Engng.J.CMU.(2020) 27 (1), 33-41

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การประเมินความเสียหายของอาคาร ในพื้นที่เทศบาลนครเชียงใหม่ก่อนและหลังการเสริมกำลัง จากเหตุแผ่นดินไหวคาดการณ์

Damage Assessment of Buildings in Chiang Mai Municipal Area Before and After Strengthening Under an Anticipated Earthquake

เอกชัย เกษทรัพย์[1*] ชยานนท์ หรรษภิญโญ[1] ปานนท์ ลาชโรจน์[2] และ กรพล สายเชื้อ[1]

Akkachai Ketsap[1], Chayanon Hansapinyo[1], Panon Latcharote[2] and Koraphon Saicheur[1]

[*1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

[2] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง ปทุมธานี 12121

[*1] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University,
239 akaew Road, Suthep, Mueng, Chiang Mai, Thailand, 50200

[2]Faculty of Science and Technology, Thammasat University,
99 Moo 18 Paholyothin Road, Klong Nueng, Klong Luang, Pathumthani, Thailand, 12121

* E-mail: akachai1624@gmail.com, chayanon@cmu.ac.th and panon@tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินความเสียหายของอาคารในพื้นที่เทศบาลนครเชียงใหม่ก่อนและหลังการเสริมกำลังจากเหตุแผ่นดินไหวคาดการณ์ โดยเริ่มจากเก็บข้อมูลลักษณะอาคารต่างๆ ทั้งหมด 80,290 อาคาร หลังจากนั้นจะจำลองสถานการณ์ของแผ่นดินไหวในตำแหน่งของรอยเลื่อนที่อยู่ใกล้กับเทศบาลนครเชียงใหม่มากที่สุด จากข้อมูลความยาวของรอยเลื่อน 9.69 กิโลเมตร สามารถประมาณขนาดของแผ่นดินไหวที่อาจจะเกิดขึ้นได้เท่ากับ 6.3 แมกนิจูด ที่พิกัดศูนย์กลาง ละติจูด 18.901 และ ลองติจูด 98.916 และได้ใช้สมการค่าลดทอนความเร่งของพื้นดินเพื่อคำนวณค่าความเร่งที่ฐานอาคารในแต่ละตำแหน่งของอาคาร ต่อจากนี้ได้นำค่าความเร่งพิจารณาร่วมกับเส้นโค้งกำลัง (Capacity curve) เพื่อหาพิกัดการตอบสนอง และประเมินระดับความเสียหายจากฟังก์ชั่นระดับความเปราะบางของอาคาร (Fragility Function) ต่อไป จากสถานการณ์แผ่นดินไหวที่จำลองดังกล่าว ส่งผลทำให้อาคารจำนวน 80,290 อาคาร พื้นที่อาคารทั้งหมด 22.33 ล้านตารางเมตร เกิดการพังทลายโดยสมบูรณ์คิดรวมเป็นพื้นที่ 7.29 ล้านตารางเมตร และหากมีการเสริมกำลังอาคารทุกหลัง พบว่าพื้นที่รวมของอาคารเกิดการพังทลายโดยสมบูรณ์ลดลงเหลือ 2.70 ล้านตารางเมตร

คำสำคัญ: แผ่นดินไหว เชียงใหม่ เสริมกำลัง ประเมินความเสียหาย การวิเคราะห์เชิงพื้นที่

Received 26 March 2019
Revised 16 May 2019
Accepted 3 July 2019

ABSTRACT

This research was aimed to perform damage assessment of buildings in Chiang Mai municipal area before and after strengthening under an anticipated earthquake. Building information in the study area was first collected. Then, the nearest fault was considered for making an earthquake scenario. The assumed earthquake was estimated at 6.3 Magnitude according to the fault length at the epicentre of Latitude and Longitude point of (18.901,98.916). Then, an attenuation model was adopted to estimate the peak ground acceleration at every building. Next, the performance of buildings was estimated considering the acceleration with the building capacity curve. Then, the fragility function was adopted for the determination of the damage level. From the earthquake simulation, 80,290 buildings in the area which are 22.33 million square meters of the functional area, the complete damage was 7.29 million square meters. In the case of seismic strengthening for all buildings, the complete damage area was reduced to 2.70 square meters.

Keyword: Earthquake, Chiang Mai, Strengthening, Loss estimation, Spatial analysis

1. บทนำ

เมื่อเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขึ้น จะทำให้เมืองเกิดความเสียจากแผ่นดินไหวทั้งทางตรง ได้แก่ อาคารต่างๆ ได้รับความเสียหายจากการสั่นสะเทือนและพังทลาย หรือในทางอ้อม ได้แก่ การเกิดเหตุการณ์ไฟไหม้ น้ำท่วม ดินถล่ม ซึ่งมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้นย่อมมีมูลค่ามากมาย ทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน โดยเฉพาะหากไม่ได้มีมาตรการณ์รับมือกับแผ่นดินไหวที่ดีพอ ในการจัดการต่อภัยพิบัติแผ่นดินไหวของโลกในช่วงปัจจุบันนั้นพบว่า การจัดการทางด้านเตรียมความพร้อม (Preparedness) จะมีประสิทธิภาพมากกว่า การจัดการทางด้านฟื้นฟูหลังเกิดภัยพิบัติ (Recovery Strategy) [1]

จังหวัดเชียงใหม่ นับว่าเป็นเมืองที่สำคัญเมืองหนึ่งของประเทศไทย ที่มีโบราณสถานรวมถึงวัฒนธรรมพื้นเมืองที่สืบทอดต่อกันมาอย่างยาวนาน ในแต่ละปีจะมีผู้คนทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติเดินทางเข้ามาเยี่ยมชมจังหวัดเชียงใหม่อย่างมาก แต่ด้วยตำแหน่งที่ตั้งของจังหวัดเชียงใหม่เป็นบริเวณที่มีรอยเลื่อนที่ยังมีพลังอยู่สามารถที่จะเกิดแผ่นดินไหวได้ตลอดเวลา ข้อมูลทางสถิติที่เก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยมีการเกิดแผ่นดินไหวอยู่บ่อยครั้ง ถึงแม้ว่าขนาดของแผ่นดินไหวจะมีขนาดไม่รุนแรงมากนักก็ตาม [2] ซึ่งแผ่นดินไหวเหล่านี้นั้นถือเป็นสัญญาณที่คอยเตือนว่า พื้นที่ในเขตภาคเหนือของประเทศไทยนั้นมีโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวได้ตลอดเวลา ตัวอย่างของแผ่นดินไหวที่ได้เกิดขึ้นเมื่อไม่นานมานี้เช่น วันที่ 22 มกราคม 2562 เวลา 23.00 น. อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ขนาด 3.2 แมกนิจูด [2] และแผ่นดินไหวที่เคยทำให้คนเชียงใหม่ตื่นตระหนกมาแล้วเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ที่อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย ขนาด 6.3 แมกนิจูด

การประเมินความเสียหายจากแผ่นดินไหว เป็นการประมาณการล่วงหน้าถึงความเสียหายที่อาจจะเกิดในอนาคต โดยการที่จะประเมินความเสียหายหรือตำแหน่งของการเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างแม่นยำนั้นเป็นเรื่องยาก การที่จะทำการประเมินความเสียหายของแผ่นดินไหวนั้นมีปัจจัยคือ ความเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหว ความเปราะบางของอาคาร และจำนวนอาคารที่มีความเสี่ยงต่อภัยแผ่นดินไหว [3] ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มักจะมีความไม่แน่นอนอยู่ในธรรมชาติ ทำให้ยากต่อการระบุค่าที่แน่นอน ทำให้การประเมินความเสียหายนั้นจะใช้วิธีหาความน่าจะเป็นของการเกิดขึ้นของเหตุการณ์และมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่ รวมทั้งการตอบสนองต่อภัยจะต้องสอดคล้องกับทรัพยากรของเมืองนั้น ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ปฏิบัติในงานวิจัยนี้ได้จำลองถึงสถานการณ์แผ่นดินไหวที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้มากที่สุดและประเมินความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่

2. พื้นที่เทศบาลนครเชียงใหม่ (พื้นที่ที่ทำการศึกษา)

จากแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของกรมทรัพยากรธรณี [4] ได้แบ่งระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวออกเป็น 4 ระดับ โดยจังหวัดเชียงใหม่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ 3 มีรอยเลื่อนมีพลังที่ปรากฏในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และอยู่ใกล้กับบริเวณตัวเมืองเชียงใหม่มากที่สุด คือ รอยเลื่อนแม่ทา ส่วนรอยเลื่อนที่อยู่ในระยะไกลถัดออกไป ได้แก่ รอยเลื่อนแม่ฮ่องสอนในทิศตะวันตก รอยเลื่อนแม่จันในทิศเหนือ รอยเลื่อนพะเยาในทิศตะวันออก และรอยเลื่อนเถินในทิศใต้ สำหรับรอยเลื่อนแม่ทานั้นจะวางตัวโค้งในแนวเหนือ-ใต้ อยู่ทางฝั่งทิศตะวันออกเทียบกับตัวเมืองเชียงใหม่ พาดผ่านมาตั้งแต่อำเภอเชียงดาว เลียบตามแนวอำเภอสันทรายตอนบน ผ่านอำเภอดอยสะเก็ด กิ่งอำเภอแม่ออนตามแนวขอบอำเภอสันกำแพงและผ่านเข้าสู่จังหวัดลำพูน ทางด้านตอนบนของอำเภอดอยสะเก็ดมีแนวทแยงของรอยเลื่อนในทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปตามทิศทางสู่อำเภอเวียงป่าเป้า จ.เชียงราย นอกจากนี้ยังมีแขนงย่อยของรอยเลื่อนแม่ทา ในเขตบริเวณติดต่อระหว่างอำเภอแม่วาง อำเภอหางดง และอำเภอสันป่าตอง อีกด้วย โดยนับเป็นระยะทางยาวทั้งสิ้นประมาณ 55 กิโลเมตร

ตารางที่ 1 อาคารในพื้นที่ศึกษา (จำนวนหลัง)

ประเภทอาคาร	ประเภทโครงสร้าง								
	C1	C2	C3	S1	S2	S3	W1	W2	รวม
อาคารสาธารณะ	2	2	57	2		15	1		79
อาคารพาณิชย์	127	151	18,072	5	5	288	393	3	19,044
อาคารฉุกเฉิน	4	12	136	2		3	2		159
อาคารรัฐบาล	8	10	881			20	20		939
โบราณสถาน	1	6	951				34	1	993
โรงแรม	70	158	412	2		5	4		651
อุตสาหกรรม		2	121	1		68	2		194
สำนักงาน	15	47	397	1		19	7		486
ทั่วไป	9	2	12,117	4		111	328		12,571
ที่พักอาศัย	143	400	40,206	2		95	2,972	6	43,824
โรงเรียน	60	19	1,198	8		30	35		1350
รวม	439	809	74,548	27	5	654	3,798	10	80,290

โดยที่ C1 คือ ระบบโครงเฟรมคอนกรีตเสริมเหล็กต้านทานโมเมนต์

C2 คือ ระบบโครงเฟรมคอนกรีตเสริมเหล็กผนังรับแรงเฉือน

C3 คือ ระบบโครงเฟรมคอนกรีตเสริมเหล็กและมีกำแพงอิฐไม่เสริมเหล็กในช่วงเสา

S1 คือ ระบบโครงเหล็กต้านโมเมนต์เหล็ก

S2 คือ ระบบโครงเหล็กแกงแนง

S3 คือ ระบบโครงต้านโมเมนต์เหล็กขนาดเล็ก

W1 คือ ระบบโครงไม้ขนาดเล็ก พื้นที่ไม่เกิน 464.5 ตารางเมตร

W2 คือ ระบบโครงสร้างไม้ พื้นที่เกิน 464.5 ตารางเมตร

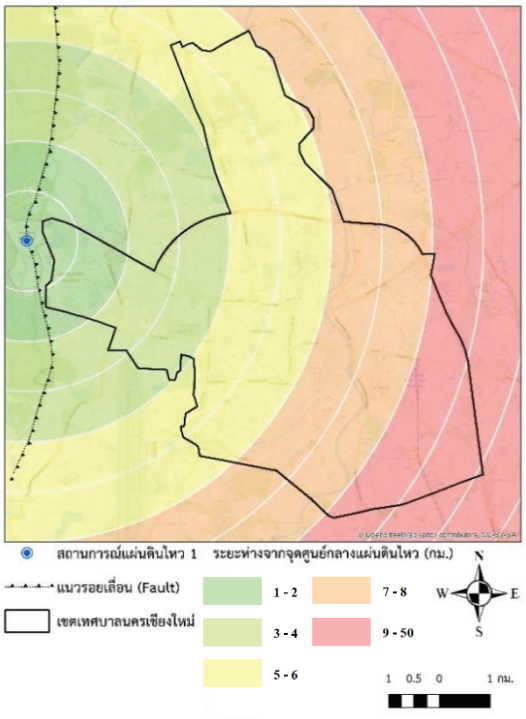
พื้นที่ศึกษานี้ กำหนดเป็นบริเวณพื้นที่เทศบาลนครเชียงใหม่ รวมเป็นพื้นที่ขนาด 40.22 ตารางกิโลเมตร จากการสำรวจอาคารในพื้นที่ศึกษาพบว่ามีจำนวนอาคารทั้งหมด 80,290 หลัง ดังตารางที่ 1 ผลสำรวจที่ได้โดยส่วนใหญ่ อาคารในพื้นที่มีระบบโครงสร้างในกลุ่มระบบโครงเฟรมคอนกรีตเสริมเหล็กและมีกำแพงอิฐไม่เสริมเหล็กในช่วงเสา (C3) จำนวน 74,548 หลัง รองลงมาเป็นระบบโครงสร้างอาคารขนาดเล็กโครงสร้างไม้ (W1) พื้นที่ไม่เกิน 464.5 ตารางเมตร จำนวน 3,798 หลัง ประเภทการใช้อาคารเป็นกลุ่มที่พักอาศัย (Residential) มีปริมาณอาคารมากที่สุด 43,824 หลัง (54.58%) รองลงมาเป็นอาคารในกลุ่มอาคารพาณิชย์ (Commercial) จำนวน 19,044 หลัง (23.72%) อาคารในกลุ่มทั่วไป (Other) จำนวน 12,571 หลัง (15.66%)

3. การจำลองสถานการณ์การเกิดแผ่นดินไหว

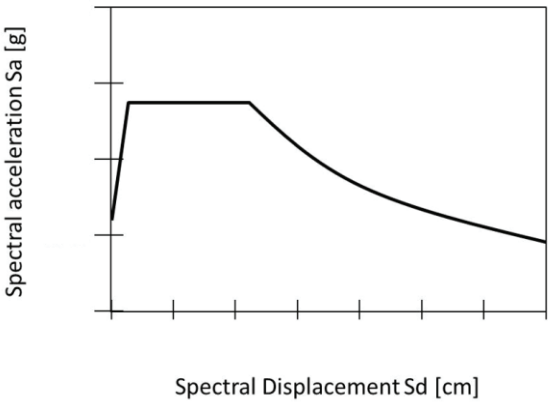
ระดับความเสียหายของอาคารในเหตุการณ์แผ่นดินไหวหนึ่งๆ ขึ้นกับขนาดความเร่งของแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคาร โดยเป็นผลจากตำแหน่งศูนย์กลางและขนาดของแผ่นดินไหว ในการพิจารณาเหตุการณ์แผ่นดินไหวสมมติเพื่อจำลองสถานการณ์นี้ ได้พิจารณาตำแหน่งที่ตั้งของเทศบาลนครเชียงใหม่ร่วมกับแผนที่รอยเลื่อยที่ยังมีพลังของกรมทรัพยากรธรณี โดยพบว่ามีส่วนย่อยของรอยเลื่อนแม่ทาที่ตำแหน่งพิกัดละติจูด 18.901 และ ลองติจูด 98.916 ดังรูปที่ 1 ที่อยู่ใกล้เคียงเทศบาลนครเชียงใหม่

การประมาณขนาดของแผ่นดินไหวจะอ้างอิงจากงานวิจัยของ Donald and Wells [5] ซึ่งพิจารณาความยาวของรอยเลื่อนในการประเมินหาขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่อาจจะเกิดได้ ซึ่งในตำแหน่งของส่วนย่อยของรอยเลื่อนแม่ทา มีความยาว 9.69 กิโลเมตร จึงประมาณความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่อาจจะเกิดขึ้นได้สูงสุดเท่ากับ 6.3 แมกนิจูด

ความรุนแรงของแผ่นดินไหวจะลดทอนลงตามระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแผ่นดินไหว อรรถพล อำมาตย์มณี [6] ได้ทำการศึกษาสมการลดทอนพลังงานแผ่นดินไหวต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับชั้นดินของจังหวัดเชียงใหม่พบว่า สมการลดทอนพลังงานของ Chiou and Young [7], Abrahamson and Silva [8] และ Sadigh et al. [9] นั้นมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้เพื่อคำนวณความรุนแรงของแผ่นดินไหว ดังนั้นในการจำลองสถานการณ์นี้ได้เลือก สมการลดทอนของ Chiou and Young [7] มาใช้ในการคำนวณขนาดความเร่งจากเหตุแผ่นดินไหวจำลองนี้ และจากค่าความเร่งในแต่ละตำแหน่งของอาคาร สามารถสร้างเส้นกราฟความสัมพันธ์ของ Spectral acceleration (Sa) และ Spectral Displacement (Sd) ได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งการจำลองการเกิดสถานการณ์แผ่นดินไหว

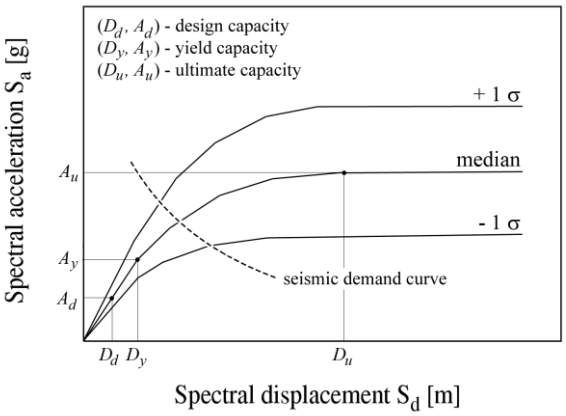


รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Spectral acceleration (Sa) และ Spectral Displacement (Sd)

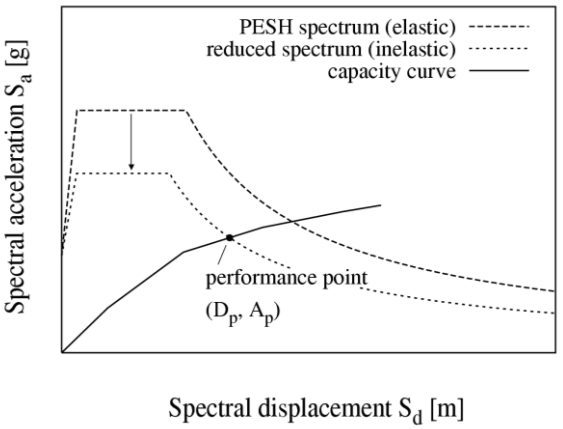
4. การวิเคราะห์ความเสียหายอาคาร

นอกจากขนาดความเร่งพื้นดินแล้ว ความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อระดับความเสียหายของอาคาร จากข้อมูลการสำรวจอาคารซึ่งได้มีการจำแนกลักษณะของโครงสร้างแต่ละชนิดออกเป็นกลุ่มๆ ตามมาตรฐานการสำรวจอาคาร FEMA 154-155 [10,11] ซึ่งในอาคารที่มีลักษณะของโครงสร้างที่แตกต่างกัน จะมีพฤติกรรมการรับแรงและการเสียรูปที่แตกต่างกัน แสดงเป็นเส้นโค้งกำลัง (Capacity curve) ของอาคาร การศึกษานี้ได้ใช้เส้นโค้งกำลังตามมาตรฐานของ HAZUS [12] ซึ่งมีการสมมุติให้อาคารอยู่ระดับก่อนที่จะมีการเสริมกำลังอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 2 เส้นโค้งกำลังจะมีจุดกำหนดอยู่ 3 จุดคือ กำลังออกแบบ (Design capacity) กำลังคราก (Yield Capacity) และกำลังประลัย (Ultimate capacity) จากจุดกำเนิดเส้นโค้งถึงจุดกำลังครากจะพิจารณาให้โครงสร้างมีพฤติกรรมเป็นอิลาสติกเชิงเส้น (Linear elastic) และนับจากจุดครากไปจนกระทั่งจุดประลัย เส้นโค้งจะเปลี่ยนจากอิลาสติกไปสู่การเสียรูปแบบพลาสติกสมบูรณ์ (fully plastic)

อาคารในพื้นที่วิเคราะห์ที่มีระดับความเร่งของแผ่นดินไหว ได้ทำการวิเคราะห์ความเสียหายโดยวิธีการที่เรียกว่า Capacity-Spectrum Method (CSM) ซึ่งเป็นการนำค่าความเร่งของพื้นดินเนื่องจากแผ่นดินไหว จากรูปที่ 2 และ เส้นกราฟกำลังของอาคาร (Capacity curve) จากรูปที่ 3 เข้าด้วยกันเพื่อทำการหาจุดตัดระหว่างกราฟทั้ง 2 ชนิด ที่เรียกว่า Performance point ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 เส้นโค้งกำลังของอาคาร (Capacity curve)



รูปที่ 4 แสดงวิธีการวิเคราะห์แบบ Capacity-Spectrum Method (CSM)

จากจุด performance point ของอาคารในแต่ละตำแหน่งที่ได้ จะได้ค่าความน่าจะเป็นของระดับความเสียหายจากการพิจารณาโค้งการแตกหัก (Fragility curve) ดังรูปที่ 5 ซึ่งจำแนกความน่าจะเป็นของระดับเสียหายออกเป็น 5 ระดับ คือ 1. ไม่เกิดความเสียหาย (None) 2. เสียหายเล็กน้อย (Slight) 3. เสียหายปานกลาง (Moderate) 4. เสียหายมาก (Extensive) และ 5.พังทลายโดยสมบูรณ์ (Complete)

ตารางที่ 2 เส้นโค้งสมรรถภาพ (Capacity curve) ก่อนมีการออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว (Pre – Code Seismic Design Level)

Building Type	Yield Capacity Point		Ultimate Capacity Point	
	Dy (in.)	Ay (g)	Du (in.)	Au (g)
W1	0.24	0.20	4.32	0.60
W2	0.16	0.10	2.35	0.25
S1	0.15	0.06	2.75	0.19
S2	0.16	0.10	1.88	0.20
S3	0.16	0.10	1.88	0.20
C1	0.10	0.06	1.76	0.19
C2	0.12	0.10	1.80	0.25
C3	0.12	0.10	1.35	0.22

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าวพบว่าในสถานการณ์จำลองแผ่นดินไหวขนาด 6.3 ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3 ได้ประมาณการเกิดความเสียหายในระดับสมบูรณ์ (Complete) ของอาคารในทุกๆ อาคารรวมกัน เท่ากับ 7,289,446 ตารางเมตร หรือ คิดเป็นร้อยละ 32.65 ของพื้นที่ใช้สอยรวมของอาคารทุกชั้นในบริเวณพื้นที่ทำการวิเคราะห์มีทั้งหมด 22,331,315 ตารางเมตร โดยสามารถแสดงความหนาแน่นของพื้นที่เสียหายได้ดังรูปที่ 6

5. การวิเคราะห์ความเสียหายของเทศบาลนครเชียงใหม่หลังมีการเสริมกำลังให้อาคาร

การเสริมกำลังอาคารเดิมให้สามารถรองรับแรงแผ่นดินไหวมีหลายแนวทางด้วยกัน การเลือกใช้พิจารณาเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องและความเหมาะสม เช่น ปัจจัยทางด้านเทคนิค ราคา การใช้ประโยชน์ได้อย่างลงตัว ผลกระทบต่อด้านสถาปัตยกรรม ผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ และการเสียโอกาส เป็นต้น สิ่งเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน ซึ่งผู้ตัดสินใจในการเลือกวิธีเสริมกำลังอาคารบางครั้งไม่อาจบอกได้ว่าวิธีการใดดีที่สุดที่ครอบคลุมทุกเงื่อนไขที่เกี่ยวข้อง

ในงานศึกษานี้ ไม่ได้มุ่งเน้นเพื่อการหาวิธีการเสริมกำลังโครงสร้างที่เหมาะสม แต่สมมติให้โครงสร้างที่ได้เสริมกำลังนั้นจะมีความสามารถในการรับแรงที่ดีขึ้น หรือตามวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ วิธี Capacity – Spectrum Method (CSM) ซึ่งกำหนดให้ภายหลังทำการเสริมกำลังอาคาร จะทำให้อาคารนั้นสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวในระดับข้อกำหนดปานกลาง (Moderate – Code Seismic Design Level) [12] ดังข้อกำหนดในตารางที่ 3 เส้นโค้งสมรรถภาพใหม่ (Capacity curve) ดังรูปที่ 7 และทำการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของระดับความเสียหายต่างๆ ดังเช่นก่อนหน้านี้

หลังจากมีการกำหนดให้อาคารทั้งหมดในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ และทำการวิเคราะห์ความเสียหายอีกครั้งจากสถานการณ์การเกิดแผ่นดินไหวเดิมคือ ขนาด 6.3 ตำแหน่งศูนย์กลาง พิกัดละติจูด 18.901 และลองจิจูด 98.916 พบว่า เดิมก่อนการปรับปรุงมีความเสียหายในระดับสมบูรณ์ (Complete) เท่ากับ 7,289,446 ตารางเมตร หรือ คิดเป็นร้อยละ 32.65 ของพื้นที่อาคารทั้งหมด ภายหลังทำการเสริมกำลังอาคารมีความเสียหายในระดับสมบูรณ์ (Complete) เท่ากับ 2,703,357 ตารางเมตร หรือ คิดเป็นร้อยละ 12.09 ของพื้นที่อาคารทั้งหมด ดังรูปที่ 8 และได้แสดงจำนวนของพื้นที่เสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารแต่ละประเภทโครงสร้าง ทั้งก่อนและหลังการเสริมกำลัง ดังตารางที่ 4

6. สรุป

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาประเมินความเสียหายของอาคารในพื้นที่เทศบาลนครเชียงใหม่ภายใต้สถานการณ์แผ่นดินไหวสมมติ การศึกษาเริ่มจากการเก็บข้อมูลลักษณะอาคารในพื้นที่ ทั้งหมด 80,290 อาคาร คิดเป็นพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 22.33 ล้านตารางเมตร

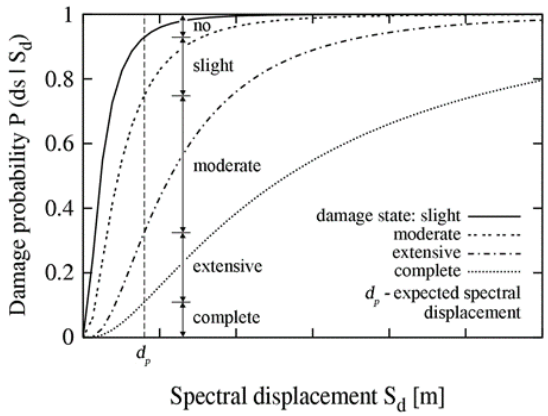
หลังจากนั้นได้ทำการจำลองสถานการณ์ของแผ่นดินไหวในตำแหน่งของรอยเลื่อนที่อยู่ใกล้กับพื้นที่ศึกษามากที่สุด จากนั้นประเมินความยาวของรอยเลื่อน เพื่อใช้ในการประมาณขนาดของแผ่นดินไหวที่อาจจะเกิดขึ้นได้ และประมาณความเสียหายด้วยวิธี Capacity – Spectrum Method (CSM) ผลการศึกษาพบว่า

1. ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว สมมติให้เกิดบนรอยเลื่อนที่ใกล้เทศบาลนครเชียงใหม่ที่สุด คือ พิกัดละติจูด 18.901 และ ลองติจูด 98.916 ซึ่งความยาวของรอยเลื่อน 9.69 กิโลเมตร สามารถประมาณขนาดของแผ่นดินไหวที่อาจจะเกิดขึ้นได้เท่ากับ 6.3 แมกนิจูด

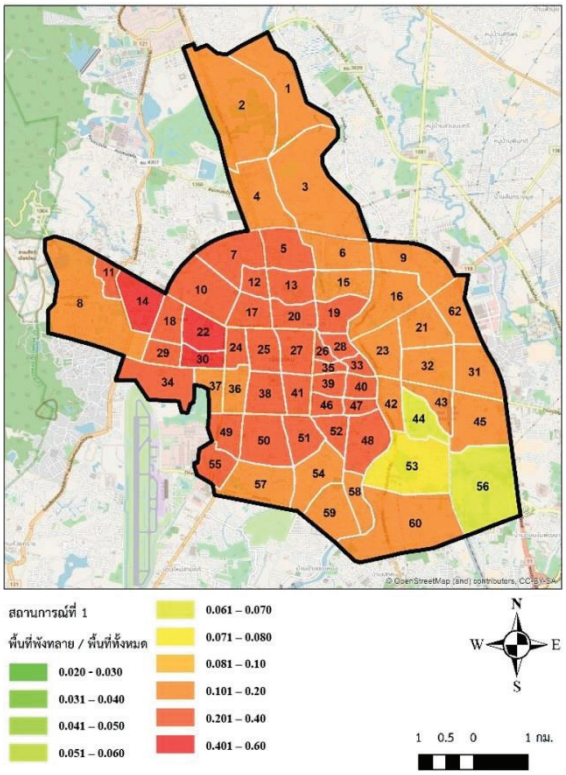
2. จากแผ่นดินไหวที่สมมติ อาคารในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่เกิดการพังทลายโดยสมบูรณ์ 7.29 ล้านตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 32.65

3. หากทำการเสริมกำลังอาคารทุกหลัง พบว่าภายใต้สถานการณ์แผ่นดินไหวสมมติเดียวกัน อาคารในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่เกิดการพังทลายโดยสมบูรณ์ 2.70 ล้านตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 12.09

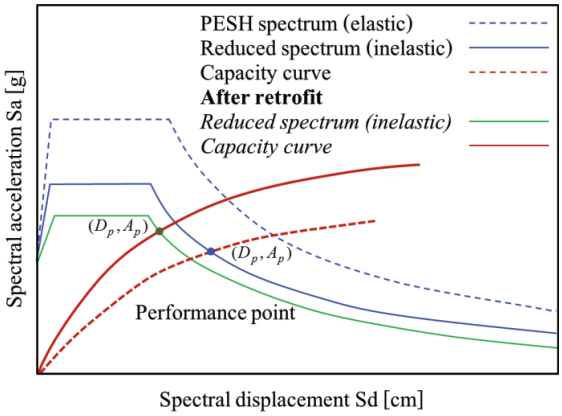
4. ในการประเมินความเสียหายด้วยวิธี CSM ค่อนข้างมีความแปรปรวน เนื่องจากเส้นโค้งกำลังที่ใช้นั้นเป็นเพียงตัวแทนของอาคารโครงสร้างชนิดนั้นๆ ซึ่งในความเป็นจริง อาคารที่มีโครงสร้างชนิดเดียวกัน มีปัจจัยหลายอย่าง ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของอาคาร เช่น การควบคุมคุณภาพการก่อสร้าง คุณภาพของวัสดุที่ใช้ การเสื่อมสภาพของอาคารที่ใช้งานมาเป็นเวลานาน เป็นต้น



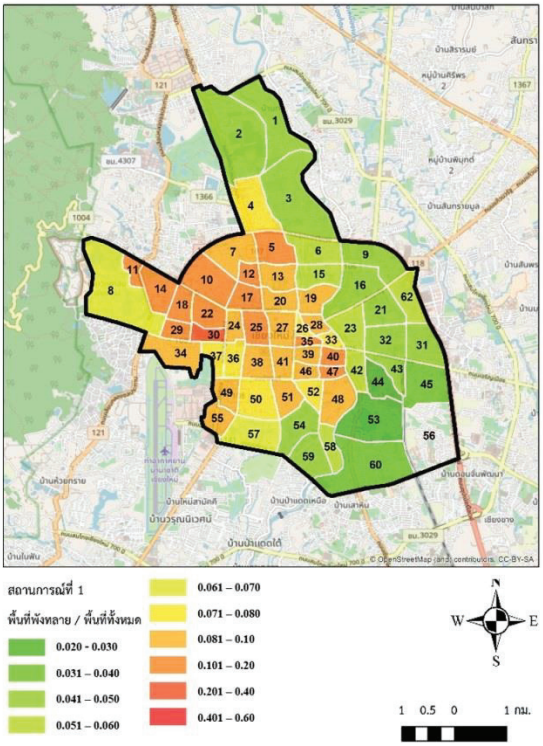
รูปที่ 5 เส้นโค้งการแตก (Fragility curve)



รูปที่ 6 ความหนาแน่นของอาคารที่ได้รับความเสียหายในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่



รูปที่ 7 เส้นโค้งกำลังอาคารที่เสริมกำลังเทียบกับระดับการสั่นของพื้นดิน



รูปที่ 8 ความหนาแน่นของอาคารที่ได้รับความเสียหายในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ หลังจากมีการเสริมกำลังอาคาร

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในการสนับสนุนการดำเนินงานภายใต้โครงการ การประมาณการสูญเสียจากแผ่นดินไหวและมาตรการบรรเทาการสูญเสียโดยการเสริมกำลังอาคารในเขตเทศบาลเชียงใหม่ งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 ตามมติคณะรัฐมนตรี

ตารางที่ 3 เส้นโค้งสมรรถภาพ (Capacity curve) ในระดับข้อกำหนดปานกลาง (Moderate – Code Seismic Design Level)

Building Type	Yield Capacity Point		Ultimate Capacity Point	
	Dy (in.)	Ay (g)	Du (in.)	Au (g)
W1	0.36	0.300	6.48	0.900
W2	0.31	0.200	4.70	0.500
S1	0.31	0.125	5.50	0.375
S2	0.31	0.200	3.76	0.400
S3	0.31	0.200	3.76	0.400
C1	0.20	0.125	3.52	0.375
C2	0.24	0.200	2.70	0.450
C3	0.12	0.100	1.35	0.225

ตารางที่ 4 พื้นที่เสียหายของอาคารจำแนกตามประเภทโครงสร้าง ก่อนและหลังการเสริมกำลัง (หน่วย: ตารางเมตร)

Building Type	พื้นที่เสียหายก่อนเสริมกำลัง	พื้นที่เสียหายหลังเสริมกำลัง
W1	6,006	1,681
W2	363	37
S1	773	292
S2	1,520	413
S3	388,797	141,952
C1	496,680	186,696

ตารางที่ 4 (ต่อ) พื้นที่เสียหายของอาคารจำแนกตามประเภทโครงสร้าง ก่อนและหลังการเสริมกำลัง (หน่วย: ตารางเมตร)

Building Type	พื้นที่เสียหายก่อนเสริมกำลัง	พื้นที่เสียหายหลังเสริมกำลัง
C2	795,982	318,844
C3	5,599,324	2,053,443
รวม	7,289,446	2,703,357

เอกสารอ้างอิง

[1] The United Nation Office for Disaster Risk Reduction. The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, 2015.

[2] กองเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา. เหตุการณ์แผ่นดินไหวในประเทศและใกล้เคียง, 2562. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.earthquake.tmd.go.th/inside.html?ps=200.

[3] Erdik, M. Earthquake Risk Assessment. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2017; 15(12): 5055-5092.

[4] กรมทรัพยากรธรณี. แผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว, 2562. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.dmr.go.th/images/scheme/9.jpg

[5] Donald, L. and Wells, K. New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1994; 84(4): 974-1002.

[6] อรรถพล อำมาตย์มณี. *แบบจำลองการลดทอนพลังงานแผ่นดินไหวสำหรับชั้นดินเชียงใหม่*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554.

[7] Chiou, B. and Youngs, R. R. An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. *Earthquake Spectra,* 2008; 24(1): 173-215.

[8] Abrahamson, N. and Silva, W. Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations. *Earthquake Spectra,* 2008; 24(1): 67-97.

[9] Sadigh, K., Chang, C., Egan, J. A., Makdisi, F. and Youngs, R. R. Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data. *Seismological Research Letters*, 1997; 68(1): 180-189.

[10] Federal Emergency Management Agency-FEMA. Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook FEMA 154, 2003.

[11] Federal Emergency Management Agency-FEMA. Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: Supporting documentation FEMA 155, 2003.

[12] Federal Emergency Management Agency-FEMA. Multi-hazard loss Estimation Methodology–Earthquake Module, HAZUS-MH MR4 Technical Manual, Washington DC, USA, 2003.