

การประเมินการกัดเซาะบริเวณฐานรากตื้นจากสึนามิด้วยสมการเชิงประจักษ์: กรณีศึกษาหาดป่าตอง

Evaluation of Tsunami Induced Scour on Shallow Foundations using Empirical Formula: Case Study of Patong Beach

กรวิศิษฐ์ ศิลารมย์^{1,*}

¹ สาขาวิชาวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จ.นนทบุรี

*Corresponding author; E-mail address: kornvisith.sil@stou.ac.th

บทคัดย่อ

สึนามิเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ถึงแม้จะเกิดขึ้นไม่บ่อยนัก แต่ก็สามารถส่งผลกระทบร้ายแรงทั้งต่อชีวิต ทรัพย์สิน ระบบนิเวศน์ และเศรษฐกิจ การออกแบบโครงสร้างอาคารในพื้นที่ชายฝั่งสามารถออกแบบให้ต้านทานแรงจากคลื่นสึนามิ อย่างไรก็ตาม สึนามิสามารถก่อให้เกิดการกัดเซาะดินบริเวณฐานรากตื้น ซึ่งเพิ่มพื้นที่ผิวที่รับแรงและลดเสถียรภาพของฐานราก จนอาจนำไปสู่การพังทลายหรือการพลิกคว่ำของโครงสร้างได้ ประเทศไทยมีโครงสร้างที่อยู่อาศัยบางส่วนใช้ฐานรากตื้น ซึ่งมีความเสี่ยงสูงต่อการกัดเซาะดังกล่าว การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงในการกัดเซาะของดินในบริเวณฐานรากตื้นภายใต้แรงกระทำจากสึนามิ โดยใช้ข้อมูลพื้นที่ศึกษาคือ หาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต ความเร็วและความสูงของคลื่นสึนามิที่วิ่งขึ้นฝั่งจะถูกคำนวณด้วยวิธีเส้นระดับพลังงาน ส่วนความเสี่ยงการกัดเซาะจะถูกคำนวณด้วยสมการเชิงประจักษ์ของซุมเมอร์และคณะ จากนั้นแรงที่สึนามิกระทำกับโครงสร้างฐานรากจะถูกคำนวณด้วยสมการแรงดันของน้ำ ผลการศึกษาพบว่าความเสี่ยงการกัดเซาะสูงสุดมีค่าเป็น 1.3 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาตอม่อกลม และ 2 เท่า ของความกว้างเสาตอม่อเหลี่ยม แรงเพิ่มเติมจากสึนามิที่กระทำต่อตอม่อหลังการกัดเซาะมีค่าสูงสุด 0.75–2.0 กิโลนิวตัน สำหรับเสากลม และ 2.0–15 กิโลนิวตัน สำหรับเสาเหลี่ยม แรงเหล่านี้ควรนำไปพิจารณาในการออกแบบเสถียรภาพฐานรากตื้นต่อไป

คำสำคัญ: สึนามิ, การกัดเซาะ, ฐานรากตื้น, หาดป่าตอง

Abstract

Although tsunamis are infrequent, they can cause severe damage to human lives, property, ecosystems, and the economy. While coastal structures can be designed to withstand tsunami-induced forces, the scour around shallow foundations due to tsunami flows increases the foundations' exposure to hydrodynamic forces. This phenomenon reduces foundation stability and may lead to structural overturning failure. Some residential structures in coastal areas of Thailand use shallow foundations, which are vulnerable to tsunami-induced scour.

This study aims to investigate the tsunami-induced scour depth at Patong Beach, Phuket Province, Thailand. The tsunami inundation depth and flow velocity are evaluated using the Energy Grade Line method. Scour depths are estimated using empirical equations proposed by Sumer et al. Subsequently, tsunami-induced forces acting on foundations are evaluated using the drag equation. The results indicate maximum scour depths of 1.3 times the diameter for circular piers and 2 times the width for square piers. Additional hydrodynamic forces after scour range from 0.75–2.0 kN for circular piers and 2.0–15 kN for square piers. These forces should be incorporated into shallow foundation stability analyses.

Keywords: Tsunami, Scour, Shallow Foundation, Patong Beach

1. บทนำ

สึนามิเป็นปรากฏการณ์ทางทะเลที่มีผลกระทบต่อชีวิต ทรัพย์สิน และเศรษฐกิจสูง คลื่นชนิดนี้จัดเป็นคลื่นที่มีคาบของคลื่นยาว สามารถเคลื่อนที่ได้ไกลถึง 8,000 กิโลเมตรด้วยความเร็วคลื่นสูงถึง 800 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [1] สึนามิในบริเวณน้ำลึกเกิดขึ้นจากการถูกแทนที่ของมวลน้ำทะเลอย่างมหาศาลซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากปรากฏการณ์แผ่นดินถล่มหรือแผ่นดินไหวใต้ทะเล [2] เมื่อสึนามิเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณน้ำตื้น พลังงานของคลื่นจะทำให้คลื่นยกตัวสูงขึ้นและซัดเข้าหาฝั่งโดยจะมีความสูงของคลื่นเปลี่ยนแปลงไปตามธรรมชาติของชายฝั่ง พลังงานของคลื่นและความเร็วกระแสน้ำที่ซัดเข้าหาฝั่งจะมีแนวโน้มลดลงไปตามระยะทางการเคลื่อนที่ของคลื่น อย่างไรก็ตามรอบปีการเกิดซ้ำของสึนามิมักมีค่ามากกว่า 100 ปี [2] จึงสามารถจัดได้ว่าเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นได้ไม่บ่อยนัก

นอกจากผลกระทบจากแรงคลื่นโดยตรงแล้ว อิทธิพลจากคลื่นและกระแสน้ำที่เกิดจากสึนามิยังส่งผลต่อการเคลื่อนตัวของตะกอนดิน เมื่อสึนามิเข้าปะทะกับสิ่งก่อสร้างจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางของกระแสน้ำอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะที่บริเวณฐานของสิ่งก่อสร้าง ทำให้สิ่งก่อสร้างมีพื้นที่ปะทะกับคลื่นเพิ่มขึ้นรวมไปถึงมีเสถียรภาพลดลงเนื่องจากกระแสน้ำพัดกลบลด ความเสียหายหรือการ

ทั้งหลายของสิ่งก่อสร้างบนฝั่งมักเกิดมาจากการกัดเซาะที่บริเวณฐานของสิ่งก่อสร้าง [3] ความรุนแรงของการกัดเซาะมักถูกระบุในรูปแบบของความลึกสูงสุด ซึ่งสามารถทำนายได้ด้วยทั้งสมการเชิงประจักษ์และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยวิธีที่สองจะต้องการข้อมูลและเวลาการคำนวณที่มากกว่าวิธีแรก ปรากฏการณ์นี้สามารถส่งผลกระทบต่อโครงสร้างที่ใช้ฐานรากตื้นเนื่องจากหากความลึกของการกัดเซาะมีค่าสูง เสถียรภาพของฐานรากจะมีค่าลดลง โดยเฉพาะหากความลึกการกัดเซาะมีค่ามากกว่าความลึกของฐานรากอาจทำให้โครงสร้างจะเกิดการวิบัติแบบพลิกคว่ำได้

ในวันที่ 26 ธันวาคม ปี พ.ศ. 2547 ประเทศไทยได้ประสบกับภัยพิบัติจากคลื่นสึนามิที่เกิดจากแผ่นดินไหวในมหาสมุทรอินเดีย (2004 Indian Ocean Tsunami) สึนามิความสูงกว่า 10 เมตรก่อให้เกิดมวลน้ำเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งไกลถึง 3 กิโลเมตรจากชายฝั่ง [4] ภัยพิบัติครั้งนี้ผลกระทบรุนแรงต่อชีวิต ทรัพย์สิน และระบบนิเวศในพื้นที่จังหวัดภาคใต้ที่มีพื้นที่อยู่ในเขตชายฝั่งอันดามัน ได้แก่ กระบี่ พังงา ระนอง ตรัง ภูเก็ต และสตูล [5] ซึ่งหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต ก็เป็นหนึ่งในบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากสึนามิดังกล่าว ส่งผลกระทบทั้งในด้านภูมิศาสตร์อันประกอบไปด้วยการเสื่อมโทรมของที่ดินเนื่องจากดินเค็ม การกัดเซาะชายฝั่ง การรुक้าของน้ำทะเลด้านชีวิตและทรัพย์สินอันประกอบไปด้วยการสูญหายและเสียชีวิตของประชาชนและนักท่องเที่ยว และเศรษฐกิจโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมท่องเที่ยว [6]

การศึกษานี้ใช้สมการเชิงประจักษ์ในการทำนายความลึกการกัดเซาะที่ฐานของสิ่งก่อสร้าง โดยใช้สภาวะคลื่นและชายฝั่งของหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต เป็นกรณีศึกษา ผลที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการประเมินแรงที่เกิดขึ้นกับฐานราก เพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของโครงสร้างที่มีฐานรากตื้นในพื้นที่ศึกษา

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการประเมินการกัดเซาะของฐานรากตื้น

2.1 การทำนายการกัดเซาะที่บริเวณฐานของสิ่งก่อสร้าง

การทำนายการกัดเซาะที่บริเวณฐานของสิ่งก่อสร้างสามารถทำได้อยู่สองวิธีหลัก ๆ ประกอบไปด้วยการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ (Numerical Simulation Method) และแบบใช้สมการเชิงประจักษ์ (Empirical Method)

แบบจำลองคณิตศาสตร์โดยทั่วไปแล้วจะมีความแม่นยำสูงเนื่องจากการใช้ข้อมูลที่มีความละเอียดสูงและมีการคำนึงถึงกระบวนการชายฝั่งในระดับที่สูงกว่า แต่จะมีข้อเสียคือต้องการข้อมูลเฉพาะและเวลาการประมวลผลที่สูง แบบจำลองคณิตศาสตร์ได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณการกัดเซาะที่ฐานของสิ่งก่อสร้างเช่น Larsen และคณะ [7] ได้ทำการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการ Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) คู่กับสมการ $k-\omega$ ในการทำนายการกัดเซาะบริเวณฐานของเสากลมที่เกิดจากสึนามิ ผลที่ได้พบว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถทำนายการกัดเซาะได้ใกล้เคียงกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ Quéré และคณะ [8] ได้ทำการประเมินการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ FLOW-3D และ Delft3D ในการทำนายการกัดเซาะที่ฐานของเสาเหลี่ยมอันเนื่องมาจากอิทธิพลของสึนามิ โดยทำการเปรียบเทียบผลของแบบจำลองกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองทั้งสองสามารถจำลองการ

กัดเซาะได้ดี FLOW-3D ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าในขณะที่ใช้เวลาประมวลผลนานกว่า

นอกเหนือจากแบบจำลองคณิตศาสตร์แล้วสมการเชิงประจักษ์ก็สามารถนำมาใช้ในการทำนายการกัดเซาะที่ฐานของสิ่งก่อสร้างที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของสึนามิได้เช่นกัน เช่น Sumer และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาความลึกสูงสุดของการกัดเซาะที่ฐานของเสาทรงกลมด้วยการใช้การทดลองในห้องปฏิบัติการ การทดลองถูกทำขึ้นโดยการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสา (D) ขนาดของตะกอนบริเวณเสา (d_{50}) และความถี่ของคลื่น ผลที่ได้พบว่าความลึกสูงสุดของการกัดเซาะที่ฐานนั้นแปรผันกับเลข Keulegan-Carpenter (KC number) Sumer และคณะ [9] ได้นำเสนอสมการเชิงประจักษ์ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\frac{S}{D} = 1.3[1 - e^{-0.03(KC-6)}] \quad (1)$$

$$KC = \frac{U_m T}{D} \quad (2)$$

เมื่อ S หมายถึงความลึกสูงสุดของการกัดเซาะที่ฐานของเสากลม, D หมายถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสา, KC หมายถึงเลขของ Keulegan-Carpenter ที่สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (2) โดยหากค่าของ KC มีค่าน้อยกว่า 6 จะไม่เกิดการกัดเซาะที่ฐานของเสา, U_m หมายถึงความเร็วสูงสุดของการไหล, และ T หมายถึงคาบของคลื่น

ในปีถัดมา Sumer และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาการกัดเซาะที่ฐานของเสาทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและค้นพบว่ามุมที่คลื่นกระทำกับเสามีเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความลึกของการกัดเซาะ โดย Sumer และคณะ [10] ได้นำเสนอสมการเชิงประจักษ์สำหรับทำนายความลึกการกัดเซาะที่บริเวณฐานของเสาทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความกว้างเท่ากับ D และมีมุมกระทำของคลื่นเท่ากับ 90 องศา และ 45 องศา ดังแสดงในสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

$$\frac{S}{D} = 2[1 - e^{-0.015(KC-11)}] \quad (3)$$

$$\frac{S}{D} = 2[1 - e^{-0.019(KC-3)}] \quad (4)$$

McGovern และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาการกัดเซาะที่ฐานของเสากลมอันเนื่องมาจากสึนามิ ผลการศึกษาพบว่าความลึกสูงสุดของการกัดเซาะที่ได้จากสมการของ Sumer และคณะ [9] มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการและค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการที่แนะนำใน ASCE/SEI 7-16 [12] ดังนั้นสมการของ Sumer และคณะ [9]-[10] จึงเหมาะสมสำหรับการประเมินความลึกของการกัดเซาะในเบื้องต้นในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากใช้ตัวแปรค่อนข้างน้อยและให้ความลึกการกัดเซาะที่สูง มีความเหมาะสมสำหรับการประเมินเบื้องต้นที่ต้องการความรวดเร็ว ให้ความลึกการกัดเซาะที่สูงและจะทำให้ได้แรงกระทำด้านข้างที่สูง ซึ่งจะมีความปลอดภัยในการออกแบบต่อไป

2.2 การทำนายพฤติกรรมของสึนามิที่ซัดเข้าหาชายฝั่ง

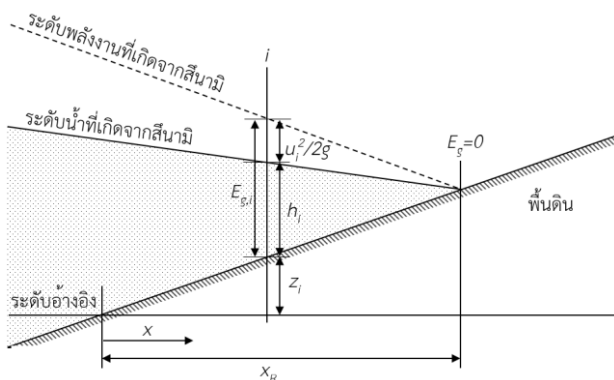
ความสูงของสึนามิที่ซัดเข้าหาฝั่ง (Wave Runup Height) ในการศึกษาครั้งนี้จะถูกคำนวณโดยใช้วิธีเส้นระดับพลังงาน (Energy Grade Line, EGL) ที่ได้ถูกแนะนำใน ASCE/SEI 7-16 [12] โดยระดับพลังงานของสึนามิในแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นจะสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (5)

$$E = h + \frac{u^2}{2g} = h(1 + 0.5F_r^2) \quad (5)$$

เมื่อ E_s คือระดับพลังงาน, h คือระดับความลึกของน้ำ (Inundation Depth) ดังแสดงในรูปที่ 1, u คือความเร็วของคลื่น, g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, และ F_r คือเลข Froude Number ซึ่ง จะใช้สมการที่ถูกแนะนำไว้ใน ASCE/SEI 7-16 [12] ดังแสดงในสมการที่ (6)

$$F_r = \alpha \left(1 - \frac{x}{x_R}\right)^{0.5} \quad (6)$$

เมื่อ α คือสัมประสิทธิ์ Froude Number ในศึกษานี้จะกำหนดให้ มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ถูกแนะนำไว้ใน ASCE/SEI 7-16 [12], x คือระยะในแนวราบ ดังแสดงในรูปที่ 1, และ x_R คือระยะของคลื่นที่ใช้ในการคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระดับพลังงานที่เกิดจากสึนามิ

เมื่อทราบระดับพลังงานที่จุดใดจุดหนึ่งในระนาบการเคลื่อนที่ของสึนามิแล้ว ก็จะสามารถคำนวณหาระดับพลังงานที่จุดถัด ๆ โดยใช้หลักการว่า พลังงานสูญเสียไประหว่างการเคลื่อนที่ของคลื่นจะประกอบไปด้วยความชันของเส้นพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำ (s) และความชันของท้องน้ำ (φ) ดังแสดงในสมการที่ (7) โดยที่ความชันของระดับพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทานสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (8)

$$E_{g,i} = E_{g,i-1} + (\varphi_i + s_i)\Delta x_i \quad (7)$$

$$s_i = \frac{gF_{r,i}}{(1.00/n)^2 h_i^{1/3}} \quad (8)$$

เมื่อ φ คือความชันของท้องน้ำ, s คือความชันของเส้นพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำ, Δx คือระยะห่างระหว่างจุดที่สนใจแนวแนวราบ, และ n คือค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ในศึกษานี้จะใช้ค่า $n=0.025$ ซึ่งเป็นค่าแนะนำใน ASCE/SEI 7-16 [12] สำหรับพื้นที่ชายฝั่ง

2.3 แรงที่กระทำต่อโครงสร้าง

แรงที่มวลของน้ำกระทำต่อโครงสร้างสามารถประเมินได้โดยใช้สมการแรงต้านของน้ำ (Drag Equation) ดังแสดงในสมการที่ (9) โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของน้ำ (C_D) ที่ใช้ในการศึกษาจะอ้างอิงมาจาก Cengel และ Cimbala [13] ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.2 และ 1.2 สำหรับเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสและเสากลม ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของน้ำของเสาจัตุรัสสามารถใช้ได้ในกรณีที่ทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำกระทำตั้งฉากกับด้านใดด้านหนึ่งของเสาเท่านั้น

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_w A v^2 \quad (9)$$

เมื่อ F_D คือแรงต้านที่เกิดจากน้ำ, C_D คือสัมประสิทธิ์แรงต้านของน้ำ, A คือพื้นที่ปะทะ, ρ_w คือความหนาแน่นของน้ำ (ประมาณ 1,025 kg/m³ สำหรับน้ำทะเล), และ v คือความเร็วของน้ำ

3. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1 ข้อมูลคลื่น

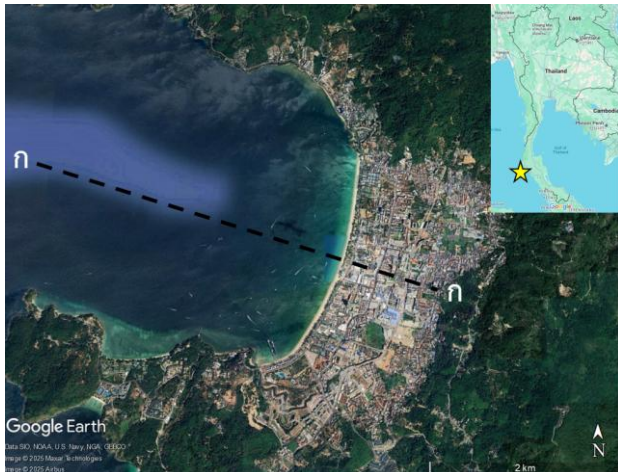
ข้อมูลสึนามิที่เกิดขึ้นในวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 ที่จะนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้ถูกสรุปไว้ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยอ้างอิงมาจากเอกสารต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

Merrifield และคณะ [14] ได้ทำการรวบรวมความสูงคลื่น ณ วันที่เกิดเหตุจากสถานีต่าง ๆ ผลการศึกษาพบว่าที่สถานี Columbo ประเทศศรีลังกาสามารถตรวจวัดความสูงคลื่นนอกฝั่งมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.17 เมตร ค่าความสูงคลื่นนี้จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษานอกจากนี้ Merrifield และคณะ [14] ยังได้ทำการวิเคราะห์คาบของคลื่นและระบุว่าคาบของคลื่นมีค่าประมาณ 25 – 40 นาที ค่าของคาบคลื่นที่ 40 นาทีจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้เนื่องจากเป็นค่าที่ทำให้ค่า KC Number มีค่าสูงที่สุดและจะเกิดความลึกในการกัดเซาะสูงที่สุดเมื่อนำมาใช้กับสมการของ Sumer และคณะ [9]-[10]

Bell และคณะ [15] ได้ทำการรวบรวมข้อมูลการสำรวจจากหลายภาคส่วนและได้นำเสนอว่าความสูงของคลื่นที่ซัดขึ้นหาดป่าตอง มีค่าประมาณ 5 - 5.5 เมตร ความสูงของระดับน้ำที่ซัดขึ้นฝั่งสูงสุดที่ 5.5 เมตรจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลคลื่นที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปร	หน่วย	ค่าอ้างอิง	อ้างอิงจาก	ค่าออกแบบ
ความสูงคลื่นนอกฝั่ง, H	ม.	2.17	Merrifield และคณะ [14]	2.17
คาบคลื่นนอกฝั่ง, T	นาที่	25-40	Merrifield และคณะ [14]	40
ความสูงของคลื่นที่ซัดขึ้นฝั่ง, R	ม.	5-5.5	Bell และคณะ [15]	5.5



รูปที่ 2 หาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต ปี พ.ศ. 2567
(ข้อมูลจาก Google Earth)

3.2 ข้อมูลภูมิประเทศ

หาดป่าตองตั้งอยู่ในพื้นที่ชายฝั่งด้านอันดามันของประเทศไทย อยู่ในเขตปกครองอำเภอกระบุรี จังหวัดภูเก็ต มีลักษณะเป็นหาดทรายยาวประมาณ 2.7 กิโลเมตร มีการใช้พื้นที่ค่อนข้างหนาแน่น ดังแสดงในรูปที่ 2 ข้อมูลระดับของท้องน้ำในการศึกษาครั้งนี้ได้มาจากระบบแผนที่เดินเรือออนไลน์ ของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

ข้อมูลภูมิประเทศบนบกจะอ้างอิงจาก ESRI World Topographic Map เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวยังไม่ครอบคลุมถึงพื้นที่บริเวณชุมชน ค่าความชันเฉลี่ยจากชายฝั่งจนถึงเส้นชั้นความสูงที่มีข้อมูลจะถูกนำมาใช้สร้างภาคตัดขวางของชายฝั่ง

ข้อมูลระดับเหล่านี้ จะถูกนำมาสร้างเส้นตัดขวางของชายฝั่ง เส้นตัดขวางที่พิจารณาใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้แนวตั้งฉากที่กึ่งกลางของหาด ดังแสดงไว้ในเส้น ก-ก ในรูปที่ 2 ข้อมูลภูมิประเทศที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาลักษณะภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 3 แล้ว พื้นที่ตั้งแต่เส้นแนวชายฝั่งจนถึงระยะที่สึนามิซัดขึ้นฝั่งสูงสุดจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณ โดยมีระยะ x_R เท่ากับ 325 เมตร

บริเวณที่ใช้ในการคำนวณอยู่ภายใต้เขตควบคุมอาคารตามกฎหมาย ฉบับที่ 15 (พ.ศ. 2529) ที่มีข้อกำหนดการก่อสร้าง การ

วิเคราะห์นั้นจึงตั้งอยู่บนสมมติฐานที่จำกัดเฉพาะการประเมินการกัดเซาะที่ฐานรากและแรงที่กระทำต่อฐานรากอาคารที่มีอยู่เดิมโดยไม่เกี่ยวข้องกับ การออกแบบสิ่งก่อสร้างในพื้นที่ดังกล่าว

3.3 ข้อมูลฐานรากต้น

ฐานรากต้นที่ใช้ในการศึกษานี้จะถูกกำหนดโดยใช้ค่าทั่ว ๆ ไปโดยกำหนดให้มีเสาตอม่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 15 มม. 20 มม. 25 มม. 30 มม. 35 มม. และ 40 มม. และเสาตอม่อทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. 20 มม. 25 มม. 30 มม. 35 มม. และ 40 มม. เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปทรงและขนาดของเสาตอม่อที่มีผลต่อความลึกของการกัดเซาะและแรงที่สึนามิกระทำต่อฐานรากโดยกำหนดหมายเลขประจำเสาตอม่อไว้ในตารางที่ 2

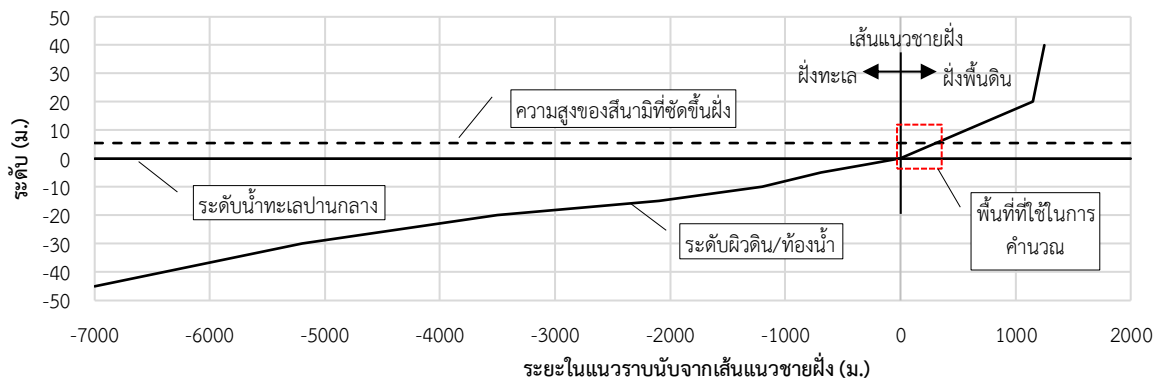
ตารางที่ 2 ข้อมูลเสาตอม่อที่ใช้ในการศึกษา

เสาตอม่อ	ชนิด	ขนาด (มม.)
S15	สี่เหลี่ยมจัตุรัส	15 x 15
S20		20 x 20
S25		25 x 25
S30		30 x 30
S35		35 x 35
S40		40 x 40
R15	กลม	Ø15
R20		Ø20
R25		Ø25
R30		Ø30
R35		Ø35
R40		Ø40

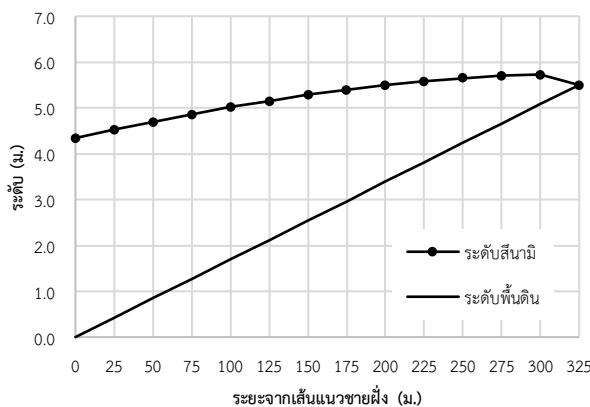
4. ผลการวิเคราะห์

4.1 การเคลื่อนตัวของคลื่นเข้าสู่ชายฝั่ง

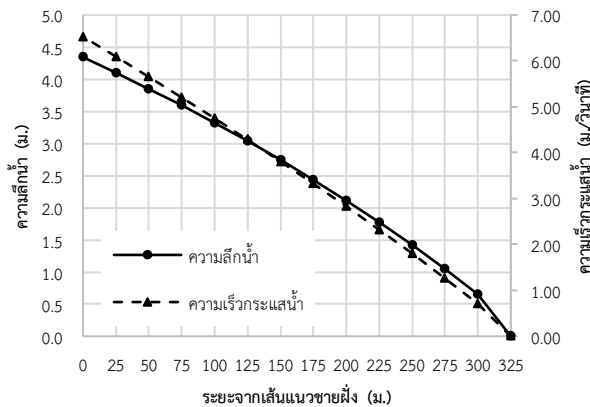
การเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งของสึนามิในพื้นที่ศึกษาได้ถูกคำนวณตามระเบียบวิธีที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.2 และข้อมูลคลื่นและภูมิประเทศที่ได้รับไว้ในตารางที่ 1 และรูปที่ 3 ตามลำดับ ผลการคำนวณที่เคลื่อนที่เข้าหาฝั่งที่ระยะ Δx เท่ากับ 25 เมตรได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4 เมื่อได้ความสูงของสึนามิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตลอดเส้นตัดขวางแล้วจะสามารถหาความลึกของน้ำตลอดเส้นตัดขวางได้โดยใช้ค่าผลต่างระหว่างระดับน้ำและระดับผิวดิน ค่าความลึกของน้ำที่เกิดจากสึนามิตลอดเส้นตัดขวางที่คำนวณได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5 ความเร็วของกระแสน้ำที่เกิดจากสึนามิตลอดแนวเส้นตัดขวางได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5 เช่นกัน



รูปที่ 3 ข้อมูลภูมิประเทศที่ใช้ในการศึกษา



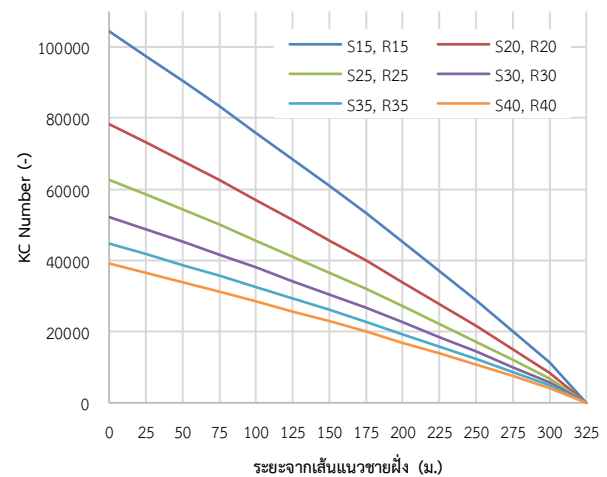
รูปที่ 4 ผลการคำนวณระดับสันามิที่ขีดเข้าฝั่งในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 5 ผลการคำนวณระดับความลึกน้ำที่เกิดจากสันามิในพื้นที่ศึกษา

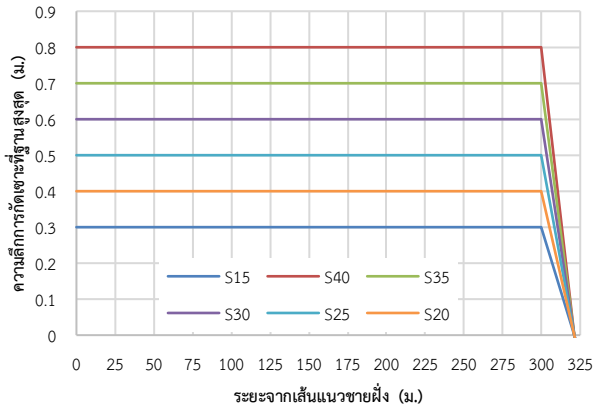
4.2 ความลึกของการกัดเซาะที่บริเวณฐานของเสาตอม่อ

ความเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อที่ 4.1 ได้ถูกนำมาคำนวณหาเลข KC number โดยใช้สมการที่ (2) โดยที่ค่า KC Number ของเสาขนาดต่าง ๆ กันตลอดเส้นตัดขวางได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 6 ข้อสังเกตของผลการคำนวณนี้คือค่าของเลข KC มีค่าสูงมากถึงแม้ว่าความเร็วของคลื่นจะมีค่าน้อยเนื่องจากคาบของสันามิมีความยาวนานมาก

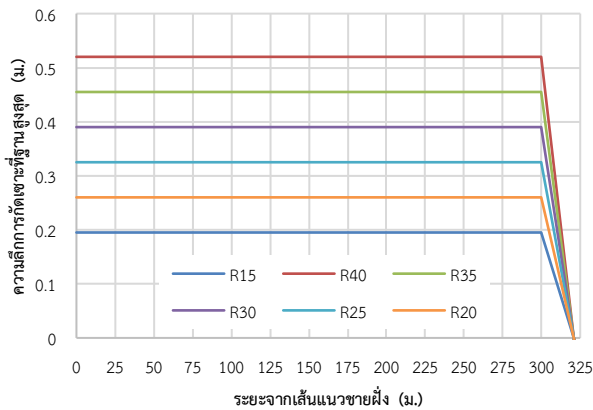


รูปที่ 6 ค่า KC Number ของเสาขนาดต่าง ๆ

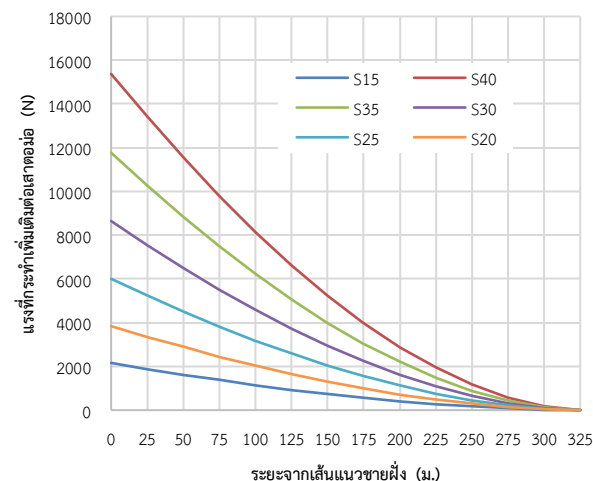
ความลึกการกัดเซาะที่ฐานสูงสุดสำหรับเสาตอม่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสและเสาตอม่อกลมในพื้นที่ศึกษาได้ถูกคำนวณโดยสมการที่ (3) และ (1) ตามลำดับ ผลการคำนวณความลึกของการกัดเซาะสูงสุดของเสาตอม่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสและเสาตอม่อกลมได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 7 และ รูปที่ 8 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าความลึกการกัดเซาะที่ฐานสูงสุดมีค่าคงที่เท่ากับค่าความลึกสมมูลที่สามารถคำนวณได้ด้วยสมการของ Sumer และคณะ [9]-[10] ที่จะมีค่าความลึกในการกัดเซาะที่สถานะสมมูลสูงสุดเท่ากับ 1.3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสากลม และ 2 เท่าของขนาดความกว้างของเสาเหลี่ยม ความลึกในการกัดเซาะจะลดลงหากเลข KC Number ต่ำกว่า 6 สำหรับเสากลม และ 11 สำหรับเสาเหลี่ยม เนื่องจากสันามิในพื้นที่ศึกษาทำให้เกิดเลข KC Number ที่สูงมากจึงทำให้ความลึกการกัดเซาะมีค่าสูงที่สุดตามสมการดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ความลึกดังกล่าวถือว่ามีความน้อยเทียบกับความลึกของฐานรากดินโดยทั่วไป จึงทำให้มีโอกาสเกิดการวิบัติจากการพลิกคว่ำน้อย



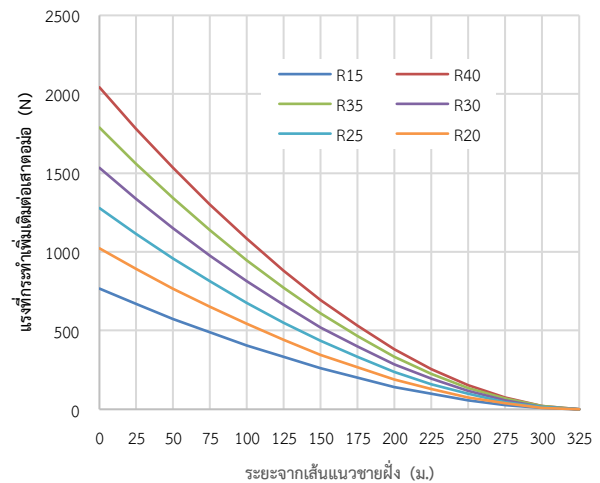
รูปที่ 7 ผลการคำนวณระดับความลึกการก่ดเซาะที่ฐานสูงสุดบริเวณเสา
ตอม่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 8 ผลการคำนวณระดับความลึกการก่ดเซาะที่ฐานสูงสุดบริเวณเสา
ตอม่อกลมในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 9 ผลการคำนวณขนาดแรงที่กระทำเพิ่มเติมบริเวณเสาตอม่อสี่เหลี่ยม
จัตุรัสในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 10 ผลการคำนวณขนาดแรงที่กระทำเพิ่มเติมบริเวณเสาตอม่อกลมใน
พื้นที่ศึกษา

4.3 แรงที่กระทำต่อโครงสร้างเสาตอม่อ

ขนาดของแรงที่กระทำบริเวณฐานรากที่ถูกก่ดเซาะด้วยความลึกดัง
แสดงในหัวข้อที่ 4.2 ได้ถูกคำนวณด้วยความเร็วกระแสน้ำที่แสดงในรูปที่ 4
โดยใช้สมการที่ (9) จะได้ขนาดของแรงที่กระทำตลอดแนวเส้นตัดขวางตั้ง
ของเสาตอม่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสและเสาตอม่อกลมดังแสดงในรูปที่ 9 และรูปที่
10 ตามลำดับ ซึ่งแรงดังกล่าวจะเป็นแรงด้านข้างเพิ่มเติมจากแรงที่คลื่น
ปะทะโครงสร้างส่วนอื่น ๆ ที่จะต้องถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาเสถียรภาพ
ของโครงสร้างต่อไป

5. บทสรุป

ความลึกของการก่ดเซาะบริเวณฐานรากที่คำนวณออกมาจากอิทธิพล
ของสึนามิได้ถูกประเมินโดยใช้สมการทำนายพฤติกรรมสึนามิของ
ASCE/SEI 7-16 [12] ในการทำนายความเร็วและระดับน้ำ สมการของ
Sumer และคณะ [9]-[10] ในการทำนายความลึกการก่ดเซาะที่ฐานสูงสุด
และสมการแรงต้านของน้ำในการทำนายแรงที่กระทำเพิ่มเติมต่อฐานราก
ผลการศึกษาพบว่าความลึกการก่ดเซาะสูงสุดมีค่าเป็น 1.3 เท่า ของเส้น
ผ่านศูนย์กลางเสาตอม่อกลม และ 2 เท่า ของความกว้างเสาตอม่อเหลี่ยม
ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดที่สามารถทำนายได้ด้วยสมการของ Sumer และคณะ
[9]-[10] แรงเพิ่มเติมจากสึนามิที่กระทำต่อตอม่อหลังการก่ดเซาะมีค่าสูงสุด
0.75-2.0 กิโลนิวตัน สำหรับเสากลม และ 2.0-15 กิโลนิวตัน สำหรับเสา
เหลี่ยม ขนาดความลึกของการก่ดเซาะที่เกิดขึ้นมีค่าไม่สูงนักเมื่อเทียบกับ
ความลึกโดยทั่วไปของฐานราก ดังนั้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณแรงด้านข้างที่เพิ่ม
ขึ้นนี้อาจส่งผลต่อเสถียรภาพของอาคารโดยรวมได้

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดอันเนื่องมาจากผู้วิจัยไม่มีข้อมูลผลการสำรวจความ
ลึกการก่ดเซาะที่บริเวณฐานของเสาตอม่อในบริเวณพื้นที่ศึกษา ความลึกใน
การก่ดเซาะได้ถูกทำนายโดยใช้สมการของ Sumer และคณะ [9]-[10]
เท่านั้น ในการวิจัยครั้งถัดไป ผู้วิจัยแนะนำให้ทำแบบจำลองทางกายภาพ
หรือแบบจำลองเชิงเลขเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการดังกล่าวกับ
สมการเชิงประจักษ์อื่น ๆ ที่อาจมีความเหมาะสมในการทำนายการก่ดเซาะ

อันเนื่องจากสึนามิได้แม่นยำกว่า นอกจากนั้นควรทำการตรวจสอบเสถียรภาพของฐานรากโดยคำนึงถึงแรงที่สึนามิกระทำกับส่วนอื่นของอาคาร (เช่น เสา คาน ผนัง) และคุณสมบัติของชั้นดินในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยจะทำให้สามารถทราบความปลอดภัยของโครงสร้างในพื้นที่ศึกษาได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Coastal Engineering Research Center (1984), Shore Protection Manual Volume I, US Army Corps of Engineers.
- [2] US Army Corps of Engineers (2002), Coastal Engineering Manual (CEM) Part II, US Army Corps of Engineers.
- [3] Yeh, H., Tonkin, S., Heller, E., Arduino, P., Kato, F., and Sato, S. (2004): Mechanisms of Scour Induced by Tsunami Runup. Proceedings of the 2nd International Conference on Scour and Erosion (ICSE-2), Singapore, 14-17 November 2004.
- [4] Patrice, K., Ann O., Dana S., Wendy D., and Marvin, B. (2005). The Sumatra-Andaman Earthquake and Tsunami of 2004: The Hazards, Events, and Damage
- [5] สำนักมาตรฐานการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ (2549). รายงานผลการวิจัย แนวทางการฟื้นฟูวิถีชีวิตผู้ประสบภัยคลื่นยักษ์สึนามิ, กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์.
- [6] ยุวดี จันทะศิริ และ พงศ ยวนแหล (2551). สำรวจสถานการณ์แรงงานไทยที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นยักษ์สึนามิ: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมบริการ. *วารสารวิจัยทรัพยากรมนุษย์*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 42-58.
- [7] Larsen, B. E., Fuhrman, D. R., Baykal, C., & Sumer, B. M. (2017). Tsunami-induced scour around monopile foundations. *Coastal Engineering*, 129, 36–49. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.08.002>
- [8] Quéré, P. a. L., Nistor, I., & Mohammadian, A. (2020). Numerical Modeling of Tsunami-Induced Scouring around Square Column: Performance Assessment of FLOW-3D and Delft3 D. *Journal of Coastal Research*, 36(6). <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-19-00181.1>
- [9] Sumer, B. M., Christiansen, N., & Fredsøe, J. (1992) Scour around vertical pile in waves, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 118, pp. 15-31. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1992\)118:1\(15\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1992)118:1(15))
- [10] Sumer, B. M., Christiansen, N., & Fredsøe, J. (1993) Influence of cross section on wave scour around piles, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*. 119, pp. 477-495. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1993\)119:5\(477\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1993)119:5(477))
- [11] McGovern, D., Todd, D., Rossetto, T., Whitehouse, R., Monaghan, J., & Gomes, E. (2019). Experimental observations of tsunami induced scour at onshore structures. *Coastal Engineering*, 152, 103505. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103505>
- [12] American Society of Civil Engineers, Structural Engineering Institution, Minimum Design Loads for Building and Other Structures, ASCE/SEI 7-16.
- [13] Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2017). *Fluid mechanics: Fundamentals and applications* (4th ed.). McGraw-Hill Education, pp. 619.
- [14] Merrifield, M. A., Firing, Y. L., Aarup, T., Agricole, W., Brundrit, G., Chang-Seng, D., Farre, R., Kilonsky, B., Knight, W., Kong, L., Magori, C., Manurung, P., McCreery, C., Mitchell, W., Pillay, S., Schindele, F., Shillington, F., Testut, L., Wijeratne, E. M. S., Turetsky, N. (2005). Tide gauge observations of the Indian Ocean tsunami, December 26, 2004. *Geophysical Research Letters*, 32(9). <https://doi.org/10.1029/2005gl022610>
- [15] Bell, R., Cowan, H., Dalziel, E., Evans, N., O’Leary, M., Rush, B., & Yule, L. (2005). Survey of impacts on the Andaman coast, southern Thailand following the great Sumatra-Andaman earthquake and tsunami of December 26, 2004. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 38(3), 123–148. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.38.3.123-148>