

การประเมินกำลังต้านแผ่นดินไหวของอาคารที่พักอาศัยเดี่ยวในพื้นที่ จังหวัดเชียงใหม่

EARTHQUAKE CAPACITY EVALUATION OF LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS IN CHIANG MAI

กิตติชัย หนูจิว¹, ชยานนท์ หรรษภิญโญ² และ ปิยะพงษ์ วงศ์เมธา³

¹นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

³อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Kittichai Noojew¹ Chayanon Hansapinyo² and Piyapong Wongmatar³

¹School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University,

239 Huay Kaew Road, Suthep, Muang, Chiang Mai 50200

²Asst. Prof., Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University,

239 Huay Kaew Road, Suthep, Muang, Chiang Mai 50200

³Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University,

239 Huay Kaew Road, Suthep, Muang, Chiang Mai 50200

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินกำลังต้านแผ่นดินไหวของอาคารที่พักอาศัยเดี่ยวซึ่งเป็นกลุ่มอาคารที่มีจำนวนมากในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ การศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การสุ่มสำรวจสมรรถภาพอาคารต้านทานแผ่นดินไหวเบื้องต้นโดยวิธีการสังเกตด้วยตาอย่างรวดเร็ว จำนวน 100 อาคาร (Rapid visual screening) และส่วนที่ 2 การวิเคราะห์อาคารตัวแทนที่ได้จากผล RVS โดยวิธีการผลักประลัย (Nonlinear Static Pushover) จำนวน 4 อาคาร การศึกษาสรุปได้ว่ามีอาคารที่ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินที่ยอมรับได้จำนวน 80 อาคาร จากทั้งหมดที่สำรวจ 100 อาคาร เนื่องจากอาคารเหล่านี้ส่วนมากไม่ได้ถูกออกแบบให้ต้านทานแรงแผ่นดินไหว และมีความไม่สม่ำเสมอของรูปร่างอาคาร ส่วนผลจากการวิเคราะห์โดยวิธีผลักประลัย พบว่าอาคารไม่ผ่าน

เกณฑ์ทั้ง 4 หลัง โดยมีค่าขีดจำกัดสมรรถนะของชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารอยู่ในระดับป้องกันการพังทลาย (CP) และทั้งหมดเกิดขึ้นที่เสาของอาคาร

คำสำคัญ: อาคารพักอาศัยเดี่ยว, วิธีการผลักประลัย, ประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหว

ABSTRACT

This paper was aimed to evaluate the seismic capacity of low-rise residential buildings representing most of buildings in Chiangmai city. The study can be divided into 2 parts. The first part was rapid visual screening of 100 building samples. The second part was nonlinear static pushover analysis of 4 buildings selected from the previous part. The study could be concluded that there are 80 buildings identified as unacceptable seismic performance from 100 total surveyed buildings. This is due to the non-seismic design and building irregularities. For the nonlinear pushover analysis, all 4 buildings performed lower seismic performances with identified as collapse prevention (CP) performance limit. The buildings were complete collapsed at columns.

KEYWORDS: Low-rise Residential Buildings, Nonlinear Static Pushover, Seismic Capacity Evaluation

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่า พื้นที่ในจังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยจัดอยู่ในเขตพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายจากแผ่นดินไหว มีแผ่นดินไหวที่บันทึกได้มากกว่า 100 ครั้งต่อปี [1] และในประมาณ 10 ครั้งสามารถรู้สึกได้โดยผู้อาศัยที่อยู่ในอาคาร ทำให้เกิดความตื่นตระหนกต่อภัยแผ่นดินไหว โดยเฉพาะในเมืองขนาดใหญ่ที่มีสิ่งปลูกสร้างและมีความหนาแน่นของประชากรมาก เช่น จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดเชียงราย เป็นต้น

จากเหตุการณ์แผ่นดินไหว ขนาด 6.3 แมกนิจูด จุดศูนย์กลางเกิดแผ่นดินไหว ตำบลจอมหมอกแก้ว อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย [2] เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 พบว่าความเสียหายในพื้นที่เกิดขึ้นกับอาคารที่พักอาศัยเดี่ยวและอาคารพาณิชย์ลักษณะความเสียหาย คือ บริเวณโครงสร้างเสาของอาคารดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นเกิดจากโครงสร้างเสาไม่สามารถต้านทานแรงเฉือนที่เกิดจากแรงกระทำด้านข้างจากแรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นได้อย่างเพียงพอ ส่งผลให้เสาเกิดการเฉือนขาด



รูปที่ 1 ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นเกิดกับโครงสร้างเสา

อาคารที่พังกาศัยเตี้ย แม้ว่าจะไม่ใช่กลุ่มอาคารสาธารณะที่มีการชุมนุมของกลุ่มคนจำนวนมาก แต่อาคารเหล่านี้จัดเป็นกลุ่มอาคารที่มีจำนวนมากเมื่อเทียบเป็นสัดส่วน ดังนั้นหากอาคารเหล่านี้เกิดความเสียหายแล้วย่อมส่งผลกระทบต่อประชาชนเป็นวงกว้าง [3] การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินกำลังต้านแผ่นดินไหวของอาคารที่พังกาศัยเตี้ยในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยการสุ่มสำรวจสมรรถภาพอาคารต้านทานแผ่นดินไหวเบื้องต้นโดยวิธีการสังเกตด้วยตาอย่างรวดเร็ว จำนวน 100 อาคาร (Rapid visual screening) [4] อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ถือเป็นวิธีการประเมินอย่างหยาบเพื่อการคัดกรองอาคารที่ผ่านเกณฑ์ออก ส่วนอาคารที่ไม่ผ่านเกณฑ์จะทำการประเมินอย่างละเอียดต่อไป โดยการศึกษานี้ได้เลือกการวิเคราะห์โดยวิธีการผลักประลัย (Nonlinear Static Pushover) [5] เป็นวิธีการที่ง่าย โดยเลือกอาคารตัวแทนที่ได้จากผล RVS ที่ไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 4 อาคาร

2. วิธีการศึกษา

2.1 ตัวอย่างอาคาร

การศึกษานี้ทำการสุ่มสำรวจอาคารที่พังกาศัยเตี้ยของเมืองเชียงใหม่จำนวน 100 อาคาร ลักษณะอาคารตัวอย่างประกอบด้วย บ้านเดี่ยว 2 ชั้น 72 อาคาร ทาวน์โฮมและอาคารพาณิชย์ (ซึ่งมีการใช้สอยเป็นที่พังกาศัยเตี้ย) รวม 23 อาคาร และลักษณะอาคารลักษณะอื่น ๆ รวมกัน จำนวน 5 อาคาร อาคารทั้งหมดมีความสูงระหว่าง 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น จากข้อมูลสำรวจเบื้องต้นพบว่าการออกแบบอาคารที่สำรวจประกอบด้วย วิถีหน่วยแรงใช้งานจำนวน 25 อาคาร และ วิถีกำลังจำนวน 22 อาคาร ที่เหลือ 53 อาคารไม่สามารถระบุได้ ลักษณะการก่อสร้างฐานรากจากการสำรวจเป็นแบบฐานรากตื้น 41 อาคาร ฐานรากเสาเข็มตอกจำนวน 32 อาคาร และฐานรากเสาเข็มเจาะ มีจำนวนน้อยที่สุดคือ 8 อาคาร และ 19 อาคารไม่สามารถระบุได้

2.2 การสำรวจสมรรถภาพอาคารต้านทานแผ่นดินไหวเบื้องต้นโดยวิธีการสังเกตด้วยตาอย่างรวดเร็ว (Rapid visual screening)

การประเมินด้วยสายตา (Rapid Visual Screening) คือ วิธีเบื้องต้นสำหรับการระบุ จัดหมวดหมู่ และแยกระดับของอาคารที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหว โดยวิธีนี้เป็นระบบการให้คะแนนซึ่งจะต้อง ระบุประเภทโครงสร้างหลัก และลักษณะเฉพาะของโครงสร้างนั้น ๆ หากอาคารได้คะแนนมากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ นั่นถือว่าไม่อยู่ในกลุ่มเสี่ยง แต่ถ้าอาคารไหนได้คะแนนน้อยกว่าเกณฑ์ถือว่าอยู่ในกลุ่มเสี่ยง ควรจะทำการประเมินโดยละเอียดอีกครั้ง การเก็บข้อมูลต่างๆ ของอาคารนั้นจะนำมาบันทึกในแบบฟอร์มตามระดับความรุนแรง โดยในพื้นที่เชียงใหม่นั้นได้พิจารณาสำหรับความรุนแรงแผ่นดินไหวขนาดกลาง (รูปที่ 2)

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

MODERATE Seismicity

Address: _____

Zip: _____

Other Identifiers: _____

No. Stories: _____ Year Built: _____

Screener: _____ Date: _____

Total Floor Area (sq. ft.): _____

Building Name: _____

Use: _____

PHOTOGRAPH

Scale: _____

OCCUPANCY				SOIL TYPE					FALLING HAZARDS						
Assembly	Govt	Office	Number of Persons	A	B	C	D	E	F	☐	☐	☐	☐		
Commercial	Historic	Residential	0 - 10	Hard	Avg.	Dense	Stiff	Soft	Poor	Unreinforced	Parapets	Cladding	Other:		
Emer. Services	Industrial	School	11 - 100	Rock	Rock	Soil	Soil	Soil	Soil	Chimneys					
			101-1000												
			1000+												
BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL SCORE, S															
BUILDING TYPE	W1	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM
Basic Score	5.2	4.8	3.6	3.6	3.8	3.6	3.6	3.0	3.5	3.2	3.2	3.2	3.6	3.4	3.4
Mid Rise (4 to 7 stories)	N/A	N/A	+0.4	+0.4	N/A	+0.4	+0.4	+0.2	+0.4	+0.2	N/A	+0.4	+0.4	+0.4	-0.4
High Rise (>7 stories)	N/A	N/A	+1.4	+1.4	N/A	+1.4	+0.8	+0.5	+0.8	+0.4	N/A	+0.6	N/A	+0.6	N/A
Vertical Irregularity	-3.5	-3.0	-2.0	-2.0	N/A	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	N/A	-1.5	-2.0	-1.5	-1.5
Plan Irregularity	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Pre-Code	0.0	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	-1.0	-0.4	-1.0	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Post-Benchmark	+1.6	+1.6	+1.4	+1.4	N/A	+1.2	N/A	+1.2	+1.6	N/A	+1.8	N/A	2.0	+1.8	N/A
Soil Type C	-0.2	-0.8	-0.6	-0.8	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.4
Soil Type D	-0.6	-1.2	-1.0	-1.2	-1.0	-1.2	-1.2	-1.0	-1.2	-1.0	-1.0	-1.2	-1.2	-1.2	-0.8
Soil Type E	-1.2	-1.8	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
FINAL SCORE S															
COMMENTS															
Detailed Evaluation Required															
YES NO															

* = Estimated, subjective, or unreliable data
 DNK = Do Not Know
 BR = Braced frame
 FD = Flexible diaphragm
 LM = Light metal
 MRF = Moment-resisting frame
 RC = Reinforced concrete
 RD = Rigid diaphragm
 SW = Shear wall
 TU = Tilt up
 URM INF = Unreinforced masonry infill

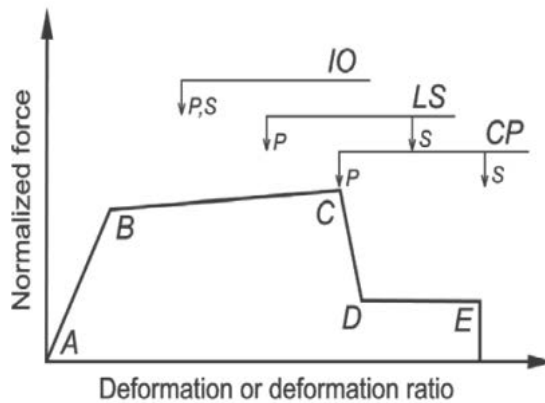
รูปที่ 2 ตารางแบบฟอร์มสำหรับความรุนแรงแผ่นดินไหวขนาดกลาง FEMA 154 [4]

2.3 การวิเคราะห์โดยวิธีผลักประลัย (Nonlinear Static Pushover)

การศึกษานี้เลือกใช้การวิเคราะห์โดยวิธีผลักประลัย (Nonlinear Static Pushover) เป็นการประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวชั้นละเอียดซึ่งง่าย มีประสิทธิภาพและใช้กันอย่างแพร่หลาย ผลที่ได้จะแสดงในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแรงผลักสถิตเทียบเท่าและการเสียรูปทางข้าง (Capacity Curve) การวิเคราะห์จะพิจารณาให้รับแรงในแนวดิ่งคงที่ร่วมกับแรงกระทำด้านข้าง โดยเพิ่มขนาดของแรงด้านข้างผลักขึ้นเป็นขั้น ๆ (Increment) จนกระทั่งชิ้นส่วนอาคารเกิดการเสียหายและแสดงพฤติกรรมไร้เชิงเส้น (Nonlinear) เป็นลำดับมากขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุดอาคารทั้งระบบถึงสภาวะขีดจำกัดประลัย

พฤติกรรมขององค์อาคาร จะถูกจำลองในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายในกับการเสียรูป (Deformation or deformation ratio) (รูปที่ 3) จุด A แสดงถึงสภาวะขององค์อาคารที่ไม่มีแรงกระทำ จากนั้นในช่วง A ถึง B แสดงให้เห็นพฤติกรรมในลักษณะเชิงเส้นจนกระทั่งองค์อาคารเกิดการครากที่จุด B เมื่อองค์อาคารรับแรงกระทำอย่างต่อเนื่องก็จะแสดงพฤติกรรมในช่วงไม่เชิงเส้นรวมทั้งผลของ Stain Hardening ไปจนถึงจุด C จุดที่องค์อาคารสามารถรับแรงกระทำได้สูงสุด หลังจากนั้นกำลังขององค์อาคารก็จะลดลงจากจุด C ไปจุด D ซึ่งเป็นช่วงของการวิบัติขององค์อาคาร เนื่องจากการวิบัติของเหล็กเสริมหลัก คอนกรีตเกิดการอัดแตก หรือการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน ช่วงจุด D ไปยังจุด E แสดงถึงพฤติกรรมขององค์อาคารที่ไม่สามารถต้านทานแรงกระทำด้านข้างได้อีกแต่ยังคงสามารถต้านทานแรงกระทำในแนวดิ่งได้ และจุด E คือจุดสุดท้ายที่แสดงให้เห็นว่าตัวองค์อาคารนั้นไม่สามารถต้านทานแรงกระทำทั้งทางด้านข้างและในแนวดิ่งได้อีก ซึ่งเป็นการเสียรูปทางด้านข้างที่สูงที่สุด

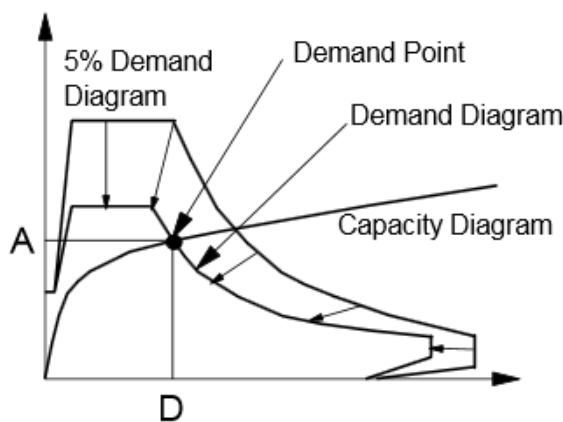
ระดับสมรรถนะของชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารตามระดับความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มขนาดแรงผลักด้านข้าง แบ่งออกเป็น 3 ระดับ (รูปที่ 3) ประกอบด้วยตำแหน่ง IO แสดงถึง ระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที (Immediate Occupancy) ตำแหน่ง LS แสดงถึง ระดับความปลอดภัยต่อชีวิต (Life Safety) และตำแหน่ง CP แสดงถึง ระดับป้องกันการพังทลาย (Collapse Prevention) ตามลำดับ โดยการทำนตระยะของ IO จะต้องไม่เกิน 0.67 เท่าของ LS ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ระยะ 0.75C และ CP ตำแหน่งอยู่ที่ C และจะต้องไม่เกิน 0.75E



รูปที่ 3 ตำแหน่งระดับความเสียหายของชิ้นส่วนโครงสร้าง ASCE/SEI 41-06 [4]

2.4 การวิเคราะห์โดยวิธีสเปกตรัมความสามารถ (Capacity spectrum method)

การวิเคราะห์โดยวิธี Capacity spectrum method ตามที่เสนอโดย Applied Technology Council (ATC-40) [6] นั้นเป็นการเปรียบเทียบและหาตำแหน่งของแรงกระทำด้านข้างสูงสุดและการเคลื่อนตัวด้านข้างของยอดอาคารสูงสุดที่โครงสร้างสามารถรับได้ก่อนเกิดการพังทลายภายใต้แรงแผ่นดินไหว สมรรถนะของอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหวนั้น (Performance) คือ จุดตัดของเส้นโค้งสเปกตรัมสมรรถนะ (Capacity spectrum) กับเส้นโค้งความต้องการ (Demand spectrum หรือ Response spectrum) ซึ่งจะนำไปเทียบกับระดับสมรรถนะเป้าหมาย (Performance objective) (รูปที่ 4) เพื่อชี้ให้เห็นว่าอาคารจะมีสภาพเป็นอย่างไรหลังเกิดแผ่นดินไหวขึ้น



รูปที่ 4 วิธีสเปกตรัมความสามารถ

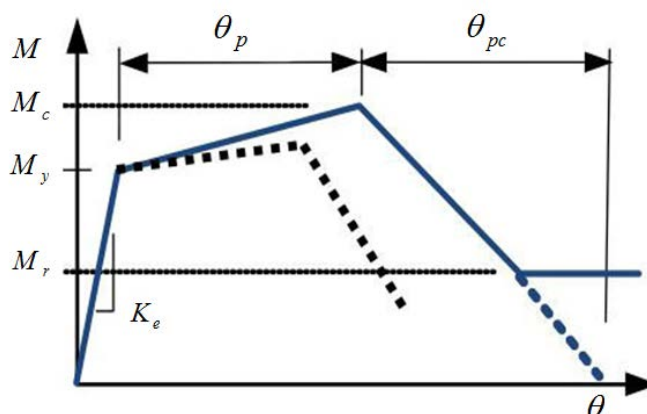
3. แบบจำลองอาคาร

แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ จะถูกสร้างโดยโปรแกรม SAP 2000 [7] การกำหนดค่าความแข็งแรงประสิทธิภาพเริ่มต้นของหน้าตัดก่อนการแตกร้าวในการรับแรงดัดขึ้นส่วนคานและเสาเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ ($E_{eff} = 0.3E_g$) และ 70 เปอร์เซ็นต์ ($E_{eff} = 0.70$) ตามลำดับ [8] กำหนดให้ เป็นพื้นแบบแข็งเกร็ง (diaphragm) กล่าวคือการเคลื่อนตัวด้านข้างระดับเดียวกันมีค่าเท่ากัน ส่วนฐานรากพิจารณาให้จุดรองรับของอาคารเป็นแบบหมุดได้ (Pin) เนื่องจากในความเป็นจริงฐานรากมีความยืดหยุ่นของตัววัสดุ (Elastic material)

3.1 จุดหมุนพลาสติก

แสดงถึงความสามารถของหน้าตัดที่สามารถหมุนตัวได้เมื่อโมเมนต์ที่กระทำต่อหน้าตัดใด ๆ มีค่าไม่มากกว่ากำลังต้านทานโมเมนต์ดัดของหน้าตัดนั้น ๆ โดยจะหมุนตัวได้มากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหนียวของหน้าตัดที่สะท้อนมาจากคุณสมบัติกำลังและความเหนียวของวัสดุ การกำหนดคุณสมบัตินี้ ถือเป็นข้อมูลขั้นต้นที่มีความสำคัญ ที่หากผิดไปจากความเป็นจริงจะทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้เพี้ยนไป [9] ตำแหน่งที่เกิดจุดหมุนพลาสติกนั้นจะเกิดขึ้นที่บริเวณปลายเสาและปลายคานที่ตำแหน่งหน้าตัดวิกฤต (L_p) เนื่องจากจะมีแรงกระทำสูงเมื่อเกิดแผ่นดินไหว

คุณสมบัติของจุดหมุนพลาสติกถูกกำหนดโดยความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์การดัด-หมุน (รูปที่ 5) จุดโมเมนต์การดัดคราก (M_y) และจุดโมเมนต์การดัดวิบัติ (M_c) แสดงสภาพชิ้นส่วนเมื่อเกิดการครากและจุดประลัย ตามลำดับ



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดัดและการหมุน Haselton et al. [10]

Haselton et al. [10] เสนอสมการที่ได้จากการทดสอบเพื่อหาค่า $M_c, \theta_p, \theta_{pc}$ ดังนี้

$$M_c = M_y (1.25)(0.89)^v (0.91)^{0.01 f'c} \quad (1)$$

เมื่อ

$$\theta_p = 0.12(1 + 0.55a_{sl})(0.16)^v (0.02 + 40\rho_{sh})^{0.43} (0.54)^{0.01c_{units} f'c} (0.66)^{0.1s_n} (2.27)^{10.0\rho} \quad (2)$$

และ

$$\theta_{pc} = (0.76)(0.031)^v (0.02 + 40\rho_{sh})^{1.02} \leq 0.10 \quad (3)$$

โดยที่

a_{sl} คือ ตัวแปรตัวบ่งชี้ (0 หรือ 1) เพื่อแสดงความเป็นไปได้ของการรูดไถของเหล็กเสริมตามยาว

v คือ แรงกระทำในแนวแกน $P / A_g f'c$

ρ_{sh} คือ อัตราส่วนพื้นที่ของเหล็กเสริมตามขวาง A_{sh} / sb

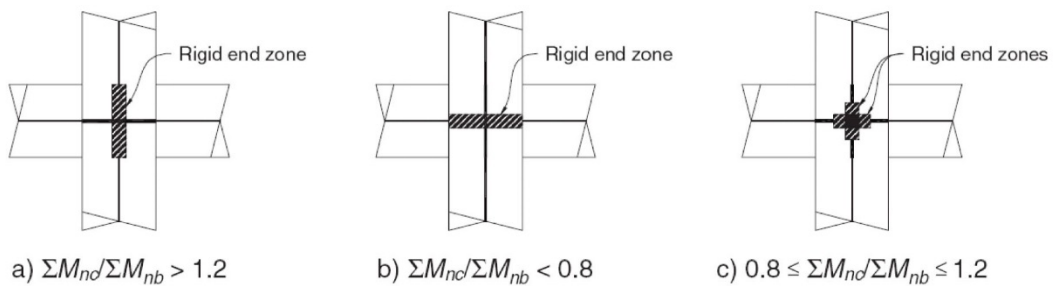
S_n คือ สัมประสิทธิ์การโก่งตัวของเหล็กเสริม $(s / d_b)(f_y / 100)^{0.5}$

$f'c$ คือ กำลังของคอนกรีตมีหน่วยเป็น MPa

3.2 จุดต่อคานเสา (Rigid end zone)

การจำลองโครงสร้างคาน-เสาเป็นเส้นตรงนั้นจุดต่อที่สร้างขึ้นมีลักษณะเป็นจุดซึ่งไม่ถูกต้องตามพฤติกรรมจริงของโครงสร้าง ดังนั้นการคำนึงถึงจุดต่อคานเสา (Rigid end zone) ทำให้แบบจำลองมีพฤติกรรมใกล้เคียงโครงสร้างจริงมากขึ้น การพิจารณามีทั้งหมด 3 กรณี ความกว้างและยาวของ Rigid zone จะมีขนาดเท่ากับหน้าตัดเสาและความลึกของคานตามลำดับ (รูปที่ 6)

การศึกษานี้จำลองจุดต่อโครงสร้างคาน-เสา ใน กรณี c เนื่องจากอัตราส่วนของผลรวมระหว่างโมเมนต์เสาและคานอยู่ในช่วง 0.8 - 1.2 โดยคานและเสามีความเป็น Rigid อย่างละครึ่ง



รูปที่ 6 การสร้างจุดต่อคาน-เสา ในแต่ละกรณี PEER/ATC 72-1 [11]

กรณี a
$$\Sigma M_{nc}/\Sigma M_{nb} > 1.2 \quad (4)$$

เสายภายในจุดต่อเป็น Rigid

กรณี b
$$\Sigma M_{nc}/\Sigma M_{nb} < 0.8 \quad (5)$$

คานภายในจุดต่อเป็น Rigid

กรณี c
$$0.8 \leq \Sigma M_{nc}/\Sigma M_{nb} \leq 1.2 \quad (6)$$

คานและเสายภายในจุดต่อเป็น Rigid อย่างละครึ่ง

โดยที่ $\Sigma M_{nc}, \Sigma M_{nb}$ คือ ผลรวมโมเมนต์เสาและคาน

3.3 แรงกระทำด้านข้างเทียม

แรงกระทำด้านข้างเทียมจากแผ่นดินไหวเทียบเท่าตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว กรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ.1302 [12] แรงกระทำด้านข้างเทียมที่ฐานอาคารในแต่ละแนวแกนหลัก (Seismic Base Shear, V) จะคำนวณจาก

$$V = C_s W \quad (7)$$

เมื่อ

C_s คือ สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว

W คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร

โดยน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล (W) จะต้องรวมน้ำหนักบรรทุกทุกคงที่ทั้งหมดของอาคารและน้ำหนักบรรทุกทุกประเภทอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

(1) ร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกทุกจร (Floor Live Load) ในกรณีของอาคารที่ใช้เก็บพัสดุ อื่นๆอาคารจอดรถยนต์ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงน้ำหนักในข้อนี้

(2) น้ำหนักของผนังอาคาร และผนังกันห้องต่าง ๆ หรือน้ำหนักบรรทุกเทียบเท่าจากน้ำหนักของผนังอาคารที่กระจายลงพื้นทั่วทั้งชั้นอย่างน้อย 480 นิวตันต่อตารางเมตร โดยให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่า

(3) น้ำหนักของเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ซึ่งตั้งถาวรในอาคาร สำหรับการกระจายแรงต้านข้างเคียงไปตามแต่ละชั้นตามความสูงของอาคารจะคำนวณจาก

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V \quad (8)$$

โดยที่

F_x คือ แรงกระทำที่ระดับชั้นที่ x

w_i และ w_x คือ น้ำหนักประสิทธิผลของชั้นที่ i และ x

h_i และ h_x คือ ความสูงจากพื้นดินถึงที่ระดับชั้น i และ x

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง ซึ่งมีค่าดังนี้

$k = 1.0$ เมื่อ $T \leq 0.5$ วินาที

$k = 1 + (T - 0.5)/2$ เมื่อ $0.5 \text{ วินาที} < T < 2.5 \text{ วินาที}$

$k = 2.0$ เมื่อ $T \geq 2.5$ วินาที

3.4 คุณสมบัติของวัสดุ

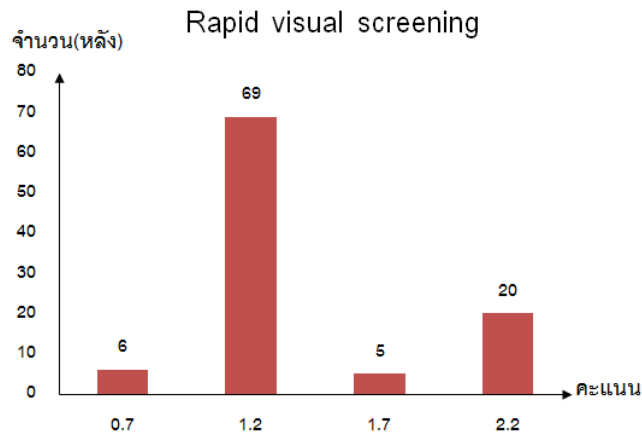
กำลังอัดคอนกรีตทรงกระบอกที่ 28 วันมีค่าเท่ากับ 240 กก/ตร.ซม เหล็กข้ออ้อย สำหรับเสาและคานเกรด SD30 และเหล็กกลมสำหรับเหล็กปลอกเกรด SR24 ในการประเมินกำลังที่แท้จริงของเหล็กเสริม [13] จะพิจารณากำลัง ณ จุดครากเท่ากับ 3,900 กก/ตร.ซม และ 3480 กก/ตร.ซม สำหรับ SD30 และ SR24

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลจากการสำรวจสมรรถภาพอาคารด้านทานแผ่นดินไหวเบื้องต้นโดยวิธีการสังเกตด้วยตาอย่างรวดเร็ว (Rapid visual screening)

จากการสำรวจอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งหมด 100 อาคารในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีอาคารที่ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน ที่ยอมรับได้จำนวน 80 อาคาร (รูปที่ 7) ซึ่งเกณฑ์ขั้นต่ำ

คะแนนการประเมิน คือ 2.0 โดยสาเหตุหลักเกิดจากอาคารเหล่านี้ไม่ได้ถูกออกแบบให้ต้านทานแรงแผ่นดินไหวและมีความไม่สม่ำเสมอของรูปร่างอาคาร



รูปที่ 7 ผลการประเมินอาคารโดยวิธี RVS

4.2 รายละเอียดอาคารตัวแทนที่ได้จากผล RVS

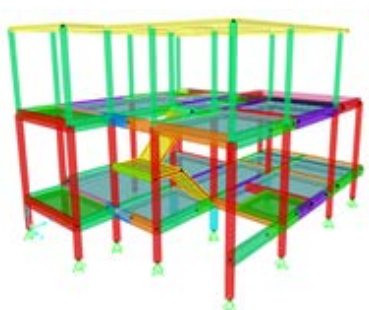
สำหรับอาคารที่มีคะแนนไม่ผ่านเกณฑ์นั้นจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมว่าสามารถต้านแรงแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นได้หรือไม่ โดยทำการชั่งอาคารตัวแทนออกมา 4 อาคาร และทำการวิเคราะห์ชั้นละเอียดย ชนิดอาคารตัวแทนเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ระบบโครงสร้างของอาคารเป็นแบบคาน – เสา (Beam Column Frame) เสาประกอบด้วยหน้าตัด 15x15 ซม. 20x20 ซม. 25x25 ซม. และ 30x30 ซม. คานประกอบด้วยหน้าตัด 15x30 ซม. 15x40 ซม. 20x40 ซม. และ 20x50 ซม. พื้นอาคารทั่วไปเป็นแผ่นพื้นสำเร็จหนา 5 ซม. คอนกรีตทับหน้า 5 ซม. ยกเว้นพื้นที่ห้องน้ำเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่หนา 10 ซม.

อาคาร A บ้านพักอาศัย สูง 2 ชั้น รูปทรงสม่ำเสมอ (รูปที่ 8) ตัวอาคารมีความกว้าง 8.70 เมตร ยาว 12.40 เมตร ความสูงระหว่างชั้น 3.40 เมตร และ 3.10 เมตร

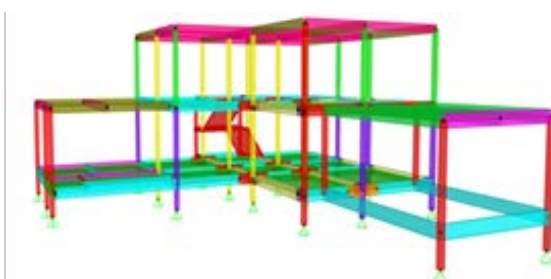
อาคาร B บ้านพักอาศัย สูง 2 ชั้น รูปตัว L รูปทรงไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบ (รูปที่ 9) ตัวอาคารมีความกว้าง 16.50 เมตร ยาว 22.20 เมตร ความสูงระหว่างชั้น 3.50 เมตร

อาคาร C อาคารพาณิชย์สูง 2 ชั้นครึ่ง รูปทรงสม่ำเสมอ 4 คูหา (รูปที่ 10) ตัวอาคารมีความกว้างคูหาละ 4 เมตร ยาว 14.75 เมตร ความสูงระหว่างชั้น 2.50 เมตร 2.50 เมตร และ 3.0 เมตร

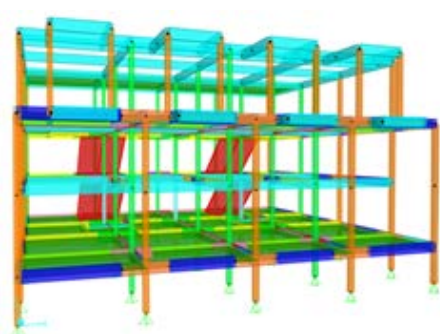
อาคาร D อาคารพาณิชย์สูง 3 ชั้น รูปทรงสม่ำเสมอ 10 คูหา (รูปที่ 11) ตัวอาคารมีความกว้างคูหาละ 4 เมตร ยาว 15 เมตร ความสูงระหว่างชั้น 3.50 เมตร



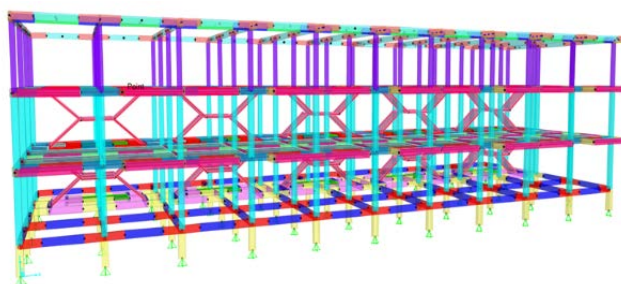
รูปที่ 8 อาคาร A



รูปที่ 9 อาคาร B



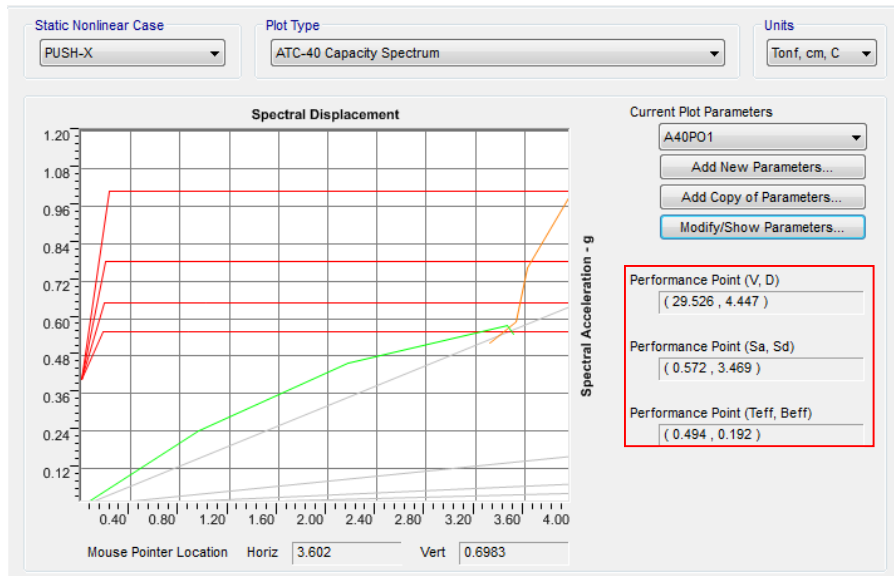
รูปที่ 10 อาคาร C



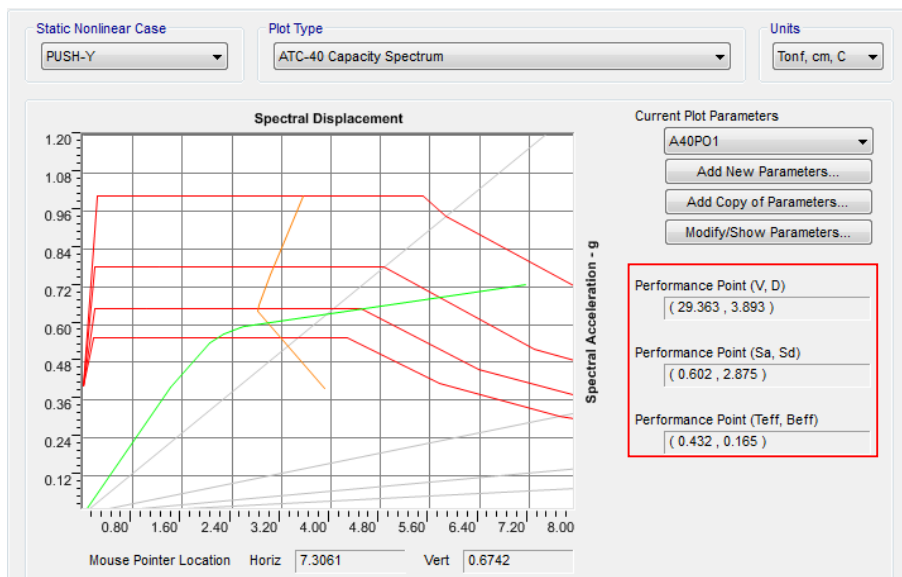
รูปที่ 11 อาคาร D

4.3 ผลการวิเคราะห์

4.3.1 ผลการวิเคราะห์โดยวิธีการผลักประลัย (Nonlinear Static Pushover)



รูปที่ 12 Pushover Curve แรงกระทำด้านข้างในแนวแกน X



รูปที่ 13 Pushover Curve แรงกระทำด้านข้างในแนวแกน Y

จากการวิเคราะห์โดยวิธีการผลักประลัย (Nonlinear Static Pushover) และเปรียบเทียบค่าพิกัดสมรรถนะโดยใช้มาตรฐาน ATC-40 กำหนดสเปกตรัมการตอบสนองความต้องการ (Demand Spectrum) เป็นเขตพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบถึงขนาดของแรงกระทำด้านข้างสูงสุดที่โครงสร้างสามารถรับได้และผลของค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของยอดอาคารสูงสุด ตัวอย่างอาคาร A เมื่อพิจารณาให้แรงกระทำด้านข้างในแนวแกน X และ Y กระทำกับโครงสร้างทีละชั้น (Step-by-step) จนกระทั่งโครงสร้างเกิดการวิบัติและสูญเสียเสถียรภาพ (รูปที่ 12 และรูปที่ 13) อาคาร A มีค่าพิกัดสมรรถนะค่าแรงเฉือนที่ฐานเท่ากับ 29.53 ตัน และ 29.36 ตัน การเคลื่อนตัวด้านข้างของยอดอาคารเท่ากับ 4.4 เซนติเมตร และ 3.9 เซนติเมตร

ตารางที่ 1 แรงกระทำด้านข้างที่โครงสร้างสามารถรับได้ เปรียบเทียบ มยผ.1302

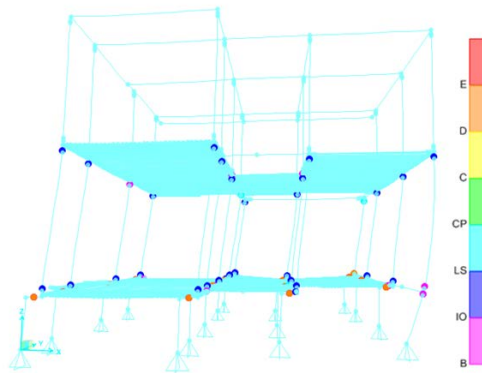
อาคาร	ทิศทางการผลัก	กำลังต้านทาน	มยผ. 1302
1	X	29.5	39
	Y	29.4	42
2	X	31.5	75
	Y	30.3	72
3	X	59	67
	Y	108	124
4	X	156	210
	Y	204	273

และเมื่อทำการเปรียบเทียบแรงกระทำที่ได้กับมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1302 (ตารางที่ 1) พบว่าอาคารทั้ง 4 หลังที่เป็นตัวแทน มีกำลังต้านทานแรงกระทำด้านข้างที่น้อยกว่า

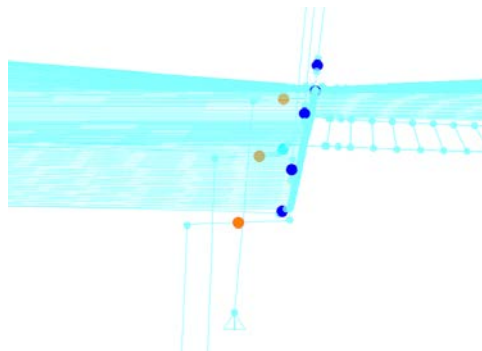
4.3.2 ความเสียหายของแบบจำลอง

จากการประเมินระดับสมรรถนะของโครงสร้างอาคารตัวแทนทั้ง 4 หลัง พบว่าแบบจำลองมีระดับสมรรถนะของชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารอยู่ในระดับระดับป้องกันการพังทลาย (CP) โดยความเสียหายที่เกิดขึ้นแสดงที่เสาตอม่อและเสาชั้นที่ 1 ซึ่งสาเหตุการเสียหายเกิดจากการเฉือนขาดของเสา ตัวอย่างอาคาร A (รูปที่ 14) จะเห็นได้ว่า ระดับความเสียหายที่แสดง (รูปที่ 15) บ่งบอกว่า

โครงสร้างดังกล่าววิบัติโดยการเฉือนขาดของเสาตอม่อ ซึ่งพฤติกรรมการพังทลายของอาคารเป็นแบบเปราะ



รูปที่ 14 ความเสียหายที่เกิดกับโครงสร้างอาคาร A



รูปที่ 15 การเฉือนขาดของเสาตอม่อ

5. สรุป

จากการศึกษา ได้ทำการการสำรวจสมรรถภาพอาคารด้านทานแผ่นดินไหวเบื้องต้นในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่แผ่นดินไหวความรุนแรงขนาดกลาง ด้วยวิธีการสังเกตด้วยตาอย่างรวดเร็ว โดยวิธีนี้เป็นระบบการให้คะแนน จากอาคารในพื้นที่จำนวน 100 อาคาร พบว่า 80 อาคาร มีผลคะแนนที่ต่ำกว่าเกณฑ์การประเมินที่คะแนน 2.0 ซึ่งถือว่าอยู่ในกลุ่มเสี่ยง ควรต้องทำการประเมินโดยละเอียด ดังนั้นจึงมีการสุ่มอาคารตัวแทนจำนวน 4 ตัวอย่างเพื่อการประเมินโดยละเอียดอีกครั้งด้วยวิธีผลักประลัย (Nonlinear Static Pushover) ผลการวิเคราะห์พบว่าอาคารทั้ง 4 ตัวอย่างมีระดับสมรรถนะอยู่ในระดับป้องกันการพังทลาย (CP) รูปแบบการเสียหายคือ เกิดการเฉือนขาดของเสาส่งผลให้อาคารมีรูปแบบการเสียหายแบบเปราะ เหตุผลที่อาคารไม่สามารถต้าน

ทางแรงแผ่นดินไหวได้เนื่องจากไม่ได้ถูกออกแบบให้ต้านทานแรงแผ่นดินไหว และเนื่องจากอาคารมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรง จากผลการศึกษาสามารถแนะนำในเบื้องต้นได้ว่า ขนาดของเสาชั้นล่างควรมีขนาดใหญ่กว่า 20 ซม. และ 30 ซม. สำหรับบ้านพักอาศัยและอาคารพาณิชย์ตามลำดับ รวมทั้งต้องมีการเสริมเหล็กปลอกเพื่อเพิ่มความเหนียวของเสาให้เพียงพอ

References

- [1] Seismological Bureau. Thai Meteorological Department. [Online]. (2015). **Earthquake Report**. Available online: <http://www.seismology.tmd.go.th>. Retrieved 13/01/2015. (In Thai)
- [2] Seismological Bureau. Thai Meteorological Department. [Online]. (2015). **Chiang rai Earthquake Report May 5, 2014**. Available online: <http://www.seismology.tmd.go.th/documents/file/seismo-doc-1404703458.pdf> Retrieved 13/01/2015. (In Thai)
- [3] Hansapinyo, C. (2011) "Seismic Vulnerability of Low-rise, Single Long Span Reinforced Concrete Buildings Proceedings of the Tenth International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia". **USMCA 2011**. Chiangmai, Thailand. 12-14 October 2011.
- [4] Federal Emergency Management Agency (FEMA). (1988). **Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: a handbook**. Washington (DC): FEMA 154.
- [5] American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 41-06. (2007). **Seismic Rehabilitation of Existing Buildings**. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- [6] Applied Technology Council (ATC). (1996). **Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings**. Vol. 1. Report No. SSC 96-01 (ATC-40).
- [7] CSI. (2014). **SAP2000 version, 17 Integrated Software for Structural Analysis and Design**. Computer Structures, Inc., Berkeley, CA.
- [8] PEER. (2012). Update to ASCE/SEI 41 Concrete Provision. **Report 02 ASCE Update**. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- [9] Inel, M and Ozmen, H. B. (2006). "Effects of plastic hinge properties in nonlinear analysis of reinforced concrete buildings". **Engineering Structures**. Vol 28. 1494-1502.
- [10] Haselton et al. (2008). **Beam-Column Element Model Calibrated for Predicting Flexural Response Leading to Global Collapse of RC Frame Buildings**. Pacific

Earthquake Engineering Research Center University of California, Berkeley. PEER Report 2007/03

- [11] PEER/ATC 72-1. (2010). **Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings**. Applied Technology Council. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- [12] Department of Public Works and Town & Country Planning. (2009). **Standard for the building design under seismic loading in Thailand DPT 1302-52**. (In Thai)
- [13] Kiattavisanchai, S. (2001). **Evaluation of Seismic Performance of an Existing Medium-Rise Reinforced Concrete Frame Building in Bangkok**. M.Eng thesis, Thesis No. ST-01-11, Asian Institute of Technology.

ประวัติผู้เขียนบทความ



กิตติชัย หนูजू นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เชียงใหม่ โทรศัพท์ 084-4973332 E-Mail: knoojew@gmail.com
งานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ การออกแบบและประเมินอาคารต้านทานแผ่นดินไหว การเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กต้านทานแผ่นดินไหว



ชยานนท์ หารษภิญโญ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เชียงใหม่ โทรศัพท์ 053-944156 E-Mail: chayanon@eng.cmu.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก วิศวกรรมแผ่นดินไหว ไฟไนต์อีลิเมนต์



ปิยะพงษ์ วงค์เมธา อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เชียงใหม่ โทรศัพท์ 053-944156 E-Mail: piyapong_wongmatar@hotmail.com
งานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก วิศวกรรมแผ่นดินไหว ไฟไนต์อีลิเมนต์