

การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดเล็ก
เตี้ยและสูงปานกลางโดยวิธีดัชนีชี้วัด

SEISMIC DAMAGED RISK ASSESSMENT OF LOW AND MIDDLE
REINFORCED CONCRETE BUILDINGS BY SCREENING INDICES
METHOD

เอกราช ปัญญาโรจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก
ขนาดเตี้ยและสูงปานกลางโดยวิธีดัชนีชี้วัด

เอกราช ปัญญาโรจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดเล็ก
เตี้ยและสูงปานกลางโดยวิธีดัชนีชี้วัด

Seismic Damaged Risk Assessment of Low and Middle Reinforced
Concrete Buildings by Screening Indices Method

ชื่อ - นามสกุล

นายเอกราช ปัญญาโรจน์

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วงศา วรารักษ์สังจะ, ประ.ด.

ปีการศึกษา

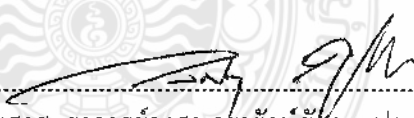
2566

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ประ.ด.)


กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุญญ ศรีชัย, ประ.ด.)


กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ สุวีโร, ประ.ด.)


กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วงศา วรารักษ์สังจะ, ประ.ด.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D.)
วันที่ 29 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2567

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด เตี้ยและสูงปานกลางโดยวิธีดัชนีชี้วัด
ชื่อ – นามสกุล	นายเอกราช ปัญญาโรจน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วงศา วรารักษ์สัจจะ, ประ.ด.
ปีการศึกษา	2566

บทคัดย่อ

อาคารในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ เมื่อเกิดแผ่นดินไหวการเคลื่อนตัวส่งผลทำให้เกิดแรงค้ำของผนังอิฐก่อกระทำกับเสาและคานที่อยู่รอบตัวผนังอิฐก่อทำให้เสาและคานได้รับแรงเฉือนที่มากขึ้นและอาจนำไปสู่การพังถล่มได้ เพื่อความปลอดภัยของตัวอาคารและผู้อยู่อาศัยการประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารอย่างรวดเร็วโดยวิธีการประเมินด้วยการสังเกตและวิธีการประเมินด้วยการสังเกตร่วมกับการคำนวณโครงสร้าง การประเมินดังกล่าวเป็นเพียงการประเมินเบื้องต้นเพื่อประกอบการตัดสินใจในการประเมินอาคารด้วยวิธีอย่างละเอียดต่อไป งานวิจัยนี้ทำการศึกษาวิธีการประเมินกับอาคารตัวอย่างที่พบเห็นได้ทั่วไปในประเทศไทย 4 ประเภท ได้แก่ อาคารเรียน อาคารสำนักงาน อาคารอยู่อาศัยรวม และอาคารพาณิชย์ โดยกำหนดให้ตั้งอยู่ ณ อ. เมืองเชียงราย จ.เชียงราย อาคารแต่ละประเภทกำหนดให้มีรูปทรง 2 รูปแบบ คือ 1) อาคารที่มีรูปทรงไม่สมมาตร และ 2) อาคารที่มีรูปทรงสมมาตรเนื่องจากผนังอิฐก่อ โดยผลการประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารตัวอย่างจะทำการเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อตรวจสอบและปรับปรุงวิธีการประเมินให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

การศึกษานี้พบว่าวิธีการประเมินอย่างรวดเร็วด้วยวิธีการของ FEMA154 (2015) กรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) และ NCREE (2017) ให้ผลที่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร วิธีการของ NRC (1993) และ Ruggieri et al. (2020) ไม่สามารถเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเนื่องจากมีปัจจัยจำนวนผู้เข้าใช้อาคารร่วมในการคำนวณ สำหรับวิธีการของ Tohoku University (2017) มีระดับความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายที่สอดคล้องกับความน่าจะเป็นที่อาคารจะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงจากผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร อย่างไรก็ตามการประเมินด้วยวิธีของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) มีความเข้มงวดเกินไปจึงเสนอว่าควรมีการปรับปรุงการให้คะแนนอาคาร

คำสำคัญ : การประเมินอย่างรวดเร็ว ผนังอิฐก่อ อาคารที่มีรูปทรงสมมาตร อาคารที่มีรูปทรงไม่สมมาตร

Thesis Title	Seismic Damaged Risk Assessment of Low and Middle Reinforced Concrete Buildings by Screening Indices Method
Name - Surname	Mr. Ekarat Panyaraj
Program	Civil Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Wongsawat Wararuksajja, Ph.D.
Academic Year	2023

ABSTRACT

A large number of the buildings in Thailand are constructed using reinforced concrete structural systems with masonry walls. The behavior of masonry walls resembles bracing structures during earthquakes, resulting in heightened shear forces on the building's columns and potentially leading to collapse.

This research aimed to verify and develop suitable methods for seismic rapid assessment for checking pre-code buildings in Thailand. The sampled buildings were categorized into four prevalent types in Thailand: 1) school buildings, 2) office buildings, 3) apartment buildings, and 4) commercial buildings. These buildings were located in Mueang Chiang Rai district, Chiang Rai province. Each building was classified into two types: 1) regular-shaped buildings and 2) irregularly-shaped buildings due to masonry walls. The results of the building risk assessment were compared with the results of the building structure analysis using the finite element method to verify and enhance the suitability of the assessment.

This study found that rapid assessment methods using FEMA154 (2015), DPT (2020), and NCEE (2017) methods corresponded with the results of building structural analysis. NRC's (1993) and Ruggieri et al.'s (2020) methods could not be compared with the building structure analysis. Tohoku University's (2017) method identified a risk level of damage corresponding to the probability of the buildings that suffered severe damage based on the results of the building structure analysis. However, DPT's (2020) assessment is more stringent than necessary. Consequently, it is recommended that building ratings should be improved.

Keywords: rapid assessment method, masonry walls, regular buildings, irregular buildings

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์วงศา วรารักษ์สัจจะ ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการศึกษาวิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต ประธานกรรมการสอบและกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ สุวิโร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรัญ ศรีชัย ที่ได้ให้ความกรุณา ในการแก้ไขข้อบกพร่องของงานวิจัย รวมทั้งเสียสละเวลาในการเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ คุณแม่ พี่สาว แฟน และเพื่อน ๆ ทั้งหลายที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานค้นคว้าฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ หากวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีข้อบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขอภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกราช ปัญญาโรจน์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(4)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(6)
สารบัญ	(7)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญรูป	(10)
บทที่ 1 บทนำ	15
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	15
1.2 วัตถุประสงค์	16
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	16
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	16
บทที่ 2 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
2.1 พฤติกรรมของอาคารระหว่างผนังอิฐก่อและเสา	17
2.2 การประเมินด้วยวิธีการสำรวจ คำนวณคะแนนและเกณฑ์การจำแนกของกลุ่มอาคาร ที่มีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว	18
2.3 การประเมินด้วยวิธีการใช้ดัชนีในการแบ่งขอบเขตความรุนแรงของแผ่นดินไหว	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	25
3.1 อาคารตัวอย่าง	25
3.1.1 อาคารเรียน (School)	25
3.1.2 อาคารสำนักงาน (Office)	26
3.1.3 อาคารอยู่อาศัยรวม (Apartment)	27
3.1.4 อาคารพาณิชย์ (Commercial)	28
3.2 การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีการสังเกต	30
3.2.1 การประเมินด้วยวิธีของ National Research Council of Canada, NRC (1993)	30
3.2.2 การประเมินด้วยวิธีของ FEMA154 (2015)	32
3.2.3 การประเมินด้วยวิธีของกรมโยธาธิการและผังเมือง (DPT, 2563)	35
3.3 การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคาร ด้วยวิธีการสังเกตร่วมกับการคำนวณ	36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1 การประเมินด้วยวิธีของ National Center for Research on Earthquake Engineering, NCREE (2015)	36
3.3.2 การประเมินด้วยวิธีของ Tohoku University (Islam et al., 2017)	38
3.3.3 การประเมินด้วยวิธีของ Ruggieri et al. (2020)	40
3.4 การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM).....	44
3.4.1 การสร้างแบบจำลองผนังอิฐก่อ.....	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	50
4.1 ผลการวิเคราะห์อาคารด้วยวิธีสถิตแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Static Pushover)	50
4.2 ผลการวิเคราะห์อาคารด้วยวิธีการตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้น แบบประวัติเวลา (Nonlinear Response Time History Analysis)	58
4.3 ผลการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่างด้วยวิธีอย่างรวดเร็ว	76
4.3.1 National Research Council of Canada (NRC, 1993).....	76
4.3.2 Federal Emergency Management Agency (FEMA154, 2015)	77
4.3.3 กรมโยธาธิการและผังเมือง (DPT, 2563).....	78
4.3.4 National Center for Research on Earthquake Engineering, NCREE (2015).....	79
4.3.5 Tohoku University (Islam et al., 2017).....	81
4.3.6 Ruggieri et al. (2020).....	82
4.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคาร ด้วยวิธีการอย่างรวดเร็ว	84
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	102
บรรณานุกรม	104
ประวัติผู้เขียน	106

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 การจำแนกระดับความเสียหายของโครงสร้างอาคาร	47
ตารางที่ 4.1 การจัดกลุ่มจำแนกระดับความเสียหายของโครงสร้างอาคาร.....	52
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลอาคารตัวอย่างทั้ง 7 หลัง สำหรับการประเมิน ด้วยวิธีการของ NCREE (2015).....	79
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลอาคารตัวอย่างทั้ง 7 หลัง สำหรับการประเมิน ด้วยวิธีการของ (Islam et al., 2015).....	81
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลดัชนีความปลอดภัยของอาคารตัวอย่างทั้ง 7 หลัง	83
ตารางที่ 4.5 ระดับความเสียหายแผ่นดินไหวของอาคารทั้ง 7 หลัง ด้วยวิธีการประเมินอย่างรวดเร็ว..	84
ตารางที่ 4.6 การจำแนกระดับความเสียหายของโครงสร้างอาคาร	85
ตารางที่ 4.7 การจำแนกระดับความเสียหายโดยรวมของโครงสร้างอาคาร.....	85
ตารางที่ 4.8 ระดับความเสียหายของอาคารเรียน (School01) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ.....	86
ตารางที่ 4.9 ระดับความเสียหายของอาคารเรียน (School02) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ.....	87
ตารางที่ 4.10 ระดับความเสียหายของอาคารสำนักงาน (Office01) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ..	88
ตารางที่ 4.11 ระดับความเสียหายของอาคารสำนักงาน (Office02) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ..	89
ตารางที่ 4.12 ระดับความเสียหายของอาคารอยู่อาศัยรวม (Apartment01) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ.....	90
ตารางที่ 4.13 ระดับความเสียหายของอาคารอยู่อาศัยรวม (Apartment02) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ.....	91
ตารางที่ 4.14 ระดับความเสียหายของอาคารพาณิชย์ (Commercial01) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ.....	92

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การวิบัติของเสาจากผลของผนังอิฐก่อ.....	18
รูปที่ 2.2 การประเมินความเสียหายของอาคารและดัชนีความอ่อนไหวของอาคาร.....	21
รูปที่ 2.3 การกระจายตัวของจำนวนอาคารและจำนวนชั้น	22
รูปที่ 2.4 การเปรียบเทียบความเสียหายของอาคารและค่าดัชนีของเสาและผนัง.....	23
รูปที่ 2.5 การประเมินความเสียหายของอาคารในประเทศไทย.....	24
รูปที่ 3.1 อาคารเรียนมาตรฐาน สปช. 105/29.....	26
รูปที่ 3.2 แปลนอาคารเรียนมาตรฐาน สปช. 105/29	26
รูปที่ 3.3 อาคารสำนักงาน	27
รูปที่ 3.4 แปลนอาคารสำนักงาน	27
รูปที่ 3.5 อาคารอยู่อาศัยรวม	28
รูปที่ 3.6 แปลนอาคารอยู่อาศัยรวม.....	28
รูปที่ 3.7 อาคารพาณิชย์.....	29
รูปที่ 3.8 แปลนอาคารพาณิชย์	29
รูปที่ 3.9 แบบประเมินความเสียหายของอาคาร	30
รูปที่ 3.10 การแบ่งโซนพื้นที่อันตรายในประเทศไทยสำหรับความเร่งสูงสุดในแนวราบของพื้นดิน ที่มีความน่าจะเป็นเกิน 10% ในรอบ 50 ปีที่ผ่านมา.....	31
รูปที่ 3.11 แบบประเมินความเสียหายของอาคารระดับต่ำ (Low).....	32
รูปที่ 3.12 แบบประเมินความเสียหายของอาคารระดับปานกลาง (Moderate)	33
รูปที่ 3.13 แบบประเมินความเสียหายของอาคารระดับสูงปานกลาง (Moderately High).....	33
รูปที่ 3.14 แบบประเมินความเสียหายของอาคารระดับสูง (High).....	34
รูปที่ 3.15 แบบประเมินความเสียหายของอาคารระดับสูงมาก (Very High).....	34
รูปที่ 3.16 ขอบเขตความเร่งตามสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุด.....	35
รูปที่ 3.17 แบบประเมินความเสียหายของอาคาร	35
รูปที่ 3.18 ขอบเขตความเร่งตามสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุด.....	36
รูปที่ 3.19 กำลังรับน้ำหนักด้านข้างของเสาและผนังที่แนะนำ.....	37
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างกราฟเส้นขอบเขตความรุนแรงของแผ่นดินไหว	39
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างแบบสำรวจอาคารส่วนที่เป็นโครงสร้าง (Structure).....	40
รูปที่ 3.22 ตัวอย่างแบบสำรวจอาคารส่วนที่ไม่เป็นโครงสร้าง (Non-Structure)	41

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.23 ตัวอย่างแบบสำรวจอาคารสำหรับความพร้อมในการรับมือต่อเหตุฉุกเฉิน (Organization).....	42
รูปที่ 3.24 การจำแนกระดับความเสี่ยงภัยของค่าดัชนีในแต่ละหมวด.....	43
รูปที่ 3.25 ดัชนีการจำแนกระดับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร.....	44
รูปที่ 3.26 พฤติกรรมของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระหว่างผนังอิฐและเสา เมื่อเกิดแรงดันด้านข้าง	45
รูปที่ 3.27 แบบจำลองโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนัง	45
รูปที่ 3.28 ตัวอย่างรูปแบบผนังช่องเปิด.....	46
รูปที่ 3.29 ตัวอย่างการกระจายแรงดันด้านข้างของโครงสร้างอาคารพาณิชย์ รูปแบบไม่สม่ำเสมอ (Commercial01).....	48
รูปที่ 3.30 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์การเคลื่อนตัวสูงสุดระหว่างชั้น และความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหว	49
รูปที่ 3.31 ตัวอย่างกราฟแสดงเส้นโค้งความบอบบางของโครงสร้าง	49
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐาน และการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคาของอาคาร.....	50
รูปที่ 4.2 การเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นของอาคารในแกน x.....	51
รูปที่ 4.3 การเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นของอาคารในแกน y.....	52
รูปที่ 4.4 ความเสียหายของเสาอาคารพาณิชย์ (Commercial01) ด้วยแรงผลักรหัสทางแกน x.....	53
รูปที่ 4.5 ความเสียหายของเสาอาคารพาณิชย์ (Commercial01) ด้วยแรงผลักรหัสทางแกน y.....	54
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคา ของอาคารเรียนรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (School01).....	55
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคา ของอาคารเรียนรูปทรงสม่ำเสมอ (School02).....	56
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคา ของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปไม่ทรงไม่สม่ำเสมอ (Apartment01)	56
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคา ของอาคารอยู่ อาศัยรวมรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Apartment02).....	57
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคา ของอาคารสำนักงานรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Office01)	57

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคา ของอาคารสำนักงานรูปทรงสามเหลี่ยม (Office02).....	58
รูปที่ 4.12 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Commercial01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ 0.75DBE.....	59
รูปที่ 4.13 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Commercial01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ DBE	60
รูปที่ 4.14 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Commercial01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE	61
รูปที่ 4.15 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Commercial01) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับ 1.5MCE	62
รูปที่ 4.16 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารพาณิชย์ รูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Commercial01) และระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว	63
รูปที่ 4.17 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Commercial01)	64
รูปที่ 4.18 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารเรียน รูปทรงไม่สามเหลี่ยม (School01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE.....	64
รูปที่ 4.19 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารเรียน รูปทรงไม่สามเหลี่ยม (School01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับต่าง ๆ	65
รูปที่ 4.20 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารเรียนรูปทรงไม่สามเหลี่ยม (School01)	66
รูปที่ 4.21 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารเรียน รูปทรงสามเหลี่ยม (School02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE	66
รูปที่ 4.22 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารเรียน รูปทรงสามเหลี่ยม (School02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับต่าง ๆ.....	67
รูปที่ 4.23 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารเรียนรูปทรงสามเหลี่ยม (School02)	68
รูปที่ 4.24 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารอยู่อาศัยรวม รูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Apartment01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE	68

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.25 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารอยู่อาศัยรวม รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Apartment01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับต่าง ๆ	69
รูปที่ 4.26 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Apartment01)	70
รูปที่ 4.27 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารอยู่อาศัยรวม รูปทรงสม่ำเสมอ (Apartment02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE	70
รูปที่ 4.28 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารอยู่อาศัยรวม รูปทรงสม่ำเสมอ (Apartment02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับต่าง ๆ	71
รูปที่ 4.29 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงสม่ำเสมอ (Apartment02)	72
รูปที่ 4.30 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารสำนักงาน รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Office01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE	72
รูปที่ 4.31 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารสำนักงาน รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Office01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับต่าง ๆ	73
รูปที่ 4.32 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารสำนักงานรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Office01)	74
รูปที่ 4.33 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารสำนักงาน รูปทรงสม่ำเสมอ (Office02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE	74
รูปที่ 4.34 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารสำนักงาน รูปทรงสม่ำเสมอ (Office02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับต่าง ๆ	75
รูปที่ 4.35 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารสำนักงานรูปทรงสม่ำเสมอ (Office02)	76
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความอ่อนไหวของอาคารทั้ง 7 หลัง ด้วยวิธีการประเมินของ NRC (1993)	77
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีของ FEMA154 (2015)	78
รูปที่ 4.38 กราฟเปรียบเทียบคะแนนอาคารของการประเมินด้วยวิธี FEMA154 (2015) และ วิธีการประเมินของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563)	79
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความอ่อนไหวของอาคารโดยใช้ดัชนีชี้วัดเท่ากับ 1	80
รูปที่ 4.40 กราฟแบ่งโซนพื้นที่ความเสี่ยงภัยของอาคารจากแผ่นดินไหว	82
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงการจำแนกระดับความปลอดภัยของอาคารจากแผ่นดินไหว	83
รูปที่ 4.42 การเปรียบเทียบเส้นโค้งความบอบบางของอาคารเรียน	93
รูปที่ 4.43 การเปรียบเทียบเส้นโค้งความบอบบางของอาคารสำนักงาน	94
รูปที่ 4.44 การเปรียบเทียบเส้นโค้งความบอบบางของอาคารอยู่อาศัยรวม	94
รูปที่ 4.45 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารพาณิชย์ Commercial01	95

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.46 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมิน ด้วยวิธีการของ FEMA154 (2015) ร่วมกับวิธีการของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563).....	95
รูปที่ 4.47 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมิน ด้วยวิธีการของ FEMA154 (2015) ร่วมกับวิธีการของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) ก่อนปรับปรุงคะแนน.....	97
รูปที่ 4.48 การเปรียบเทียบเส้นกราฟความเสี่ยงภัยของอาคารเมื่อเกิดแผ่นดินไหว ด้วยวิธีการประเมินของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) ก่อนและหลังปรับปรุงคะแนน	97
รูปที่ 4.49 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมิน ด้วยวิธีการของ FEMA154 (2015) ร่วมกับวิธีการของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) หลังปรับปรุงคะแนน	98
รูปที่ 4.50 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมิน ด้วยวิธีการของ NRC (1993).....	99
รูปที่ 4.51 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมิน ด้วยวิธีการของ NCREE (2015).....	99
รูปที่ 4.52 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมิน ด้วยวิธีการของ Tohoku University (2015)	100
รูปที่ 4.53 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมิน ด้วยวิธีการของ Ruggieri et al. (2020).....	101

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นระบบโครงสร้างที่นิยมใช้ทั่วไป เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง และมีต้นทุนที่ถูก ในการออกแบบโครงสร้างจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัย โดยกฎกระทรวงได้มีการกำหนดความต้านทานการรับน้ำหนัก ความเหนียวของอาคาร และคุณลักษณะต่าง ๆ ของพื้นดินที่ใช้รองรับอาคารในการต้านทานการสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงลม และ แรงแผ่นดินไหว ในปี 2564 ได้มีการกำหนดให้อาคารขนาดเล็กรวมถึงอาคารบ้านจัดสรรในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อผลกระทบของแผ่นดินไหวระดับรุนแรงปานกลาง 17 จังหวัด และระดับรุนแรงมาก 12 จังหวัด (กฎกระทรวง, 2564) ดังนั้นวิศวกรผู้ออกแบบควรคำนึงถึงความเสี่ยงอันเนื่องมาจากผลกระทบของแผ่นดินไหวที่มีต่ออาคารหรือสิ่งปลูกสร้างที่อาจทำให้เกิดการวิบัติและเป็นอันตรายต่อผู้ใช้อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างนั้น ๆ ได้

ความเสียหายของอาคารในอดีตที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของอาคาร โดยเฉพาะอาคารที่มีความชะลูดหรือมีความสูง แต่มีใช้ว่าอาคารขนาดเล็กหรืออาคารที่มีขนาดสูงปานกลางจะไม่ได้ได้รับความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิ ระบบโครงสร้าง ลักษณะของชั้นดินที่ตั้ง และ ความถี่ของการสั่นที่เกิดขึ้นของแผ่นดินไหว นอกจากนี้สาเหตุที่อาจเกิดการวิบัติของอาคารเตี้ยและอาคารสูงปานกลางอาจได้รับความรุนแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหวนั้นมาจากวัสดุทางสถาปัตยกรรมอย่างเช่น ผนังอิฐก่อ ซึ่งทำให้พฤติกรรมของอาคารเปลี่ยนไปจากการออกแบบ อาคารอาจเกิดการบิดตัวหรือทำให้อาคารเกิดชั้นที่มีความอ่อนไหว เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวที่กระทำ จึงเห็นว่าในการตรวจสอบอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้สามารถประเมินความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวและสามารถเตรียมการรับมือเบื้องต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในวิธีการประเมินแผ่นดินไหวนั้นสามารถทำได้หลายวิธีซึ่งแบ่งเป็น 2 วิธีหลัก ๆ คือ 1) การประเมินอย่างละเอียด ซึ่งอาจใช้เวลานานและใช้งบประมาณสูง และ 2) การประเมินอย่างรวดเร็ว ซึ่งวิธีนี้นิยมใช้กันมากเนื่องจากใช้ระยะเวลาที่น้อยกว่าและประหยัดงบประมาณ ในอดีตได้มีการวิจัยและการศึกษาเพื่อเสนอวิธีการประเมินอย่างรวดเร็ว โดยแต่ละวิธีอาจมีข้อดีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่นั้น ๆ ในงานวิจัยนี้จะเป็นการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารขนาดเล็กและสูงปานกลางในประเทศไทย โดยใช้วิธีดัชนีชี้วัด (Screening indices method) ที่แสดงถึงระดับความเสี่ยงภัยของอาคารเนื่องแรงแผ่นดินไหวเบื้องต้นเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ของอาคารด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อนำไปประกอบการตัดสินใจในการเลือกวิธีประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารโดยวิธีละเอียดต่อ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบวิธีการประเมินความเสี่ยงภัยต่อแผ่นดินไหวของอาคารในอดีต
- 1.2.2 เพื่อศึกษาแนวโน้มและความเสี่ยงภัยต่อแผ่นดินไหวของอาคาร
- 1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการประเมินความเสี่ยงภัยต่อแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีของกรมโยธาธิการและผังเมืองให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการประเมินความเสี่ยงภัยต่อแผ่นดินไหวของอาคารโดยมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

- 1.3.1 อาคารที่ใช้ในการประเมินเป็นอาคารที่ตั้งอยู่ ณ อ.เมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีรอยเลื่อนที่ยังคงสามารถปล่อยพลังงานการสั่นสะเทือนได้ และอาคารในบริเวณจังหวัดเชียงรายมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากการเกิดแผ่นดินไหวอยู่บ่อยครั้ง
- 1.3.2 ตัวอย่างอาคารที่ใช้ประเมินเป็น อาคารเรียน อาคารสำนักงาน อาคารอยู่อาศัยรวม และ อาคารพาณิชย์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เป็นแนวทางสำหรับการประเมินแผ่นดินไหวอย่างรวดเร็วสำหรับวิศวกรในการประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารจากแรงแผ่นดินไหวเบื้องต้น
- 1.4.2 แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารกับการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีอย่างรวดเร็ว

บทที่ 2

วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอดีตได้มีการศึกษาการประเมินความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีต่าง ๆ โดยมีทั้งการประเมินอย่างรวดเร็วและการประเมินอย่างละเอียด ซึ่งการประเมินอย่างละเอียดนั้นมักจะใช้กับอาคารที่มีความอ่อนไหวต่อแผ่นดินไหวสูงหรืออาคารที่มีรูปทรงเฉพาะตัว โดยปกติแล้วการประเมินอย่างละเอียดใช้เวลาและงบประมาณค่อนข้างสูง อีกทั้งยังต้องใช้แบบจำลองและการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารอย่างละเอียด ต่อมาได้มีการพัฒนารูปแบบการประเมินให้มีความสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้นซึ่งเป็นวิธีการประเมินอย่างรวดเร็วโดยได้มีการพัฒนารูปแบบการประเมินอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว สามารถทำการประเมินได้อย่างรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย การประเมินนี้เป็นการประเมินโดยใช้วิธีการสำรวจข้อมูลด้านมิติต่าง ๆ และระบบโครงสร้างของอาคาร ตรวจสอบข้อมูลจากแบบแปลน และการประเมินโดยใช้ดัชนีจำแนกความเสี่ยงต่อแผ่นดินไหว เพื่อนำไปวิเคราะห์คำนวณคะแนนและจำแนกกลุ่มอาคารที่ได้รับความเสี่ยงการเกิดความเสียหายเนื่องจากแผ่นดินไหว ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการประเมินอย่างรวดเร็วเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์อาคารด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.1 พฤติกรรมของอาคารระหว่างผนังอิฐก่อและเสา

โดยส่วนมากอาคารในประเทศไทยเป็นระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับผนังอิฐก่อ โดยเฉพาะอาคารขนาดเล็ก เช่น บ้าน สำนักงาน โรงเรียน เป็นต้น โครงสร้างอาคารดังกล่าวอาจมีลักษณะของแนวผนังอิฐก่อที่แตกต่างกันออกไป เมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำกับอาคารจะเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างผนังและอาคารซึ่งในบางกรณีอาจเกิดผลดีกับตัวอาคารทำให้ความแข็งแรงต้านทานแผ่นดินไหวได้ดีขึ้น แต่ก็สามารถส่งผลเสียกับตัวอาคารได้เช่น ทำให้อาคารเกิดการบิดตัว ทำให้เกิดชั้นที่อ่อนแอ (Soft story) ซึ่งหมายถึงชั้นล่างสุดของอาคารเปิดโล่งไม่มีผนัง ทำให้เสาเกิดการวิบัติเนื่องจากเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำทำให้มีแรงจากผนังดันไปยังเสา หากมีการก่อผนังที่ไม่เต็มความสูงของเสาจะทำให้เสาส่วนที่พื้นผนังมีลักษณะเป็นเสาสั้นอาจทำให้เสาบริเวณดังกล่าวเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน (รูปที่ 2.1) ผลเสียดังกล่าวเป็นจุดที่วิศวกรส่วนใหญ่ไม่ได้คำนวณออกแบบพิจารณาพฤติกรรมของผนังอิฐก่อ เนื่องจากเป็นส่วนของงานสถาปัตยกรรม



รูปที่ 2.1 การวิบัติของเสาจากผลของผนังอิฐก่อ

2.2 การประเมินด้วยวิธีการสำรวจ คำนวณคะแนนและเกณฑ์การจำแนกกลุ่มของอาคารที่มีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว

การสำรวจและการประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารนั้นได้มีการใช้และพัฒนากันมาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถประเมินอาคารได้อย่างรวดเร็วและใช้เวลาอันสั้น ในปี 1993 National Research Council of Canada (1993) ได้จัดทำรูปแบบการประเมินโดยใช้วิธีการจำแนกลำดับความสำคัญในการประเมินสมรรถนะและความอ่อนไหวของอาคาร ซึ่งเป็นการสำรวจส่วนประกอบของอาคารทางสถาปัตยกรรมโดยที่ไม่ได้คำนึงถึงระบบโครงสร้างในการคำนวณค่าดัชนีชี้วัดความเสี่ยงของอาคาร วิธีนี้เป็นการคำนวณค่าดัชนีลำดับความสำคัญทางแผ่นดินไหว (Seismic Priority Index, SPI) สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามค่า SPI โดย $SPI < 10$ จะมีระดับความอ่อนไหวของอาคารเป็นระดับน้อย เมื่อ $10 \leq SPI \leq 20$ มีระดับความอ่อนไหวของอาคารเป็นระดับเป็นระดับปานกลาง และหาก $SPI \geq 20$ ถือว่าเป็นอาคารที่มีระดับความอ่อนไหวของอาคารเป็นระดับสูง ต่อมาในปี 2015 (FEMA 154, 2015) ได้สร้างแบบประเมินสำหรับการประเมินความอ่อนไหวของอาคารโดยมีการแบ่งโซนความรุนแรงของ ฤๅ ที่ตั้งอาคารโดยแบ่งเป็น 5 โซน คือ โซนความรุนแรงระดับต่ำ โซนความรุนแรงระดับปานกลาง โซนความรุนแรงระดับสูงปานกลาง โซนความรุนแรงระดับสูง และ โซนความรุนแรงระดับสูงมาก ซึ่งแต่ละโซนจะแบ่งโดยค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม S_s และ S_1 วิธีประเมินนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 การสำรวจด้วยสายตาเพื่อเก็บข้อมูลด้านมิติ ลักษณะภายนอกของอาคาร และ ระบบโครงสร้าง เช่น อายุ ประเภทการใช้งาน ขนาด จำนวนชั้น วัสดุในการก่อสร้าง ความไม่ปกติในแนวราบและแนวดิ่ง และลักษณะชั้นดิน เป็นต้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะนำไปเป็นคะแนนในการประเมินอาคาร คะแนนรวมจากการประเมินอาคารจะต้องไม่น้อยกว่าคะแนนขั้นต่ำของระบบโครงสร้างนั้น ๆ ส่วนที่ 2 เป็นการให้คะแนนความไม่ปกติในแนวราบและแนวดิ่ง จะค่อนข้างละเอียดมากขึ้นเพื่อคำนวณถึงผลกระทบของอาคารอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว คะแนนรวม

ทั้งหมดนี้จะเป็นตัวชี้วัดว่าอาคารดังกล่าวมีความอ่อนไหวต่อแผ่นดินไหว และนำไปประกอบการตัดสินใจในการพิจารณาการประเมินอย่างละเอียดต่อไป

ประเทศนิวซีแลนด์ได้มีการประเมินความอ่อนไหวของอาคารเบื้องต้น (NZSEE, 2017) โดยเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ได้ทำการประเมินกับอาคารใหม่ที่ย่อแบบตามมาตรฐานปัจจุบัน ซึ่งจะคำนวณได้จากข้อมูลพื้นฐานของอาคารที่ได้จากการสำรวจ โดยมีการแบ่งอาคารออกเป็นกลุ่มตามค่า %NBS (% New Building Standard, % NBS) ที่คำนวณได้คือ กลุ่มที่ 1 $\%NBS < 34$ เป็นกลุ่มที่มีความอ่อนไหวสูงจึงจำเป็นต้องได้รับการประเมินอย่างละเอียด กลุ่มที่ 2 $34 \leq \%NBS \leq 67$ เป็นกลุ่มที่ต้องตรวจสอบเพิ่มเติมโดยใช้ข้อมูลอื่น ๆ ของอาคารประกอบกับการตัดสินใจเช่น แพลน ขนาดชิ้นส่วน โครงสร้าง คุณสมบัติวัสดุ และกลุ่มที่ 3 $\%NBS \geq 67$ เป็นกลุ่มที่มีความอ่อนไหวต่ำซึ่งไม่จำเป็นต้องประเมินอย่างละเอียด

ปัจจุบันเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างมากทำให้ต้องตระหนักในเรื่องการป้องกันความเสียหายเนื่องจากแผ่นดินไหว ดังนั้นกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย ได้เห็นถึงความจำเป็นที่จะป้องกันความเสียหายจากการเกิดแผ่นดินไหว จึงจัดทำคู่มือการประเมินความเสี่ยงขั้นต้นของอาคารที่อาจได้รับความเสียหายอย่างหนักจากแผ่นดินไหว (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2563) ซึ่งได้มีการนำวิธีการประเมินของ FEMA154 (2015) มาปรับปรุงรายละเอียดให้เหมาะสมกับความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในประเทศไทย โดยแบ่งเป็น 3 โซน คือ โซนความรุนแรงระดับต่ำ โซนความรุนแรงระดับปานกลาง และโซนความรุนแรงระดับสูง แต่ละโซนจะแบ่งโดยค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (response spectrum) (มยผ. 1301/1302-61, 2561) โดยการประเมินนั้นจะต้องมีการวางแผนสำรวจพื้นที่ การรวบรวมและศึกษาข้อมูลก่อนลงพื้นที่สำรวจ และการดำเนินการประเมินความเสี่ยงของอาคารเบื้องต้น ซึ่งมีลักษณะในการประเมินโดยทั่วไปคล้ายกับการประเมินของ FEMA154 (2015) แต่จะมีข้อแตกต่างกันในเรื่องของความละเอียดในการประเมินความไม่ปกติในแนวราบและแนวดิ่ง ความละเอียดของข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยรอบ และข้อมูลประเภทของโครงสร้าง การสรุปผลการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารวัดจากคะแนนที่ประเมินได้ ซึ่งคะแนนที่ประเมินได้นั้นจะต้องไม่ต่ำกว่า 2 หากอาคารนั้น ๆ มีการประเมินความเสี่ยงได้น้อยกว่า 2 หมายถึงอาคารนั้นควรได้รับการประเมินอย่างละเอียดต่อไป วิธีการให้คะแนนการประเมินนี้อาจขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ทำการประเมินเนื่องจากแต่ละอาคารอาจมีความไม่ปกติในแนวราบและแนวดิ่งที่มากน้อยไม่เท่ากัน ซึ่งอาจส่งผลต่อคะแนนการประเมินอย่างมากในการกำหนดให้มีการประเมินอย่างละเอียดต่อไป

อย่างไรก็ตามก็ประเมินความอ่อนไหวของอาคารที่ได้กล่าวมาในข้างต้นสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว แต่ก็ยังมีข้อบกพร่องเนื่องจากการเป็นกรสำรวจข้อมูลพื้นฐานจากการสำรวจด้วยตาเท่านั้น อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีการประเมินอย่างรวดเร็วซึ่งมุ่งเน้นในเรื่องความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3 การประเมินด้วยวิธีการใช้ดัชนีในการแบ่งขอบเขตความรุนแรงของแผ่นดินไหว

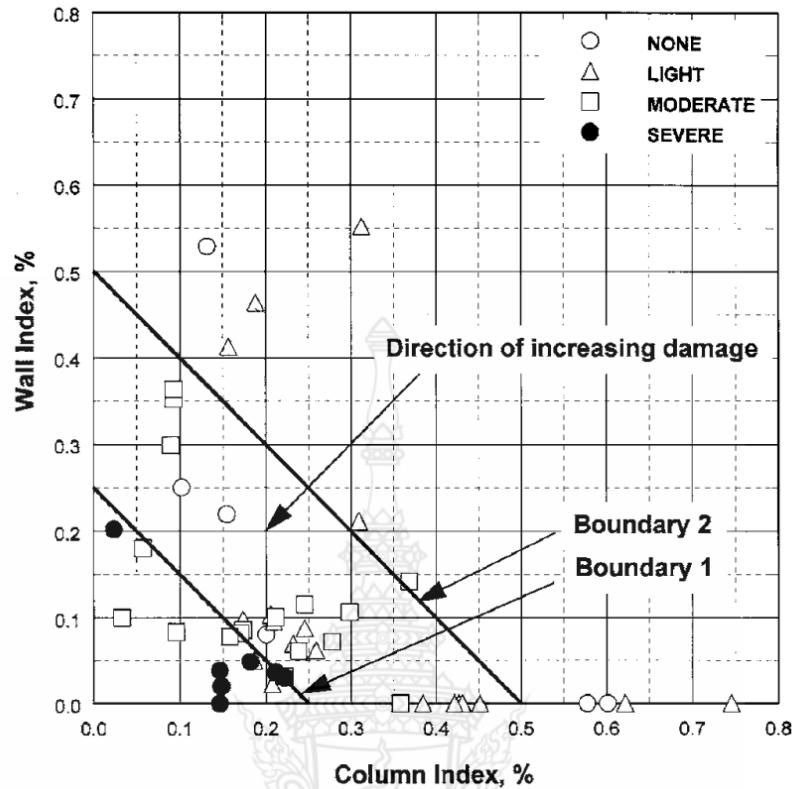
ในปี 1997 Hasan and Sozen (1997) ได้เสนอวิธีการประเมินความอ่อนไหวของอาคารแนวราบในภูมิภาคที่เกิดแผ่นดินไหวไม่บ่อยนัก โดยได้เลือกอาคารที่นำมาวิเคราะห์ความอ่อนไหวของอาคารทั้งหมด 46 แห่ง ซึ่งเป็นรูปแบบผนังอิฐก่อและผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเป็นการรวบรวมข้อมูลจากวิศวกรของมหาวิทยาลัยเทคนิคตะวันออกกลาง (METU, 1993) จากการเกิดแผ่นดินไหวในเมืองเอร์ซิงจาน ประเทศตุรกี ในปี 1992 ต่อมาได้ใช้ข้อมูลดังกล่าวมาทำการประเมินโดยเป็นการกำหนดขอบเขตความรุนแรงของแผ่นดินไหวโดยมีการใช้ค่าดัชนีของผนัง (Wall Index, WI) และดัชนีของเสา (Column Index, CI) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการนี้

$$WI = \frac{\sum A_{wt} + 0.1 \sum A_{mw}}{\sum A_f} \times 100 \quad (2.1)$$

$$CI = \frac{0.5 \sum A_{col}}{\sum A_f} \times 100 \quad (2.2)$$

โดยที่ $\sum A_{wt}$ คือพื้นที่หน้าตัดของผนังคอนกรีตเสริมเหล็กในแนวราบที่มีทิศทางขนานกับแรง $\sum A_{mw}$ คือพื้นที่หน้าตัดของผนังอิฐก่อในแนวราบที่มีทิศทางขนานกับแรง และ $\sum A_{col}$ คือพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ในการพิจารณาพื้นที่หน้าตัดเสาและผนังจะพิจารณาที่ชั้นแรกที่อยู่เหนือพื้นดินของอาคาร

เกณฑ์การประเมินความอ่อนไหวของอาคารโดยการกำหนดเส้นขอบเขตความรุนแรงโดยหากคู่อันดับของดัชนีของเสาและผนังอยู่ใต้เส้นขอบเขตที่ 1 จะถือว่าอาคารหลังนั้นมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายอย่างรุนแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งดัชนีทั้งสองเป็นค่าดัชนีที่ส่งผลต่อการต้านทานแผ่นดินไหว หากค่าดัชนีทั้งสองมีค่าน้อยหมายถึงอาคารมีความอ่อนไหวมากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 2.2 การประเมินความเสียหายของอาคารและดัชนีความอ่อนไหวของอาคาร

อย่างไรก็ตามการประเมินวิธีนี้เป็นการศึกษาเพียงแคในเรื่องของพื้นที่หน้าตัด ซึ่งไม่ได้พิจารณาถึงแรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นรวมไปถึงความแข็งแรงของเสาและผนัง จึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินได้ ในปี 2017 NCREE (Chiou et al., 2017) ได้ศึกษาวิธีการประเมินแผ่นดินไหวเบื้องต้นของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กแนวราบในประเทศไต้หวัน โดยได้เลือกอาคารตัวอย่างจากการรวบรวมข้อมูลของ Song et al. (2013) ซึ่งจะมีข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ใช้สอยของอาคาร พื้นที่หน้าตัดเสา และความเร่งในดินที่มีประสิทธิภาพ การประเมินทำการเปรียบเทียบระหว่างความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร (Seismic Performance, A_p) และแรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น (Seismic Demand, A_t) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$A_p = \frac{(100CFR_{eq} - 0.4 + 0.05N_f)}{(1.62 - 0.24N_f)} \quad \text{เมื่อ } CFR_{eq} \geq (0.4 - 0.05N_f)\% \quad (2.3)$$

$$A_p = 0 \quad \text{เมื่อ } CFR_{eq} < (0.4 - 0.05N_f)\% \quad (2.4)$$

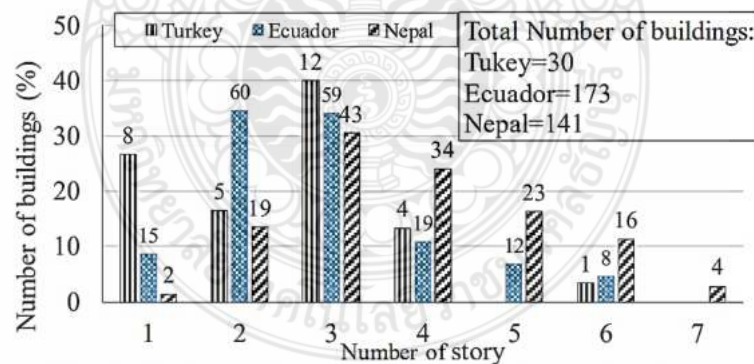
โดยที่ N_f คือจำนวนชั้นของอาคารแต่สำหรับอาคาร 5-6 ชั้น ให้ใช้ $N_f = 4$ และค่า CFR_{eq} คืออัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเสาเทียบเท่ากับพื้นที่ใช้สอยของอาคารซึ่งสามารถได้ดังนี้

$$CFR = \frac{\sum A_c}{\sum A_f} + 0.9 \left(\frac{0.36 \sum A_{bw3} + 0.45 \sum A_{bw4} + 1.509 \sum A_{rcw3} + 2.642 \sum A_{rcw4}}{\sum A_f} \right) \quad (2.5)$$

โดยที่ $\sum A_c$ คือพื้นที่หน้าตัดเสาโดยคิดเฉพาะชั้นแรกที่อยู่เหนือระดับพื้นดินของอาคาร และ $\sum A_f$ คือพื้นที่ใช้สอยที่ถัดจากชั้นแรก $\sum A_{bw3}$ และ $\sum A_{bw4}$ คือพื้นที่ของผนังอิฐก่อที่มีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิดตามลำดับ $\sum A_{rcw3}$ และ $\sum A_{rcw4}$ คือพื้นที่ของผนังคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิดตามลำดับ ซึ่งจะคิดพื้นที่ผนังเฉพาะด้านที่วางตัวขนานกับแนวแรง สำหรับค่าดัชนีในการประเมินความอ่อนแอของอาคารเนื่องจากแผ่นดินไหวสามารถคำนวณได้ดังสมการนี้

$$I_s = \frac{A_p Q}{A_t} \quad \text{เมื่อ } Q \text{ คือค่าสัมประสิทธิ์ปรับค่ากำลังต้านทานแผ่นดินไหว} \quad (2.6)$$

จากคำนวณค่าดัชนีของ NCRE (Chiou et al., 2017) ค่าดัชนีประเมินความอ่อนแอของอาคารมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงอาคารนั้นมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว แม้การประเมินนี้จะพิจารณาความแข็งแรงของเสาและกำแพงรวมทั้งพิจารณาแรงแผ่นดินไหว ซึ่งสามารถบ่งบอกได้แค่ว่าอาคารนั้นมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวหรือไม่ แต่ก็ยังไม่สามารถระบุระดับความรุนแรงได้เช่น ความรุนแรงระดับเบา ความรุนแรงระดับปานกลาง และความรุนแรงระดับสูง เป็นต้น ในปีเดียวกันได้มีการเสนอวิธีการประเมินความต้านแผ่นดินไหวของ Tohoku University (Islam et al., 2017) ซึ่งเป็นการพิจารณาพื้นที่หน้าตัดของผนังอิฐก่อและเสาของอาคารที่ได้รับความเสียหาย โดยมีแนวคิดมาจาก Shiga Map (1968) โดยการประเมินนั้นจะเป็นการรวบรวมข้อมูลความเสียหายของอาคารในประเทศตุรกี เอกวาดอร์ และเนปาล (Hassan et al., 2015) ซึ่งอาคารส่วนใหญ่เป็นอาคาร 2-4 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3



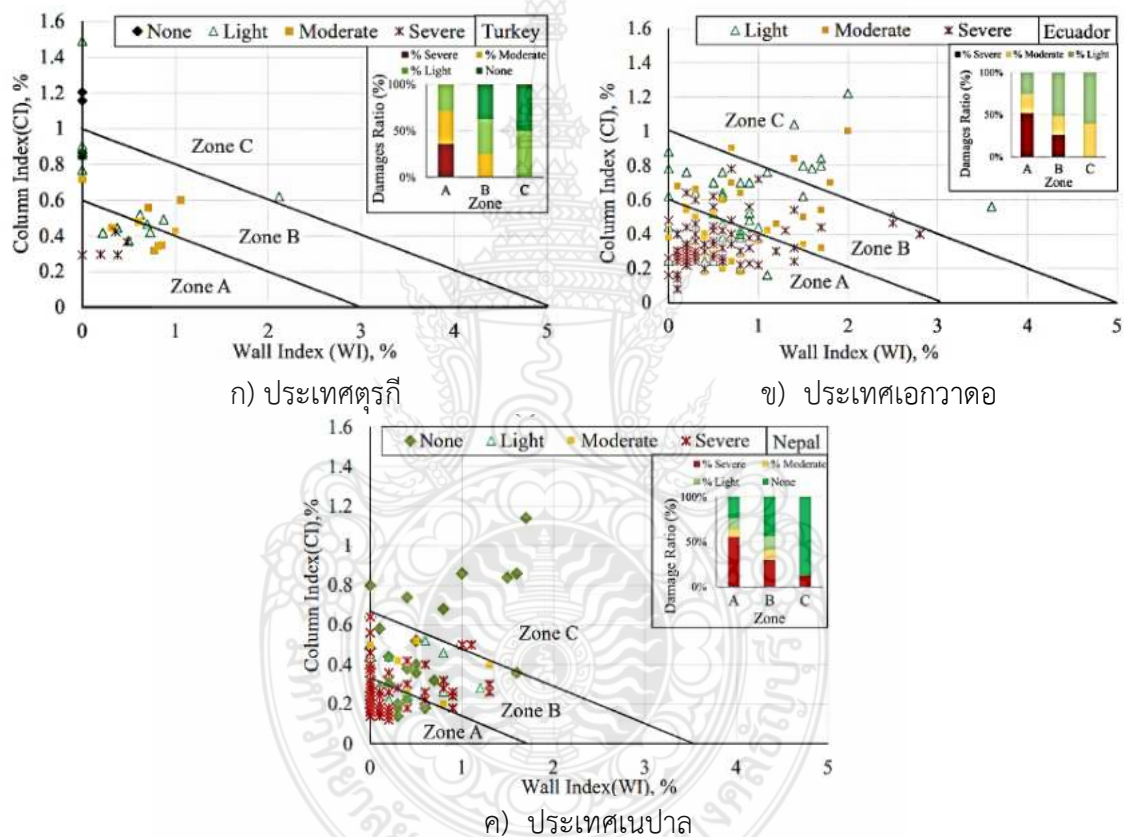
รูปที่ 2.3 การกระจายตัวของจำนวนอาคารและจำนวนชั้น

การประเมินความต้านทานแผ่นดินไหวของ Tohoku University (2017) ใช้ค่าดัชนีกำลังต้านทานแรงเฉือนของโครงสร้างและแรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น สำหรับหน่วยแรงเฉือนของผนัง (τ_w) ใช้ค่าเท่ากับ 0.2 MPa (ASCE Standard) และความเค้นเฉือนเฉลี่ยของเสา (τ_c) เป็นการประมาณเท่ากับ 1.0 MPa โดยการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นใช้น้ำหนักเฉลี่ยต่อพื้นที่ทั้งหมดเหนือชั้นแรก (W/A_f)

โดยประมาณ 11 kN/m^2 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบ 0.2 วินาที (C_a) ของประเทศตุรกี เอกวาดอร์ และเนปาล มีค่าเท่ากับ 0.9g 0.9g และ 0.6g ตามลำดับ และสำหรับเกณฑ์ที่ใช้จำแนกระดับความเสียหายของอาคาร (D_s) ในช่วงความเสียหายปานกลางมีค่าเท่ากับ 1.0 และช่วงความเสียหายรุนแรงมีค่าเท่ากับ 0.6 (ASCE, 2014) เพื่อเป็นการกำหนดเส้นขอบเขตความเสียหายดังสมการนี้

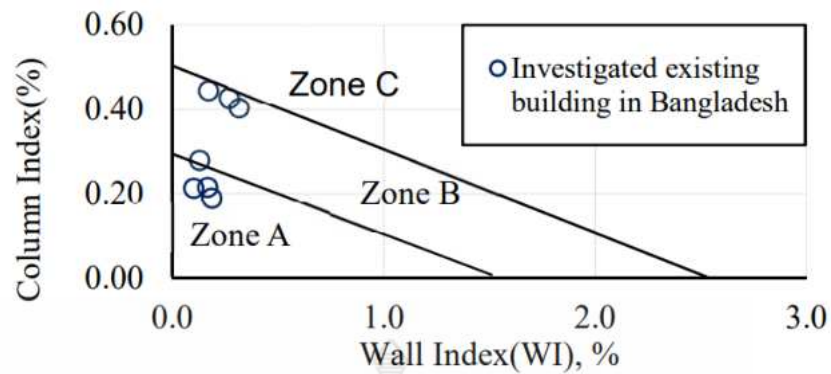
$$\tau_c \times \frac{A_c}{A_f} + \tau_w \times \frac{A_w}{A_f} \geq \frac{W}{A_f} \times C_a \times D_s \quad (2.7)$$

การประเมินโดยการกำหนดเส้นขอบเขตทำให้ทราบถึงระดับความเสียหายของอาคารและเปรียบเทียบความเสียหายของอาคารในแต่ละประเทศดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเปรียบเทียบความเสียหายของอาคารและค่าดัชนีของเสาและผนัง

การประเมินอาคารในประเทศบังกลาเทศต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับอาคารในประเทศนี้ตามข้อกำหนด BNBC (2015) ซึ่งการกำหนดเส้นขอบเขตความเสียหายได้แสดงถึงความเสียหายของอาคารในประเทศบังกลาเทศดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การประเมินความเสียหายของอาคารในประเทศไทย

จากการประเมินความอ่อนไหวของอาคารในประเทศไทยในรูปที่ 2.5 เห็นได้ว่ามีอาคารจำนวนหนึ่งมีความเสี่ยงเนื่องจากแผ่นดินไหวน้อย (zone B) และมีอาคารอีกจำนวนหนึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวและควรต้องตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อป้องกันและเตรียมรับมือต่อไป ในการประเมินนี้เป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับการคัดกรองอาคารที่มีความอ่อนไหวร่วมกับผนัง อย่างไรก็ตามเส้นขอบเขตที่ใช้ในการจำแนกอาคารที่มีความอ่อนไหวยังต้องการการสำรวจตรวจสอบมากกว่าในเรื่องของความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้จริง ในการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารมุ่งเน้นไปที่แรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น ลักษณะทางกายภาพของอาคาร และชั้นดินที่ตั้งของอาคาร เป็นต้น แต่อาจมีส่วนที่ต้องคำนึงเช่น ส่วนไม่ใช่โครงสร้าง (Non-structural) หรือการเตรียมพร้อมเพื่อความปลอดภัยต่างๆที่อาจจะต้องพิจารณา โดยในปี 2020 Ruggieri และคณะ ได้มีการพัฒนาการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวอย่างรวดเร็ว เป็นการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของอาคารทั้งส่วนที่เป็นโครงสร้าง (Structural) และส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง (Non-structural) เช่น ผนังอิฐก่อ ราวกันตกของระเบียง เป็นต้น อีกทั้งยังพิจารณาถึงการตรวจสอบความพร้อมของเจ้าหน้าที่และผู้ใช้อาคารในการตอบสนองต่อเหตุฉุกเฉิน พร้อมทั้งคำนวณดัชนีเพื่อชี้วัดความปลอดภัยของอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดเตี้ยและสูงปานกลาง ทำการลงพื้นที่เพื่อสำรวจอาคารที่จะนำมาใช้ในการวิจัยโดยเป็นการเก็บข้อมูลทางกายภาพ ลักษณะต่าง ๆ และรวบรวมแบบก่อสร้างของอาคารเพื่อใช้ในการดำเนินงานวิจัย ในงานวิจัยนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของอาคารตัวอย่างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการประเมินด้วยวิธีดัชนีชี้วัดว่ามีความสอดคล้องกันหรือแตกต่างกันอย่างไรเพื่อสามารถนำวิธีการประเมินด้วยวิธีดัชนีไปใช้ประกอบการตัดสินใจในการประเมินอาคารต่อไป โดยจะยึดถือว่าผลการวิเคราะห์อาคารด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นเป็นผลที่ถูกต้องและเชื่อถือได้

3.1 อาคารตัวอย่าง

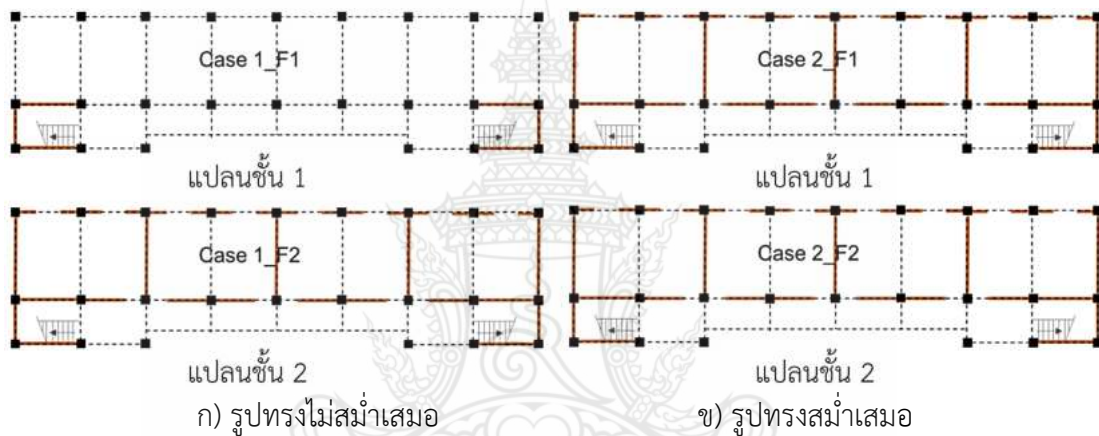
อาคารที่เลือกมาพิจารณานั้นเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดเตี้ยและสูงปานกลางที่ไม่มีความสูงจากพื้นดินถึงหลังคาไม่เกิน 23 ม. (มยผ.1311-50, 2550) ได้แก่ อาคารเรียน อาคารสำนักงาน อาคารอยู่อาศัยรวม และ อาคารพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาคารที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในประเทศไทย โดยแต่ละอาคารจะมีความหลากหลายของการจัดวางผนังของอาคาร ในงานวิจัยนี้จะทำการแบ่งอาคารเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) อาคารที่มีรูปทรงสม่ำเสมอ เนื่องจากอาคารที่มีการจัดวางผนังเหมือนกันทุกชั้น และ 2) อาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากอาคารบางชั้นมีการจัดวางผนังไม่เหมือนชั้นอื่น โดยอาคารบางหลังจะทำการสมมติการจัดวางผนังขึ้นมาเพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของอาคารที่มีรูปทรงสม่ำเสมอ และ อาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ

3.1.1 อาคารเรียน (School)

อาคารที่มีจำนวนผู้เข้าใช้สูงเนื่องจากเป็นสถานที่ที่ใช้สำหรับการเรียนการสอน มีจำนวน 2 ชั้น ที่พบเห็นได้ทั่วไป ณ จังหวัดเชียงราย ซึ่งมีความกว้าง 9 ม. ยาว 36 ม. ความสูงของอาคารตั้งแต่ระดับพื้นถึงหลังคา 8.7 ม. พื้นที่ใช้สอย 648 ตร.ม. กำหนดรูปแบบอาคารเรียนไว้ 2 แบบ ได้แก่ อาคารเรียนที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (School01) และ อาคารเรียนที่มีรูปทรงสม่ำเสมอ (School02) ดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 อาคารเรียนมาตรฐาน สปช. 105/29



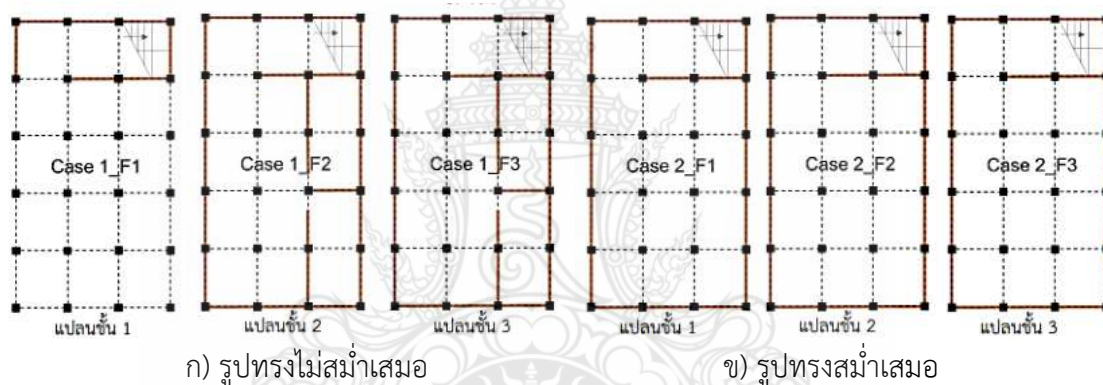
รูปที่ 3.2 แปลนอาคารเรียนมาตรฐาน สปช. 105/29

3.1.2 อาคารสำนักงาน (Office)

สถานที่ทำงานซึ่งเป็นแหล่งรวมตัวของพนักงานจำนวนมากและสิ่งของต่างๆในการอำนวยความสะดวก มีจำนวน 3 ชั้น กว้าง 8 ม. ยาว 14 ม. ความสูงของอาคารตั้งแต่ระดับพื้นถึงหลังคา 11.61 ม. พื้นที่ใช้สอย 336 ตร.ม. โดยกำหนดรูปแบบอาคารสำนักงานไว้ 2 แบบ ได้แก่ อาคารสำนักงานที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Office01) และ อาคารสำนักงานที่มีรูปทรงสม่ำเสมอ (Office02) ดังรูปที่ 3.3 และ รูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 อาคารสำนักงาน



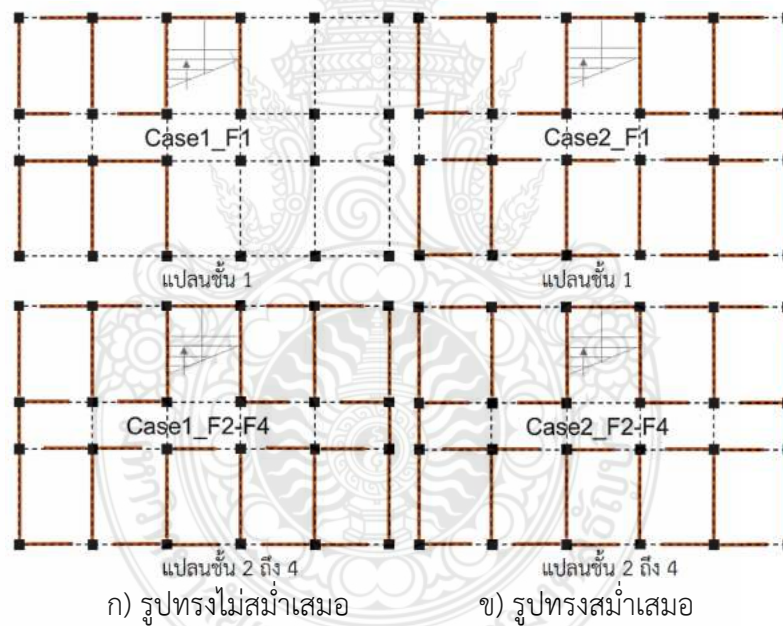
รูปที่ 3.4 แปลนอาคารสำนักงาน

3.1.3 อาคารอยู่อาศัยรวม (Apartment)

อาคารสำหรับพักอาศัยที่แบ่งเป็นห้อง ๆ มักจำกัดจำนวนผู้เข้าพักอาศัยต่อห้อง ทำให้มีปริมาณคนใช้อาคารไม่มาก มีจำนวน 4 ชั้น กว้าง 17 ม. ยาว 18.75 ม. ความสูงของอาคารตั้งแต่ระดับพื้นถึงหลังคา 12 ม. พื้นที่ใช้สอย 1,275 ตร.ม. โดยกำหนดรูปแบบอาคารสำนักงานไว้ 2 แบบ ได้แก่ อาคารสำนักงานที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Apartment01) และ อาคารสำนักงานที่มีรูปทรงสม่ำเสมอ (Apartment02) ดังรูปที่ 3.5 และ รูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 อาคารอยู่อาศัยรวม



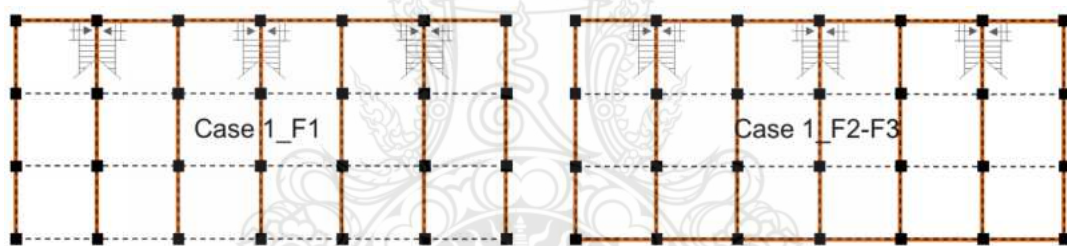
รูปที่ 3.6 แปลนอาคารอยู่อาศัยรวม

3.1.4 อาคารพาณิชย์ (Commercial)

อาคารที่มีลักษณะเป็นแถวจำนวนสองคูหา มีผนังกันระหว่างคูหา โดยส่วนใหญ่ตรงทางเข้าอาคารชั้น 1 จะเป็นประตูลักษณะเปิดโล่งใหญ่เต็มช่องทำให้อาคารมีชั้นที่อ่อนแอ อาคารดังกล่าวมีจำนวน 3 ชั้น กว้าง 12 ม. ยาว 24 ม. ความสูงของอาคารตั้งแต่ระดับพื้นถึงหลังคา 8.6 ม. พื้นที่ใช้สอย 864 ตร.ม. โดยกำหนดรูปแบบอาคารพาณิชย์ไว้ 1 รูปแบบ คือ อาคารพาณิชย์ที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01) ดังรูปที่ 3.7 และ รูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 อาคารพาณิชย์



แปลนชั้น 1

แปลนชั้น 2 ถึง 3

รูปที่ 3.8 แปลนอาคารพาณิชย์

ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการประเมินความเสี่ยงแผ่นดินไหวอย่างรวดเร็ว โดยจะสามารถแบ่งวิธีการประเมินออกเป็น 2 รูปแบบหลัก ๆ คือ 1) วิธีการประเมินด้วยวิธีการสังเกต และ 2) วิธีการประเมินด้วยการสังเกตร่วมกับการคำนวณ

3.2 การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีการสังเกต

3.2.1 การประเมินด้วยวิธีของ National Research Council of Canada, NRC (1993)

การประเมินนี้เป็นการสำรวจอาคารโดยใช้แบบประเมินดังรูปที่ 3.9 เพื่อให้คะแนนอาคารที่
ส่วนที่เป็นโครงสร้าง (Structural Index, SI) และ ส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง (Non-Structure Index, NSI)
คะแนนทั้งสองส่วนจะถูกคำนวณเป็นค่าดัชนีสำหรับบ่งบอกลำดับความสำคัญทางแผ่นดินไหวของอาคาร
(Seismic Priority Index, SPI) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลำดับ 1) ลำดับความสำคัญน้อย
($SPI < 10$) 2) ลำดับความสำคัญปานกลาง ($10 \leq SPI \leq 20$) และ 3) ลำดับความสำคัญมาก ($SPI > 20$)
หากว่า $SPI > 30$ จะถือว่าอาคารหลังนั้นเป็นอาคารที่มีความอ่อนไหวสูงอาจมีความเสี่ยงที่จะได้รับความ
เสียหายจากแผ่นดินไหว ส่วนที่สำคัญในการใช้วิธีการประเมินนี้คือการหาค่าความเร็วสูงสุดในแนวราบ
ของพื้นดิน (Z_v) ซึ่งส่วนใหญ่ในการคำนวณทางแผ่นดินไหวจะใช้ค่าความเร่งเป็นหลัก จึงต้องใช้วิธีการหา
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งสูงสุดในแนวราบของพื้นดิน (Z_a) และค่าความเร็วสูงสุดในแนวราบของ
พื้นดิน (Z_v) (Yih-Min Wu et al., 2003) ซึ่งเป็นการคำนวณและจำแนกระดับความเข้มของความเร่ง
สูงสุดในแนวราบของพื้นดิน (PGA) และ ความเร็วสูงสุดในแนวราบของพื้นดิน (PGV) อย่างไรก็ตาม
งานวิจัยนี้เป็นอาคารตัวอย่างในประเทศไทยจะใช้ค่าความเร่งสูงสุดในแนวราบของพื้นดิน (PGA) ดังรูปที่
3.10

SEISMIC SCREENING FORM				p. 1 of 2 ITEM No.: _____	
Address: _____		Postal Code: _____		Bldg. Name: _____	
No. of storeys: _____		Total Floor Area: _____ m ²		Design NRC: _____	
Primary use (see list on p. 2): _____		Year Built: _____		Heritage Designation: _____	
Inspector: _____		Date: _____		Checked by: _____	
TYPE OF STRUCTURE (check appropriate describing use & 4.3.2)		Sketch		Photo	
Wood	WLF WPS Wood Light Frame Wood Post and Beam	90	1. Vertical Irregularity	Abrupt changes in plan dimensions over height (e.g. setbacks or building on slope)	
Steel	SMP SDF SLF SCW SWS	90	2. Horizontal Irregularity (Torsion)	Irregular building shapes such as "L", "H", "E", "I", "Z", "U", "C", "T", "X", etc. (e.g. shear wall on only one side of building)	
	3. Short Concrete Columns		Short columns restrained by partial story height walls (concrete or masonry) or shear walls		
	4. Soft Storey		Severe reduction of stiffness caused by discontinuous shear walls, openings, etc.		
	5. Pounding		Separation between buildings (see item 20.2.2, no. of stories) (e.g.,)		
Concrete	CSF CSW CIN PCF PCW	90	6. Major Modifications	Any change in building use, or in addition which results in significant increase in loading or weight	
	7. Deterioration		Structural elements are damaged, poor condition of building is apparent (corrosion, reinforcement or steel, masonry, etc., poor concrete or masonry)		
	8. Alone		None of the Irregularities listed above is present.		
Masonry	MSL RMC URM	90		Reinforced Masonry Bearing Walls with Floor or Metal Deck Floors or Roofs Reinforced Masonry Bearing Walls with Concrete Diaphragms Unreinforced Masonry Bearing Wall Building	
NON - STRUCTURAL HAZARDS (Circle appropriate descriptions) use 4.3.4					
A. Potentially Lethal Life					
Extreme: Seismic damage, parapets, veneer or stone / painted plaster, non-safety glass, or canopies over exits and walkways Extreme: Heavy concrete, masonry partitions, non-safety glass in areas above, change shelter which may collapse into areas of human occupancy 5. Hazardous Contents: Storage of Special Hazards, Equipment or fixtures required for continuous operation of special facilities. The presence of which would provide a set of critical tasks needed by continuing operations.					

Form Manual for Screening of Existing Buildings for Seismic Vulnerability (RC / NSC Canada, October, September 1992)

SEISMIC SCREENING POINT

SEISMIC SCREENING POINT

PROJECT NO. _____

DATE _____

1. GENERAL INFORMATION

Project Name: _____

Location: _____

Owner: _____

Engineer: _____

2. SEISMIC DATA

Seismic Zone: _____

Design Spectral Acceleration: _____

Design Peak Ground Acceleration: _____

3. STRUCTURAL ANALYSIS

Analysis Type: _____

Analysis Period: _____

Analysis Results: _____

4. SEISMIC DESIGN

Design Basis: _____

Design Parameters: _____

Design Results: _____

5. CONCLUSIONS

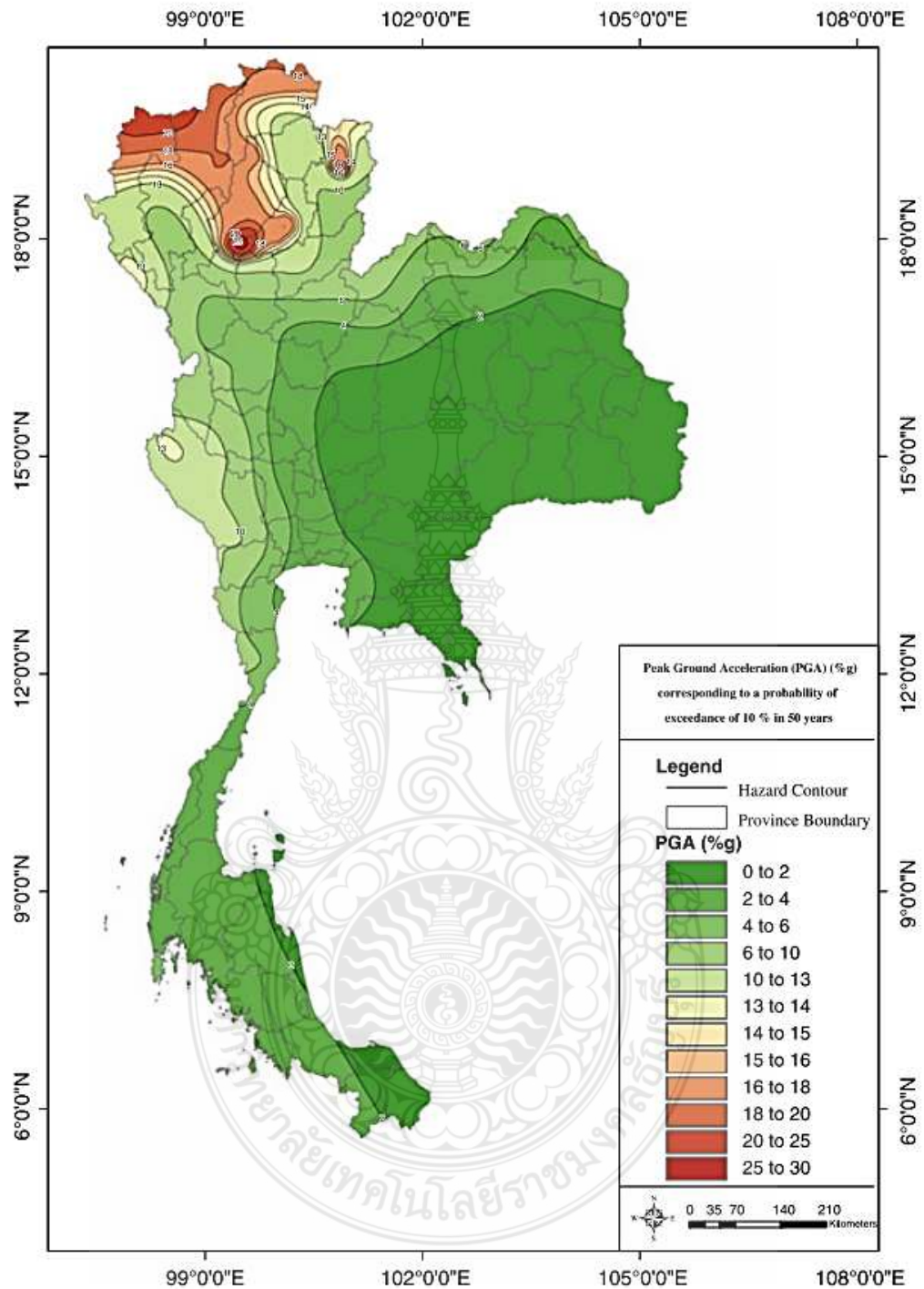
Summary of Findings: _____

Recommendations: _____

6. REFERENCES

References: _____

รูปที่ 3.9 แบบประเมินความเสี่ยงภัยของอาคาร (NRC, 1993)



รูปที่ 3.10 การแบ่งโซนพื้นที่อันตรายในประเทศไทยสำหรับความเร่งสูงสุดในแนวราบของพื้นดินที่มีความน่าจะเป็นเกิน 10% ในรอบ 50 ปีที่ผ่านมา

การประเมินวิธีนี้จะเป็นการสำรวจอาคารเพื่อให้คะแนนอาคารว่ามีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายแผ่นดินไหวหรือไม่ โดยสามารถแบ่งระดับความรุนแรงในการประเมินออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (Low) ระดับปานกลาง (Moderate) ระดับสูงปานกลาง (Moderately High) ระดับสูง (High) และ ระดับสูงมาก (Very High) ดังรูปที่ 3.11-3.15 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (มยผ.1301/1302-61, 2564) ของแต่ละพื้นที่จะทำให้ทราบถึงระดับความรุนแรงที่จะใช้ในการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวดังรูปที่ 3.16 หากคำนวณแล้วคะแนนรวมของอาคารเท่ากับ 2 โอกาส 1 ใน 100 อาคารอาจเกิดการพังถล่มจากการเกิดแผ่นดินไหวหรือคะแนนรวมของอาคารควรทำการประเมินอย่างละเอียดต่อไป

Annual Salary Scheduling of Employees for Political Science & History		Level 2 (Optional)	
2019-2020		2020-2021	
Employee	2019-2020	2020-2021	2020-2021
Staff	2019-2020	2020-2021	2020-2021
2019-2020			
1001	1001	1001	1001
1002	1002	1002	1002
1003	1003	1003	1003
1004	1004	1004	1004
1005	1005	1005	1005
1006	1006	1006	1006
1007	1007	1007	1007
1008	1008	1008	1008
1009	1009	1009	1009
1010	1010	1010	1010
1011	1011	1011	1011
1012	1012	1012	1012
1013	1013	1013	1013
1014	1014	1014	1014
1015	1015	1015	1015
1016	1016	1016	1016
1017	1017	1017	1017
1018	1018	1018	1018
1019	1019	1019	1019
1020	1020	1020	1020
1021	1021	1021	1021
1022	1022	1022	1022
1023	1023	1023	1023
1024	1024	1024	1024
1025	1025	1025	1025
1026	1026	1026	1026
1027	1027	1027	1027
1028	1028	1028	1028
1029	1029	1029	1029
1030	1030	1030	1030
1031	1031	1031	1031
1032	1032	1032	1032
1033	1033	1033	1033
1034	1034	1034	1034
1035	1035	1035	1035
1036	1036	1036	1036
1037	1037	1037	1037
1038	1038	1038	1038
1039	1039	1039	1039
1040	1040	1040	1040
1041	1041	1041	1041
1042	1042	1042	1042
1043	1043	1043	1043
1044	1044	1044	1044
1045	1045	1045	1045
1046	1046	1046	1046
1047	1047	1047	1047
1048	1048	1048	1048
1049	1049	1049	1049
1050	1050	1050	1050
1051	1051	1051	1051
1052	1052	1052	1052
1053	1053	1053	1053
1054	1054	1054	1054
1055	1055	1055	1055
1056	1056	1056	1056
1057	1057	1057	1057
1058	1058	1058	1058
1059	1059	1059	1059
1060	1060	1060	1060
1061	1061	1061	1061
1062	1062	1062	1062
1063	1063	1063	1063
1064	1064	1064	1064
1065	1065	1065	1065
1066	1066	1066	1066
1067	1067	1067	1067
1068	1068	1068	1068
1069	1069	1069	1069
1070	1070	1070	1070
1071	1071	1071	1071
1072	1072	1072	1072
1073	1073	1073	1073
1074	1074	1074	1074
1075	1075	1075	1075
1076	1076	1076	1076
1077	1077	1077	1077
1078	1078	1078	1078
1079	1079	1079	1079
1080	1080	1080	1080
1081	1081	1081	1081
1082	1082	1082	1082
1083	1083	1083	1083
1084	1084	1084	1084
1085	1085	1085	1085
1086	1086	1086	1086
1087	1087	1087	1087
1088	1088	1088	1088
1089	1089	1089	1089
1090	1090		

รูปที่ 3.11 แบบประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารระดับต่ำ (Low) (FEMA154, 2015)

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
FEMA P-154 Data Collection Form

Level 1
MODERATE SEISMICITY

Address: _____ City: _____
Other Identifiers: _____
Building Name: _____
Latitude: _____ Longitude: _____
Date: _____ Date/Time: _____

PHOTOGRAPH

File Number: _____ Street View: _____ Year Built: _____ (Y/N)
Field Floor Number: _____
Address: _____ City: _____ State: _____ Zip: _____
Occupancy: _____
Building Type: _____
Other: _____
Comments: _____

EXTENT OF DAMAGE

Other Hazards: _____
Action Required: _____
Level 2 Screening Performed: _____

FINAL LEVEL 1 SCORE, S₁ =

Item	Score	Weight	Weighted Score
Basic Score	10	1	10
Other Hazards	0	1	0
Other	0	1	0
Total	10	1	10

FINAL LEVEL 1 SCORE, S₁ = 10

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
FEMA P-154 Data Collection Form

Level 2 (Optional)
MODERATE SEISMICITY

Address: _____ City: _____
Other Identifiers: _____
Building Name: _____
Latitude: _____ Longitude: _____
Date: _____ Date/Time: _____

PHOTOGRAPH

File Number: _____ Street View: _____ Year Built: _____ (Y/N)
Field Floor Number: _____
Address: _____ City: _____ State: _____ Zip: _____
Occupancy: _____
Building Type: _____
Other: _____
Comments: _____

EXTENT OF DAMAGE

Other Hazards: _____
Action Required: _____
Level 2 Screening Performed: _____

FINAL LEVEL 2 SCORE, S₂ =

Item	Score	Weight	Weighted Score
Basic Score	10	1	10
Other Hazards	0	1	0
Other	0	1	0
Total	10	1	10

FINAL LEVEL 2 SCORE, S₂ = 10

รูปที่ 3.12 แบบประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารระดับปานกลาง (Moderate) (FEMA154, 2015)

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
FEMA P-154 Data Collection Form

Level 1
MODERATELY HIGH SEISMICITY

Address: _____ City: _____
Other Identifiers: _____
Building Name: _____
Latitude: _____ Longitude: _____
Date: _____ Date/Time: _____

PHOTOGRAPH

File Number: _____ Street View: _____ Year Built: _____ (Y/N)
Field Floor Number: _____
Address: _____ City: _____ State: _____ Zip: _____
Occupancy: _____
Building Type: _____
Other: _____
Comments: _____

EXTENT OF DAMAGE

Other Hazards: _____
Action Required: _____
Level 2 Screening Performed: _____

FINAL LEVEL 1 SCORE, S₁ =

Item	Score	Weight	Weighted Score
Basic Score	10	1	10
Other Hazards	0	1	0
Other	0	1	0
Total	10	1	10

FINAL LEVEL 1 SCORE, S₁ = 10

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
FEMA P-154 Data Collection Form

Level 2 (Optional)
MODERATELY HIGH SEISMICITY

Address: _____ City: _____
Other Identifiers: _____
Building Name: _____
Latitude: _____ Longitude: _____
Date: _____ Date/Time: _____

PHOTOGRAPH

File Number: _____ Street View: _____ Year Built: _____ (Y/N)
Field Floor Number: _____
Address: _____ City: _____ State: _____ Zip: _____
Occupancy: _____
Building Type: _____
Other: _____
Comments: _____

EXTENT OF DAMAGE

Other Hazards: _____
Action Required: _____
Level 2 Screening Performed: _____

FINAL LEVEL 2 SCORE, S₂ =

Item	Score	Weight	Weighted Score
Basic Score	10	1	10
Other Hazards	0	1	0
Other	0	1	0
Total	10	1	10

FINAL LEVEL 2 SCORE, S₂ = 10

รูปที่ 3.13 แบบประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารระดับสูงปานกลาง (Moderately High) (FEMA154, 2015)

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
FEMA P-154 Data Collector Form

Level 1 HIGH Seismicity

Address: _____ Zip: _____
City: _____ State: _____
County: _____
Latitude: _____ Longitude: _____
Elevation: _____

PHOTOGRAPH

Building Name: _____
Building Number: _____
Street Name: _____
City: _____ State: _____ Zip: _____
County: _____
Latitude: _____ Longitude: _____
Elevation: _____

STRUCTURAL MODIFICATIONS TO ADD TO ADJUSTED BASE SCORE

Base Score: _____
Adjusted Base Score: _____
Final Score: _____

EXTENT OF REVIEW

Exterior: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Interior: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Roof: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Foundation: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Other: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other

LEVEL 2 SCREENING PERFORMED?

☐ Yes ☐ No

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
FEMA P-154 Data Collector Form

Level 2 (Optional) HIGH Seismicity

Address: _____ Zip: _____
City: _____ State: _____
County: _____
Latitude: _____ Longitude: _____
Elevation: _____

STRUCTURAL MODIFICATIONS TO ADD TO ADJUSTED BASE SCORE

Base Score: _____
Adjusted Base Score: _____
Final Score: _____

EXTENT OF REVIEW

Exterior: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Interior: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Roof: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Foundation: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Other: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other

LEVEL 2 SCREENING PERFORMED?

☐ Yes ☐ No

รูปที่ 3.14 แบบประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารระดับสูง (High) (FEMA154, 2015)

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
FEMA P-154 Data Collector Form

Level 1 VERY HIGH Seismicity

Address: _____ Zip: _____
City: _____ State: _____
County: _____
Latitude: _____ Longitude: _____
Elevation: _____

PHOTOGRAPH

Building Name: _____
Building Number: _____
Street Name: _____
City: _____ State: _____ Zip: _____
County: _____
Latitude: _____ Longitude: _____
Elevation: _____

STRUCTURAL MODIFICATIONS TO ADD TO ADJUSTED BASE SCORE

Base Score: _____
Adjusted Base Score: _____
Final Score: _____

EXTENT OF REVIEW

Exterior: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Interior: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Roof: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Foundation: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Other: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other

LEVEL 2 SCREENING PERFORMED?

☐ Yes ☐ No

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
FEMA P-154 Data Collector Form

Level 2 (Optional) VERY HIGH Seismicity

Address: _____ Zip: _____
City: _____ State: _____
County: _____
Latitude: _____ Longitude: _____
Elevation: _____

STRUCTURAL MODIFICATIONS TO ADD TO ADJUSTED BASE SCORE

Base Score: _____
Adjusted Base Score: _____
Final Score: _____

EXTENT OF REVIEW

Exterior: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Interior: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Roof: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Foundation: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other
Other: ☐ Full ☐ Partial ☐ None ☐ Other

LEVEL 2 SCREENING PERFORMED?

☐ Yes ☐ No

รูปที่ 3.15 แบบประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารระดับสูงมาก (Very High) (FEMA154, 2015)

Seismicity Region		Spectral Acceleration Response, S_s (short-period, or 0.2 seconds)	Spectral Acceleration Response, S_1 (long-period, or 1.0 second)
Low		less than 0.250g	less than 0.100g
Moderate		greater than or equal to 0.250g but less than 0.500g	greater than or equal to 0.100g but less than 0.200g
Moderately High		greater than or equal to 0.500g but less than 1.000g	greater than or equal to 0.200g but less than 0.400g
High		greater than or equal to 1.000g but less than 1.500g	greater than or equal to 0.400g but less than 0.600g
Very High		greater than or equal to 1.500g	greater than or equal to 0.600g

Notes: g = acceleration of gravity in horizontal direction

รูปที่ 3.16 ขอบเขตความเร่งตามสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุด (FEMA154, 2015)

3.2.3 การประเมินด้วยวิธีของกรมโยธาธิการและผังเมือง, DPT (2563)

วิธีนี้เป็นวิธีการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเบื้องต้นของอาคาร เป็นการนำวิธีการประเมินของ FEMA154 (2015) มาปรับปรุงให้สอดคล้องกับอาคารในประเทศไทย โดยวิธีนี้จะแบ่งระดับความรุนแรงในการประเมินออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับปานกลาง และ ระดับสูง ดังรูปที่ 3.17 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม S_s และ S_1 (มยผ.1301/1302-61, 2564) ของแต่ละพื้นที่จะทำให้ทราบถึงระดับความรุนแรงที่จะใช้ในการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวดังรูปที่ 3.18 หากคะแนนรวมของอาคารต่ำกว่า 2 จะต้องทำการประเมินอย่างละเอียดเช่นเดียวกับวิธีการประเมินของ FEMA154 (2015)

The image shows three identical forms for seismic risk assessment. Each form is divided into several sections:

- Section 1: Building Information** (ข้อมูลอาคาร) - Includes fields for building name, address, and other details.
- Section 2: Seismicity Region** (เขตภัยพิบัติ) - A table for selecting the seismicity region based on location.
- Section 3: Risk Assessment** (การประเมินความเสี่ยง) - A table for calculating the risk score based on building type and seismicity region.
- Section 4: Results** (สรุปผล) - A table for recording the final risk score and assessment results.

ก) ระดับความรุนแรงสูง ข) ระดับความรุนแรงปานกลาง ค) ระดับความรุนแรงต่ำ

รูปที่ 3.17 แบบประเมินความเสี่ยงภัยของอาคาร (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2563)

ระดับความรุนแรงของ แผ่นดินไหว	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ที่คาบสั้น 0.20 วินาที (S_s)	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ที่คาบ 1 วินาที (S_1)
ต่ำ (Low)	$S_s < 0.167g$	$S_1 < 0.067g$
ปานกลาง (Moderate)	$0.167g \leq S_s < 0.500g$	$0.067g \leq S_1 < 0.200g$
สูง (High)	$S_s \geq 0.500g$	$S_1 \geq 0.200g$

รูปที่ 3.18 ขอบเขตความเร่งตามสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุด
(กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2563)

3.3 การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีการสังเกตร่วมกับการคำนวณ

3.3.1 การประเมินด้วยวิธีของ National Center for Research on Earthquake Engineering, NCREE (2017)

วิธีการนี้เป็นการประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารที่พิจารณา 2 ส่วนหลัก ๆ คือ 1) ความต้านแผ่นดินไหวของอาคาร (A_p) และ 2) แรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น (A_t) ทั้ง 2 ส่วนจะถูกนำมาคำนวณเป็นค่าดัชนีความอ่อนแอของอาคารเนื่องจากแผ่นดินไหว (I_s)

ความต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร (A_p) เป็นการพิจารณาในส่วนของความแข็งแรงของเสา และ ผนัง รวมถึงพื้นที่ใช้สอยของอาคาร สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 และ 3.2

$$A_p = \frac{(100CFR_{eq} - 0.4 + 0.05N_f)}{(1.62 - 0.24N_f)} \quad \text{เมื่อ } CFR_{eq} \geq (0.4 - 0.05N_f)\% \quad (3.1)$$

$$A_p = 0 \quad \text{เมื่อ } CFR_{eq} < (0.4 - 0.05N_f)\% \quad (3.2)$$

เมื่อ N_f คือ จำนวนชั้นของอาคาร สำหรับอาคาร 5-6 ชั้น N_f ให้ใช้เท่ากับ 4 และ CFR_{eq} คือ อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเสาต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคาร แต่เนื่องจากโครงสร้างอาคารโดยส่วนมากจะมีรูปแบบผนังและเสาที่ต่างกันออกไป เช่น ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือ ผนังอิฐก่อ เป็นต้น จึงต้องทำการคำนวณปรับแก้ค่าโดยใช้สัมประสิทธิ์ของรูปแบบผนังและเสาดังรูปที่ 3.19 ให้สอดคล้องกับอาคารที่พิจารณา

การค้ำยันของผนังส่งผลต่อความอ่อนไหวของอาคาร เช่น ผนังที่ทำการก่อสร้างไม่เต็มความสูงของเสา ทำให้เกิดช่องว่างที่ไม่มีการค้ำยันหรือหมายถึงช่วงเสาที่พื้นผนังมีลักษณะเป็นเสาสั้นซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนได้ การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เพื่อแปลงเป็นพื้นที่หน้าตัดเสาเทียบเท่าสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.3 และ 3.4

$$\tau_c \sum A_c = \tau_{bw\ 3,4} \sum A_{bw\ 3,4} \quad (3.3)$$

$$\tau_c \sum A_c = \tau_{rcw\ 3,4} \sum A_{rcw\ 3,4} \quad (3.4)$$

จากการปรับแก้พื้นที่หน้าตัดเสาต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารด้วยตัวคูณสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของเสา และผนังทำให้ได้เป็นสมการที่ 3.5

$$CFR = \frac{\sum A_c}{\sum A_f} + 0.9 \left(\frac{0.36 \sum A_{bw3} + 0.45 \sum A_{bw4} + 1.509 \sum A_{rcw3} + 2.642 \sum A_{rcw4}}{\sum A_f} \right) \quad (3.5)$$

เมื่อ β คือ สัมประสิทธิ์ลดทอนความแข็งแรงขั้นสุดท้ายเนื่องจากจุดแข็งชั้นสูงสุดของชั้นส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกันจึงใช้ค่าเท่า 0.9 (Su K-L, 2008)

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดเสาโดยคิดเฉพาะชั้นแรก

A_f คือ พื้นที่ใช้สอยของอาคารตั้งแต่ชั้น 2 ขึ้นไป

A_{bw3} คือ พื้นที่ผนังอิฐก่อที่มีช่องเปิด

A_{bw4} คือ พื้นที่ผนังอิฐก่อที่ไม่มีช่องเปิด

A_{rcw3} คือ พื้นที่ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่องเปิด

A_{rcw4} คือ พื้นที่ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีช่องเปิด

โดยพื้นที่ผนังจะคิดเฉพาะด้านที่วางตัวขนานกับแนวแรงที่กระทำกับอาคาร

Table 1 – Recommended lateral strengths of various members

Unit: kgf/cm ²		Japan [6]	Kuo [7]	Hsu [4]	Su [5]	Sheu [8]	This study
Column	Short column	15	14.1	15	-	7.92	7.95
	Window column	10	9.9				
	Long column	7	5.4				
RC wall	Confined on four sides	30	28.6	-	12	10.37	21
	Confined on three sides	20	20	24			12
	Confined on two sides	10	11.2	-			-
Brick wall	Confined on four sides	-	3.9	3	3	3.37	4.0
	Confined on three sides	-	1.6	1.5	2		3.2

รูปที่ 3.19 กำลังรับน้ำหนักด้านข้างของเสาและผนังที่แนะนำ

แรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น (A_t) ที่กระทำกับโครงสร้างอาคารสามารถใช้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับออกแบบที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_{DS}) (มยพ.1301/1302-61, 2564) เพื่อมาคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำได้ดังสมการที่ 3.6

$$A_t = 0.4S_{DS} \quad (3.6)$$

ความเสียหายจากแผ่นดินไหวของอาคารนั้นอาจเป็นผลจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ช่วงเวลาที่ก่อสร้างอาคารเนื่องจากอาคารที่ก่อสร้างมานานอาจจะยังไม่มีมาตรฐานหรือข้อกำหนดสำหรับการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวในช่วงเวลา ผลจากการที่อาคารได้มีการรื้อผนังออกหรือมีชั้นที่โล่งไม่มีผนังอาจทำให้เกิดชั้นที่อ่อนแอรวมถึงผลจากการที่ก่อผนังไม่เต็มความสูงของเสาทำให้เสาที่พื้น

จากผนังมีลักษณะเป็นเสาสั้นทำให้เกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือน ปัจจัยดังกล่าวได้ถูกคำนวณเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถในการรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (Q) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.7

$$Q = q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \quad (3.7)$$

เมื่อ q_1 คือ ช่วงเวลาที่ก่อสร้าง

เท่ากับ 0.9 สำหรับอาคารที่สร้างก่อนปี 1974

เท่ากับ 0.95 สำหรับอาคารที่สร้างระหว่างปี 1975-1983

เท่ากับ 1 สำหรับอาคารที่สร้างระหว่างปี 1983-1999

เท่ากับ 1.05 สำหรับอาคารที่สร้างตั้งแต่ปี 2000 ขึ้นไป

q_2 คือ ผลจากการเอียงศูนย์ของอาคาร

เท่ากับ 0.9 สำหรับอาคารที่มีทางเดินทั้ง 2 ด้าน

เท่ากับ 1 สำหรับอาคารที่มีทางเดินด้านเดียว

q_3 คือ ชั้นที่อ่อนแอของอาคาร

เท่ากับ 0.9 มีการรื้อกำแพงออกหรือไม่มีกำแพง

เท่ากับ 1 กรณีอื่นๆ

q_4 คือ ผลจากอาคารที่มีผนังก่อไม่เต็มความสูงทำให้เสาส่วนที่พื้นผนังมีลักษณะเป็นเสาสั้น คำนวณได้จากสมการที่ 3.8

$$1 - \frac{\text{short column area}}{\text{total column area}} \geq 0.5 \quad (3.8)$$

ซึ่งสามารถตรวจสอบเสาสั้นได้จากสมการที่ 3.9

$$\frac{H_n}{D} \geq 2 \quad \text{คือ เสาสั้น} \quad (3.9)$$

เมื่อ H_n คือ ความสูงสุทธิของเสา

D คือ ความลึกของเสา

สำหรับการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีนี้จะเป็นการใช้ค่าดัชนีในการบ่งบอกถึงความอ่อนไหวของอาคาร (I_s) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.7 ซึ่งหากประเมินแล้ว I_s น้อยกว่า 1 แสดงถึงว่าอาคารนั้นมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายเมื่อเกิดแผ่นดินไหว

$$I_s = \frac{A_p Q}{A_t} \quad (3.9)$$

3.3.2 การประเมินด้วยวิธีของ Tohoku University (Islam et al., 2017)

วิธีการนี้การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีของเสา (Column Index, CI) และ ดัชนีของผนัง (Wall Index, WI) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.10 ถึง 3.11 เพื่อสร้างเส้นขอบเขตความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบกับอาคาร

$$CI = \frac{A_c}{A_f} \quad (3.10)$$

$$WI = \frac{A_w}{A_f} \quad (3.11)$$

โดยที่ A_c คือ พื้นที่หน้าตัดเสาของชั้นแรก

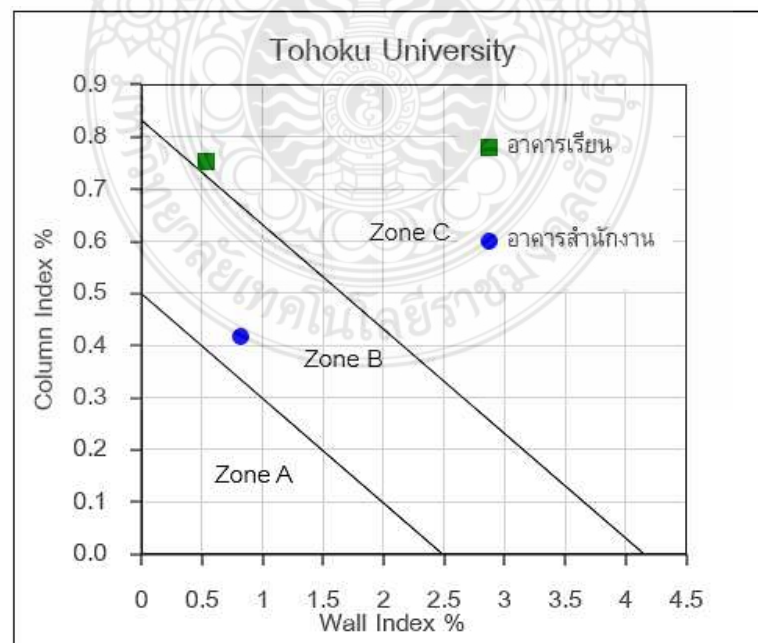
A_w คือ พื้นที่ของผนังอิฐก่อที่ชั้นแรก (โดยคิดเฉพาะด้านที่วางตัวขนานกับแนวแรง)

A_f คือ พื้นที่ใช้สอยของอาคารตั้งแต่ชั้น 2 ขึ้นไป

ในการคำนวณความต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารพารามิเตอร์ที่สำคัญในการคำนวณคือกำลังรับแรงเฉือนของเสา (τ_c) และ กำลังรับแรงเฉือนของผนัง (τ_w) โดยใช้ค่าประมาณอยู่ที่ 1.0 MPa และ 0.2 MPa ตามลำดับ ผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวทำให้อาคารอาจเกิดความเสียหายได้ ซึ่งน้ำหนักของอาคาร (W) และพื้นที่ที่ตั้งของอาคารอาจส่งผลกระทบต่อความรุนแรงเช่นกัน เนื่องจากแต่ละพื้นที่มีความเสี่ยงอันตรายจากแผ่นดินไหวต่างกันโดยใช้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (C_a) (มยพ.1301/1302-61, 2564) ในการพิจารณา ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถนำไปสร้างเส้นขอบเขตความรุนแรงโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นดินไหวและ แรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น ดังสมการที่ 3.12

$$\tau_c \times \frac{A_c}{A_f} + \tau_w \times \frac{A_w}{A_f} \geq \frac{W}{A_f} \times C_a \times D_s \quad (3.12)$$

เกณฑ์ที่ใช้จำแนกความเสียหายของอาคาร (D_s) จะใช้ค่าเท่ากับ 0.6 สำหรับอาคารที่เสียหายรุนแรง และ 0.1 สำหรับอาคารที่เสียหายปานกลาง (ASCE, 2014) ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างกราฟเส้นขอบเขตความรุนแรงของแผ่นดินไหว

จากรูปที่ 3.20 จะเห็นได้ว่าความรุนแรงจะถูกแบ่งเป็นโซน ๆ หากดัชนีของเสา (CI) และ ดัชนีของผนังอิฐก่อ(WI) อยู่ในโซน A ซึ่งหมายถึงอาคารอาจเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงจาก แผ่นดินไหว

3.3.3 การประเมินด้วยวิธีของ Ruggieri et al. (2020)

การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารโดยใช้ดัชนีความปลอดภัยของอาคาร (Safety Index, SI) เป็นตัวชี้วัดว่าอาคารมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวระดับใด โดยการประเมินจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ๆ หลัก คือ การสำรวจลักษณะทั่วไปของอาคาร และการคำนวณ ดัชนี ซึ่งในการสำรวจลักษณะทั่วไปของอาคารดังรูปที่ 3.21 ถึง 3.23 จะประกอบไปด้วย 3 หมวด ได้แก่ 1) ส่วนที่เป็นโครงสร้าง (Structural) เพื่อคำนวณให้คะแนนเป็นค่าดัชนีทางโครงสร้าง (Structural Index, I_{STR}) 2) ส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง (Non-Structural) เช่น ผนัง รวากันตก เป็นต้น เพื่อคำนวณให้ คะแนนเป็นค่าดัชนีของส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง (Non-Structural Index, I_{NSTR}) และ 3) การตรวจสอบ ความพร้อมของเจ้าหน้าที่และผู้ใช้อาคารเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินเพื่อคำนวณเป็นค่าดัชนีหลักของ องค์การ (I_{ORG}) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.13 ถึง 3.15

Table 1 Section 7 survey form: Structural Index.				Building Name :		อาคารอยู่อาศัยรวมรูปแบบสม่ำเสมอ	
No.	Question	Risk			Select		
		Low	Medium	High			
1	Has the use of the building been modified over the years?	0	2	4	2		
2	Are there cracks in the structural elements?	0	4	8	0		
3	Has the school been subjected to a significant seismic event in the last 30 years?	0	4	8	0		
4	If the answer to Question 3 is yes, did the school suffer significant damage?	0	8	16	0		
5	Was the school seismically retrofitted according to recent seismic codes?	0	4	8	8		
6	Is the structure regular in plan?	0	8	16	0		
7	Is the structure regular in elevation?	0	8	16	0		
8	Are there structural joints to avoid hammering between adjacent structures?	0	4	8	8		
9	Are the columns regularly distributed?	0	2	4	0		
10	Are there short columns?	0	4	8	0		
11	Are there shear walls?	0	2	4	4		
12	Are there lateral load resisting systems in the two main directions?	0	8	16	16		
13	Are there soft stories?	0	8	16	0		
14	Do foundations present adequate stiffness?	0	8	16	8		
15	Are there balconies larger than 1.5 m?	0	2	4	0		
16	Are there concentrated masses or heavy equipment at the upper floors?	0	2	4	0		
17	Are interactions between structural and non-structural elements possible?	0	2	4	2		
18	Are there adequate structural details in beam-column joints and critical zones?	0	8	16	16		
19	Are there irregularities of any typology?	0	2	4	0		
20	Do the elevators and stairs interact with the structure?	0	4	8	0		
21	Can the slabs be classified as infinitely rigid?	0	4	8	8		
				Summary		0.37	

รูปที่ 3.21 ตัวอย่างแบบสำรวจอาคารส่วนที่เป็นโครงสร้าง (Structure)

Table 2 Section 8 survey form: Non-structural Index.					Building Name : อาคารอยู่อาศัยรวมรูปแบบส่น้ำเสมอ					
No.	Question						Risk			Select
							Low	Medium	High	
Infill panels and partitions										
1	Are there structural details to avoid overturning of the infill panels or partitions?						0	8	16	8
	If not, is the inter-storey height greater than 3.5 m?									
2	Are there infill panels that are not restrained in the surrounding RC frame?						0	4	8	0
3	Are the infill panels connected to the supporting RC frame with anchorage systems?						0	4	8	8
4	Are there infill panels on a cantilevered structure?						0	8	16	0
5	Are there wide cracks in the infill panels?						0	8	16	0
6	Are there partitions with a thickness lower than 10 cm higher than 3 m?						0	4	8	0
7	Are the internal partitions connected to the supporting RC frame with anchorage systems?						0	2	4	4
8	Are there masses applied to the partitions or infill panels?						0	2	4	0
Ceiling systems										
9	Are there signs of deterioration or disconnection of the plaster in the slabs?						0	4	8	0
10	Is the ceiling system adequately braced using diagonal elements?						0	8	16	16
11	Are there sign of deterioration of the ceiling system?						0	4	8	0
12	Are there heavy ceiling systems?						0	2	4	0
13	Are the piping systems interacting with the ceiling system?						0	8	16	8
Coatings										
14	Is the internal coating in a good maintenance state?						0	4	8	4
15	Is the external coating in a good maintenance state?						0	4	8	4
16	Are there heavy coatings?						0	2	4	2
17	Are the external coatings anchored to the supporting structure?						0	2	4	2
18	Are there heavy cornices?						0	2	4	0
19	Are there cracked cornices or cornices in decaying state?						0	2	4	0
20	Are the external coating (i.e. tiles) of pitched floors adequately connected to the floor?						0	2	4	2
Fixtures										
21	Are the fixtures and glazing systems in a good state of maintenance?						0	4	8	4
22	Are the fixtures adequately connected to the partitions and infill walls?						0	2	4	2
23	Are the glazing systems safe?						0	2	4	2
24	Are the doors, especially the emergency doors, safe?						0	2	4	2
Electrical system										
25	Are there flexible joint in the critical points (i.e. change of direction) in order to avoid the loss of functionality in case of a seismic event?						0	8	16	16
26	Are the plant elements adequately anchored?						0	4	8	4
27	Are the lighting elements incorporated in the tiles of ceiling systems adequately anchored?						0	4	8	4
28	Are the suspended lighting elements adequately anchored?						0	4	8	4

รูปที่ 3.22 ตัวอย่างแบบสำรวจอาคารส่วนที่ไม่เป็นโครงสร้าง (Non-Structure)

Table 2 Section 8 survey form: Non-structural Index.				Building Name :		อาคารอยู่อาศัยรวมรูปแบบสม่ำเสมอ			
No.	Question					Risk			Select
						Low	Medium	High	
Water, conditioning and sprinkler piping systems									
29	Is the water system adequately anchored? (if the system is suspended)					0	4	8	4
30	Are there flexible joints near to discontinuities and structural crossings?					0	8	16	8
31	Is the conditioning system adequately anchored?					0	4	8	4
32	Are the joints of the conditioning system characterized by adequate deformability?					0	4	8	4
33	Are the valves and connections in a good maintenance state?					0	2	4	2
34	Are the tank adequately anchored?					0	8	16	0
35	Are the boilers, pumps, furnaces adequately connected to the walls?					0	8	16	0
36	Is the sprinkler piping system adequately anchored and braced to the supporting structure?					0	4	8	0
37	Are the chimney or flues adequately anchored?					0	4	8	0
38	Are the elevators safe?					0	2	4	0
Furniture									
39	Are the bookcases and shelves anchored to the supporting structure?					0	8	16	16
40	Are the bookcases provided with a safe closure of library doors?					0	2	4	2
41	Are the electronic equipment adequately anchored?					0	2	4	4
42	Are the monitors, pc and printers adequately anchored?					0	2	4	2
43	Are the gas bottles adequately anchored?					0	8	16	0
44	Are the blackboards adequately anchored to the walls?					0	4	8	0
45	Are there ornaments that could be dangerous?					0	2	4	0
46	Are the parapets safe?					0	4	8	0
47	Are the banners and emergency indications adequately installed and anchored?					0	8	16	16
Summary									0.32

รูปที่ 3.22 ตัวอย่างแบบสำรวจอาคารส่วนที่ไม่เป็นโครงสร้าง (Non-Structure) (ต่อ)

Table 2 Section 9 survey form: Organizational Index.				Building Name :		อาคารอยู่อาศัยรวมรูปแบบสม่ำเสมอ			
No.	Question					Risk			Select
						Low	Medium	High	
1	Is the internal circulation adequate in case of a seismic event?					0	4	8	4
2	Is the external circulation adequate in case of a seismic event?					0	4	8	4
3	Are the access ways easily accessible?					0	8	16	8
4	Are the internal and external communication systems operational?					0	4	8	8
5	Are administrative procedures available to manage the emergency?					0	4	8	8
6	Are available guidelines to secure the energetic plants in case of seismic event?					0	4	8	8
7	Are available guidelines to secure the water systems in case of seismic event?					0	4	8	8
8	Is available basic equipment to manage the emergency in case of seismic event?					0	4	8	8
9	Is available emergency medical equipment?					0	8	16	8
10	Is the staff trained to react in case of seismic event?					0	8	16	16
11	Are the students trained to react in case of seismic event?					0	4	8	8
12	Are available procedures to evacuate the school in case of seismic event?					0	8	16	16
Summary									0.81

รูปที่ 3.23 ตัวอย่างแบบสำรวจอาคารสำหรับความพร้อมในการรับมือต่อเหตุฉุกเฉิน (Organization)

$$I_{STR} = \frac{\sum \text{Unit Risk Index}}{\sum \text{Unit Risk Index High}} \quad (3.13)$$

$$I_{NSTR} = \frac{\sum \text{Unit Risk Index}}{\sum \text{Unit Risk Index High}} \quad (3.14)$$

$$I_{ORG} = \frac{\sum \text{Unit Risk Index}}{\sum \text{Unit Risk Index High}} \quad (3.15)$$

โดยที่ $\sum \text{Unit Risk Index}$ หมายถึงผลรวมของคะแนนที่สำรวจได้ในแต่ละหมวด และ $\sum \text{Unit Risk Index High}$ หมายถึง ผลรวมของคะแนนสูงสุดในแต่ละหมวด ในการคำนวณดัชนีดังกล่าวทำให้ทราบถึงระดับความเสี่ยงภัยของอาคารในแต่ละหมวด ($I_{Primary}$) โดยจะจำแนกได้ดังรูปที่ 3.24 ซึ่งในการคำนวณดัชนีทั้ง 3 หมวดทำให้ทราบถึงดัชนีอีก 2 ตัวคือ ดัชนีฟังก์ชันการทำงาน (FUNC) และ ดัชนีความชองโหว่ของอาคาร (VULN) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.16 และ 3.17 โดยมีการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ร่วมด้วย (WHO/PAHO, 2015) (Perrone et al., 2015) สำหรับการคำนวณดัชนีดังกล่าว

$$FUNC = \begin{cases} [1 - (0.6I_{STR} + 0.4I_{NSTR})] & \text{if } I_{STR} \leq 0.67 \\ 0 & \text{if } I_{STR} > 0.67 \end{cases} \quad (3.16)$$

$$VULN = \begin{cases} [0.8 - (0.8FUNC - 0.2I_{ORG})] & \text{if } FUNC \neq 0 \\ 1 & \text{if } FUNC = 0.67 \end{cases} \quad (3.17)$$

Risk classification Primary Index.

Risk Classification	Value $I_{Primary}$
Low risk	$I_{Primary} < 0.33$
Medium risk	$0.33 \leq I_{Primary} \leq 0.67$
High risk	$I_{Primary} > 0.67$

รูปที่ 3.24 การจำแนกระดับความเสี่ยงภัยของค่าดัชนีในแต่ละหมวด (Ruggieri et al., 2020)

การคำนวณดัชนีความปลอดภัยของอาคาร (Safety Index, SI) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.18 ซึ่งดัชนีความปลอดภัยของอาคารแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) ระดับความเสี่ยงต่ำ ($SI \leq 0.33$) 2) ระดับความเสี่ยงปานกลาง ($0.34 \leq SI \leq 0.67$) และ 3) ระดับความเสี่ยงสูง ($SI > 0.67$)

$$SI = VULN \times \frac{HAZ}{1.67} \times \frac{EXP}{1.25} \quad (3.18)$$

โดยที่ HAZ คือ คะแนนความเป็นอันตรายโดยมีปัจจัยจากประเภทของดินที่รองรับอาคารและความเร่งสูงสุดของพื้นดิน (a_g) หรือ (PGA) (มยพ.1301/1302-61, 2564) หากอาคารตั้งอยู่ในชั้นดินแข็ง

(Soil Type C) ชั้นดินปกติ (Soil Type D) และ ชั้นดินอ่อน (Soil Type E) ควรเพิ่มคะแนนความเป็นอันตรายขึ้นอีก 20% อาคารแต่ละประเภทมีการใช้งานที่ต่างกันทำให้จำนวนผู้เข้าใช้อาคารย่อมต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในการพิจารณาปัจจัยของจำนวนผู้เข้าใช้อาคารจึงมีผลต่อการประเมินความเสี่ยงของอาคารด้วย รูปที่ 3.25 เป็นการจำแนกระดับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารทำให้ทราบถึงดัชนีความหนาแน่นของการเข้าใช้อาคาร (EXP Index)

EXP index.

Exposure Classification	Number of occupants (n)	EXP
Low exposure	$n < 150$	1.00
Medium exposure	$150 \leq n < 300$	1.15
High exposure	$n \geq 300$	1.25

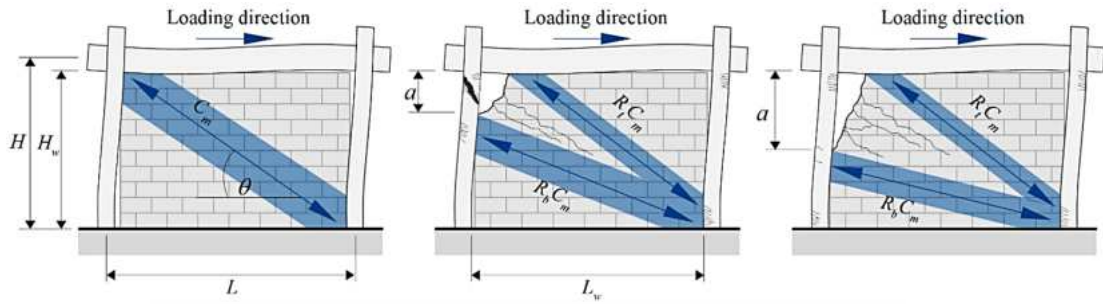
รูปที่ 3.25 ดัชนีการจำแนกระดับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร (Ruggieri et al., 2020)

3.4 การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM)

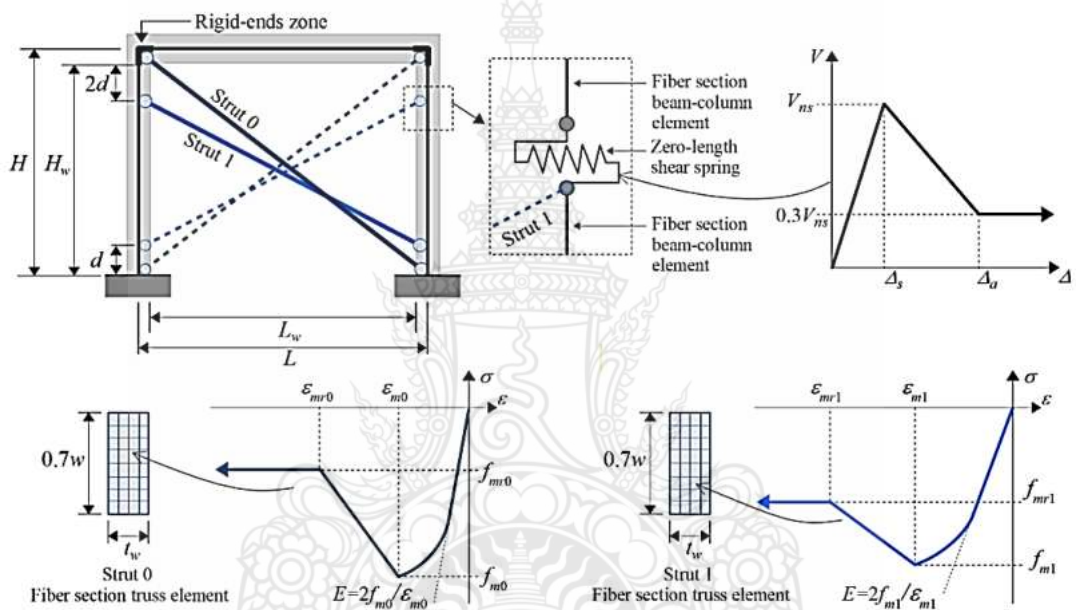
ในงานวิจัยนี้จะเป็นการประเมินความเสี่ยงแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีดัดขึ้นชีวัด แต่วิธีการประเมินโดยใช้ดัดขึ้นชีวัดเพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำในการประเมินได้ จึงต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ควบคู่ไปด้วยเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง โดยจะเป็นการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งเป็นการจำลองชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างและผนังอิฐก่อและทำการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยวิธีสถิตแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear static pushover) ร่วมกับวิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Nonlinear response history analysis) นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ดังกล่าวมาจำแนกระดับความเสียหายของอาคาร ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยวิธีดังกล่าวจะยึดถือว่าเป็นผลที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ (FEMA, 1997)

3.4.1 การสร้างแบบจำลองผนังอิฐก่อ

โครงสร้างอาคารส่วนมากเป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับผนังอิฐก่อ เมื่อเกิดแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ทำให้มีแรงกระทำทางด้านข้างของอาคารทำให้ผนังอิฐก่อที่วางตัวอยู่ในแนวขนานกับแนวแรงที่กระทำนั้น อาจส่งผลให้เกิดแรงกระทำระหว่างผนัง และ เสา ซึ่งอาจทำให้เสาเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนได้ ความเสียหายที่พบบ่อยจะอยู่บริเวณมุมของผนังดังรูปที่ 3.26 ในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองแบบ 2 Strut ที่เป็นการจำลองพฤติกรรมของผนังอิฐก่อชิ้นรับแรงอัดเทียบเท่าทั้งผนังที่มีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิด โดยที่ Strut0 จะเป็นการจำลองพฤติกรรมของผนังก่อนเกิดความเสียหาย และ Strut1 จะจำลองพฤติกรรมของผนังหลังจากเกิดความเสียหาย สำหรับชิ้นส่วนคานและเสาจะใช้การจำลองโดยใช้ Force-base beam-column element สำหรับจุดต่อของคานและเสากำหนดให้เป็นแบบแข็งเกร็ง (Rigid end connection) และ พฤติกรรมของการวิบัติด้วยแรงเฉือนของเสาจะใช้การจำลองด้วย Shear Spring ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.26 พฤติกรรมของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระหว่างผนังอิฐและเสาเมื่อเกิดแรงดันด้านข้าง (Srechai et al., 2022)



รูปที่ 3.27 แบบจำลองโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนัง (Srechai et al., 2022)

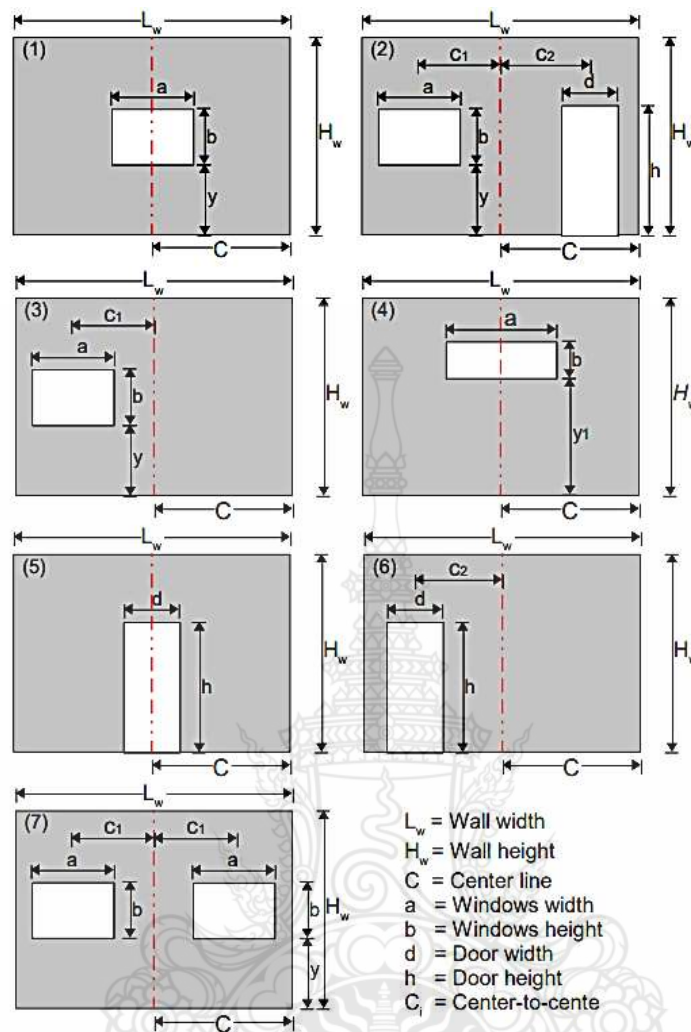
ในกรณีผนังมีช่องเปิดในผนัง เช่น ประตู หน้าต่าง เป็นต้น จะต้องใช้แบบจำลองชิ้นส่วนรับแรงอัดเทียบเท่าร่วมกับสัมประสิทธิ์ตัวคูณลด (Reduction Factor) เพื่อปรับลดค่าสติฟเนสและกำลังของชิ้นส่วนรับแรงอัดเทียบเท่าที่ประมาณจากผนังแบบไม่มีช่องเปิด อีกทั้งยังมีการเอียงศูนย์ของช่องเปิด ดังรูปที่ 3.28 ส่งผลให้กำลังต้านทานและสติฟเนสลดลงโดยมีปัจจัย เช่น ขนาด รูปแบบ และ ตำแหน่งของช่องเปิด สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์ตัวคูณลด (Reduction Factor) ได้ดังสมการที่ 3.19

$$R_F = 0.15 - 0.4e_c + 0.85e \left(-5.02 \left(\frac{A_o}{A_w} \right) \right) \quad (3.19)$$

โดยที่ A_o คือ พื้นที่ช่องเปิด

A_w คือ พื้นที่ผนังทั้งหมด

e_c คือ ระยะเอียงศูนย์ของช่องเปิดวัดจากกึ่งกลางผนัง มีค่าเป็นบวกเมื่อเอียงไปรับแรงด้านที่รับแรง และมีค่าเป็นลบเมื่อเอียงไปทางตรงกันข้าม



รูปที่ 3.28 ตัวอย่างรูปแบบผนังช่องเปิด (เจริญ ศรีชัย และ สุทัศน์ สีสาทวิวัฒน์, 2563)

ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กพร้อมกับผนังอิฐก่อ จะทำการกำหนดคุณสมบัติวัสดุ ซึ่งโดยปกติแล้วในการออกแบบอาคารทั่วไปที่รับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งที่ไม่ใช่อาคารที่มีลักษณะพิเศษมักจะใช้กำลังอัดคอนกรีตเท่า 24 MPa ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้กำลังอัดคอนกรีตเท่ากับ 24 MPa กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กข้ออ้อยและเหล็กกลมเท่ากับ 300 MPa และ 240 MPa ตามลำดับ และ กำลังอัดของผนังอิฐก่อเท่ากับ 6 MPa (มยพ.1301/1302-61, 2564) เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ดังที่กล่าวข้างต้นแล้ว ทำการวิเคราะห์โครงสร้างจะใช้คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ SeismoStruct ร่วมกับแบบจำลอง 3 มิติ โดยจำลองชิ้นส่วนของโครงสร้างและผนังอิฐก่อตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสถิตแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear static pushover) ทั้งทิศทางแกน x และแกน y โดยกำหนดการกระจายแรงด้านข้างของอาคารแต่ละชั้นให้สอดคล้องกับรูปแบบการสั่นธรรมชาติของอาคาร ดังรูปที่ 3.29 ผลจากการวิเคราะห์วิธีดังกล่าวทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างเคลื่อนตัวของอาคารแต่ละชั้น และ แรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) รวมทั้งระดับความเสียหายของชิ้นส่วนโครงสร้าง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 7 ระดับดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การจำแนกระดับความเสียหายของโครงสร้างอาคาร

ระดับ	ความเสียหายของโครงสร้าง
DS0	(No Reinforcement Yielding) ไม่พบการครากของเหล็กเสริมในเสา
DS1	(Reinforcement Yielding) มีการครากของเหล็กเสริมตามยาวในเสา
DS2	(Concrete Spalling) เกิดการหลุดร่อนเนื่องจากค่าความเครียดอัดของคอนกรีตภายนอกเท่ากับ 0.004
DS3	(1 mm Residual Cracking) ค่าความเครียดของเหล็กเสริมในเสาถึงจุดที่ทำให้เกิดรอยแตกกว้างประมาณ 1 มม.
DS4	(Concrete Crushing) เกิดความเสียหายแบบบดอัดเนื่องจากค่าความเครียดในคอนกรีตภายในเท่ากับ 0.005
DS5	(Reinforcement Rupture) ค่าความเครียดในเหล็กเสริมถึงจุดที่ทำให้เกิดการฉีกขาด
DS6	(Column Shear Failure) คอนกรีตและเหล็กเสริมในเสาเกิดความเสียหาย หรือ เสาวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน

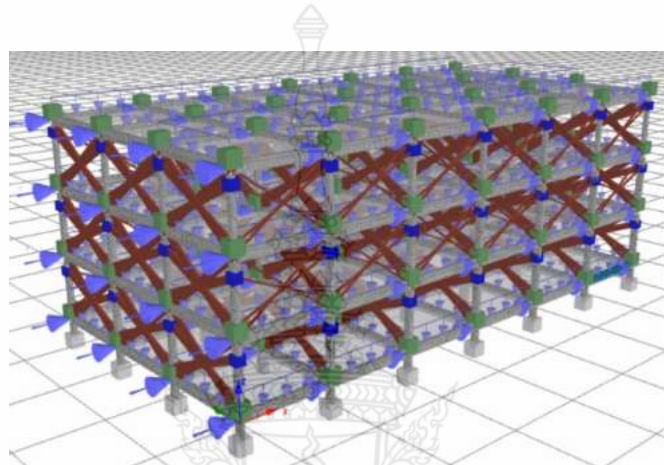
ทำการวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Nonlinear response history analysis) ภายใต้แผ่นดินไหวที่ระดับความรุนแรงต่าง ๆ ทั้งหมด 4 ระดับที่ครอบคลุมความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ (Design Basis Earthquake, DBE) และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา (Maximum Considered Earthquake, MCE) โดยใช้คลื่นแผ่นดินไหวระดับละ 20 คู่ ทั้งทิศทางแกน x และ แกน y ผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Multiple Strip Analysis (MSA) เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของชั้นที่ความรุนแรงแผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ หรือการพังทลายของโครงสร้างโดยการสร้างเส้นโค้งความบอบบาง ดังรูปที่ 3.30 และ 3.31

ในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และการประเมินแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีอย่างรวดเร็ว นั้น จะทำการจำแนกระดับความเสียหายของโครงสร้างจะกำหนดโดยค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริมตามยาวในเสา สามารถแบ่งเป็น 5 ระดับดังนี้

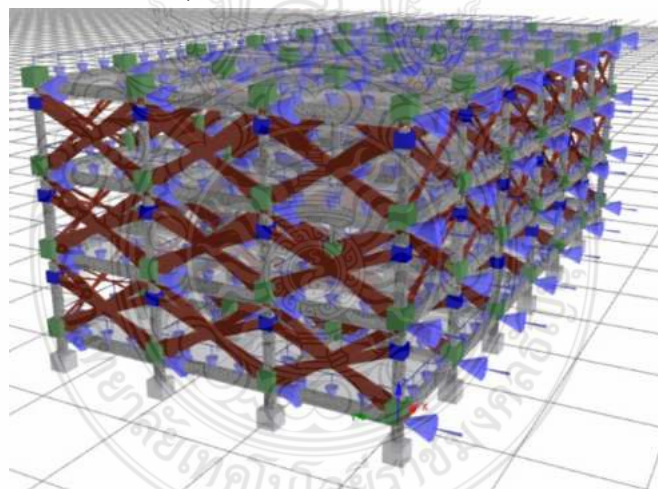
- 1) โครงสร้างไม่มีความเสียหาย (DS0) คือ ไม่พบการครากของ เหล็กเสริมในเสา
- 2) โครงสร้างเสียหายเล็กน้อย (DS1) คือ เกิดการครากของเหล็กเสริมตามยาวในเสา
- 3) โครงสร้างเสียหายปานกลาง (DS2) คือ รอยแตกกว้างคงค้าง (Residual crack) ประมาณ 1 มม. หรือผิวคอนกรีตเกิดการหลุดร่อน (Cover concrete spalling)
- 4) โครงสร้างเสียหายรุนแรง (DS3) คือ เกิดความเสียหายแบบบดอัด (Core-concrete crushing) หรือเหล็กเสริมถึงเกิดการฉีกขาด (Reinforcement rupture) และ
- 5) โครงสร้างเสียหายรุนแรงมาก (DS4) คือ คอนกรีตภายในเสาเกิดความเสียหายและเหล็กเสริม เกิดการฉีกขาด หรือเสาเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน (Shear failure)

การจำแนกระดับความเสียหายของโครงสร้างจะกำหนดโดยค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในคอนกรีตแต่เนื่องจากผลการวิเคราะห์พบว่าความรุนแรงของแผ่นดินไหวแต่ละระดับทำให้โครงสร้างเกิด

ความเสียหายที่ต่างกัน จึงได้กำหนดวิธีการประเมินระดับความเสียหายโดยรวมของโครงสร้างภายใต้ แผ่นดินไหว 20 คลื่น สามารถแบ่ง ออกเป็น 3 ได้แก่ 1) มีความเสียหายเล็กน้อย (Slight damage) คือ โครงสร้างจะต้องมีระดับความเสียหาย DS0 และ DS1 รวมกันไม่น้อยกว่า ร้อยละ 84 หรือ 17 คลื่น 2) มีความเสียหายปานกลาง (Moderate damage) คือ โครงสร้างจะต้องมีระดับความเสียหาย DS0 DS1 และ DS2 รวมกันไม่น้อย กว่าร้อยละ 84 หรือ 17 คลื่น และ 3) โครงสร้างมีความเสียหายรุนแรง (Severe damage) คือกรณีนอกเหนือจาก Slight damage และ Moderate damage ภายใต้ แผ่นดินไหว 20 คลื่น

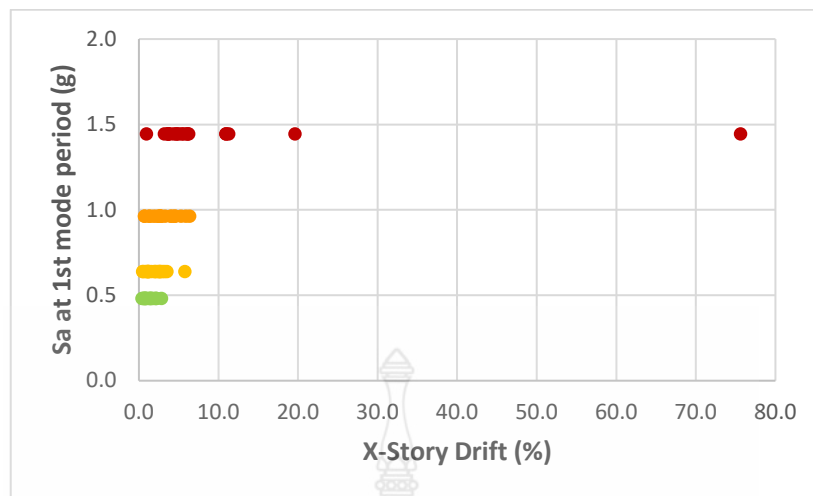


ก) แรงต้านข้างตามแนวกแกน x

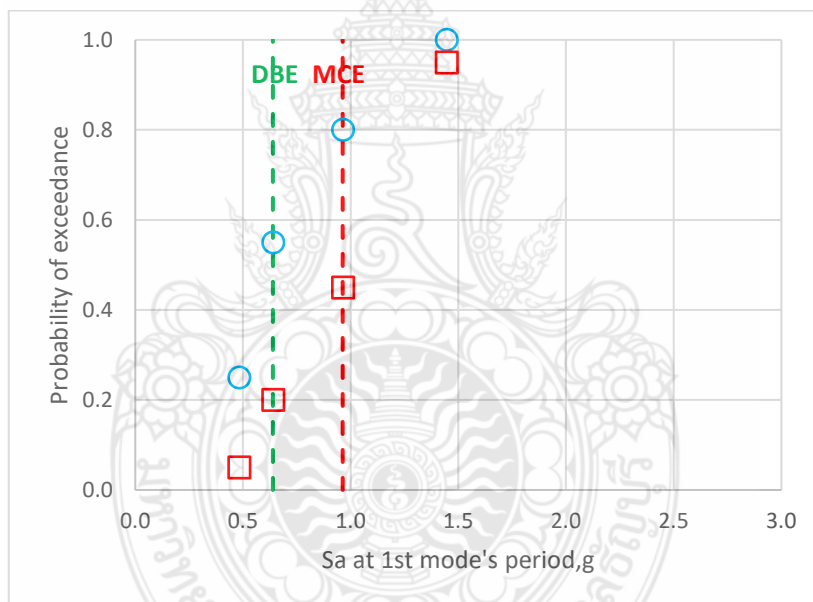


ข) แรงต้านข้างตามแกน y

รูปที่ 3.29 ตัวอย่างการกระจายแรงต้านข้างของโครงสร้างอาคารพาณิชย์รูปแบบไม่สมมาตร (commercial01)



รูปที่ 3.30 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์การเคลื่อนตัวสูงสุดระหว่างชั้นและความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหว



รูปที่ 3.31 ตัวอย่างกราฟแสดงเส้นโค้งความบอบบางของโครงสร้าง

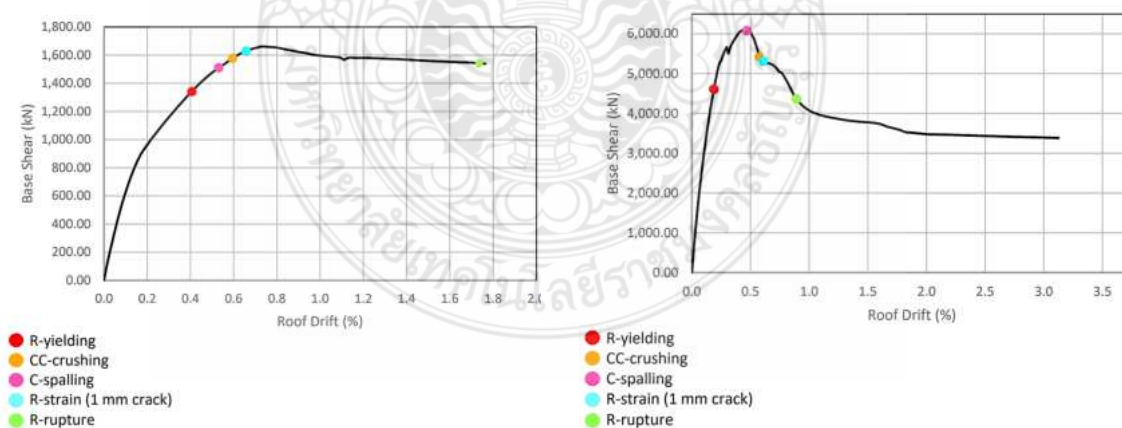
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะเป็นผลการประเมินความเสี่ยงของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับผนังอิฐก่อทั้งหมด 7 หลัง ได้แก่ อาคารเรียน อาคารสำนักงาน อาคารอยู่อาศัยรวม และ อาคารพาณิชย์ ที่ตั้งอยู่ ณ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ซึ่งมีรูปแบบการจัดวางผนังทั้งแบบสมมาตรและไม่สมมาตร โดยจะใช้วิธีการประเมินอย่างรวดเร็วด้วยการสังเกตได้แก่วิธีของ NRC (1993), FEMA154 (2015) และ กรมโยธาธิการและผังเมือง (2020) และวิธีการประเมินอย่างรวดเร็วด้วยการสังเกตร่วมกับการคำนวณ ได้แก่ Tohoku University (2017), NCEE (2017) และ Ruggieri et al. (2020) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM)

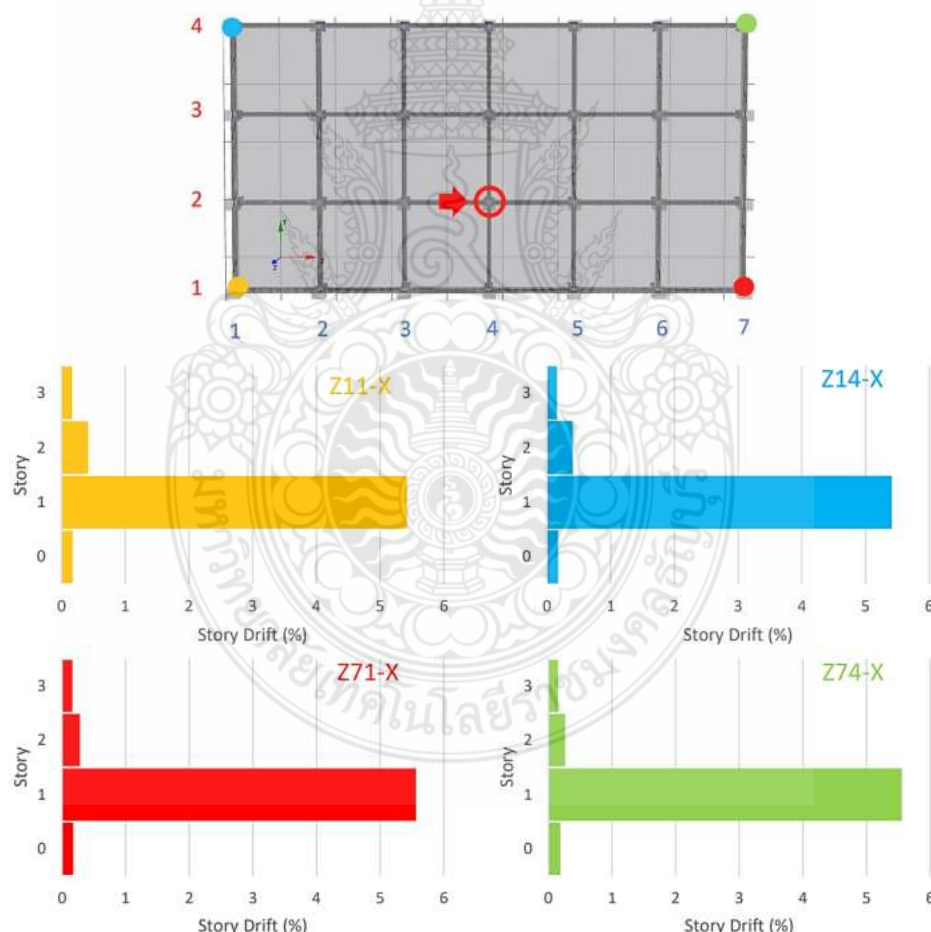
4.1 ผลการวิเคราะห์อาคารด้วยวิธีสถิตแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Static Pushover)

จากผลการวิเคราะห์อาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สมมาตร (Commercial01) ด้วยวิธีสถิตแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Static Pushover) โดยเป็นกำหนดการกระจายแรงทางด้านข้างให้สอดคล้องกับรูปแบบการสั่นธรรมชาติในทิศทางตามยาว (แกน X) และ ทิศทางตามขวาง (แกน y) ของอาคาร พบว่า ที่บริเวณกลางอาคาร (node 42) ในทิศทางแกน x อาคารมีกำลังต้านทานสูงสุดประมาณ 1,661 kN ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นหลังคาประมาณ 0.73% และในทิศทางแกน y อาคารมีกำลังต้านทานสูงสุดประมาณ 6,094 kN มีการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นหลังคาประมาณ 0.43% ดังรูปที่ 4.1 กำลังต้านทานสูงสุดในทิศทางแกน y สูงกว่าทิศทางแกน x มาก เนื่องจากชั้นล่างของอาคารมีการจัดวางผนังอิฐก่อในแนวแกน x และ แกน y ที่แตกต่างกัน

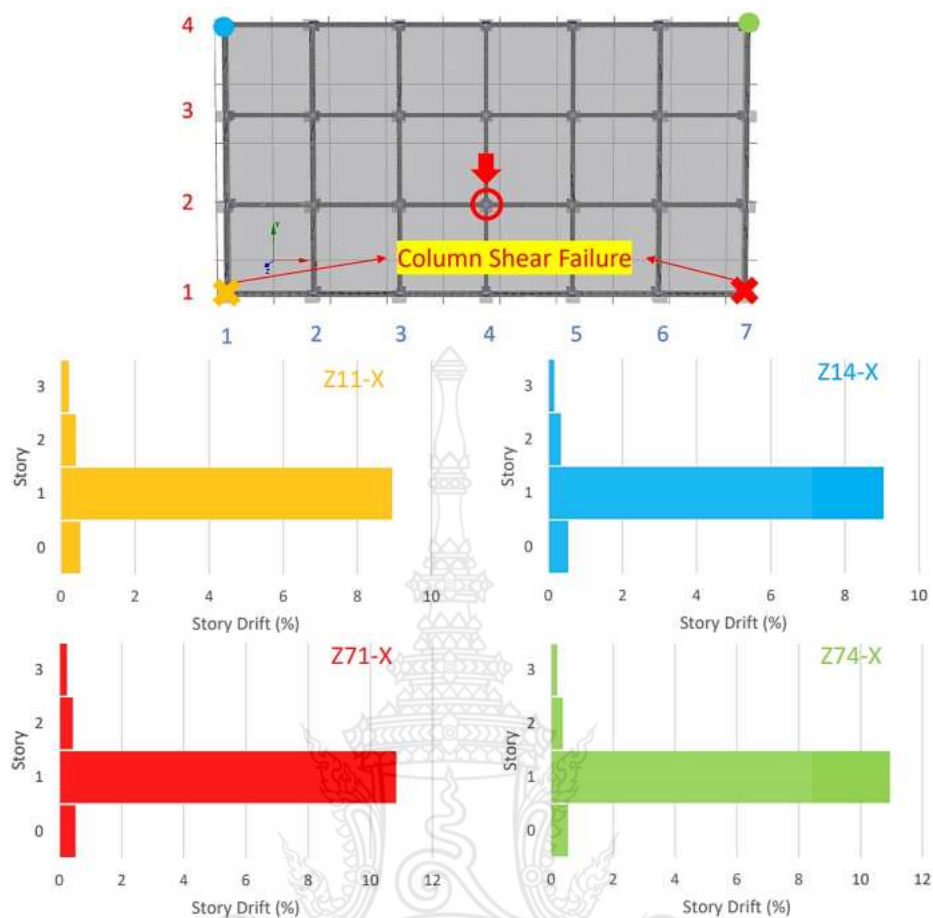


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคาของอาคาร

ในงานศึกษานี้สำหรับอาคารพาณิชย์จะกำหนดตำแหน่งการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคาร (Story Drift) ที่ตำแหน่งทั้ง 4 มุมของอาคารทั้งแกน x และ y จากผลการวิเคราะห์พบว่าในแนวกแกน x มีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารสูงสุดเกิดขึ้นที่ 1 ของอาคารประมาณ 5.5% ดังรูปที่ 4.2 และในแนวกแกน y ของอาคารพบว่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารสูงสุดที่ชั้น 1 ที่ตำแหน่ง node 11 และ node 14 ประมาณ 9% และ ที่ตำแหน่ง node 71 และ node 74 ประมาณ 11% ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากข้อมูลดังกล่าวจะสังเกตได้ว่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นในแกน y ระหว่าง node 11 node 14 และ node 71 node 74 ต่างกัน สาเหตุอาจเกิดจากอาคารตั้งแต่ชั้น 2 ขึ้นไปมีระบบพื้นเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งมีทิศทางการวางที่แตกต่างกัน ทำให้แรงที่ส่งถ่ายไปยังคานแต่ละด้านไม่เท่ากันส่งผลให้อาคารมีการบิดตัวเล็กน้อย แรงแผ่นดินไหวที่กระทำในแนวกแกน y ของโครงสร้างเสาที่ชั้น 1 ตำแหน่ง node 11 และ node 71 ทำให้เกิดความเครียดในคอนกรีตถึงจุดความเสียหายและเหล็กเสริมเกิดการฉีกขาด ทำให้เสาเกิดการวิบัติในที่สุด (Column Shear Failure)



รูปที่ 4.2 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารในแกน x



รูปที่ 4.3 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารในแกน y

จากการวิเคราะห์ความเสียหายของอาคารพบว่าเสาของอาคารเกิดความเสียหายแต่ระดับรูปแบบแตกต่างกันไป ในการศึกษานี้ได้ทำการจำแนกความเสียหายออกเป็น 5 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

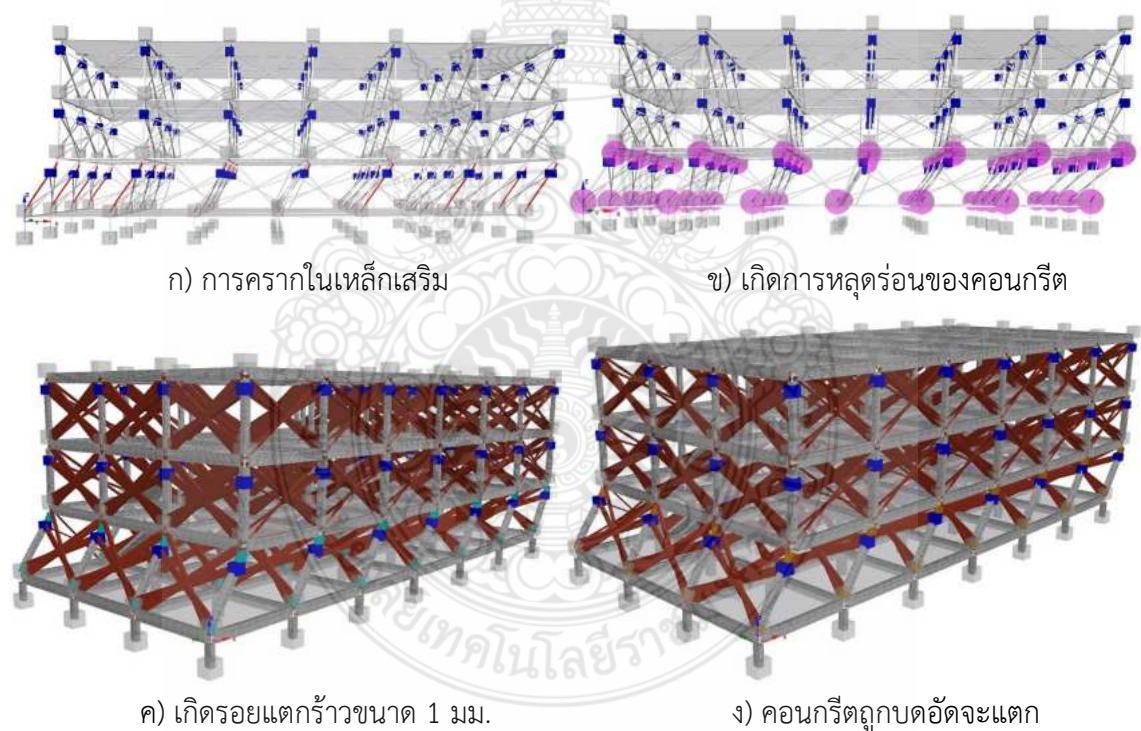
ตารางที่ 4.1 การจัดกลุ่มจำแนกระดับความเสียหายของโครงสร้างอาคาร

ระดับ	ความเสียหายของโครงสร้าง
DS0	ไม่พบการครากของเหล็กเสริมในเสา (No Reinforcement Yielding)
DS1	การครากของเหล็กเสริมตามยาวในเสา (Reinforcement Yielding)
DS2	เกิดการหลุดร่อนเนื่องจากค่าความเครียดอัดของคอนกรีตภายนอกเท่ากับ 0.004 (Concrete Spalling) หรือ ค่าความเครียดของเหล็กเสริมในเสาถึงจุดที่ทำให้เกิดรอยแตกกว้างประมาณ 1 มม. (1 mm Residual Cracking)

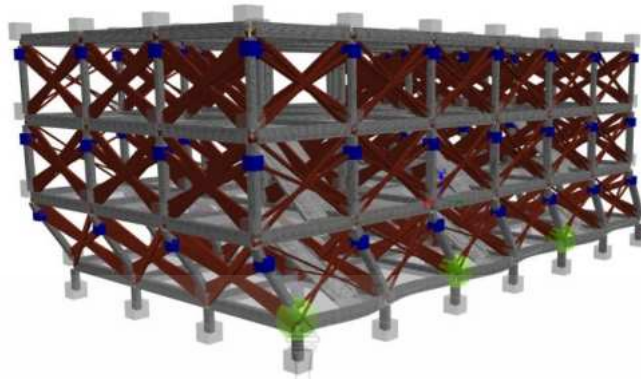
ตารางที่ 4.1 การจัดกลุ่มจำแนกระดับความเสียหายของโครงสร้างอาคาร (ต่อ)

ระดับ	ความเสียหายของโครงสร้าง
DS3	เกิดความเสียหายแบบบดอัดเนื่องจากค่าความเครียดในคอนกรีตภายในเท่ากับ 0.005 ซึ่งจะเกิดความเสียหายแบบบดอัด (Core-Concrete Crushing) หรือ ค่าความเครียดในเหล็กเสริมถึงจุดที่ทำให้เกิดการฉีกขาด (Reinforcement Rupture)
DS4	คอนกรีตภายในเสาเกิดความเสียหายและเหล็กเสริมเกิดการฉีกขาด หรือ เสาวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน (Column Shear Failure)

จากผลการวิเคราะห์อาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01) พบว่าชั้นที่ 1 ของอาคารมีความเสียหายที่ตั้งแต่ระดับ DS1 – DS5 เนื่องจากแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคาร ซึ่งความเสียหายส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อระหว่างคานกับเสา และเกิดการวิบัติของเสาด้วยแรงเฉือนในทิศทางแกน y ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 อาคารหลังอื่น ๆ จะทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01)

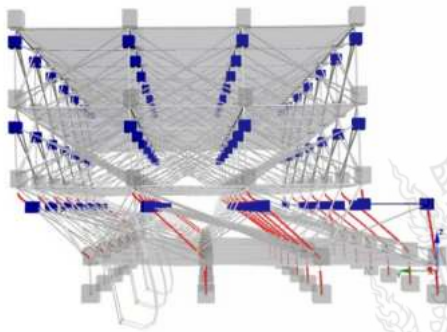


รูปที่ 4.4 ความเสียหายของเสาอาคารพาณิชย์ (Commercial01) ด้วยแรงหลักทิศทางแกน x

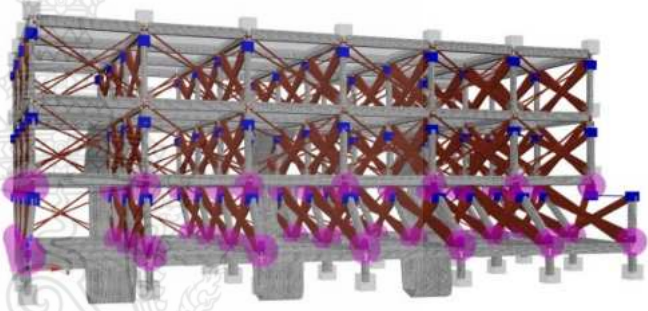


ง) เกิดการฉีกขาดของเหล็กเสริม

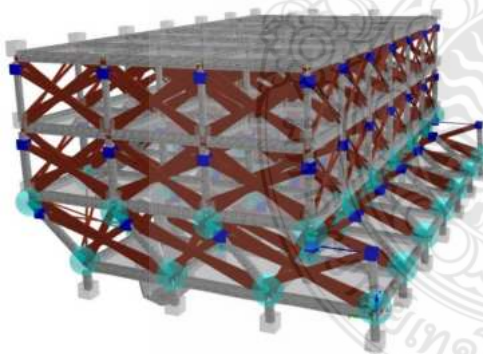
รูปที่ 4.4 ความเสียหายของเสาอาคารพาณิชย์ (Commercial01) ด้วยแรงผลักทิศทางแกน x (ต่อ)



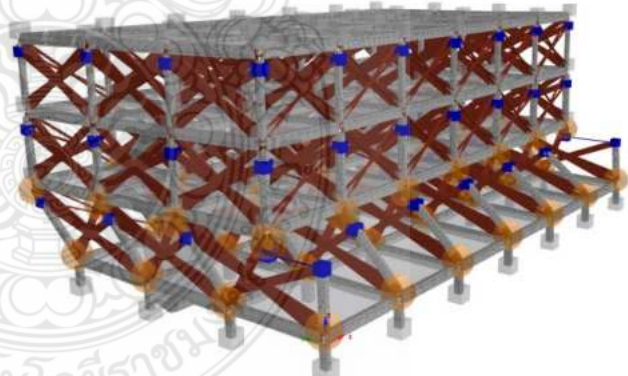
ก) การครากในเหล็กเสริม



ข) เกิดการหลุดร่อนของคอนกรีต

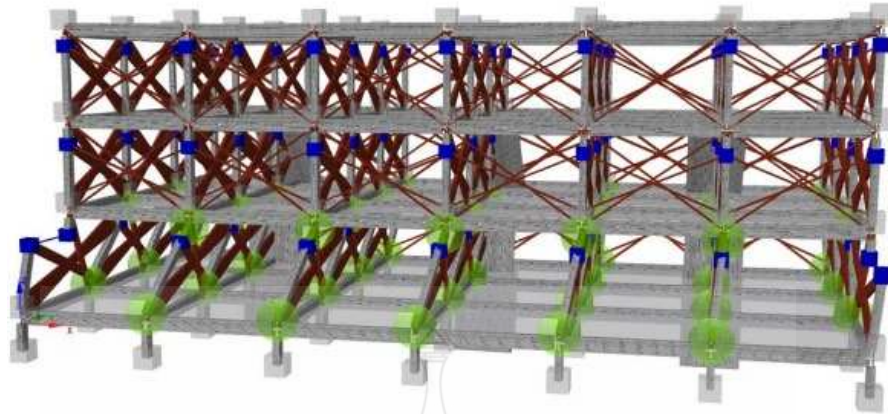


ค) เกิดรอยแตกกว้างขนาด 1 มม.



ง) คอนกรีตถูกบดอัดจะแตก

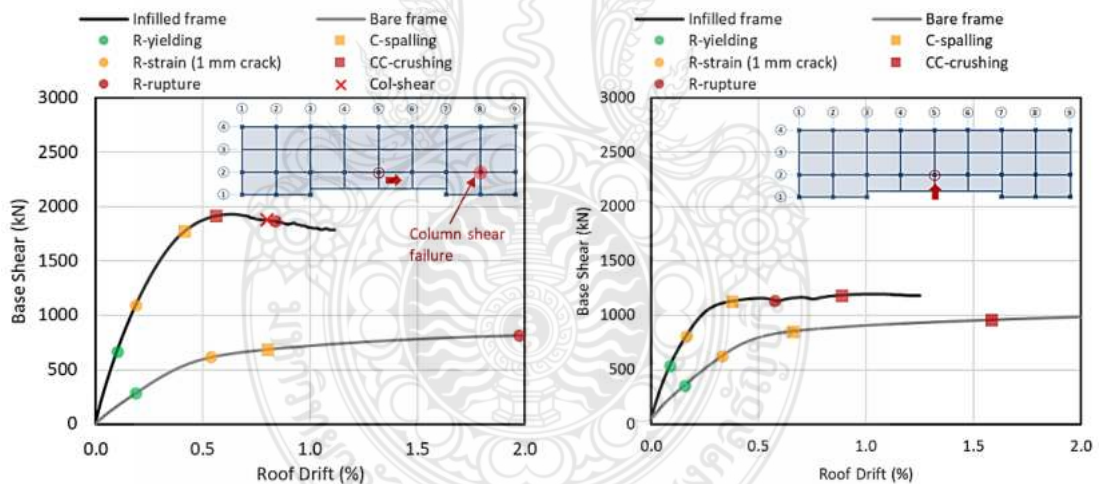
รูปที่ 4.5 ความเสียหายของเสาอาคารพาณิชย์ (Commercial01) ด้วยแรงผลักทิศทางแกน y



ง) เกิดการฉีกขาดของเหล็กเสริม และ เสาคเกิดการวิบัติ

รูปที่ 4.5 ความเสียหายของเสาอาคารพาณิชย์ (Commercial01) ด้วยแรงผลักดันทางแกน y (ต่อ)

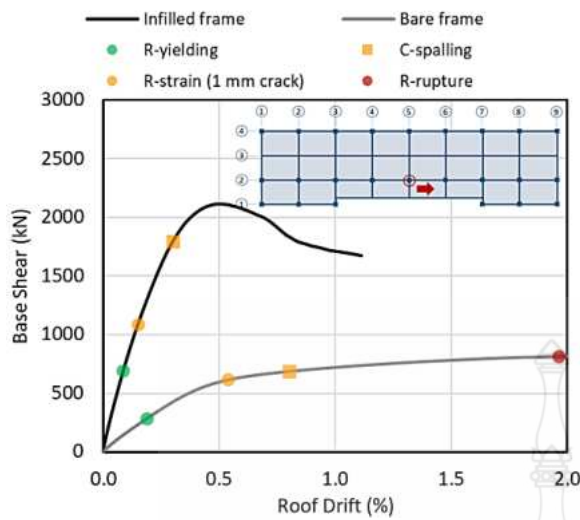
อาคารตัวอย่างหลังอื่น ๆ จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีสถิตแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Static Pushover) ในทิศทางตามยาวแกน x และทิศทางตามขวางแกน y เช่นเดียวกับอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01) ดังรูปที่ 4.6 – 4.11



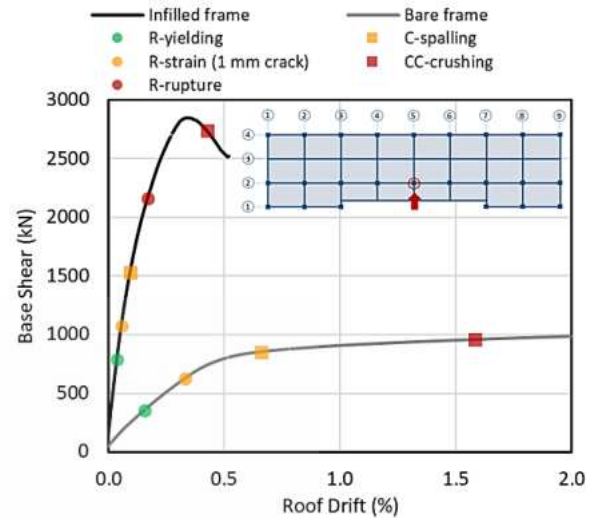
ก) ทิศทางแกน x

ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคาของอาคารเรียนรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (School01)

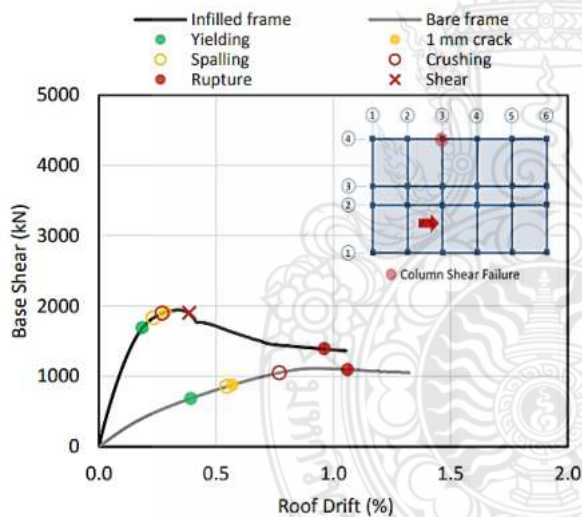


ก) ทิศทางแกน x

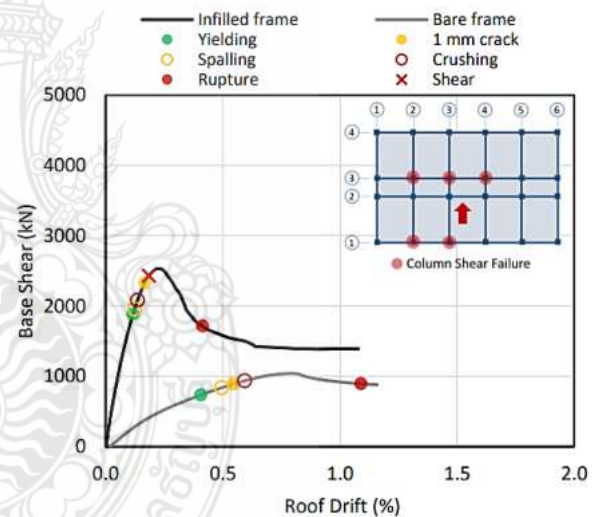


ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคาของอาคารเรียนรูปทรงสามเหลี่ยม (School02)

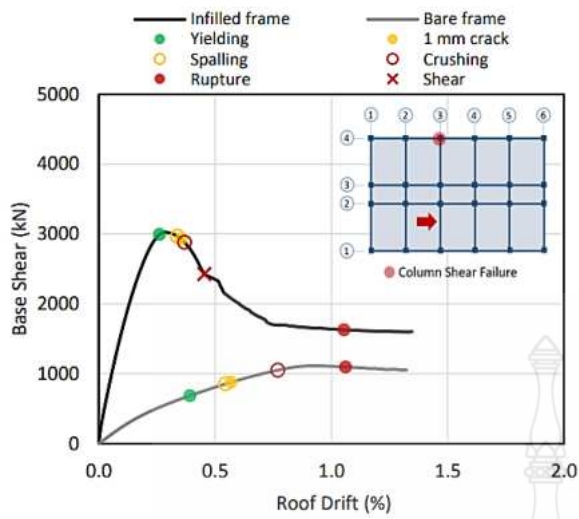


ก) ทิศทางแกน x

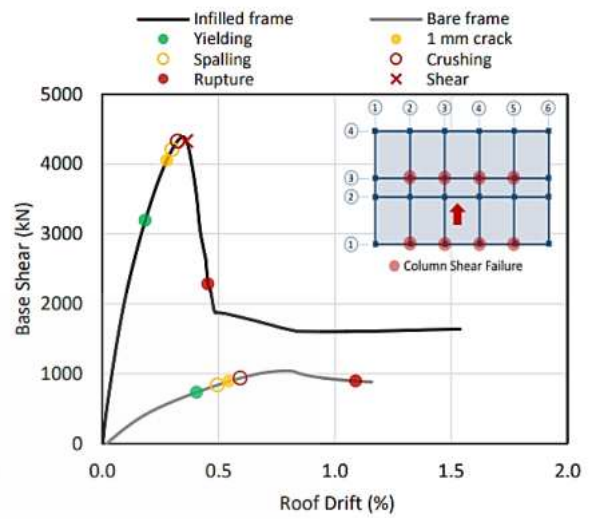


ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคาของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปไม่ทรงสามเหลี่ยม (Apartment01)

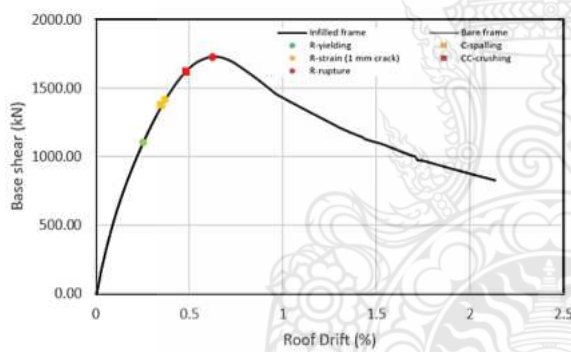


ก) ทิศทางแกน x

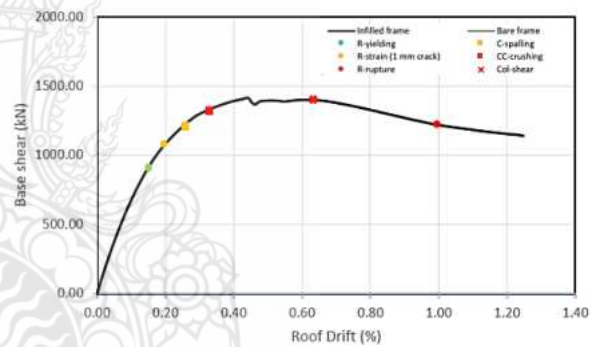


ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคาของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Apartment02)

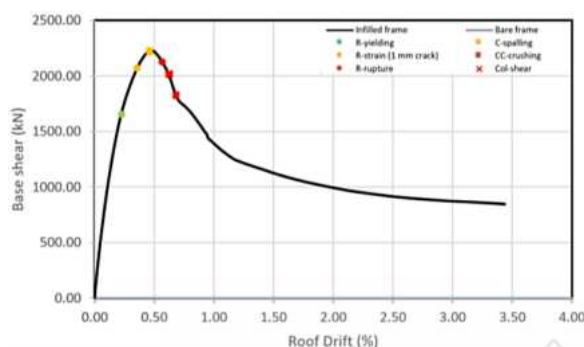


ก) ทิศทางแกน x

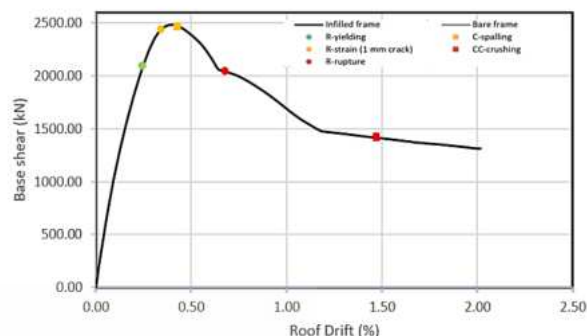


ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคาของอาคารสำนักงานรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Office01)



ก) ทิศทางแกน x

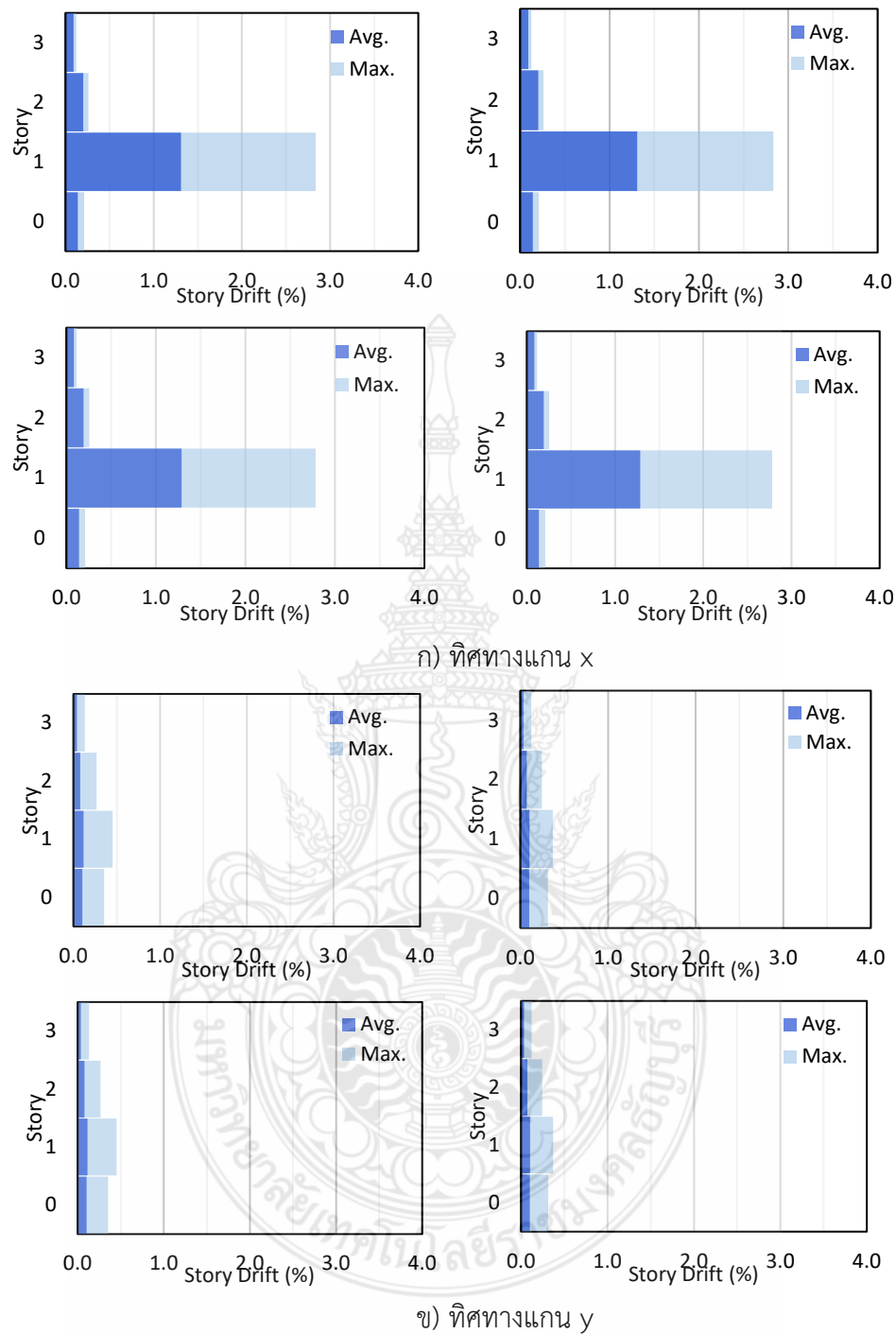


ข) ทิศทางแกน y

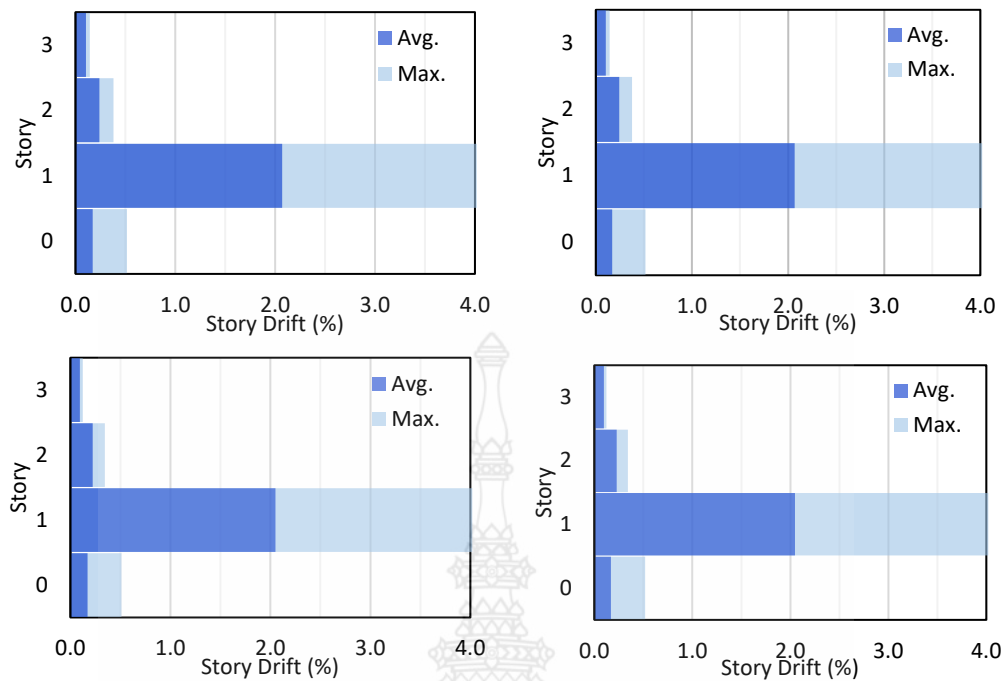
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคาของอาคารสำนักงานรูปทรงสามเหลี่ยม (Office02)

4.2 ผลการวิเคราะห์อาคารด้วยวิธีการตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Nonlinear Response Time History Analysis)

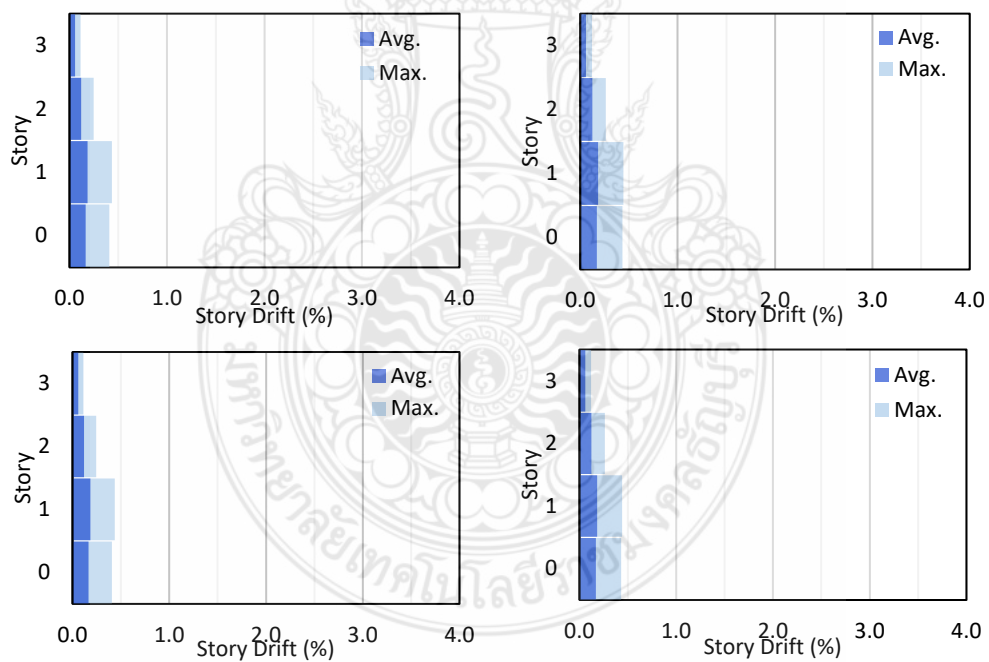
ในงานวิจัยนี้จะประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้วยการสร้างเส้นโค้งความบอบบาง (Fragility Curve) ด้วยวิธีการ Multiple Strip Analysis (MSA) ซึ่งถือเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Nonlinear Response Time History Analysis) เช่นกัน ในการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารจะใช้แผ่นดินไหวที่มีความรุนแรง 4 ระดับ แต่ละระดับจะใช้คลื่นแผ่นดินไหวทั้งหมด 20 คู่ สำหรับแกน x และ แกน y ในการศึกษาจะกำหนดให้ ความเสียหายรุนแรง (Severe Damage) ของโครงสร้างเป็นระดับ DS3 และ DS4 และ อาคารจะเกิดการพังถล่มเมื่อค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่าเกิน 2.8% จากการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01) ทั้ง 4 มุม ที่ตำแหน่ง node 11 node 14 node 71 และ node 74 โดยเป็นค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุด ภายใต้แผ่นดินไหว 20 คลื่น ซึ่งได้จากการตรวจวัด ณ เวลาที่มีการเคลื่อนตัวสูงสุดของชั้นหลังคา พบว่าภายใต้แผ่นดินไหว ความรุนแรงระดับ 0.75DBE DBE MCE และ 1.5MCE มีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารสูงสุดที่ชั้น 1 ประมาณ 2.8% 5.5% 6.8% และ มากกว่า 10% ตามลำดับ สำหรับในแนวแกน y มีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารสูงสุดที่ชั้น 1 เช่นกัน แต่มีค่าไม่เกิน 1% ยกเว้นที่ระดับความรุนแรงแผ่นดินไหว 1.5MCE มีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารสูงสุดประมาณ 2.8% ดังแสดงในรูปที่ 4.12 – 4.15 อย่างไรก็ตามการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารที่ชั้น 1 มีค่าสูงสุด เนื่องจากการจัดวางผนังอิฐก่อที่ชั้นล่างไม่สมมาตรกับชั้นด้านบนเกิดความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง ทำให้อาคารมีชั้นที่อ่อนแอ (Soft Story)



รูปที่ 4.12 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ 0.75DBE

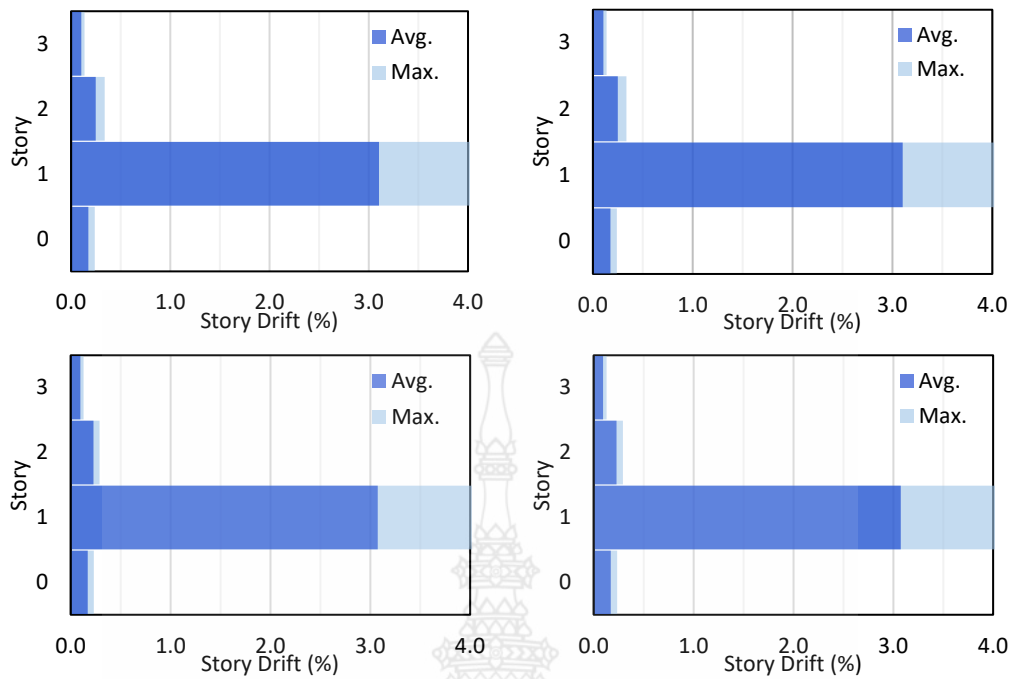


ก) ทิศทางแกน x

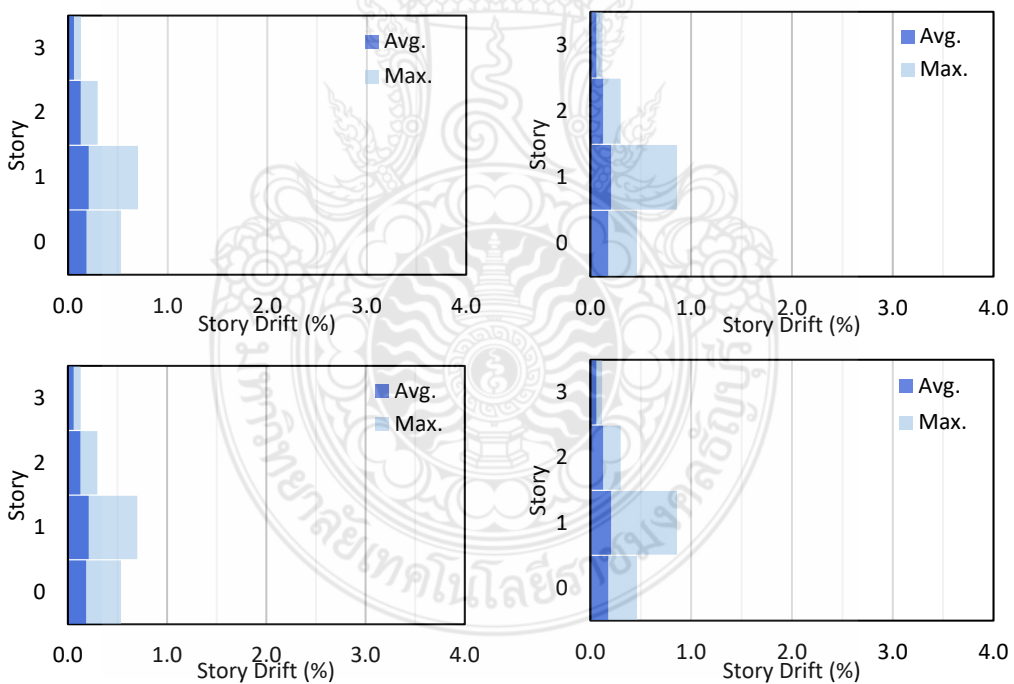


ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.13 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ DBE

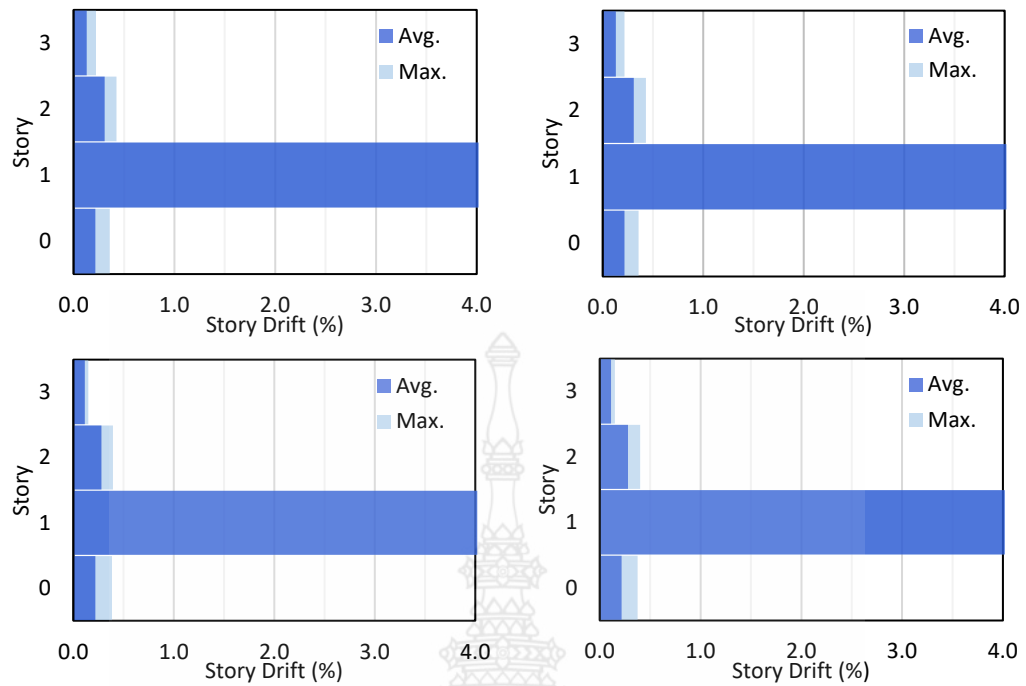


ก) ทิศทางแกน x

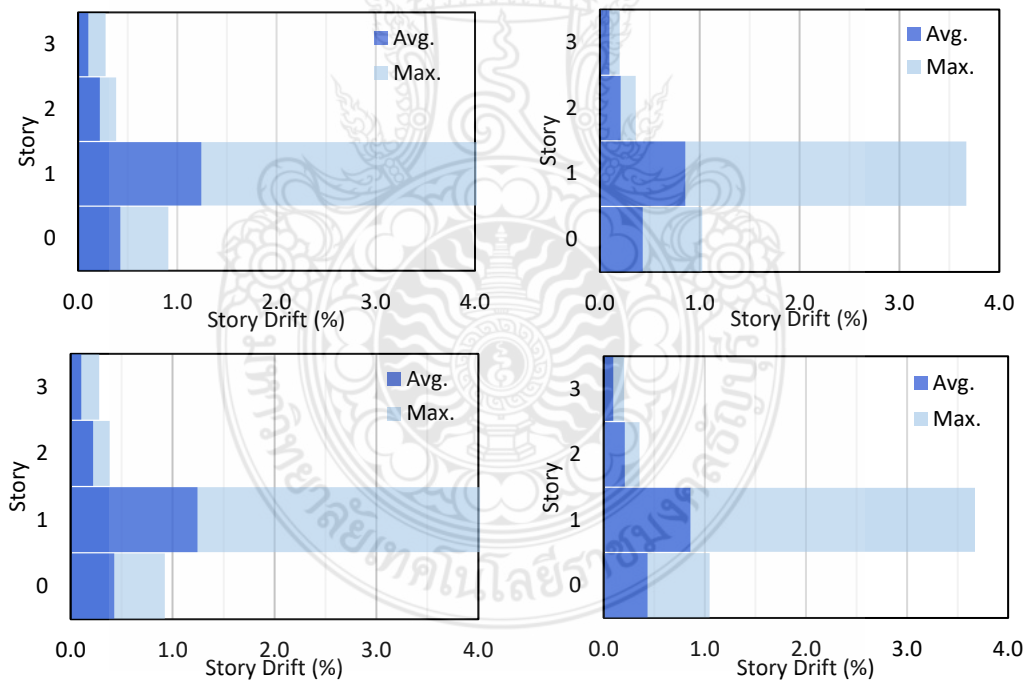


ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.14 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สมมาตร (Commercial01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE



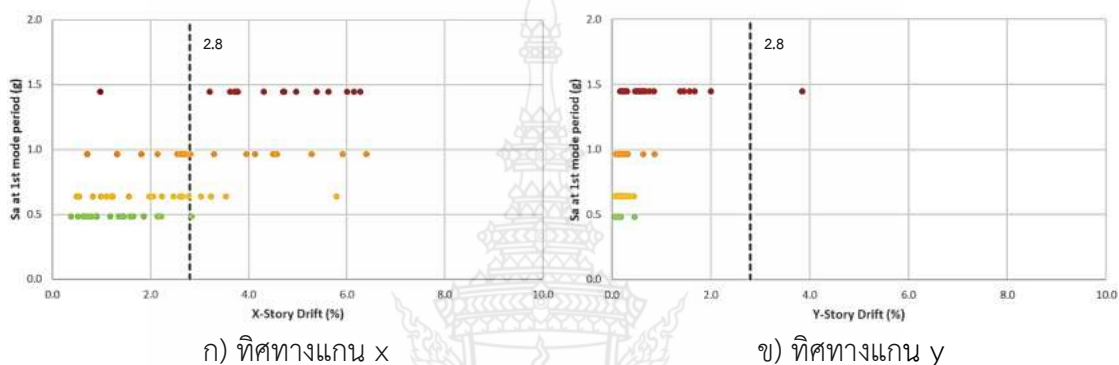
ก) ทิศทางแกน x



ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.15 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ 1.5MCE

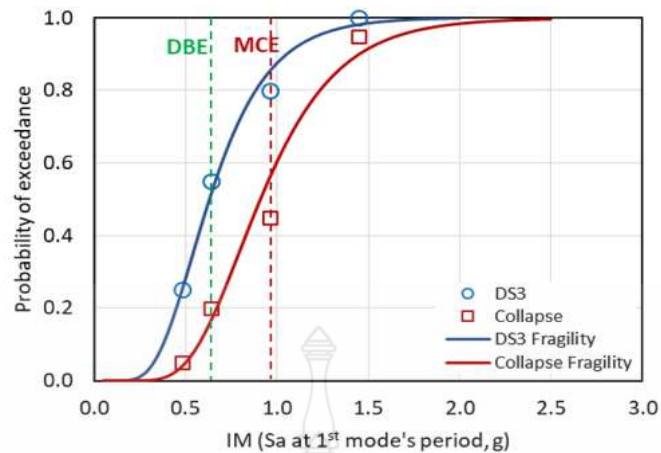
รูปที่ 4.16 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01) และระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่ระดับ 0.75DBE DBE MCE และ 1.5MCE มีค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหวของโครงสร้างโหมดที่ 1 (S_a) เท่ากับ 0.482 0.639 0.963 และ 1.445 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่าที่ระดับความรุนแรงทั้ง 4 ระดับ มีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารสูงสุดในแกน x เกิน 2.8% และแกน y ที่ระดับความรุนแรง MCE มีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารสูงสุดมากกว่า 2.8% โดยภาพรวมสามารถอธิบายได้ว่าหากแผ่นดินไหวมีความรุนแรงมาก การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นก็จะเพิ่มขึ้น และส่งผลให้โครงสร้างเสียหายอย่างรุนแรงพังทลายลงในที่สุด



รูปที่ 4.16 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01) และระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว

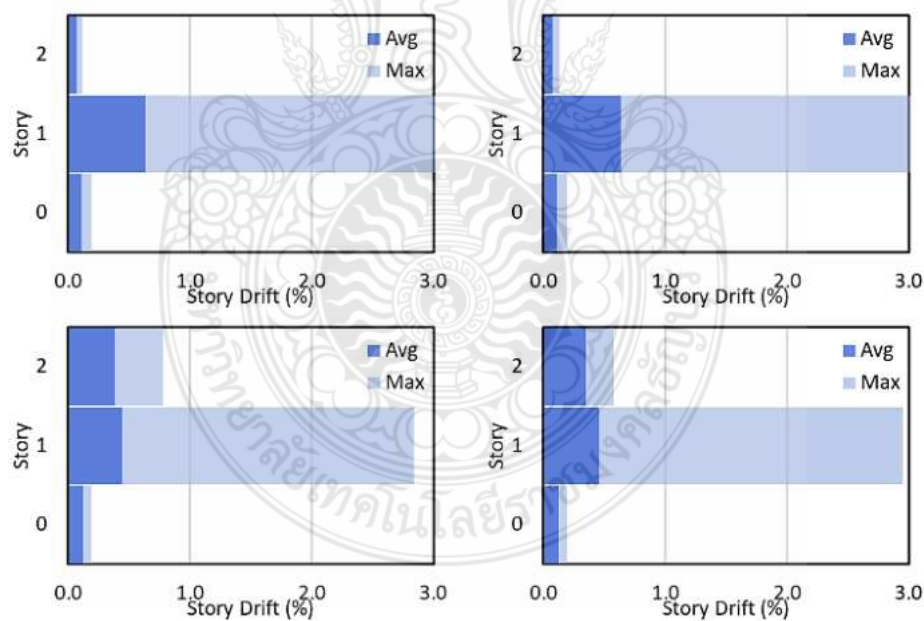
การประเมินสมรรถนะของอาคารด้วยการสร้างเส้นโค้งความบอบบางของอาคารจากข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น ในการวิเคราะห์นั้นแสดงให้เห็นถึงความเป็นที่อาคารจะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงและพังทลายลงภายใต้ความรุนแรงแผ่นดินไหวแต่ละระดับ อาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01) จากรูปที่ 4.17 พบว่าภายใต้ระดับความรุนแรงแผ่นดินไหว DBE มีความน่าจะเป็นที่อาคารจะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรง (DS3 DS4) 50% และโอกาสที่อาคารจะพังถล่ม 20% เมื่อระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้นเป็นระดับ MCE ความน่าจะเป็นที่อาคารจะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงมากถึง 80% ในขณะเดียวกันอาคารมีความเสี่ยงที่จะพังทลายลงประมาณ 60%

สำหรับอาคารตัวอย่างหลังอื่น ๆ จะทำการวิเคราะห์วิธีเดียวกับอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01) จากการวิเคราะห์พบว่าอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอจะมีพฤติกรรมแบบชั้นอ่อน (Soft Story) เนื่องจากการจัดวางผนังอิฐก่อที่ที่ชั้นล่างของอาคารไม่สมมาตรกับผนังอิฐก่อชั้นด้านบน และมีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงภายใต้แผ่นดินไหวระดับ DBE สำหรับอาคารที่มีรูปทรงสม่ำเสมอจะเกิดความเสียหายรุนแรงเมื่อเกิดแผ่นดินไหวระดับ MCE



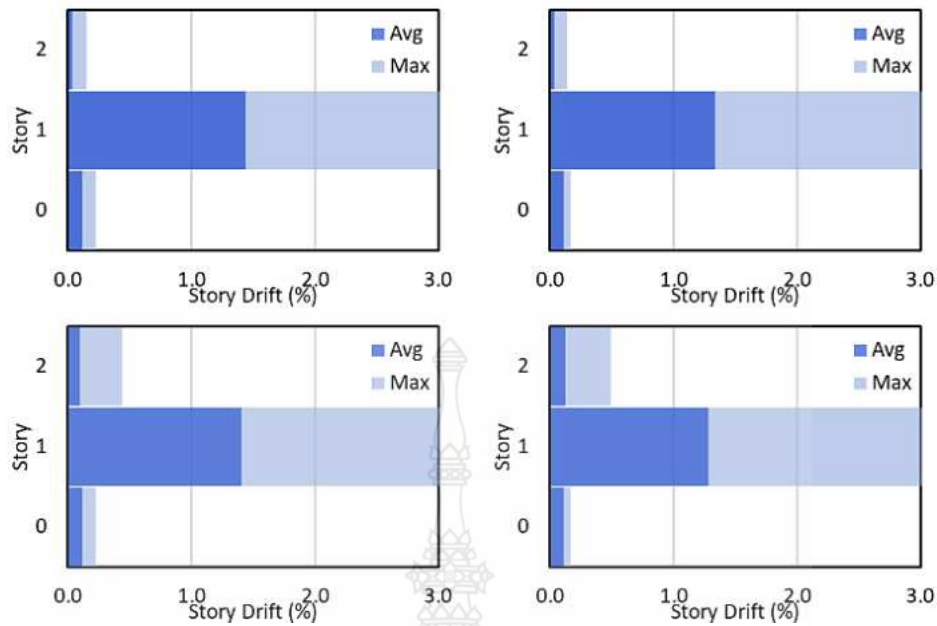
รูปที่ 4.17 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01)

รูปที่ 4.18 แสดงถึงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารเรียนรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (School01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE รูปที่ 4.19 และ 4.20 แสดงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดภายใต้ความรุนแรงแผ่นดินไหวแต่ละระดับ และ เส้นโค้งความบอบบางของอาคารที่แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ



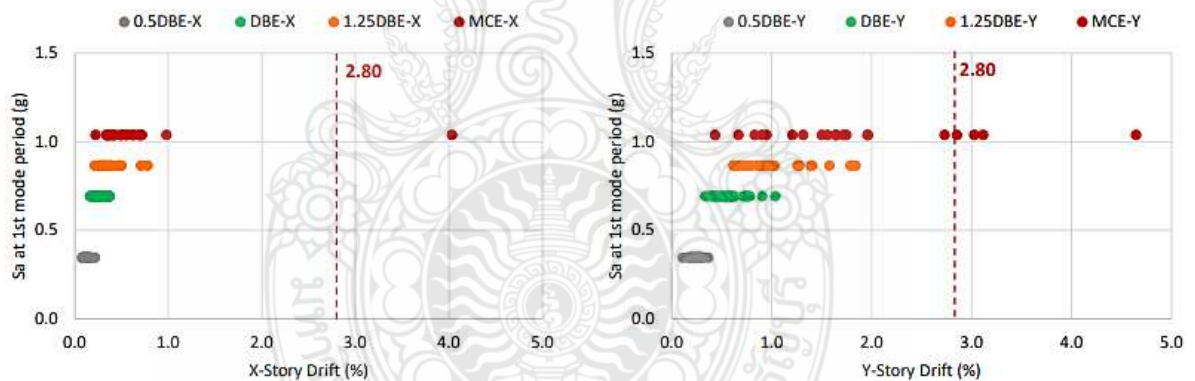
ก) ทิศทางแกน x

รูปที่ 4.18 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารเรียนรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (School01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE



ข) ทิศทางแกน y

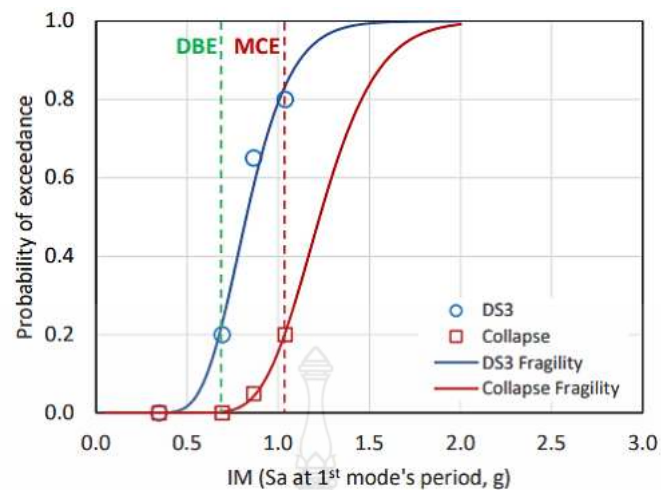
รูปที่ 4.18 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารเรียนรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (School01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE (ต่อ)



ก) ทิศทางแกน x

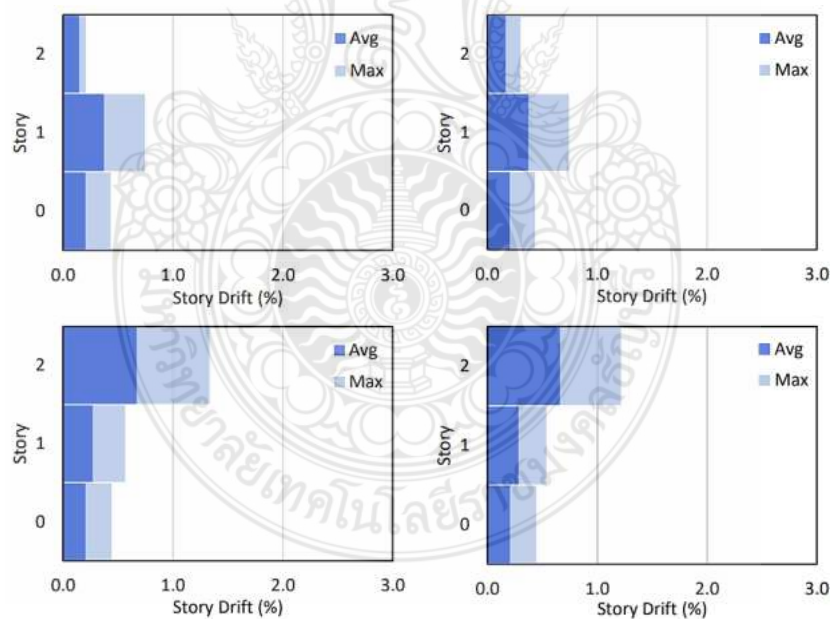
ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.19 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารเรียนรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (School01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับต่าง ๆ



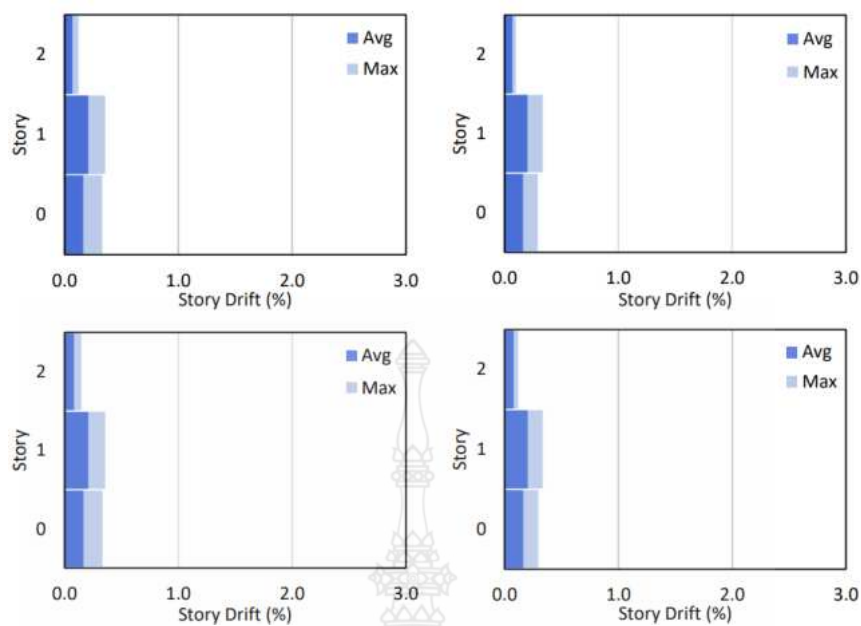
รูปที่ 4.20 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารเรียนรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (School01)

รูปที่ 4.21 แสดงถึงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารเรียนรูปทรงสม่ำเสมอ (School02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE รูปที่ 4.22 และ 4.23 แสดงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดภายใต้ความรุนแรงแผ่นดินไหวแต่ละระดับ และ เส้นโค้งความบอบบางของอาคารที่แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ



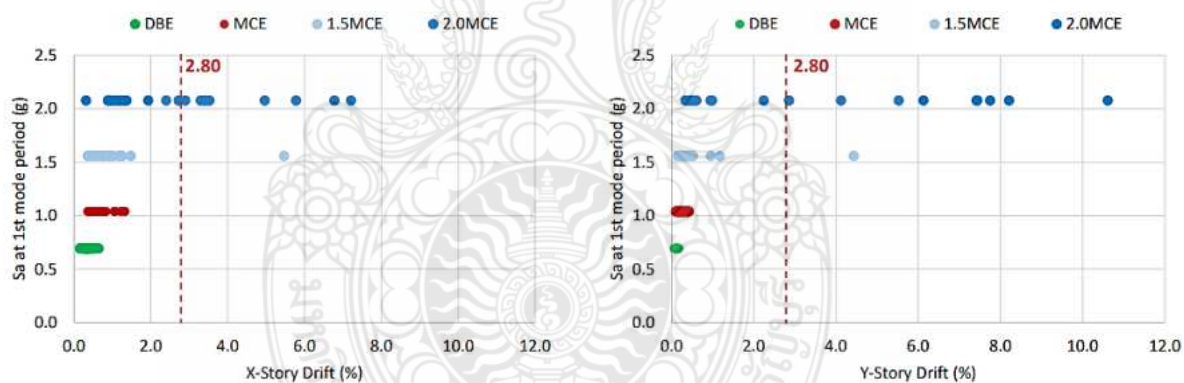
ก) ทิศทางแกน x

รูปที่ 4.21 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารเรียนรูปทรงสม่ำเสมอ (School02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE



ข) ทิศทางแกน y

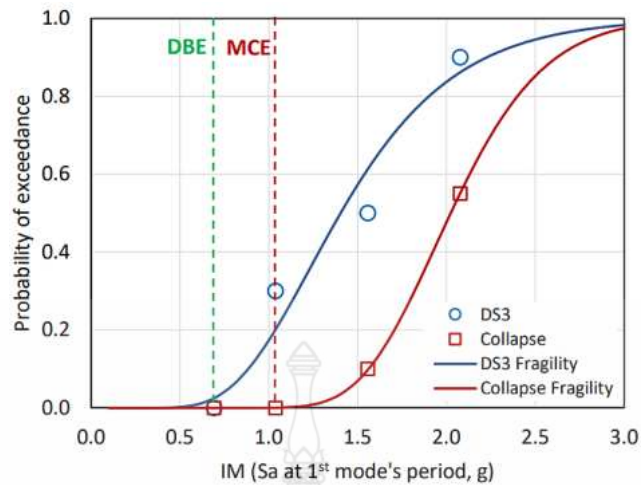
รูปที่ 4.21 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารเรียนรูปทรงสามเหลี่ยม (School02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE (ต่อ)



ก) ทิศทางแกน x

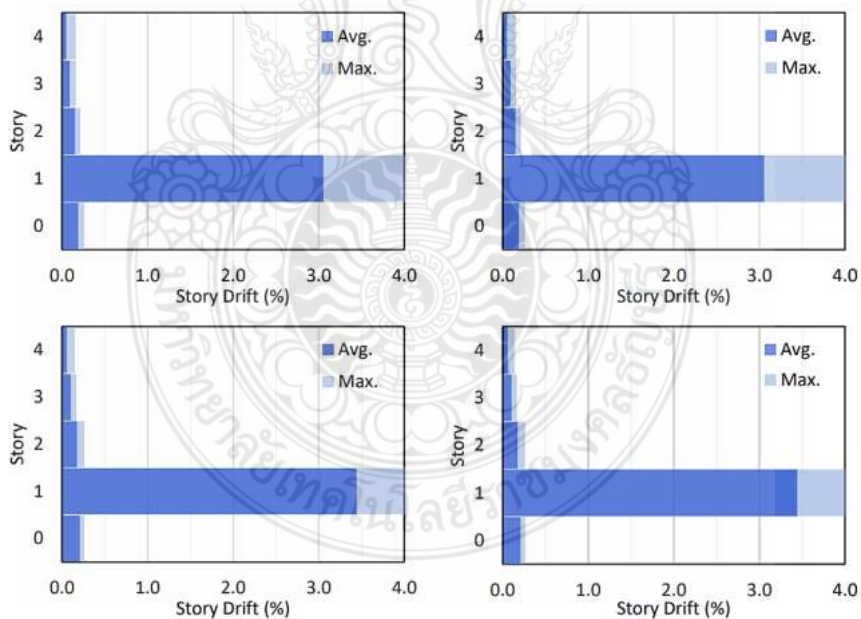
ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.22 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารเรียนรูปทรงสามเหลี่ยม (School02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับต่าง ๆ



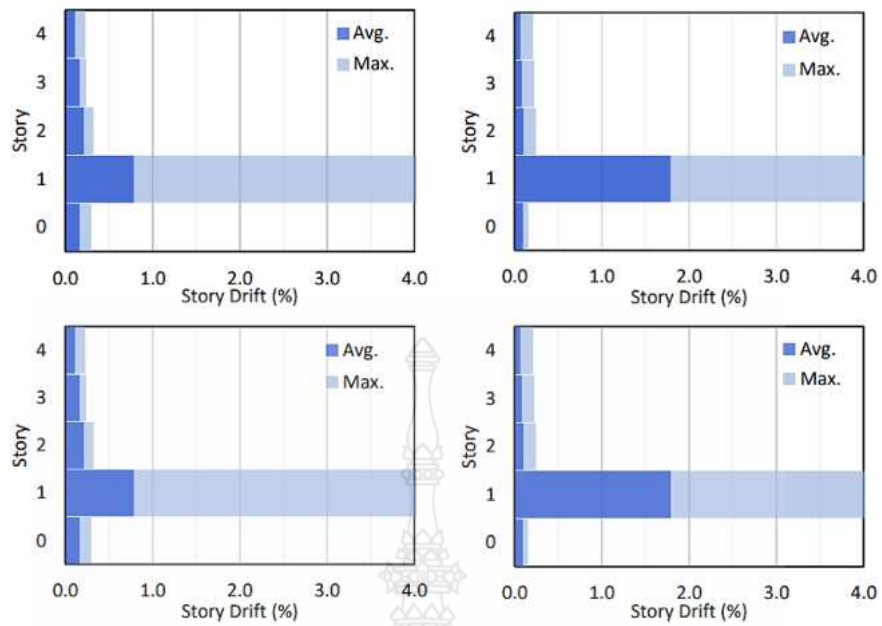
รูปที่ 4.23 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารเรียนรูปทรงสามเหลี่ยม (School02)

รูปที่ 4.24 แสดงถึงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Apartment01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE รูปที่ 4.25 และ 4.26 แสดงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดภายใต้ความรุนแรงแผ่นดินไหวแต่ละระดับ และ เส้นโค้งความบอบบางของอาคารที่แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ



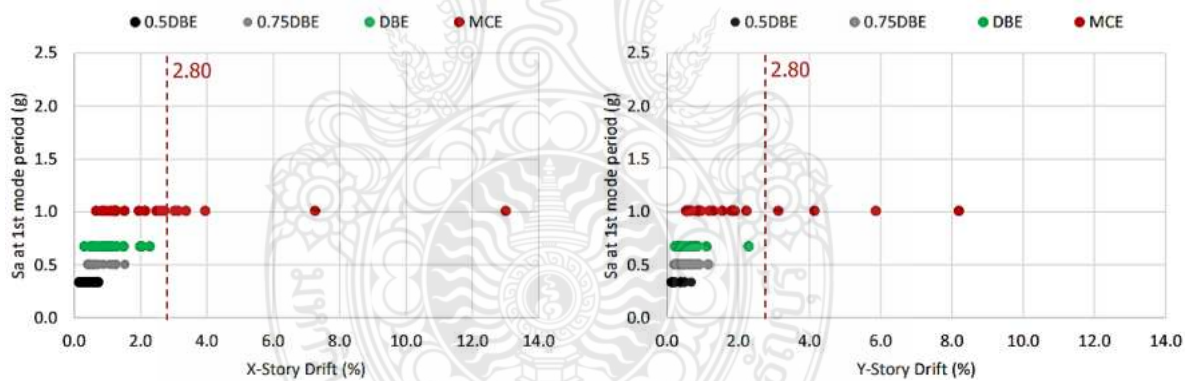
ก) ทิศทางแกน x

รูปที่ 4.24 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Apartment01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE



ข) ทิศทางแกน y

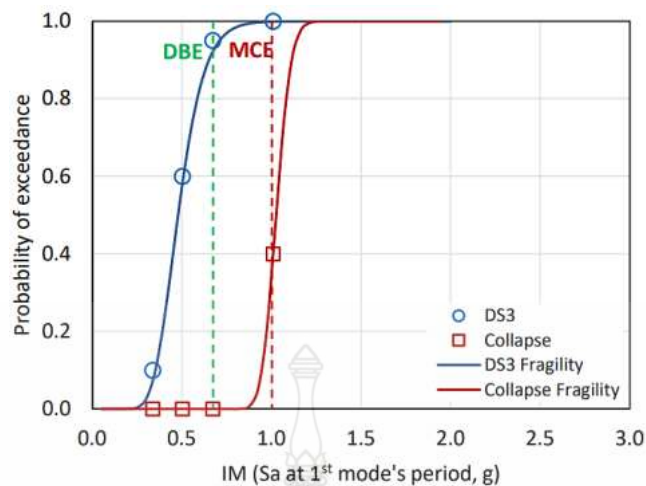
รูปที่ 4.24 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Apartment01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE (ต่อ)



ก) ทิศทางแกน x

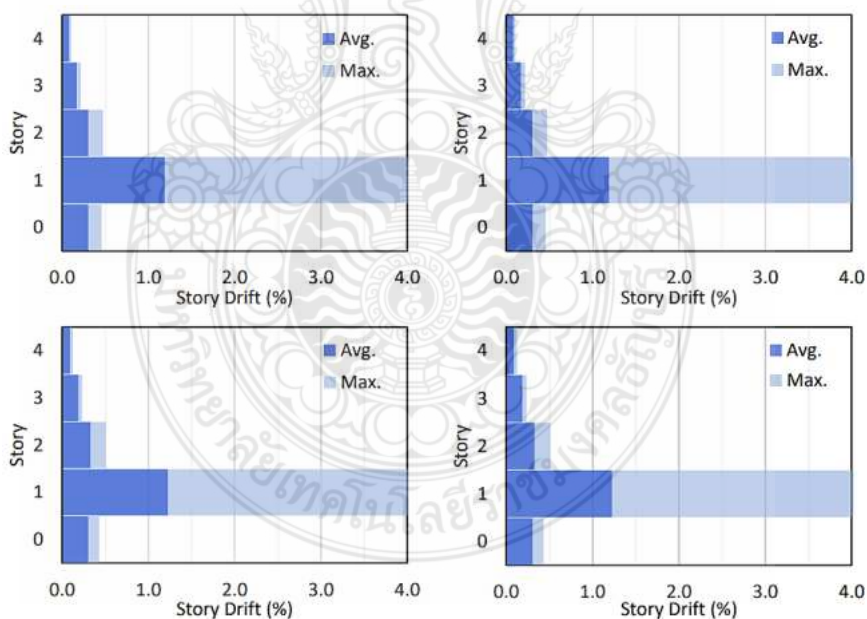
ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.25 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Apartment01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับต่าง ๆ



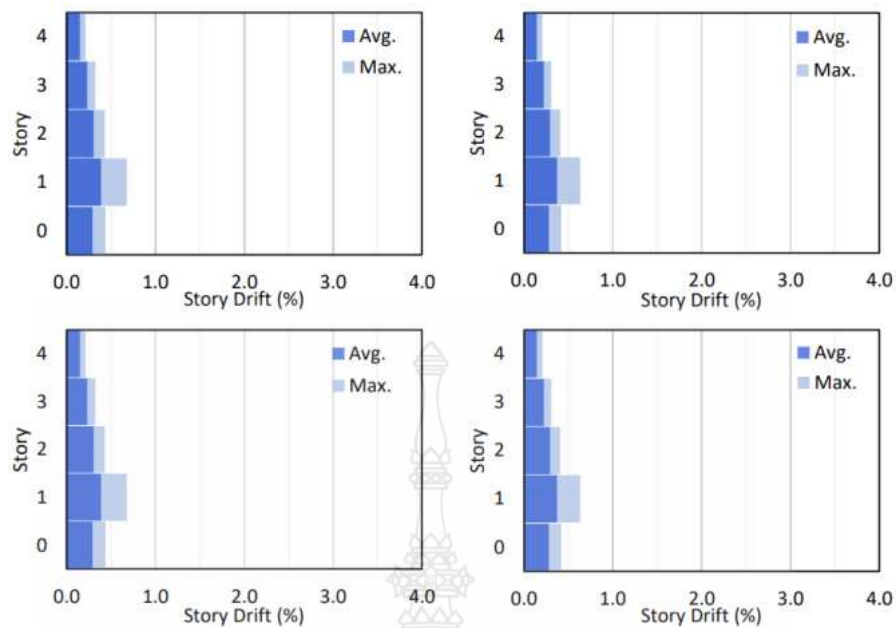
รูปที่ 4.26 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Apartment01)

รูปที่ 4.27 แสดงถึงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงสม่ำเสมอ (Apartment02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE รูปที่ 4.28 และ 4.29 แสดงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดภายใต้ความรุนแรงแผ่นดินไหวแต่ละระดับ และ เส้นโค้งความบอบบางของอาคารที่แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ



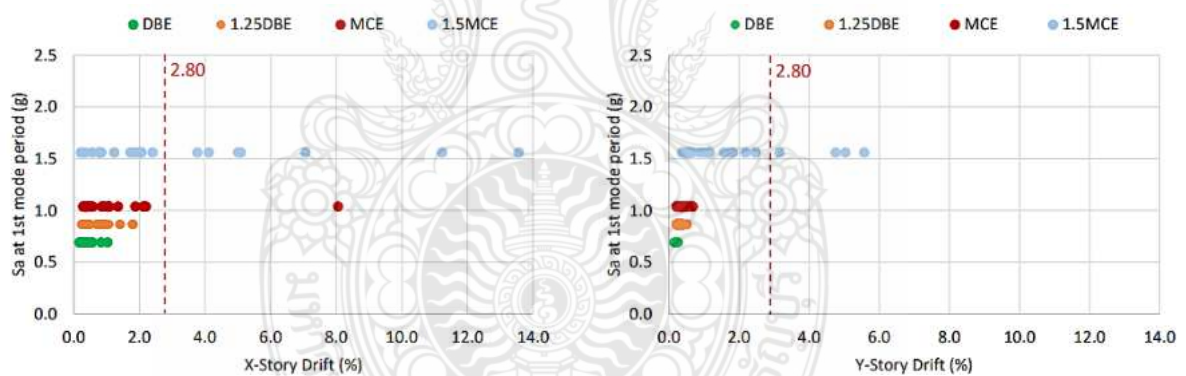
ก) ทิศทางแกน x

รูปที่ 4.27 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงสม่ำเสมอ (Apartment02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE



ข) ทิศทางแกน y

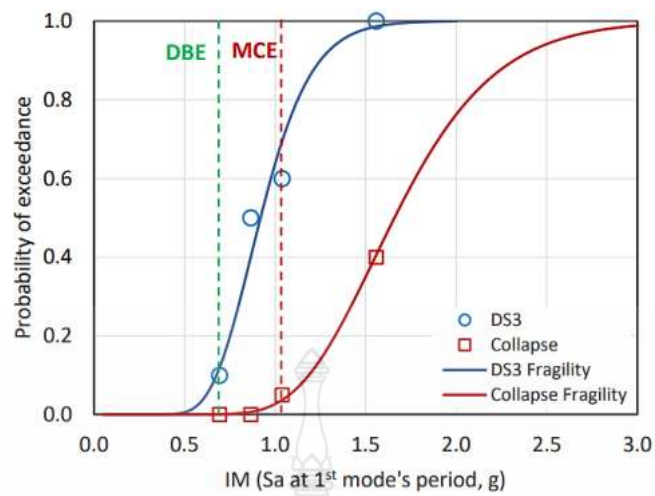
รูปที่ 4.27 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงสามเหลี่ยม (Apartment02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE (ต่อ)



ก) ทิศทางแกน x

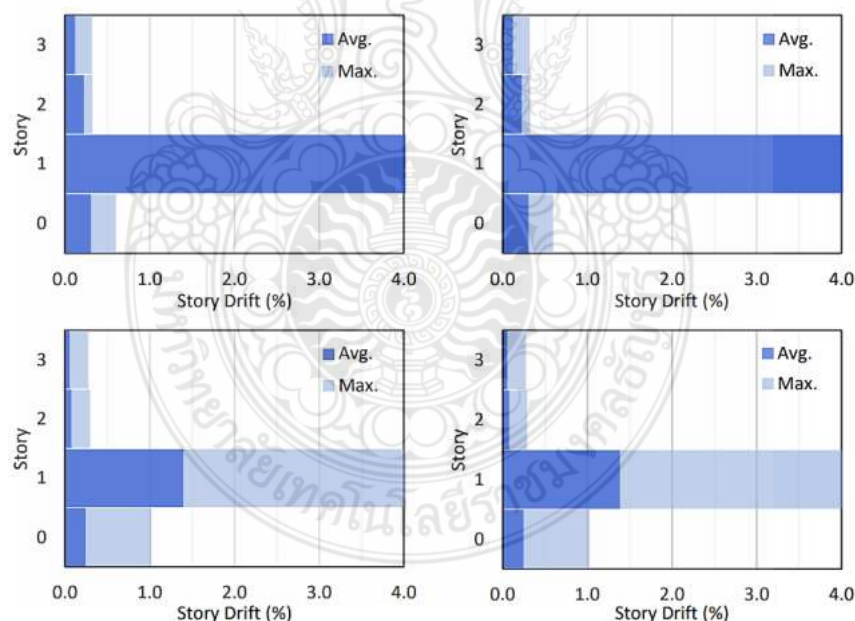
ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.28 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงสามเหลี่ยม (Apartment02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับต่าง ๆ



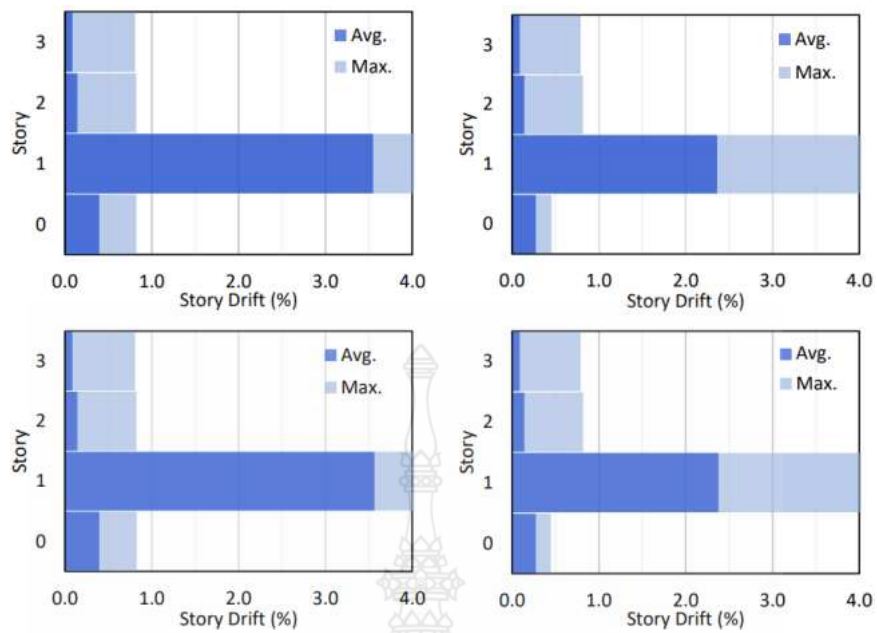
รูปที่ 4.29 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงสามเหลี่ยม (Apartment02)

รูปที่ 4.30 แสดงถึงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารสำนักงานรูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Office01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE รูปที่ 4.31 และ 4.32 แสดงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดภายใต้ความรุนแรงแผ่นดินไหวแต่ละระดับ และ เส้นโค้งความบอบบางของอาคารที่แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ



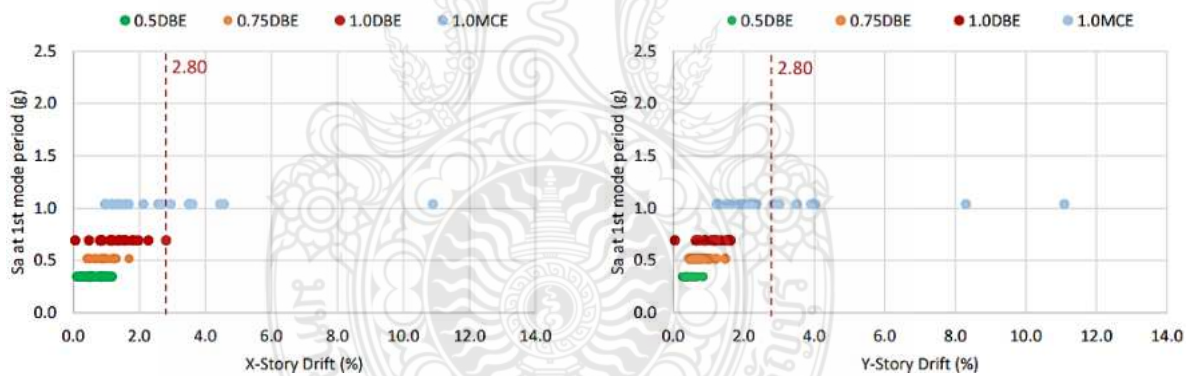
ก) ทิศทางแกน x

รูปที่ 4.30 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารสำนักงานรูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Office01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE



ข) ทิศทางแกน y

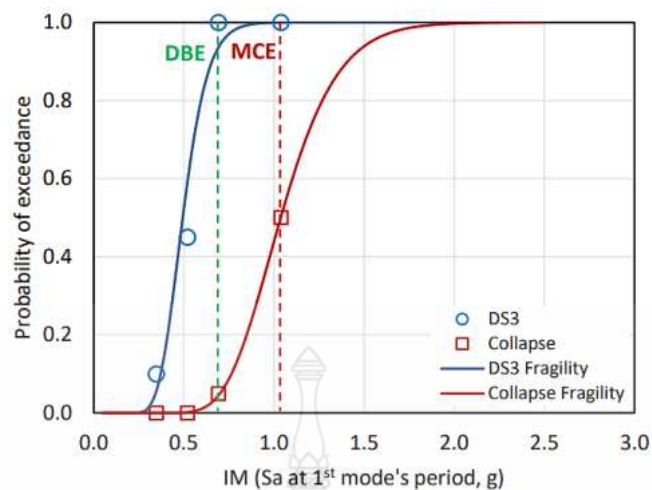
รูปที่ 4.30 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารสำนักงานรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Office01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE (ต่อ)



ก) ทิศทางแกน x

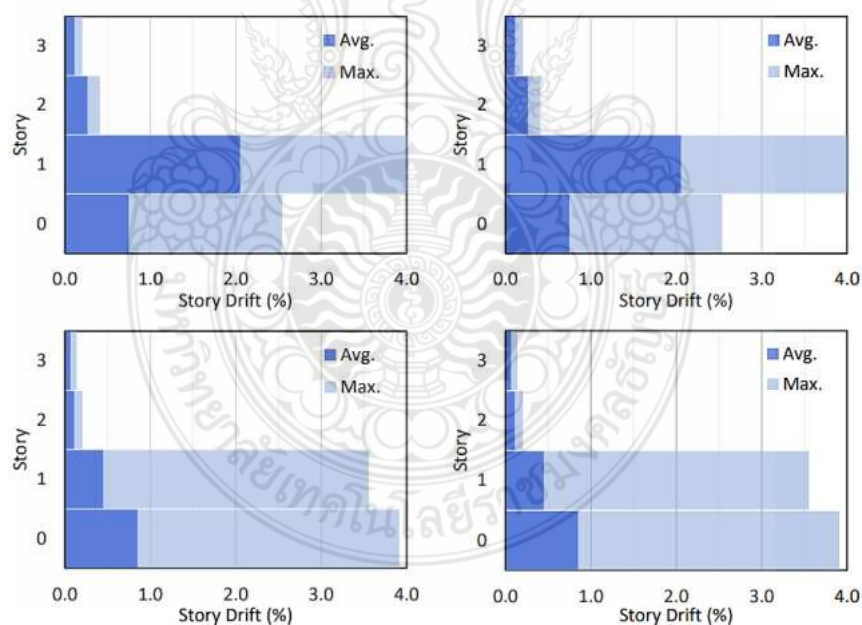
ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.31 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารสำนักงานรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Office01) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับต่าง ๆ



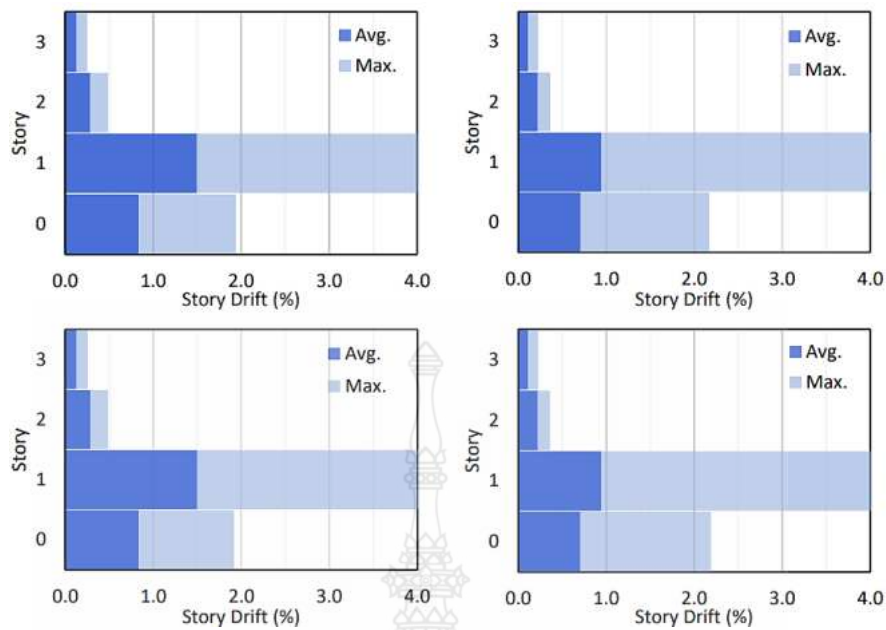
รูปที่ 4.32 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารสำนักงานรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Office01)

รูปที่ 4.33 แสดงถึงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดทั้ง 4 มุม ของอาคารสำนักงานรูปทรงสม่ำเสมอ (Office02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE รูปที่ 4.34 และ 4.35 แสดงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดภายใต้ความรุนแรงแผ่นดินไหวแต่ละระดับ และ เส้นโค้งความบอบบางของอาคารที่แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ



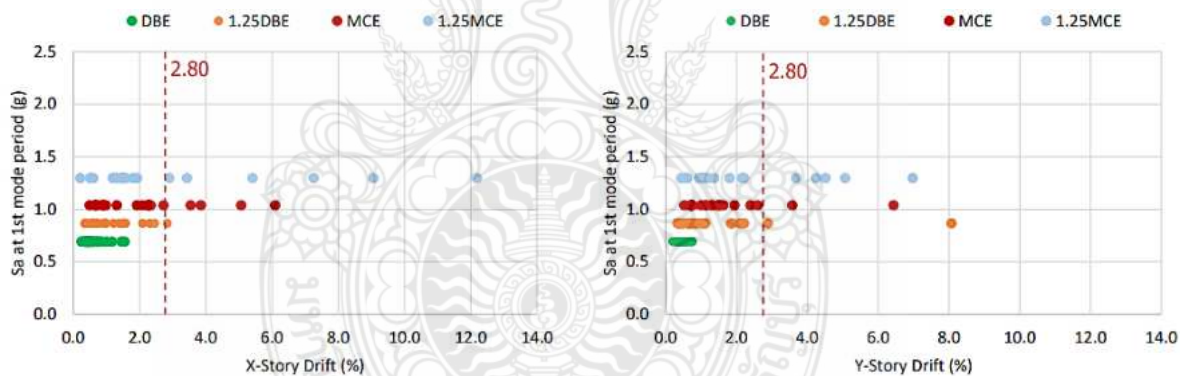
ก) ทิศทางแกน x

รูปที่ 4.33 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารสำนักงานรูปทรงสม่ำเสมอ (Office02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE



ข) ทิศทางแกน y

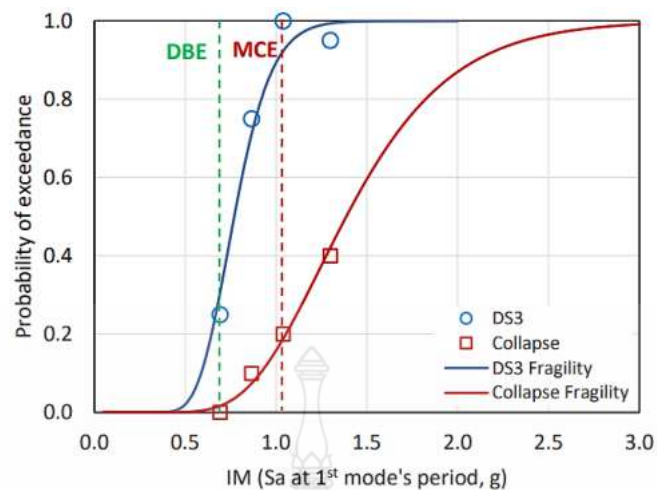
รูปที่ 4.33 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยและสูงสุดของอาคารสำนักงานรูปทรงสามเหลี่ยม (Office02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE (ต่อ)



ก) ทิศทางแกน x

ข) ทิศทางแกน y

รูปที่ 4.34 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารสำนักงานรูปทรงสามเหลี่ยม (Office02) ภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับต่าง ๆ



รูปที่ 4.35 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารสำนักงานรูปทรงสามเหลี่ยม (Office02)

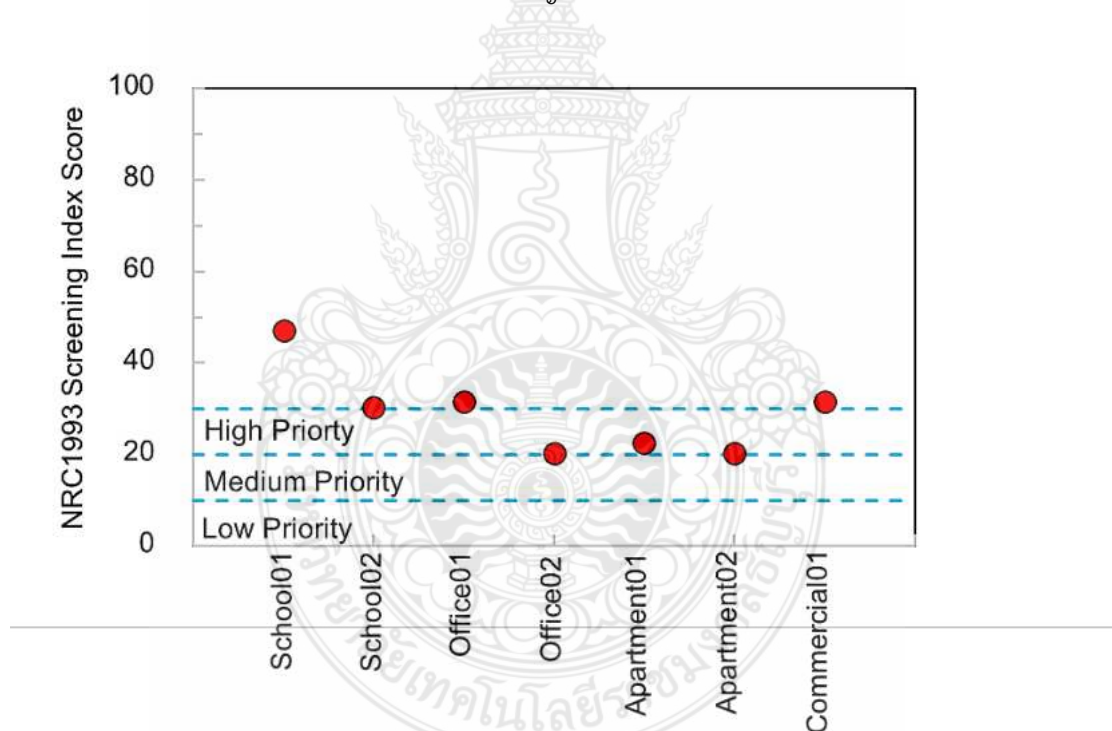
จากผลการวิเคราะห์ของอาคารตัวอย่างทั้ง 7 หลัง พบว่าภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ MCE ($S_a = 0.963$) อาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอมีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงประมาณ 0.8 – 1 และมีโอกาสที่อาคารจะพังถล่มประมาณ 0.2 – 0.5 ในขณะที่อาคารที่มีรูปทรงสม่ำเสมอภายใต้ความรุนแรงแผ่นดินไหวเดียวกันจะมีโอกาสที่จะได้รับความเสียหายรุนแรงอยู่ในช่วง 0.3 – 1.0 และมีแนวโน้มว่าอาคารจะพังถล่มอยู่ในช่วง 0.0 – 0.2 จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอมีความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวมากกว่าอาคารรูปทรงสามเหลี่ยม เนื่องจากอาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอจะมีผนังชั้นล่างน้อยทำให้เกิดพฤติกรรมแบบชั้นอ่อน ส่งผลให้สติฟเนสของอาคารลดลงอย่างมาก ซึ่งพฤติกรรมนี้ไม่สามารถประเมินตรวจสอบจากรูปทรงของอาคารเพียงอย่างเดียว จึงต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างแบบไม่เชิงเส้นในการตรวจสอบเท่านั้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยวิธีแบบไม่เชิงเส้นสามารถบ่งบอกถึงความเสี่ยงภัยของอาคารจากแผ่นดินไหวได้ แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีแบบไม่เชิงเส้นนั้นใช้เวลาในการวิเคราะห์ค่อนข้างนานและใช้ทรัพยากรค่อนข้างมาก จึงเป็นเหตุผลการพิจารณาที่รวดเร็วกว่านี้และให้ผลการประเมินที่ยอมรับได้

4.3 ผลการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่างด้วยวิธีอย่างรวดเร็ว

4.3.1 National Research Council of Canada (NRC, 1993)

ในการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีนี้จะเป็นการประเมินอย่างรวดเร็วด้วยวิธีการสังเกตภายใต้การพิจารณาแผ่นดินไหวความรุนแรงสูงสุด โดยมีอาคารตัวอย่างสำหรับการประเมินทั้งหมด 7 หลัง ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 หากว่าค่าดัชนีลำดับความสำคัญทางแผ่นดินไหวของอาคาร (Seismic Priority Index, SPI) น้อยกว่า 10 หมายถึงอาคารมีลำดับความสำคัญน้อย หาก SPI อยู่ระหว่าง 10 – 20 อาคารมีลำดับความสำคัญปานกลาง ถ้า SPI มากกว่า 20 แสดงว่าอาคารลำดับความสำคัญมาก และถ้า SPI มากกว่า 30 จะถือว่าอาคารหลังนั้นเป็นอาคารที่มีความอ่อนไหวสูง อาจมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวจากการประเมินดังรูปที่ 4.36 พบว่าอาคารเรียนรูปทรงไม่

ส้วม (School01) อาคารเรียนรูปทรงส้วม (School02) อาคารสำนักงานรูปทรงไม่ส้วม (Office01) และ อาคารพาณิชย์รูปทรงไม่ส้วม (Commercial01) มีค่าดัชนี SPI มากถึง 47.25 30.38 31.50 และ 31.50 ตามลำดับ นั้นแสดงถึงว่าอาคารมีความมีความอ่อนไหวสูง และอาจมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว เนื่องจากชั้นล่างของอาคารดังกล่าวเป็นลักษณะเปิดโล่ง หรือมีการจัดวางของผนังอิฐก่อที่ชั้นล่างไม่เหมือนชั้นด้านบน ทำให้มีชั้นที่อ่อนแอ (Soft Story) อีกทั้งยังมีปัจจัยจากคะแนนของจำนวนผู้เข้าใช้อาคารแต่ละประเภทที่ส่งผลให้ค่าดัชนีความสำคัญทางแผ่นดินไหวสูงขึ้น สำหรับอาคารอีกกลุ่มจะเป็นอาคารที่มีลำดับความสำคัญทางแผ่นดินไหวสูง ได้แก่ อาคารสำนักงานรูปทรงส้วม (Office02) อาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงไม่ส้วม (Apartment01) และ อาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงส้วม (Apartment02) ซึ่งมีดัชนีลำดับความสำคัญทางแผ่นดินไหวเท่ากับ 20.25 22.5 และ 20.50 ซึ่งให้เห็นว่าอาคารดังกล่าวมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว อย่างไรก็ตามวิธีการประเมินอย่างรวดเร็วดังกล่าวไม่ใช่การประเมินวัดระดับความเสียหายของอาคารจากแผ่นดินไหวอย่างแท้จริง แต่เป็นการประเมินเบื้องต้นเพื่อตัดสินใจว่าอาคารควรมีการประเมินอย่างละเอียดมากขึ้นตามลำดับความสำคัญ (SPI)

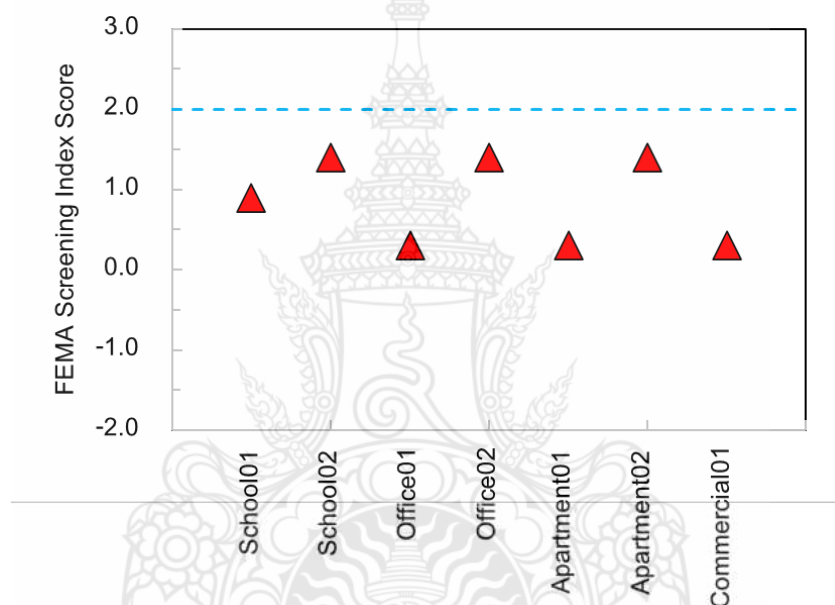


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความอ่อนไหวของอาคารทั้ง 7 หลัง ด้วยวิธีการประเมินของ NRC (1993)

4.3.2 Federal Emergency Management Agency (FEMA154, 2015)

การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารวิธีนี้เป็นการสำรวจลักษณะโดยทั่วไปของอาคารด้วยวิธีอย่างรวดเร็วภายใต้การพิจารณาแผ่นดินไหวความรุนแรงสูงสุด (MCE) จากการสำรวจของข้อมูลไม่สามารถระบุที่ประเภทชั้นดินที่ตั้งของอาคารได้ ในวิธีนี้ได้ให้แนวทางไว้ว่าหากไม่ทราบข้อมูลชั้นดินสามารถตั้งสมมติฐานได้ว่าเป็นประเภทดินแข็ง (Soil Type D) ซึ่งพื้นที่ที่ตั้งอาคารอยู่ในโซน

แผ่นดินไหวสูงปานกลางของแบบประเมิน สามารถตรวจสอบได้จากค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_0) และ คาบการสั่น 1 วินาที (S_1) ในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนอาคารและความเสี่ยงที่อาคารจะเกิดการพังถล่มจากคะแนนขั้นต่ำเท่ากับ 2 จากรูปที่ 4.37 จะแสดงให้เห็นว่าอาคารทั้ง 7 หลังมีคะแนนอาคารต่ำกว่า 2 ซึ่งหมายความว่าอาคารแต่ละหลังมีโอกาสที่จะพังถล่มมากกว่าร้อยละ 0.01 และควรได้รับการประเมินอย่างละเอียดต่อไป ซึ่งในแบบประเมินอาคารวิธีนี้จะให้คะแนนพื้นฐาน (Basic Score) อย่างไรก็ตามการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีนี้ เป็นการประเมินโครงสร้างอาคารเพื่อบ่งบอกถึงความน่าจะเป็นที่อาคารจะพังถล่มหากเกิดแผ่นดินไหวและควรทำการประเมินอย่างละเอียดต่อไปหรือไม่ แต่ไม่สามารถบ่งบอกถึงระดับความเสียหายของอาคารได้

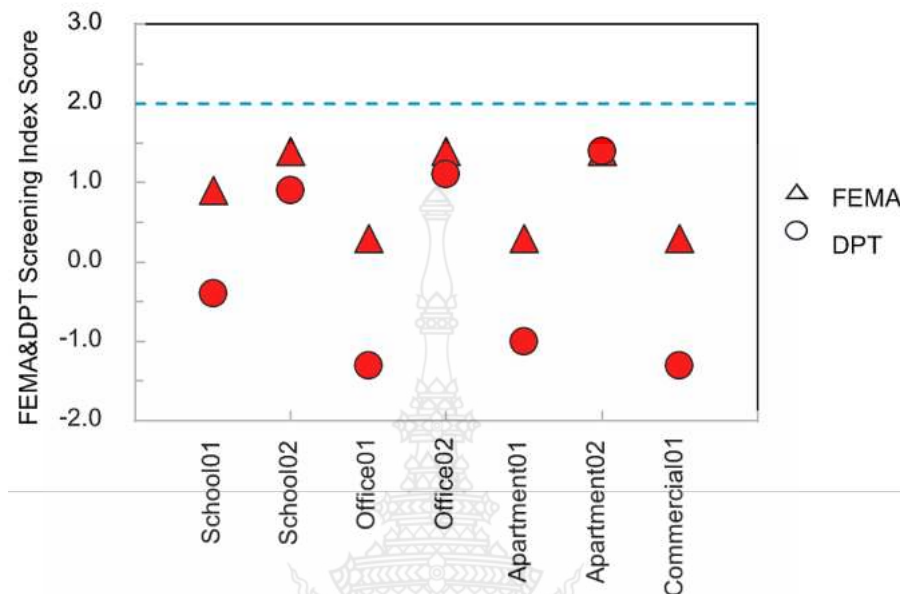


รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีของ FEMA154 (2015)

4.3.3 กรมโยธาธิการและผังเมือง (DPT, 2563)

การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารวิธีนี้เป็นการสำรวจลักษณะโดยทั่วไปของอาคาร ด้วยวิธีอย่างรวดเร็วกว่าแผ่นดินไหวความรุนแรงสูงสุด (MCE) ซึ่งมีวิธีที่คล้ายคลึงกับวิธีของ FEMA154 (2015) แต่จะมีการปรับปรุงให้สอดคล้องกับอาคารในประเทศไทย โดยที่อาคารทั้ง 7 หลังจะตั้งอยู่ในโซนแผ่นดินไหวระดับสูงของแบบประเมิน ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากค่าได้จากค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_0) และ คาบการสั่น 1 วินาที (S_1) ในการประเมินนี้มีสมมติฐานลักษณะของชั้นดินของอาคารเป็นดินอ่อน (Soil Type E) เนื่องจากไม่ทราบข้อมูลดินที่แน่ชัด ตามคำแนะนำของวิธีการประเมินของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) จากการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีนี้พบว่า อาคารทั้ง 7 หลัง มีคะแนนต่ำกว่า 2 ซึ่งหมายถึงซึ่งหมายความว่าอาคารแต่ละหลังมีโอกาสที่จะพังถล่มมากกว่าร้อยละ 0.01 และควรได้รับ

การประเมินอย่างละเอียดต่อไป จากการประเมินวิธีนี้จะสังเกตได้ว่าคะแนนของอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการประเมินของ FEMA154 (2015) ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 กราฟเปรียบเทียบคะแนนอาคารของการประเมินด้วยวิธี FEMA154 (2015) และ วิธีการประเมินของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563)

4.3.4 National Center for Research on Earthquake Engineering (NCREE, 2017)

สำหรับการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีนี้เป็นการสำรวจโครงสร้างสร้างร่วมกับการคำนวณดัชนีภายใต้แผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ (DBE) เนื่องจากอาคารมีการจัดวางรูปแบบผนังตามแนวแกน x และ แนวแกน y ที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นในการพิจารณาความแข็งแรงของอาคารจึงต้องทำการประเมินอาคารทั้ง 2 แกน เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงได้รวบรวมข้อมูลของอาคารเรียนเพื่อใช้ในการประเมินดังตารางที่ 4.2 โดยจะคิดพื้นที่หน้าตัดเสา (A_c) พื้นที่หน้าตัดผนังที่มีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิด เฉพาะชั้นแรก ($A_{bw3,4}$) และ พื้นที่ใช้สอยตั้งแต่ชั้น 2 ขึ้นไป (A_f)

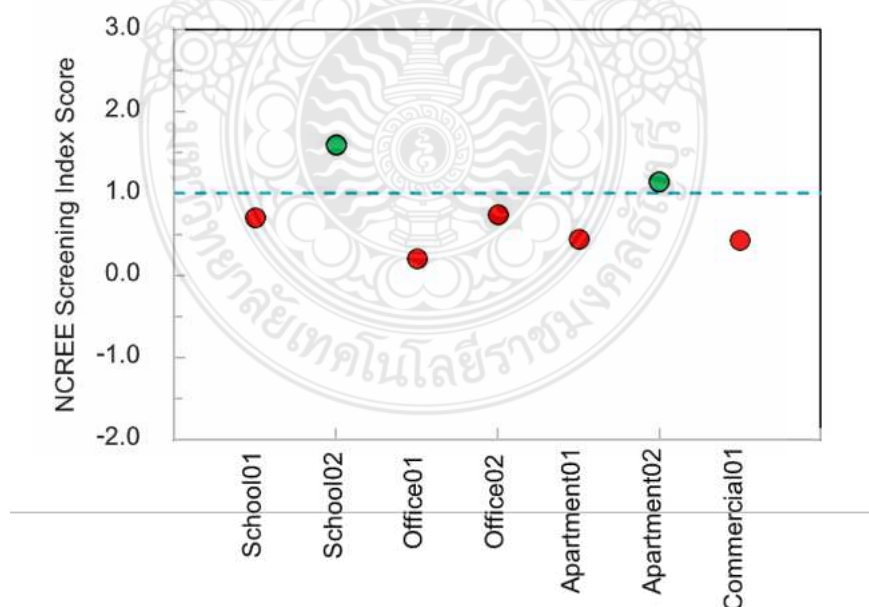
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลอาคารตัวอย่างทั้ง 7 หลัง สำหรับการประเมินด้วยวิธีการของ NCREE (2015)

อาคาร	แกน	A_f ม. ²	A_c ม. ²	A_{bw3} ม. ²	A_{bw4} ม. ²	I_s
School01	X-X	313.2	2.16	-	1.8	0.971
	Y-Y			-	0.6	0.712
School02	X-X	313.2	2.16	7.2	0.9	2.022
	Y-Y			5.1	0.6	1.594
Office01	X-X	512	1.5	-	2	0.416
	Y-Y			-	0.8	0.215
Office02	X-X	512	1.5	-	3.2	0.617

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลอาคารตัวอย่างทั้ง 7 หลัง สำหรับการประเมินด้วยวิธีการของ NCREE (2015) (ต่อ)

อาคาร	แกน	A_f ม. ²	A_c ม. ²	A_{bw3} ม. ²	A_{bw4} ม. ²	I_s
Apartment01	Y-Y	720	1.5	-	4	0.751
	X-X			0.8	2	0.450
Apartment02	Y-Y	720	1.5	-	3.5	0.590
	X-X			3.6	4	1.139
Commercial01	Y-Y	576	1.68	5	6	1.646
	X-X			-	2.4	0.436
	Y-Y			-	8.4	1.333

ในการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารทั้ง 7 หลัง ด้วยวิธีของ NCREE (2017) พบว่ามีอาคารที่มีรูปแบบผนังอิฐก่อที่แบบมีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิด ส่งผลต่อความแข็งแรงของอาคาร ในการต้านทานแผ่นดินไหว จึงต้องทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เพื่อแปลงเป็นหน้าตัดเสาเทียบเท่าที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 รูปที่ 3.17 จากการประเมินจะทำให้ทราบค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคาร (I_s) ซึ่งเป็นสัดส่วนของแรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นเทียบกับความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวของโครงสร้างที่พิจารณาทิศทางทั้งแกน x และ y ของอาคาร ในงานศึกษานี้จะใช้ค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคาร (I_s) ที่น้อยสุดระหว่างแกน x และ y นำมาสร้างกราฟความอ่อนไหวของอาคาร โดยหากค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารน้อยกว่า 1 หมายถึงอาคารมีความอ่อนไหวสูงและมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความอ่อนไหวของอาคารโดยใช้ดัชนีชี้วัดเท่ากับ 1

จากรูปที่ 4.39 จะเห็นได้ว่าอาคารเรียนรูปทรงสามเหลี่ยม (School02) และ อาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงสามเหลี่ยม (Apartment02) มีดัชนีความอ่อนไหวของอาคาร (I_s) เท่ากับ 1.594 และ 1.139 ตามลำดับ มีค่ามากกว่า 1 เนื่องจากอาคารทั้ง 2 หลัง มีเสาคอนกรีตขนาดใหญ่และผนังอิฐก่อที่เยอะ เมื่อนำพื้นที่หน้าตัดเสาและผนังอิฐก่อมาคำนวณรวมกับการประเมินทำให้อาคารทั้ง 2 หลังมีความเสี่ยงต่ำที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว สำหรับอาคารเรียนรูปทรงไม่สามเหลี่ยม (School01) อาคารสำนักงานรูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Office01) อาคารสำนักงานรูปทรงสามเหลี่ยม (Office02) อาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Apartment01) และ อาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สามเหลี่ยม (Commercial01) มีค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคาร (I_s) ต่ำกว่า 1 ซึ่งให้เห็นว่าอาคารดังกล่าวมีความเสี่ยงในเรื่องของความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวและควรได้รับการประเมินด้วยวิธีอย่างละเอียดต่อไป

4.3.5 Tohoku University (Islam et al., 2017)

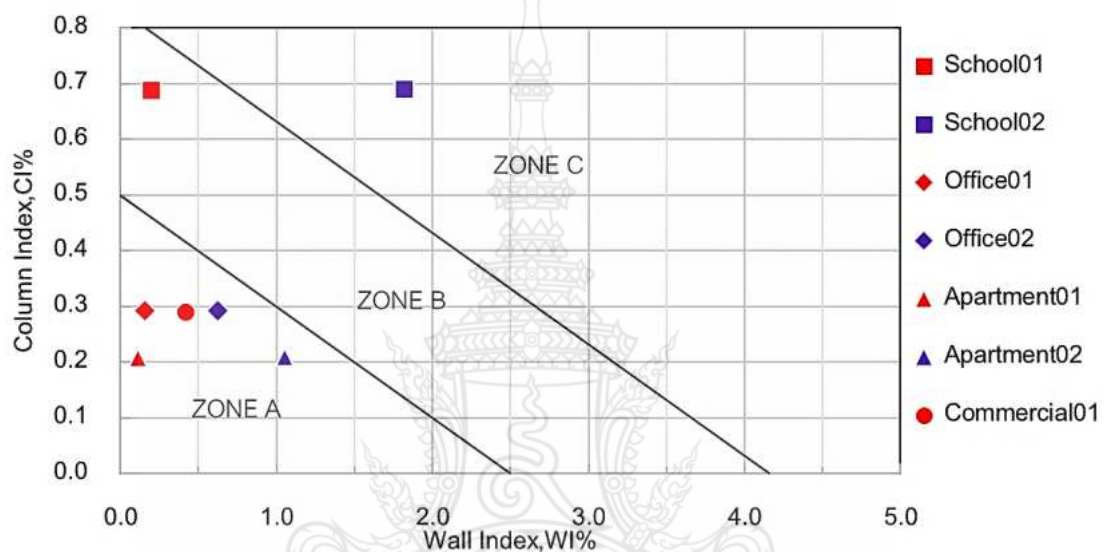
สำหรับการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีนี้เป็นการสำรวจโครงสร้างสร้างร่วมกับการคำนวณดัชนีภายใต้แผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ (DBE) ในการประเมินวิธีนี้จะใช้ข้อมูลอาคารดังตารางที่ 4.3 ในการคำนวณดัชนีของเสา (Column Index, CI) และ ดัชนีของผนัง (Wall Index, WI) จากการประเมินพบว่าภายใต้ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ($S_{DS} = 0.693$) อาคารสำนักงาน อาคารอยู่อาศัยรวม และอาคารพาณิชย์ มีค่าดัชนีของเสา (CI) และผนัง (WI) ตกอยู่ในโซน A ดังรูปที่ 4.40 ซึ่งให้เห็นว่าอาคารดังกล่าวมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวอย่างรุนแรง เป็นผลเนื่องจากอาคารดังกล่าวมีพื้นที่ของผนังอิฐก่อและเสาน้อยเมื่อเทียบการพื้นที่ใช้สอยของอาคาร ควรได้รับการประเมินด้วยวิธีอย่างละเอียดต่อไป ในขณะที่อาคารเรียนรูปทรงไม่สามเหลี่ยม (School01) อยู่ในโซน B ทำให้อาคารมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายระดับปานกลาง และ อาคารเรียนรูปทรงสามเหลี่ยม (School02) ตกอยู่ในโซน C ซึ่งอาจจะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวน้อยมาก

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลอาคารตัวอย่างทั้ง 7 หลัง สำหรับการประเมินด้วยวิธีการของ (Islam et al., 2015)

อาคาร	แกน	A_f ม. ²	A_c ม. ²	A_w ม. ²	CI %	WI %
School01	X-X	313.2	2.16	1.8	0.690	0.575
	Y-Y			0.6		0.192
School02	X-X	313.2	2.16	8.1	0.690	2.586
	Y-Y			5.7		1.820
Office01	X-X	512	1.5	2	0.293	0.391
	Y-Y			0.8		0.156
Office02	X-X	512	1.5	3.2	0.293	0.625
	Y-Y			4		0.781
Apartment01	X-X	720	1.5	0.8	0.208	0.111
	Y-Y			3.5		0.486

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลอาคารตัวอย่างทั้ง 7 หลัง สำหรับการประเมินด้วยวิธีการของ (Islam et al., 2015) (ต่อ)

อาคาร	แกน	A_f ม. ²	A_c ม. ²	A_w ม. ²	CI %	WI %
Apartment02	X-X	720	1.5	7.6	0.208	1.056
	Y-Y			11		1.528
Commercial01	X-X	576	1.68	2.4	0.292	0.417
	Y-Y			8.4		1.458



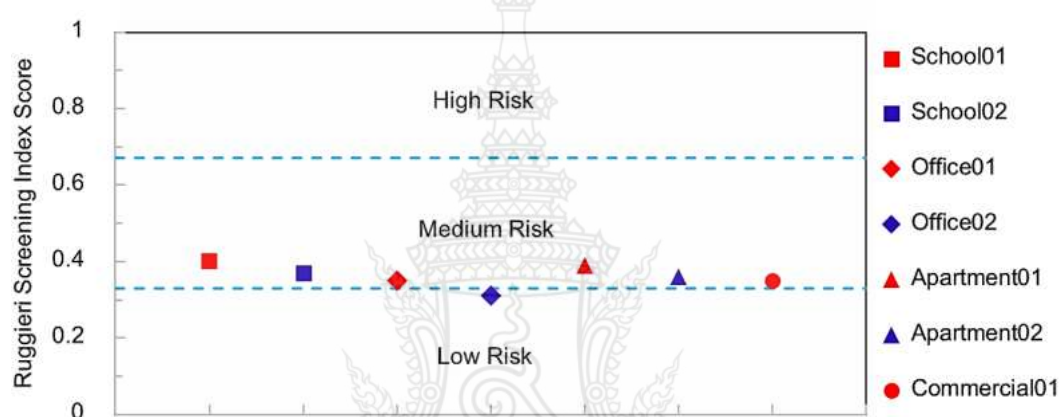
รูปที่ 4.40 กราฟแบ่งโซนพื้นที่ความเสี่ยงภัยของอาคารจากแผ่นดินไหว

4.3.6 Ruggieri et al. (2020)

การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีนี้ใช้เป็นการสำรวจให้คะแนนอาคาร ร่วมกับการคำนวณดัชนีสำหรับประเมินความปลอดภัยของอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหวสูงสุด (PGA) ที่ พิจารณาของพื้นที่จังหวัดเชียงราย จากการสำรวจให้คะแนนอาคารพบว่าอาคารตัวอย่างทั้ง 7 หลัง มีค่า ดัชนีส่วนที่เป็นโครงสร้าง (I_{STR}) และมีดัชนีส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง (I_{NSTR}) อยู่ในช่วง 0.34 – 0.67 ถือว่ามีความเสี่ยงระดับปานกลางในส่วนนี้ แต่ในส่วนของความพร้อมในการรับมือต่อเหตุฉุกเฉิน (I_{ORG}) มีค่า ดัชนีอยู่ที่ 0.81 ซึ่งถือว่ามีความไม่ปลอดภัยของอาคารในส่วนนี้ และจะส่งผลต่อการคำนวณดัชนีความปลอดภัยของอาคาร (SI) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 จากผลการประเมินโดยภาพรวมพบว่าอาคารตัวอย่าง ทั้ง 7 หลัง มีความปลอดภัยของอาคารอยู่ในระดับปานกลางดังแสดงในรูปที่ 4.41 จะเห็นได้ว่าการ ประเมินวิธีนี้ให้ผลความเสี่ยงภัยของอาคารค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการประเมินวิธีอื่น ๆ

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลดัชนีความปลอดภัยของอาคารตัวอย่างทั้ง 7 หลัง

อาคาร	I _{STR}	I _{NSTR}	I _{ORG}	FUNC	VULN	HAZ	EXP	SI
School01	0.50	0.39	0.81	0.55	0.53	1.40	1.15	0.40
School02	0.40	0.39	0.81	0.61	0.48	1.40	1.15	0.37
Office01	0.48	0.39	0.81	0.56	0.52	1.40	1.00	0.35
Office02	0.38	0.39	0.81	0.62	0.47	1.40	1.00	0.31
Apartment01	0.47	0.39	0.81	0.56	0.51	1.40	1.15	0.39
Apartment02	0.37	0.39	0.81	0.62	0.46	1.40	1.15	0.36
Commercial01	0.47	0.41	0.81	0.55	0.52	1.40	1.00	0.35



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงการจำแนกระดับความปลอดภัยของอาคารจากแผ่นดินไหว

จากการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารอย่างรวดเร็วทั้ง 6 วิธี สามารถสรุประดับความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารได้ดังตารางที่ 4.5 จากการประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารภายใต้ความรุนแรงแผ่นดินไหวระดับ MCE พบว่าวิธีการประเมินของ NRC (1993) อาคารทั้ง 7 หลัง มีค่า SPI มากกว่า 20 ซึ่งหมายความว่าอาคารมีลำดับความสำคัญอย่างมากและควรได้รับการประเมินอย่างละเอียดต่อไป ในขณะที่วิธีการประเมินของ FEMA154 (2015) และ กรมโยธาธิการและผังเมือง (2020) พบว่าอาคารทั้ง 7 หลัง มีค่าคะแนนอาคารต่ำกว่า 2 นั้นหมายความว่าอาคารดังกล่าวมีความเสี่ยงที่จะพังถล่มเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว และวิธีการประเมินของ Ruggieri et al. (2020) พบว่าอาคารส่วนใหญ่มีความเสี่ยงภัยระดับปานกลาง ภายใต้ความรุนแรงแผ่นดินไหวระดับ DBE พบว่าการประเมินด้วยวิธีของ NCREE (2017) แสดงให้เห็นว่าอาคารส่วนใหญ่มีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว ยกเว้นอาคาร School02 และ Apartment02 เนื่องจากอาคารทั้ง 2 มีปริมาณของเสาและผนังจำนวนมากส่งผลให้ค่าดัชนี I_s มีค่ามากกว่า 1 ในขณะที่วิธีการประเมินของ Islam et al. (2015) พบว่าอาคารส่วนใหญ่อยู่ในโซน A ซึ่งหมายถึงอาคารมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายอย่างรุนแรงจากแผ่นดินไหว ยกเว้นอาคาร School01 และ School02 ที่อยู่ในโซน B และ C ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ระดับความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารทั้ง 7 หลัง ด้วยวิธีการประเมินอย่างรวดเร็ว

ชื่ออาคาร	NRC (SPI)	FEMA154 (S _{L1} ,S _{L2})	กรมโยธา ๓ (S)	NCREE (I _s)	Islam (Zone)	Ruggieri (SI)
School01	47.25 High Risk	0.9,0.9 Risk	-0.4 Risk	0.971,0.712 Risk	Zone B Medium Risk	0.40 Medium Risk
School02	30.38 High Risk	1.4,1.4 Risk	0.9 Risk	2.022,1.594 No Risk	Zone C Low risk	0.37 Medium Risk
Office01	31.50 High Risk	0.3,-0.4 Risk	-1.3 Risk	0.416,0.215 Risk	Zone A High Risk	0.35 Medium Risk
Office02	20.25 High priority	1.4,1.4 Risk	1.1 Risk	0.617,0.751 Risk	Zone A Medium Risk	0.31 Low Risk
Apartment01	22.50 High priority	0.3,0.1 Risk	-1.0 Risk	0.450,0.590 Risk	Zone A Medium Risk	0.39 Medium Risk

4.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีการอย่างรวดเร็ว

ในการศึกษานี้ได้ทำการจำแนกระดับความเสียหายออกเป็น 5 ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้า จะจำแนกความเสียหายตามค่าความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริมตามยาวของเสาในอาคาร จากผลการวิเคราะห์อาคารพบว่าความรุนแรงของแผ่นดินไหวแต่ละระดับทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหายที่ต่างกัน ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การจำแนกระดับความเสียหายของโครงสร้างอาคาร

ระดับ	ระดับความเสียหาย	ลักษณะความเสียหาย
DS0	ไม่เกิดความเสียหาย	ไม่พบการครากของเหล็กเสริมในเสา
DS1	เกิดความเสียหายเล็กน้อย	เกิดการครากของเหล็กเสริมตามยาวในเสา
DS2	เกิดความเสียหายปานกลาง	เกิดการหลุดร่อนเนื่องจากค่าความเครียดอัดของคอนกรีตภายนอกเท่ากับ 0.004 หรือ ค่าความเครียดของเหล็กเสริมในเสาถึงจุดที่ทำให้เกิดรอยแตกกว้างประมาณ 1 มม.
DS3	เกิดความเสียหายรุนแรง	ค่าความเครียดอัดในคอนกรีตภายในเท่ากับ 0.005 ซึ่งจะเกิดความเสียหายแบบบดอัด หรือ ค่าความเครียดในเหล็กเสริมถึงจุดที่ทำให้เกิดการฉีกขาด
DS4	เกิดความเสียหายรุนแรงมาก	คอนกรีตภายในเสาเกิดความเสียหายและเหล็กเสริมเกิดการฉีกขาด หรือ เสาเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน

จากผลการวิเคราะห์อาคารพบว่าความรุนแรงของแผ่นดินไหวแต่ละระดับ ทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหายที่ต่างกัน จึงได้กำหนดวิธีการประเมินระดับความเสียหายโดยรวมของโครงสร้างภายใต้แผ่นดินไหว 20 คลื่น เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การจำแนกระดับความเสียหายโดยรวมของโครงสร้างอาคาร

ระดับความเสียหาย	ลักษณะความเสียหาย
มีความเสียหายเล็กน้อย (Slight Damage)	โครงสร้างจะต้องมีระดับความเสียหาย DS0 และ DS1 รวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 84 หรือ 17 คลื่น
มีความเสียหายปานกลาง (Moderate Damage)	โครงสร้างจะต้องมีระดับความเสียหาย DS0 DS1 และ DS2 รวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 84 หรือ 17 คลื่น
มีความเสียหายรุนแรง (Severe Damage)	โครงสร้างจะต้องมีระดับความเสียหาย DS3 และ DS4 รวมกันเกินร้อยละ 16 หรือ 3 คลื่น

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตัวอย่างทั้ง 7 หลัง ด้วยวิธีการวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลาความรุนแรงแผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ จำนวน 20 คลื่น สามารถจำแนกระดับความเสียหายของโครงสร้างได้ดังแสดงในตารางที่ 4.8 – 4.14

ตารางที่ 4.8 ระดับความเสียหายของอาคารเรียน (School01) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ

Case	Damage State	Case	Damage State	Case	Damage State	Case	Damage State
0.5DBE1	2	DBE1	2	1.25DBE1	4	MCE1	4
0.5DBE2	1	DBE2	2	1.25DBE2	3	MCE2	3
0.5DBE3	1	DBE3	2	1.25DBE3	4	MCE3	4
0.5DBE4	1	DBE4	2	1.25DBE4	2	MCE4	4
0.5DBE5	2	DBE5	2	1.25DBE5	4	MCE5	4
0.5DBE6	1	DBE6	3	1.25DBE6	3	MCE6	3
0.5DBE7	2	DBE7	2	1.25DBE7	3	MCE7	4
0.5DBE8	1	DBE8	2	1.25DBE8	2	MCE8	3
0.5DBE9	1	DBE9	2	1.25DBE9	3	MCE9	2
0.5DBE10	1	DBE10	2	1.25DBE10	4	MCE10	2
0.5DBE11	1	DBE11	2	1.25DBE11	4	MCE11	3
0.5DBE12	1	DBE12	2	1.25DBE12	2	MCE12	3
0.5DBE13	1	DBE13	3	1.25DBE13	3	MCE13	2
0.5DBE14	1	DBE14	2	1.25DBE14	2	MCE14	4
0.5DBE15	2	DBE15	2	1.25DBE15	3	MCE15	4
0.5DBE16	1	DBE16	2	1.25DBE16	3	MCE16	4
0.5DBE17	1	DBE17	3	1.25DBE17	2	MCE17	4
0.5DBE18	2	DBE18	2	1.25DBE18	2	MCE18	4
0.5DBE19	1	DBE19	3	1.25DBE19	3	MCE19	2
0.5DBE20	1	DBE20	2	1.25DBE20	2	MCE20	4
Overall Damage State	Moderate		Severe		Severe		Severe

ตารางที่ 4.9 ระดับความเสียหายของอาคารเรียน (School02) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ

Case	Damage State	Case	Damage State	Case	Damage State	Case	Damage State
DBE1	1	MCE1	1	1.5MCE1	2	2.0MCE1	4
DBE2	2	MCE2	1	1.5MCE2	4	2.0MCE2	4
DBE3	1	MCE3	2	1.5MCE3	2	2.0MCE3	4
DBE4	1	MCE4	4	1.5MCE4	2	2.0MCE4	4
DBE5	2	MCE5	2	1.5MCE5	4	2.0MCE5	4
DBE6	2	MCE6	4	1.5MCE6	4	2.0MCE6	4
DBE7	1	MCE7	2	1.5MCE7	4	2.0MCE7	4
DBE8	1	MCE8	2	1.5MCE8	2	2.0MCE8	4
DBE9	2	MCE9	4	1.5MCE9	4	2.0MCE9	4
DBE10	1	MCE10	2	1.5MCE10	4	2.0MCE10	4
DBE11	2	MCE11	2	1.5MCE11	2	2.0MCE11	4
DBE12	1	MCE12	4	1.5MCE12	2	2.0MCE12	4
DBE13	2	MCE13	4	1.5MCE13	4	2.0MCE13	4
DBE14	1	MCE14	2	1.5MCE14	2	2.0MCE14	2
DBE15	2	MCE15	1	1.5MCE15	4	2.0MCE15	4
DBE16	1	MCE16	2	1.5MCE16	4	2.0MCE16	2
DBE17	2	MCE17	2	1.5MCE17	2	2.0MCE17	4
DBE18	2	MCE18	2	1.5MCE18	2	2.0MCE18	4
DBE19	2	MCE19	4	1.5MCE19	4	2.0MCE19	4
DBE20	1	MCE20	2	1.5MCE20	2	2.0MCE20	4
Overall Damage State	Moderate		Severe		Severe		Severe

ตารางที่ 4.10 ระดับความเสียหายของอาคารสำนักงาน (Office01) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ

Case	Damage State	Case	Damage State	Case	Damage State	Case	Damage State
0.5DBE1	2	0.75DBE1	3	DBE1	3	MCE1	3
0.5DBE2	2	0.75DBE2	3	DBE2	3	MCE2	4
0.5DBE3	2	0.75DBE3	2	DBE3	3	MCE3	4
0.5DBE4	1	0.75DBE4	3	DBE4	3	MCE4	3
0.5DBE5	2	0.75DBE5	3	DBE5	4	MCE5	4
0.5DBE6	3	0.75DBE6	2	DBE6	3	MCE6	3
0.5DBE7	2	0.75DBE7	1	DBE7	3	MCE7	4
0.5DBE8	1	0.75DBE8	2	DBE8	4	MCE8	3
0.5DBE9	2	0.75DBE9	2	DBE9	3	MCE9	4
0.5DBE10	1	0.75DBE10	3	DBE10	3	MCE10	4
0.5DBE11	2	0.75DBE11	3	DBE11	3	MCE11	3
0.5DBE12	2	0.75DBE12	2	DBE12	3	MCE12	3
0.5DBE13	2	0.75DBE13	2	DBE13	3	MCE13	3
0.5DBE14	1	0.75DBE14	3	DBE14	3	MCE14	3
0.5DBE15	1	0.75DBE15	3	DBE15	3	MCE15	3
0.5DBE16	1	0.75DBE16	3	DBE16	3	MCE16	4
0.5DBE17	0	0.75DBE17	2	DBE17	3	MCE17	4
0.5DBE18	2	0.75DBE18	2	DBE18	3	MCE18	4
0.5DBE19	2	0.75DBE19	2	DBE19	3	MCE19	4
0.5DBE20	3	0.75DBE20	2	DBE20	3	MCE20	4
Overall Damage State	Moderate		Severe		Severe		Severe

ตารางที่ 4.11 ระดับความเสียหายของอาคารสำนักงาน (Office02) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับต่าง ๆ

Case	Damage State	Case	Damage State	Case	Damage State	Case	Damage State
DBE1	2	1.25DBE1	3	MCE1	3	1.25MCE1	3
DBE2	1	1.25DBE2	3	MCE2	3	1.25MCE2	4
DBE3	2	1.25DBE3	2	MCE3	3	1.25MCE3	4
DBE4	2	1.25DBE4	3	MCE4	3	1.25MCE4	3
DBE5	2	1.25DBE5	3	MCE5	4	1.25MCE5	4
DBE6	2	1.25DBE6	2	MCE6	3	1.25MCE6	3
DBE7	2	1.25DBE7	1	MCE7	3	1.25MCE7	4
DBE8	3	1.25DBE8	2	MCE8	4	1.25MCE8	3
DBE9	3	1.25DBE9	2	MCE9	3	1.25MCE9	4
DBE10	2	1.25DBE10	3	MCE10	3	1.25MCE10	4
DBE11	1	1.25DBE11	3	MCE11	3	1.25MCE11	3
DBE12	1	1.25DBE12	2	MCE12	3	1.25MCE12	3
DBE13	2	1.25DBE13	2	MCE13	3	1.25MCE13	3
DBE14	2	1.25DBE14	3	MCE14	3	1.25MCE14	3
DBE15	2	1.25DBE15	3	MCE15	3	1.25MCE15	3
DBE16	2	1.25DBE16	3	MCE16	3	1.25MCE16	4
DBE17	2	1.25DBE17	2	MCE17	3	1.25MCE17	4
DBE18	3	1.25DBE18	2	MCE18	3	1.25MCE18	4
DBE19	3	1.25DBE19	2	MCE19	3	1.25MCE19	4
DBE20	3	1.25DBE20	2	MCE20	3	1.25MCE20	4
Overall Damage State	Severe		Severe		Severe		Severe

ตารางที่ 4.12 ระดับความเสียหายของอาคารอยู่อาศัยรวม (Apartment01) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับต่างๆ

Case	Damag e State	Case	Damag e State	Case	Damag e State	Case	Damag e State
0.5DBE1	1	0.75DBE1	3	DBE1	3	MCE1	4
0.5DBE2	2	0.75DBE2	3	DBE2	3	MCE2	4
0.5DBE3	0	0.75DBE3	4	DBE3	3	MCE3	4
0.5DBE4	0	0.75DBE4	1	DBE4	4	MCE4	4
0.5DBE5	0	0.75DBE5	3	DBE5	4	MCE5	4
0.5DBE6	0	0.75DBE6	4	DBE6	3	MCE6	3
0.5DBE7	1	0.75DBE7	3	DBE7	3	MCE7	4
0.5DBE8	1	0.75DBE8	3	DBE8	3	MCE8	4
0.5DBE9	0	0.75DBE9	3	DBE9	3	MCE9	4
0.5DBE10	0	0.75DBE10	3	DBE10	4	MCE10	4
0.5DBE11	1	0.75DBE11	3	DBE11	4	MCE11	4
0.5DBE12	4	0.75DBE12	3	DBE12	3	MCE12	4
0.5DBE13	3	0.75DBE13	2	DBE13	3	MCE13	4
0.5DBE14	1	0.75DBE14	2	DBE14	4	MCE14	4
0.5DBE15	0	0.75DBE15	1	DBE15	4	MCE15	4
0.5DBE16	0	0.75DBE16	2	DBE16	4	MCE16	4
0.5DBE17	0	0.75DBE17	3	DBE17	4	MCE17	4
0.5DBE18	0	0.75DBE18	2	DBE18	3	MCE18	4
0.5DBE19	1	0.75DBE19	2	DBE19	2	MCE19	4
0.5DBE20	0	0.75DBE20	2	DBE20	3	MCE20	4
Overall Damage State	Slight		Severe		Severe		Severe

ตารางที่ 4.13 ระดับความเสียหายของอาคารอยู่อาศัยรวม (Apartment02) ภายใต้อิทธิพลแผ่นดินไหวระดับต่างๆ

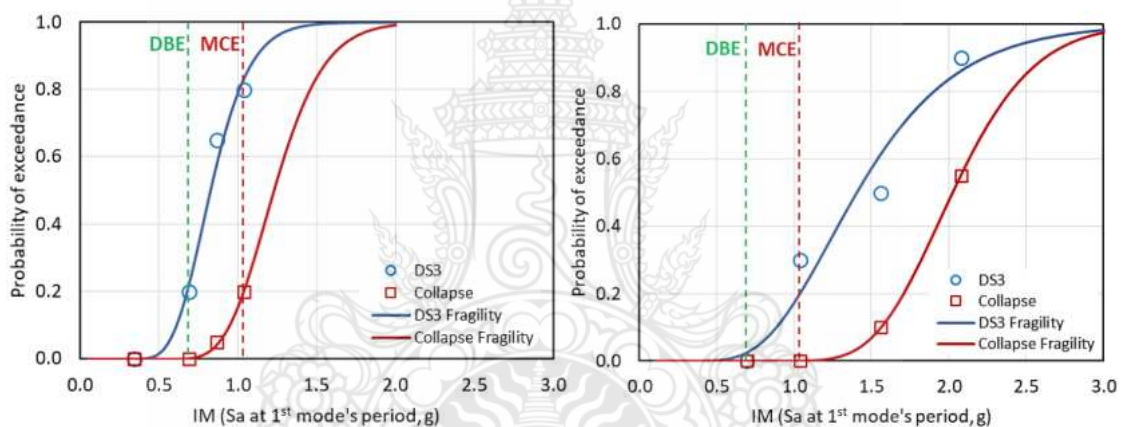
Case	Damage State	Case	Damage State	Case	Damage State	Case	Damage State
DBE1	1	1.25DBE1	3	MCE1	2	1.5MCE1	3
DBE2	0	1.25DBE2	3	MCE2	2	1.5MCE2	4
DBE3	1	1.25DBE3	4	MCE3	4	1.5MCE3	4
DBE4	0	1.25DBE4	2	MCE4	4	1.5MCE4	4
DBE5	1	1.25DBE5	4	MCE5	3	1.5MCE5	4
DBE6	1	1.25DBE6	1	MCE6	3	1.5MCE6	4
DBE7	4	1.25DBE7	1	MCE7	4	1.5MCE7	4
DBE8	1	1.25DBE8	3	MCE8	2	1.5MCE8	4
DBE9	2	1.25DBE9	4	MCE9	3	1.5MCE9	4
DBE10	1	1.25DBE10	4	MCE10	2	1.5MCE10	4
DBE11	0	1.25DBE11	3	MCE11	2	1.5MCE11	4
DBE12	1	1.25DBE12	2	MCE12	3	1.5MCE12	4
DBE13	1	1.25DBE13	3	MCE13	2	1.5MCE13	4
DBE14	0	1.25DBE14	2	MCE14	2	1.5MCE14	4
DBE15	1	1.25DBE15	2	MCE15	4	1.5MCE15	4
DBE16	0	1.25DBE16	2	MCE16	4	1.5MCE16	4
DBE17	1	1.25DBE17	4	MCE17	3	1.5MCE17	4
DBE18	3	1.25DBE18	1	MCE18	4	1.5MCE18	4
DBE19	0	1.25DBE19	3	MCE19	2	1.5MCE19	4
DBE20	0	1.25DBE20	1	MCE20	4	1.5MCE20	4
Overall Damage State	Slight		Severe		Severe		Severe

ตารางที่ 4.14 ระดับความเสียหายของอาคารพาณิชย์ (Commercial01) ภายใต้แผ่นดินไหวระดับต่างๆ

Case	Damage State	Case	Damage State	Case	Damage State	Case	Damage State
0.75DBE1	0	DBE1	3	MCE1	1	1.5MCE1	4
0.75DBE2	3	DBE2	3	MCE2	1	1.5MCE2	4
0.75DBE3	0	DBE3	0	MCE3	3	1.5MCE3	3
0.75DBE4	2	DBE4	3	MCE4	3	1.5MCE4	4
0.75DBE5	0	DBE5	3	MCE5	4	1.5MCE5	4
0.75DBE6	0	DBE6	1	MCE6	3	1.5MCE6	4
0.75DBE7	1	DBE7	1	MCE7	4	1.5MCE7	3
0.75DBE8	2	DBE8	1	MCE8	3	1.5MCE8	4
0.75DBE9	0	DBE9	1	MCE9	3	1.5MCE9	4
0.75DBE10	3	DBE10	2	MCE10	4	1.5MCE10	4
0.75DBE11	3	DBE11	4	MCE11	4	1.5MCE11	3
0.75DBE12	2	DBE12	3	MCE12	3	1.5MCE12	3
0.75DBE13	3	DBE13	1	MCE13	3	1.5MCE13	4
0.75DBE14	3	DBE14	3	MCE14	3	1.5MCE14	3
0.75DBE15	0	DBE15	3	MCE15	3	1.5MCE15	4
0.75DBE16	0	DBE16	3	MCE16	3	1.5MCE16	4
0.75DBE17	0	DBE17	1	MCE17	3	1.5MCE17	4
0.75DBE18	0	DBE18	3	MCE18	3	1.5MCE18	4
0.75DBE19	2	DBE19	1	MCE19	0	1.5MCE19	4
0.75DBE20	1	DBE20	4	MCE20	1	1.5MCE20	4
Overall Damage State	Severe		Severe		Severe		Severe

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการสร้างเส้นโค้งความบอบบาง (Fragility Curve) ด้วยวิธีการ Multiple Strip Analysis (MSA) ซึ่งถือเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Nonlinear Response Time History Analysis) เพื่อทำการหาความน่าจะเป็นที่อาคารจะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงและพังถล่มภายใต้ความรุนแรงของแผ่นดินไหวแต่ละระดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่าอาคารที่ไม่รูปทรงไม่สม่ำเสมอจะมีความเสี่ยงภัยมากกว่าอาคารที่มีรูปทรงสม่ำเสมอภายใต้แผ่นดินไหวระดับเดียวกันเนื่องจากรูปแบบการจัดวางของผนังอิฐก่อที่ชั้นล่างมีความไม่สมมาตรกับชั้นด้านบน ทำให้มีพฤติกรรมเป็นชั้นอ่อน (Soft Story)

จากรูปที่ 4.42 จะเป็นเส้นโค้งความบอบบางของอาคารเรียนที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (School01) และ อาคารเรียนรูปทรงสม่ำเสมอ (School02) เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะเห็นว่าภายใต้แผ่นดินไหวระดับ MCE อาคารเรียน School01 มีความน่าจะเป็นที่อาคารจะเกิดการพังถล่ม 20% และมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายอย่างรุนแรง 80% ในขณะเดียวกันอาคารเรียน School02 มีความเสี่ยงที่อาคารจะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงประมาณ 20% และมีโอกาสน้อยมากที่อาคารจะพังถล่ม

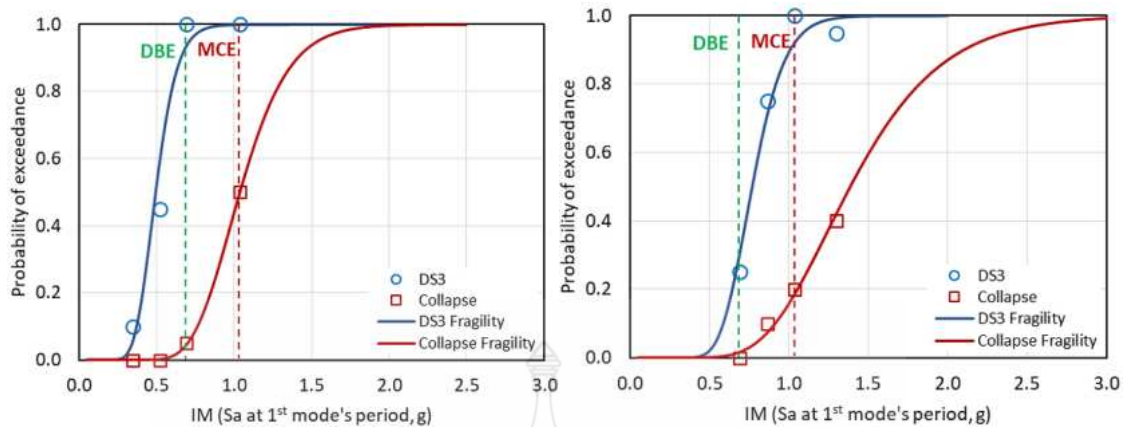


ก) อาคารเรียน School01

ข) อาคารเรียน School02

รูปที่ 4.42 การเปรียบเทียบเส้นโค้งความบอบบางของอาคารเรียน

รูปที่ 4.43 เป็นผลการเปรียบเทียบเส้นโค้งความบอบบางของอาคารสำนักงานที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Office01) และ อาคารสำนักงานรูปทรงสม่ำเสมอ (Office02) เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะเห็นว่าภายใต้แผ่นดินไหวระดับ MCE อาคารสำนักงาน Office01 มีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายรุนแรงได้เกือบ 100% และมีโอกาสที่อาคารจะพังถล่ม 50% ในขณะเดียวกันอาคารสำนักงาน Office02 มีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายรุนแรง 95% และมีโอกาสที่อาคารจะพังถล่มเพียง 20%

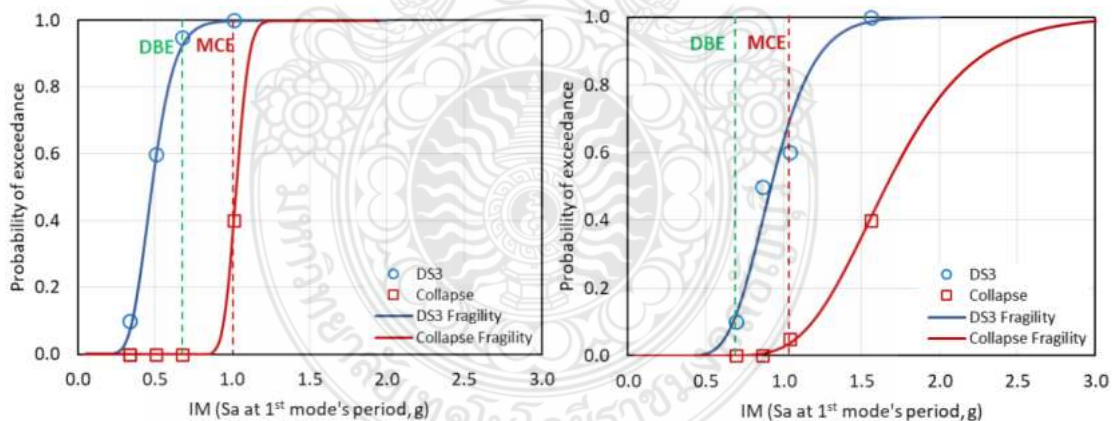


ก) อาคารสำนักงาน Office01

ข) อาคารสำนักงาน Office02

รูปที่ 4.43 การเปรียบเทียบเส้นโค้งความบอบบางของอาคารสำนักงาน

รูปที่ 4.44 เป็นผลการเปรียบเทียบเส้นโค้งความบอบบางของอาคารอยู่อาศัยรวมที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Apartment01) และ อาคารอยู่อาศัยรวมรูปทรงสม่ำเสมอ (Apartment02) เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะเห็นว่าภายใต้แผ่นดินไหวระดับ MCE อาคารอยู่อาศัยรวม Apartment มีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายรุนแรงได้เกือบ 100% และมีโอกาสที่อาคารจะพังถล่ม 40% ในขณะเดียวกัน อาคารสำนักงาน Office02 มีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายรุนแรงประมาณ 65% และมีโอกาสที่อาคารจะพังถล่มน้อยมาก

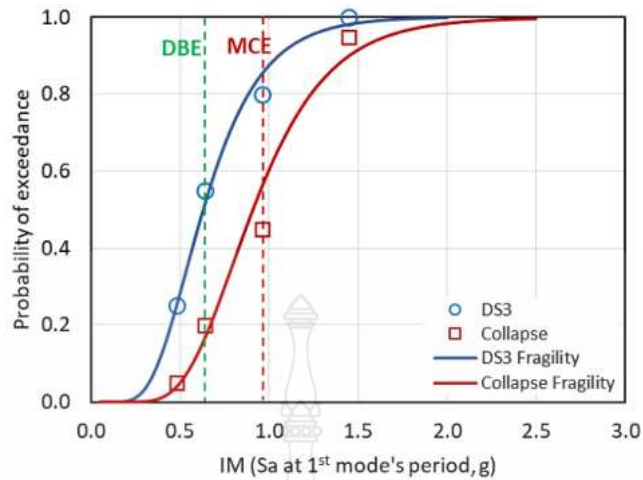


ก) อาคารอยู่อาศัยรวม Apartment01

ข) อาคารอยู่อาศัยรวม Apartment02

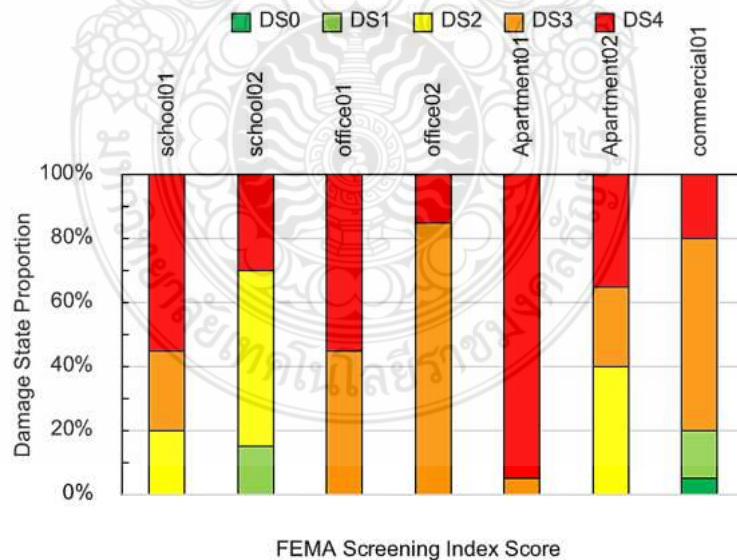
รูปที่ 4.44 การเปรียบเทียบเส้นโค้งความบอบบางของอาคารอยู่อาศัยรวม

จากเส้นโค้งความบอบบางของอาคารพาณิชย์รูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Commercial01) ชี้ให้เห็นว่าภายใต้แผ่นดินไหวระดับ MCE อาคาร มีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายรุนแรงได้กว่า 85% และมีโอกาสที่อาคารจะพังถล่มประมาณ 60% ดังแสดงในรูปที่ 4.45 เนื่องจากชั้นล่างของอาคารมีช่องเปิดขนาดใหญ่เต็มช่องโครงข้อแข็ง ทำให้ชั้นล่างของอาคารมีพฤติกรรมเป็นชั้นอ่อนเกิดความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง



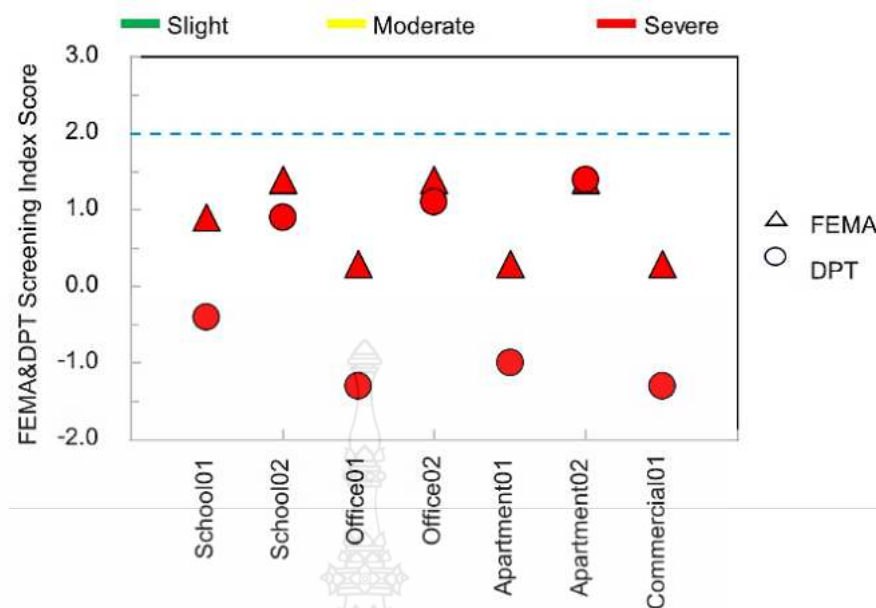
รูปที่ 4.45 เส้นโค้งความบอบบางของอาคารพาณิชย์ Commercial01

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารทั้ง 7 หลัง ที่แผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุด (Maximum Considered Earthquake, MCE) แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนความเสียหายแต่ละระดับดังรูปที่ 4.46(ก) และเมื่อเปรียบเทียบระดับความเสียหายโดยรวมกับการประเมินด้วยวิธีอย่างรวดเร็วของ FEMA154 (2015) และ กรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) พบว่าอาคารดังกล่าวมีความเสี่ยงภัยที่จะเกิดความเสียหายจากแผ่นดินไหว ในขณะเดียวกันภายใต้ความรุนแรงแผ่นดินไหวเดียวกันจะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารทั้ง 7 หลังมีความเสียหายระดับรุนแรงดังรูปที่ 4.46(ข)



ก) สัดส่วนความเสียหายของอาคารแต่ละระดับ

รูปที่ 4.46 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมินด้วยวิธีการของ FEMA154 (2015) ร่วมกับวิธีการของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563)



ข) ความเสี่ยงภัยที่จะเกิดความเสียหายของอาคาร

รูปที่ 4.46 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมินด้วยวิธีการของ FEMA154 (2015) ร่วมกับวิธีการของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) (ต่อ)

จากการประเมินวิธีของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) จะสังเกตได้ว่าคะแนนของอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการประเมินของ FEMA154 (2015) และการวิเคราะห์อาคารดังรูปที่ 4.47 เหตุผลมาจากการหักลบคะแนนเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอในแนวราบและแนวดิ่ง รวมทั้งการกำหนดชั้นดินเป็นประเภทชั้นดินอ่อน (Soil Type E) กรณีไม่ทราบประเภทของชั้นดิน ณ ตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร ซึ่งเป็นการหักลบคะแนนที่มากเกินไปจนความจำเป็น ดังนั้นจึงเสนอให้มีการปรับปรุงเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

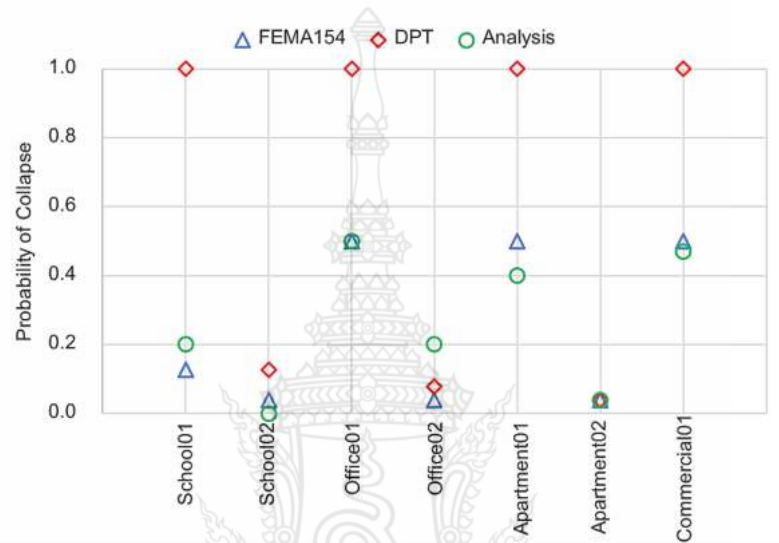
1) กำหนดประเภทชั้นดินเป็นประเภทดินปกติ (Soil Type D) ในกรณีไม่ทราบข้อมูลชั้นเพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานในการออกแบบ (มยผ.1301/1302-61, 2564)

2) กำหนดให้คะแนนความไม่สม่ำเสมอในดิ่ง (Vertical Irregularity) และความไม่สม่ำเสมอในแนวราบ (Horizontal irregularity) ของอาคารจากเดิมใช้เท่ากับ 1.3 และ -1.1 ตามลำดับ ให้เปลี่ยนมาใช้ค่าใกล้เคียงกับวิธีการประเมินของ FEMA154 (2015) เท่ากับ -0.9 และ -0.7 ตามลำดับ

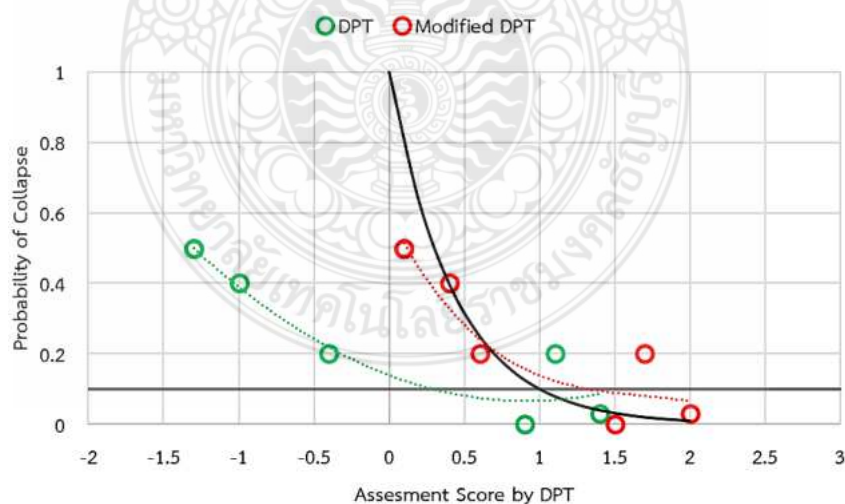
3) ใช้เกณฑ์คะแนนที่กำหนดว่าอาคารมีความเสี่ยงที่จะพังถล่มเท่ากับ 1 ภายใต้อิทธิพลแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุด (MCE) เพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดในการออกแบบปัจจุบัน ASCE7 (2014) จากเดิมใช้คะแนน เท่ากับ 2 โดยหมายถึง อาคารมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดการพังถล่มเพียง 0.01 ซึ่งหมายถึง อาจมีความเข้มงวดเกินความจำเป็น จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การประเมินความเสี่ยงภัยที่อาคารจะพังถล่มแบบเดิมมีการกำหนดคะแนนที่มีความเข้มงวดเกินไป สังเกตได้จากเส้นผลการประเมินความเสี่ยงภัยของอาคารที่จะพังถล่มแบบเดิม (เส้นและจุดสีเขียว) มีความห่างจากเส้นประเมินความเสี่ยงภัย ($1/10^x$) ดังรูปที่ 4.47 ดังนั้นจึงทำการกำหนดเกณฑ์คะแนนที่ใช้ในการประเมินด้วยวิธีของกรมโยธาธิการ

และผังเมือง (2563) ที่ได้เสนอไปข้างต้น พบว่าเส้นแนวโน้มความเสี่ยงภัยของอาคารที่จะพังถล่มใหม่ (เส้นและจุดสีแดง) เข้าใกล้เส้นประเมินความเสี่ยงภัย ($1/10^x$) ตามวิธีการประเมินของ FEMA154 (2015) และกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) ดังรูปที่ 4.48

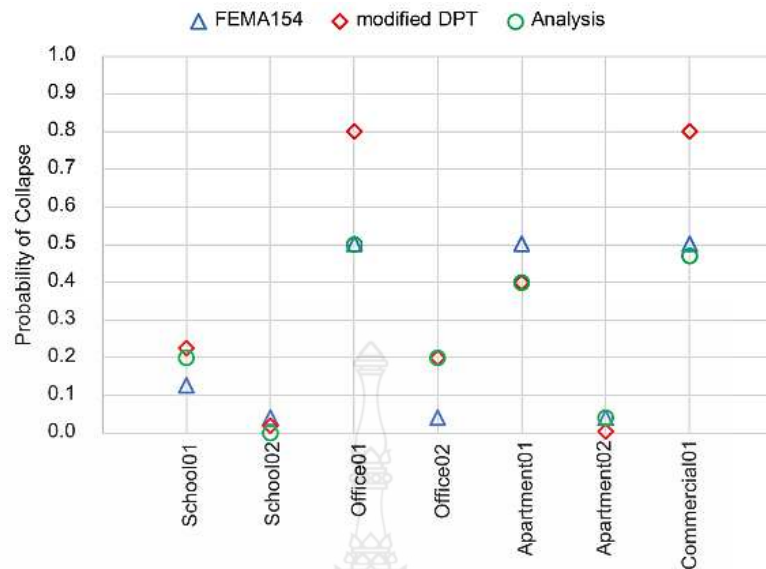
ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการปรับปรุงการให้คะแนนดังกล่าวของวิธีการประเมินของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารพบว่าค่าความเสี่ยงภัยที่อาคารจะพังถล่มนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นดังรูปที่ 4.49



รูปที่ 4.47 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมินด้วยวิธีการของ FEMA154 (2015) ร่วมกับวิธีการของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) ก่อนปรับปรุงคะแนน

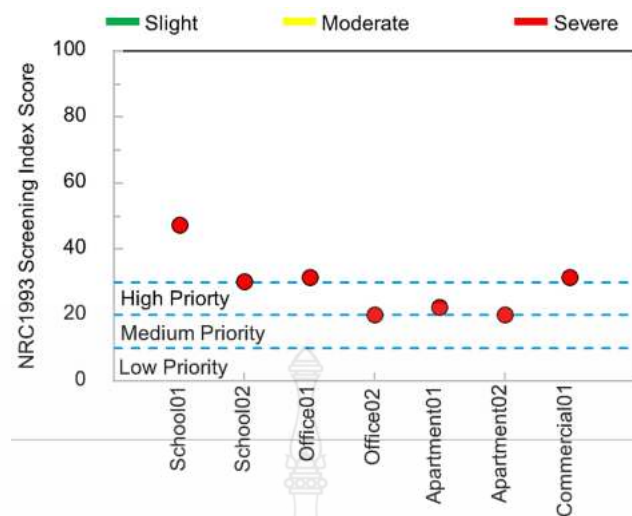


รูปที่ 4.48 การเปรียบเทียบเส้นกราฟความเสี่ยงภัยของอาคารเมื่อเกิดแผ่นดินไหวด้วยวิธีการประเมินของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) ก่อนและหลังปรับปรุงคะแนน



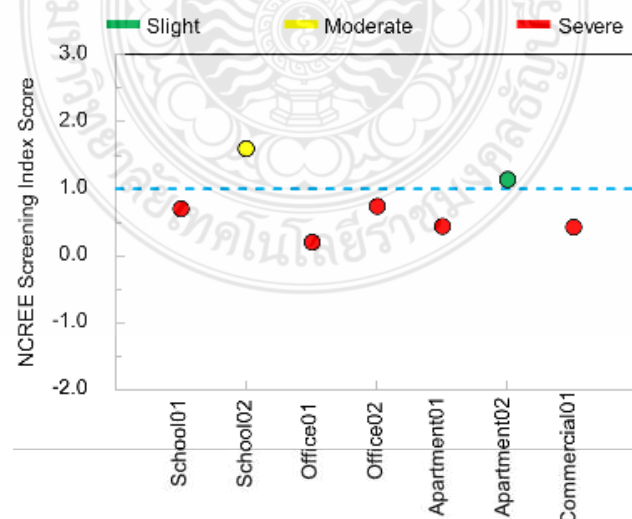
รูปที่ 4.49 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมินด้วยวิธีการของ FEMA154 (2015) ร่วมกับวิธีการของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) หลังปรับปรุงคะแนน

จากรูปที่ 4.50 เป็นวิธีการประเมินด้วยวิธีอย่างรวดเร็วของ NRC (1993) พบว่าอาคาร Office02 Apartment01 และ Apartment02 มีค่าดัชนีลำดับความสำคัญ (SPI) มากกว่า 20 ถือว่าเป็นอาคารที่มีความสำคัญสูงซึ่งอาจได้รับความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว และอาคาร School01 School02 Office01 และ Commercial01 มีค่าดัชนีลำดับความสำคัญ (SPI) มากกว่า 30 ซึ่งถือว่าอาจเป็นอันตรายหากเกิดแผ่นดินไหว จากผลการประเมินด้วยวิธีอย่างรวดเร็วด้วยวิธีดังกล่าวจะเห็นว่าอาคารทั้ง 7 หลัง นั้นมีความสำคัญสูงและควรได้รับการประเมินอย่างละเอียด ซึ่งผลการประเมินอย่างละเอียดโดยการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารก็ชี้ให้เห็นว่าอาคารทั้ง 7 หลังนั้น ได้รับความเสียหายอย่างรุนแรงจากแผ่นดินไหวอย่างไรก็ตามวิธีการประเมินอย่างรวดเร็วด้วยวิธีดังกล่าวไม่สามารถบ่งบอกถึงระดับความเสียหายจากแผ่นดินไหวที่แท้จริง เพียงแต่เป็นการประเมินเบื้องต้นเพื่อตัดสินใจว่าอาคารใดควรมีการประเมินที่มีรายละเอียดมากขึ้นตามลำดับความสำคัญ (SPI)



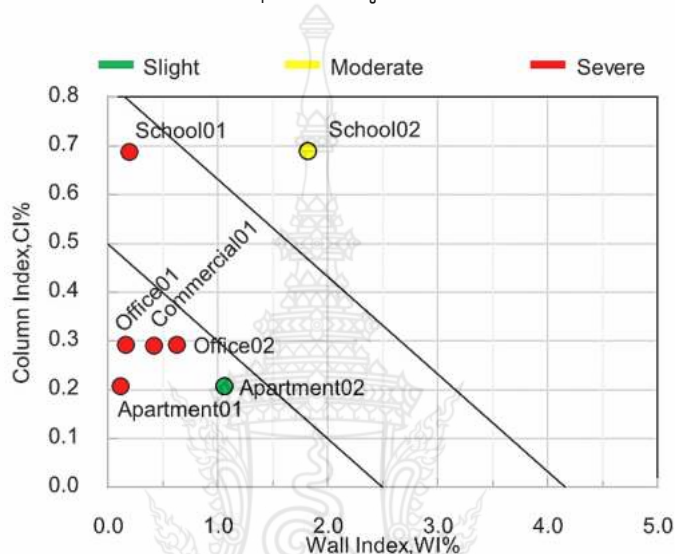
รูปที่ 4.50 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมินด้วยวิธีการของ NRC (1993)

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตัวอย่างภายใต้แผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ (Design Basis Earthquake, DBE) และการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีของ NCRE (2015) พบว่าอาคารตัวอย่าง 5 หลัง มีค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารน้อยกว่า 1 ซึ่งหมายความว่าอาคารมีความอ่อนไหวสูงและเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวยกเว้นอาคาร School02 และ Apartment02 เนื่องจากอาคารทั้งสองมีพื้นที่เสาและผนังจำนวนมากที่ชั้น 1 ส่งผลให้ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารมีค่าสูงกว่า 1 ในขณะที่เดียวกันผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารชี้ให้เห็นว่าอาคาร School02 และ Apartment02 เกิดความเสียหายปานกลางและเล็กน้อย ตามลำดับ และอาคารอีก 4 หลังเกิดความเสียหายอย่างรุนแรง ดังแสดงรูปที่ 4.51



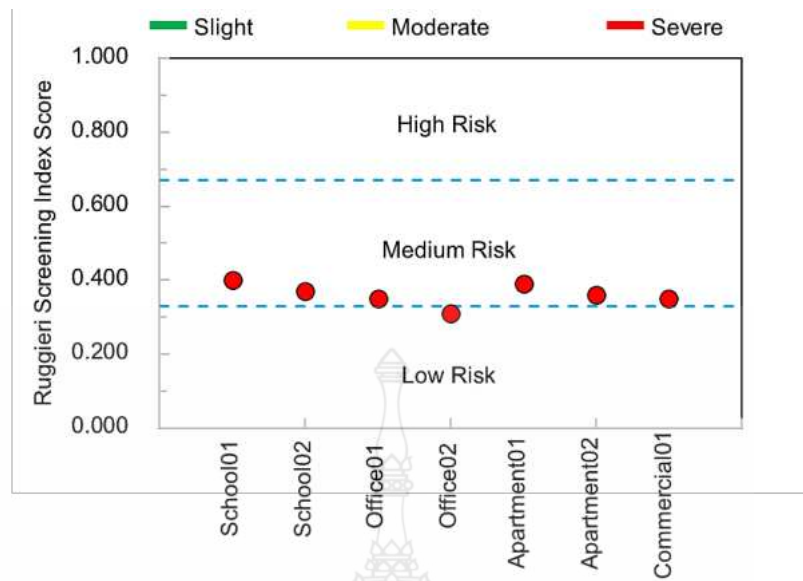
รูปที่ 4.51 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมินด้วยวิธีการของ NCRE (2015)

วิธีประเมินของ Tohoku University (Islam et al., 2017) เป็นการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารภายใต้แผ่นดินไหวความรุนแรงระดับ DBE จากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารพบว่าอาคารมีความเสียหายตั้งแต่ระดับต่ำไปจนถึงรุนแรง ซึ่งอาคาร Office01 Office02 Apartment01 และ Commercial01 มีความเสี่ยงภัยที่อาคารจะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงยกเว้นอาคาร School02 และ Apartment02 สำหรับการประเมินด้วยวิธีการอย่างรวดเร็วของ Tohoku University (2017) พบว่าอาคาร School01 School02 และ Apartment02 มีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายระดับปานกลาง เล็กน้อย และรุนแรง ดังรูปที่ 4.52



รูปที่ 4.52 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมินด้วยวิธีการของ Tohoku University (2015)

การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีของ Ruggieri et al. (2020) จะทำการการเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตัวอย่างภายใต้แผ่นดินไหวที่ระดับ MCE จากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารพบว่าอาคารทั้ง 7 หลัง มีความเสียหายอย่างรุนแรง ซึ่งวิธีการประเมินของ Ruggieri et al. (2020) ให้ผลการประเมินอาคาร Office02 อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำและอาคาร School01 School02 Office01 Apartment01 Apartment02 และ Commercial01 อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลางดังรูปที่ 4.53 จากการเปรียบเทียบผลความเสี่ยงภัยของอาคารจะเห็นว่าวิธีของ Ruggieri et al. (2020) มีความเสี่ยงระดับต่ำไปจนถึงระดับปานกลางที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว อย่างไรก็ตามวิธีการประเมินอย่างรวดเร็ววิธีนี้เป็นเพียงการประเมินความเสี่ยงภัยของอาคาร ไม่สามารถบ่งบอกถึงระดับความเสียหายของอาคารได้ อาจใช้เป็นแนวทางเพื่อพิจารณาในการประเมินอย่างละเอียดต่อไป



รูปที่ 4.53 การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์อาคารและการประเมินด้วยวิธีการของ Ruggieri et al. (2020)



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

การประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่างทั้ง 7 หลัง ด้วยการวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร พบว่าปัจจัยหลักที่ทำให้อาคารประเภทเดียวกันมีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่างกันเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงอาคาร เช่น ผลของการจัดวางผนังอิฐก่อในแต่ละชั้น ซึ่งหากอาคารที่ชั้นล่างมีผนังอิฐก่อน้อยกว่าหรือไม่สมมาตรกับผนังอิฐก่อชั้นบนจะทำให้มีความสม่ำเสมอในแนวตั้งและอาคารมีพฤติกรรมชั้นอ่อน (Soft Story) ที่ชั้นล่างของอาคาร อีกทั้งยังทำให้สติเฟ่นของอาคารลดลงอีกด้วย อย่างไรก็ตามในประเทศไทยมีอาคารขนาดใหญ่และสูงปานกลางเป็นจำนวนมากที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการประเมินอาคารอย่างรวดเร็วมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการคัดกรองอาคารที่มีความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเนื่องจากใช้เวลาในการประเมินอาคารน้อยกว่าการประเมินอย่างละเอียด (การวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร)

จากผลการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารด้วยวิธีอย่างรวดเร็วทั้ง 6 วิธี แสดงให้เห็นถึงการบ่งบอกความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารที่แตกต่างกันออกไป ผลการประเมินด้วยวิธีการของ FEMA154 (2015) พบว่าอาคารทั้ง 7 หลัง มีคะแนนประเมินอาคารต่ำกว่า 2 ซึ่งหมายถึงว่าอาคารนั้นควรได้รับการประเมินอย่างละเอียดต่อไป วิธีการประเมินนี้ไม่สามารถบ่งบอกระดับความเสียหายของอาคารได้จึงต้องใช้ผลจากการวิเคราะห์อาคารด้วยวิธีการเส้นโค้งความบอบบางของโครงสร้าง (Fragility Curve) เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการประเมินของ FEMA154 (2015) ผลต่างของความน่าจะเป็นที่โครงสร้างจะเกิดการพังถล่มของทั้ง 2 วิธี ของอาคารทั้ง 7 หลัง เฉลี่ยประมาณ -2.14% สำหรับการประเมินด้วยวิธีของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) พบว่าอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดการพังทลายลง 100% เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีเส้นโค้งความบอบบางจะเห็นได้ว่าอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดการพังทลายประมาณ 20% ถึง 55% อย่างไรก็ตามทั้งการประเมินอย่างรวดเร็วด้วยวิธีของ FEMA154 (2015) และ กรมโยธาธิการและผังเมือง (2563) สามารถใช้เป็นการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของอาคารเบื้องต้นเพื่อประกอบการพิจารณาในการประเมินอย่างละเอียดต่อไป สำหรับการประเมินด้วยวิธีการของ NRC (1993) พบว่าอาคารทั้ง 7 หลัง ถือว่าเป็นอาคารที่มีลำดับความสำคัญทางแผ่นดินไหวสูงซึ่งอาจได้รับความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว ในขณะเดียวกันผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารทั้ง 7 หลังพบว่าอาคารเกิดความเสียหายอย่างรุนแรง อย่างไรก็ตามวิธีการประเมินอย่างรวดเร็วด้วยวิธีดังกล่าวไม่สามารถบ่งบอกถึงระดับความเสียหายจากแผ่นดินไหวที่แท้จริง เพียงแต่เป็นการประเมินเบื้องต้นเพื่อตัดสินใจว่าอาคารใดควรมีการประเมินที่มีรายละเอียดมากขึ้นตามลำดับความสำคัญ (SPI) สำหรับการประเมินด้วยวิธีการของ NCRE (2017) เป็นการใช้ดัชนีความอ่อนไหวของอาคาร (I_a) โดยการเทียบสัดส่วนระหว่างความต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารต่อแรงแผ่นดินไหว เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร พบว่าอาคาร School01 Office01 Office02 Apartment01 และ Commercial01 มีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายจากแผ่นดินไหว ซึ่งผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารพบว่าอาคารดังกล่าวเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงสำหรับอาคาร School02 และ Apartment02 ผลการประเมินชี้ให้เห็นว่าอาคาร

ทั้ง 2 หลัง ไม่มีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวในขณะเดียวกันผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารพบว่าอาคาร School02 และ Apartment02 ได้รับความเสียหายระดับปานกลางและเล็กน้อย ตามลำดับ และเมื่อทำการประเมินอย่างรวดเร็วด้วยวิธีนี้เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีเส้นโค้งความบอบบางจะเห็นได้ว่าอาคารที่มีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวมีความน่าจะเป็นที่อาคารจะเกิดการความเสียหายอย่างรุนแรงประมาณ 20% ถึง 100% ในขณะเดียวกันอาคารที่ไม่มีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวมีความน่าจะเป็นที่อาคารจะเกิดการความเสียหายอย่างรุนแรงประมาณ 0% ถึง 10% อย่างไรก็ตามวิธีการประเมินนี้เป็นเพียงการแสดงให้เห็นว่าอาคารมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวและควรทำการประเมินอย่างละเอียดต่อไปหรือไม่ มิสามารถแสดงถึงระดับความเสียหายของอาคารได้ ดังนั้นวิธีการนี้อาจใช้เป็นแนวทางในการคัดกรองอาคารหรือพิจารณาในประเมินอย่างละเอียดต่อไป สำหรับการประเมินด้วยวิธีการของ Tohoku University (2017) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยวิธีเส้นโค้งความบอบบาง พบว่าอาคารที่อยู่ใน zone A มีความน่าจะเป็นที่อาคารจะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงอยู่ในช่วงประมาณ 25% ถึง 100% และอาคารที่อยู่ใน zone B และ C มีความน่าจะเป็นที่อาคารจะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงอยู่ในช่วงประมาณ 0% ถึง 20% อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นการประเมินโดยการสร้างเส้นขอบเขตความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายแต่ละระดับของอาคาร ไม่สามารถบ่งบอกลักษณะของความเสียหายได้ อาจใช้วิธีการประเมินนี้อาจใช้เป็นแนวทางในการประเมินอาคารเบื้องต้นเพื่อไปพิจารณาในการประเมินอย่างละเอียดต่อไป สำหรับการประเมินด้วยวิธีการของ Ruggieri et al. (2020) พบว่าอาคารส่วนใหญ่มีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายระดับปานกลางซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีเส้นโค้งความบอบบางอาคารดังกล่าวมีความน่าจะเป็นที่อาคารจะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงโดยเฉลี่ยประมาณ 75% อย่างไรก็ตามวิธีการประเมินนี้เป็นเพียงการประเมินอาคารเบื้องต้นเพื่อประกอบการพิจารณาในการตัดสินใจในการประเมินอาคารอย่างละเอียดต่อไป

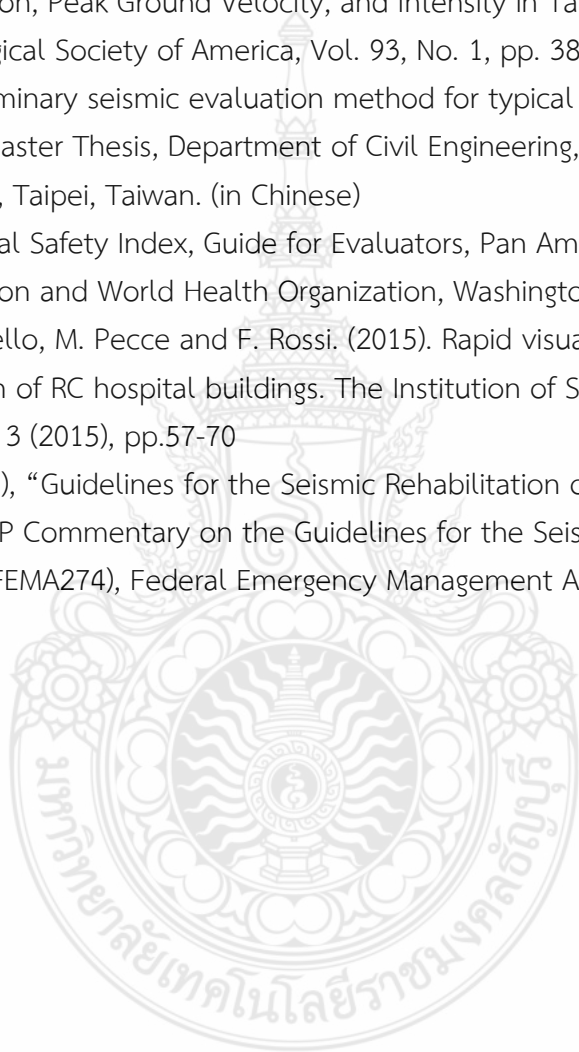
ในการศึกษานี้ได้มีการเสนอแนวทางสำหรับวิธีการประเมินของกรมโยธาธิการและผังเมือง เสนอให้มีการปรับปรุงคะแนนความไม่สม่ำเสมอในแนวดิ่งและแนวราบให้ใกล้เคียงกับวิธีการประเมินของ FEMA154 และกำหนดลักษณะชั้นดินที่ตั้งของอาคารตามมยผ.1301/1302-61 ในกรณีที่มีข้อมูลชั้นดินไม่เพียงพอหรือไม่ทราบชั้นดิน รวมทั้งการปรับคะแนนขั้นต่ำในการประเมินอาคารจากเท่ากับ 2 เปลี่ยนเป็น 1 ซึ่งสอดคล้องกับความน่าจะเป็นในการวิบัติของอาคารร้อยละ 10 ภายใต้แผ่นดินไหวสูงสุดที่พิจารณาซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน ASCE7 (2014)

บรรณานุกรม

- กฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคาร ในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. ๒๕๖๔. (๒๕๖๔, ๔ มีนาคม).
ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม ๑๓๘ ตอนที่ ๑๖ ก หน้า ๑๓-๑๔.
- National Research Council of Canada (1993). Manual for Screening of Buildings for Seismic Investigation. NRC Publications Archive. Ottawa, ON, Canada
- Federal Emergency Management Agency (2015). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook” FEMA154. 3rd ed. Washington, DC, USA
- New Zealand Society for Earthquake Engineering (NZSEE), (2017), The Seismic Assessment of Existing Buildings: Technical Guidelines for Engineering Assessments, New Zealand Society for Earthquake Engineering, Wellington, New Zealand
- กรมโยธาธิการและผังเมือง (2564), “มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของ แผ่นดินไหว” กระทรวงมหาดไทย, ประเทศไทย
- Hassan, A. and Sozen, M. (1997). Seismic vulnerability assessment of low-rise buildings in regions with infrequent earthquakes. ACI Struct J 94(1): 31–39
- Personal communications, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 1993.
- Chiou, T.C., Hwang, S.J., Chung, L.L., Tu, Y.S., Shen, W.C., and Weng, P.W. (2017). Preliminary seismic assessment of low-rise reinforced concrete buildings in Taiwan. In: 16th World Conference on Earthquake Engineering. 16WCEE 2017, Santiago, paper no: 2977
- Song J-C, Chiou T-C, Hwang S-J (2013): Investigation of column-to-floor ratio for seismic safety of RC school buildings in Taiwan. NCREE-13-031, NCREE, Taipei, Taiwan. (in Chinese)
- Islam, M.S., Alwashali, H., Torihata, Y., Jin, K., and Maeda, M. (2017). Rapid seismic capacity evaluation method of RC buildings with masonry infill. In: Architectural Institute of Japan-Academic Lecture Collection Summary: 195-196
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2014). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. ASCE/SEI41-13. Reston, Virginia, USA
- Bangladesh National Building Code (BNBC), 2015.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Ruggieri, S., D. Perrone, M. Leone, G. Uva and M.A. Aiello. (2020). A prioritization RVS methodology for the seismic risk assessment of RC school buildings. International Journal of Disaster Risk Reduction 51 (2020) 101807: 1-15
- Wu Y., Teng T., Shin T., and Hsiao N. (2003). Relationship between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Intensity in Taiwan. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, No. 1, pp. 386–396, February 2003
- Su K-L (2008): Preliminary seismic evaluation method for typical school buildings in Taiwan. Master Thesis, Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan. (in Chinese)
- PAHO/WHO, Hospital Safety Index, Guide for Evaluators, Pan American Health Organization and World Health Organization, Washington, DC, 2015.
- D. Perrone, M.A. Aiello, M. Pecce and F. Rossi. (2015). Rapid visual screening for seismic evaluation of RC hospital buildings. The Institution of Structural Engineers. Structural 3 (2015), pp.57-70
- FEMA NEHRP. (1997), “Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Building (FEMA273). and NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Building (FEMA274), Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.



ประวัติผู้เขียน

ประวัติผู้เขียน	นายเอกราช ปัญญาโรจน์
วัน เดือน ปีเกิด	6 สิงหาคม 2537
ที่อยู่	35 ซอยสวนผัก52 แขวงฉิมพลี เขตตลิ่งชัน จังหวัดกรุงเทพ 10170
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา
ประสบการณ์ทำงาน	วิศวกรควบคุมงานก่อสร้าง บริษัท อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด พ.ศ. 2561 จนถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	082-446-1113
อีเมล	ekarat_p@mail.rmutt.ac.th Ekarat2537@gmail.com

