พร้อม

เพื่อที่จะนำเรือออกไปสู่ทะเลลึกได้ทันทีเมื่อได้รับการ
แจ้งเตือนว่าคลื่นยักษ์สึนามิกำลังจะเดินทางมาถึง

6. บรรณานุกรม

- (1) มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, “ความเสียหาย
ที่ประเทศไทยได้รับจากคลื่นยักษ์สึนามิ (อินเทอร์เน็ต).”
กรุงเทพฯ, (เข้าถึงเมื่อ 10 พ.ค. 2567), เข้าถึงได้จาก:
<https://www.saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=30&chap=8&page=f30-8-infodetail06.html>
- (2) S. Sukrungsri and, S. Pailoplee, “Precursory seismicity
changes prior to major earthquakes along the
Sumatra-Andaman Subduction zone: a region-timelength
algorithm approach.” *Earth, Planets and Space*, DOI
10.1186/s40623-015-0269-0, (2015).
- (3) S. Sukrungsri and S. Pailoplee, “Precursory seismic
quiescence along the Sumatra-Andaman Subduction
Zone: Past and present.” *Journal of seismology*, DOI
10.1007/s10950-016-9602, (2016).
- (4) P. Charusiri, B.P. Rhodes, P. Saitthong, S. Kosuwan, S.
Pailoplee, W. Wiwegwin, V. Doarerk, C. Hinthong, and
S. Klaipongpan, “Regional tectonic setting and seismicity
of Thailand with reference to reservoir construction.”
*International Conference on Geology of Thailand:
Towards Sustainable Development and Sufficiency
Economy*, (2007).
- (5) M. F. Yudiant, R. E. Prasetyo, A. A. Supriyadi, Y. Prihanto,
“Tsunami Disaster Modeling for Non-Military Defense
in Pangandaran Regency Using Geographic Information
System.” *International Journal of Remote Sensing and
Earth Sciences*, Vol. 20 No. 1, pp. 45–57, (2023).
- (6) Wu, T.-R., Huang and H.-C., “Modeling Tsunamis Hazards
from the Manila Trench to Taiwan.” *Journal of Asian
Earth Sciences* 36, p.21-28, (2009).
- (7) V.K.Gusiakov, D.G.Khidasheli, A.G.Marchuk,
S.S.L.Hettiarachchi, A.Karas, T.V.Kalashnikova,
WAPMERR Tsunami Research Group, “Analysis of Tsunami
Travel Time Maps for Damaging Historical Tsunamis in
The World Ocean.”
- (8) ภูเวียง ประคำมินทร์, “คลื่นสึนามิตะเลอันดามัน (อินเทอร์เน็ต).”
กรุงเทพฯ, (เข้าถึงเมื่อ 12 พ.ค. 2567), เข้าถึงได้จาก: https://earthquake.tmd.go.th/file_downloads/%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B6%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%B4.pdf
- (9) ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย, “แผนที่แสดงลักษณะ
ภูมิประเทศ ของประเทศไทย บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นยักษ์
(Tsunami) (อินเทอร์เน็ต).” กรุงเทพฯ, (เข้าถึงเมื่อ 12 พ.ค. 2567),
เข้าถึงได้จาก: <https://www.gisthai.org/v2/index.php/2015-02-04-07-55-43/2015-02-04-08-47-03/33-gis-remote-sensing-tsunami-26-2547-the-application-of-gis-and-remote-sensing-on-assessing-physical-impact-caused-by-tsunami-on-dec-26-2004-in-the-coastal-zone-of-thailand>
- (10) กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ, “ระดับน้ำในน่านน้ำไทย พ.ศ. 2550.”
กรุงเทพฯ: กองสร้างแผนที่ กรมอุทกศาสตร์, (2550).
- (11) พิเชษฐ บัวเฮงทรัพย์, นาวาเอก, “สมุทรศาสตร์ธรณี.” กรุงเทพฯ:
โรงเรียนนายเรือ, (2565).
- (12) ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย,
“Webinar: Lessons Learnt during Exercise IOWave.”
(เอกสารที่ไม่มีการพิมพ์), (2023).