

แบบจำลองการประเมินความเสี่ยงอาคารหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหว ตามวิธีการตรวจประเมินอย่างรวดเร็ว

นภภูมิ อุ่นเป้ง¹, ไพจิตร ผาวัน², วริศรา เลิศไพฑูรย์พันธุ์³

^{1,2,3}คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Email: pajit.pa@spu.ac.th

Received: May 25, 2025

Revised: Sep 18, 2025

Accepted: Dec 02, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองการประเมินความเสี่ยงของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหว โดยประยุกต์ใช้แนวทางการตรวจประเมินอย่างรวดเร็ว (Rapid Visual Screening: RVS) ที่พัฒนาโดย FEMA และปรับให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีชั้นดินอ่อน เช่น กรุงเทพมหานคร วิธีการประเมินประกอบด้วยการกำหนดคะแนนพื้นฐานตามประเภทโครงสร้าง และปรับคะแนนตามปัจจัยเสี่ยงต่าง ๆ เช่น ความสูงของอาคาร ความไม่สมมาตรทางโครงสร้าง ลักษณะดิน และสภาพการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง จากนั้นคำนวณคะแนนรวม (Final RVS Score) และใช้สมการโลจิสติกในการแปลงคะแนนเป็นความน่าจะเป็นของการพังทลาย การศึกษาภาคสนามดำเนินการกับอาคารตัวอย่างจำนวน 5 หลัง พบว่าความสูงของอาคารมีความสัมพันธ์เชิงลบในระดับปานกลางกับค่า RVS ($p = -0.625$) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางกับค่าความน่าจะเป็นของการพังทลาย ($p = +0.675$) โดยอาคาร B5 มีความเสี่ยงสูงที่สุด (ความน่าจะเป็นพังทลาย 73.11%) แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นเครื่องมือคัดกรองเบื้องต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ต้องอาศัยแบบก่อสร้างหรือการวิเคราะห์เชิงลึก เหมาะสำหรับการจัดลำดับความสำคัญในการบริหารจัดการอาคารหลังแผ่นดินไหว และช่วยลดการรื้อถอนอาคารโดยไม่จำเป็น ซึ่งส่งเสริมแนวทางการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การตรวจประเมินอย่างรวดเร็ว, แผ่นดินไหว, การประเมินความเสี่ยง, ความน่าจะเป็นของการพังทลาย, อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

Building Risk Assessment Model after Earthquake Using Rapid Assessment Method

Napapoom Ounpeng¹, Pajjit Pawan², Warisara Lertpaitoonpan³

^{1,2,3}School of Engineering, Sripatum University

Email: pajjit.pa@spu.ac.th

Received: May 25, 2025

Revised: Sep 18, 2025

Accepted: Dec 02, 2025

Abstract

This study proposes a seismic risk assessment model for reinforced concrete buildings following an earthquake by applying the Rapid Visual Screening (RVS) method, adapted to suit Thailand's urban and geotechnical context. The assessment process combines standardized scoring from FEMA P-154 with field-surveyed physical indicators such as building height, number of stories, plan irregularities, presence of shear walls, and visible damage. These factors are converted into a Final RVS Score through basic scoring and adjustment factors (Score Modifiers). A logistic regression model is then employed to estimate the collapse probability based on the Final RVS Score. Field surveys were conducted on five buildings located in Bangkok, an area characterized by soft soil and moderate seismic risk. The analysis revealed a moderate negative correlation between building height and RVS score ($\rho = -0.625$), and a moderate positive correlation between building height and collapse probability ($\rho = +0.675$). One of the case study buildings, a 15-story structure with structural deterioration and irregular features, showed a high collapse probability of 73.11%. The adapted model demonstrated its effectiveness for rapid, cost-efficient screening without requiring detailed structural drawings or in-depth engineering analysis. It allows for prioritized decision-making in post-earthquake building inspections, potentially reducing unnecessary demolitions and supporting sustainable urban resilience. However, further enhancement incorporating dynamic structural behavior and digital inspection tools such as point cloud data is recommended to improve accuracy.

Keywords: Rapid Visual Screening (RVS), Earthquake, Seismic Risk Assessment, Collapse Probability, Structural Vulnerability

บทนำ

กรุงเทพมหานครจัดอยู่ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงปานกลางต่อแผ่นดินไหว แต่ลักษณะของชั้นดินที่เป็นดินอ่อนส่งผลให้เกิดการขยายคลื่นแผ่นดินไหวหลายเท่า [1] ส่งผลให้อาคารจำนวนมาก โดยเฉพาะอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ก่อสร้างก่อนปี พ.ศ. 2550 ซึ่งเป็นช่วงก่อนการประกาศใช้มาตรฐาน มยผ.1301-50 ขาดระบบต้านแรงแผ่นดินไหวที่เหมาะสม [2] ยิ่งเมื่อโครงสร้างมีอายุใช้งานยาวนาน ย่อมมีการเสื่อมสภาพ เช่น รอยร้าว การกัดกร่อนของเหล็กเสริม หรือการเปลี่ยนรูปขององค์อาคาร ซึ่งล้วนส่งผลต่อความมั่นคงปลอดภัย [3]

การประเมินความเสี่ยงจากแผ่นดินไหว (Seismic Risk Assessment) จึงเป็นกลไกสำคัญในการระบุอาคารที่มีความเปราะบาง โดยทั่วไปต้องอาศัยข้อมูลจากแบบก่อสร้าง (As-built drawings) หรือการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมที่มีต้นทุนสูง [4] ซึ่งไม่เหมาะสมกับบริบทที่มีอาคารจำนวนมากและทรัพยากรจำกัด

แนวทางการตรวจประเมินอย่างรวดเร็ว (Rapid Visual Screening: RVS) ซึ่งพัฒนาโดย FEMA (2015) สหรัฐอเมริกา เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการคัดกรองอาคารเบื้องต้น โดยอาศัยการพิจารณาปัจจัยที่สังเกตได้จริง เช่น ประเภทโครงสร้าง ความสูงของอาคาร ความไม่สมมาตรของแปลน และปีที่ก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม RVS แบบดั้งเดิมยังไม่ครอบคลุมบริบทเฉพาะ เช่น ดินอ่อนในกรุงเทพฯ หรืออาคารเก่าที่เสื่อมสภาพ [5]

งานวิจัยจำนวนมากยืนยันว่าการประเมินความเปราะบางในพื้นที่เสี่ยงต่ำถึงปานกลางจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่มีต้นทุนต่ำแต่แม่นยำ เช่น ในกรณีเมืองเมดานของอินโดนีเซีย [6] และการประเมินโครงสร้างเก่าในอินเดีย [7] ขณะที่ Bektas and Keyes-Brassai [8] เน้นความสำคัญ

ของการปรับ RVS สำหรับประเทศกำลังพัฒนาให้สอดคล้องกับบริบททางภูมิศาสตร์และสภาพโครงสร้างอาคาร

แนวทางการพัฒนาระบบ RVS แบบปรับแต่งจึงได้รับการเสนอในหลายประเทศ เช่น การประเมินแบบ web-based ที่รองรับข้อมูลจากภาคสนามในมาเลเซีย [9] หรือการใช้ตัวชี้วัดเชิงกายภาพเพื่อสะท้อนสภาพโครงสร้างเสื่อมสภาพในภูมิภาคภูเขา [10] รวมถึงโมเดลประเมินความเปราะบางระดับเมืองที่พัฒนาโดย Cardinali et al. [11] ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการประเมินเชิงปริมาณที่เรียบง่ายยังสามารถให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือได้

งานวิจัยนี้ได้สำรวจภาคสนามร่วมกับแบบประเมินที่ปรับให้เหมาะกับบริบทของประเทศไทย โดยใช้ตัวชี้วัดเชิงปริมาณที่สะท้อนระดับการเสื่อมของโครงสร้างจากข้อมูลภาคสนาม เช่น รอยร้าวหรือการแตกร่อน และนำข้อมูลเหล่านั้นมารวมกับคะแนน RVS เพื่อประเมินความเสี่ยงจากแผ่นดินไหวของอาคารเก่าได้อย่างเป็นระบบ แนวทางที่นำเสนอมีจุดมุ่งหมายเพื่อคงไว้ซึ่งข้อดีของระบบ RVS ดั้งเดิม ซึ่งประกอบด้วยความเรียบง่ายและต้นทุนต่ำ ขณะเดียวกันได้เพิ่มระดับความแม่นยำและความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมทางกายภาพของประเทศไทยให้มากยิ่งขึ้น

นอกจากประโยชน์ในด้านความปลอดภัยแล้ว แนวทางนี้ยังส่งเสริมผลลัพธ์เชิงสิ่งแวดล้อมโดยตรง กล่าวคือช่วยลดความจำเป็นในการรื้อถอนอาคารโดยไม่จำเป็น ซึ่งจะลดของเสียจากงานก่อสร้าง ลดพลังงานสะสม (embodied energy) และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างใหม่ [12], [13] แนวทางการประเมินที่แม่นยำและใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่านี้ยังสอดคล้องกับหลักการของเมืองที่ยั่งยืนและมี

ความยืดหยุ่นต่อภัยพิบัติ (resilient cities) ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญของการพัฒนาที่ยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของอาคารกับค่าความเสี่ยง (Final RVS Score หรือ Collapse Probability)

2. เพื่อประเมินความเสียหายของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กภายหลังเกิดแผ่นดินไหว โดยใช้เกณฑ์ RVS ที่ปรับปรุงแล้วร่วมกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม

สมมุติฐานงานวิจัย

H0 (สมมุติฐานศูนย์): ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างความสูงอาคารกับค่าความเสี่ยง

H1 (สมมุติฐานทางเลือก): ความสูงของอาคารมีความสัมพันธ์กับค่าความเสี่ยง

ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีการที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยแนวคิดและขั้นตอนดังต่อไปนี้

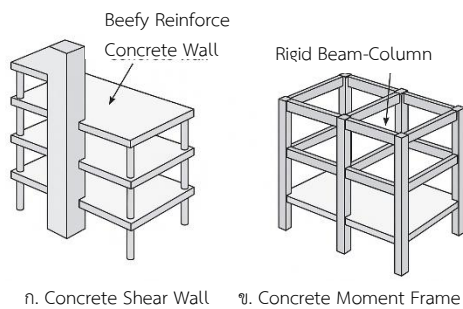
1. การประเมินความเสี่ยงจากแผ่นดินไหว

การประเมินความเสี่ยงจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว (Seismic Risk Assessment) ของอาคาร เป็นกระบวนการที่ใช้พิจารณาความเปราะบางของโครงสร้าง ต่อแรงสั่นสะเทือนที่อาจเกิดขึ้น โดยทั่วไปจะคำนึงถึง ความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว ของระบบโครงสร้าง และความน่าจะเป็น ของการเสื่อมสภาพ หรือพังทลายเมื่อเกิดแผ่นดินไหว [4] ในบริบทของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ก่อสร้างก่อนปี พ.ศ. 2550 ซึ่งไม่ได้ออกแบบตามมาตรฐานต้านแผ่นดินไหว การประเมินอย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์เชิงลึก จึงมีความจำเป็น โดยเฉพาะเมื่อใช้งานในวงกว้าง เช่น อาคารของรัฐ หรือโรงเรียน

2. วิธีการตรวจประเมินอย่างรวดเร็ว

RVS เป็นแนวทางที่พัฒนาโดย FEMA ซึ่งเผยแพร่ในเอกสาร FEMA P-154 [5] เพื่อใช้ในการคัดกรองอาคารจำนวนมากอย่างรวดเร็ว และมีต้นทุนต่ำ โดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจภายนอกอาคาร เช่น ประเภทโครงสร้าง ความสูง ความไม่สมมาตรของแปลน ปีที่สร้าง และลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ วิธี RVS ให้ คะแนนโครงสร้างพื้นฐาน (Basic Structural Score) ตามประเภทของระบบรับแรงด้านข้าง เช่น โครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตด้านทานโมเมนต์ (Concrete Moment Frame) และ โครงสร้างกำแพงคอนกรีตด้านแรงเฉือน (Concrete Shear Wall) ดังภาพที่ 1

จากภาพที่ 1 FEMA P-154 Edition 3 ได้กำหนดค่าคะแนนพื้นฐาน (Basic Score: BS) ตามประเภทอาคาร (Building Type) สำหรับขนาดแผ่นดินไหวปานกลาง ดังตารางที่ 1 ซึ่งค่าคะแนนพื้นฐาน ของประเภทอาคารโครงสร้างอาคารคอนกรีตระบบเสา-คาน (Concrete Moment Frame: C1) มีค่าคะแนน BS เท่ากับ 2.1 สำหรับประเภทอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีผนังรับแรงเฉือน (Concrete Shear Wall: C2) ค่า BS จะมีความสับสน เนื่องจากมีหลายเวอร์ชันของเอกสาร FEMA P-154 Edition 3 (ปี 2015) ใช้ BS เท่ากับ 2.5 ในขณะที่บางเวอร์ชัน เช่น FEMA 310 จะมีการให้ค่า BS เท่ากับ 3.5 เพื่อสะท้อนให้เห็นถึง ความสามารถต้านแรงแผ่นดินไหวแต่ละขนาด ที่กระทำต่อระบบโครงสร้าง เช่น โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีผนังรับแรงเฉือนจะต้านได้ดีกว่าโครงสร้างอาคารคอนกรีตระบบเสา-คาน



ภาพที่ 1 รูปแบบโครงสร้างพื้นฐาน

ตารางที่ 1 คะแนนพื้นฐาน (BS) FEMA P-154

ประเภทอาคาร (Building Type)	คะแนนพื้นฐาน (Basic Score)	รายละเอียด (Description)
C1: Concrete Moment Frame	2.1	โครงสร้างคอนกรีต ระบบเสา-คาน
C2: Concrete Shear Wall	2.5	คอนกรีตเสริมเหล็กมี ผนังรับแรงเฉือน
C3: Concrete Frame with Infill	2.0	คอนกรีตมีผนังอิฐรับ แรงร่วม
S1: Steel Moment Frame	2.7	โครงสร้างเหล็กแบบ ยึดหยุ่น
W1: Wood Light Frame	5.1	โครงไม้เบา

เมื่อได้ค่าคะแนนพื้นฐานแล้ว ทำการปรับค่า
คะแนน (Score Modifiers: SM) ตามปัจจัยเสี่ยง
ต่าง ๆ ตามที่ตรวจพบ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปรับค่าคะแนน (SM) FEMA P-154

รายการค่าปรับคะแนน	เงื่อนไขหรือสิ่งที่พบในอาคาร	คะแนนที่ปรับ	หมายเหตุ
1. จำนวนชั้น	อาคาร ≥ 5 ชั้น (หรือ > 13 เมตร)	-0.25	มวลและแรงสั่นสะเทือนมากขึ้น
2. ความไม่สมมาตรของ แปลน	แผนผังอาคารไม่สมดุล	-0.25	จุดอ่อนทางโครงสร้างใน แนวราบ
3. ความไม่สมมาตรใน แนวตั้ง	การเปลี่ยนความแข็งแรงหรือความ แข็งอย่างฉับพลัน	-0.25	เช่น ชั้นล่างเปิดโล่ง
4. พฤติกรรมของเสา	มีผนังหรือช่องเปิดแนบเสา ทำให้ ช่วงเสาสั้นลง	-0.25	เสี่ยงต่อการเสียหายเฉือนสูง
5. ชั้นที่มีความอ่อนแอ	ชั้นล่างมี stiffness ต่ำกว่าชั้นอื่น	-0.30	เสี่ยงต่อการเสียหายเฉือนสูง
6. ความเสี่ยงชนกันของ อาคาร	อาคารอยู่ใกล้อาคารอื่นมาก	-0.20	เสี่ยงชนกันเมื่อเกิดแรงสั่น
7. ลักษณะดิน	พื้นที่มีดินอ่อนมาก/มีข้อมูลทาง ธรณีที่สนับสนุน	-0.30 ถึง -0.50	ขยายแรงสั่นสะเทือน
8. สร้างอาคารก่อนใช้ มาตรฐานแผ่นดินไหว	ก่อสร้างก่อนปี 2550 (ก่อน มยพ. 1301-50)	-0.75	ไม่มีรายละเอียดรับแรงสั่น สะเทือน
9. เคยมีการเสริมกำลัง	ไม่เคยมีประวัติการ retrofit	-0.30 ถึง -0.50	ความสามารถในการต้านทาน ต่ำลง
10. ลักษณะกำแพงรับแรง เฉือน	มีผนังคอนกรีตเหล็กเสริมรับแรง ด้านข้าง	-0.30	เพิ่ม stiffness และ strength
11. มีแผ่นพื้นแข็ง (Rigid Diaphragm)	เช่น พื้นคอนกรีตทั้งแผ่น เชื่อมต่อ กันดี	-0.10	กระจายแรงด้านข้างได้ดีขึ้น
12. ความเสียหายที่สังเกต ได้	มีหลักฐานเสื่อมสภาพ	-0.30 ถึง -1.00	สามารถเชื่อมกับ Degradation Index

โดยสามารถปรับคะแนน ให้ “สะท้อนสภาพความเสี่ยงเฉพาะตัวของอาคารแต่ละหลัง” อาจเพิ่ม หรือ ลด ตามความสามารถต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว ซึ่งค่าคะแนนปรับมีความสำคัญมาก ในกระบวนการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นของอาคารต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว โดยเฉพาะในการใช้งานจริงสำหรับอาคารในเขตที่มีความเสี่ยงต่ำ ถึงปานกลาง เช่น กรุงเทพมหานคร เมื่อคะแนนรวมต่ำ (Final RVS Score ต่ำ) จะชี้ว่าอาคารนั้นมีความเสี่ยงสูง ควรเข้ารับการตรวจละเอียดสามารถวางแผนการซ่อมแซมได้ตามลำดับความสำคัญ ช่วยสื่อสารความเสี่ยงให้ผู้บริหาร เจ้าของอาคาร หรือประชาชนทั่วไปเข้าใจได้ง่าย และสามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าความน่าจะเป็นในการพังทลายของอาคาร (Collapse Probability)

ในความเป็นจริง อาคารแต่ละหลังมักมีจุดอ่อน หรือ จุดแข็ง ที่ต่างกัน เช่น การมีผนังรับแรงเฉือนเพิ่ม จะแข็งแรงกว่าไม่มีผนังรับแรงเฉือน ดังนั้นในการจำแนกอาคารจึงควรอยู่ในรูปแบบความเสี่ยงต่ำ ปานกลาง หรือสูง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คะแนนระดับความเสี่ยง

ค่าคะแนน	ระดับความเสี่ยง	ข้อเสนอแนะการดำเนินการ
มากกว่า 2.5	ต่ำ (Low Risk)	ไม่จำเป็นต้องดำเนินการ
2.0 – 2.49	ปานกลาง (Moderate Risk)	พิจารณาตรวจสอบเชิงลึก หรือซ่อมแซมบางส่วน
น้อยกว่า 2.0	สูง (High Risk)	ควรดำเนินการตรวจสอบโครงสร้างอย่างละเอียดและอาจต้องเสริมกำลัง

3. คัดเลือกอาคารตัวอย่างเพื่อตรวจประเมินในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้คัดเลือกอาคารตัวอย่างโดยใช้วิธีการแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

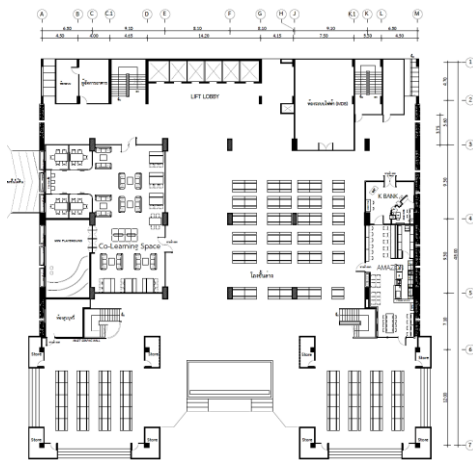
ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับงานวิจัยเชิงประเมินความเสี่ยงของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กภายหลังจากเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว ผู้วิจัยเลือกอาคารตัวอย่าง จำนวน 5 หลัง โดยมีความสูงอาคาร 15 ชั้น จำนวน 3 หลัง มีความสูงอาคาร 12 ชั้น จำนวน 1 หลัง และมีความสูงอาคาร 6 ชั้น จำนวน 1 หลัง ทั้ง 5 หลัง อยู่ในเขตพื้นที่เดียวกัน เพื่อดำเนินการสำรวจ ประเมิน และวิเคราะห์ตามแนวทาง RVS (FEMA P-154) โดยมีการบันทึกผลในแบบฟอร์ม (Scoring Sheet) และวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงอาคารอย่างเป็นระบบ

4. สํารวจภาคสนาม

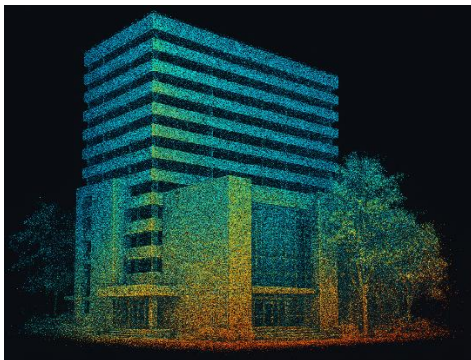
การดำเนินการสำรวจภาคสนามอาคารตัวอย่างที่คัดเลือกมาศึกษา ได้ใช้แบบฟอร์มการตรวจประเมินอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นแนวทางการตรวจประเมินอย่างรวดเร็ว พัฒนาโดย (Federal Emergency Management Agency: FEMA) เพื่อประเมินความเสี่ยงของอาคารต่อแรงแผ่นดินไหวเบื้องต้น โดยไม่ต้องอาศัยแบบโครงสร้าง (As-built Drawing) หรือการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมอย่างละเอียด การประเมินอาศัยปัจจัยสำคัญ เช่น ประเภทโครงสร้าง ความสูงของอาคาร ความไม่สมมาตร (irregularity) การเสื่อมสภาพ และพฤติกรรมทางโครงสร้างที่อาจส่งผลต่อความเปราะบาง RVS โดยจะให้ คะแนนพื้นฐาน สำหรับแต่ละประเภทโครงสร้าง เช่น C1 Concrete Moment Frame) และ C2 (Concrete Shear Wall) เป็นต้น และทำการปรับค่าคะแนนตามลักษณะเฉพาะของอาคาร จนได้ค่าคะแนนรวมสามารถจัดลำดับความเสี่ยงได้

การสำรวจเริ่มจาก เก็บรวบรวมข้อมูลอาคารตัวอย่างหลังที่ 1 มีอายุการใช้งาน มากกว่า 25 ปี ตั้งอยู่ในพื้นที่เสี่ยงแผ่นดินไหว (กรุงเทพมหานคร) ลักษณะของอาคาร เป็นอาคารสูง 15 ชั้น (รวมดาดฟ้า) ระบบโครงสร้าง เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก

มีผนังรับแรงเฉือน และชั้น 1 ถึงชั้น 3 เป็นระบบพื้นไร้คาน (RC Flat Slab) ชั้นล่างเป็นพื้นที่เปิดโล่ง (LOBBY) ชั้น 4 ถึงชั้นดาดฟ้า เป็นระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง (Post-Tension) แบบแปลนมีแนวโน้มไม่สมมาตร ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3



ภาพที่ 2 แปลนอาคารที่ใช้ในการศึกษา



ภาพที่ 3 ทศนิยมภาพอาคารที่ใช้ในการศึกษา
จากแปลนอาคารและภาพทศนิยมภาพ ของอาคาร
ตัวอย่างหลังที่ 1 สามารถวิเคราะห์ และอธิบาย

รายละเอียดข้อมูลเบื้องต้น ตามหลักการประเมินอย่างรวดเร็วตามแนวทาง FEMA P-154 ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดข้อมูลอาคารที่ใช้ศึกษา

หัวข้อ	รายละเอียด
ประเภทอาคาร (Building Type)	คอนกรีตเสริมเหล็ก (RC)
ระบบรับแรงด้านข้าง (Lateral Force Resistant System)	Concrete Shear Wall
ประเภทโครงสร้าง (Structural Type (FEMA P-154))	C2 - Concrete Shear Wall
จุดอ่อนระหว่างชั้น (Soft Story)	มีความเป็นไปได้สูงที่ชั้นล่าง
จำนวนชั้น (No. Story)	15 ชั้น + ชั้นใต้ดิน 1 ชั้น
ความสูงระหว่างชั้น (Floor to Floor)	3.50 เมตร
ตำแหน่งกำแพงรับแรงเฉือน (Position of Shear Wall)	บริเวณ Grid line D-G, 1-2 (อยู่ในอาคาร)
ข้อเสนอแนะ: ควรใช้ Point Cloud เพื่อระบุ Crack, Slope, Soft story และผิวผนัง/โครงสร้างที่เสียหาย ได้อย่างแม่นยำ	

5. ประเมินค่าคะแนนพื้นฐาน (BS)

การประเมินค่าคะแนนพื้นฐาน (Basic Score: BS) จากข้อมูลอาคาร ดังตารางที่ 1 ได้พิจารณาเสนอปรับค่า Basic Score (Model) ให้เหมาะสมกับบริบทประเทศไทย กรณีอยู่ในโซนแผ่นดินไหวขนาดปานกลาง ซึ่งได้ค่า BS เท่ากับ 7.5 ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คะแนนพื้นฐาน (BS) ปรับปรุง

ประเภทอาคาร (Building Type)	คะแนนพื้นฐาน (Basic Score)		รายละเอียด (Description)
	FEMA	Model	
C1: Concrete Moment Frame	2.1	6.5	โครงอาคารคอนกรีต ระบบเสา-คาน
C2: Concrete Shear Wall	2.5	7.5	คอนกรีตเสริมเหล็กมีผนังรับแรงเฉือน
C3: Concrete Frame with Infill	2.0	6.0	คอนกรีตมีผนังอิฐรับแรงร่วม
S1: Steel Moment Frame	2.7	8.0	โครงเหล็กแบบยึดหยุ่น
W1: Wood Light Frame	5.1	15.0	โครงไม้เบา

6. ปรับค่าคะแนน (SM)

การปรับค่าคะแนน (Score Modifiers: SM) ทำได้โดยการพิจารณาตามรายการปรับค่าคะแนน 12 รายการ เช่น ตัวอย่างรายการที่ 1 จำนวนชั้นสามารถปรับค่าคะแนนได้ ดังสมการที่ 1

$$\text{คะแนนปรับ} = -0.25 \times (N-5)/(30-5) \quad (1)$$

จากสมการที่ 1 สามารถปรับลดค่าประเมินจากการปรับคะแนนตามสัดส่วนจำนวนชั้น ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปรับค่าคะแนน (จำนวนชั้น)

จำนวนชั้น	คะแนนปรับ
5 ชั้น	0
10 ชั้น	-0.05
15 ชั้น	-0.10
20 ชั้น	-0.15
25 ชั้น	-0.20
30 ชั้น	-0.25

การปรับค่าคะแนน สำหรับรายการ “จำนวนชั้น” เพื่อสะท้อนระดับความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของอาคารสูงต่อแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ซึ่งโดยทั่วไปอาคารที่มีจำนวนชั้นมากกว่านั้นมีโอกาสสะสมแรงเฉื่อยมากขึ้น ทำให้ความเสียหายจากแผ่นดินไหวมีแนวโน้มรุนแรงขึ้นกว่าอาคารเตี้ย ความไม่สมมาตรของแปลนก็ทำให้เกิด

การหมุนของอาคาร (torsion) เมื่อได้รับแรงแผ่นดินไหวโดยเฉพาะหากจุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass) และจุดศูนย์กลางความแข็งแรง (Center of Rigidity) ไม่ตรงกัน อาจส่งผลให้โครงสร้างบางส่วนรับแรงมากเกินไป และเสียหายก่อนส่วนอื่น จึงได้กำหนดปรับค่าคะแนน ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปรับค่าคะแนน (ความไม่สมมาตร)

ระดับความไม่สมมาตร	ลักษณะอาคาร	ค่าคะแนนปรับ
ไม่มีหรือเล็กน้อย	อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า สมมาตรดี	0.00
ปานกลาง	อาคารมีปีกหรือส่วนยื่น (L, T, H shape)	-0.15
รุนแรง	อาคารรูปทรงซับซ้อน (เว้าเข้า-ออก มาก)	-0.25

7. คะแนนสุดท้ายการตรวจประเมินอย่างรวดเร็ว

คะแนนสุดท้ายการตรวจประเมินอย่างรวดเร็ว (Final RVS Score: FRS) เป็นคะแนนสุดท้ายของการตรวจประเมินอย่างรวดเร็ว ที่ได้จากคะแนนพื้นฐาน จากการพิจารณาประเภทอาคาร ซึ่งเป็นประเภท คอนกรีตเสริมเหล็กมีผนังรับแรงเฉือน (C2) ซึ่งได้ค่า BS (Model) เท่ากับ 7.5 ลบด้วย ค่าคะแนนปรับแก้ที่เป็นค่าที่หักลบตามคุณลักษณะเฉพาะของอาคาร เช่น จำนวนชั้น ความไม่สมมาตร เสาช่วงสั้นอายุอาคาร สภาพดิน

การเสริมกำลัง ซึ่งรวมคะแนน SM ได้เท่ากับ -3.00 จากนั้นคำนวณคะแนนสุดท้าย ดังสมการที่ 2

$$\text{Final RVS Score} = \text{BS} - \sum (\text{SM}) \quad (2)$$

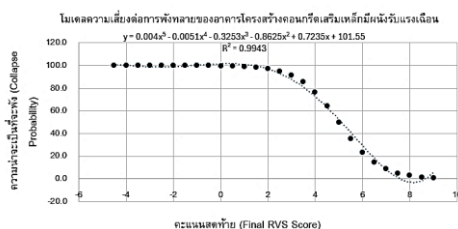
สำหรับอาคารหลังที่ 1 นี้ มีค่าคะแนนสุดท้ายการตรวจประเมินอย่างรวดเร็ว เท่ากับ 4.50 (7.5-3.00) ซึ่งจะเป็นค่าคะแนนที่จะนำไปใช้ในการหาค่าความน่าจะเป็นของการพังทลายต่อไป

8. ความน่าจะเป็นของการพังทลาย

ความน่าจะเป็นของการพังทลาย สามารถหาได้จากค่า FRS ด้วยสมการโลจิสติก ดังสมการที่ 3

$$P_{(\text{Collapse})} = \frac{1}{1+e^{1.177(\text{FRS}-5.0)}} \quad (3)$$

จากสมการที่ 3 สามารถนำไปสร้างโมเดลความเสี่ยงต่อการพังทลาย ของอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีผนังรับแรงเฉือน (C2) ได้ดังภาพที่ 4 ซึ่งได้จากการนำข้อมูลของอาคารตัวอย่างหลังที่ 1 ได้แก่ค่า BS (Model) เท่ากับ 7.5 และค่าปรับค่าคะแนน (SM) เท่ากับ 3.00 คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นต่อการพังทลายของอาคาร C2 ดังตารางที่ 9



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าคะแนนสุดท้าย กับ ความน่าจะเป็นที่จะพังทลาย

ตารางที่ 9 ความน่าจะเป็นของการพังทลายของอาคาร C2

ปรับค่าคะแนน (Score Modifiers)	คะแนนสุดท้าย (Final RVS Score)	ความน่าจะเป็นต่อการพังทลายของอาคาร (Collapse Probability)
1.5	9.0	0.89%
1.0	8.5	1.60%
0.5	8.0	2.84%
0	7.5	5.01%
-0.5	7.0	8.67%
-1.0	6.5	14.61%
-1.5	6.0	23.56%
-2.0	5.5	35.70%
-2.5	5.0	50.00%
-3.0	4.5	64.30%
-3.5	4.0	76.44%
-4.0	3.5	85.39%
-4.5	3.0	91.33%
-5.0	2.5	94.99%
-5.5	2.0	97.16%
-6.0	1.5	98.40%
-6.5	1.0	99.11%
-7.0	0.5	99.50%
-7.5	0.0	99.72%
-8.0	-0.5	99.85%
-8.5	-1.0	99.91%
-9.0	-1.5	99.95%
-9.5	-2.0	99.97%
-10.0	-2.5	99.99%
-10.5	-3.0	99.99%
-11.0	-3.5	100.00%
-11.5	-4.0	100.00%
-12.0	-4.5	100.00%

จากตารางที่ 9 สามารถนำมากำหนดช่วงความเสี่ยงต่อการพังทลายของอาคาร C2 จากความน่าจะเป็นต่อการพังทลาย ได้ ดังตารางที่ 10 ซึ่งพบว่าอาคารตัวอย่างหลังที่ 1 มีความน่าจะเป็นต่อการพังทลายของอาคาร เท่ากับ 64.30%

ตารางที่ 10 ความเสี่ยงต่อการพังทลาย

ความน่าจะเป็นต่อการพังทลายของอาคาร	ความเสี่ยงต่อการพังทลายของอาคาร	คำแนะนำเบื้องต้น
0.0 – 25%	ต่ำ (Low Risk)	เฝ้าระวัง / ไม่ต้องดำเนินการทันที
26 – 65%	ปานกลาง (Moderate Risk)	ตรวจสอบรายละเอียดเพิ่มเติม
66 – 95%	สูง (High Risk)	ควรประเมินเชิงลึกหรือตรวจสอบโครงสร้าง
> 96%	สูงมาก (Very High Risk)	พิจารณาเสริมกำลัง / ใช้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบอย่างละเอียด

ตารางที่ 10 นี้ เหมาะสำหรับใช้เป็นแนวทางการตัดสินใจเบื้องต้น ในการจัดลำดับอาคารที่ต้องการการตรวจสอบเพิ่มเติม หลังการคัดกรองเบื้องต้น (Preliminary Screening) และควรปรับตามบริบทของพื้นที่ เช่น กรุงเทพมหานคร อาจใช้เกณฑ์ที่ยืดหยุ่นกว่าเขตที่มีความเสี่ยงแผ่นดินไหวสูง เช่น เชียงราย และแม่ฮ่องสอน เป็นต้น

ผลการวิจัย

ผลการสำรวจภาคสนามและการประเมินความเสียหายของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5

หลังภัยหลังเกิดแผ่นดินไหว โดยอิงวิธีตรวจสอบประเมินอย่างรวดเร็ว โดยปรับค่าคะแนนปัจจัยเสี่ยงแตกต่างกันตามแนวทางและดุลยพินิจของผู้ประเมิน เช่น จำนวนชั้น ความสมมาตร และระดับความเสียหาย ซึ่งส่งผลให้คะแนนปรับลดของแต่ละอาคารไม่เท่ากัน ตามเงื่อนไขของปัจจัยต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 11 และ ตารางที่ 12

ตารางที่ 11 ลักษณะของอาคารที่สำรวจ

ปัจจัย	อาคาร				
	B1	B2	B3	B4	B5
จำนวนชั้น	15	16	12	6	15
ประเภทโครงสร้าง	RC	RC	RC	RC	RC
ประเภทเสา	ปกติ	สั้น	ปกติ	ปกติ	ปกติ
อาคารสมมาตร	ดี	ดี	ไม่ดี	ดี	ไม่ดี
ชั้นที่อ่อน	ไม่มี	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ลักษณะชั้นดิน	อ่อน	อ่อน	อ่อน	อ่อน	อ่อน
ระบบพื้นแข็ง	ดี	ไม่ดี	ดี	ดี	ไม่ดี
ตามมาตรฐานแผ่นดินไหว	ก่อน	ก่อน	ก่อน	ก่อน	ก่อน
การเสริมกำลังโครงสร้าง	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ความเสียหายที่เห็นได้	เล็กน้อย	เล็กน้อย	เล็กน้อย	เล็กน้อย	ปานกลาง

ตารางที่ 12 ค่าคะแนนสุดท้ายของอาคารที่สำรวจ

ปัจจัย	ประเภทอาคาร				
	B1	B2	B3	B4	B5
คะแนนพื้นฐาน (BS)	C2	C2	C2	C2	C2
1.ประเภทอาคาร	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
ปรับค่าคะแนน (SM)	-	-	-	-	-
1.จำนวนชั้น	-0.25	-0.25	-0.25	-0.05	-0.25
2.แปลนไม่สมมาตร	0	0	-0.25	0	-0.25
3.แนวตั้งไม่สมมาตร	0	0	0	0	0
4.เสาสั้น	0	-0.25	0	0	0
5.ชั้นที่มีความอ่อนแอ	0	-0.30	0	0	0
6.ความเสี่ยงชนกันของอาคาร	0	0	0	0	0
7. ลักษณะดิน	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30
8.ก่อนมาตรฐานแผ่นดินไหว	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50
9.การเสริมกำลัง	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50
10.ลักษณะกำแพงรับแรงเฉือน	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25

ปัจจัย	ประเภทอาคาร				
	B1	B2	B3	B4	B5
11.มีแผ่นพื้นแข็ง	0	-0.30	0	0	-0.30
12.ความเสียหายที่สังเกตได้	-0.25	-0.25	-0.25	-0.10	-1.00
รวมปรับค่าคะแนน	-2.05	-2.90	-2.30	-1.70	-3.35
คะแนนสุดท้าย RVS (Final RVS Score: FRS)	5.45	4.60	5.20	5.80	4.15

ความน่าจะเป็นต่อการพังทลายของอาคาร โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีผนังรับแรงเฉือนของอาคาร B1, B2, B3 และ B4 มีความเสี่ยงปานกลาง โดยมีค่าความน่าจะเป็นต่อการพังทลายเท่ากับ 37.06 61.56 44.14 และ 28.06 ตามลำดับ สำหรับอาคาร B5 มีความเสี่ยงสูง โดยมีค่าความน่าจะเป็นต่อการพังทลายเท่ากับ 73.11% ซึ่งควรประเมินเชิงลึกหรือตรวจสอบโครงสร้างต่อไป รายละเอียดดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ความน่าจะเป็นของอาคารที่สำรวจ

อาคาร	ประเภทอาคาร	คะแนนพื้นฐานและปรับคะแนน		คะแนนสุดท้าย (FRS)	ความน่าจะเป็นต่อการพังทลายของอาคาร (Collapse Probability)
		BS	SM		
B1	C2	7.5	-2.05	5.45	37.06%
B2	C2	7.5	-2.90	4.60	61.56%
B3	C2	7.5	-2.30	5.20	44.14%
B4	C2	7.5	-1.70	5.80	28.06%
B5	C2	7.5	-3.35	4.15	73.11%

ดังนั้นการประเมินความเสี่ยงต่อการพังทลายของอาคารในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยใช้แบบประเมิน RVS และสมการโลจิสติก พัฒนาแบบจำลอง สำหรับคำนวณสร้างโมเดลความเสี่ยงต่อการพังทลายของอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีผนังรับแรงเฉือน (C2) จากคะแนนสุดท้ายการตรวจประเมินอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นแนวทางที่มีหลักฐานรองรับจากมาตรฐาน FEMA P-154 และสามารถตีความได้ง่าย แต่การให้ค่าคะแนน SM ยังอิงจากการตีความเชิงกายภาพเป็นหลัก ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนหากไม่มีข้อมูล

ภาคสนามหรือการประเมินโครงสร้างโดยวิศวกรแบบจำลองยังไม่คำนึงถึงพฤติกรรมไดนามิก (Dynamic Behavior) อาคาร ในการตอบสนองต่อแรงแผ่นดินไหวจริง

การประเมินความเสี่ยงของอาคารหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหว โดยใช้วิธี RVS กับอาคารตัวอย่าง 5 หลัง ซึ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชั้นของอาคารกับค่าคะแนน RVS และความน่าจะเป็นในการพังทลาย ได้ใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman's rank correlation coefficient: ρ) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนจำกัด ($n = 5$) และไม่สามารถสันนิษฐานได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ อีกทั้งความสัมพันธ์ที่ต้องการวิเคราะห์เป็นเชิงแนวนอน (monotonic) มากกว่าความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear) การเลือกใช้ Spearman's จึงเหมาะสมที่สุดในบริบทของงานภาคสนามในครั้งนี้ ดังสมการที่ 3

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (3)$$

ρ = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman's rank)

d_i = ความต่างของลำดับ (rank) ระหว่างตัวแปร X กับ Y สำหรับคู่ที่ i

n = จำนวนคู่ของข้อมูล (sample size)

ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน ในบริบทจำนวนชั้นของอาคารกับค่าคะแนน RVS

อาคาร	จำนวน ชั้น	Final RVS	Rank ชั้น	Rank RVS	d	d ²
B1	15	5.45	3.5	4	-0.5	0.25
B2	16	4.60	5	2	3	9
B3	12	5.20	2	3	-1	1
B4	6	5.80	1	5	-4	16
B5	15	4.15	3.5	1	2.5	6.25
$\rho = -0.625$						

จากตารางที่ 14 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชั้น (Floors) กับ Final RVS Score ได้ค่า $\rho = -0.625$ แสดงความสัมพันธ์เชิงลบในระดับ

ปานกลาง ซึ่งหมายความว่ายิ่งอาคารสูง คะแนน RVS ยิ่งต่ำ (ความเสี่ยงสูงขึ้น) โดยพิจารณาเกณฑ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 เกณฑ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (จำนวนชั้นของอาคารกับค่าคะแนน RVS)

เกณฑ์ความสัมพันธ์ ระหว่างจำนวนชั้นกับ ค่า RVS	ระดับความสัมพันธ์	ระดับ ความเสี่ยง
-1.00 ถึง -0.70	ระดับสูง	ความเสี่ยงสูง
-0.69 ถึง -0.40	ระดับปานกลาง	ความเสี่ยงปานกลาง
-0.39 ถึง -0.10	ระดับต่ำ	ความเสี่ยงต่ำ
ใกล้ 0	ไม่สัมพันธ์	ไม่มีความเสี่ยง

ตารางที่ 16 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน ในบริบทของความเสี่ยงต่อการพังทลาย

อาคาร	จำนวน ชั้น	ความน่าจะเป็นใน การพังทลาย	Rank ชั้น	Rank ความน่าจะเป็นในการ พังทลาย	d	d ²
B1	15	37.06	3.5	2	1.5	2.25
B2	16	61.56	5	4	1	1
B3	12	44.14	2	3	-1	1
B4	6	28.06	1	1	0	0
B5	15	73.11	3.5	5	-1.5	2.25
$\rho = +0.675$						

ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนชั้น กับ ความน่าจะเป็นในการพังทลายของอาคาร ได้ค่า $\rho = +0.675$ เป็นความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลาง โดยพิจารณาเกณฑ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน ดังตารางที่ 17 หมายความว่ายิ่งอาคารสูง ความน่าจะเป็นในการพังทลายยิ่งสูงขึ้น

ตารางที่ 17 ระดับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (ρ) (ความเสี่ยงต่อการพังทลายของอาคาร)

เกณฑ์ความสัมพันธ์ความ เสี่ยงต่อการพังทลาย	ระดับ ความสัมพันธ์	ระดับ ความเสี่ยง
1.00 ถึง 0.70	ระดับสูง	ความเสี่ยงสูง
0.69 ถึง 0.40	ระดับปานกลาง	ความเสี่ยงปานกลาง
0.39 ถึง 0.10	ระดับต่ำ	ความเสี่ยงต่ำ
ใกล้ 0	ไม่สัมพันธ์	ไม่มีความเสี่ยง

ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน ดังตารางที่ 14 และตาราง 16 พบว่าจำนวนชั้นของอาคารมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ Final RVS Score ($\rho = -0.625$) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความน่าจะเป็นในการพังทลายของอาคาร ($\rho = +0.675$) แสดงให้เห็นว่าความสูงของอาคารเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความเสี่ยงหลังแผ่นดินไหวในบริบทของพื้นที่ศึกษา

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองประเมินความเสี่ยงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กหลังแผ่นดินไหวโดยประยุกต์วิธี RVS ที่ปรับให้เหมาะกับบริบทไทย โดยเฉพาะพื้นที่ดินอ่อนอย่างกรุงเทพมหานคร ผ่านการสำรวจภาคสนามอาคารจำนวน 5 หลัง และการปรับค่าคะแนน (Score Modifiers) เพื่อสะท้อนลักษณะโครงสร้างจริงของอาคาร

ผลการคำนวณ Final RVS Score และความน่าจะเป็นในการพังทลาย ด้วยสมการโลจิสติก พบว่า อาคาร B5 มีความเสี่ยงสูงสุด (FRS = 4.15, ความน่าจะเป็นในการพังทลาย = 73.11%) ขณะที่อาคาร B4 มีความเสี่ยงต่ำสุด (FRS = 5.80, ความน่าจะเป็นในการพังทลาย = 28.06%) ทั้งนี้การวิเคราะห์แบบ Spearman's correlation ชี้ว่า “จำนวนชั้นอาคาร” มีอิทธิพลต่อความเสี่ยง โดยมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ Final RVS Score ($\rho = -0.625$) และความสัมพันธ์เชิงบวกกับโอกาสพังทลาย ($\rho = +0.675$) สอดคล้องกับสมมุติฐาน H1

แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจึงมีศักยภาพในการคัดกรองความเสี่ยงเบื้องต้นได้แม่นยำโดยไม่ต้องใช้แบบก่อสร้าง ลดต้นทุนและเวลาในการตัดสินใจ เหมาะสำหรับการจัดลำดับความสำคัญในการตรวจอาคารหลังเหตุแผ่นดินไหว โดยเฉพาะในพื้นที่เสี่ยงปานกลาง อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำของโมเดลยังจำกัด

หากไม่มีข้อมูลภาคสนามหรือการวิเคราะห์โครงสร้างเชิงลึก ดังนั้นการพัฒนาเครื่องมือเสริม เช่น การใช้ Point Cloud และการจำลองพฤติกรรมไดนามิก ควรได้รับการพิจารณาในอนาคต [14-16] เพื่อเพิ่มศักยภาพแบบจำลองในการรองรับภัยพิบัติซ้ำซ้อนอย่างยั่งยืน

References

- [1] P. Chaimahawan and A. Pimanmas, “Assessment of seismic deficiency of existing reinforced concrete buildings in Bangkok,” *Engineering Journal* (Thailand), vol. 18, no. 3, pp. 20–24, 2007.
- [2] Department of Public Works and Town & Country Planning, “*Standard for seismic-resistant design of buildings (DPT 1301-50)*,” Ministry of Interior, Thailand, 2007.
- [3] ACI Committee 562, “*Code requirements for assessment, repair, and rehabilitation of existing concrete structures and commentary*,” American Concrete Institute, 2016.
- [4] Applied Technology Council, “*Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings (ATC-40)*,” Redwood City, CA, USA: Applied Technology Council, 1996.
- [5] FEMA, “*Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A Handbook (FEMA P-154)*,” 3rd ed. Washington, DC, USA: Federal Emergency Management Agency, 2015.

- [6] T. Rahayu, Z. Nasution, Roesyanto, et al., “Regional zonation based on seismic vulnerability using local site effect analysis and potential damage to the City of Medan (North Sumatra, Indonesia) due to earthquake,” *Geoenvironmental Disasters*, vol. 9, p. 26, 2022, doi: 10.1186/s40677-022-00227-0.
- [7] M. Mishra, R. Puneeth, and G. V. Ramana, “Seismic vulnerability assessment of old churches in the Twin Cities of Bhubaneswar and Cuttack using the macroelements approach,” *Frontiers in Built Environment*, vol. 8, Art. no. 1018922, 2022, doi: 10.3389/fbuilt.2022.1018922.
- [8] N. Bektaş and O. Kegyes-Brassai, “Conventional RVS methods for seismic risk assessment for estimating the current situation of existing buildings: A state-of-the-art review,” *Sustainability*, vol. 14, no. 5, pp. 2583, 2022. doi: 10.3390/su14052583.
- [9] M. M. Kassem et al., “Assessment of seismic building vulnerability using rapid visual screening method through web-based application for Malaysia,” *Buildings*, vol. 11, pp. 485, 2021, doi: 10.3390/buildings11110485.
- [10] M. Kulariya, Y. Aggarwal, H. Kashyap, and S. K. Saha, “Rapid visual screening methodology for multi-hazard vulnerability assessment of reinforced concrete buildings in hilly region,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2024, doi: 10.1007/s10518-024-02056-y.
- [11] V. Cardinali, E. Di Rienzo, M. Tanganelli, and M. De Stefano, “Compound-based approach for large scale seismic vulnerability assessment: Application to the Garfagnana area in Tuscany,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 23, pp. 1969–1997, 2025, doi: 10.1007/s10518-025-02113-0.
- [12] F. Pomponi and A. Moncaster, “Embodied carbon mitigation and reduction in the built environment – What does the evidence say?,” *Journal of Environmental Management*, vol. 181, pp. 687–700, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.jenvman.2016.08.036.
- [13] A. Rauf, “Reducing life cycle embodied energy of residential buildings: Importance of building and material service life,” *Buildings*, vol. 12, no. 11, pp. 1821, Oct. 2022, doi: 10.3390/buildings12111821.
- [14] M. A. Samuel, E. Xiong, M. Haris, B. C. Lekeufack, Y. Xie, and Y. Han, “Assessing seismic vulnerability methods for RC-frame buildings pre- and post-earthquake,” *Sustainability*, vol. 16, no. 23, pp. 10392, 2024, doi: 10.3390/su162310392.

- [15] H. Derakhshan, "Rapid visual screening and seismic vulnerability assessment of Queensland's vintage unreinforced masonry buildings," in *Proc. Australian Earthquake Engineering Society Conference, 2023*. [Online]. Available: <https://aees.org.au/wp-content/uploads/2023/11/32.-Hosseini-Derakhshan.pdf>
- [16] A. A. Raoufy, A. Kheyroddin, and H. Naderpour, "Comparative study of rapid visual screening methods in determining the seismic vulnerability of existing reinforced concrete hospital buildings," *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, vol. 48, pp. 2263–2277, 2024, doi: 10.1007/s40996-023-01288-3.