

ความเสียหายของอาคารและการประเมินความสูญเสียในเขตกรุงเทพมหานครเนื่องจากแผ่นดินไหว



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BUILDING DAMAGE AND LOSS ASSESSMENT FOR BANGKOK AREA DUE TO
EARTHQUAKE

Mr. Panaitat Nutalai



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

ปณียทัต นุตาลัย : ความเสียหายของอาคารและการประเมินความสูญเสียในเขตกรุงเทพมหานคร
เนื่องจากแผ่นดินไหว (BUILDING DAMAGE AND LOSS ASSESSMENT FOR BANGKOK AREA
DUE TO EARTHQUAKE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี, 67
หน้า.

การศึกษาทางธรณีวิทยาพบว่าประเทศไทยมีรอยเลื่อนที่มีพลังในจังหวัดกาญจนบุรีซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อกรุงเทพมหานคร ประกอบกับกรุงเทพมหานครเป็นเมืองหลวงที่มีประชากรจำนวนมากและเป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจของประเทศ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินจำนวนอาคารที่เกิดความเสียหายที่ระดับต่างๆ และจำนวนผู้ประสบภัยในกรุงเทพมหานครเมื่อเกิดแผ่นดินไหว โดยสมมติให้เกิดแผ่นดินไหวที่จังหวัดกาญจนบุรีและส่งผลกระทบต่อกรุงเทพมหานคร ประกอบกับการสร้างเส้นโค้งความบอบบางของโครงสร้างประเภทที่มีอยู่เป็นจำนวนมากเพื่อความเหมาะสมของโปรแกรมที่ใช้ต่อพื้นที่ศึกษา แล้วประเมินจำนวนอาคารที่เสียหาย ผู้บาดเจ็บและจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1 โดยงานวิจัยนี้ประมาณความเสียหายเฉพาะส่วนของความเสียหายของอาคารและจำนวนผู้ประสบภัยแผ่นดินไหว จากการประมาณความสูญเสีย โครงสร้างที่ได้รับความเสียหายที่ทุกระดับความเสียหายมีทั้งหมดเป็นจำนวน 471,580 หลัง และโครงสร้างที่ได้รับความเสียหายเป็นจำนวนมากคือโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้รับความเสียหาย 366,987 หลัง คิดเป็นร้อยละ 77.8 ของอาคารที่ได้รับความเสียหายทั้งหมดในทุกระดับความเสียหาย เนื่องจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีอยู่เป็นจำนวนมาก 1,080,316 หลัง โดยคิดเป็นร้อยละ 68.3 ของอาคารทั้งหมดในเขตกรุงเทพมหานคร 1,582,764 หลัง กลุ่มอาคารที่ได้รับความเสียหายส่วนมากเป็นอาคารที่พักอาศัยแบบอื่น เช่น คอนโดมิเนียม ทาวเฮ้าส์ เป็นต้น อาคารที่พักอาศัยเดี่ยวและอาคารพาณิชย์ จำนวน 178,548 162,650 และ 98,528 โดยคิดเป็นร้อยละ 37.8 34.5 และ 20.9 ของอาคารที่ได้รับความเสียหายทั้งหมดในทุกระดับความเสียหาย และในส่วนของจำนวนผู้ประสบภัยจากการประเมินพบว่า ถ้าเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวในช่วงเวลากลางวัน (14.00 น). พบว่ามีผู้ได้รับบาดเจ็บมากกว่าเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดในช่วงเวลากลางคืน (02.00 น.) โดยเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดในช่วงเวลากลางวันจะมีจำนวนผู้ประสบภัย 16,949 คน กลางคืนมีจำนวนผู้ประสบภัยเพียง 11,011 คน เนื่องมาจากมีการใช้อาคารที่มีความจุมาก เช่น อาคารพาณิชย์ เมื่ออาคารเกิดความเสียหายทำให้มีผู้ประสบภัยในปริมาณมาก โปรแกรม HAZUS MH MR2.1 พัฒนาขึ้นมาในประเทศสหรัฐอเมริกาทำให้ค่าพารามิเตอร์ยังไม่มีที่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ เช่น เส้นโค้งความบอบบางของอาคารประเภทอื่น เป็นต้น

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5470259521 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: HAZUS PROGRAM / EARTHQUAKE / SEISMIC LOSS ASSESSMENT / BANGKOK AREA

PANAITAT NUTALAI: BUILDING DAMAGE AND LOSS ASSESSMENT FOR BANGKOK AREA DUE TO EARTHQUAKE. ADVISOR: ASST. PROF. DR. CHATPAN CHINTANAPAKDEE, 67 pp.

The geological studies found active faults in Kanjanaburi, which could generate a large earthquake that can affect Bangkok, the largest city of Thailand. The objective of this study is to estimate number of damaged buildings at various extents of damage and number of casualties in Bangkok. This information would be useful for planning and preparation for mitigation of earthquake disaster. Assuming that an earthquake had occurred in Kanjanaburi, the distance between earthquake source and the affected area could be determined, and then the ground motion intensity was estimated by a ground motion prediction equation (GMPE), e.g. Chiou and Young (2008). Given the ground motion intensity in term of spectral acceleration or displacement, the probability of buildings being damaged at various levels can be determined from fragility curves. Then, the number of damaged buildings was estimated from the product of total number of buildings and the probability of buildings being damaged. This process of loss assessment can be facilitated by a computer software HAZUS MH-MR 2.1 developed by Federal Emergency Management Agency (FEMA) of USA. In this study, the fragility curves for two most popular buildings in Bangkok, e.g., low- and medium-rise concrete frame buildings were developed by utilizing incremental dynamic analysis (IDA) using ground motions for Bangkok soft soil conditions. All other fragility curves were adopted from USA according to default parameters in the software. The results show that reinforced concrete (RC) buildings, which is the most common building type (68.3% of all buildings), are expectedly the most affected (77.8% of all damaged buildings are RC buildings). The occupancy type of damaged buildings consists of multi-household residential, single-family residential and commercial buildings in proportion of 37.9%, 34.5% and 20.9% of all damaged buildings, respectively. It was also found that estimated number of casualties is 16,949 people if the event occurs during day time (2pm), while fewer casualties (11,011 people) is estimated if the event occurs during night time (2am).

Department: Civil Engineering

Student's Signature

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำและความรู้ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย รวมทั้งกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดร.อาณัติ เรืองรัมย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์ ที่กรุณาเสียสละเวลาในการตรวจทานและให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ หน่วยงานและบุคคลต่าง ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ดังรายนามต่อไปนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยผ่านทางศูนย์เชี่ยวชาญแผ่นดินไหว เงินทุนในการจัดซื้อโปรแกรมจาก JICA ในโครงการ AUN Seed-net

กรมอุตุนิยมวิทยาที่เอื้อเพื่อข้อมูลอาคารในเขตกรุงเทพมหานครเพื่อใช้ในการวิจัย

คุณจุฑาทิพย์ ธนภิตดีเมธาวุฒิ และ คุณอรวิมล จันทร์คำ ที่ให้คำแนะนำและสอนใช้ชุดโปรแกรม ArcView และโปรแกรม HAZUS MH-MR2.1

คุณไตรรัตน์ ชมภูธวัช สำหรับความช่วยเหลือในการสอนใช้โปรแกรม OpenSees รวมทั้งให้ข้อมูลและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

คุณนครินทร์ ดำเนินสวัสดิ์ สำหรับข้อมูลสมการการประมาณความรุนแรงคลื่นแผ่นดินไหว

คุณภควัสน์ มินชัยนันท์ สำหรับข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว รวมถึงรุ่นพี่ รุ่นน้อง เพื่อน ๆ และเจ้าหน้าที่ในศูนย์วิจัยแผ่นดินไหวและการสั่นสะเทือนแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย

ที่สำคัญที่สุดข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคือ บิดา มารดา ที่ช่วยอบรมสั่งสอนและให้กำลังใจ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การประมาณความสูญเสียเนื่องจากแผ่นดินไหว	4
2.1.1 ทฤษฎีการประมาณความสูญเสีย	4
2.1.2 ฐานข้อมูลอาคาร (building inventory).....	5
2.1.3 ระดับความเสียหายของอาคาร	14
2.1.4 สมการประมาณความรุนแรงคลื่นแผ่นดินไหว (ground motion prediction equation, GMPE)	14
2.1.5 เส้นโค้งความบอบบาง (fragility curve).....	16
2.1.6 ระดับการบาดเจ็บของผู้ประสบภัย	17
2.3 การวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้าง	23
2.4 ระดับสมรรถนะของโครงสร้าง (performance level from ASCE 41-13)	24

2.5 วิธีวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ส่วนเพิ่ม (Incremental dynamic analysis, IDA)	24
2.5.1 การจัดการข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับวิธีพลศาสตร์ส่วนเพิ่ม (IDA).....	25
2.5.2 ลักษณะทั่วไปของกราฟ IDA.....	26
2.5.3 การฟื้นคืนชีพของโครงสร้าง (structural resurrection).....	27
2.5.4 การระบุจุดพังทลายบนกราฟ IDA	27
2.6 เส้นโค้งขอบนอก (backbone curve)	29
2.7 การเสื่อมถอยเนื่องจากแรงกระทำแบบวัฏจักร (cyclic deterioration)	30
บทที่ 3 ความขอบบางของอาคารตัวอย่างในเขตกรุงเทพมหานคร	32
3.1 การเลือกอาคารตัวอย่าง.....	32
3.2 อาคารตัวอย่าง	38
3.3 แบบจำลองอาคารตัวอย่าง.....	42
3.4 การสอบเทียบค่าพารามิเตอร์ของการเสื่อมถอยแบบวัฏจักรของเสาของแบบจำลองอาคาร ตัวอย่าง	43
3.5 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษาความขอบบางของอาคารตัวอย่าง.....	44
3.6 กราฟการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ส่วนเพิ่มและเส้นโค้งความขอบบาง	46
บทที่ 4 การประมาณความสูญเสียและสถานการณ์จำลอง.....	50
4.1 สถานการณ์จำลองที่ใช้ในการประมาณความสูญเสีย	50
4.2 การประมาณความสูญเสียด้วยโปรแกรม HAZUS-MH MR 2.1	50
บทที่ 5 ผลการประมาณความสูญเสีย.....	53
5.1 จำนวนอาคารที่ได้รับความเสียหาย	53
5.2 จำนวนผู้ประสบภัย	60
บทที่ 6 สรุปผลการประมาณความสูญเสีย.....	62
รายการอ้างอิง	64

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 67



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 จำนวนอาคารในเขตกรุงเทพมหานครตามเขตพื้นที่	6
ตารางที่ 2-1 จำนวนอาคารในเขตกรุงเทพมหานครแยกตามเขตพื้นที่ (ต่อ).....	7
ตารางที่ 2-1 จำนวนอาคารในเขตกรุงเทพมหานครแยกตามเขตพื้นที่ (ต่อ).....	8
ตารางที่ 2-2 การจำแนกตามวัสดุโครงสร้างที่พบในเขตกรุงเทพมหานคร (FEMA, 2005)	9
ตารางที่ 2-2 การจำแนกตามวัสดุโครงสร้างที่พบในเขตกรุงเทพมหานคร (ต่อ).....	10
ตารางที่ 2-2 การจำแนกตามวัสดุโครงสร้างที่พบในเขตกรุงเทพมหานคร (ต่อ).....	11
ตารางที่ 2-3 การจำแนกอาคารตามลักษณะการใช้งานที่พบในเขตกรุงเทพมหานคร.....	11
ตารางที่ 2-3 การจำแนกอาคารตามลักษณะการใช้งานที่พบในเขตกรุงเทพมหานคร (ต่อ).....	12
ตารางที่ 2-4 ความเสียหายของอาคาร (FEMA, 2005).....	14
ตารางที่ 2-5 สมการการประมาณความรุนแรงคลื่นแผ่นดินไหวที่มีให้เลือกใช้ในโปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1	15
ตารางที่ 2-5 สมการการประมาณความรุนแรงคลื่นแผ่นดินไหวที่มีให้เลือกใช้ในโปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1	16
ตารางที่ 2-6 การจำแนกระดับการบาดเจ็บ (FEMA, 2005)	18
ตารางที่ 2-7 ความสัมพันธ์การประมาณการกระจายตัวของประชากร (FEMA, 2005).....	20
ตารางที่ 2-8 ระดับสมรรถนะของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (ASCE 41-13, 2013).....	24
ตารางที่ 3-1 จำนวนอาคารในแต่ละเขตพื้นที่	32
ตารางที่ 3-1 จำนวนอาคารในแต่ละเขตพื้นที่ (ต่อ).....	33
ตารางที่ 3-1 จำนวนอาคารในแต่ละเขตพื้นที่ (ต่อ).....	34
ตารางที่ 3-2 จำแนกอาคารตามลักษณะโครงสร้างและการใช้งานอาคารเป็นจำนวนหลัง	34
ตารางที่ 3-2 จำแนกอาคารตามลักษณะโครงสร้างและการใช้งานอาคารเป็นจำนวนหลัง (ต่อ).....	35
ตารางที่ 3-2 จำแนกอาคารตามลักษณะโครงสร้างและการใช้งานอาคารเป็นจำนวนหลัง (ต่อ).....	36

ตารางที่ 3-3 อาคารคอนกรีตแยกตามลักษณะการใช้งานอาคารเป็นจำนวนหลัง.....	36
ตารางที่ 3-3 อาคารคอนกรีตแยกตามลักษณะการใช้งานอาคารเป็นจำนวนหลัง (ต่อ).....	37
ตารางที่ 3-4 จำนวนผู้ใช้อาคารประเภท C3L C3M C1L และ C1M ตามลักษณะการใช้งานอาคาร.....	37
ตารางที่ 3-5 มวลที่แต่ละชั้นของอาคารพาณิชย์.....	41
ตารางที่ 3-6 มวลที่แต่ละชั้นของอาคารเรียน.....	41
ตารางที่ 3-7 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบเสาเพื่อสร้างแบบจำลอง.....	44
ตารางที่ 3-8 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์แบบประวัติเวลาสำหรับกรุงเทพมหานคร.....	45
ตารางที่ 5-1 แสดงการประมาณตามลักษณะการใช้งานอาคาร.....	58
ตารางที่ 5-2 แสดงการประมาณตามชนิดโครงสร้างอาคาร.....	59
ตารางที่ 5-3 จำนวนผู้ประสบภัยเมื่อเหตุการณ์แผ่นดินไหวเกิดในช่วงเวลากลางคืน (02.00 น.).....	60
ตารางที่ 5-4 จำนวนผู้ประสบภัยเมื่อเหตุการณ์แผ่นดินไหวเกิดในช่วงเวลากลางวัน (14.00 น.).....	60

สารบัญรูป

รูปที่ 2-1 ตัวอย่างโครงสร้างอาคารกึ่งไม้กึ่งคอนกรีต (www.KROBKRUAKAO.com)	9
รูปที่ 2-2 ตัวอย่างเส้นโค้งความบอบบางที่ความเสียหายระดับต่างๆ (FEMA, 2005)	17
รูปที่ 2-3 ภาพรวมตัวอย่างการประมาณผู้เสียชีวิต (FEMA, 2005).....	22
รูปที่ 2-4 เส้นโค้งความบอบบางของโครงสร้างเนื่องจากแผ่นดินไหวที่ระดับค่าตัวแปรการ ตอบสนองทางวิศวกรรมต่าง ๆ (Kinali และ Ellingwood, 2006)	23
รูปที่ 2-5 กราฟการวิเคราะห์โครงสร้างแบบพลศาสตร์ส่วนเพิ่ม (IDA) ของอาคารคณะบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ไตรรัตน์ ชมพูธวัช 2011)	25
รูปที่ 2-6 กราฟ IDA ของโครงแกนเหล็ก (steel braces frame) $T_1 = 1.8$ วินาที เนื่องจากแผ่นดินไหว 4 แบบ (Vamvatsikos และ Cornell, 2002.).....	26
รูปที่ 2-7 การฟื้นคืนตัวของโครงสร้างบนกราฟ IDA ของโครงสร้างเหล็กต้านแรงดัด 3 ชั้น ที่มี คาบธรรมชาติ $T_1 = 1.3$ วินาที (Vamvatsikos และ Cornell, 2002.)	27
รูปที่ 2-8 กราฟ IDA โดยใช้กฎผลตอบสนองคงที่ระบุจุดพังทลายที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่าง ชั้นเท่ากับ 0.08 (Vamvatsikos และ Cornell, 2002.).....	28
รูปที่ 2-9 แสดงกราฟ IDA โดยใช้กฎระดับความรุนแรงคงที่ระบุจุดพังทลายที่ความชัน 20% ของ ช่วงยืดหยุ่น (Vamvatsikos และ Cornell, 2002.).....	28
รูปที่ 2-10เส้นโค้งขอบนอกสำหรับแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะการเคลื่อนที่ ทางด้านข้าง (Ibarra และ Krawinkler, 2005).....	30
รูปที่ 2-11 แบบจำลองโครงสร้าง คาน-เสา แบบรวมพฤติกรรมพลาสติก (ไตรรัตน์ ชมพูธวัช 2011).....	31
รูปที่ 3-1 แพลนอาคารตัวอย่าง	39
รูปที่ 3-2 รายละเอียดหน้าตัดคานของโครงสร้างตัวอย่างอาคารพาณิชย์	39
รูปที่ 3-3 รายละเอียดหน้าตัดคานโครงสร้างตัวอย่างอาคารเรียนขนาด 250x800 mm.....	39
รูปที่ 3-4 รายละเอียดหน้าตัดเสา	40
รูปที่ 3-5 ลักษณะแบบจำลองสองมิติของโครงสร้างอาคารพาณิชย์	40

รูปที่ 3-6 ลักษณะแบบจำลองสองมิติของโครงสร้างอาคารเรียน.....	41
รูปที่ 3-7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างอาคารพาณิชย์.....	42
รูปที่ 3-8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างอาคารเรียน	42
รูปที่ 3-9 ผลการวิเคราะห์ด้วยแรงผลึกทางด้านข้างทิศทางเดียวของตัวอย่างเสา Sezen, Mo และ Wang, วรากร สิงหุต และอาณัติ เรืองรัมย์ (อมรชัย ไชยงค์, ปี 2552).....	44
รูปที่ 3-10 สเปคตรัมความเร่งเทียบของคลื่นแผ่นดินไหว (ภักวีสน์ มินชัยนันท์ 2011).....	46
รูปที่ 3-11 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี IDA.....	47
รูปที่ 3-12 เส้นโค้งความบอบบาง.....	48
รูปที่ 4-1 บริเวณจุดกำเนิดแผ่นดินไหวในสถานการณ์จำลอง.....	50
รูปที่ 4-2 แผนภาพขั้นตอนการประมาณความเสียหาย.....	51
รูปที่ 4-3 ตัวอย่างเส้นโค้งกำลังของอาคาร (FEMA, 2005).....	52
รูปที่ 5-1 ตัวอย่างค่าความเร่งบนพื้นดินของเขตบางบอนที่ 0.3 S (shot period).....	53
รูปที่ 5-2 ตัวอย่างค่าความเร่งบนพื้นดินของเขตบางบอนที่ 1 S (long period).....	54
รูปที่ 5-3 ค่าความเร่งสูงสุดบนพื้นดินของเขตบางบอน	54
รูปที่ 5-4 จำนวนอาคารที่ได้รับความเสียหายแยกตามลักษณะการใช้งานอาคารต่ออาคารที่ได้รับความเสียหายทั้งหมด (471,580 หลัง).....	55
รูปที่ 5-5 ร้อยละของอาคารที่ได้รับความเสียหายแยกตามลักษณะการใช้งานอาคารต่ออาคารที่ได้รับความเสียหายทั้งหมด (471,580 หลัง)	56
รูปที่ 5-6 จำนวนของอาคารที่ได้รับความเสียหายแยกตามชนิดโครงสร้างอาคารต่ออาคารที่ได้รับความเสียหายทั้งหมด (471,580 หลัง).....	56
รูปที่ 5-7 ร้อยละของอาคารที่ได้รับความเสียหายแยกตามชนิดโครงสร้างอาคารต่ออาคารที่ได้รับความเสียหายทั้งหมด (471,580 หลัง).....	57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณที่มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวต่ำ จึงได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวเพียงเล็กน้อย แต่ในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมาอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น งานวิจัยใหม่ๆยังแสดงให้เห็นว่าบริเวณภาคเหนือ และภาคตะวันตกมีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวมากขึ้น หลายหน่วยงานจึงให้ความสำคัญกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวเพิ่มมากขึ้น เหตุการณ์ภัยพิบัติแผ่นดินไหวนั้นถือเป็นเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติอีกเหตุการณ์หนึ่งที่ส่งผลในวงกว้างทั้งต่อทรัพย์สิน ความปลอดภัย และระบบเศรษฐกิจ ดังนั้นเมืองหลวงอย่างกรุงเทพมหานครนั้นจึงควรมีมาตรการป้องกันเพื่อบรรเทาความรุนแรงอันเกิดจากแผ่นดินไหว และเนื่องจากกรุงเทพมหานครตั้งอยู่บริเวณชั้นดินอ่อนทำให้โอกาสที่จะได้รับความเสียหายอย่างรุนแรงค่อนข้างสูงเนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวจะเกิดการขยายตัวเมื่อผ่านชั้นดินอ่อน การเตรียมการรับมือนั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น ข้อกำหนดการออกแบบอาคารต่างๆ การประเมินความเสียหายจากแบบจำลองแผ่นดินไหว การประเมินมูลค่าความเสียหายจากแบบจำลองแผ่นดินไหว

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาเกี่ยวกับการประมาณความเสียหายทั้งต่ออาคารและประชากรในกรุงเทพมหานครด้วยโปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1 (Federal Emergency Management Agency., FEMA 2005) โปรแกรม HAZUS MH MR 2.1 เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยองค์กร FEMA เพื่อประเมินค่าความเสียหายจากแผ่นดินไหวภายใต้แนวคิดที่คำนึงถึงค่าความเสียหายที่ได้รับ การเตรียมการอพยพ รวมถึงการเตรียมการฟื้นฟูพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบอันเกิดจากแผ่นดินไหว โปรแกรมดังกล่าวเป็นโปรแกรมที่ใช้ควบคู่กับโปรแกรม ArcGIS 10 (Environmental Systems Research Institute., ESRI 2005) และจำลองสถานการณ์แผ่นดินไหวโดยการนำฐานข้อมูล GIS ของอาคารและสิ่งก่อสร้าง ในจังหวัดเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว ซึ่งถูกทำการปรับปรุง และสังเคราะห์แล้ว ในรูปแบบของ geodatabase (.mdb) และมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือค่าความบอบบางของอาคารตัวอย่าง โปรแกรมจะคำนวณและประมาณค่าความสูญเสียของอาคาร ผู้ประสบภัย เศรษฐกิจ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงความน่าจะเป็นของความเสียหายระดับต่างๆที่เกิดขึ้นกับอาคารแต่ละประเภทในเขตกรุงเทพมหานคร

2. เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้โปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1 ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิศาสตร์ในเขตกรุงเทพมหานคร
3. เพื่อประเมินและคาดการณ์จำนวนอาคารที่ได้รับความเสียหายและจำนวนผู้ประสบภัยเมื่อเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อมายังกรุงเทพมหานครด้วยโปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาและจำลองเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อกรุงเทพมหานคร
2. หาค่าความบอบบางใหม่เฉพาะอาคารตัวอย่างประเภทโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ต่อกันหนาแน่น ตัด ประเภทอาคารพักอาศัย 1-3 ชั้น และอาคารเรียนสูง 4-7 ชั้น ซึ่งพบเป็นจำนวนมากในเขตกรุงเทพมหานคร
3. ศึกษาและประมาณจำนวนอาคารที่ได้รับความเสียหายที่และจำนวนผู้ประสบภัยแผ่นดินไหว เฉพาะในเขตกรุงเทพมหานคร

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถที่จะคาดการณ์ความน่าจะเป็นที่อาคารจะเสียหายในระดับต่างๆ รวมทั้งจำนวนอาคารที่ได้รับความเสียหายในแต่ละชนิดโครงสร้าง หรือลักษณะการใช้งานอาคารที่อยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร
2. เพื่อประมาณจำนวนผู้ประสบภัยจากแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อมายังกรุงเทพมหานคร
3. เพื่อที่จะเป็นการเตรียมการรับมือกับภัยพิบัติอันเกิดจากแผ่นดินไหว และเตรียมการฟื้นฟูหลังการเกิดภัยพิบัติได้อย่างรวดเร็ว

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลอาคารโดยใช้ฐานข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีการจัดทำไว้แล้ว
2. ทำการการจัดกลุ่มอาคารตัวอย่าง และคัดเลือกอาคารตัวอย่างจากกลุ่มอาคารประเภทที่พบได้มาก
3. ทำการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตัวอย่างด้วยวิธีพลศาสตร์ส่วนเพิ่ม (Incremental Dynamic Analysis) และสร้างเส้นโค้งความบอบบางของอาคารตัวอย่าง
4. ป้อนค่าเฉลี่ยที่ได้จากเส้นโค้งความบอบบางของอาคารตัวอย่างแทนค่าเฉลี่ยของเส้นโค้งความบอบบางในประเภทเดียวกันกับอาคารตัวอย่างในโปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1

5. จำลองสถานการณ์แผ่นดินไหวที่คาดว่าจะมีโอกาสเกิดขึ้นจริงที่จังหวัดกาญจนบุรีและทำการประมาณความสูญเสียด้วยโปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1
6. สรุปผลการศึกษาที่ได้จากการสร้างเส้นโค้งความบอบบางของอาคารและประมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกรุงเทพมหานคร



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการประมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นดินไหว จะใช้ความน่าจะเป็นคูณกับจำนวนสิ่งก่อสร้างแต่ละประเภท โดยในการศึกษาจะทำเฉพาะอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้านทางแรงดัด ประเภทอาคารอยู่อาศัย 1-3 ชั้น และอาคารเรียน 4-7 ชั้น โดยเลือกจากกลุ่มอาคารที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในกรุงเทพมหานคร

ในการประมาณความสูญเสียจะทำโดยใช้โปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1 ซึ่งประมวลผลในเชิงพื้นที่โดยมีชุดโปรแกรม ArcView (ESRI, 2005) ทำงานร่วมกันและแสดงผลข้อมูลในรูปแบบแผนที่ การประเมินค่าความเสียหายจากการเกิดแผ่นดินไหวโดยโปรแกรม HAZUS-MH MR 2.1 นั้นอาศัยการประมวลผลจากฐานข้อมูลส่วนกลางที่มีความถูกต้องแม่นยำและการจำลองสถานการณ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ประกอบกับฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่มีโครงสร้างแยกออกเป็นฐานข้อมูลอาคาร, ฐานข้อมูลด้านประชากร, ฐานข้อมูลระบบสาธารณูปโภค ฯลฯ แล้วทำการจำลองสถานการณ์แผ่นดินไหว เพื่อประเมินค่าความสูญเสียจากภัยพิบัติทางแผ่นดินไหว โดยผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปช่วยในการประเมินสถานการณ์ความรุนแรงของเหตุการณ์ รวมถึงการวางแผนเพื่อการจัดการบรรเทาสาธารณภัยที่เกิดขึ้นได้ ทั้งหมดนี้อยู่ภายใต้แนวคิด การประเมินค่าความเสียหายอพยพ และทำการฟื้นฟูบริเวณที่ประสบภัยพิบัติ

ขั้นตอนวิธีการประเมินความสูญเสียที่ได้รับเนื่องมาจากแผ่นดินไหวของหน่วยงานบริหารจัดการเหตุฉุกเฉินแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา (FEMA) นั้นสามารถศึกษาได้จากคู่มือของชุดโปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1 และมีส่วนขยายที่อธิบายรายละเอียดต่างๆ ซึ่งถูกอธิบายโดย AEEM (Advanced Engineering Building Module) โปรแกรมจะทำหน้าที่เก็บรายละเอียดที่ซับซ้อนต่างๆ ที่ทำงานร่วมกันเพื่อที่จะประเมินความเสียหาย การสูญเสียการทำงานของระบบต่างๆ และผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ในส่วนภูมิภาคอันเนื่องมาจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว หนึ่งในองค์ประกอบหลักของขั้นตอนการประเมินนั้น คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายระดับต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง

2.1 การประมาณความสูญเสียเนื่องจากแผ่นดินไหว

2.1.1 ทฤษฎีการประมาณความสูญเสีย

การประมาณความสูญเสียคือการคาดการณ์ความเสียหายที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากเหตุการณ์ใด เหตุการณ์หนึ่งซึ่งส่งผลกระทบต่อกลุ่มเป้าหมายที่สนใจ ในที่นี้คือเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยการใช้หลักการทางสถิติความน่าจะเป็น (FEMA, 2005)

$$N_{\text{slight}} = P_{\text{slight}} * N_{\text{total}} \quad (2.1)$$

$$N_{\text{moderate}} = P_{\text{moderate}} * N_{\text{total}} \quad (2.2)$$

$$N_{\text{extensive}} = P_{\text{extensive}} * N_{\text{total}} \quad (2.3)$$

$$N_{\text{complete}} = P_{\text{complete}} * N_{\text{total}} \quad (2.4)$$

เมื่อ P_i = ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายเกินกว่าระดับที่ i เมื่อ $i = \text{slight, moderate, extensive และ complete}$

N_{total} = จำนวนอาคารทั้งหมดในแต่ละเขตของกรุงเทพมหานคร

N_i = จำนวนอาคารที่เสียหายในระดับต่างๆ

การคำนวณหาความน่าจะเป็นที่ความเสียหายระดับต่างๆ จะได้มาจากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยวิธี IDA และนำไปสร้างเป็นเส้นโค้งความบอบบางของโครงสร้างอาคารประเภทที่สนใจ

2.1.2 ฐานข้อมูลอาคาร (building inventory)

ฐานข้อมูลอาคารคือ รายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับอาคารทั้งหมด เช่น ที่ตั้งอาคาร ลักษณะการใช้งานอาคาร ชนิดโครงสร้างอาคาร จำนวนชั้นอาคาร จำนวนผู้ใช้งานอาคารในแต่ละช่วงเวลา เป็นต้น

2.1.2.1 ฐานข้อมูลอาคารในเขตกรุงเทพมหานคร

ฐานข้อมูลอาคารได้รับความอนุเคราะห์จากกรมอุตุนิยมวิทยาจากโครงการ “จัดทำฐานข้อมูลแห่งชาติเพื่อการป้องกันและบรรเทาภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวและสึนามิ” ซึ่งได้มีการรวบรวมข้อมูลอาคารไว้แล้ว โดยข้อมูลอาคารจะถูกนำมาจำแนกและจัดทำฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการประมาณความสูญเสีย แล้วทำการจำลองสถานการณ์และประเมินความเสียหายเมื่อเกิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อกรุงเทพมหานคร ฐานข้อมูลนี้มีข้อมูลอาคารครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของกรุงเทพมหานคร รวม 50 เขตพื้นที่ (160 แขวง) ซึ่งได้มีการจัดกลุ่มพื้นที่ใหม่โดยแบ่งเป็น 12 เขต เพื่อความสะดวกต่อการจัดทำฐานข้อมูล รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 จำนวนอาคารในเขตกรุงเทพมหานครตามเขตพื้นที่

ลำดับ	เขตพื้นที่	จำนวนอาคาร (หลัง)	พื้นที่ (ตร.กม.)
1	ดุสิต	22,278	11.34
2	บางรัก	16,118	4.01
3	ปทุมวัน	16,809	8.05
4	สัมพันธวงศ์	10,636	1.42
5	ราชเทวี	18,125	7.18
6	ป้อมปราบศัตรูพ่าย	15,825	2.5
7	พระนคร	18,383	5.38
8	คลองเตย	28,801	13.40
9	บางคอแหลม	25,833	12.46
10	ยานนาวา	25,662	12.95
11	วัฒนา	27,244	7.23
12	สาทร	25,282	8.6
13	ดินแดง	28,102	8.45
14	วังทองหลาง	34,661	17.08
15	ห้วยขวาง	24,929	16.28
16	ลาดพร้าว	33,500	21.34
17	จตุจักร	47,961	32.54
18	บางซื่อ	40,445	12.92
19	พญาไท	19,627	9.26
20	หลักสี่	30,576	22.76

ตารางที่ 2-1 จำนวนอาคารในเขตกรุงเทพมหานครแยกตามเขตพื้นที่ (ต่อ)

ลำดับ	เขตพื้นที่	จำนวนอาคาร (หลัง)	พื้นที่ (ตร.กม.)
21	ดอนเมือง	39,786	36.95
22	บางเขน	50,809	40.79
23	สายไหม	43,624	43.48
24	คลองสามวา	41,563	114.56
25	คันนายาว	25,647	25.62
26	บึงกุ่ม	39,204	23.29
27	หนองจอก	32,292	237.89
28	บางกระปิ	51,344	27.58
29	มีนบุรี	39,903	60.34
30	ลาดกระบัง	45,792	128.39
31	สะพานสูง	27,229	27.98
32	บางนา	24,562	18.93
33	ประเวศ	40,283	53.89
34	พระโขนง	27,522	13.18
35	สวนหลวง	31,972	24.35
36	คลองสาน	24,198	5.97
37	จอมทอง	49,418	23.3
38	ธนบุรี	37,949	8.13
39	บางกอกใหญ่	22,467	6.29

ตารางที่ 2-1 จำนวนอาคารในเขตกรุงเทพมหานครแยกตามเขตพื้นที่ (ต่อ)

ลำดับ	เขตพื้นที่	จำนวนอาคาร (หลัง)	พื้นที่ (ตร.กม.)
40	ทุ่งครุ	29,138	32.12
41	บางขุนเทียน	35,867	128
42	บางบอน	34,511	34.01
43	ราษฎร์บูรณะ	22,560	12.58
44	บางแค	50,828	47.85
45	ภาษีเจริญ	36,849	19.04
46	หนองแขม	39,725	36.26
47	ตลิ่งชัน	30,610	35.58
48	ทวีวัฒนา	25,012	50.14
49	บางกอกน้อย	36,868	12.4
50	บางพลัด	34,337	11.82
รวม		1,582,666	1575.86

2.1.2.2 การจำแนกอาคาร (Building Classification)

อาคารที่ได้จากฐานข้อมูลจะถูกจำแนกออกเป็น 2 ระบบ คือ จำแนกตามวัสดุโครงสร้าง (building type) ทั้งนี้ เนื่องจากในประเทศไทยมีอาคารที่มีโครงสร้างชนิดที่ไม่พบในต่างประเทศ เช่น เป็นอาคารที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบกึ่งไม้กึ่งคอนกรีต (W1+C3L) ดังรูปที่ 2-1 อาคารประเภทนี้ ถูกจัดให้อยู่ในประเภทอาคารไม้



รูปที่ 2-1 ตัวอย่างโครงสร้างอาคารกึ่งไม้กึ่งคอนกรีต (www.KROBKRUAKAO.com)

อาคารประเภทหลังคาเหล็กเสาคอนกรีตรวมถึงหลังคาไม้เสาคอนกรีต (S_Rf+C_Col, W_Rf+C_Col) อาคารเหล่านี้จะถูกจำแนกให้อยู่ในประเภทอาคารคอนกรีต เนื่องจากวัสดุโครงสร้างอาคารส่วนใหญ่เป็นคอนกรีตซึ่งมีหลังคาที่เป็นโครงสร้างเหล็กและโครงสร้างไม้ และจำแนกตามลักษณะการใช้งาน (building occupancy) ดังตารางที่ 2-2 และตารางที่ 2-3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2-2 การจำแนกตามวัสดุโครงสร้างที่พบในเขตกรุงเทพมหานคร (FEMA, 2005)

NO.	Label	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	stories	Stories	Feet
1	W1	wood, light frame (density 5,000 sq. ft.)		All	1	14
2	W2	wood, density greater than 5,000 sq. ft.		All	2	24
3	S1L	steel moment frame	low-rise	1-3	2	24
4	S1M		mid-rise	4-7	5	60
5	S1H		high-rise	8+	13	156
6	S2	steel braced frame	low-rise	1-3	2	24
7	S2M	steel braced frame	mid-rise	4-7	5	60
8	S2H	steel braced frame	high-rise	8+	13	156

ตารางที่ 2-2 การจำแนกตามวัสดุโครงสร้างที่พบในเขตกรุงเทพมหานคร (ต่อ)

NO.	Label	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	stories	Stories	Feet
9	S3	steel light frame		All	1	15
10	S4L	steel frame with cast-in-place	low-rise	1-3	2	24
11	S4M	concrete shear walls	mid-rise	4-7	5	60
12	S4H		high-rise	8+	13	156
13	S5L	steel frame with unreinforced	low-rise	1-3	2	24
14	S5M	masonry infill walls	mid-rise	4-7	5	60
15	S5H		high-rise	8+	13	156
16	C1L	concrete moment frame	low-rise	1-3	2	20
17	C1M		mid-rise	4-7	5	50
18	C1H		high-rise	8+	12	120
19	C2L	concrete shear walls	low-rise	1-3	2	20
20	C2M		mid-rise	4-7	5	50
21	C2H		high-rise	8+	12	120
22	C3L	concrete frame with	low-rise	1-3	2	20
23	C3M	unreinforced masonry infill	mid-rise	4-7	5	50
24	C3H		walls	high-rise	8+	12
25	PC1	precast concrete tilt-up walls		All	1	15
26	PC2L	precast concrete frames with	low-rise	1-3	2	20
27	PC2M	concrete shear walls	mid-rise	4-7	5	50
28	PC2H		high-rise	8+	12	120
29	RM1L	reinforced masonry bearing	low-rise	1-3	2	20
30	RM1M	walls with wood or metal	mid-rise	4+	5	50
		deck diaphragms				
31	RM2L	reinforced masonry bearing	low-rise	1-3	2	20
32	RM2M	walls with precast concrete	mid-rise	4-7	5	50
33	RM2H	diaphragms	high-rise	8+	12	120

ตารางที่ 2-2 การจำแนกตามวัสดุโครงสร้างที่พบในเขตกรุงเทพมหานคร (ต่อ)

NO.	Label	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	stories	Stories	Feet
34	URML	unreinforced masonry bearing walls	low-rise	1-2	1	15
35	URMM		mid-rise	3+	3	39
36	MH	mobile homes		All	1	12

ตารางที่ 2-3 การจำแนกอาคารตามลักษณะการใช้งานที่พบในเขตกรุงเทพมหานคร

Label	Occupancy Class	Example Descriptions
Residential		
RES1	Single Family Dwelling	House
RES2	Mobile Home	Mobile Home
RES3	Multi Family Dwelling RES3A Duplex RES3B 3-4 Units RES3C 5-9 Units RES3D 10-19 Units RES3E 20-49 Units RES3F 50+ Units	Apartment/Condominium
RES4	Temporary Lodging	Hotel/Motel
RES5	Institutional Dormitory	military, college, Jails
RES6	Nursing Home	
Commercial		
COM1	Retail Trade	Store
COM2	Wholesale Trade	Warehouse
COM3	Personal and Repair Services	Service Station/Shop
COM4	Professional/Technical Services	Office
COM5	Banks	
COM6	Hospital	

ตารางที่ 2-3 การจำแนกอาคารตามลักษณะการใช้งานที่พบในเขตกรุงเทพมหานคร (ต่อ)

Label	Occupancy Class	Example Descriptions
COM7	Medical Office/Clinic	
COM8	Entertainment & Recreation	Restaurants/Bars
COM9	Theaters	Theaters
COM10	Parking	Garages
Industrial		
IND1	Heavy	Factory
IND2	Light	Factory
IND4	Metals/Minerals Processing	Factory
IND5	High Technology	Factory
IND6	Construction	Office
Agriculture		
AGR1	Agriculture	
Religion/Non/Profit		
REL1	Church/Non-Profit	
Government		
GOV1	General Services	Office
GOV2	Emergency Response	Police/Fire Station/EOC
Education		
EDU1	Grade School	
EDU2	Colleges/Universities	Dose not including group housing

ในการดำเนินการจัดทำฐานข้อมูลอาคารสารสนเทศ (GIS) จำเป็นต้องทำให้สามารถนำไปใช้งานได้สะดวกในขั้นตอนการประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นในพื้นที่แผ่นดินไหว ข้อมูลที่สำคัญลำดับแรกที่จะต้องดำเนินการจัดทำข้อมูลก่อน โดยพิจารณาร่วมกัน 3 ส่วนคือ จำนวนอาคาร วัสดุโครงสร้าง ลักษณะการใช้งาน (ตารางที่ 2-1 2-2 และ 2-3) ประกอบกับข้อมูลเชิงลึกเพื่อใช้ในการประมาณความสูญเสีย คือ

- ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร (พิกัด Universal Transverse Mercator, UTM)
- อายุการใช้งานอาคาร

- จำนวนผู้ใช้อาคาร (กลางวัน กลางคืน)
- ระดับการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหว

2.1.2.2.1 ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร

ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร คือ บริเวณที่อาคารตั้งอยู่ ส่งผลถึงความเร่งสูงสุดบนพื้นดินในบริเวณที่อาคารตั้งอยู่ว่ามีค่ามากหรือน้อย ซึ่งส่งผลกระทบต่อระดับความเสียหายของอาคารในบริเวณดังกล่าว

2.1.2.2.2 ชนิดโครงสร้าง

ชนิดโครงสร้างอาคารนั้นถูกกำหนดโดยวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร และจำนวนชั้นของอาคาร โดยเป็นไปตามตารางที่ 2-2

2.1.2.2.3 อายุอาคาร

อายุอาคารนั้นจัดทำอยู่ในรูปแบบของความสัมพันธ์ (จำนวนหลัง) ระหว่างชนิดโครงสร้างและอายุของอาคาร, และความสัมพันธ์ในเชิงร้อยละระหว่างชนิดโครงสร้างหลักและอายุอาคาร โดยแบ่งอายุอาคารออกเป็น 3 ช่วงคือ น้อยกว่า 10 ปี ระหว่าง 10-30 ปี และมากกว่า 30 ปี

2.1.2.2.4 จำนวนผู้ใช้งานอาคาร

จำนวนผู้ที่ใช้งานอาคารในแต่ละประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานอาคาร เช่น อาคารประเภทที่อยู่อาศัยรวม (other residential; Flat, condominium) จะมีจำนวนผู้ใช้อาคาร มากกว่าอาคารที่พักอาศัยเดี่ยว (single family) เป็นต้น และเกี่ยวข้องกับจำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละช่วงเวลา เช่น อาคารพาณิชย์นั้นจะมีจำนวนผู้ใช้อาคารหนาแน่นในช่วงเวลากลางวัน ส่วนอาคารที่พักอาศัยจะมีผู้ใช้งานอาคารหนาแน่นในช่วงเวลากลางคืน

2.1.2.2.5 ระดับการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหว

จากในหัวข้อ 2.1.2.2.3 อายุอาคารจะถูกใช้ในการคาดการณ์มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบอาคาร เพื่อพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารที่แตกต่างกันของแต่ละอาคารอันเนื่องมาจากความแตกต่างของการออกแบบด้านแผ่นดินไหว ความแตกต่างของคุณภาพของการก่อสร้าง สิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สมรรถนะของอาคารแตกต่างกันไป

สำหรับอาคารในเขตกรุงเทพมหานครนั้นส่วนใหญ่เป็นอาคารเก่า ที่สร้างขึ้นก่อนมีข้อกำหนดด้านทานแผ่นดินไหวเกือบทั้งสิ้น

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการรวบรวมโดยกรมอุตุนิยมวิทยาจากโครงการ “จัดทำฐานข้อมูลแห่งชาติเพื่อการป้องกันและบรรเทาภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวและสึนามิ” (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2008) จะถูกจัดทำเป็นฐานข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัย

2.1.3 ระดับความเสียหายของอาคาร

รูปแบบความเสียหายของอาคารนั้นจะถูกจำแนกออกเป็น 4 ระดับ คือ เสียหายน้อยมาก (slight) เสียหายปานกลาง (moderate) เสียหายมาก (extensive) และเสียหายทั้งหมดหรือพังทลาย (complete) ช่วงความเสียหายเหล่านี้จะมีสามารถนำไปคำนวณถึงจำนวนผู้ประสบภัย และระดับความรุนแรงของผู้ประสบภัย (severity level)

ตารางที่ 2-4 ความเสียหายของอาคาร (FEMA, 2005)

ความเสียหาย	รายละเอียด
เสียหายเล็กน้อย (slight)	เกิดรอยแตกเล็กน้อยบริเวณมุมประตูหน้าต่าง หรือกำแพงอิฐ โดยสมมติให้มีความกว้างของรอยแตกไม่เกิน 1/8 นิ้ว
เสียหายปานกลาง (moderate)	มีรอยร้าวขนาดใหญ่กว่าระดับแรก ยิปซัมบอร์ดบริเวณมุมประตูหน้าต่างเกิดการแตกร้าว มีรอยร้าวเล็กน้อยบริเวณกำแพงรับแรงเฉือน
เสียหายมาก (extensive)	มีรอยแตกขนาดใหญ่เกิดขึ้นบริเวณกำแพงรับแรงเฉือน และอาคารมีการเคลื่อนที่แบบถาวรบริเวณหลังคาและพื้น และมีการแตกร้าวเล็กน้อยบริเวณฐานราก
เสียหายทั้งหมด (complete)	มีระยะเคลื่อนตัวทางด้านข้างแบบถาวร และมีลักษณะเกือบพังทลาย บางโครงสร้างอาจมีลักษณะเลื่อนหลุดออกจากฐานราก

2.1.4 สมการประมาณความรุนแรงคลื่นแผ่นดินไหว (ground motion prediction equation, GMPE)

สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวเป็นสมการที่ใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์การสั่นไหวของพื้นดิน เช่น ความเร่งสูงสุดของพื้นดิน ความเร็วสูงสุดของพื้นดิน การกระจัดสูงสุดของพื้นดิน และความเร่งเทียบซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักได้แก่ ขนาดของแผ่นดินไหว (Magnitude) ระยะห่างจากจุดกำเนิด (distance) คาบธรรมชาติ (natural period) กลไกการเลื่อน (faulting mechanism) และอาจรวมถึงผลจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ความลึกของจุดกำเนิด (depth) ซึ่งสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวได้มีรูปแบบฟังก์ชันโดยทั่วไปดังสมการที่ 2.5 (วิษณุ หัตถา 2008)

$$\ln(Y) = \ln(b_1) + \ln f_1(M) + \ln f_2(R) + \ln f_3(M, R) + \ln f_4(P_i) + \ln(\varepsilon) \quad (2.5)$$

เมื่อ	Y	=	พารามิเตอร์การสั่นไหวของพื้นดิน
	b_1	=	ตัวประกอบมาตราส่วน
	$f_1(M)$	=	ฟังก์ชันของขนาดแผ่นดินไหว (magnitude)
	$f_2(R)$	=	ฟังก์ชันของระยะทาง (distance)
	$f_3(M, R)$	=	ฟังก์ชันขนาดแผ่นดินไหว (magnitude) และระยะทาง (distance)
	$f_4(P_i)$	=	ตัวแปรอื่นๆของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (source) และผลกระทบของชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว
	ε	=	ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากความไม่แน่นอน

สมการการลดทอน อาจจะมีรูปแบบแตกต่างจากสมการที่ 1 ขึ้นอยู่กับนักวิจัยผู้พัฒนา ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ของข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดิน

โดยสมการการลดทอนที่มีให้เลือกใช้ในโปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1 ได้แก่สมการของนักวิจัยที่แสดงในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 สมการการประมาณความรุนแรงคลื่นแผ่นดินไหวที่มีให้เลือกใช้ในโปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1

รายชื่อสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว
Alaska or Puerto rico /VI
Atkinson and Boore (2002)
Atkinson and Boore. Gopal (2002)
Cascadia – Subduction (2008) - Interface or Interslab
Cascadia – Youngs et al. (1997) - Interface or Interslab
NGA-Abrahamson and Silva (2008)
NGA-Atkinson and Boore (2008)
NGA-Campbell and Bozorgnia (2008)
NGA-Chiou and Youngs (2008)
Pacific Northwest (PNW 2008)

ตารางที่ 2-5 สมการการประมาณความรุนแรงคลื่นแผ่นดินไหวที่มีให้เลือกใช้ในโปรแกรม HAZUS

MH-MR 2.1

รายชื่อสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว
Western U.S. Coastal California (2008)
Western U.S. Extensional (2008)
Western U.S. Inter-mountain West
Western U.S. Non-Extensional (2008)
Western U.S. Wasatch (2008)
Zhao and others (2006)

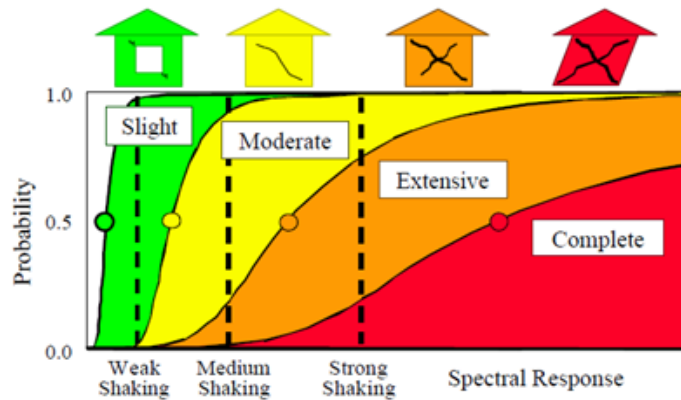
การประเมินความเสียหายจากเหตุการณ์จำลองที่สมมติขึ้นในการศึกษานี้ ได้เลือกใช้สมการของ NGA - Chiou และ Youngs (2008) ซึ่งสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของ Chiou และ Youngs (2008) ถูกพัฒนามาจากสมการของ Sadigh และคณะ (1997) โดยการศึกษาแผ่นดินไหวตื้น (shallow earthquakes) บนรอยเลื่อนมีกำลัง โดยข้อมูลมีขนาดโมเมนต์ตั้งแต่ 4 ถึง 8 และมีระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับพื้นผิวการแตกร้าว (closest distance to the rupture surface, r_{rup}) ตั้งแต่ 0 ถึง 100 กิโลเมตร ซึ่งเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ใช้ศึกษาเกิดจากแนวรอยเลื่อนมีมุมลาดเอียง (rake angle, λ) อยู่ในแนวระดับ ($\lambda < 45^\circ$, strike – slip fault) และสถานีตรวจวัดคลื่นที่ใช้ศึกษาตั้งอยู่บนชั้นหิน (rock) ทำให้มีความเหมาะสมกับสถานการณ์จำลองที่สมมติขึ้นเพื่อประมาณความสูญเสียโดยสถานการณ์สมมติให้เกิดแผ่นดินไหวที่จังหวัดกาญจนบุรี โดยมีระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว (epicenter) ถึงกรุงเทพฯ ประมาณ 97 km ความลึก 2 km และแผ่นดินไหวส่วนใหญ่ในไทยเป็นรอยเลื่อนในแนวระดับ (strike-slip fault)

2.1.5 เส้นโค้งความบอบบาง (fragility curve)

เส้นโค้งความบอบบางเป็นการบ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างค่าบ่งชี้ความรุนแรงของแผ่นดินไหว (intensity measure, IM) กับพารามิเตอร์การตอบสนองทางวิศวกรรม (engineering demand parameters, EDP) ในเชิงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดค่าพารามิเตอร์การตอบสนองทางวิศวกรรมเกินกว่าค่าพารามิเตอร์การตอบสนองทางวิศวกรรมที่พิจารณาภายใต้เงื่อนไขเฉพาะระดับตัวบ่งชี้ความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่กำหนด

เส้นโค้งความบอบบางเป็นฟังก์ชันการกระจายแบบล็อกปกติ จากกราฟเส้นโค้งความบอบบาง ในแกน X เป็นการเคลื่อนที่เชิงสเปกตรัม (spectral displacement) ในแกน Y แสดงถึงความ

น่าจะเป็น (probability) ที่โครงสร้างมีการตอบสนองเกินกว่าค่าพารามิเตอร์ของการตอบสนองทางวิศวกรรมที่กำลังพิจารณา ดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 ตัวอย่างเส้นโค้งความบอบบางที่ความเสียหายระดับต่างๆ (FEMA, 2005)

เส้นประแสดงถึงระดับความรุนแรงของการสั่นไหวของพื้นดิน โดยในแนวเส้นประมีผลรวมความน่าจะเป็นของการเกิดความเสียหายระดับต่างๆ เท่ากับ 1 ตัวอย่างเช่น ถ้ามีความสั่นไหวของพื้นดินเล็กน้อย (weak shaking) จะมีโอกาสที่อาจจะไม่เกิดความเสียหายเลย (no damage) จากภาพประมาณ 0.05 และมีโอกาสที่อาคารจะเสียหายเล็กน้อย (slight) ประมาณ 0.95 เป็นต้น

เส้นโค้งความบอบบางแต่ละเส้นนั้นจะถูกสร้างขึ้นจากแบบจำลองการกระจายความน่าจะเป็นด้วยวิธีการแจกแจงแบบล็อกปกติ ด้วยการประมาณค่ากลาง (median value) ของพารามิเตอร์ความต้องการทางวิศวกรรม (demand parameter เช่น spectral displacement, $S_{d,ds}$) และค่าความแปรปรวนของสเปกตรัมการเคลื่อนที่ (β_{ds}) โดยมีสมการเป็น

$$P[ds | S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{S_d}{S_{d,ds}} \right) \right] \quad (2.6)$$

เมื่อ $S_{d,ds}$ = ค่ากลาง (median value) ของพารามิเตอร์ความต้องการทางวิศวกรรมของสเปกตรัมการเคลื่อนที่สำหรับความเสียหายระดับต่างๆ

β_{ds} = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของลอการิทึมฐานธรรมชาติของสเปกตรัมการเคลื่อนที่ที่ระดับความเสียหายต่างๆ

2.1.6 ระดับการบาดเจ็บของผู้ประสบภัย

ในการประมาณจำนวนผู้ประสบภัย จะมีการแบ่งระดับความรุนแรง (severity level) ออกเป็น 4 ระดับ ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 การจำแนกระดับการบาดเจ็บ (FEMA, 2005)

ระดับการบาดเจ็บ	รายละเอียด
การบาดเจ็บระดับที่ 1 (severity 1)	อาการบาดเจ็บเล็กน้อยที่สามารถปฐมพยาบาลเบื้องต้นได้ เช่น แผลไฟลวกบางส่วน การกระแทก ฯลฯ
การบาดเจ็บระดับที่ 2 (severity 2)	อาการบาดเจ็บระดับที่ต้องใช้เครื่องมือทางการแพทย์ เช่น เครื่องเอ็กซเรย์ การศัลยกรรม
การบาดเจ็บระดับที่ 3 (severity 3)	อาการบาดเจ็บอย่างรุนแรงต้องมีการใช้เครื่องมือทางการแพทย์เพื่อช่วยชีวิต เช่น อาการเลือดไหลไม่หยุด อวัยวะภายในมีการบาดเจ็บ
การบาดเจ็บระดับที่ 4 (severity 4)	เสียชีวิตหรือในสถานะที่มีโอกาสเสียชีวิตสูง

การจำแนกระดับความรุนแรงของผู้บาดเจ็บนั้นมีความซับซ้อนอย่างมาก โดยการจำแนกนั้นขึ้นอยู่กับ การประเมินทางการแพทย์ และตัวแปรอื่นๆ ดังนั้นการประเมินระดับความรุนแรงต่อคนนั้น จึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับด้านการแพทย์เพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับความสามารถของวิศวกรที่จะจัดหาข้อมูล ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการประเมินมี 3 ข้อดังนี้

1. เวลาในการเกิดภัยพิบัติ
2. การกระจายตัวของประชากรในแต่ละช่วงเวลา
3. ข้อมูลที่มีลักษณะเฉพาะของผู้ประสบภัย

2.1.6.1 เวลาในการเกิดภัยพิบัติ

เวลาในการเกิดภัยพิบัติจะบอกถึงจำนวนผู้ใช้อาคารแต่ละประเภทในแต่ละช่วงเวลา เช่น อาคารที่พักอาศัยจะมีผู้ใช้งานอาคารสูงสุดในช่วงเวลา 2.00 น. ซึ่งเป็นเวลาพักผ่อน ในขณะที่ เวลา 14.00 น. เป็นเวลาที่มีการใช้งานอาคารพาณิชย์สูงสุดในรอบวัน และเวลา 17.00 น. เป็นเวลาที่ผู้คนใช้ในการเดินทางกลับที่พัก โดยในงานวิจัยนี้ทำการจำลองเหตุการณ์แผ่นดินไหวให้เกิดขึ้นในสองช่วงเวลา คือ 2.00 น. และ 14.00 น.

2.1.6.2 การกระจายตัวของประชากรในแต่ละช่วงเวลา

การกระจายตัวของประชากรในแต่ละช่วงเวลา คือ จำนวนประชากรในช่วงเวลาที่สนใจและ บ่งบอกถึงจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในบริเวณอาคาร (indoor) หรือนอกบริเวณอาคาร (outdoor) ซึ่งมี ผลต่อการประมาณจำนวนผู้ประสบภัยพิบัติในแต่ละช่วงเวลา โดยการนำจำนวนประชากรที่สนใจคูณ

กับโอกาสที่ประชากรจะใช้อาคารแต่ละประเภทและโอกาสที่ประชากรใช้อาคารประเภทนั้นแล้วจะอยู่นอกหรืออยู่ในอาคารดังสมการ

$$N_{Total} = (P_{out/in})(P_{use})(N) \quad (2.7)$$

เมื่อ N = จำนวนประชากรที่สนใจ ดังต่อไปนี้

POP	=	ข้อมูลประชากรที่มีอยู่เดิมในแต่ละเขต
DRES	=	ประชากรทั้งหมดในช่วงกลางวันที่ควรใช้อาคารพักอาศัยในแต่ละเขต
NRES	=	ประชากรทั้งหมดในช่วงกลางคืนที่ควรใช้อาคารพักอาศัยในแต่ละเขต
COMW	=	จำนวนพนักงานทั้งหมดที่ควรอยู่ภายในอาคารพาณิชย์
INDW	=	จำนวนพนักงานทั้งหมดที่ควรอยู่ภายในโรงงาน
GRADE	=	จำนวนนักเรียนทั้งหมดควรอยู่ภายในโรงเรียน
COLLEGE	=	จำนวนนักเรียนในสถานศึกษาระดับอุดมศึกษา
HOTEL	=	จำนวนประชากรทั้งหมดที่ควรอาศัยในโรงแรม
PRFIL	=	ค่าสัมประสิทธิ์เพื่อใช้หาสัดส่วนของผู้ใช้รถยนต์ใช้ค่า 0.6 สำหรับเขตเมือง 0.8 สำหรับเขตชานเมืองและ 0.85 สำหรับเขตชนบท ค่าพื้นฐานที่กำหนดไว้คือ 0.8
VISIT	=	จำนวนประชากรที่ไม่ได้พักอาศัยในเขตแต่เข้ามาเพื่อทำธุระ ค่าพื้นฐานกำหนดไว้ที่ 0

P_{use} = โอกาสที่ประชากรที่สนใจ (N) จะใช้อาคาร

$P_{out/in}$ = โอกาสที่ประชากรที่สนใจและใช้อาคาร ($N \cdot P_{use}$) จะอยู่นอกหรือในบริเวณอาคาร

ยกตัวอย่างเช่นในตารางที่ 2-7 ลักษณะการใช้งานอาคารประเภทที่พักอาศัย (residential) ในช่วงเวลา 2.00 น. จำนวนประชากรทั้งหมดที่ควรใช้งานที่พักอาศัย (NRES) แต่โอกาสที่จะมีจำนวนผู้ใช้อาคารอยู่จริงมีเพียง 99% (P_{use}) ของจำนวนประชากรทั้งหมดที่ควรใช้งานที่พักอาศัยในเวลา กลางคืน (NRES) และจากจำนวนผู้ใช้อาคารที่พักอาศัยจึงในช่วงเวลากลางคืน ($P_{use} \cdot N$) เป็นต้น

ตารางที่ 2-7 ความสัมพันธ์การประมาณการกระจายตัวของประชากร (FEMA, 2005)

ลักษณะการใช้งานอาคาร	ช่วงเวลากลางคืน (2.00)	ช่วงเวลากลางวัน (14.00)
ในบริเวณอาคาร		
Residential	(0.999)0.99(NRES)	(0.70)0.75(DRES)
Commercial	(0.999)0.02(COMW)	(0.99)0.98(COMW) + (0.80)0.20(DRES) + 0.80(HOTEL) + 0.80(VISIT)
Education		(0.90)0.80(GRADE)+0.80(COLLEGE)
ในบริเวณอาคาร		
Industrial	(0.999)0.10(INDW)	(0.90)0.80(INDW)
Hotel	0.999(HOTEL)	0.19(HOTEL)
นอกบริเวณอาคาร		
Residential	(0.001)0.99(NRES)	(0.30)0.75(DRES)
Commercial	(0.001)0.02(COMW)	(0.01)0.98(COMW) + (0.20)0.20(DRES) + (0.20)VISIT + 0.50(1-PRFIL)0.05(POP)
Education		(0.10)0.80(GRADE) + 0.20(COLLEGE)
Industrial	(0.001)0.10(INDW)	(0.10)0.80(INDW)
Hotel	0.001(HOTEL)	0.01(HOTEL)
ขณะเดินทาง		
Commuting in cars	0.005(POP)	(PRFIL)0.05(POP)
Commuting using other modes		0.50(1-PRFIL)0.05(POP)

2.1.6.3 ข้อมูลที่มีลักษณะเฉพาะของผู้ประสบภัย

เป็นข้อมูลที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจงแบ่งเป็น 2 ข้อหลักๆ คือข้อมูลที่เป็นเฉพาะตัวบุคคลหรือลักษณะตัวบุคคล เช่น โรค ความทุพพลภาพ เป็นต้น และปัจจัยภายนอก เช่น การร่วงของสิ่งของ ขณะเกิดแผ่นดินไหว เป็นต้น ในที่นี้จะไม่สามารถได้ละเอียดถึงระดับสมรรถภาพของบุคคล แต่จะพิจารณาถึงความน่าจะเป็นที่จะได้รับการบาดเจ็บเนื่องจากปัจจัยภายนอกพร้อมด้วย

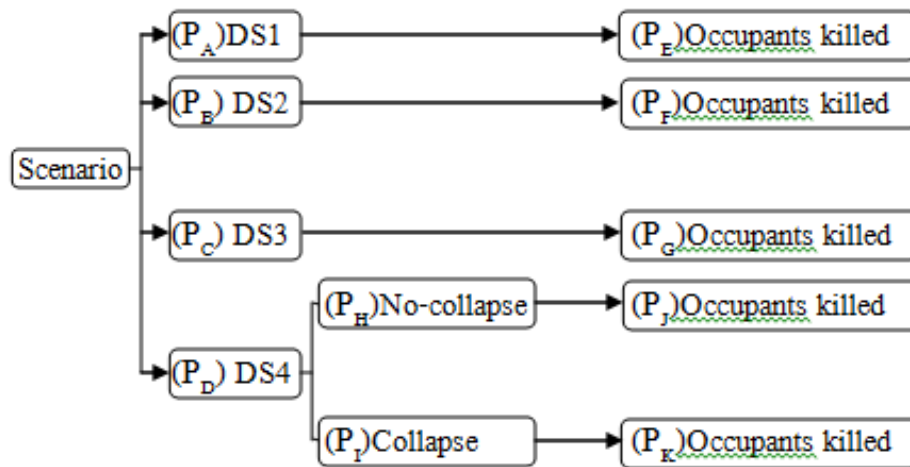
ภาพรวมการประมาณจำนวนผู้ประสบภัยพิบัติจะเป็นการคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่ระดับความเสียหายต่างๆ โดยมีหลักการประเมินแบ่งเป็นสองส่วน คือ ไม่เกิดการพังทลาย (without collapse) และเกิดการพังทลาย (collapse) ตัวอย่างเช่น การคำนวณจำนวนผู้ประสบภัยที่จะถึงแก่ชีวิตในความเสียหายระดับต่างๆ (FEMA, 2005) เป็นดังนี้

$$P_{\text{killed}} = P_A * P_E + P_B * P_F + P_C * P_G + P_D * (P_H * P_J + P_I * P_K) \quad (2.8)$$

$$P_{\text{killed} | \text{collapse}} = P_D * P_I * P_K \quad (2.9)$$

$$P_{\text{killed} | \text{no-collapse}} = P_A * P_E + P_B * P_F + P_C * P_G + P_D * P_H * P_J \quad (2.10)$$

เมื่อ	P_{killed}	= ความน่าจะเป็นที่จะมีผู้เสียชีวิต
	$P_{\text{killed} \text{collapse}}$	= ความน่าจะเป็นที่จะมีผู้เสียชีวิตจากเหตุการณ์ที่พังทลาย
	$P_{\text{killed} \text{no-collapse}}$	= ความน่าจะเป็นที่จะมีผู้เสียชีวิตจากเหตุการณ์ที่ตึกไม่เกิดการพังทลาย
	P_i	= ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายระดับที่ i เมื่อ i เท่ากับ A, B, C และ D
	P_j	= ความน่าจะเป็นที่จะมีผู้เสียชีวิตจากความเสียหายระดับที่ i โดยที่ j เท่ากับ E, F, G, J และ K
	P_H	= ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายระดับที่ 4 แต่ไม่เกิดการพังทลาย
	P_I	= ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายระดับที่ 4 และเกิดการพังทลาย



รูปที่ 2-3 ภาพรวมตัวอย่างการประมาณผู้เสียชีวิต (FEMA, 2005)

ค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากสมการที่ 2.8 2.9 และ 2.10 จะนำมาใช้ประมาณจำนวนผู้เสียชีวิต ($EN_{\text{occupantskilleds}}$) สมการที่ 2.11

$$EN_{\text{occupantskilleds}} = N_{\text{occupants}} \times P_{\text{killed}} \quad (2.11)$$

เมื่อ $N_{\text{occupants}}$ = จำนวนอาคารที่ถูกใช้งานในช่วงเวลาที่เกิดแผ่นดินไหว

จากหลักการคำนวณจำนวนผู้เสียชีวิตข้างต้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระดับความรุนแรงอื่นๆ โดยการนำค่าจากตารางที่ 2-7 ซึ่งสามารถหาจำนวนผู้ใช้อาคารในเวลากลางวัน (number of daytime occupants; NDO) และเวลากลางคืน (number of nighttime occupants; NNO) เพื่อใช้คำนวณจำนวนผู้ประสพภัยที่ระดับความรุนแรงต่าง ทั้งในขณะเกิดแผ่นดินไหวช่วงเวลากลางวันและขณะเกิดแผ่นดินไหวช่วงเวลากลางคืน ตามสมการที่ 2.12 ซึ่งเป็นการคำนวณเพื่อประมาณจำนวนผู้ประสพภัยในเวลากลางวันและตัวอาคารเกิดการพังทลาย

$$SL_ENDO_i = N_{DO} * P[S_i | COL] * P[COL | PSTR_5] * PSTR_5 \quad (2.12)$$

เมื่อ SL_ENDO_i = คือจำนวนผู้บาดเจ็บในเวลากลางวันที่ระดับความรุนแรงระดับ i

$P[S_i | COL]$ = ความน่าจะเป็นของระดับการบาดเจ็บของผู้ประสพภัยระดับที่ i เมื่อเกิดการพังทลายทั้งหลัง

$P[COL | STR_5]$ = คือความน่าจะเป็นที่จะเกิดการพังทลายเมื่อเกิดความเสียหายทั้งอาคาร

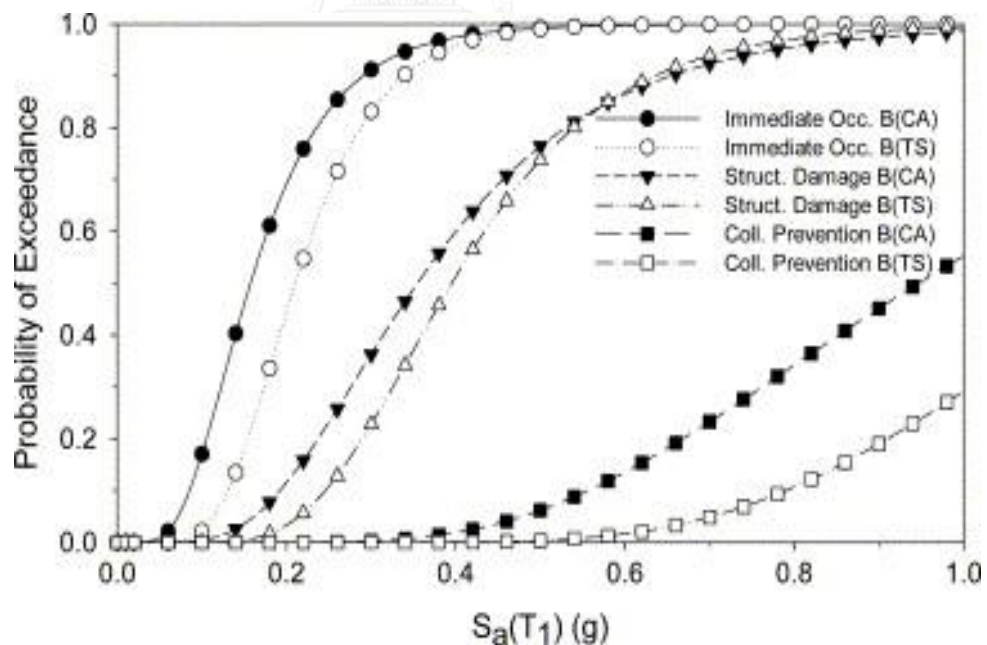
$PSTR_5$ = ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายทั้งหลัง

N_{DO} = จำนวนผู้ใช้อาคารตอนกลางคืน

2.3 การวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้าง

การวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้าง คือ การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตอบสนองทางวิศวกรรม (EDP) กับค่าความรุนแรงทางแผ่นดินไหว (IM) ในที่นี้ใช้ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นอาคาร (interstory drift ratios, IDR) และค่าการตอบสนองความเร่งเชิงสเปกตรัม (spectral acceleration; S_a) โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างโดยโปรแกรม OpenSees (Mazzoni S. และคณะ 2007) การวิเคราะห์สามารถทำได้หลายวิธีโดยแบ่งวิธีการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1. วิธีวิเคราะห์แบบเชิงเส้น (linear procedures) 2. วิธีวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น (nonlinear procedures) ในแต่ละกลุ่มสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้ คือ 1. วิธีแบบสถิต (static) 2. วิธีแบบพลศาสตร์ (dynamic)

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่ได้สามารถนำไปใช้หาค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดค่าตัวแปรการตอบสนองทางวิศวกรรมเกินกว่าค่าตัวแปรการตอบสนองทางวิศวกรรมที่พิจารณาภายใต้เงื่อนไขเฉพาะระดับตัวบ่งชี้ความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่กำหนด หรือเรียกว่าเส้นโค้งความบอบบางของโครงสร้างเนื่องจากแผ่นดินไหว (seismic fragility curve) ที่ระดับค่าตัวแปรการตอบสนองทางวิศวกรรมต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 เส้นโค้งความบอบบางของโครงสร้างเนื่องจากแผ่นดินไหวที่ระดับค่าตัวแปรการตอบสนองทางวิศวกรรมต่าง ๆ (Kinali และ Ellingwood, 2006)

2.4 ระดับสมรรถนะของโครงสร้าง (performance level from ASCE 41-13)

ระดับสมรรถนะของโครงสร้าง คือ ค่าหรือข้อมูลความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหว เป็นค่าที่แสดงถึงพฤติกรรมของโครงสร้างในขณะเกิดแผ่นดินไหว และความเสียหายคงค้างของโครงสร้างภายหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว จึงทำให้สามารถระบุได้ว่าโครงสร้างอาคารภายหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวอยู่ในระดับความเสียหายใด

ตามคู่มือของหน่วยงานบริหารจัดการเหตุฉุกเฉินแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกาได้แบ่งระดับสมรรถนะของโครงสร้างออกเป็น 4 ระดับ เพื่อเป็นเกณฑ์ในการระบุความเสียหายของอาคารภายหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหว ดังแสดงในตารางที่ 2-8

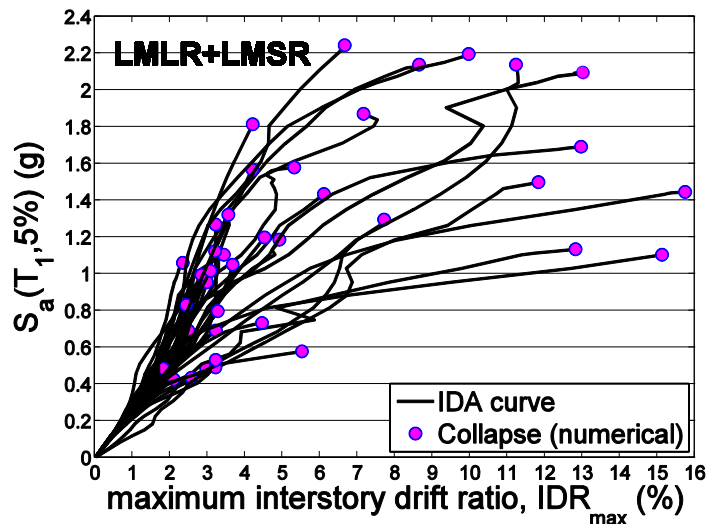
ตารางที่ 2-8 ระดับสมรรถนะของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (ASCE 41-13, 2013)

ระดับสมรรถนะของโครงสร้าง	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคาร (ในขณะสั่นไหว)	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคาร (คงค้าง)
1. ระดับใช้อาคารได้ตามปกติ (operational)	เกิดน้อยมาก	ไม่เกิด
2. ระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที (immediate occupancy level)	ไม่เกิน 1 %	ไม่ยอมให้เกิดค่าคงค้าง
3. ระดับปลอดภัยต่อชีวิต (life safety level)	ไม่เกิน 2 %	ไม่เกิน 1 %
4. ระดับเกิดความเสียหายหนักเกือบพังทลาย(collapse prevention level)	ไม่เกิน 4 %	ไม่เกิน 4 %

2.5 วิวิวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ส่วนเพิ่ม (Incremental dynamic analysis, IDA)

จากการศึกษาของ Vamvatsikos และ Cornell (2002) เกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิวิวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ส่วนเพิ่ม (IDA) โดยการนำคลื่นแผ่นดินไหวหนึ่งคลื่นมาสเกลเพิ่มหรือลดขนาดความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหวด้วยตัวคูณปรับค่า (scaling factor) นำคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้มากระทำกับแบบจำลองโครงสร้างโดยวิธีการวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้นด้วยวิวิพลศาสตร์แบบประวัติเวลา (nonlinear response history analysis, NL-RHA) และวิเคราะห์

โครงสร้างซ้ำไปมาหลายครั้ง จนโครงสร้างเกิดการพังทลายจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของโครงสร้างกับความรุนแรงแผ่นดินไหว และเมื่อทำการเปลี่ยนคลื่นแล้ววิเคราะห์เช่นเดิม ทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นตามจำนวนคลื่นที่นำมาวิเคราะห์ดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-5 กราฟการวิเคราะห์โครงสร้างแบบพลศาสตร์ส่วนเพิ่ม (IDA) ของอาคารคณะบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ไตรรัตน์ ชมพูธวัช 2011)

2.5.1 การจัดการข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับวิธีพลศาสตร์ส่วนเพิ่ม (IDA)

จากข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจำนวน 1 คลื่น (single acceleration time-history) ที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในอดีต เรียกว่า คลื่นที่ยังไม่ถูกเปลี่ยนขนาด (un-scaled accelerogram) ซึ่งเป็นเวกเตอร์ ในการขยายขนาดคลื่นแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้น จะคูณด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า “ตัวคูณปรับค่า” (scaling factor) กับแอมพลิจูด (amplitude) ตลอดความถี่ของคลื่น โดยให้คลื่นมีความถี่เท่าเดิม ดังสมการที่ 2.13 ซึ่งจะต้องเปลี่ยนขนาดคลื่นแผ่นดินไหวเพื่อให้ผลของการตอบสนองของโครงสร้างแสดงพฤติกรรมตั้งแต่ช่วงยืดหยุ่น (elastic) ไปจนถึงจุดพังทลาย (finally collapse) ของโครงสร้าง

$$a_\lambda = \lambda \cdot a_1 \quad (2.13)$$

โดยที่

a_λ = คลื่นแผ่นดินไหวที่ถูกเปลี่ยนขนาดแล้ว เป็นเวกเตอร์

a_1 = คลื่นแผ่นดินไหวที่ยังไม่ถูกเปลี่ยนขนาด เป็นเวกเตอร์

λ = ตัวคูณปรับค่า (scaling factor) จะมีค่าเป็นบวกเสมอ $\lambda \in (0, +\infty]$

$\lambda = 1$ จะได้ค่าความรุนแรงตามธรรมชาติ (natural accelerogram)

$\lambda < 1$ จะได้ค่าความรุนแรงที่ถูกลดขนาด (scaled-down accelerogram)

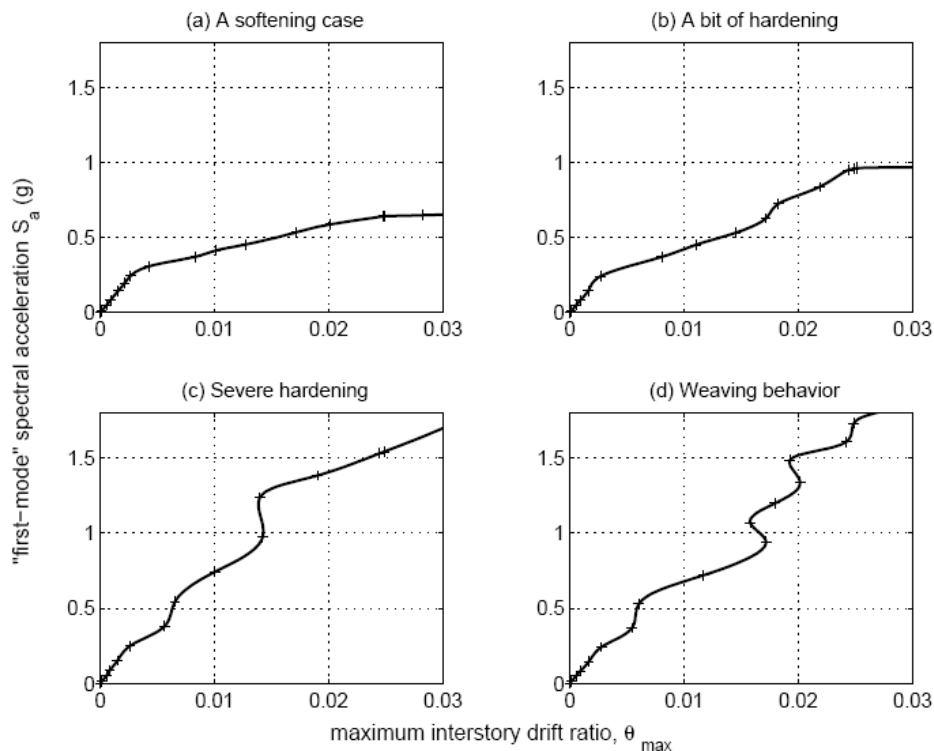
$\lambda > 1$ จะได้ค่าความรุนแรงที่ถูกเพิ่มขนาด (scaled-up accelerogram)

2.5.2 ลักษณะทั่วไปของกราฟ IDA

นอกจากนี้วิธี IDA ยังแสดงให้เห็นว่าผลตอบสนองของโครงสร้างต่อแรงแผ่นดินไหวมีความเหมือนและความแตกต่างกันเมื่อคลื่นแผ่นดินไหวที่มากระทำต่อโครงสร้างเปลี่ยนไป จากรูปที่ 2-6 สิ่งที่เหมาะสมคือโครงสร้างมีค่าการตอบสนองของความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบพื้นฐาน ($S_a^{yield}(T_1)$) และอัตราการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น (θ_{max}^{yield}) การแบบยืดหยุ่นที่ $S_a^{yield}(T_1) \approx 0.2g$ และ $\theta_{max}^{yield} \approx 0.2\%$ ค่าความชัน (slope) ของกราฟการตอบสนองในช่วงแรกที่เป็นเส้นตรง เรียกว่า “ช่วงสติฟเนสยืดหยุ่น” (elastic stiffness)

การเกิดความอ่อน (softening) ในกราฟ IDA ผลการตอบสนองของโครงสร้างจะเกิดการสะสมด้วยอัตราที่สูงจนกระทั่งเกิดการสูญเสียเสถียรภาพทางพลศาสตร์ของโครงสร้าง (dynamic instability) ดังรูปที่ 2-7 (a) ตัวอย่างเช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเคลื่อนที่สัมพันธ์ระหว่างชั้น (interstory drift ratio) ของโครงสร้างอย่างมากเมื่อระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

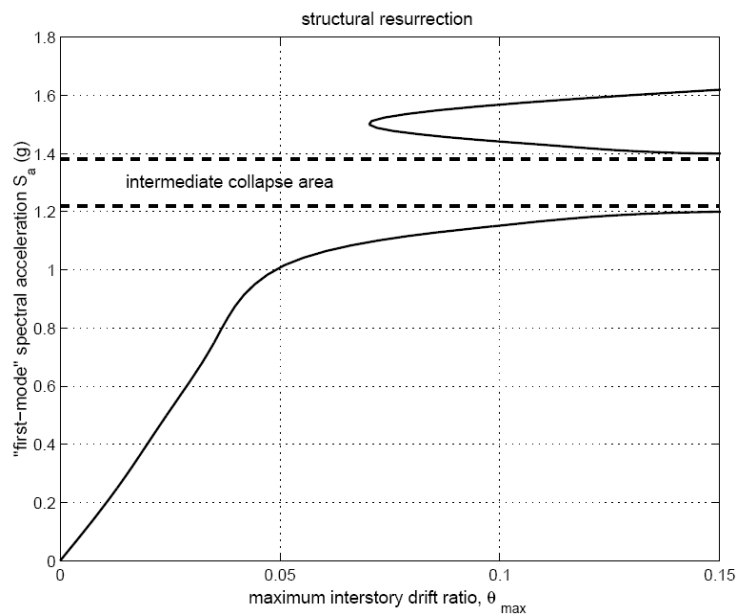
ส่วนการเกิดความแกร่ง (hardening) ในรูปที่ 2-7c ระบบจะยังคงรับแรงได้เมื่อทำการเพิ่มระดับความรุนแรง เนื่องมาจากรูปแบบและจังหวะ (pattern and timing) ของคลื่นแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดสภาวะนั้นสำคัญมากกว่าระดับความรุนแรง (intensity)



รูปที่ 2-6 กราฟ IDA ของโครงแกงแนงเหล็ก (steel braces frame) $T_1 = 1.8$ วินาที (เนื่องจากแผ่นดินไหว 4 แบบ (Vamvatsikos และ Cornell, 2002.)

2.5.3 การฟื้นคืนชีพของโครงสร้าง (structural resurrection)

จากการเกิดความแกร่งของโครงสร้าง ทำให้สามารถอธิบายการฟื้นคืนชีพของโครงสร้าง (structural resurrection) จากรูปที่ 2-8 จะสังเกตได้ว่าในกรณีความแกร่งแบบสุดขีด (extreme case of hardening) โดยปกติแล้วโครงสร้างจะเกิดการพังทลายที่ความรุนแรงแผ่นดินไหวระดับหนึ่ง แต่เมื่อเพิ่มระดับความรุนแรงที่สูงมากๆ กลับทำให้โครงสร้างที่พังทลายแล้วสามารถกลับมารับแรงได้อีก



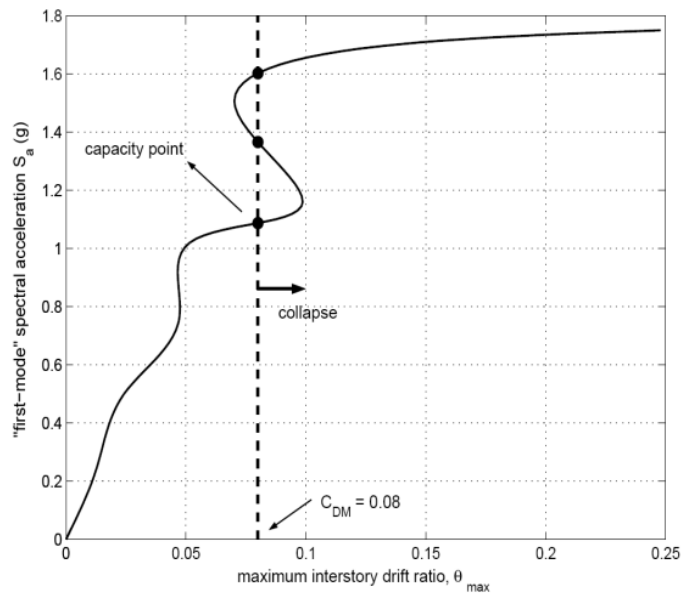
รูปที่ 2-7 การฟื้นคืนตัวของโครงสร้างบนกราฟ IDA ของโครงสร้างเหล็กดัดแรงดัด 3 ชั้น ที่มีคาบธรรมชาติ $T_1 = 1.3$ วินาที (Vamvatsikos และ Cornell, 2002.)

2.5.4 การระบุจุดพังทลายบนกราฟ IDA

ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์ส่วนเพิ่ม (IDA) จะสามารถระบุจุดพังทลายบนกราฟ IDA (ไตรรัตน์ ชมพูวิช, 2552) ได้ 2 วิธี คือ

2.5.4.1 กฎผลการตอบสนองคงที่ (EDP-based rule)

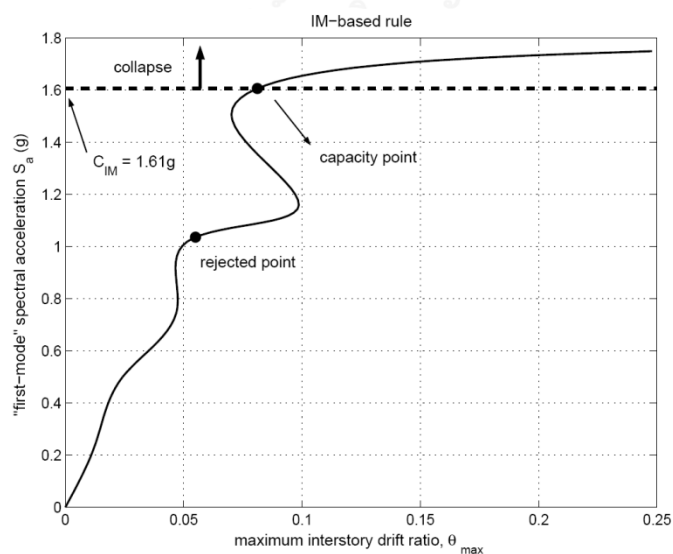
กฎผลการตอบสนองคงที่ คือ การกำหนดค่าเกณฑ์การตอบสนองของโครงสร้างเพื่อใช้ในการวัดการตอบสนองของโครงสร้าง เพื่อที่จะสามารถระบุได้ว่าโครงสร้างนั้นอยู่ในสถานะพังทลายเมื่อมีค่าการตอบสนองของโครงสร้างเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เช่น การกำหนดค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (inter-story drift ratios) เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-8 กราฟ IDA โดยใช้กฎผลตอบสนองคงที่ระบุจุดพังทลายที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นเท่ากับ 0.08 (Vamvatsikos และ Cornell, 2002.)

2.5.4.2 กฎระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวคงที่ (IM-based rule)

เมื่อกราฟ IDA มีลักษณะเป็นเส้นนอน ผลการตอบสนองจะเป็นค่าอนันต์ จึงกำหนดให้เมื่อระดับความชันของกราฟมีค่าน้อยกว่า 20% ของระดับความชันช่วงยืดหยุ่น (20% of elastic slope) และต้องมีค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นต่างๆ ของอาคารสูงสุด (IDR_{max}) ต้องมีค่าไม่เกิน 10% โดยให้ถือว่าจุดนั้นเป็นจุดพังทลายของโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 แสดงกราฟ IDA โดยใช้กฎระดับความรุนแรงคงที่ระบุจุดพังทลายที่ความชัน 20% ของช่วงยืดหยุ่น (Vamvatsikos และ Cornell, 2002.)

2.6 เส้นโค้งขอบนอก (backbone curve)

เส้นโค้งขอบนอก คือ เส้นกราฟที่แสดงพฤติกรรมการเสียรูปของชิ้นส่วนโครงสร้างเนื่องจากแรงทางด้านข้างทิศทางเดียว (monotonic) ดังแสดงในรูปที่ 2-11 เส้นโค้งขอบนอกกำหนดโดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

สติฟเนสในช่วงยืดหยุ่น (initial stiffness, K_e) อยู่ในช่วงพิกักระหว่างจุด (0,0) กับจุดคราก (δ_y, F_y) สติฟเนสในช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของกำลังหลังจากเกิดการคราก (hardening stiffness, K_s) คือสติฟเนสในช่วงหลังจากเกิดการครากถึงช่วงที่โครงสร้างมีกำลังสูงสุด (capping) ซึ่งจะอยู่ในช่วงพิกักระหว่างจุดคราก (δ_y, F_y) กับจุดที่โครงสร้างมีกำลังสูงสุด (δ_c, F_c) โดยมีความสัมพันธ์กับสติฟเนสในช่วงยืดหยุ่นตามสมการต่อไปนี้

$$K_s = \alpha_s K_e \quad (2.14)$$

ค่าแรงทางด้านข้างที่จุดที่โครงสร้างมีกำลังสูงสุด (peak strength, F_c) สามารถคำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้

$$F_c = F_y + K_s (\delta_c - \delta_y) \quad (2.15)$$

สติฟเนสในช่วงหลังจากจุดที่โครงสร้างมีกำลังสูงสุด (post-capping stiffness, K_c) คือสติฟเนสในช่วงหลังจากจุดที่โครงสร้างมีกำลังสูงสุดถึงจุดที่โครงสร้างเริ่มเหลือกำลังคงค้าง (residual strength) ซึ่งจะอยู่ในช่วงพิกักระหว่างจุดที่โครงสร้างมีกำลังสูงสุด (δ_c, F_c) กับจุดที่โครงสร้างเริ่มเหลือกำลังคงค้าง (δ_r, F_r) โดยมีความสัมพันธ์กับสติฟเนสในช่วงยืดหยุ่นตามสมการต่อไปนี้

$$K_c = \alpha_c K_e \quad (2.16)$$

กำลังคงค้างของโครงสร้าง (residual strength, F_r) มีความสัมพันธ์กับกำลังที่จุดครากของโครงสร้างดังนี้

$$F_r = \lambda F_y \quad (2.17)$$

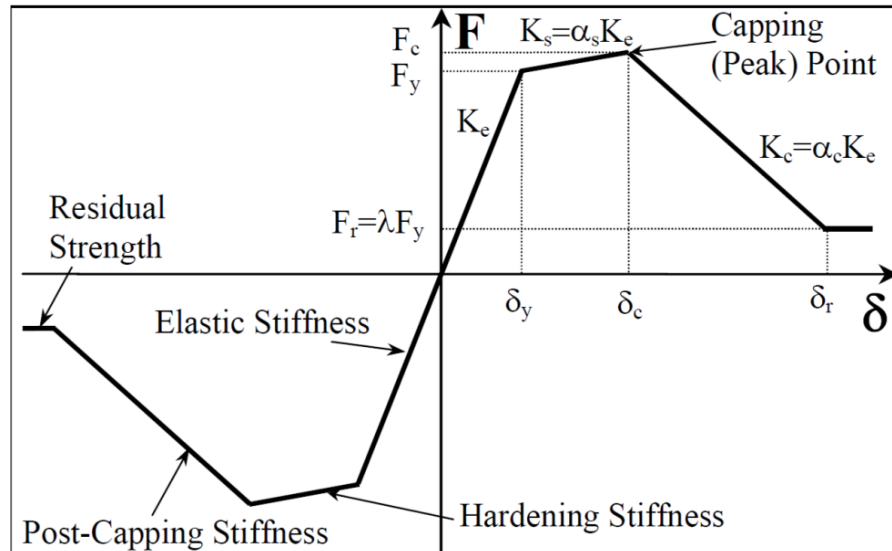
และระยะการเคลื่อนที่ ณ จุดที่โครงสร้างเริ่มเหลือกำลังคงค้าง (δ_r) คำนวณได้ดังนี้

$$\delta_r = \delta_c + \frac{(F_c - F_r)}{K_c} \quad (2.18)$$

โดยที่ F_c = แรงทางด้านข้างที่จุดคราก (yielding strength)

$\alpha_s, \alpha_c, \lambda$ = พารามิเตอร์ของเส้นโค้งขอบนอก

- δ_c = ค่าระยะการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่จุดที่โครงสร้างมีกำลังสูงสุด
- δ_y = ค่าระยะการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่จุดคราก
- δ_c/δ_y = ความความเหนียวของโครงสร้าง (ductility capacity)

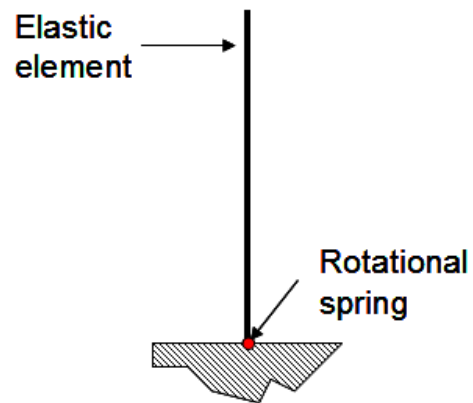


รูปที่ 2-10 เส้นโค้งขอบนอกสำหรับแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง (Ibarra และ Krawinkler, 2005)

2.7 การเสื่อมถอยเนื่องจากแรงกระทำแบบวัฏจักร (cyclic deterioration)

เนื่องจากวัสดุมีการเสื่อมถอยของสติฟเนสในช่วงลดและเพิ่มแรงกระทำ (unloading and reloading stiffness) รวมถึงการเสื่อมถอยของกำลัง (strength deterioration) การเสื่อมถอยที่เกิดขึ้นนั้นสัมพันธ์กับดัชนีความเสียหาย ซึ่งอิงตามคู่มือการใช้งานโปรแกรม (OpenSees user manual) จากรายละเอียดที่กล่าวมางานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วัสดุของแบบจำลองโครงสร้างในโปรแกรม OpenSees (Mazzoni และคณะ 2007) เป็นวัสดุประเภท Pinching4 Material

แบบจำลองโครงสร้างคาน-เสา (beam-column element model) Haselton และคณะ (2008) ได้วิเคราะห์แบบจำลองคาน-เสาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม OpenSees โดยให้ช่วงว่างของคาน-เสาเป็นชิ้นส่วนแบบยืดหยุ่น (elastic element) และบริเวณปลายคาน-เสา เป็นชิ้นส่วนสปริงเพื่อการแสดงพฤติกรรมในช่วงไม่ยืดหยุ่น เรียกแบบจำลองดังกล่าวว่า แบบจำลองแบบรวมพฤติกรรมพลาสติก (lumped-plasticity element model) และให้แรงแบบวัฏจักร (cyclic load) โดยแบบจำลองในลักษณะนี้เรียกว่าแบบจำลองการเสียรูปของชิ้นส่วนโครงสร้าง ซึ่งถูกพัฒนาโดย (Ibarra และ Krawinkler, 2005)



รูปที่ 2-11 แบบจำลองโครงสร้าง คาน-เสา แบบรวมพฤติกรรมพลาสติก (ไตรรัตน์ ชมพูธวัช 2011)



บทที่ 3

ความบอบบางของอาคารตัวอย่างในเขตกรุงเทพมหานคร

3.1 การเลือกอาคารตัวอย่าง

จากข้อมูลที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาที่ได้มีการรวบรวมไว้แล้ว โดยฐานข้อมูลจำนวนอาคารในแต่ละเขตเป็นไปดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 จำนวนอาคารในแต่ละเขตพื้นที่

เขต	จำนวนอาคาร (หลัง)
บางบอน	34,511
บางแค	50,828
บางกะปิ	51,344
บางเขน	50,809
บางขุนเทียน	35,867
บางคอแหลม	25,833
บางนา	24,562
บางพลัด	34,337
บางรัก	16,118
บางซื่อ	40,445
บางกอกน้อย	36,868
บางกอกใหญ่	22,467
บึงกุ่ม	39,204
จตุจักร	47,961
ดินแดง	28,102
ดอนเมือง	39,786

ตารางที่ 3-1 จำนวนอาคารในแต่ละเขตพื้นที่ (ต่อ)

เขต	จำนวนอาคาร (หลัง)
ดุสิต	22,278
ห้วยขวาง	24,929
จอมทอง	49,418
คั่นนายาว	25,647
คลองสามวา	41,563
คลองสาน	24,198
คลองเตย	28,801
หลักสี่	30,576
ลาดพร้าว	33,500
ลาดกระบัง	45,792
มีนบุรี	39,903
หนองจอก	32,292
หนองแขม	39,725
ภาษีเจริญ	36,849
ปทุมวัน	16,809
พระโขนง	27,522
พระนคร	18,383
พญาไท	19,627
ป้อมปราบศัตรูพ่าย	15,825
ประเวศ	40,283
ราชบุรีณะ	22,560

ตารางที่ 3-1 จำนวนอาคารในแต่ละเขตพื้นที่ (ต่อ)

เขต	จำนวนอาคาร (หลัง)
ราชเทวี	18,125
สายไหม	43,624
สัมพันธวงศ์	10,636
สาทร	25,282
สะพานสูง	27,229
สวนหลวง	31,972
ตลิ่งชัน	30,610
ทวีวัฒนา	25,012
ธนบุรี	37,949
ทุ่งครุ	29,138
วังทองหลาง	34,661
วัฒนา	27,244
ยานนาวา	25,662

จำนวนอาคารรวมในกรุงเทพมหานครมี 1,582,666 หลัง และมีประชากรรวมทั้งสิ้นประมาณ 7,976,180 คน นำมาจำแนกประเภทอาคารดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 จำแนกอาคารตามลักษณะโครงสร้างและการใช้งานอาคารเป็นจำนวนหลัง

Occupancy	Wood (หลัง)	Steel (หลัง)	Concrete (หลัง)	URM (หลัง)
RES1	301,940	18,003	304,645	32,582
RES3A	1,545	403	15,629	1,626
RES3B	4,008	546	80,513	4,377
RES3C	10,200	1,476	208,143	11,279

ตารางที่ 3-2 จำแนกอาคารตามลักษณะโครงสร้างและการใช้งานอาคารเป็นจำนวนหลัง (ต่อ)

Occupancy	Wood (หลัง)	Steel (หลัง)	Concrete (หลัง)	URM (หลัง)
RES3D	6,750	978	136,994	7,487
RES3E	1,499	260	15,789	427
RES3F	1,815	291	18,680	524
RES4	40	43	915	38
RES5	6,211	650	10,320	737
RES6	0	0	3	0
COM1	12,880	3,674	83,523	4,924
COM2	5,928	2,490	12,553	1,320
COM3	2,146	1,407	18,341	1,025
COM4	1,475	1,874	42,462	1,811
COM5	9	46	2,200	36
COM6	171	95	1,235	95
COM7	122	35	5,840	130
COM8	7,260	1,476	44,967	1,881
COM9	1	0	57	0
COM10	5,480	6,785	15,179	1,771
IND1	26	42	445	36
IND2	1,089	493	19,210	945
IND3	284	185	2,110	233
IND4	549	271	6,468	426
IND5	2	11	123	10

ตารางที่ 3-2 จำแนกอาคารตามลักษณะโครงสร้างและการใช้งานอาคารเป็นจำนวนหลัง (ต่อ)

Occupancy	Wood (หลัง)	Steel (หลัง)	Concrete (หลัง)	URM (หลัง)
IND6	135	112	2,311	162
AGR1	2,212	404	743	59
REL1	3,916	1,157	10,801	1,374
GOV1	457	1,849	7,263	799
GOV2	55	67	660	67
EDU1	1,689	522	8,426	621
EDU2	363	504	2,714	205

ตารางที่ 3-2 แสดงให้เห็นว่าจำนวนอาคารคอนกรีตพบได้มากในเขตกรุงเทพมหานครโดยมีจำนวนถึง 1,080,316 หลัง ซึ่งคิดเป็น ร้อยละ 68.26 ของอาคารทั้งหมด จึงนำอาคารคอนกรีตมาพิจารณาโดยละเอียด โดยนำมาเฉพาะลักษณะการใช้งานอาคารที่พบมากในเขตกรุงเทพมหานคร ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 อาคารคอนกรีตแยกตามลักษณะการใช้งานอาคารเป็นจำนวนหลัง

	C1L	C1M	C1H	C2L	C2M	C2H	C3L	C3M	C3H
RES1	36,415	200	17	61	12	55	252,647	4,203	75
RES3B	4,425	335	0	103	23	8	68,446	6,722	10
RES3C	11,478	925	1	334	40	29	176,695	17,545	20
RES3D	7,549	605	4	219	35	16	116,109	11,663	21
RES3F	677	425	67	31	37	339	7,507	8,926	495
COM1	6,633	980	18	134	68	48	53,227	20,158	88
COM2	2,312	64	3	9	4	2	7,609	11,971	1
COM3	1,643	188	2	33	11	3	11,971	3,774	4

ตารางที่ 3-3 อาคารคอนกรีตแยกตามลักษณะการใช้งานอาคารเป็นจำนวนหลัง (ต่อ)

	C1L	C1M	C1H	C2L	C2M	C2H	C3L	C3M	C3H
COM4	2,697	762	43	65	54	259	22,302	15,106	218
EDU1	859	102	1	8	5	4	4,952	2,191	23
EDU2	404	30	10	1	2	35	1,371	589	64

ตารางที่ 3-3 แสดงให้เห็นว่าจำนวนอาคารประเภท C3L C3M C1L และ C1M พบได้มากในเขตกรุงเทพมหานครจึงแยกมาพิจารณาพร้อมกับจำนวนผู้ใช้อาคาร ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 จำนวนผู้ใช้อาคารประเภท C3L C3M C1L และ C1M ตามลักษณะการใช้งานอาคาร

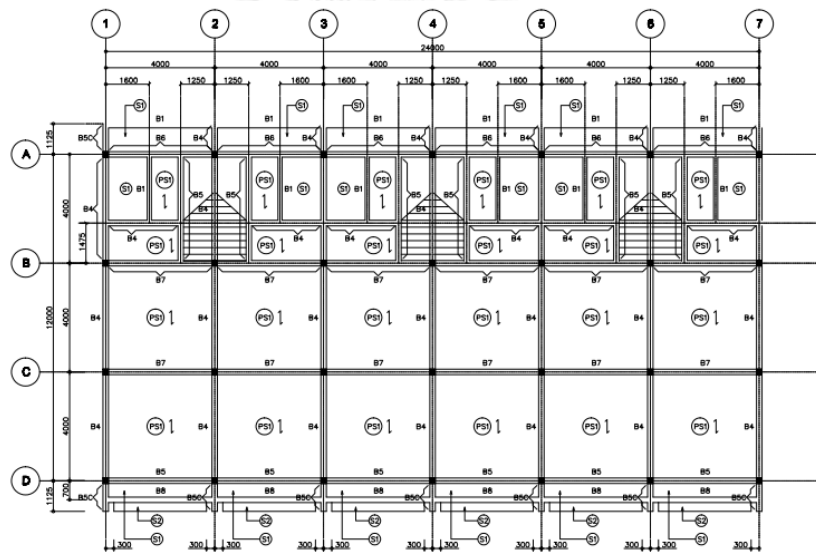
	C1L (คน)	C1M (คน)	C3L (คน)	C3M (คน)
RES1	84,838	413	586,875	12,582
RES3B	6,612	1,354	164,127	26,689
RES3C	18,464	3,834	428,455	74,608
RES3D	14,535	3,834	286,747	17,059
RES3F	1,053	3,004	69,971	79,772
COM1	46,072	5,245	215,478	113,182
COM2	5,671	189	22,165	4,629
COM3	7,126	279	29,781	6,342
COM4	24,458	12,782	187,696	191,480
EDU1	32,014	18,230	352,204	469,298
EDU2	5,578	4,829	48,520	109,252

ตารางที่ 3-4 แสดงให้เห็นว่าจำนวนผู้ใช้อาคารพักอาศัยเดี่ยว (RES1) มีจำนวนมากและมีลักษณะโครงสร้างอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีกำแพงอิฐสูง 1-3 ชั้น (C3L) โดยมีจำนวนผู้ใช้อาคารถึง 586,875 คน และมีผู้ใช้อาคารเรียน (EDU1) ที่มีลักษณะโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีกำแพงอิฐสูง 4-7 ชั้น (C3M) จำนวน 469,298 คน แต่เนื่องจากการวิเคราะห์อาคารที่มีโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีกำแพงอิฐ (C3) ยังไม่มีความถูกต้องชัดเจน จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่มีกำแพงอิฐสูง 1-3 ชั้น (C1L) และสูง 4-7 ชั้น (C1M) ในประเภท

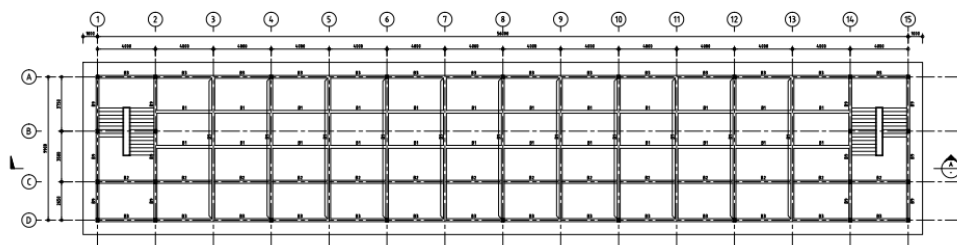
อาคารพาณิชย์ (COM1) และอาคารเรียน (EDU1) ซึ่งมีผู้ใช้งาน 46,072 คน และ 18,230 ตามลำดับ (เนื่องจากบ้านพักอาศัยเดี่ยวมีการก่อสร้างที่หลากหลายจึงยากที่จะกำหนดอาคารตัวอย่าง)

3.2 อาคารตัวอย่าง

อาคารตัวอย่างในงานวิจัยนี้ คือ อาคารตึกแถว 2 ชั้น 4 คูหา ซึ่งพบได้ทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานครฯ ซึ่งเป็นอาคารที่มีความสูง 7 เมตร กว้าง 14 เมตร ประกอบด้วยคาน 3 ช่วง ดังรูปที่ 3-1(a) และอาคารเรียน 4 ชั้น สูง 14.95 เมตร กว้าง 13.5 เมตร ประกอบด้วยคาน 1 ช่วง ของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ดังรูปที่ 3-1(b) โดยโครงสร้างพาณิชย์มีลักษณะสม่ำเสมอในแนวตั้งและค่อนข้างสมมาตรในระนาบราบ ส่วนในอาคารเรียนมีลักษณะเป็นอาคารใต้ถุนสูงเปิดโล่งจึงมีชั้นที่มีความอ่อนของสติฟเนส (soft story) รูปที่ 3-2(c) เมื่อพิจารณาโครงข้อแข็ง (typical frame) ในแนวระนาบ 3 สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยแบบจำลองแบบ 2 มิติ ตามด้านกว้างของอาคาร

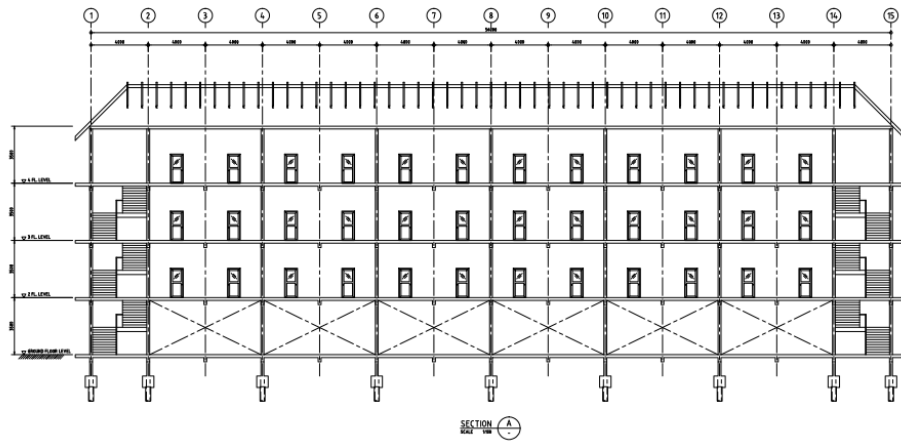


(a) อาคารพาณิชย์



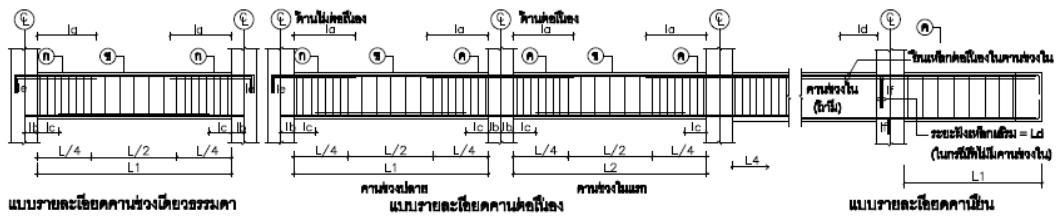
FRAMING PLAN
EDU1

(b) อาคารเรียน



(c) รูปตัดด้านหน้าอาคารเรียน

รูปที่ 3-1 แปลนอาคารตัวอย่าง



ตารางแสดงหน้าตัดคานและรายละเอียดเหล็กเสริม

คาน	ขนาดหน้าตัด		รูปตัด ก	รูปตัด ข	รูปตัด ค
	กว้าง (มม.)	ลึก (มม.)			
B1	150	300	2 DB12 1P-RB6 @ 100 2 DB12	2 DB12 1P-RB6 @ 100 2 DB12	2 DB12 1P-RB6 @ 100 2 DB12
B2	150	300	2 DB12 1P-RB6 @ 100 2 DB12	2 DB12 1P-RB6 @ 100 2 DB12 2 DB12	2 DB12 2 DB12 1P-RB6 @ 100 2 DB12
B3	150	500	2 DB12 1P-RB9 @ 200 2 DB12 2 DB12	2 DB12 1P-RB9 @ 200 2 DB12 2 DB12 2 DB12	2 DB12 2 DB12 2 DB12 1P-RB9 @ 200 2 DB12
B4	200	400	2 DB12 1P-RB9 @ 150 3 DB12	2 DB12 1P-RB9 @ 150 3 DB12	3 DB12 1P-RB9 @ 150 2 DB12

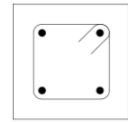
รูปที่ 3-2 รายละเอียดหน้าตัดคานของโครงสร้างตัวอย่างอาคารพาณิชย์



12 DB25
ปลอก @ 200mm

รูปที่ 3-3 รายละเอียดหน้าตัดคานโครงสร้างตัวอย่างอาคารเรียนขนาด 250x800 mm

อาคารพาณิชย์เลือกใช้แนวเส้นกำกับ (grid line) ที่ 3 และในอาคารเรียนเลือกใช้แนวเส้นกำกับที่ 4 ในการสร้างแบบจำลอง 2 มิติ เนื่องจากเส้นกำกับดังกล่าวของทั้งสองอาคารเป็นบริเวณที่มีมวลรวมที่มากที่สุดและมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3-4

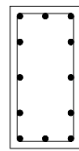


(200x200)

4 DB12

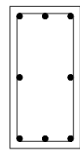
ป-RB6 @ 175

(a) เส้าอาคารพาณิชย์



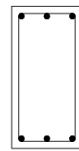
12 DB19

ปลอก @ 200mm



8 DB19

ปลอก @ 200mm



6 DB19

ปลอก @ 200mm



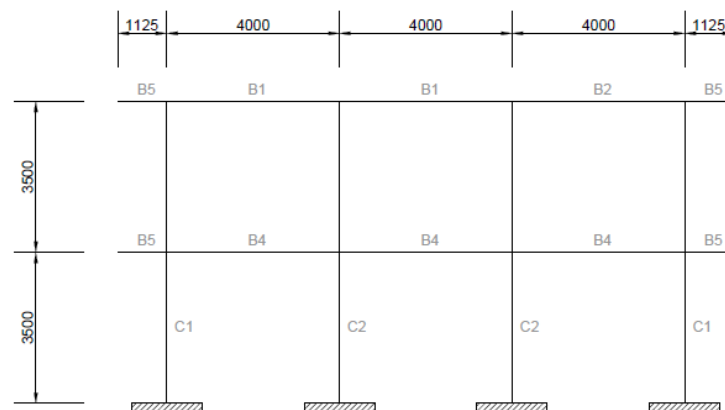
4 DB19

ปลอก @ 200mm

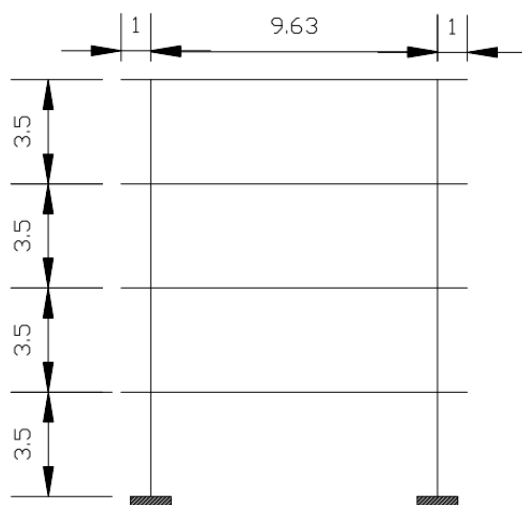
(b) เส้าอาคารเรียนขนาด 50x25 cm

รูปที่ 3-4 รายละเอียดหน้าตัดเส้า

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างอาคารพาณิชย์ 2 มิติ มีช่วงคานยาว 4 เมตร เส้าสูง 3.5 เมตร โดยอาคารมีทั้งหมด 2 ชั้น และ อาคารเรียน มีช่วงคานยาว 9.63 เมตร และเส้าสูง 3.5 เมตร 4 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 3-5 และ 3-6



รูปที่ 3-5 ลักษณะแบบจำลองสองมิติของโครงสร้างอาคารพาณิชย์



รูปที่ 3-6 ลักษณะแบบจำลองสองมิติของโครงสร้างอาคารเรียน

มวลของแต่ละชั้นแสดงดังในตารางที่ 3-5 และ 3-6 ในแบบจำลองสมมติให้อาคารมีอัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 5% (damping ratio)

ตารางที่ 3-5 มวลที่แต่ละชั้นของอาคารพาณิชย์

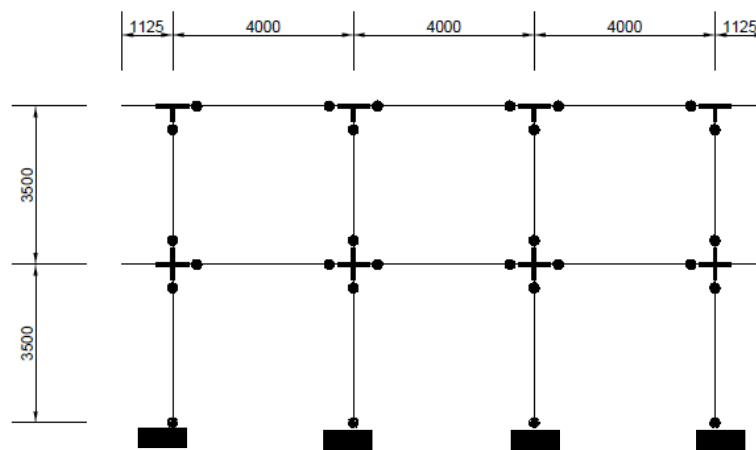
Floor	มวลรวมที่แต่ละชั้น (kg)
Roof	4,907
2	21,364
Total	26,271

ตารางที่ 3-6 มวลที่แต่ละชั้นของอาคารเรียน

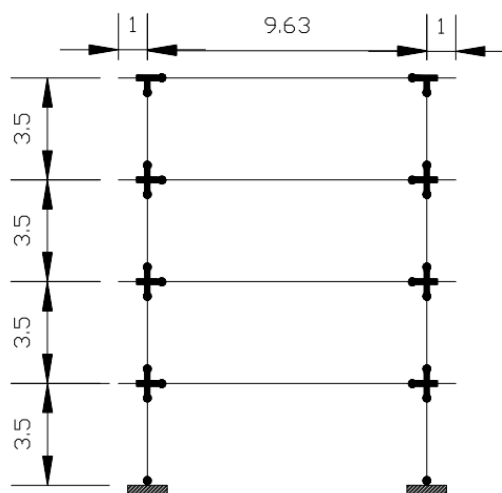
Floor	มวลรวมที่แต่ละชั้น (kg)
Roof	20,298
4	21,348
3	21,348
2	21,348
Total	84,342

3.3 แบบจำลองอาคารตัวอย่าง

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้นด้วยวิธีพลศาสตร์แบบประวัติเวลา (nonlinear response history analysis, NL-RHA) โดยใช้โปรแกรม OpenSees (Mazzoni และคณะ 2007) ในการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชั้นส่วนคาน-เสาด้วยโครงข้อแข็ง (frame) ที่มีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้นแสดงในรูปที่ 3-7 และ 3-8 และใช้สปริงแบบหมุน (rotational spring) ที่ปลายทั้งสองข้างของชั้นส่วนโครงข้อแข็งจำลองพฤติกรรมของชั้นส่วนคาน-เสาในช่วงไม่ยืดหยุ่นเชิงเส้น สปริงจะเริ่มแสดงพฤติกรรมก็ต่อเมื่อชั้นส่วนคาน-เสาดันนั้นเกิดการคราก (yield) สมมุติให้บริเวณจุดต่อคาน-เสาของโครงสร้างเป็นแบบแข็งเกร็ง (rigid joint) และฐานรากเป็นแบบยึดแน่น (fixed support)



รูปที่ 3-7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างอาคารพาณิชย์



รูปที่ 3-8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างอาคารเรียน

ชิ้นส่วนโครงสร้างจะถูกจำลองให้มีพฤติกรรมภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร (hysteretic model) ที่พัฒนาโดย Ibarra และ Krawinkler (2005) และใช้สมการที่คำนวณค่าคุณสมบัติของหน้าตัดชิ้นส่วนภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักรที่พัฒนาโดย Haselton และคณะ (2008) ซึ่งเป็นสมการที่พัฒนามาจากผลการทดลอง (empirical formula) จำนวนทั้งหมด 255 ตัวอย่าง และค่าที่คำนวณได้ทั้งหมดนำไปใช้กับแบบจำลองชิ้นส่วนโครงสร้าง (element model) ในโปรแกรม OpenSees ที่มีชื่อว่า Pinching4 Material

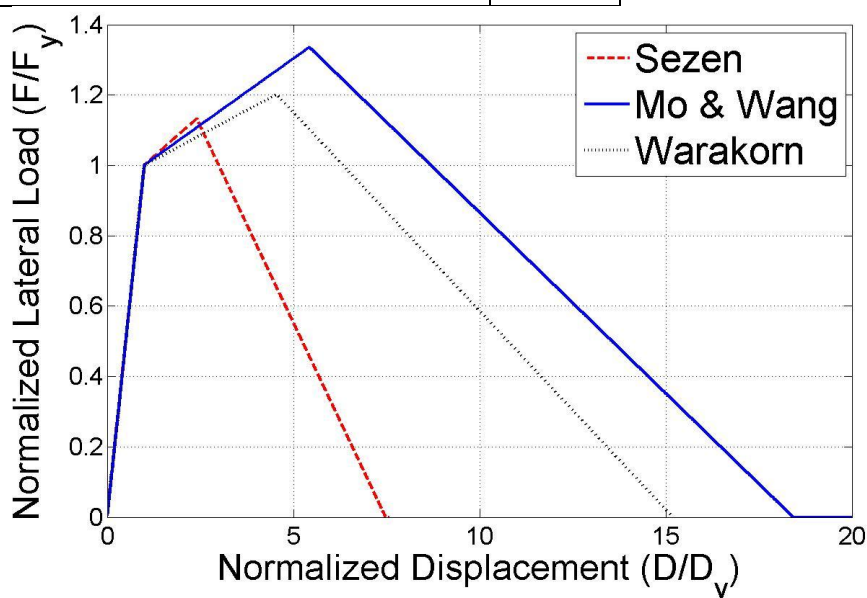
3.4 การสอบเทียบค่าพารามิเตอร์ของการเสื่อมถอยแบบวัฏจักรของเสาของแบบจำลองอาคาร

ตัวอย่าง

เนื่องจากมีพารามิเตอร์บางตัวของ การเสื่อมถอยแบบวัฏจักรไม่สามารถคำนวณได้โดยตรง อมรชัย ใจยงค์ (2011) ได้ทำการสอบเทียบค่าพารามิเตอร์ของการเสื่อมถอยแบบวัฏจักรจากผลการทดสอบของ Sezen (2002), Mo และ Wang (2000), และ วรากร สิงหสุต และ อาณัติ เรืองรัศมี (2009) และได้ทำการสอบเทียบแบบจำลองเสาที่คำนวณค่าคุณสมบัติของหน้าตัดชิ้นส่วนภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักรที่ถูกพัฒนาโดย Haselton และคณะ (2008) กับผลการทดสอบด้วยการวิเคราะห์แบบจำลองตัวอย่างเสาด้วยแรงกระทำแบบวัฏจักร โดยทำการสุ่มค่าพารามิเตอร์ (Trial parameter) การเสื่อมถอยแบบวัฏจักรของตัวแปรต่อไปนี้ 1.ค่าพารามิเตอร์การเสื่อมถอยของของสติฟเนสในช่วงลดแรงกระทำ ($\gamma_{K1}, \gamma_{K2}, \gamma_{K3}, \gamma_{K4}$) 2.ค่าพารามิเตอร์การเสื่อมถอยของสติฟเนสในช่วงเพิ่มแรงกระทำ ($\gamma_{D1}, \gamma_{D2}, \gamma_{D3}, \gamma_{D4}$) 3.ค่าพารามิเตอร์การเสื่อมถอยของกำลัง ($\gamma_{F1}, \gamma_{F2}, \gamma_{F3}, \gamma_{F4}$) 4. ค่าพารามิเตอร์ของพลังงานการเสีรูปภายใต้แรงกระทำด้านข้างทิศทางเดียว (γ_E) โดยให้มีค่าผลต่างระหว่างการวิเคราะห์แบบจำลองกับผลการทดสอบเสายกกำลังสองมีค่าน้อยที่สุด และจากการสอบเทียบในงานวิจัยของ อมรชัย ใจยงค์ ได้ค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองคาน-เสา ซึ่งเมื่อนำแบบจำลองเสาดตัวอย่างที่ได้ทำการสอบเทียบค่าพารามิเตอร์มาทำการวิเคราะห์ด้วยแรงผลักทางด้านข้างทิศทางเดียว (pushover) และเปรียบเทียบเสาดตัวอย่าง พบว่าเสาดตัวอย่างเสาของ Sezen เป็นเสาที่มีความเหนียวน้อยที่สุดจากตัวอย่างทั้งหมด จึงเลือกใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบเสาของ Sezen ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอาคารตัวอย่าง ซึ่งค่าพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบเสาเพื่อสร้างแบบจำลอง

พารามิเตอร์	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4
การเสื่อมถอยของสติฟเนสช่วงลดแรงกระทำ (K)	0.00	1.00	0.00	1.00
การเสื่อมถอยของสติฟเนสช่วงเพิ่มแรงกระทำ (D)	0.50	0.00	1.00	0.00
การเสื่อมถอยของกำลัง (F)	0.00	1.00	0.00	1.10
พลังงานการเสียรูปภายใต้แรงกระทำทางด้านข้าง ทิศทางเดียว (E)	4.1			



รูปที่ 3-9 ผลการวิเคราะห์ด้วยแรงหลักทางด้านข้างทิศทางเดียวของตัวอย่างเสา

Sezen, Mo และ Wang, วรากร สิงหสุต และอาณัติ เรืองรัมย์

(อมรชัย ไจยงค์, ปี 2552)

3.5 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษาความบอบบางของอาคารตัวอย่าง

คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้กระทำต่ออาคารในการศึกษา เป็นข้อมูลที่ได้มาจากการวิจัยของ ภควัฒน์ มินชัยนันท์ (2013) ซึ่งได้ทำการคัดเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลอัตราเร่งของคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทย โดยกำหนดขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว โดยการคัดเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลอัตราเร่งของคลื่นแผ่นดินไหวของ ศูนย์วิจัยด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวแห่งแปซิฟิก ตารางที่ 3-8 (Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER) และทำการวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดินอ่อนโดยใช้ข้อมูลจากชั้นหิน

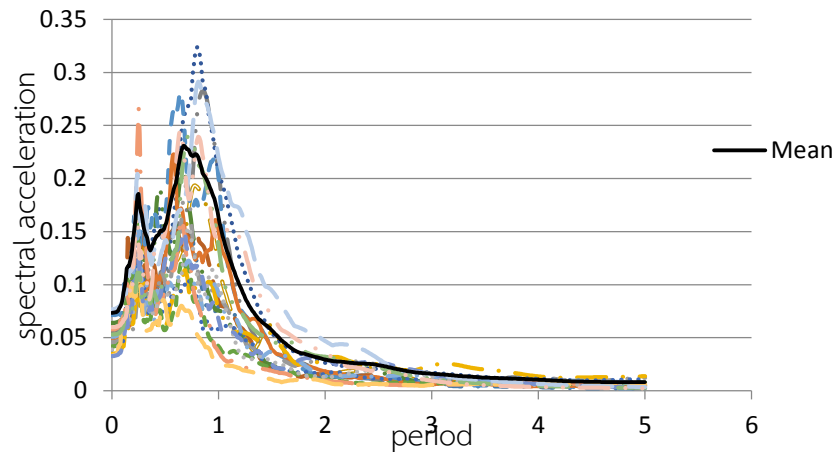
(V_{s30} ประมาณ 760 เมตรต่อวินาที) เป็นข้อมูลดิบแล้วจำลองการแพร่ของคลื่นผ่านชั้นดินอ่อนที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 100 เมตรต่อวินาทีในช่วงความลึก 30 เมตรจากผิวดิน) และได้กำหนดคุณลักษณะแผ่นดินไหวเพื่อใช้ในการคัดเลือกคลื่นแผ่นดินไหว โดยมีขนาดแผ่นดินไหวประมาณ 6.3 ถึง 7.3 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวประมาณ 40 ถึง 140 กิโลเมตร หลังจากเลือกคลื่นแผ่นดินไหวจากเหตุการณ์ที่เหมาะสมแล้วจะต้องทำการคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวตามวิธีการที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1302-52) ให้มีความรุนแรงตามระดับความเสี่ยงที่กำหนดในมาตรฐาน

ตารางที่ 3-8 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์แบบประวัติเวลาสำหรับ กรุงเทพมหานคร

NGA No.	Event	Year	Station	Mw	R (km)	V_{s30} (m/s)
782	Loma Prieta	1989	Monterey City Hall	6.93	44.4	685
1033	Northridge-01	1994	Littlerock-Brainard Can	6.69	46.6	822
1074	Northridge-01	1994	Sandberg-Bald Mtn	6.69	41.6	822
1096	Northridge-01	1994	Wrightwood-Jackson Flat	6.69	64.7	822
1767	Hector Mine	1999	Banning-Twin Pines Road	7.13	83.4	685
1786	Hector Mine	1999	Heart Bar State Park	7.13	61.2	685
1795	Hector Mine	1999	Joshua Tree N.M.- KeysView	7.13	50.4	685
1836	Hector Mine	1999	Twentynine Palms	7.13	42.1	685
3453	Chi-Chi-Taiwan-06	1999	TCU044	6.3	48.5	668
3542	Chi-Chi-Taiwan-06	1999	TCU042	6.3	86.4	845

รูปที่ 3-10 แสดงสเปกตรัมความเร่งเทียบของคลื่นแผ่นดินไหวทั้งหมด ซึ่งมีอัตราส่วนความหน่วงเท่า 5% โดยที่ค่ามีฐานของค่าความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบพื้นฐาน (อาคารพักอาศัย

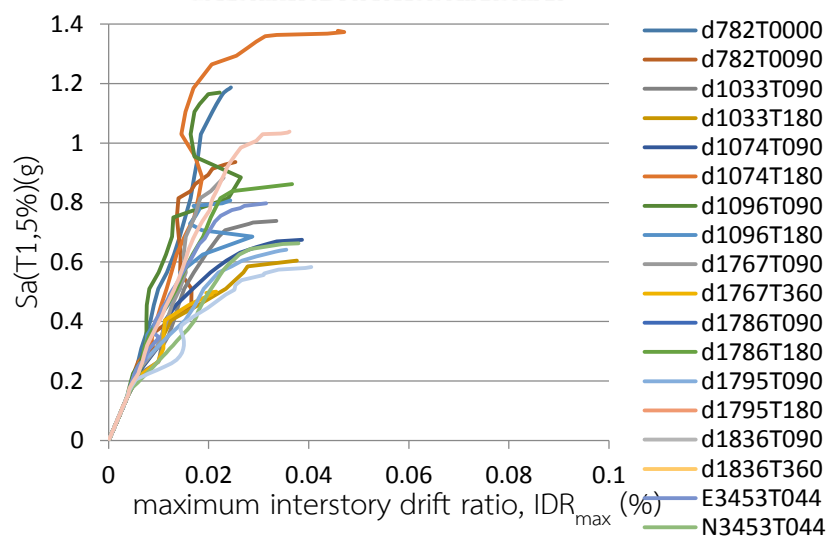
$T_1=0.62$ วินาที และอาคารเรียน $T_1=0.84$ วินาที) ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในงานวิจัยมีค่าเท่ากับ $0.17g$



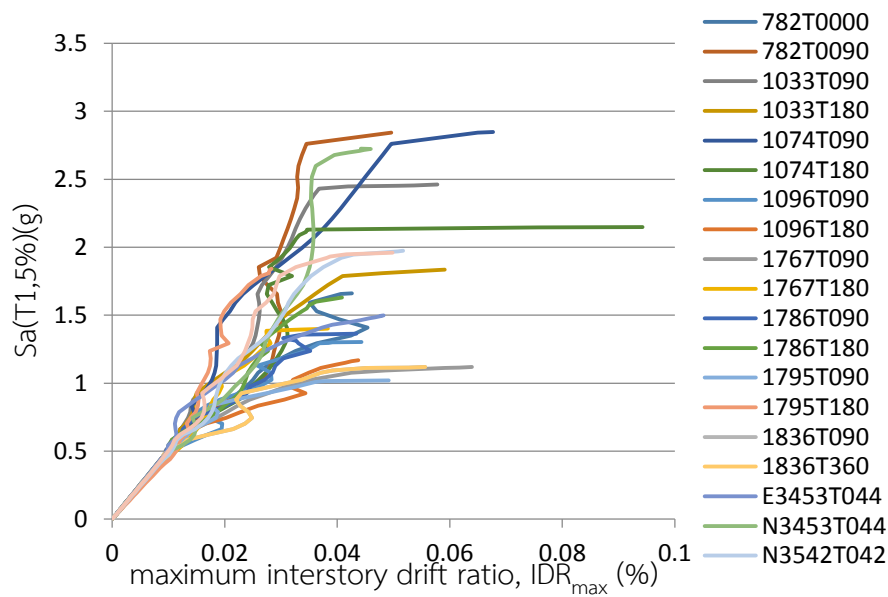
รูปที่ 3-10 สเปกตรัมความเร่งเทียมของคลื่นแผ่นดินไหว (ภควัสน์ มินชัยนันท์ 2011)

3.6 กราฟการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ส่วนเพิ่มและเส้นโค้งความบอบบาง

จากการวิเคราะห์พบว่าอาคารมีคาบการสั่นในโหมดพื้นฐานของอาคารพักอาศัย $T_1 = 0.62$ วินาที อาคารเรียน $T_1 = 0.84$ วินาที และเมื่อนำคลื่นที่ได้เลือกไว้ในหัวข้อ 3.4. กระทำต่อโครงสร้างอาคารตัวอย่างและวิเคราะห์อาคารตัวอย่างด้วยวิธีวิเคราะห์โครงสร้างแบบพลศาสตร์ส่วนเพิ่ม (incremental dynamic analysis, IDA) ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.2.3. ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3-11



(a) อาคารพาณิชย์

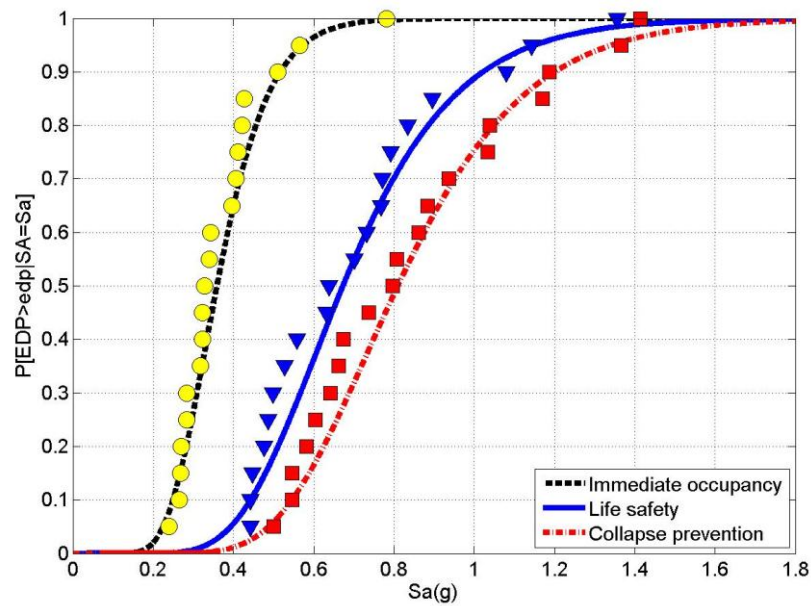


(b) อาคารเรียน

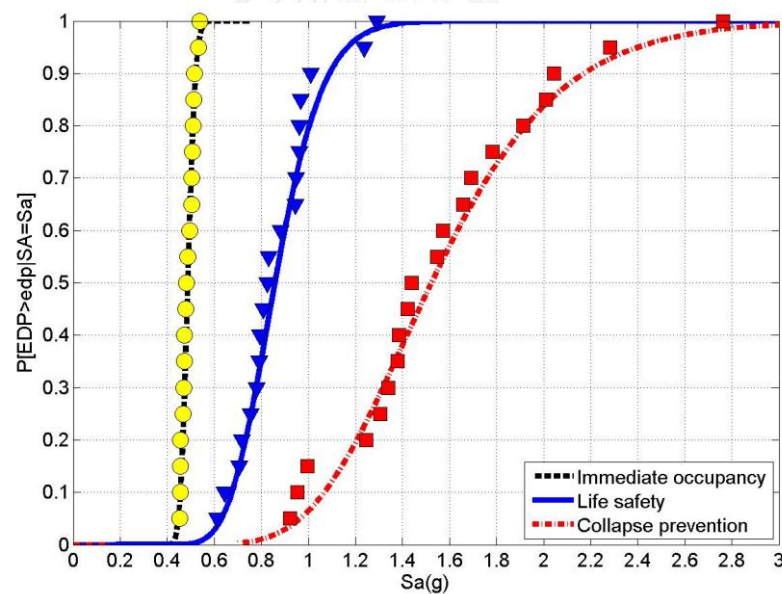
รูปที่ 3-11 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี IDA

เมื่อได้กราฟการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ส่วนเพิ่มโดยในแกนนอนแสดงค่าการเคลื่อนตัวของอาคารและแกนตั้งแสดงค่าความเร่งเชิงสเปกตรัม (spectrum acceleration) แล้วจึงนำกราฟ IDA มาสร้างเส้นโค้งความบอบบาง โดยการรวมข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยชุดคลื่นแผ่นดินไหว จะได้เส้นโค้งความบอบบางดังแสดงในรูปที่ 3-12(a) และ 3-12(b) ซึ่งเส้นโค้งความบอบบาง คือ กราฟที่บอกถึงระดับสมรรถนะของโครงสร้าง หรือแสดงพฤติกรรมของโครงสร้างในขณะที่เกิดแผ่นดินไหว และยังบอกถึงความสามารถของโครงสร้างในการต้านทานแผ่นดินไหว

เส้นโค้งความบอบบางของโครงสร้างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นที่ค่าการตอบสนองทางวิศวกรรม (EDP) จะเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดที่ระดับค่าบ่งชี้ความรุนแรงของแผ่นดินไหวต่างๆ ($P[EDP > edp | IM = S_a]$) กับ S_a โดยที่จุดวงกลมสีเหลือง จุดสามเหลี่ยมสีน้ำเงิน และจุดสี่เหลี่ยมสีแดง คือจุดที่ได้จากการคำนวณโดยแบ่งระดับสมรรถนะของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กตาม FEMA-356 คือระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที (immediate occupancy, $IDR_{max} \leq 1\%$), ระดับปลอดภัยต่อชีวิต (life safety, $IDR_{max} \leq 2\%$) และระดับเกิดความเสียหายหนักเกือบพังทลาย (collapse prevention, $IDR_{max} \leq 4\%$) ตามลำดับ



(a) เส้นโค้งความบอบบางของอาคารพาณิชย์



(b) เส้นโค้งความบอบบางของอาคารเรียน

รูปที่ 3-12 เส้นโค้งความบอบบาง

โดยจากกราฟเส้นโค้งความบอบบางพล็อตขึ้นจากค่าเฉลี่ย (lognormal mean, μ_{MLE}) กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ที่ได้จากการประมาณด้วยวิธีความควรจะเป็น (maximum likelihood estimation) สมการที่ 3.1 และ 3.2 (Porter K. และคณะ 2007)

$$\mu_{MLE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (3.1)$$

$$\sigma_{MLE}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - \mu_{MLE})^2 \quad (3.2)$$

และถูกพล็อตด้วยฟังก์ชันของการแจกแจงแบบล็อกปกติ สมการที่ 3.3 ที่ระดับความเสียหายระดับต่างๆ

$$P[ds | S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{S_d}{S_{d,ds}} \right) \right] \quad (3.3)$$

จากการวิเคราะห์โครงสร้างและสร้างเส้นโค้งความบอบบางจะได้ค่าเฉลี่ยการแจกแจงแบบล็อกปกติของอาคารพักอาศัยที่ระดับเข้าใช้งานได้ทันทีมี 0.359g ระดับปลอดภัยต่อชีวิตมีค่าเท่ากับ 0.673g ระดับเกิดความเสียหายหนักเกือบพังทลายหรือพังทลายมีค่าเท่ากับ 0.810g และค่าเฉลี่ยการแจกแจงแบบล็อกปกติของอาคารเรียนที่ระดับเข้าใช้งานได้ทันทีมี 0.488g ระดับปลอดภัยเท่ากับ 0.858g ระดับเกิดความเสียหายหนักเกือบพังทลายหรือพังทลาย 1.523g จากการคำนวณจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของการแจกแจงแบบล็อกปกติอยู่ในหน่วยของความเร่งเชิงสเปกตรัม (spectrum acceleration, S_a) จึงจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วยของการเคลื่อนที่เชิงสเปกตรัม (spectrum displacement, S_d) โดยการนำค่าความเร่งคูณด้วยค่า 386 (เนื่องจากความเร่งมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทียกกำลังสองแต่ค่าสเปกตรัมการเคลื่อนที่มีหน่วยเป็นนิ้ว) แล้วหารด้วยค่าความถี่ธรรมชาติยกกำลังสอง ดังสมการที่ 3.5 ซึ่งได้ค่าเท่ากับ 1.350 นิ้ว 2.530 นิ้ว และ 3.043 นิ้ว ของอาคารพาณิชย์สำหรับแต่ละระดับสมรรถนะตามลำดับ และได้ค่าเท่ากับ 3.365 นิ้ว 5.918 นิ้ว และ 10.507 นิ้ว ของอาคารเรียนสำหรับแต่ละระดับสมรรถนะตามลำดับ

$$\omega = \frac{2\pi}{T_1} \quad (3.4)$$

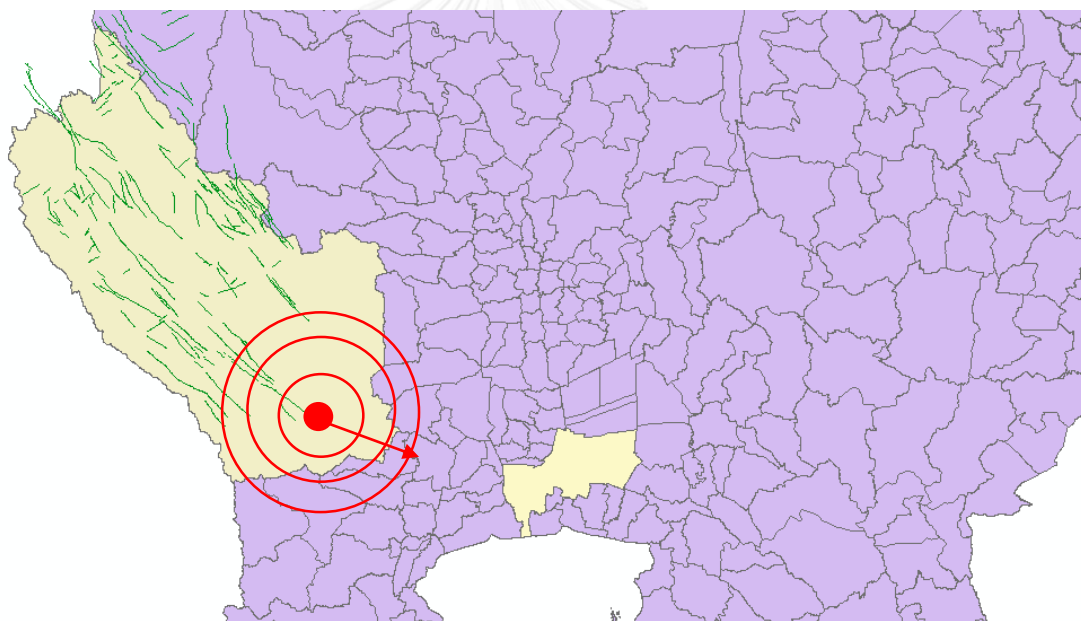
$$S_d = \frac{S_a \times 386}{\omega^2} \quad (3.5)$$

บทที่ 4

การประมาณความสูญเสียและสถานการณ์จำลอง

4.1 สถานการณ์จำลองที่ใช้ในการประมาณความสูญเสีย

ในการประมาณความสูญเสียนั้นได้แบ่งเขตพื้นที่ศึกษาออกตามเขตการปกครองของกรุงเทพมหานครโดยมีทั้งหมด 50 เขต 160 แขวง การประมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในเขตกรุงเทพมหานครนี้ ได้สมมติให้เกิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนแควใหญ่จังหวัดกาญจนบุรี โดยมีจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่ $14.049^{\circ}\text{N } 99.512^{\circ}\text{E}$ ความลึก 2 km มีขนาด (magnitude) เท่ากับ 7.5 ระยะทางจากจุดกำเนิดถึงกรุงเทพมหานครมีระยะทางประมาณ 150 km ดังรูปที่ 4-1 และกำหนดให้ชั้นดินในกรุงเทพมหานครเป็นดินประเภท E ตามคู่มือการใช้งาน HAZUS MH ($V_s < 180\text{m/s}$)

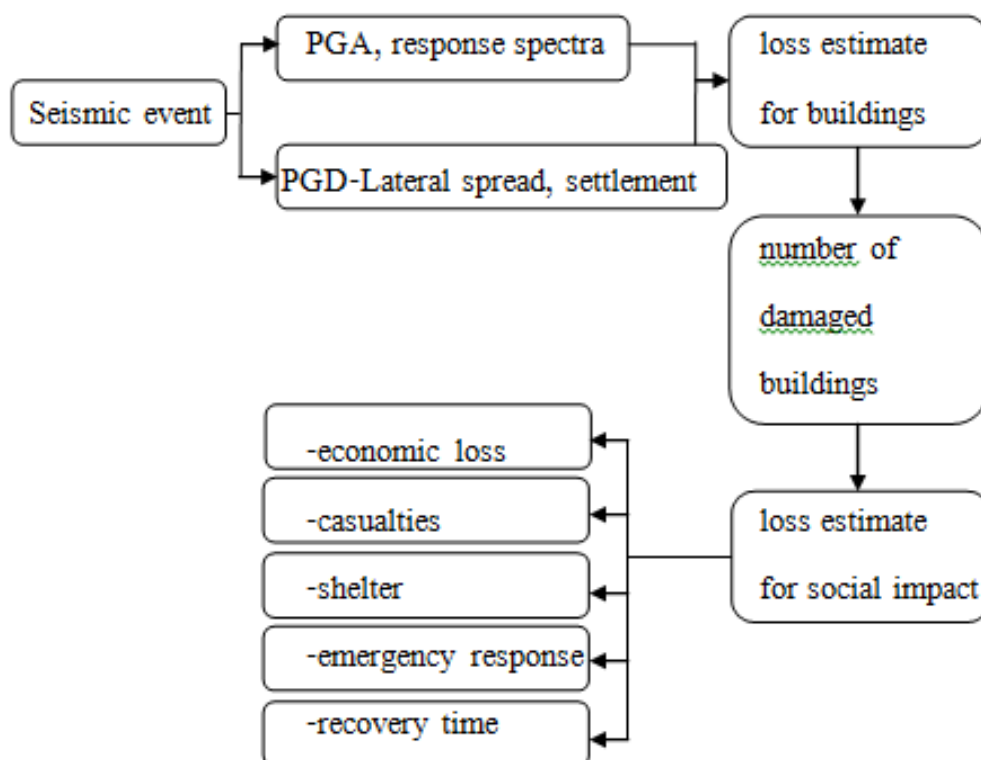


รูปที่ 4-1 บริเวณจุดกำเนิดแผ่นดินไหวในสถานการณ์จำลอง

4.2 การประมาณความสูญเสียด้วยโปรแกรม HAZUS-MH MR 2.1

ในการประมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นจะทำโดยโปรแกรม HAZUS MH โดยเปลี่ยนข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรมให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่กรุงเทพมหานคร เช่น การเปลี่ยนแปลงฐานข้อมูลอาคาร การปรับเปลี่ยนฟังก์ชันความเสียหายของอาคาร (เส้นโค้งความบอบบาง) และข้อมูลดินในพื้นที่ศึกษา โดยที่ชุดโปรแกรมมีขั้นตอนการประมาณแสดงดังรูปที่ 4-2

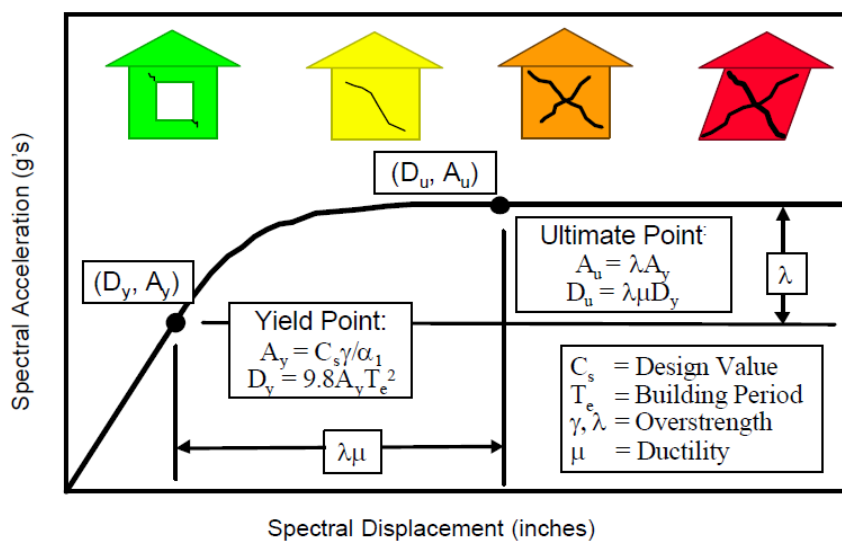
ในการประมาณความสูญเสียนั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินซึ่งได้จากการจำลองสถานการณ์ภัยพิบัติเพื่อนำไปประมาณจำนวนสิ่งก่อสร้างที่ได้รับผลกระทบและเกิดความเสียหาย และเมื่อทราบถึงจำนวนอาคารที่ได้รับผลกระทบจะสามารถประมาณการจำนวนผู้ประสบภัยที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ทำการจำลองสถานการณ์ฯ และรวมไปถึงความสูญเสียด้านอื่นๆ



รูปที่ 4-2 แผนภาพขั้นตอนการประมาณความเสียหาย

ในการประเมินความเสียหายของอาคารจะต้องใช้รายละเอียดข้อมูลต่างๆ เช่น ค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน (peak ground acceleration, PGA) การเคลื่อนตัวของพื้นดิน (peak ground displacement, PGD) เช่น ทรุดตัว (settlement) และการเคลื่อนตัวด้านข้าง (lateral spread) เพื่อนำไปคำนวณถึงผลกระทบที่มีต่อโครงสร้างอาคารหรือจำนวนอาคารที่เสียหาย (number of damaged buildings) ระบบสาธารณสุข ไปถึงระบบการขนส่ง และนำไปคำนวณถึงความเสียหายในด้านอื่นๆ เช่น ความเสียหายต่อสภาพเศรษฐกิจ (economic loss) จำนวนผู้เสียชีวิต (casualties) ที่หลบภัย (shelter) สถานที่รองรับสถานการณ์ฉุกเฉิน (emergency response) รวมถึงระยะเวลาฟื้นตัว (recovery time) โดยในงานวิจัยนี้จะทำการประเมินเฉพาะจำนวนอาคารที่เสียหายและจำนวนผู้บาดเจ็บเมื่อเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว โดยในการศึกษานี้ไม่ได้คำนึงถึงการเสียรูปของพื้นดิน

ในการประเมินความเสียหายของอาคารหรือสิ่งก่อสร้างนั้นจะมีฟังก์ชันความเสียหายที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคือ (1) เส้นโค้งกำลังของอาคาร (รูปที่ 4-3) และ (2) เส้นโค้งความบอบบางของอาคาร (หัวข้อ 3.5) โดยเส้นโค้งกำลังของอาคารนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรทางวิศวกรรมคือ ค่ากำลังคราก (yield strength) และค่ากำลังสูงสุด (ultimate strength) เส้นโค้งความบอบบางจะอธิบายถึงความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายต่ออาคาร และบอกถึงระดับการตอบสนองของอาคาร โดยจำแนกระดับความเสียหายออกเป็น 4 ระดับ คือ เสียหายเล็กน้อย (slight) เสียหายปานกลาง (moderate) เสียหายมาก (extensive) และเสียหายจนเกือบพังทลาย (complete)



รูปที่ 4-3 ตัวอย่างเส้นโค้งกำลังของอาคาร (FEMA, 2005)

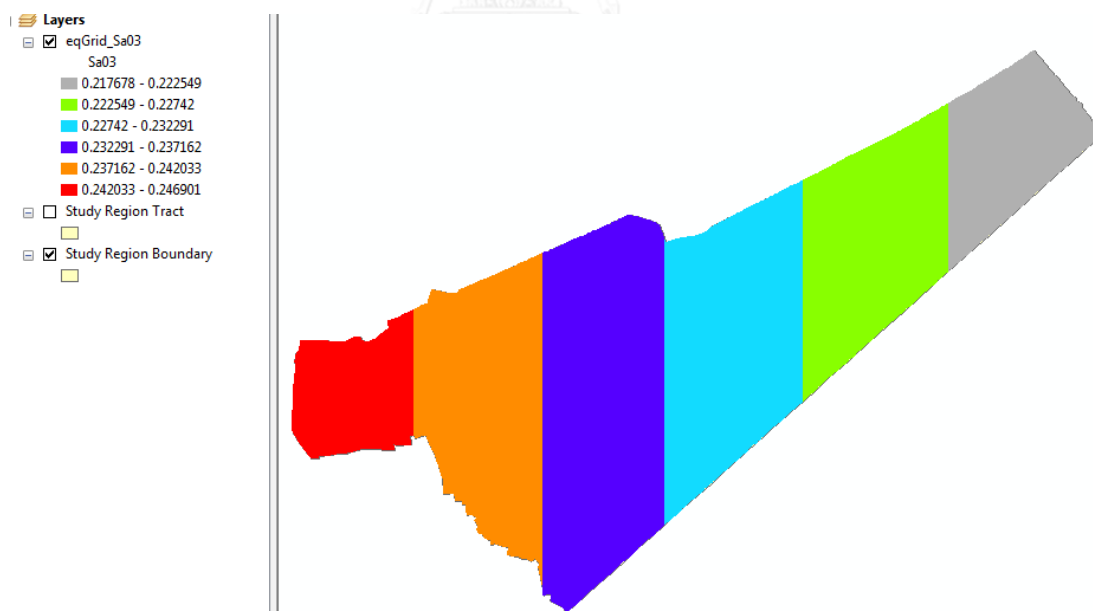
บทที่ 5

ผลการประมาณความสูญเสีย

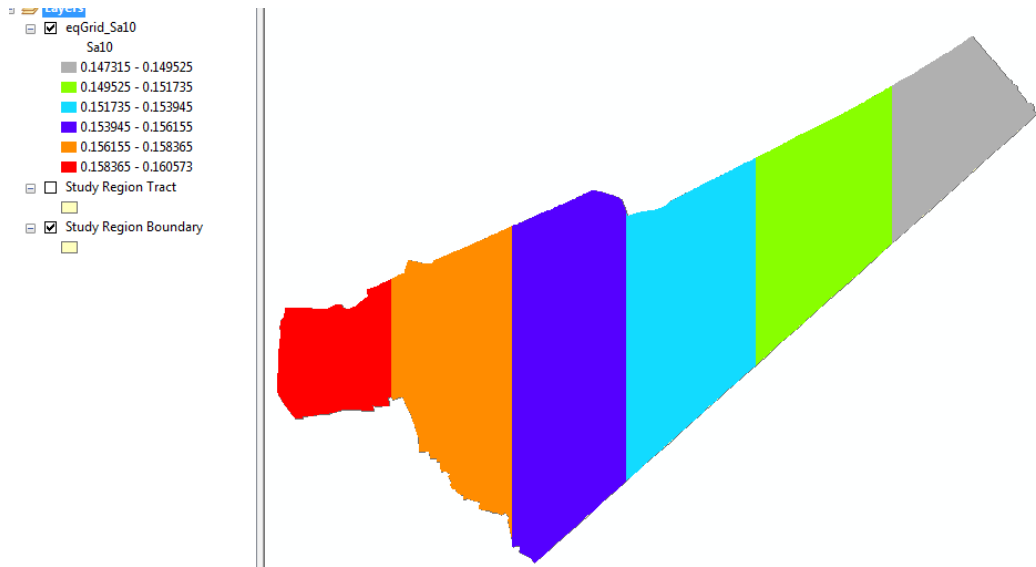
การประเมินความสูญเสียของโปรแกรม HAZUS MH MR 2.1 จะแบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ การประมาณจำนวนอาคารที่เสียหาย การประมาณจำนวนผู้ประสบภัย การประมาณมูลค่าทรัพย์สิน การประมาณความเสียหายด้านเศรษฐกิจเบื้องต้น การประมาณจำนวนอาคารที่เกิดไฟไหม้ และผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากไฟไหม้ และการประมาณซากปรักหักพัง โดยในงานวิจัยนี้ จะทำการประมาณเฉพาะจำนวนอาคารที่เสียหายและจำนวนผู้ประสบภัยแผ่นดินไหว

5.1 จำนวนอาคารที่ได้รับความเสียหาย

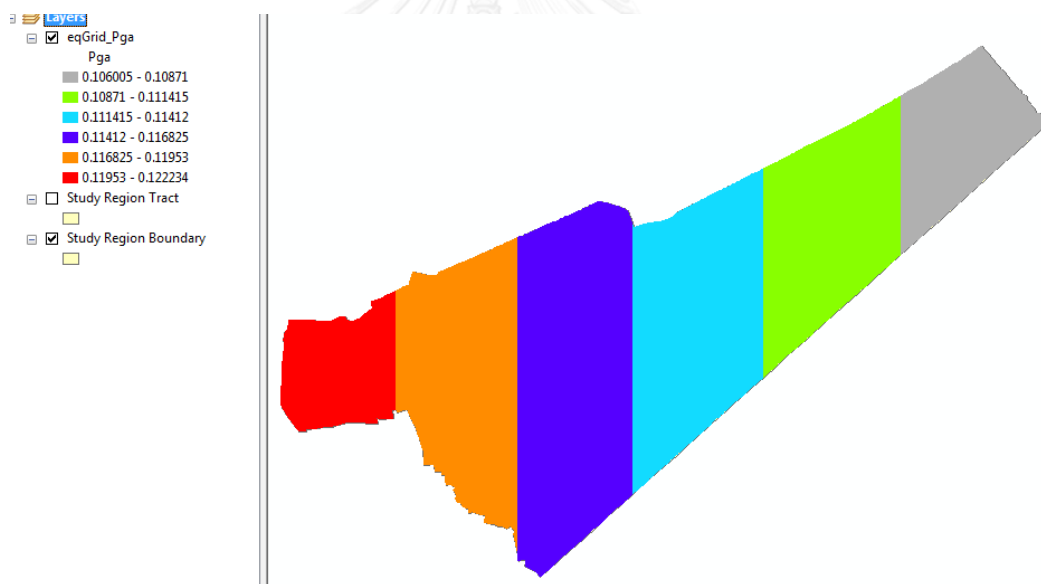
ในการประมาณความเสียหายของอาคารจะถูกจำแนกออกเป็น 5 ระดับ คือ ไม่ได้รับความเสียหาย (none) ได้รับความเสียหายเล็กน้อย (slight) ได้รับความเสียหายปานกลาง (moderate) ได้รับความเสียหายมาก (extensive) และได้รับความเสียหายทั้งหมด (complete) โดยความน่าจะเป็นที่ได้มาจาก การอ่านค่าความเร่งในพื้นที่ที่ต้องการประมาณความเสียหายและนำมาอ่านค่าความน่าจะเป็นบนเส้นโค้งความบอบบาง ดังรูปที่ 5-1 และรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-1 ตัวอย่างค่าความเร่งบนพื้นดินของเขตบางบอนที่ 0.3 S (shot period)



รูปที่ 5-2 ตัวอย่างค่าความเร่งบนพื้นดินของเขตบางบอนที่ 1 S (long period)



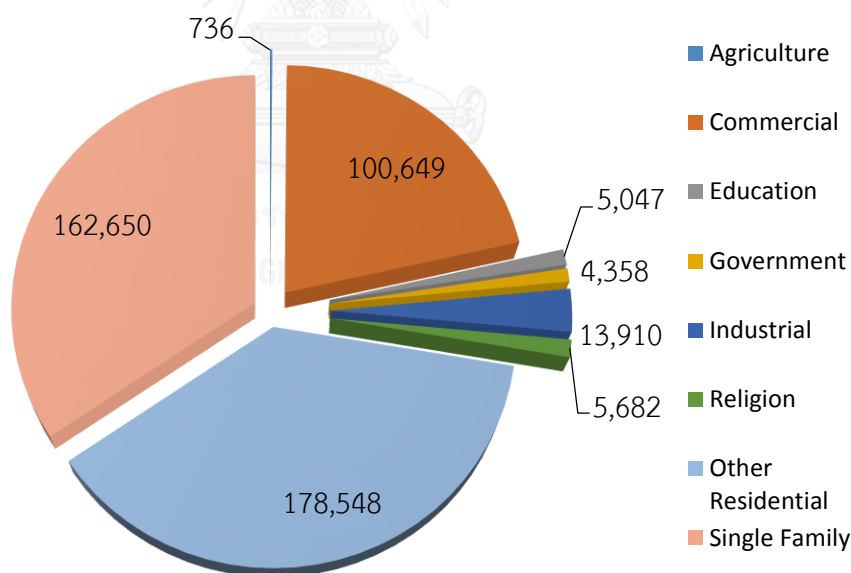
รูปที่ 5-3 ค่าความเร่งสูงสุดบนพื้นดินของเขตบางบอน

การประมาณแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ ลักษณะการใช้งานอาคารกับระดับความเสียหายของอาคาร และชนิดโครงสร้างกับระดับความเสียหายของอาคาร ดังตารางที่ 5-1 และ 5-2

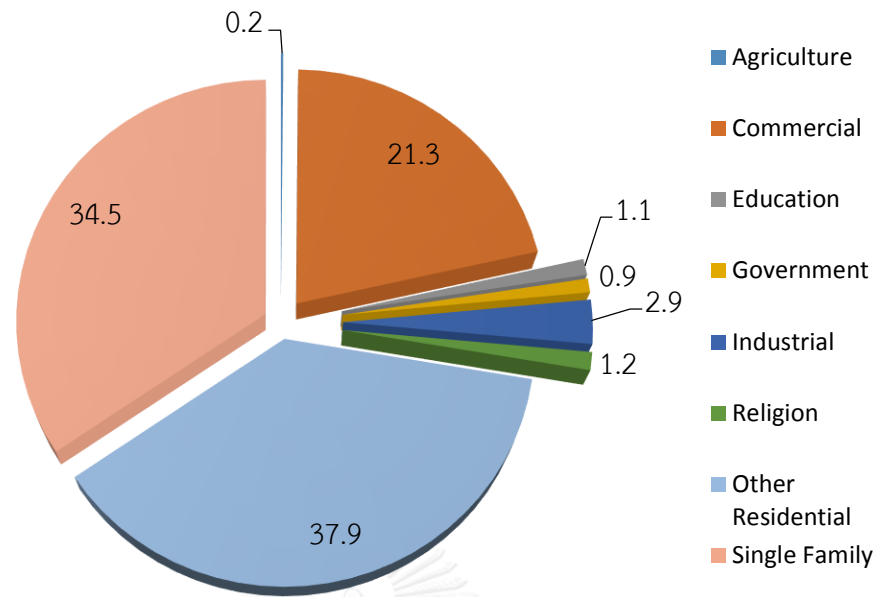
จากตารางที่ 5-1 พบว่า หลังจากเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว มีจำนวนอาคารที่ได้รับความเสียหายทั้งหมด (complete) เป็นจำนวน 9,902 หลัง คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 0.62 ของจำนวนอาคารทั้งหมด 1,582,764 หลัง โดยลักษณะการใช้งานอาคารที่มีการเสียหายแบบทั้งหมดมากที่สุด 3 ลำดับ

แรก อยู่ในกลุ่มที่พักอาศัยแบบอื่นๆ (other residential) เช่น โรงแรม อาคารพักอาศัยแบบกลุ่ม หรือ หอพัก เป็นต้น เสียหายทั้งสิ้นจำนวน 2,852 หลัง จากอาคารที่พักอาศัยแบบอื่นๆที่ได้รับความเสียหายจำนวน 178,548 หลัง อาคารกลุ่มอาคารบ้านเดี่ยว (single family) เสียหายทั้งสิ้นจำนวน 3,643 หลัง จากอาคารบ้านพักอาศัยเดี่ยวที่ได้รับความเสียหายจำนวน 162,650 หลัง และกลุ่มอาคารพาณิชย์ (commercial) เสียหายทั้งสิ้นจำนวน 2,456 หลัง จากอาคารพาณิชย์ที่ได้รับความเสียหายจำนวน 100,649 หลัง ซึ่งร้อยละของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารทั้งหมด 471,580 หลัง แม้เสียหายเพียงเล็กน้อยของอาคารที่พักอาศัยแบบอื่นๆ ที่พักอาศัยเดี่ยว และอาคารพาณิชย์คิดเป็นร้อยละ 37.8 ร้อยละ 34.5 และร้อยละ 21.3 ตามลำดับ รูปที่ 5-1 ลักษณะการใช้งานอาคารดังกล่าวได้รับความเสียหายมาก เนื่องจากมีจำนวนอาคารเป็นสัดส่วนที่มากเมื่อเทียบกับลักษณะการใช้งานอาคารในกลุ่มอื่นๆ คือ

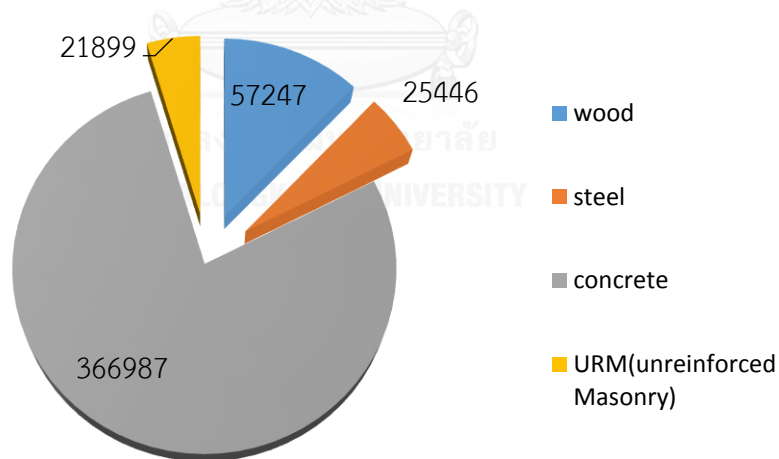
จากตารางที่ 5-2 แสดงให้เห็นว่า เนื่องจากอาคารโครงสร้างคอนกรีตในกรุงเทพมหานครนี้มีอยู่เป็นจำนวน 1,080,316 หลัง หรือคิดเป็นร้อยละ 68.3 ของอาคารทั้งหมดในเขตกรุงเทพมหานคร (1,582,764 หลัง) จึงทำให้อัตราส่วนความเสียหายของอาคารคอนกรีตมีอยู่มากที่สุดโดยคิดเป็นร้อยละ 77.8 หรือ 366,987 หลัง จากอาคารที่เสียหายทั้งหมดในทุกระดับ 471,580 หลัง ดังรูปที่ 5-2



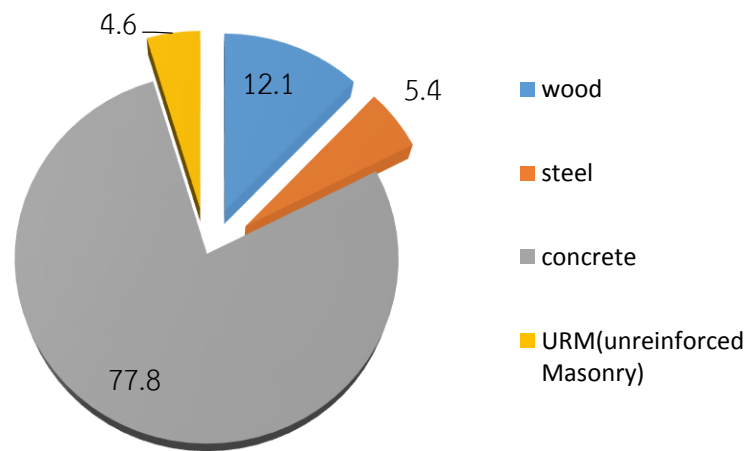
รูปที่ 5-4 จำนวนอาคารที่ได้รับความเสียหายแยกตามลักษณะการใช้งานอาคารต่ออาคารที่ได้รับความเสียหายทั้งหมด (471,580 หลัง)



รูปที่ 5-5 ร้อยละของอาคารที่ได้รับความเสียหายแยกตามลักษณะการใช้งานอาคารต่ออาคารที่ได้รับความเสียหายทั้งหมด (471,580 หลัง)



รูปที่ 5-6 จำนวนของอาคารที่ได้รับความเสียหายแยกตามชนิดโครงสร้างอาคารต่ออาคารที่ได้รับความเสียหายทั้งหมด (471,580 หลัง)



รูปที่ 5-7 ร้อยละของอาคารที่ได้รับความเสียหายแยกตามชนิดโครงสร้างอาคารต่ออาคารที่ได้รับความเสียหายทั้งหมด (471,580 หลัง)

ตารางที่ 5-1 การประมาณจำนวนอาคารที่เสียหายตามลักษณะการใช้งานอาคาร

ประเภทอาคาร	ไม่เสียหาย		เสียหายเล็กน้อย		เสียหายปานกลาง		เสียหายมาก		เสียหายทั้งหมด		รวม
	หลัง	%	หลัง	%	หลัง	%	หลัง	%	หลัง	%	
Agriculture	2,682	78.5	437	12.8	219	6.4	57	1.7	23	0.7	3,418
Commercial	192,055	65.6	56,049	19.1	33,710	11.5	8,434	2.9	2,456	0.8	292,705
Education	9,998	66.5	2,842	18.9	1,678	11.2	396	2.6	131	0.9	15,045
Government	6,860	61.2	2,162	19.3	1,570	14.0	443	3.9	184	1.6	11,218
Industrial	21,765	61.0	7,325	20.5	4,855	13.6	1,358	3.8	372	1.0	35,675
Religion	11,568	67.1	3,026	17.5	1,921	11.1	492	2.9	242	1.4	17,250
Other Residential	371,672	67.5	100,827	18.3	59,532	10.8	15,337	2.8	2,852	0.5	550,220
Single Family	494,583	75.3	98,371	15.0	49,042	7.5	11,594	1.8	3,643	0.6	657,233
Total	1,111,184	70.2	271,040	17.1	152,526	9.6	38,111	2.4	9,902	0.6	1,582,764

ตารางที่ 5-2 การประมาณจำนวนอาคารที่เสียหายตามชนิดวัสดุโครงสร้างอาคาร

ประเภทอาคาร	ไม่เสียหาย		เสียหายเล็กน้อย		เสียหายปานกลาง		เสียหายมาก		เสียหายทั้งหมด		รวม
	หลัง	%	หลัง	%	หลัง	%	หลัง	%	หลัง	%	
wood	321,608	84.9	45,376	12.0	11,097	2.9	730	0.2	45	0.012	378,855
steel	21,701	46.0	7,925	16.8	11,332	24.0	5,714	12.1	475	1.0	47,147
concrete	713,329	66.0	205,568	19.0	122,599	11.3	29,756	2.8	9,064	0.8	1,080,316
URM (unreinforced masonry)	54,546	71.4	12,171	15.9	7,498	9.8	1,912	2.5	318	0.4	76,445
Total	1,111,184	70.2	271,040	17.1	152,526	9.6	38,111	2.4	9,902	0.6	1,582,764

5.2 จำนวนผู้ประสบภัย

จำนวนผู้ประสบภัยจะถูกแบ่งตามระดับความรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ประสบภัย โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ และสมมติให้เกิดแผ่นดินไหวในช่วงเวลากลางวัน (14.00) และช่วงเวลากลางคืน (02.00) แล้วทำการประมาณจำนวนผู้ประสบภัยแผ่นดินไหวทั้งสองช่วงเวลาที่ทำการสมมติสถานการณ์ขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5-3 และ 5-4

ตารางที่ 5-3 จำนวนผู้ประสบภัยเมื่อเหตุการณ์แผ่นดินไหวเกิดในช่วงเวลากลางคืน (02.00 น.)

ประเภทอาคาร	เล็กน้อย (คน)	ปานกลาง (คน)	มาก (คน)	เสียชีวิต (คน)	รวม (คน)
Commercial	117	28	4	9	158
Educational	0	0	0	0	0
Hotels	190	42	6	12	249
Industrial	17	4	1	1	24
Other-Residential	3,421	733	106	208	4,468
Single Family	4,538	1,079	166	329	6,112
Total	8,283	1,886	283	559	11,011

ตารางที่ 5-4 จำนวนผู้ประสบภัยเมื่อเหตุการณ์แผ่นดินไหวเกิดในช่วงเวลากลางวัน (14.00 น.)

ประเภทอาคาร	เล็กน้อย (คน)	ปานกลาง (คน)	มาก (คน)	เสียชีวิต (คน)	รวม (คน)
Commercial	8,941	2,179	338	666	12,123
Educational	1,433	351	55	108	1,947
Hotels	37	8	1	2	48
Industrial	127	32	5	10	173
Other-Residential	866	186	27	52	1,130
Single Family	1,138	268	42	80	1,527
Total	12,541	3,023	468	917	16,949

จากข้อมูลในตารางที่ 5-3 และ 5-4 แสดงจำนวนผู้ได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิตที่เกิดจากการ คาดการณ์เมื่อเกิดภัยพิบัติตามสถานการณ์จำลอง ในช่วงเวลา 2.00 น. และเวลา 14.00 น. โดย ช่วงเวลากลางคืน (2.00 น.) มีจำนวนผู้ได้รับบาดเจ็บถึงขั้นเสียชีวิตมากที่สุดในกลุ่มอาคารที่พักอาศัย ทั้งบ้านพักอาศัยเดี่ยวและที่พักอาศัยอื่นๆ (single family and other residential) จำนวน 329 และ 208 คนตามลำดับ จากจำนวนผู้เสียชีวิตทั้งหมด 559 คน และมีผู้บาดเจ็บรวมทุกระดับความ รุนแรง (severity level) เท่ากับ 11,011 คน ส่วนในช่วงเวลากลางวัน (14.00 น.) มีจำนวน ผู้ได้รับบาดเจ็บและล้มตายมากที่สุดในกลุ่มอาคารพาณิชย์ (commercial) โดยมีจำนวนผู้เสียชีวิต จำนวน 666 คน จากจำนวนผู้เสียชีวิตทั้งหมด 917 คน และมีผู้บาดเจ็บรวมทุกระดับความรุนแรง (severity level) เท่ากับ 16,949 คน และจากจำนวนผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตที่ประมาณการได้นั้น สามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อเตรียมรับมือกับสถานการณ์แผ่นดินไหวที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตในด้าน ต่างๆ เช่น สถานที่รองรับผู้ประสบภัย แผนฟื้นฟูหลังสถานการณ์ภัยพิบัติ เป็นต้น



บทที่ 6

สรุปผลการประมาณความสูญเสีย

จากผลการประเมินความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น เนื่องจากสถานการณ์แผ่นดินไหวด้วยโปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1 สามารถสรุปประเด็นสำคัญๆได้ดังต่อไปนี้

1. อาคารที่ได้รับความเสียหายมากที่สุดในแต่ละลักษณะการใช้งานอาคาร. คือ ที่พักอาศัยเดี่ยว (single family) ที่พักอาศัยแบบอื่นๆ (other residential) อาคารพาณิชย์ (commercial) โดยเสียหายคิดเป็น ร้อยละ 34.5 37.9 และ 20.9 ของอาคารที่ได้รับความเสียหายทั้งหมด (471,580 หลัง) ตามลำดับ และถ้าทำการวิเคราะห์แยกเป็น อาคารที่พักอาศัยเดี่ยว อาคารที่พักอาศัยแบบอื่นๆ และอาคารพาณิชย์ เพียงอย่างเดียวจะพบว่า อาคารที่พักอาศัยเดี่ยวเกิดความเสียหายคิดเป็นร้อยละ 24.7 จากอาคารที่พักอาศัยเดี่ยวทั้งหมด 657,233 หลัง อาคารที่พักอาศัยแบบอื่นๆเกิดความเสียหายคิดเป็นร้อยละ 32.5 จากอาคารที่พักอาศัยแบบอื่นๆทั้งหมด 550,220 หลัง และอาคารพาณิชย์เกิดความเสียหายคิดเป็นร้อยละ 34.3 จากอาคารพาณิชย์ทั้งหมด 292,705 หลัง แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขึ้นนั้นมีโอกาสที่อาคารที่พักอาศัยแบบอื่นๆ และอาคารพาณิชย์ จะมีโอกาสเสียหายมากกว่าที่พักอาศัยเดี่ยว อาจเพราะมีลักษณะอาคารที่มีความสูงมากกว่าอาคารที่พักอาศัยเดี่ยวและอาคารส่วนใหญ่ยังไม่ได้มีการออกแบบเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว
2. ถ้าจำแนกตามชนิดวัสดุโครงสร้างอาคารพบว่าโครงสร้างประเภทอาคารคอนกรีตมีอยู่เป็นจำนวน 1,080,316 หลัง ซึ่งเสียหายคิดเป็นร้อยละ 33.97 อาคารไม้มีอยู่จำนวน 378,855 หลัง เสียหายคิดเป็นร้อยละ 15.1 อาคารเหล็กมีอยู่จำนวน 47,147 หลัง เสียหายคิดเป็นร้อยละ 53.97 และอาคารคอนกรีตที่มีผนังก่ออิฐแบบไม่เสริมเหล็กมีจำนวน 76,445 หลัง เสียหายคิดเป็นร้อยละ 28.6 จะเห็นว่าอาคารเหล็กเกิดความเสียหายเป็นจำนวนค่อนข้างมากเมื่อคิดเป็นร้อยละของอาคารแต่ละชนิดโครงสร้าง แสดงให้เห็นว่าอาคารเหล็กมีความบอบบางหรือได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวมากที่สุด (อาจเนื่องมาจากเส้นโค้งความบอบบางที่มีอยู่ในโปรแกรมไม่ได้ถูกปรับเปลี่ยนให้มีความเหมาะสมกับอาคารในกรุงเทพมหานคร) ร้อยละของอาคารที่ได้รับความเสียหายลำดับถัดมา คือ อาคารคอนกรีตซึ่งมีอยู่มากในเขตกรุงเทพมหานคร อาคารอาคารคอนกรีตที่มีผนังก่ออิฐแบบไม่เสริมเหล็ก และอาคารไม้ จะเห็นได้ว่าจำนวนอาคารไม้ที่ได้รับความเสียหายมีจำนวนน้อยแสดงให้เห็นว่าอาคารไม้นั้นมีความเหมาะสมกับโครงสร้างที่มีความต้านทานแผ่นดินไหวสูงกว่าโครงสร้างชนิดอื่นๆ

3. จำนวนผู้ประสบภัยจะมีมากเมื่อเกิดแผ่นดินไหวในช่วงเวลา 14.00 น. และผู้ประสบภัยส่วนใหญ่เป็นผู้ประสบภัยที่อยู่ในอาคารพาณิชย์ถึง 12,123 คน เนื่องมาจากมีปริมาณการใช้งานอาคารพาณิชย์สูง และอาคารพาณิชย์ส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างคอนกรีตซึ่งได้รับความเสียหายเป็นจำนวนมาก แต่ถ้าหากเกิดแผ่นดินไหวขึ้นในช่วงเวลา 02.00 น. จะพบผู้ประสบภัยมีจำนวนมากในอาคารประเภทที่พักอาศัย ทั้งที่พักอาศัยเดี่ยวและที่พักอาศัยแบบอื่นๆ เนื่องจากเป็นเวลาที่ประชากรส่วนใหญ่อยู่ภายในที่พักอาศัย

แต่อย่างไรก็ตามโปรแกรม HAZUS MH-MR 2.1 เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาและสร้างขึ้นเพื่อประมาณความสูญเสียในสหรัฐอเมริกา จึงทำให้การนำมาประยุกต์ใช้ได้ยังไม่สมบูรณ์เนื่องจากพารามิเตอร์ ที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ เช่น คาบพื้นฐานของอาคารแต่ละประเภท สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวซึ่งใช้ได้เฉพาะที่โปรแกรมมีให้เลือกใช้ ค่าการกระจายตัวของประชากร การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโปรแกรม เป็นต้น การประเมินความเสียหายเนื่องจากแผ่นดินไหวจึงมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้น การปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรบางตัว เช่น พารามิเตอร์ที่คำนึงถึงมูลค่าความเสียหายเส้นโค้งความบอบบางของอาคารในกรุงเทพมหานครเพื่อให้สอดคล้องข้อมูลในกรุงเทพมหานคร และเพื่อให้การประเมินความเสียหายมีความสมจริงมากยิ่งขึ้นจำเป็นต้องคำนึงถึงระบบขนส่งประกอบกับสาธารณูปโภคในกรุงเทพมหานคร

รายการอ้างอิง

- American Society of Civil Engineers (ASCE). 2013. *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, ASCE 41-13, Reston, Virginia.
- Chiou, B. S.-J. and Youngs, R. R. 2008. An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, *Earthquake Spectra*, 24(1), 173-215.
- Deierlein, G. G., Krawinkler, H., and Cornell, C. A. 2003. A Framework for Performance-Based Earthquake Engineering, *2003 Pacific Conference on Earthquake Engineering*.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 2005. ESRI-The GIS Software Leader, [online], Available: <http://www.esri.com>.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). 2005. *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS-MH MR 2.1 Advanced Engineering Building Module Technical and User's Manual*, Washington, DC.
- Haselton, C. B., Liel, A. B., Lange, S. T., and Deierlein, G. G. 2008. Beam-Column Element Model Calibrated for Predicting Flexural Response Leading to Global Collapse of RC Frame Buildings, *Report No. PEER 2007/03*, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Ibarra, F. L., and Krawinkler, H. 2005. Global Collapse of Frame Structure under Seismic Excitations, *Report No. 2005/152*, John A Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University.
- Kinali, K., and Ellingwood, B. R. 2006. Seismic Fragility Assessment of Steel Frames For Consequence-Based Engineering: A case study for Memphis, TN, *Engineering Structures*, 29(6), 1115-1127.
- Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. H., Fenves, G. L. 2007. *OpenSees Command Language Manual* [Online], Pacific Earthquake Engineering Center, University of California, Berkeley, Available from: <http://opensees.berkeley.edu> [2007, July 1].

- Mo, Y. L. and Wang, S. J. 2000. Seismic Behavior of Columns with Various Tie Configurations, *Journal of Structural Engineering*, 126(10), 1122-1130.
- Porter, K., Kennedy, R., and Bachman, R. 2007. Creating Fragility Functions for Performance-Based Earthquake Engineering, *Earthquake Spectra*, 23(2), 471-489.
- Sezen, H. 2002. *Seismic Behavior and Modeling of Reinforced Concrete Building Columns*, (Doctoral dissertation), University of California, Berkeley.
- Vamvatsikos, D., and Cornell, C. A. 2002. Applied Incremental Dynamic Analysis, *12th European Conference on Earthquake Engineering*.
- Vamvatsikos, D., and Cornell, C. A. 2005. Seismic Performance Capacity and Reliability of Structures as seen through Incremental Dynamic Analysis, *2005 Pacific Conference on Earthquake Engineering*.

ภาษาไทย

- ไตรรัตน์ ชมพูธวัช. 2011. ความบอบบางของอาคารตัวอย่างในประเทศไทยเนื่องจากแผ่นดินไหว, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรากร สิงหสุต และ อาณัติ เรืองรัมย์. 2009. สมรรถนะต้านทานแผ่นดินไหวของเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กในประเทศไทยภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 30.
- วิษณุ หัตถา. 2008. แบบจำลองการลดทอนเพื่อประมาณค่าสเปคตร้าการตอบสนองสำหรับประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภักวีสน์ มีนชัยนันท์. 2011. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบอาคาร, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปณัฏฐ นุตาลัย เกิดวันที่ 28 พฤศจิกายน พ.ศ.2531 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนรังษีวิทยา จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2553 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2554

