

การเปรียบเทียบการเสถียรด้านข้างของอาคารที่มีรูปแบบไม่สม่ำเสมอใน
แนวตั้งระหว่างวิธีแรงสถิตเทียบเท่ากับวิธีสเปกตรัมการตอบสนอง
แบบโหมด

COMPARISON OF LATERAL DISPLACEMENT OF THE BUILDING
SUBJECTED EARTHQUAKE LOAD EVALUATED BY
EQUIVALENT STATIC METHOD AND MODAL RESPONSE
SPECTRUM METHOD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การเปรียบเทียบการเซตตัวด้านข้างของอาคารที่มีรูปแบบไม่สม่ำเสมอใน
แนวตั้งระหว่างวิธีแรงสถิตเทียบเท่ากับวิธีสเปกตรัมการตอบสนอง
แบบโหมด

COMPARISON OF LATERAL DISPLACEMENT OF THE BUILDING
SUBJECTED EARTHQUAKE LOAD EVALUATED BY
EQUIVALENT STATIC METHOD AND MODAL RESPONSE
SPECTRUM METHOD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON OF LATERAL DISPLACEMENT OF THE BUILDING
SUBJECTED EARTHQUAKE LOAD EVALUATED BY
EQUIVALENT STATIC METHOD AND MODAL RESPONSE
SPECTRUM METHOD



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

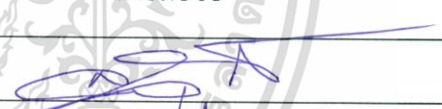
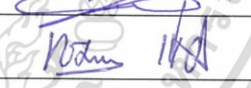

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การเปรียบเทียบการเซตตัวด้านข้างของอาคารที่มีรูปแบบไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งระหว่างวิธีแรงสถิตเทียบเท่ากับวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด
COMPARISON OF LATERAL DISPLACEMENT OF THE BUILDING SUBJECTED EARTHQUAKE LOAD EVALUATED BY EQUIVALENT STATIC METHOD AND MODAL RESPONSE SPECTRUM METHOD

นักศึกษา นายกฤติน สุภกรรม รหัสนักศึกษา 54010050
นายธณพล รอดมา รหัสนักศึกษา 56010494
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร

คณะกรรมการหัวข้อโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	
อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง	
ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 18 เมษายน 2560 เวลา 13.00-16.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธาชั้น 1 (ห้องประชุมภาควิชา)

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(รศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 12 มิ.ย. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบการเซตตัวด้านข้างของอาคารที่มีรูปแบบไม่ สม่ำเสมอในแนวตั้งระหว่างวิธีแรงสถิตเทียบเท่ากับวิธีสเปกตรัม

การตอบสนองแบบโหมด

นายกฤติน	สุภกรรม	รหัสนักศึกษา	54010050
นายธณพล	รอดมา	รหัสนักศึกษา	56010494
		ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร	
		ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้มีแนวโน้มที่ประชากรจะเพิ่มขึ้น แต่พื้นที่ใช้สอยนั้นกลับมีเท่าเดิม ทำให้การสร้างอาคารในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะต้องพัฒนาให้สูงขึ้นในแนวตั้ง เพื่อรองรับประชากรที่มากขึ้น และด้วยเหตุการณ์ภัยพิบัติเนื่องจากแผ่นดินไหวซึ่งในปัจจุบัน มีแนวโน้มที่จะเกิดบ่อยครั้งและมีความรุนแรงมากขึ้น ทำให้อาคารสูงต้องมีการออกแบบเพื่อให้ต้านทานต่อแรงแผ่นดินไหวนั้นคือ มาตรฐานการออกแบบอาคารแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว(มยผ.1302) ซึ่งในข้อกำหนดได้กล่าวถึงประเภทของการวิเคราะห์อาคารที่รับแรงแผ่นดินไหวโดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 แบบคือแบบวิธีสถิตยศาสตร์และแบบวิธีพลศาสตร์กับอาคารที่มีลักษณะตามข้อกำหนด แต่ไม่ได้บอกถึงผลกระทบหากมีการใช้วิธีการวิเคราะห์ออกแบบที่ผิดประเภท ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำได้ศึกษาผลกระทบจากอาคารที่มีลักษณะยกเว้นและไม่อนุญาตให้ใช้การวิเคราะห์แบบวิธีสถิตยศาสตร์ โดยนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์แบบวิธีพลศาสตร์ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ถูกต้องตามมาตรฐาน มยผ.1302 โดยการศึกษาอาคารใช้รูปแบบอาคารจริง พื้นที่ประมาณ 2270 ตารางเมตร มีความสูง 70.7 เมตร 24 ชั้น มีความไม่สม่ำเสมอของสตีเฟนส ผลจากการศึกษาพบว่าอาคารที่วิเคราะห์แบบวิธีพลศาสตร์ จะมีค่าการเคลื่อนตัวมากกว่าการวิเคราะห์แบบวิธีสถิตยศาสตร์

คำสำคัญ – การเซตตัว; เปรียบเทียบ; การตอบสนองแบบโหมด; แผ่นดินไหว

COMPARISON OF LATERAL DISPLACEMENT OF THE BUILDING SUBJECTED EARTHQUAKE LOAD EVALUATED BY EQUIVALENT STATIC METHOD AND MODAL RESPONSE SPECTRUM METHOD

Mr.Krittin Supakam Student ID.54010050

Mr.Thanapol Rodma Student ID.56010494

Asist.Prof.Dr.Arthit Petchsasithon

Academic Year 2016

ABSTRACT

During the past decades, population tends to grow rapidly with the same amount of land area being occupied. That is a reason why much more high-rise buildings are built compared to the past few decades. Nowadays earthquakes seem to occur more often. This can cause high damage to the buildings especially high-rise buildings. Therefore the analysis of building subjected lateral load for high rise buildings is necessarily required. In Thailand, MoYor Por.132 standard code utilities two method for irregular building. Which are modal response and equivalent static. Therefore this code does not allow to use equivalent static method to analyze irregular building. To understand the reason why equivalent static method is not allowed The results obtained from analyzing irregular building utilizing equivalent static and dynamic methods are compared and discussed. In this project, The buildings with various stiffness in vertical axis, will be analyzed. The area 2270 m² and high of 24 story building are 70.7 m respectively. It can be concluded from the results that story drifts obtained from using static method are higher than those obtained from dynamic method

Keywords—component;lateral;comparison;modalresponse;earthquake

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนให้ความรู้ความเอาใจใส่ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ประสบการณ์ที่ดีอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับโครงการนี้ที่พากเราผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาที่ได้ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาท่านต่างๆที่ให้คำแนะนำอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการให้คำแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้รวมถึงการให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ ศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธาตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักรยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณอย่างสูง

กฤติน สุภกรรม
ธณพล รอดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

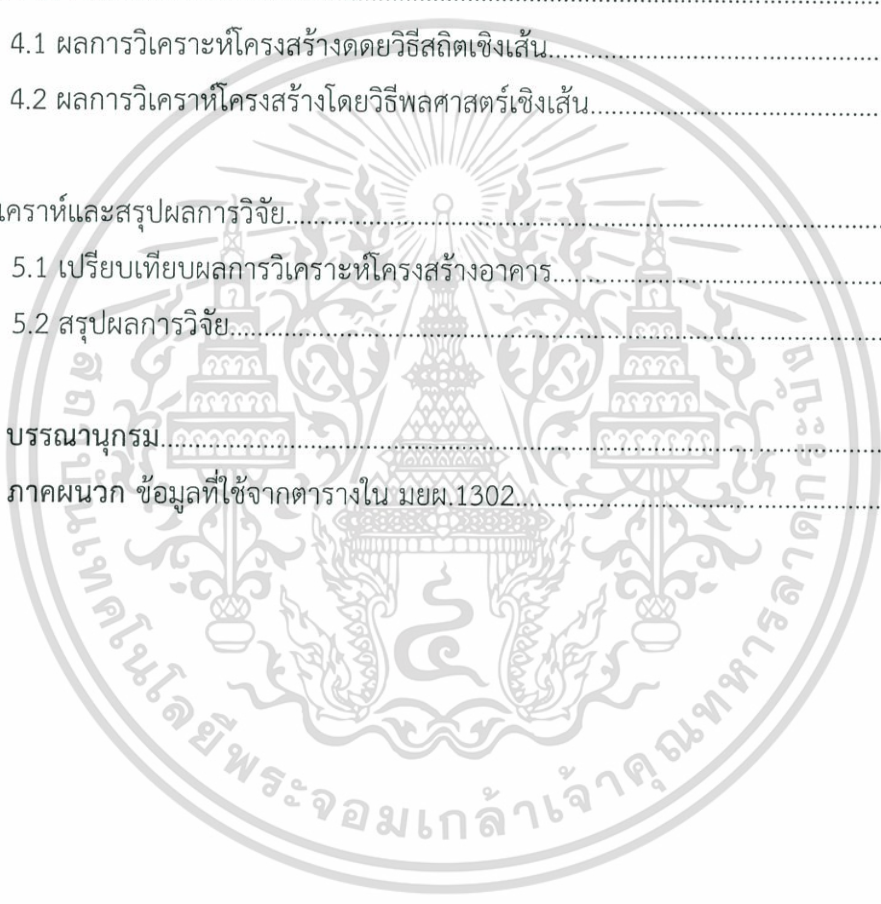
	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3

บทที่ 2 ความรู้ทั่วไปของแผ่นดินไหวและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแผ่นดินไหว.....	4
2.1.1 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว.....	4
2.1.2 ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหว.....	5
2.1.3 ปริมาณสำหรับการวัดแผ่นดินไหว.....	6
2.1.4 ความรุนแรงแผ่นดินไหว.....	7
2.1.5 แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว.....	9
2.1.6 สถิติแผ่นดินไหว.....	12
2.1.7 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายจากแผ่นดินไหว.....	17
2.1.8 การเตรียมพร้อม.....	19
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.2.1 วิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent static).....	19
2.2.2 วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal response spectrum).....	24
2.3 การทบทวนวรรณกรรม.....	27
2.3.1 เอกสารที่เกี่ยวกับการศึกษาความเสี่ยงภัยของแผ่นดินไหวในประเทศไทย.....	27
2.3.2 เอกสารที่เกี่ยวกับเหตุผลที่เลือกพื้นที่ศึกษาในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	28
3.1 การกำหนดรูปแบบของอาคาร.....	28
3.2 กลุ่มตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์.....	30
3.3 เครื่องมือวิจัย.....	41
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	42
3.5 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรม Etabs 2016.....	43
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	63
4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างดดยวิธีสถิตเชิงเส้น.....	63
4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีพลศาสตร์เชิงเส้น.....	65
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย.....	67
5.1 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร.....	67
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	70
บรรณานุกรม.....	71
ภาคผนวก ข้อมูลที่ใช้จากตารางใน มยผ.1302.....	72



สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว.....	4
2.2	การคำนวณแผ่นดินไหวชนิดต่างๆ.....	7
2.3	อันดับความรุนแรงแผ่นดินไหว.....	7
2.4	ข้อมูลแผ่นดินไหวสำคัญและมีรายงานความเสียหาย.....	12
3.1	คุณสมบัติคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีกำลังรับแรงอัด 320 kg/m ³	30
3.2	คุณสมบัติคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีกำลังรับแรงอัด 450 kg/m ³	30
3.3	คุณสมบัติคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีกำลังรับแรงอัด 550 kg/m ³	31
3.4	น้ำหนักบรรทุกทุกในแต่ละชั้น.....	52
3.5	ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว.....	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
2.1 ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหวชนิดต่างๆ.....	5
2.2 แผนทีแสดงความรุนแรงสูงสุด.....	9
2.3 รอยเลื่อนภายในประเทศไทย.....	10
2.4 ความรุนแรงในแต่ละจุดของประเทศไทย.....	11
3.1 อาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอของสทีฟเนส (Stiffness Soft Story Irregularity).....	28
3.2 อาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอแบบมีมุมหักเข้าในอาคาร (Reentrant Corner Irregularity).....	29
3.3 ขนาดเสา C8 ที่มีกำลังรับแรงอัด 550 ksc.....	32
3.4 ขนาดเสา C8 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc.....	33
3.5 ขนาดเสา C8 ที่มีกำลังรับแรงอัด 320 ksc.....	34
3.6 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-1 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc.....	34
3.7 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-1 ที่มีกำลังรับแรงอัด 320 ksc.....	35
3.8 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-2 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc.....	35
3.9 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-2 ที่มีกำลังรับแรงอัด 320 ksc.....	36
3.10 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-3 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc.....	36
3.11 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-3 ที่มีกำลังรับแรงอัด 320 ksc.....	37
3.12 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-4 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc.....	37
3.13 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-4 ที่มีกำลังรับแรงอัด 320 ksc.....	38
3.14 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-5 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc.....	38
3.15 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-5 ที่มีกำลังรับแรงอัด 320 ksc.....	39
3.16 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-6 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc.....	39
3.17 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-6 ที่มีกำลังรับแรงอัด 320 ksc.....	40
3.18 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-7 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc แล 320 ksc.....	40
3.19 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-8 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc แล 320 ksc.....	41
3.20 กำหนด Grid line ตั้งแต่ line 01-42 และ line A-KK.....	43
3.21 Grid line 3D ในแนวนอนและแนวตั้ง.....	44
3.22 Grid line Plan view ในแนวนอนและแนวตั้ง.....	44
3.23 คุณสมบัติของคอนกรีต 550 Ksc.....	45
3.24 ขนาดและหน้าตัดเสา C1 ขนาด 0.4 m x2 m กำลังรับแรงอัด =550 ksc.....	46
3.25 คุณสมบัติและความหนาของผนังรับแรงเฉือน SW-1 กำลังรับแรงอัด=320 ksc.....	47
3.26 คุณสมบัติและขนาดของพื้นไร้คาน (Flat slab) ที่มีความหนา 23 cm.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา VII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.27	โครงสร้าง 3 มิติ ชั้น 1-5.....	49
3.28	โครงสร้าง 3 มิติ ชั้น 1-10.....	50
3.29	โครงสร้าง 3 มิติ ชั้น 1-24.....	51
3.30	ใส่น้ำหนักบรรทุก (live load) ในชั้นที่ 2 ถึง ชั้นที่ 5.....	53
3.31	กำหนดให้พื้น D1 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid diaphragm).....	54
3.32	กำหนด Load Pattern ทิศทางแรงแผ่นดินไหวในแนวแกน X	55
3.33	กำหนด Load Pattern ทิศทางแรงแผ่นดินไหวในแนวแกน Y	56
3.34	กำหนด Load Case ให้วิเคราะห์โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า โดยเลือก load Pattern ในทิศทาง แกน X.....	58
3.35	กำหนด Load Case ให้วิเคราะห์โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า โดยเลือก load Pattern ในทิศทาง แกน Y.....	59
3.36	กำหนดค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนอง แบบโหมด.....	60
3.37	กำหนด Load case และปรับค่า Scale factor โดยให้ค่า Base shear ใกล้เคียงกันทั้งสอง	62
3.38	แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ.....	62
4.1	ค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดทางด้านข้างของอาคาร (Story Displacement) ในแต่ละชั้นเมื่อแรง แผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน X (วิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า).....	63
4.2	ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์สูงสุดของอาคาร (Story Drifts) ในแต่ละชั้นเมื่อแรงแผ่นดินไหว กระทำในแนวแกน X (วิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า).....	64
4.3	ค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดทางด้านข้างของอาคาร (Story Displacement) ในแต่ละชั้นเมื่อแรง แผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y (วิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า).....	64
4.4	ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์สูงสุดของอาคาร (Story Drifts) ในแต่ละชั้นเมื่อแรงแผ่นดินไหว กระทำในแนวแกน Y (วิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า).....	65
4.5	ค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดทางด้านข้างของอาคาร (Story Displacement) ในแต่ละชั้นเมื่อแรง แผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน X และ Y (วิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด)....	66
4.6	ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์สูงสุดของอาคาร (Story Drifts) ในแต่ละชั้นเมื่อแรงแผ่นดินไหว กระทำในแนวแกน X และ Y (วิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด).....	66
5.1	แสดงค่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างจากฐานอาคารที่แต่ละชั้น (Lateral Displacement) ของ อาคาร โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static) กับวิเคราะห์แบบวิธีสเปกตรัม การตอบสนองแบบโหมด (Responses Spectrum) เมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน X.....	67

5.2 แสดงค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drifts) ของอาคาร โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า(Equivalent Static) กับวิเคราะห์แบบวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Responses Spectrum) เมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน X68

5.3 แสดงค่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างจากฐานอาคารที่แต่ละชั้น (Lateral Displacement) ของอาคาร โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า(Equivalent Static) กับวิเคราะห์แบบวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Responses Spectrum) เมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y.....68

5.4 แสดงค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drifts) ของอาคาร โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า(Equivalent Static) กับวิเคราะห์แบบวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Responses Spectrum) เมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y.....69



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันภัยธรรมชาติได้ก่อให้เกิดผลกระทบมากมายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ทำให้ได้มีการศึกษาและพบว่าประเทศไทยก็มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวได้ ทำให้ในปัจจุบันได้มีการออกข้อกำหนดเกี่ยวกับการเกิดแผ่นดินไหว ที่มีต่อโครงสร้างอาคารและมีกฎกระทรวงในการควบคุมให้อาคารต่างๆ ต้องออกแบบให้ต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ โดยที่โครงสร้างต้องมีความมั่นคงแข็งแรงและอยู่อย่างปลอดภัย ซึ่งในการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ โครงสร้างต้องมีระยะการเสถียรที่ไม่มากเกินไป

ในข้อกำหนดของมาตรฐานการออกแบบ อาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302 ได้มีข้อกำหนดของรูปแบบโครงสร้างอาคารที่ไม่สามารถคำนวณโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าได้ ซึ่งถ้าหากผู้ออกแบบยังใช้การคำนวณโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า กับโครงสร้างที่ได้รับข้อยกเว้นดังกล่าว อาจเกิดผลกระทบต่อโครงสร้างได้ แต่ในมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302 ไม่ได้บอกถึงผลกระทบหากใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่า กับโครงสร้างที่ไม่ให้คำนวณด้วยวิธีนี้

ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำ จึงได้ศึกษาเปรียบเทียบการระยะการเสถียรทางด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวระหว่างวิธีแรงสถิตเทียบเท่า กับวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบใหม่ สำหรับอาคารที่ไม่ให้คำนวณ โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า ตามมาตรฐานการออกแบบ อาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302 ในพื้นที่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล เนื่องจากในพื้นที่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล มีอาคารที่เป็นประเภทตึกสูงอยู่เป็นจำนวนมาก โดยอาคารที่เป็นตึกสูงมีโอกาสได้รับผลกระทบจากรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และรอยเลื่อนด้านเจดีย์สามองค์ ในจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และรอยเลื่อนด้านเจดีย์สามองค์ มีบางส่วนที่เชื่อมต่อกับรอยเลื่อนสะแกงในประเทศพม่า ซึ่งเป็นรอยเลื่อนขนาดใหญ่มีพลังสูงมากอาจก่อให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อเป็นแนวทางการพิจารณาผลจากการเซตตัวทางด้านข้างในการออกแบบอาคาร
- 2) เพื่อศึกษาผลกระทบจากการใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่า ที่ทางมาตรฐานการออกแบบ อาคาร ด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302 ไม่อนุญาตให้ใช้ในการคำนวณ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) พื้นที่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล
- 2) มาตรฐานการออกแบบ อาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302 ซึ่งใช้วิธี แรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static) และวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Response Spectrum)
- 3) ใช้โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณโครงสร้าง ใช้โปรแกรม ETABS
- 4) รูปแบบอาคารที่ใช้ คืออาคารสูง 24 ชั้นรูปตัวคล้ายตัว Z ที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง แบบที่ 1(อาคารที่ไม่มีควมสม่ำเสมอของสติฟเนส) และ ความไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบ แบบที่ 2(ความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน)
- 5) การรวมผลของแรงจะใช้แบบวิธีกำลัง ใช้ค่าสูงสุดของการรวมแรง ดังนี้ $U=1.2D+1.0L+1.0E$
- 6) ชั้นดินในบริเวณทำการศึกษาเป็นชั้นดินประเภท E(ชั้นดินอ่อน)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาโครงการนี้เช่น กฎกระทรวง มาตรฐานการออกแบบต่างๆ
- 2) ศึกษามาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302 และเลือกพื้นที่และโครงสร้างที่จะทำการศึกษา
- 3) ศึกษาวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างด้านทานแรงแผ่นดินไหว โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า และวิธี สเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด โดยใช้โปรแกรม ETABS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ศึกษาการใช้โปรแกรม ETABS และทดลองใช้โปรแกรม
- 5) สร้างแบบจำลองโครงสร้าง
- 6) วิเคราะห์โครงสร้างหาระยะการเซตตัวทางข้างจากแบบจำลองพร้อมสรุปผลการศึกษา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เป็นแนวทางในการออกแบบอาคาร
- 2) ทราบการเซตตัวทางข้างทั้งโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าและวิธีเชิงพลศาสตร์
- 3) ทราบผลกระทบจากการใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่า ที่ทางมาตรฐานการออกแบบ อาคาร ตำนานการสันสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302 ไม่อนุญาตให้ใช้ในการคำนวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ความรู้ทั่วไปของแผ่นดินไหวและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแผ่นดินไหว

2.1.1 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว

การเกิดแผ่นดินไหวอาจมีด้วยกันหลายสาเหตุซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว

เกิดภายในโลก	เกิดภายนอกโลก	ทั้งภายในและภายนอกโลก
แผ่นดินไหวเกิดจากรอยเลื่อน	ลม ความดันบรรยากาศ	การระเบิดของภูเขาไฟ
ระเบิดใต้ดิน	คลื่นในทะเล น้ำขึ้นหรือลง	แผ่นดินถล่ม
การไหลหมุนเวียนของน้ำใต้ดิน	ความสั่นสะเทือนจากกิจกรรม	
การเคลื่อนตัวของหินหลอม	ของมนุษย์เช่น จรวด ระเบิด	
ละลาย	เป็นต้น	
การเปลี่ยนแปลงสถานะใต้ดิน	การชนของอุกกาบาต	
การทำเหมือง		
การยุบตัวใต้ดิน		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหว

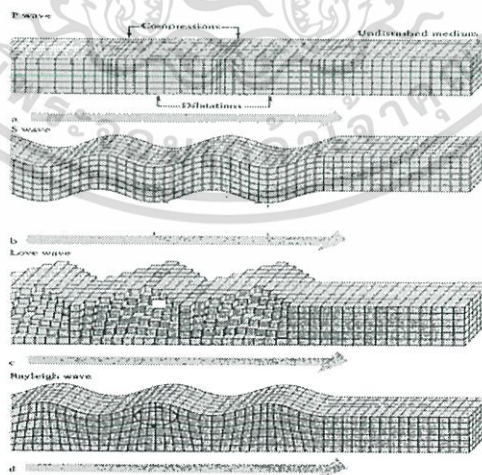
ความสัมพันธ์ของพื้นดินนั้นมีลักษณะการเคลื่อนตัวของอนุภาคหินหรือดินแบบ 3 มิติ คือ สามารถวัดการเคลื่อนตัวในแนวระนาบของทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก ตะวันตก และแนวตั้ง ทั้งนี้คลื่นแผ่นดินไหวสามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือวัดความสัมพันธ์ 2 แบบได้แก่

แบบวัดความเร็วของอนุภาคดินหรือหิน (Seismograph) ซึ่งสามารถวิเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหวเพื่อกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว ขนาด เวลาเกิด ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของโลก ลักษณะของแนวรอยเลื่อน กลไกการเกิดแผ่นดินไหว และแบบวัดอัตราเร่งของพื้นดินได้แก่ เครื่องวัดอัตราเร่งของพื้นดิน (Accelerograph) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับงานด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหว ในบริเวณพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

คลื่นแผ่นดินไหวแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

-คลื่นหลัก (Body Wave) เป็นคลื่นที่เดินทางอยู่ภายในโลก ได้แก่ คลื่น P อนุภาคของดินเคลื่อนที่ไปตามแนวแรง และคลื่น S อนุภาคดินเคลื่อนที่ไปตามแนวระนาบ ทิศเหนือใต้ และ ตะวันออกตะวันตก ความยาวช่วงคลื่นหลักอยู่ระหว่าง 0.01-50 วินาที

-คลื่นผิวพื้น (Surface Wave) ได้แก่คลื่นเลิฟ (Love :LQ) อนุภาคดินเคลื่อนที่ในแนวระนาบเหมือนการเคลื่อนที่ของงูเลื้อย และคลื่น เรย์เลห์ (Rayleigh :LR) อนุภาคของดินเคลื่อนที่เหมือนคลื่น P แต่ ขณะเดียวกันมีการเคลื่อนตัวแบบย้อนกลับ ความยาวช่วงคลื่นผิวพื้นประมาณ 10-350 วินาที แสดง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหวชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ปริมาณสำหรับการวัดแผ่นดินไหว

ขนาด (Magnitude) เป็นปริมาณที่มีความสัมพันธ์กับพลังงานที่พื้นโลกปลดปล่อยออกมาในรูปของการสั่นสะเทือน คำนวณได้จากการตรวจวัดค่าความสูงของคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหว เป็นปริมาณที่บ่งชี้ขนาด ณ บริเวณจุดศูนย์กลาง ขนาดที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายประเภท ได้แก่

-ML เป็นขนาดแผ่นดินไหวในยุคเริ่มแรกบ่งบอกถึงปริมาณของแผ่นดินไหวท้องถิ่นหรือแผ่นดินไหวใกล้(ระยะทางน้อยกว่า 1,000 กิโลเมตร) คำนวณได้จากความสูงของคลื่นซึ่งตรวจด้วยเครื่องมือตรวจความสั่นสะเทือนแบบวัด การขจัด(displacement) ได้แก่เครื่อง Wood Anderson ซึ่งมีค่ากำลังขยาย 2,800 เท่า ขนาดนี้นำเสนอโดย C. F Richter นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกา ดังนั้นหน่วยของขนาด ML ที่ใช้จึงเป็น “ริคเตอร์” โดยนำค่าของความสูงของคลื่นที่สูงที่สุดของคลื่น S ซึ่งมีช่วงคลื่นอยู่ระหว่าง 0.1-1.0 วินาทีมาใช้ในการคำนวณ

-MB หรือ mb แสดงขนาดของเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้งใกล้และแผ่นดินไหวไกล (ระยะทางมากกว่า 1,000 กิโลเมตร) เรียกว่าขนาดของคลื่นหลัก (Body-wave magnitude) ในการคำนวณใช้คลื่นหลักได้แก่คลื่น P ที่มีความยาวช่วงคลื่นประมาณ 1.0-5.0 วินาที

-Ms แสดงขนาดของเหตุการณ์แผ่นดินไหวไกลและมีขนาดใหญ่ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าขนาดคลื่นผิวพื้น (Surface Magnitude) ในการคำนวณใช้คลื่นผิวพื้นที่มีความยาวช่วงคลื่นประมาณ 18-22 วินาที

-Mw ขนาดโมเมนต์ (Moment magnitude) เป็นปริมาณที่แสดงถึงปริมาณพลังงานของคลื่นแผ่นดินไหวได้ดีกว่าขนาดชนิดอื่น สามารถวิเคราะห์ได้จาก โมเมนต์แผ่นดินไหว (Mo: Seismic Moment) โดยที่ Mo สามารถคำนวณได้จากหลายวิธี เช่น จากการวิเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหวซึ่งค่อนข้างซับซ้อนหรือจากการสำรวจทางธรณีวิทยาเพื่อหาผลคูณของการขจัดของรอยเลื่อนเมื่อเกิดแผ่นดินไหว(Fault displacement) และปริมาณพื้นที่ของรอยเลื่อน (Fault surface area) ส่วนใหญ่ขนาด Mw ใช้สำหรับกรณีแผ่นดินไหวไกล ที่มีขนาดใหญ่

ตารางที่ 2.2 การคำนวณขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆ

ขนาด	สูตรคำนวณ	คลื่น แผ่นดินไหว	ความยาว ช่วงคลื่น (วินาที)	การตรวจวัด
ML	$\text{Log } A - \text{Log } A_0$	S	0.1-1.0	displacement
MB,mb	$\text{Log } (A/T) + Q(h,D)$	p	1.0-5.0	velocity
Ms	$\text{Log } A + 1.66 \text{ Log } D + 2.0$	Surface	20	velocity
Mw	$(2/3 \text{ log } M_0) - 10.7$	Surface	>200	velocity

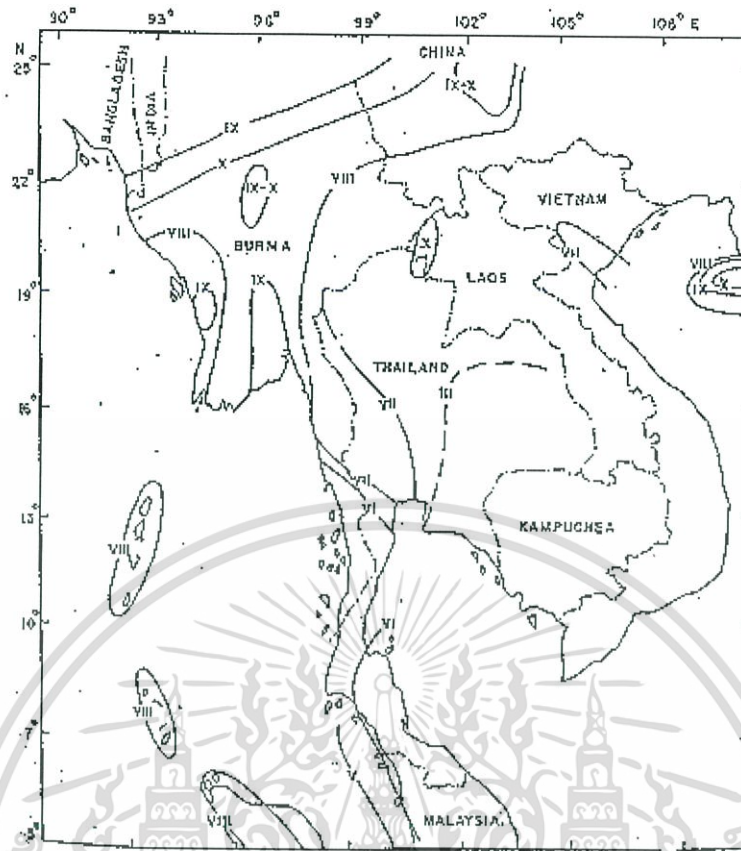
2.1.4 ความรุนแรงแผ่นดินไหว (Intensity) วัดได้จากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นขณะเกิดแผ่นดินไหวและหลังเกิดแผ่นดินไหว เช่น ความรู้สึกของความผัดผวน ลักษณะที่วัตถุ สิ่งก่อสร้างสั่นไหว หรือเสียหาย ลักษณะทางกายภาพของพื้นดินที่เปลี่ยนแปลง เป็นต้น ความรุนแรงแผ่นดินไหวมีด้วยกันหลายมาตรา แต่ที่นิยมใช้ในประเทศไทยได้แก่ มาตราเมอร์แคลลีซึ่งมี 12 อันดับ (MM Scale) เรียงลำดับจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่รุนแรงน้อยที่สุดจนถึงรุนแรงมากที่สุด แสดงดังตารางที่ 2.3 และ แสดงในรูปที่ 2.2

ตารางที่ 2.3 อันดับความรุนแรงแผ่นดินไหวตามมาตราเมอร์แคลลี (MM)

อันดับ	เหตุการณ์แผ่นดินไหว
I	ไม่รู้สึกสั่นไหว ตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือ
II	รู้สึกบางคน โดยเฉพาะผู้อยู่ชั้นบนของอาคาร สิ่งของแกว่งไกว
III	ผู้อยู่ในอาคารรู้สึก เฉพาะอย่างยิ่งผู้อยู่ชั้นบนอาคาร แต่ผู้คนส่วนใหญ่ยังไม่รู้สึกว่ามีแผ่นดินไหว
IV	ในเวลากลางวันผู้คนในอาคารรู้สึกมาก แต่ผู้อยู่นอกอาคารรู้สึกบางคน จาน หน้าต่าง กระจกสั่น ความรู้สึกเหมือนรถบรรทุกชนอาคาร

V	เกือบทุกคนรู้สึก หลายคนตกใจตื่น วัตถุที่ไม่มั่นคงล้มคว่ำ เสา ต้นไม้ แกว่งไกว
VI	ทุกคนรู้สึก เครื่องเรือนเคลื่อน ปล่องไฟแตก เกิดความเสียหายเล็กน้อยกับอาคาร
VII	ทุกคนตกใจวิ่งออกนอกอาคาร อาคารที่ออกแบบดีไม่เสียหาย เสียหายเล็กน้อยถึงปานกลาง กับอาคารสิ่งก่อสร้างธรรมดา เสียหายมากกับอาคารที่ออกแบบไม่ดี ผู้ขับรถรู้สึกว่ามีแผ่นดินไหว
VIII	เสียหายเล็กน้อยกับอาคารที่ออกแบบไว้ดี เสียหายมากในอาคารธรรมดา บางส่วนของอาคารพังทลาย เสียหายอย่างมากในอาคารที่ออกแบบไม่ดี ผนังอาคารหลุดออกนอกอาคาร ปล่องไฟพัง ดินและทรายพุ่งขึ้นมา
IX	เสียหายมากในอาคารที่ออกแบบไว้ดี โครงสร้างก่อสร้างบิดเบนจากแนวตั้ง เสียหายอย่างมากกับอาคารและบางส่วนพังทลาย ตัวอาคารเคลื่อนจากฐานราก พื้นดินแตก ท่อใต้ดินแตกหัก
X	อาคารไม้ที่สร้างไว้อย่างดี เสียหาย โครงสร้างอาคารพังทลาย รางรถไฟบิด พื้นดินแตก แผ่นดินถล่มหลายแห่ง ทรายและโคลนพุ่งจากพื้นดิน
XI	สิ่งก่อสร้างเหลืออยู่น้อย สะพานถูกทำลาย พื้นดินมีรอยแยกกว้าง ท่อใต้ดินเสียหายหมด รางรถไฟบิดงอมาก
XII	เสียหายทั้งหมด เห็นคลื่นบนพื้นดิน เส้นแนวระดับสายตาบิดเบน วัตถุสิ่งของกระเด็นในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงความรุนแรงสูงสุด

2.1.5 แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว

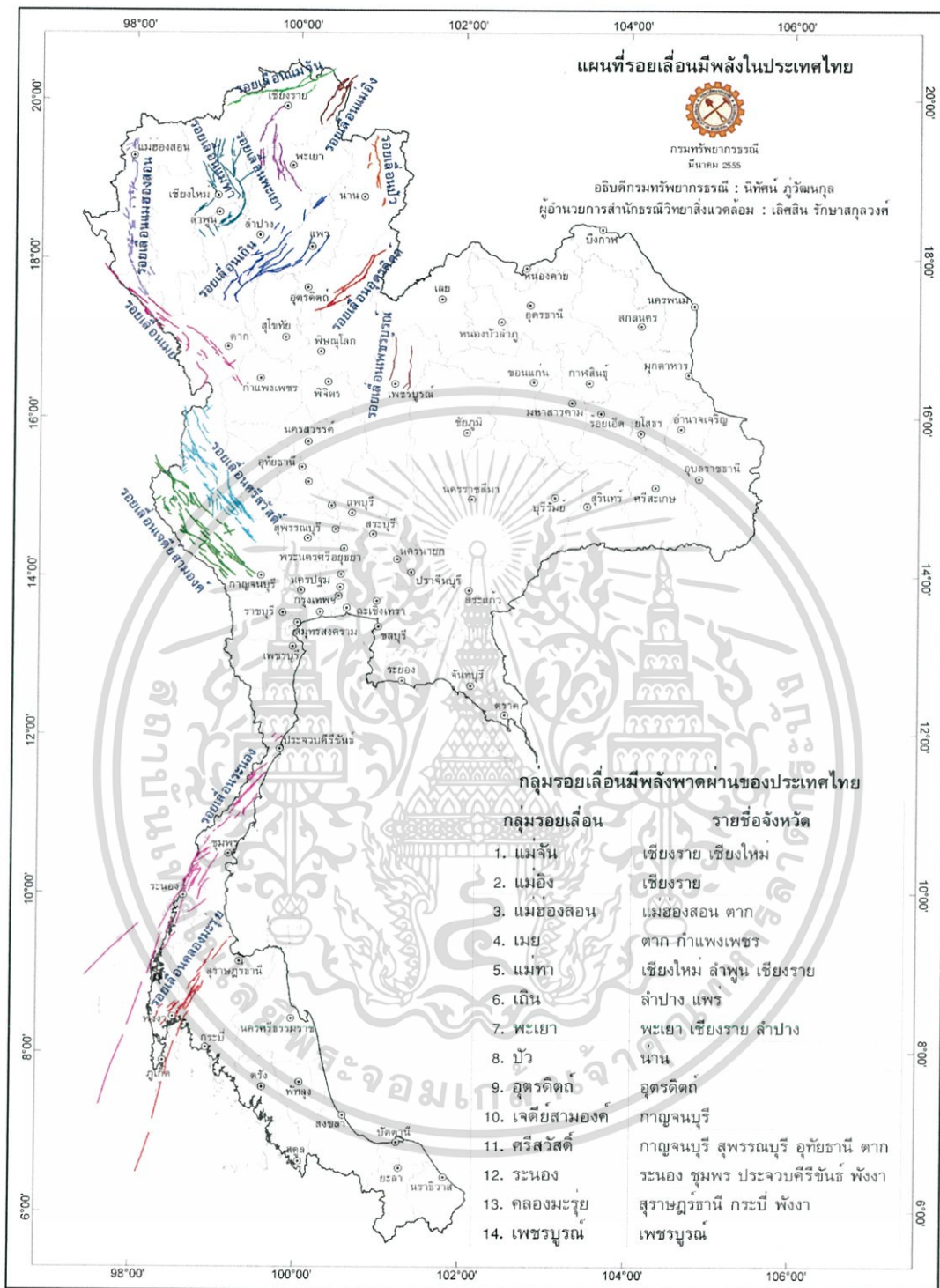
1) แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวหรือบริเวณตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวส่วนใหญ่จะอยู่ตรงบริเวณแนวแผ่นดินไหวของโลก ตรงบริเวณขอบของแผ่นเปลือกโลก ในกรณีของประเทศไทยแนวแผ่นดินไหวโลกที่ใกล้ๆ ได้แก่ แนวในมหาสมุทรอินเดีย สุมาตรา และ ประเทศเมียนมาร์

2) แนวรอยเลื่อนต่างๆ ในกรณีประเทศไทยได้แก่ แนวรอยเลื่อนในประเทศเพื่อนบ้าน พม่า จีนตอนใต้ สาธารณรัฐประชาชนลาว แนวรอยเลื่อนภายในประเทศซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันตก แสดงดังรูปที่ 7 ที่น่าสังเกตคือแนวรอยเลื่อนบางแห่งเท่านั้นมีความสัมพันธ์กับเกิดแผ่นดินไหว เช่น รอยเลื่อนแพร่ รอยเลื่อนแม่ทา รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ รอยเลื่อนระนอง เป็นต้น

3) บริเวณที่มีมนุษย์มีกิจกรรมกระตุ้นให้เกิดแผ่นดินไหว เช่น เขื่อน เชื้อน บ่อน้ำมัน เป็นต้น

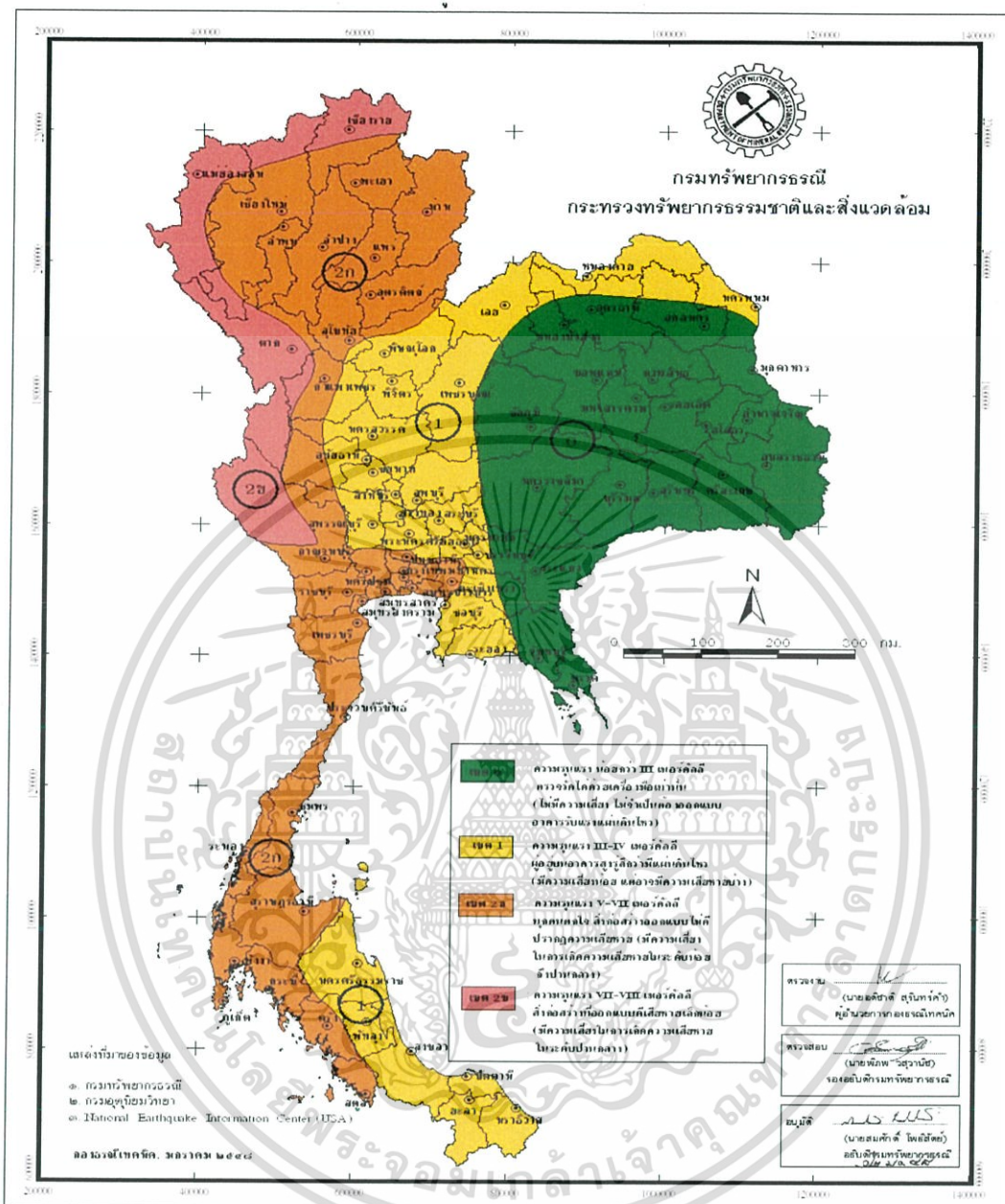
4) ความรุนแรงของแผ่นดินไหวในแต่ละจุดจะแตกต่างกันออกไป แสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 รอยเลื่อนภายในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ความรุนแรงในแต่ละจุดของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 สถิติแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหวในประเทศไทยนั้นมีการรวบรวมสถิติข้อมูลในอดีตจากหลายแหล่งข้อมูล เช่น ศิลาจารึก พงศาวดาร ปฐม จดหมายเหตุ สิ่งพิมพ์ อื่นๆ พบว่าเริ่มต้นบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวในลักษณะของความรุนแรงแผ่นดินไหว (Intensity) ส่วนใหญ่บรรยายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นของแผ่นดินไหวและความเสียหายที่เกิด ในช่วงตั้งแต่ 624 ปีก่อนคริสต์ศักราช จนถึงราวปี พ.ศ. 2443 เป็นต้นมา จึงเริ่มมีข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือของเครือข่ายสถานีตรวจแผ่นดินไหวต่างประเทศ แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นแผ่นดินไหวจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวภายในประเทศตรงบริเวณแนวรอยเลื่อนของภาคตะวันตกและภาคเหนือ กับจากแหล่งกำเนิดรอยเลื่อนบริเวณตอนใต้ของประเทศจีน ประเทศพม่า สาธารณรัฐประชาชนจีน ทะเลอันดามัน และบริเวณเกาะสุมาตรา โดยเฉลี่ยเกิดแผ่นดินไหวรู้สึกได้ประมาณปีละ 5-6 ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลแผ่นดินไหวสำคัญและมีรายงานความเสียหาย

วัน เดือน ปี	เวลาเกิด/ ขนาด	ตำแหน่งศูนย์กลาง/ สถานที่รู้สึกสั่นไหว	เหตุการณ์
พ.ศ. 1003	กลางคืน	โยนกนคร	แผ่นดินไหว 3 ครั้งโยนกนครจมลงใต้ดิน
พ.ศ. 1077	ยามเช้า	โยนกนคร	ยอดเจดีย์หัก 4 แห่ง
พ.ศ. 2088	-	เชียงใหม่	รู้สึกที่เชียงใหม่ยอดเจดีย์หลวงหักจากความสูง 86 เมตร เหลือ ประมาณ 60 เมตร
พ.ศ. 2258	ขึ้น 6 ค่ำ เดือน 7	เชียงใหม่	รู้สึกแผ่นดินไหว วัดและเจดีย์ 4 ตำบลถูกทำลาย
17ก.พ. 2518	10.38 19.8 /5.6	พรมแดนไทย-พม่า	ศูนย์กลางบริเวณ อ.ท่าสองยาง จ.ตาก เสียหายเล็กน้อยในภาคเหนือ ภาคกลาง และกรุงเทพ
26พ.ค. 2521	06.22 29.1/ 4.8	อ.พร้าว จ.เชียงใหม่	เสียหายเล็กน้อยที่ อ.พร้าว รู้สึกสั่นไหวนาน 15 วินาที ที่ จ.เชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22เม.ย. 2526	07:37; 10:21/ 5.9,5.2	อ.ศรีสวัสดิ์ กาญจนบุรี	จ.	รู้สึกเกือบทุกภาค กรุงเทพ	มีความเสียหายเล็กน้อยใน
1 ต.ค. 2532	01:19:23. 3/5.3	พรมแดนไทย-พม่า		รู้สึกสั้นไหว ภาคเหนือตอนบน เชียงใหม่ และเชียงราย	เสียหายเล็กน้อย
11 ก.ย. 2537	03:34 00/5.1	อ.พาน จ.เชียงราย		มีความเสียหาย บริเวณ อ.พาน ต่อวัด โรงเรียน หลายแห่ง	
12 ก.ค. 2538	04:46 398/ 7.2	ประเทศพม่า		รู้สึกได้บริเวณ ภาคเหนือตอนบน และอาคารสูงใน กรุงเทพมหานคร สิ่งก่อสร้างในจังหวัดเชียงราย	เสียหายเล็กน้อย
9 ธ.ค. 2538	20:26 00/ 5.1	อ.ร้องกวาง จ.แพร่		รู้สึกได้ที่ จ.เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ อุตรดิตถ์ และน่าน	เสียหายเล็กน้อยที่ แพร่
11 ก.ย. 2537	03:34 00/ 5.1	อ.พาน จ.เชียงราย		มีความเสียหาย บริเวณ อ.พาน ต่อวัด โรงเรียน หลายแห่ง	
12 ก.ค. 2538	04:46 39.8/ 7.2	ประเทศพม่า		รู้สึกได้บริเวณ ภาคเหนือตอนบน และอาคารสูงใน กรุงเทพมหานคร สิ่งก่อสร้างในจังหวัดเชียงราย	เสียหายเล็กน้อย
9 ธ.ค. 2538	20:26 00/ 5.1	อ.ร้องกวาง จ.แพร่		รู้สึกได้ที่ จ.เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ อุตรดิตถ์ และน่าน	เสียหายเล็กน้อยที่ แพร่
21 ธ.ค. 2538	23:30 00/5.2	อ.พร้าว จ.เชียงใหม่		สิ่งก่อสร้างเสียหายเล็กน้อยบริเวณใกล้ศูนย์กลาง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22 ธ.ค. 2539	00:51 00/5.5	พรมแดนไทย-ลาว	มีความเสียหายเล็กน้อยที่ จ.เชียงราย
20 ม.ค. 2543	03:59 00/5.9	ประเทศลาว	เสียหายเล็กน้อยที่ จ.น่าน แพร่
2 ก.ค. 2545	10:54 00/4.7	อ.เชียงแสน จ.เชียงราย	เสียหายเล็กน้อยที่ อ.เชียงแสน อ.เชียงของ
22 ก.ย.2546	01:16 00/6.7	พม่า	เสียหายเล็กน้อยอาคารสูงบางแห่งใน กทม.
3 ก.พ. 2547	24:58 00 /1.9	อ.สันทรายจ.เชียงใหม่	รู้สึกที่ อ.สันทราย อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่
27 มี.ค. 2547	11:05 00/3.4	อ.แม่สรวย จ.เชียงราย	รู้สึกที่ อ.แม่สรวย จ.เชียงราย
6 เม.ย. 2547	11:49 00/3.1	อ.เมือง จ.เชียงราย	รู้สึกที่ อ.เมือง จ. เชียงราย
30 พ.ค.2547	23:53 00/2.0	อ.สันทรายจ.เชียงใหม่	รู้สึกที่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่
11 ก.ย.2547	08:30 00/3.7	อ.สเมิง จ.เชียงใหม่	รู้สึกที่ อ.สเมิง อ.หางดง อ.เมือง จ.เชียงใหม่
17 ก.ย.2547	18:25 00/5.8	ทะเลอันดามัน	รู้สึกบนอาคารสูง กทม.
26 ธ.ค.2547	07:58 00/9.0	ตะวันตกเกาะสุมาตรา	รู้สึกหลายจังหวัดในภาคใต้ อาคารสูง กทม. มีความเสียหายมากจาก สึนามิและผู้เสียชีวิตกว่า 5000 คน
26ธ.ค.2547	08:30 00/6.4	ประเทศพม่า	รู้สึกหลายจังหวัดในภาคใต้ อาคารสูง กทม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

27 ธ.ค.2547	16:39 00/6.6	ทะเลอันดามัน	รู้สึกที่ จ.ภูเก็ต
30 ธ.ค.2547	08:07, 08 13/ 5.4,5.6	ประเทศพม่า	รู้สึก ที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่
28 มี.ค. 2548	23:10/8.5	ตะวันตกเกาะสุมาตรา	รู้สึกได้ในจังหวัดภาคใต้ ภูเก็ต เตือนอพยพ
19 พ.ค.2548	12:05/6.8	ตะวันตกเกาะสุมาตรา	รู้สึกได้ในหลายจังหวัดภาคใต้ อาคารสูงกทม.
5 ก.ค.2548	22:42/6.8	ตอนบนเกาะสุมาตรา	รู้สึกได้ที่ภูเก็ต
24 ก.ค.2548	22:42/7.2	เกาะนิโคบาร์ อินเดีย	รู้สึกได้ที่ภูเก็ต มีคำเตือนให้อพยพ
18 ก.ย.2548	14:26/6.0	พรมแดนพม่า-อินเดีย	รู้สึกได้บนอาคารสูงในจังหวัดเชียงใหม่
11 ต.ค. 2548	22:05/6.2	ตอนเหนือของเกาะ สุ มาตรา	รู้สึกได้ที่จ.พังงา จ.ภูเก็ต
19 พ.ย.2548	21:10/6.1	ตอนเหนือของเกาะ สุ มาตรา	รู้สึกได้ที่จ.พังงา จ.ภูเก็ต
4 ธ.ค.2548	16:34/4.1	จ.เชียงใหม่	รู้สึกได้บนอาคารสูง จ.เชียงใหม่ และลำพูน
7 ธ.ค. 2548	16:02/3.9	จ.เชียงราย	รู้สึกได้ที่ อ.แม่สรวย จ.เชียงราย
15 ธ.ค.2548	13 48/4.1	จ.เชียงราย	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง อ.เทิง จ.เชียงราย
16 ธ.ค.2548	09:13, 09 14/ 3.8,3.9	จ.เชียงราย	รู้สึกได้ที่อ.ป่าแดด จ.เชียงราย
24 ม.ค.2549	20:42/5.7	รัฐฉาน ประเทศพม่า	รู้สึกได้ที่ จ.เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน
16 มี.ค. 2549	20:34/3.0	อ.จอมทอง เชียงใหม่	รู้สึกที่ อ.จอมทอง แม่วาง อ.เมือง จ.เชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13 ก.ค. 2549	07:28/3.0	อ.หางดง จ.เชียงใหม่	รู้สึกที่ อ.หางดง จ.เชียงใหม่
6 ส.ค. 2549	12:15/3.4	อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่	รู้สึกที่ อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่
27 ก.ย. 2549	21:30, 23 15/4.8	พม่า	รู้สึกได้ทั่ว จ.ประจวบคีรีขันธ์
28 ก.ย.2549	00.35,01.45 /4.8	พม่า	รู้สึกที่ จ.ประจวบคีรีขันธ์
28 ก.ย.2549	16:50/5.0	พม่า	รู้สึกที่ จ.ประจวบคีรีขันธ์
8 ต.ค. 2549	04:17/5.6	พม่า	รู้สึกที่ จ.ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ราชบุรี สมุทรสงคราม
21 ต.ค. 2549	08:59/4.5	ไทย-ลาว	รู้สึกที่ อ.แม่สาย จ.เชียงราย
17 พ.ย.2549	01:39/4.4	อ.พาน จ.เชียงราย	รู้สึกที่ อ.พาน อ.เมือง จ.เชียงราย
13 ธ.ค. 2549	00:02/5.1	อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	รู้สึกได้ทั่วไปใน จ.เชียงใหม่
19 ธ.ค.2549	07:03 /2.7	อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	รู้สึกได้ที่ อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่
23 ธ.ค.2549	18:51 /3.6	อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	รู้สึกได้ที่ อ.แม่ริม อ.สันทราย อ.เมือง จ.เชียงใหม่
4 ม.ค. 2550	15:38/2.4	อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	รู้สึกได้ที่ อ.แม่ริม อ.สันทราย อ.เมือง จ.เชียงใหม่
6 ม.ค. 2550	9:23/3.1	อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	รู้สึกได้ที่ อ.แม่ริม อ.เมือง จ.เชียงใหม่
22เม.ย.2550	13:18/4.5	อ.เวียงป่าเป้า	รู้สึกได้ที่ อ.เวียงป่าเป้า จ.เชียงรายและจ.พะเยา
27 เม.ย.2550	15:03/6.1	ตอนเหนือ เกาะสุมาตรา	รู้สึกได้ที่ จ.ภูเก็ต
15 พ.ค.2550	21:35/5.1	พรมแดนลาว-พม่า	รู้สึกได้ที่ จ.เชียงราย
16 พ.ค.2550	15:57/6.1	พรมแดนลาว-พม่า	รู้สึกได้ที่ จ.เชียงรายและหลายจังหวัดภาคเหนือ รวมถึงอาคารสูงใน กทม.
19 มิ.ย.2550	12:06/4.5	อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	รู้สึกได้ที่ อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ และ จ.ลำพูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายจากแผ่นดินไหว

มีปัจจัยหลายประเภทซึ่งเป็นองค์ประกอบสำหรับพิจารณาในเรื่องของความเสียหายมากหรือน้อยจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว ได้แก่

1) ขนาดและแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหวที่อยู่ในแนวแผ่นดินไหวโลก และเกิดจากแรงเทคโทนิคภายในเปลือกโลก โดยเฉพาะบริเวณที่มีการชนกันของเปลือกโลกมักทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่

แผ่นดินไหวที่เกิดจากแนวรอยเลื่อนที่มีความยาวมากๆ จะมีศักยภาพทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่

แผ่นดินไหวที่เกิดจาก การกระตุ้นของมนุษย์ มักมีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กถึงปานกลาง เช่นการทำเหมือง การสร้างเขื่อน เป็นต้น

2) ระยะทาง

โดยปกติแผ่นดินไหวที่มีขนาดเท่ากันแต่ระยะทางต่างกันระยะทางใกล้กว่าย่อมมีความสั่นสะเทือนของพื้นดินมากกว่ามีศักยภาพของภัยมาก ยกเว้นในกรณีคลื่นยักษ์ใต้น้ำอาจเกิดจากศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่อยู่ไกล

3) ความลึกของแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหวซึ่งมีความลึกไม่มากหรือแผ่นดินไหวผิวพื้นจะก่อความเสียหายได้มากกว่าแผ่นดินไหวซึ่งมีความลึกหลายร้อยกิโลเมตร ตัวอย่างเช่น แผ่นดินไหวผิวพื้นที่เกิดจากกระตุ้นของการทำเหมืองในประเทศแอฟริกาใต้มีขนาดประมาณ 5 ริกเตอร์ แต่เนื่องจากมีความลึกไม่ถึง 1 กิโลเมตร ก่อความเสียหายทำให้สิ่งก่อสร้างบริเวณใกล้เคียงพังทลายลง

4) ทิศทางการเคลื่อนตัวของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว

ทิศทางของการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว มีผลต่อค่า amplitude ของความสั่นสะเทือนและ การขจัด (Displacement) ของคลื่น P คลื่น S และคลื่นผิวพื้น หากสิ่งก่อสร้าง อาคารบ้านเรือน สร้างบนตำแหน่งที่มีผลกระทบสูง อาจทำให้เกิดความเสียหายมากกว่าตำแหน่งอื่น

5) เวลาเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาเกิดของแผ่นดินไหวมีผลกระทบต่อความเสียหาย เนื่องจากกิจกรรมบางอย่างที่มนุษย์กระทำหรืออยู่ร่วมกัน มีทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ดังนั้นหากเกิดแผ่นดินไหวในช่วงที่มีกิจกรรมดังกล่าวโอกาสหรือความเสี่ยงที่จะมีความเสียหายรุนแรงเพิ่มขึ้น

6) ความยาวนานของแผ่นดินไหว

เมื่อเกิดแผ่นดินไหวที่มีความสั้นสะเทือนกินเวลาหลายวินาที ความเสียหายจะเพิ่มขึ้น

เนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวประกอบด้วยคลื่นความสั้นสะเทือนหลายความยาวช่วงคลื่นหรือหลายความถี่ ในกรณีที่แผ่นดินไหวมีความสั้นสะเทือนยาวนาน ณ ความถี่ที่ตรงกับค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารสิ่งก่อสร้างจะช่วยเสริมให้เกิดความเสียหายรุนแรงต่อโครงสร้างได้

7) ตำแหน่งของศูนย์กลางแผ่นดินไหว

ตำแหน่งของศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่อยู่ในบริเวณรกร้าง ในป่าเขา ในทะเล มหาสมุทร ไกลจากชุมชนมาก ความสั้นสะเทือนที่เกิดย่อมมีอันตรายน้อยกว่า แผ่นดินไหวที่มีจุดศูนย์กลางใกล้ชุมชน

8) สภาพทางธรณีวิทยา

สภาพทางธรณีวิทยามีส่วนอย่างมากในการก่อความเสียหายจากความสั้นสะเทือน บริเวณที่มีการดูดซับพลังงานจากความสั้นสะเทือนได้มากหรือมีค่าการลดทอนพลังงานมาก (High Attenuation) จะได้รับความเสียหายน้อย เช่น ในบริเวณที่เป็นหินแข็ง แต่ในบริเวณที่เป็นดินอ่อนจะช่วยขยายการสั้นสะเทือนของพื้นดินได้มากกว่าเดิมหลายเท่า และความเสียหายจะเพิ่มขึ้นมาก เช่น ในกรณีของแผ่นดินไหวที่ประเทศเม็กซิโก เมื่อปี ค.ศ. 1985 และในกรณีของประเทศไทย พื้นดินใต้กรุงเทพมหานคร เป็นดินอ่อน มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับพื้นดินใต้เม็กซิโกที่ดีซึ่งสามารถขยายความรุนแรงของการสั้นไหวได้ จากการศึกษาวิจัยพบว่า พื้นดินกรุงเทพมหานครขยายความสั้นสะเทือนได้ดี ที่ ความถี่ประมาณ 1 Hz

9) ความแข็งแรงของอาคาร

อาคารที่สร้างได้มาตรฐานมั่นคงแข็งแรง มีการออกแบบและก่อสร้างให้ต้านแผ่นดินไหว จะสามารถทนต่อแรงสั้นสะเทือนได้ดี เมื่อเกิดแผ่นดินไหวจะเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้อยู่อาศัยได้ในระดับหนึ่ง

2.1.8 การเตรียมพร้อม

บริเวณใดหรือประเทศใดที่มีการเตรียมพร้อมรับมือกับภัยแผ่นดินไหวได้ดี ก่อนที่จะเกิดภัยย่อมสามารถลดหรือบรรเทาภัยแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นได้ ตัวอย่างของ การเตรียมพร้อมรับมือภัยแผ่นดินไหว ได้แก่ การมีมาตรการและระบบจัดการที่เหมาะสมในอนาคตสำหรับเผชิญภัยแผ่นดินไหว การออกกฎหมายควบคุมอาคารให้ด้านรับแผ่นดินไหวตามความเหมาะสมกับความเสี่ยงการจัดผังเมือง กำหนดย่านชุมชนให้ห่างจากบริเวณที่มีความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวสูง การประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนทราบถึงภัยแผ่นดินไหว วิธีปฏิบัติก่อนเกิด ขณะเกิด และหลังเกิดแผ่นดินไหว การศึกษา วิเคราะห์ วิจัยในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินไหวและวิศวกรรมแผ่นดินไหว การพัฒนา ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดให้ทันสมัยเพื่อ การศึกษา และการพยากรณ์

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 วิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent static)

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวสามารถทำได้หลายวิธี วิธีแรงสถิตเทียบเท่าก็เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ออกแบบอาคารได้หลากหลายประเภท วิธีนี้เริ่มจากการคำนวณหาค่าแรงสถิตเทียบเท่าในรูปของแรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Seismic Base Shear, V) จากนั้นจึงกระจายแรงไปยังชั้นต่าง ๆ ของอาคาร แรงที่เกิดขึ้นภายในองค์อาคารต่าง เนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำร่วมกับน้ำหนักบรรทุกทุกในแนวตั้งของอาคารจะเป็นแรงที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ออกแบบกำลังต้านทานขององค์อาคารเหล่านี้ และหาค่าการเคลื่อนตัว นอกจากนี้ค่าการเคลื่อนตัวของโครงสร้างเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า เมื่อถูกนำไปปรับแก้ด้วยตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว จะเป็นค่าการเคลื่อนตัวและการโก่งตัวสูงสุดที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ

1) แรงเฉือนที่ฐานอาคาร

แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Seismic Base Shear, V) จะต้องคำนวณจากสมการที่ 2.2.1-1

$$V = C_s W \quad (2.2.1-1)$$

โดยที่ C_s คือ สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว

W คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร

2) การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว (C_s) จะต้องคำนวณจากสมการที่ 2.2.1-2)

$$C_2 = s_a \left(\frac{I}{R} \right) \quad (2.2.1-2)$$

โดยที่ S_a คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ s ที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T)

R คือ ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง

I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

และ C_s จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.01

3) การคำนวณค่าคาบการสั่นพื้นฐาน

ค่าคาบการสั่นพื้นฐาน (Fundamental Period, T) ในทิศทางแกนหลักของอาคาร สามารถคำนวณได้โดยวิธีดังต่อไปนี้

วิธี ก

คาบการสั่นพื้นฐาน (หน่วยเป็นวินาที) สามารถคำนวณจากสูตรการประมาณค่าดังนี้

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก $T = 0.02H$ (2.2.1-3)

อาคารโครงสร้างเหล็ก $T = 0.03H$ (2.2.1-4)

โดยที่ H คือความสูงของอาคารวัดจากพื้นดิน มีหน่วยเป็นเมตร

วิธี ข

คาบการสั่นพื้นฐาน (หน่วยเป็นวินาที) สามารถคำนวณจากลักษณะการกระจายมวล (หรือน้ำหนัก) ภายในอาคาร และสถิติของระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้างของอาคาร ด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม และค่าคาบการสั่นพื้นฐานที่คำนวณได้จากวิธี ข. จะต้องไม่เกิน 1.5 เท่าของค่าที่คำนวณได้จากวิธี ก.

ค่าคาบการสั่นพื้นฐาน อาจคำนวณจากสมการสมการที่ 2.2.1-5

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i \delta_i^2)}{g \sum_{i=1}^n (F_i \delta_i)}} \quad (2.2.1-5)$$

โดยที่ F คือแรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำต่อชั้นที่ i (นิวตัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- δ_1 คือการเคลื่อนตัวในแนวราบของอาคารที่ชั้นที่ไม่รวมผลของการบิดดัดตำแหน่ง ศูนย์กลางมวล ของชั้นที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า (เมตร)
- g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (เมตร/วินาที²)
- n คือ จำนวนชั้นของอาคาร
- w_i คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของชั้นที่ i (นิวตัน)

- 4) การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำทางด้านข้างต่ออาคารในชั้นต่างๆ แรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำต่ออาคาร ณ ชั้นใด ๆ ในแนวราบ (F_x) จะต้องคำนวณจาก

$$F_x = C_{vx} V \quad (2.2.1-6)$$

$$\text{และ } C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.2.1-7)$$

- โดยที่ C_{vx} คือ ตัวประกอบการกระจายในแนวดิ่ง
- W_x คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของชั้นที่ x
- h_1 และ h_x คือ ความสูงที่ระดับชั้น i และ x ตามลำดับ
- k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง ซึ่งมีค่าดังนี้
- $k = 1.0$ เมื่อ $T \leq 0.5$ วินาที
- $k = 1 + \frac{T-0.5}{2}$ เมื่อ 0.5 วินาที $< T < 2.5$ วินาที
- $k = 2.0$ เมื่อ $T \geq 2.5$ วินาที

- 5) การกระจายแรงเฉือนในแนวราบ แรงเฉือน ณ ชั้นใด ๆ ของอาคารที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า ($x V$) ให้คำนวณจากสมการ 2.2.1-8

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.2.1-8)$$

แรงเฉือน ณ ชั้นใด ๆ ($x V$) จะกระจายไปยังองค์อาคารแนวดิ่งที่เป็นส่วนของโครงสร้าง ด้านแรงด้านข้างในชั้นที่พิจารณาตามสัดส่วนสติเฟเนสด้านข้างขององค์อาคารเหล่านั้น

ในกรณีที่โดอะแพรมเป็นแบบกึ่งเชิงการกระจายแรงนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงสติเฟเนสสัมพัทธ์ ระหว่างโดอะแพรมกับองค์อาคารแนวดิ่งซึ่งทำหน้าที่ต้านแรงด้านข้างด้วย

-แรงบิดจากลักษณะของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ไดอะแฟรมมิได้เป็นแบบไดอะแฟรมอ่อน การกระจายแรงเฉือน ณ ชั้นใด ๆ จะต้องพิจารณาถึงผลของแรงบิดจากลักษณะโครงสร้าง (Inherent Torsion Moment, tM) ซึ่งเกิดเนื่องจากการที่จุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass) อยู่เยื้องจากจุดศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of Rigidity)

ในกรณีของไดอะแฟรมอ่อน การกระจายแรงเฉือน ณ ชั้นใด ๆ ไปสู่องค์อาคารแนวตั้งที่ต้านแรงด้านข้างจะขึ้นกับตำแหน่งและน้ำหนักบรรทุกที่องค์อาคารนั้นแบกรับอยู่

-แรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental torsion)

ในกรณีที่ไดอะแฟรมมิได้เป็นแบบไดอะแฟรมอ่อน การออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวจะต้องพิจารณาถึง ผลของแรงบิดจากลักษณะโครงสร้าง (M_t) รวมกับแรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental

Torsion, M_m) โดยที่แรงบิดโดยบังเอิญนี้สร้างขึ้นด้วยการสมมุติให้จุดศูนย์กลางมวล เยื้องออกจากตำแหน่งเดิม เป็นระยะทางร้อยละ 5 ของมิติของอาคารในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของแรงเฉือน ในกรณีที่การออกแบบอาคารจำเป็นต้องพิจารณาผลรวมของแรงแผ่นดินไหวใน 2 ทิศทางหลักที่ตั้งฉากกัน การย้ายศูนย์กลางมวลเพื่อสร้าง M_{ta} นี้ให้ทำเพียงทิศทางเดียว แต่ต้องเป็นทิศทางที่สร้างให้เกิดแรงบิดโดยบังเอิญที่รุนแรงกว่า

-การขยายแรงบิดโดยบังเอิญ

ในกรณีที่อาคารมีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ค หรือ ง และมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ แบบ 1ก หรือ 1ข จะต้องขยายค่าแรงบิดโดยบังเอิญในทุกๆ ชั้นโดยการคูณ M_{ta} ด้วยตัวประกอบขยายแรงบิดโดยบังเอิญ (A_x) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.2.1-9

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{avg}} \right) \quad (2.2.1-9)$$

โดยที่ δ_{max} คือ ค่าการเคลื่อนที่สูงสุดในแนวราบ ณ ชั้นที่ x ที่คำนวณโดยสมมุติให้

$$A_x = 1(\text{เมตร})$$

δ_{avg} ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ในแนวราบที่ขอบของอาคารทั้ง 2 ด้าน ณ ชั้น x ที่คำนวณโดยสมมุติให้ $A_x = 1(\text{เมตร})$

หากค่า A_x ที่คำนวณจากสมการ 3.5-2 มีค่ามากกว่า 3.0 ให้ใช้ค่า $A_x = 3.0$

ในกรณีของอาคารที่มีโครงสร้างแบบน้ำหนักเบา (เช่น โครงสร้างไม้ หรือ โครงเหล็กรีดเย็น) ไม่จำเป็นต้องเพิ่มค่าแรงบิดโดยบังเอิญ

-การพลิกคว่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคารจะต้องได้รับการออกแบบให้ทนต่อแรงสถิตเทียบเท่าได้โดยไม่เกิดการพลิกคว่ำ การคำนวณค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่เกิดจาก แผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (Design Story Drift, Δ) จะต้องคำนวณจาก ผลต่างระหว่างการเคลื่อน ตัวในแนวราบที่จุดศูนย์กลางมวลของชั้นบน

โดยที่การเคลื่อนตัวในแนวราบที่ศูนย์กลางมวลของชั้นใด ๆ จะต้องคำนวณ จาก

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I} \quad (2.2.1-10)$$

โดยที่ C_d คือ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว

S_{xe} คือ ค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบที่จุดศูนย์กลางมวลของชั้น x เนื่องจากแรงสถิต เทียบเท่า

ที่ได้จากวิธีวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับระบบอีลาสติก

I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร 5

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาค่า δ_{xe} จะต้องพิจารณาถึงผลของการแตกร้าวขององค์อาคาร คอนกรีตและอิฐก่อที่มีต่อค่าสติเฟนสขององค์อาคารเหล่านั้น

ค่า Δ ที่คำนวณได้จะต้องมีค่าไม่เกิน Δ_a

6) ผลของ P-Delta

ผลของ P-Delta (ซึ่งเกิดจากการเอียงตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง) ที่มีต่อแรงเฉือนใน แต่

ละชั้น แรงและโมเมนต์ตัดในองค์อาคารต่าง ๆ และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ไม่จำเป็นต้อง นำมาพิจารณาในการออกแบบอาคารหากค่าสัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (Stability Coefficient, θ) ที่ คำนวณจากสมการที่ 2.2.1-11 ต่อไปนี้ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1

$$\theta = \frac{P_x \Delta}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.2.1-11)$$

โดยที่ P_x คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคารที่ระดับชั้น x และที่อยู่ เหนือชั้น x ทั้งหมดรวมกัน

Δ คือ ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ระดับชั้น x ที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับ ออกแบบ

V_x คือ แรงเฉือนในระดับระหว่างชั้น x และชั้น $x-1$ ที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h_{sx} คือ ระยะความสูงระหว่างชั้น x กับ ชั้น $x-1$

C_d คือ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว

ค่า θ ที่คำนวณได้ไม่ว่ากรณีใด ๆ จะต้องมีค่าไม่เกิน θ_{max} โดยที่

$$\theta_{max} = \frac{0.5}{\beta C_d} \quad (2.2.1-12)$$

โดยที่ β คือ อัตราส่วนของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นต่อกำลังต้านทานแรงเฉือนของอาคารที่ระดับระหว่างชั้น x และ $x-1$ ซึ่งอาจกำหนดให้ $\beta = 1$ เพื่อเพิ่มสัดส่วนความปลอดภัยให้กับการออกแบบโครงสร้าง

หากค่า θ_{max} มีค่ามากกว่า 2.5 ให้กำหนดค่า θ_{max} เท่ากับ 2.5

หากค่า θ มีค่ามากกว่า 0.1 แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ θ_{max} ผลของ P-Delta ที่มีต่อการเคลื่อนตัวและแรงภายในองค์อาคารต่าง ๆ จะต้องถูกนำมาพิจารณาในการออกแบบโครงสร้างอาคารในกรณีดังกล่าวอนุญาตให้ประมาณการเพิ่มค่าการเคลื่อนตัวและแรงภายในองค์อาคารด้วยการคูณค่าเหล่านั้นด้วย $\frac{1}{(1-\theta)}$

หากค่า θ มีค่ามากกว่า θ_{max} โครงสร้างมีโอกาสที่จะสูญเสียเสถียรภาพได้ จึงต้องทำการออกแบบโครงสร้างใหม่

2.2.2 วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal response spectrum)

ในการออกแบบด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum Analysis) วิศวกรจะต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อคำนวณค่าคาบการสั่นและรูปร่างโหมดธรรมชาติของการสั่นไหวของโครงสร้าง โดยใช้แบบจำลองอาคารที่จำลองมวลและสติเฟนสของโครงสร้างอาคารอย่างถูกต้อง

1) จำนวนของโหมดที่ต้องพิจารณา

ในการวิเคราะห์จะต้องพิจารณารวมการตอบสนองจากหลายโหมดโดยจำนวนโหมดที่พิจารณาจะต้องเพียงพอที่จะทำให้ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Effective Modal Weight, or Modal Weight Participation) มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของน้ำหนักประสิทธิผลทั้งหมดของอาคาร สำหรับแต่ละทิศทางของแผ่นดินไหวในแนวราบที่ตั้งฉากกัน โดยที่น้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมดสำหรับโหมดที่

m (W_m) สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.2.2-1

$$W_m = \frac{(\sum_{i=1}^n \phi_{im} w_i)^2}{\sum_{i=1}^n \phi_{im}^2 w_i^2} \quad (2.2.2-1)$$

โดยที่ ϕ_{im} คือ ค่าการเคลื่อนตัวของระดับชั้นที่ i ของอาคารที่เกิดในโหมดที่ m ในทิศทางที่พิจารณา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเอกสารได้ดำเนินการคำนวณแล้ว หากพบข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำเอกสารขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในการแก้ไขปรับปรุงเอกสารฉบับนี้โดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

(ค่านี้หาได้จากรูปร่างโหมดธรรมชาติของการสั่นไหวของโครงสร้าง) i w คือ น้ำหนักโครงสร้าง ประสิทธิภาพของชั้นที่ i และ n คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคาร

2) การคำนวณค่าการตอบสนองแต่ละโหมด

การคำนวณค่าการตอบสนอง เช่น การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drifts) แรงที่ถ่ายลงสู่ฐานราก (Support Reaction Forces) หรือแรงภายในขององค์อาคาร (Member Forces) สำหรับแต่ละ โหมดจะต้องคำนวณโดยใช้คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของแต่ละโหมด และใช้สเปกตรัมการตอบสนอง ซึ่งเป็นการตอบสนองสูงสุดของระบบยืดหยุ่นเชิงเส้น

3) การรวมค่าการตอบสนองจากหลายโหมด

ค่าการตอบสนองสูงสุดของโครงสร้างหาได้จากการรวมค่าการตอบสนองจากหลายโหมดที่คำนวณ เข้าด้วยกันโดยใช้วิธีการรวมการตอบสนองที่เหมาะสม เช่น วิธีรากที่สองของผลรวมของค่ากำลังสอง (Square Root of Sum of Squares, SRSS) ดังสมการที่ 2.2.2-2

$$r_0 = \sqrt{\sum_{n=1}^N r_{no}^2} \quad (2.2.2-2)$$

โดยที่ r_0 คือ ค่าการตอบสนองรวม, r_{no} คือ ค่าการตอบสนองสูงสุดของโหมดที่ n , และ N คือ จำนวน โหมดที่พิจารณา

หรือวิธีการรวมแบบสมบูรณ์ของค่ากำลังสอง (Complete Quadratic Combination, CQC) ดังสมการที่ 2.2.2-3

$$r_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N \rho_{in} r_{io} r_{no}} \quad (2.2.2-3)$$

โดยที่ r_0 คือ ค่าการตอบสนองรวม, r_{io} และ r_{no} คือ ค่าการตอบสนองสูงสุดของโหมดที่ i และ n ตามลำดับ, N คือ จำนวนโหมดที่พิจารณา และ ρ_{in} คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ซึ่งมีค่าดังสมการที่ 2.2.2-4

$$\rho_{in} = \frac{8 \zeta^2 (1 + \beta_{in}) \beta_{in}^{3/2}}{(1 - \beta_{in}^2)^2 + 4 \zeta^2 \beta_{in} (1 + \beta_{in})^2} \quad (2.2.2-4)$$

โดยที่ β_{in} คืออัตราส่วนระหว่างคาบการสั่นไหว ($\beta_{in} = T_n/T_i$) และ ζ คืออัตราส่วน ความหน่วงของโหมดที่ i และ n ซึ่งต้องมีค่าเท่ากันจึงจะสามารถใช้สมการที่ 4.2-4 อาคารทั่วไปมี อัตราส่วนความหน่วงประมาณร้อยละ 5 ถ้ามีข้อมูลที่เชื่อถือได้ว่าโครงสร้างที่กำลังพิจารณา มี อัตราส่วนความหน่วงเป็นค่าอื่น ให้ใช้ค่านั้น

โดยทั่วไปให้ใช้วิธี SRSS ยกเว้นเมื่อโครงสร้างมีคาบการสั่นของสองโหมดมีค่าใกล้เคียงกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนการคำนวณ วิศวกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(อัตราส่วนระหว่างค่าคาบการสั่นไหวของสองโหมด β_{in} ที่ $i \neq n$ มีค่าระหว่าง 0.67 ถึง 1.5) ต้องใช้วิธีCQC เช่น ในกรณีที่คาบการสั่นของโหมดการโยกตัวมีค่าใกล้เคียงกับคาบการสั่นของโหมดการบิดตัวของอาคาร ซึ่งทำให้มีการปฏิสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของทั้งสองโหมดอย่างมีนัยสำคัญ

4) การปรับค่าการตอบสนองเพื่อใช้ในการออกแบบ

แรงภายในที่ใช้ในการออกแบบจากวิธีเชิงพลศาสตร์ไม่ควรต่างจากแรงภายในที่ใช้ในการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่ามากเกินไป ดังนั้นจึงให้คำนวณแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear, V) ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Lateral Force Procedure) โดยคำนวณแรงสำหรับแต่ละทิศทางที่ตั้งฉากกันในแนวราบ และใช้ค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง (Fundamental Period, T) ที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ในแต่ละทิศทางหากค่าคาบการสั่นที่คำนวณได้จากวิธีเชิงพลศาสตร์มีค่ามากกว่า 1.5 เท่าของค่าคาบการสั่น ให้กำหนดค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างเท่ากับ 1.5 เท่าของค่าคาบการสั่น ในทิศทางนั้นๆ ข้อกำหนดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันไม่ให้ใช้ค่าแรงเฉือนที่ต่ำเกินไปเพราะโดยทั่วไปค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง ที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์มักจะมีค่ามากกว่าคาบการสั่นพื้นฐาน เนื่องจากแบบจำลองคณิตศาสตร์อาจจะไม่ได้พิจารณาสติเฟนสจากส่วนประกอบย่อยของอาคารครบทุกชิ้นส่วน

หากค่าแรงเฉือนที่ฐานจากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ (Modal Base Shear, $t V$) ซึ่งคำนวณจากการรวมการตอบสนองของโหมดต่าง ๆ ตามหัวข้อ 4.2.3 มีค่าน้อยกว่า 85% ของค่าแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear, V) ที่ได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่าข้างต้น ให้ปรับค่าแรงภายในที่ใช้ในการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์โดยคูณด้วยค่า $0.85 \frac{V}{tV}$ ทั้งนี้ไม่ต้องคูณปรับค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drifts) ที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์

5) การกระจายแรงเฉือนในแนวราบ

การกระจายแรงเฉือนในแนวราบให้เป็นไปตามหัวข้อที่ 3.5 โดยไม่ต้องคูณขยายโมเมนต์บิดโดยบังเอิญ หากได้พิจารณาผลกระทบบจากโมเมนต์บิดโดยบังเอิญรวมอยู่ใน การวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์แล้วการพิจารณาโมเมนต์บิดโดยบังเอิญในการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ให้ทำโดยขยับจุดศูนย์กลางมวลให้เคลื่อนไปจากเดิมเป็นระยะ 0.05 เท่าของความยาวอาคารด้านที่ตั้งฉากกับทิศทางแผ่นดินไหวที่กำลังพิจารณา โดยแยกพิจารณาแต่ละกรณีของการขยับไปทั้งสองทิศทางไปและกลับ ตามแนวแกนหลักของโครงสร้างทั้งสองแกนที่ตั้งฉากกันในแนวราบ รวม 4 กรณี แล้วใช้ค่าที่วิกฤตที่สุดจากทุกกรณีในการออกแบบ

2.3 การทบทวนวรรณกรรม

2.3.1 เอกสารที่เกี่ยวกับการศึกษาความเสี่ยงภัยของแผ่นดินไหวในประเทศไทย

ปริญญาและประกาศ ได้ทำการศึกษาและคาดคะเนโอกาสในการเกิดแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหวสูงสุดในประเทศไทย และได้เปรียบเทียบผลการคำนวณจากการศึกษา Attenuation Model หลายรูปแบบกับค่า PGA ในประเทศไทย คือข้อมูลที่วัดได้จากเขื่อน ศรีนครินทร์ ในปี พ.ศ. 2526 และพบว่า ESTEWA Model ให้ผลที่สอดคล้องกับข้อมูล PGA ที่วัดได้ และเมื่อเปรียบเทียบความยาวรอยเลื่อนกับขนาดของแผ่นดินไหว พบว่ารอบรอยเลื่อน 9 แห่งในประเทศไทย ได้แก่ รอยเลื่อน เชียงแสน รอยเลื่อนแพร์ รอยเลื่อนแม่ทา รอยเลื่อนเถิน รอยเลื่อน เมย-อุทัยธานี รอยเลื่อน ศรีสวัสดิ์ รอยเลื่อน เจดีย์สามองค์ รอยเลื่อนระนอง รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย สามารถทำให้เกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาด 6 ถึง 7 ริกเตอร์ ขึ้นได้

2.3.2 เอกสารที่เกี่ยวกับเหตุผลที่เลือกพื้นที่ศึกษาในเขตกรุงเทพ และปริมณฑล

รศ.ดร. อมร พิมานมาศ ได้ศึกษาและพบว่า ในพื้นที่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล มีอาคารที่เป็นประเภทตึกสูงอยู่เป็นจำนวนมาก โดยอาคารที่เป็นตึกสูงมีโอกาสได้รับผลกระทบจากรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และรอยเลื่อนด่านเจดีย์สามองค์ ในจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และรอยเลื่อนด่านเจดีย์สามองค์ มีบางส่วนที่เชื่อมต่อกับรอยเลื่อนสะแกงในประเทศพม่า ซึ่งเป็นรอยเลื่อนขนาดใหญ่มีพลังสูงมากอาจก่อให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

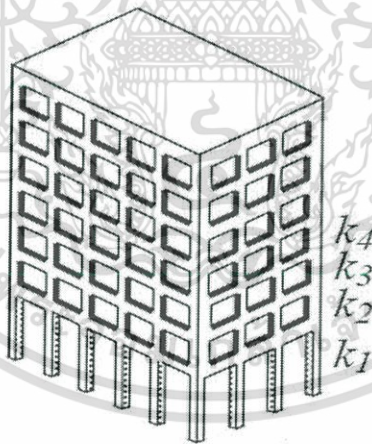
ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การกำหนดรูปแบบของอาคาร

เนื่องจากในการทำปริญญานิพนธ์ นี้มีวัตถุประสงค์ที่จะเปรียบเทียบผลกระทบของอาคารจากการเสถียรทางข้างของอาคารจริงที่ไม่อนุญาตให้ใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static) ในการวิเคราะห์โดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลการเสถียรจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า และวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Response Spectrum)

โดยที่อาคารที่ไม่อนุญาตให้ใช้วิธี แรงสถิตเทียบเท่า ในการวิเคราะห์ตาม มาตรฐานการ ออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว กรมโยธาธิการและผังเมือง พ.ศ.2552 (มยผ.1302) มีรูปแบบดังนี้

- 1) อาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง (Vertical Irregularity)

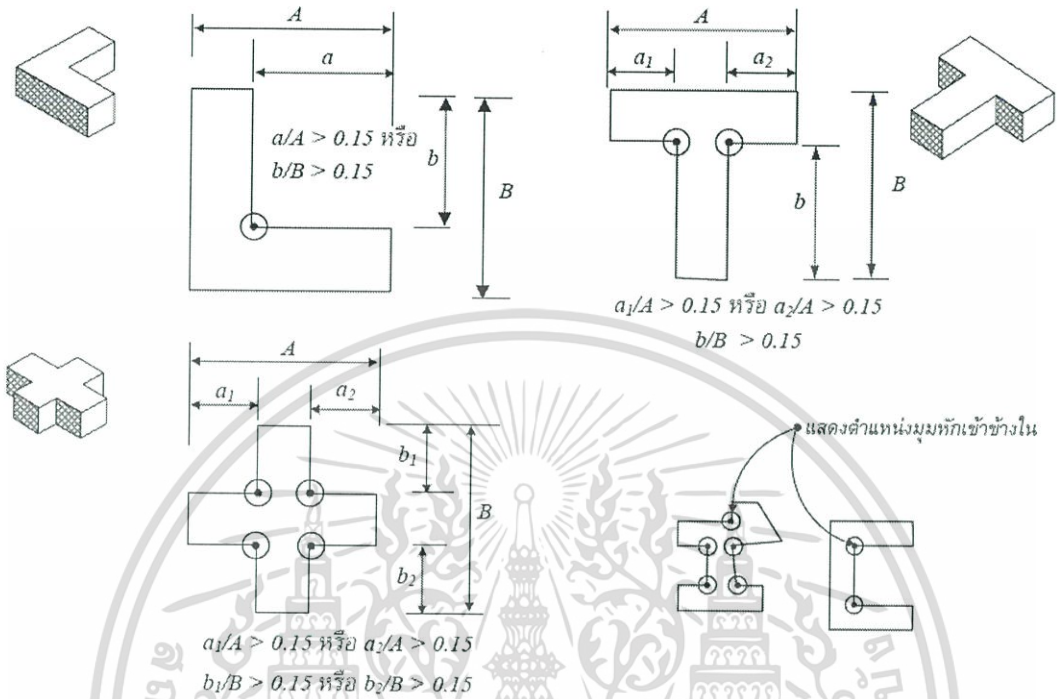


$$k_1 < 0.7 k_2 \text{ หรือ} \\ < 0.8 (k_2 + k_3 + k_4) / 3$$

รูปที่ 3.1 อาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอของสทิฟเนส (Stiffness Soft Story Irregularity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) อาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอในแนวราบ (Horizontal Irregularity)



รูปที่ 3.2 อาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอแบบมีมุมทักเข้าในอาคาร (Reentrant Corner Irregularity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 กลุ่มตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

โครงสร้างที่นำมาวิเคราะห์เป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นที่ 2270 ตารางเมตร สูง 24 ชั้น อยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล มีเสาทั้งหมด 64 ต้น แบ่งออกเป็น 9 ชนิด มีผนังรับแรงเฉือน 8 ชนิด และมีรายละเอียดต่างๆ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีกำลังรับแรงอัด 320 kg/m³

Directional Symmetry Type is Isotropic	
Weight per Unit Volume	2402.77 kg/m ³
Mass per Unit Volume	245.014 kg/m ³
Modulus of Elasticity	2.7x10 ⁹ kg/m ²
Poisson's Ratio	0.2
Specified Concrete Compressive Strength f'c	3.2x10 ⁶ kg/m ²
Shear Modulus	1.12x10 ⁹ kg/m ²

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีกำลังรับแรงอัด 450 kg/m³

Directional Symmetry Type is Isotropic	
Weight per Unit Volume	2402.77 kg/m ³
Mass per Unit Volume	245.014 kg/m ³
Modulus of Elasticity	3.2x10 ⁹ kg/m ²
Poisson's Ratio	0.2
Specified Concrete Compressive Strength f'c	4.5x10 ⁶ kg/m ²
Shear Modulus	1.34x10 ⁹ kg/m ²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีกำลังรับแรงอัด 550 kg/m³

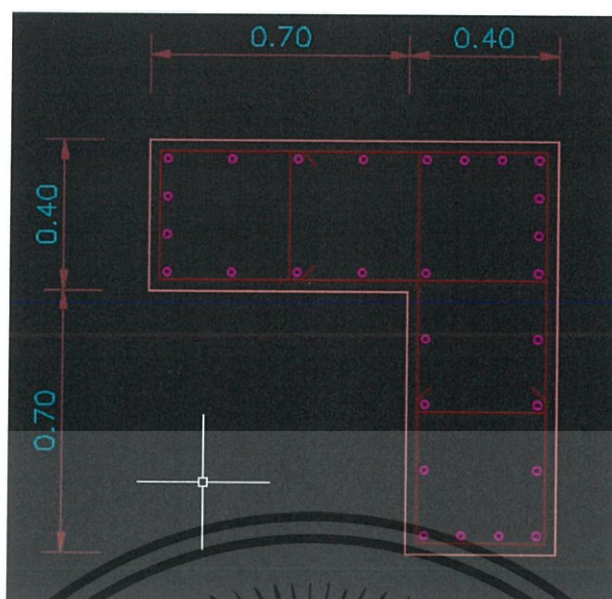
Directional Symmetry Type is Isotropic	
Weight per Unit Volume	2402.77 kg/m ³
Mass per Unit Volume	245.014 kg/m ³
Modulus of Elasticity	3.5x10 ⁹ kg/m ²
Poisson's Ratio	0.2
Specified Concrete Compressive Strength f'c	5.5x10 ⁶ kg/m ²
Shear Modulus	1.48x10 ⁹ kg/m ²

รายละเอียดและขนาดเสา

ชั้นที่ 1 -5

- 1) ขนาดเสา C1 กว้าง 2.0 m ยาว 0.4 m , f'c=550 ksc
- 2) ขนาดเสา C2 กว้าง 1.8 m ยาว 0.4 m , f'c=550 ksc
- 3) ขนาดเสา C3 กว้าง 1.4 m ยาว 0.4 m , f'c=550 ksc
- 4) ขนาดเสา C4 กว้าง 1.4 m ยาว 0.4 m , f'c=550 ksc
- 5) ขนาดเสา C5 กว้าง 1.4 m ยาว 0.4 m , f'c=550 ksc
- 6) ขนาดเสา C6 กว้าง 1.1 m ยาว 0.4 m , f'c=550 ksc
- 7) ขนาดเสา C7 กว้าง 1.0 m ยาว 0.4 m , f'c=550 ksc
- 8) ขนาดเสา C7A กว้าง 1.0 m ยาว 0.4 m , f'c=550 ksc
- 9) ขนาดเสา C8 รูปทรง L สมมาตร , f'c=550 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

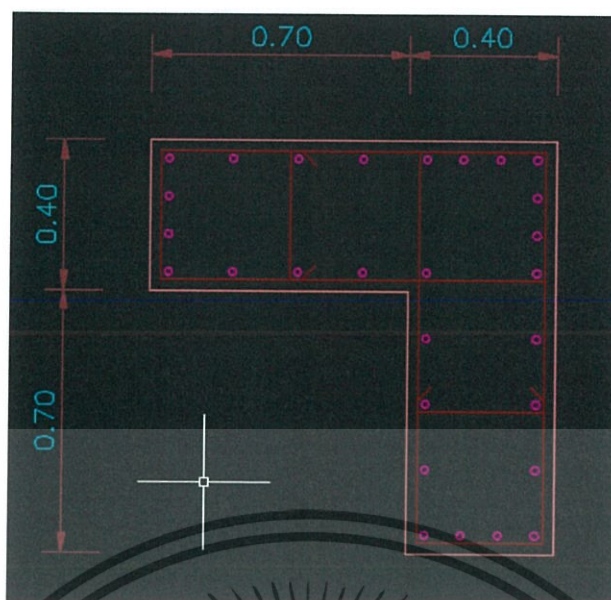


รูปที่ 3.3 ขนาดเสา C8 ที่มีกำลังรับแรงอัด 550 ksc

ชั้นที่ 5-10

- 1) ขนาดเสา C1 กว้าง 2.0 m ยาว 0.4 m , $f'c=450$ ksc
- 2) ขนาดเสา C2 กว้าง 1.8 m ยาว 0.4 m , $f'c=450$ ksc
- 3) ขนาดเสา C3 กว้าง 1.4 m ยาว 0.4 m , $f'c=450$ ksc
- 4) ขนาดเสา C4 กว้าง 1.4 m ยาว 0.4 m , $f'c=450$ ksc
- 5) ขนาดเสา C5 กว้าง 1.4 m ยาว 0.4 m , $f'c=450$ ksc
- 6) ขนาดเสา C6 กว้าง 1.1 m ยาว 0.4 m , $f'c=450$ ksc
- 7) ขนาดเสา C7 กว้าง 1.0 m ยาว 0.4 m , $f'c=450$ ksc
- 8) ขนาดเสา C7A กว้าง 1.0 m ยาว 0.4 m , $f'c=450$ ksc
- 9) ขนาดเสา C8 รูปทรง L สมมาตร $f'c=450$ ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

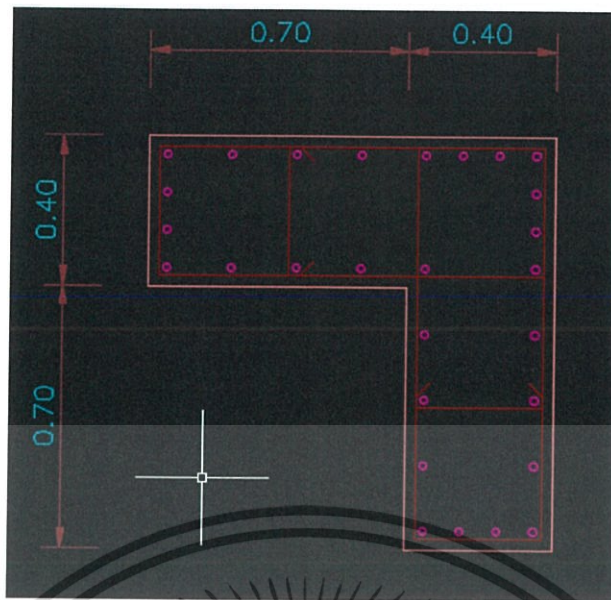


รูปที่ 3.4 ขนาดเสา C8 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc

ชั้นที่ 10-24

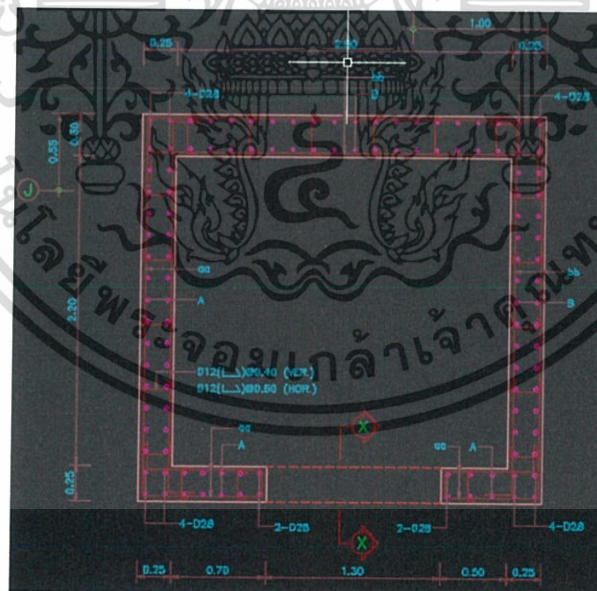
- 1) ขนาดเสา C1 กว้าง 1.8 m ยาว 0.4 m , $f'c=320$ ksc
- 2) ขนาดเสา C2 กว้าง 1.6 m ยาว 0.4 m , $f'c=320$ ksc
- 3) ขนาดเสา C3 กว้าง 1.4 m ยาว 0.4 m , $f'c=320$ ksc
- 4) ขนาดเสา C4 กว้าง 1.1 m ยาว 0.4 m , $f'c=320$ ksc
- 5) ขนาดเสา C5 กว้าง 1.1 m ยาว 0.4 m , $f'c=320$ ksc
- 6) ขนาดเสา C6 กว้าง 1.1 m ยาว 0.4 m , $f'c=320$ ksc
- 7) ขนาดเสา C7 กว้าง 1.0 m ยาว 0.4 m , $f'c=320$ ksc
- 8) ขนาดเสา C7A กว้าง 1.0 m ยาว 0.4 m , $f'c=320$ ksc
- 9) ขนาดเสา C8 รูปทรง L สมมาตร $f'c=320$ ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



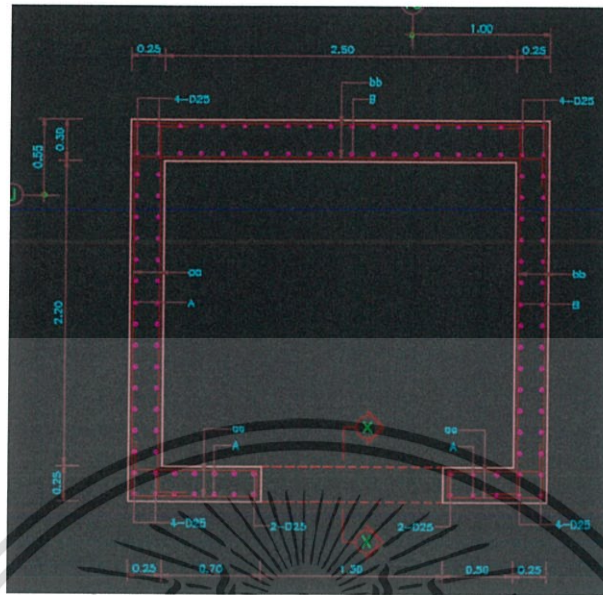
รูปที่ 3.5 ขนาดเสา C8 ที่มีกำลังรับแรงอัด 320 ksc

รายละเอียดและขนาดผนังรับแรงเฉือน



รูปที่ 3.6 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-1 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

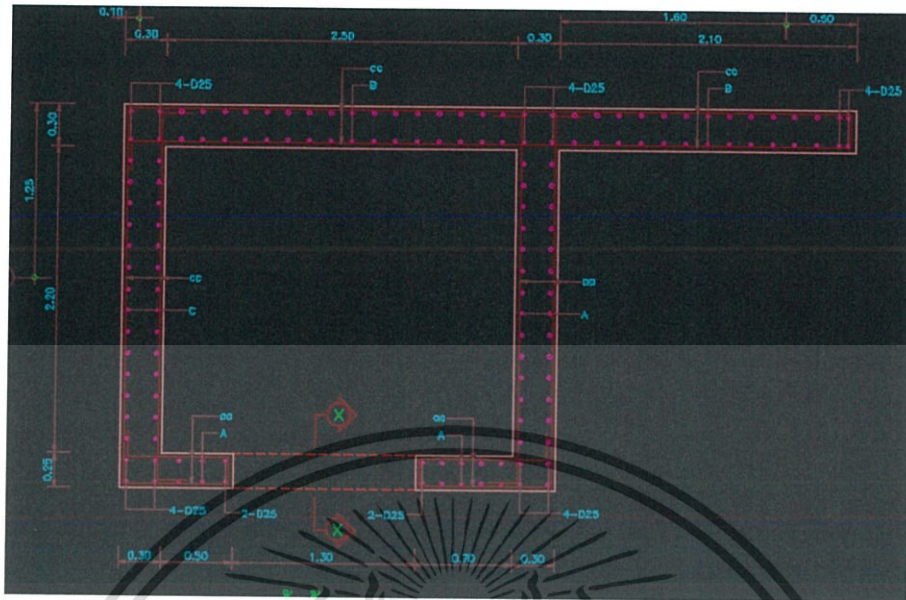


รูปที่ 3.7 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-1 ที่มีกำลังรับแรงอัด 320 ksc



รูปที่ 3.8 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-2 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

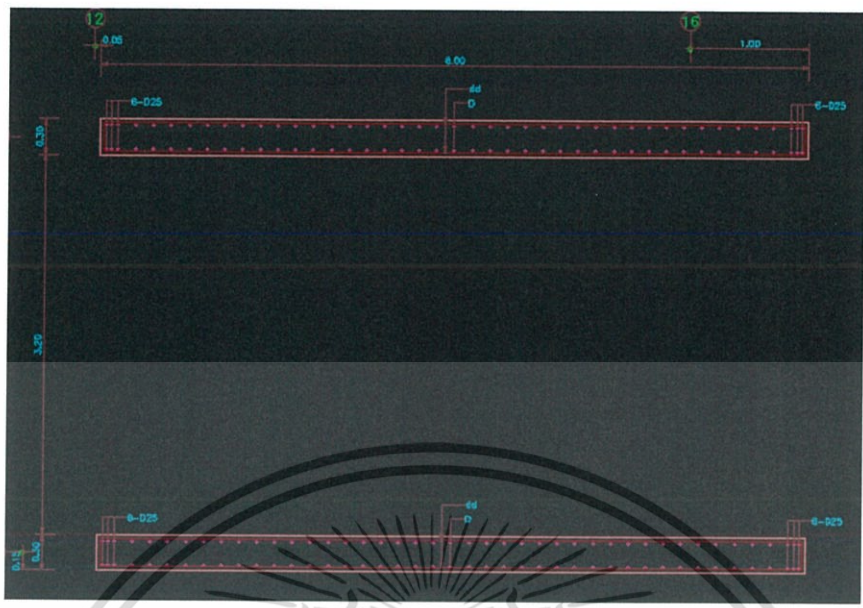


รูปที่ 3.9 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-2 ที่มีกำลังรับแรงอัด 320 ksc



รูปที่ 3.10 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-3 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

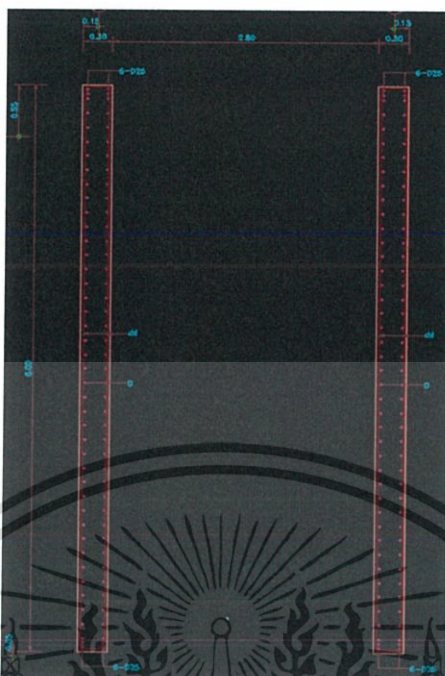


รูปที่ 3.13 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-4 ที่มีกำลังรับแรงอัด 320 ksc



รูปที่ 3.14 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-5 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

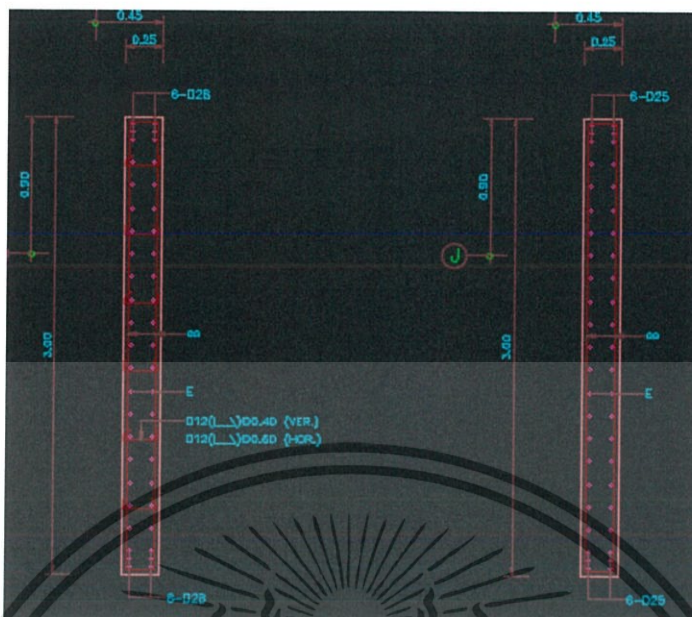


รูปที่ 3.15 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-5 ที่มีกำลังรับแรงอัด 320 ksc



รูปที่ 3.16 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-6 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 รูปแบบผนังรับแรงเฉือน SW-8 ที่กำลังรับแรงอัด 450 ksc และ 320 ksc

รายละเอียดขนาดพื้น

โดยในโครงสร้างนี้พื้นที่ใช้ในการวิเคราะห์หีโนโปรแกรม Etabs 2016 เป็นพื้น (Flat slab) ในแต่ละชั้นมีความหนา 23 cm และมีกำลังรับแรงอัด 320 ksc เท่ากันทุกชั้น

3.3 เครื่องมือวิจัย

วิเคราะห์โครงสร้างหาการเคลื่อนตัวทางข้างสูงสุด (Maximum Displacement) และการเคลื่อนที่สัมพันธ์ (Story Drifts) ของอาคาร ด้วยโปรแกรม ETABS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1) รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาโครงการนี้เช่น กฎกระทรวง มาตรฐานการออกแบบต่างๆ
- 2) ศึกษามาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302 และเลือกพื้นที่และโครงสร้างที่จะทำการศึกษา
- 3) ศึกษาวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า และวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด โดยใช้โปรแกรม ETABS
- 4) ศึกษาการใช้โปรแกรม ETABS และทดลองใช้โปรแกรม
- 5) สร้างแบบจำลองโครงสร้าง
- 6) วิเคราะห์โครงสร้างหาระยะการเซตตัวทางข้างจากแบบจำลองพร้อมสรุปผลการศึกษา

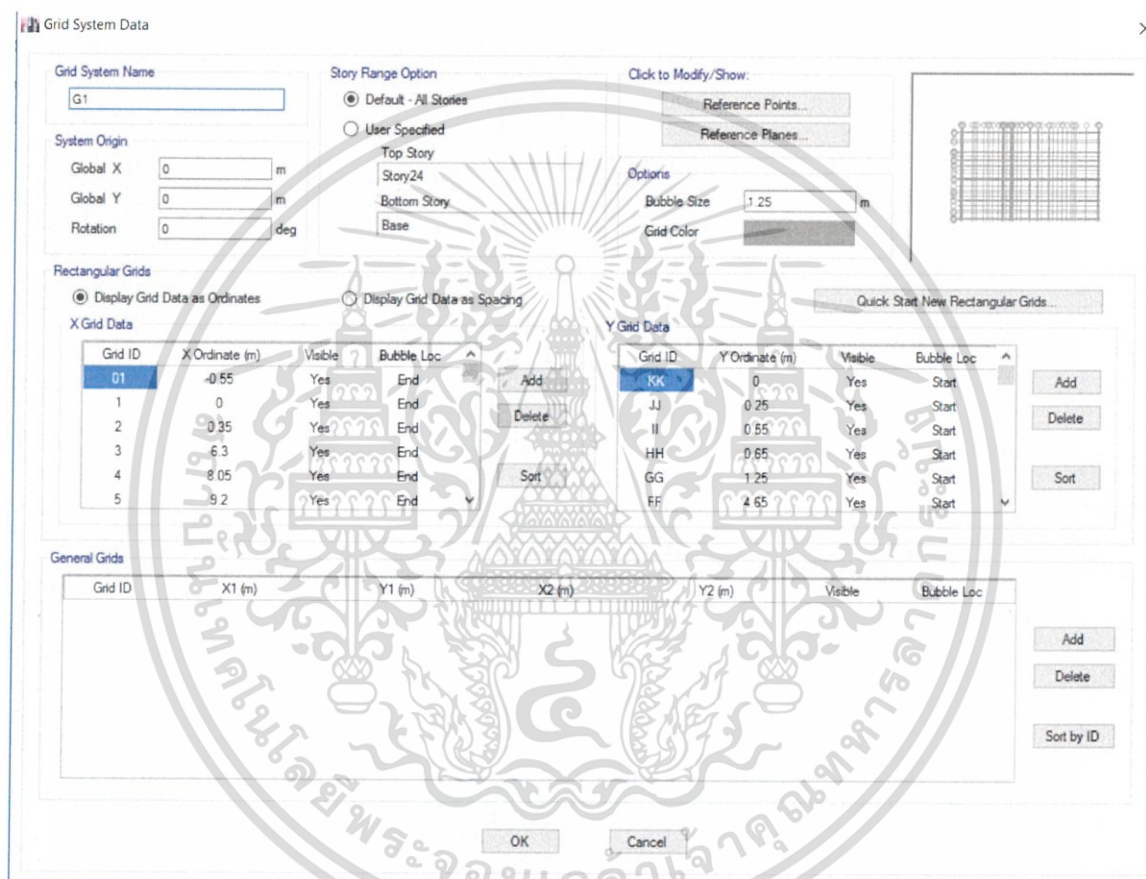


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรม Etabs 2016

ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้จะวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static) และ วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Response Spectrum) โดยใช้อาคารจริงที่มีพื้นที่ 2270 ตารางเมตร รูปทรงตัว Z สูง 70.7 เมตร จำนวน 24 ชั้น ดังนี้

เริ่มต้นด้วยการกำหนด Grid line และความสูงในแต่ละชั้นตามแบบ



รูปที่ 3.20 กำหนด Grid line ตั้งแต่ line 01-42 และ line A-KK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 Grid line 3D ในแนวนอนและแนวตั้ง ของความสูงทั้งหมด 24 ชั้น 70.7 m

รูปที่ 3.22 Grid line Plan view ในแนวนอนและแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดคุณสมบัติของคอนกรีต 550 Ksc 450 Ksc และ 320 Ksc โดยใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัด (f'_c) เท่ากับ 550 450 และ 320 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (E) เท่ากับ $15,200\sqrt{f'_c}$)

Material Property Data

General Data

Material Name: C550

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: █ Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 2402.77 kgf/m³

Mass per Unit Volume: 245.014 kgf-s²/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 3545954300 kgf/m²

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 1477480958 kgf/m²

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

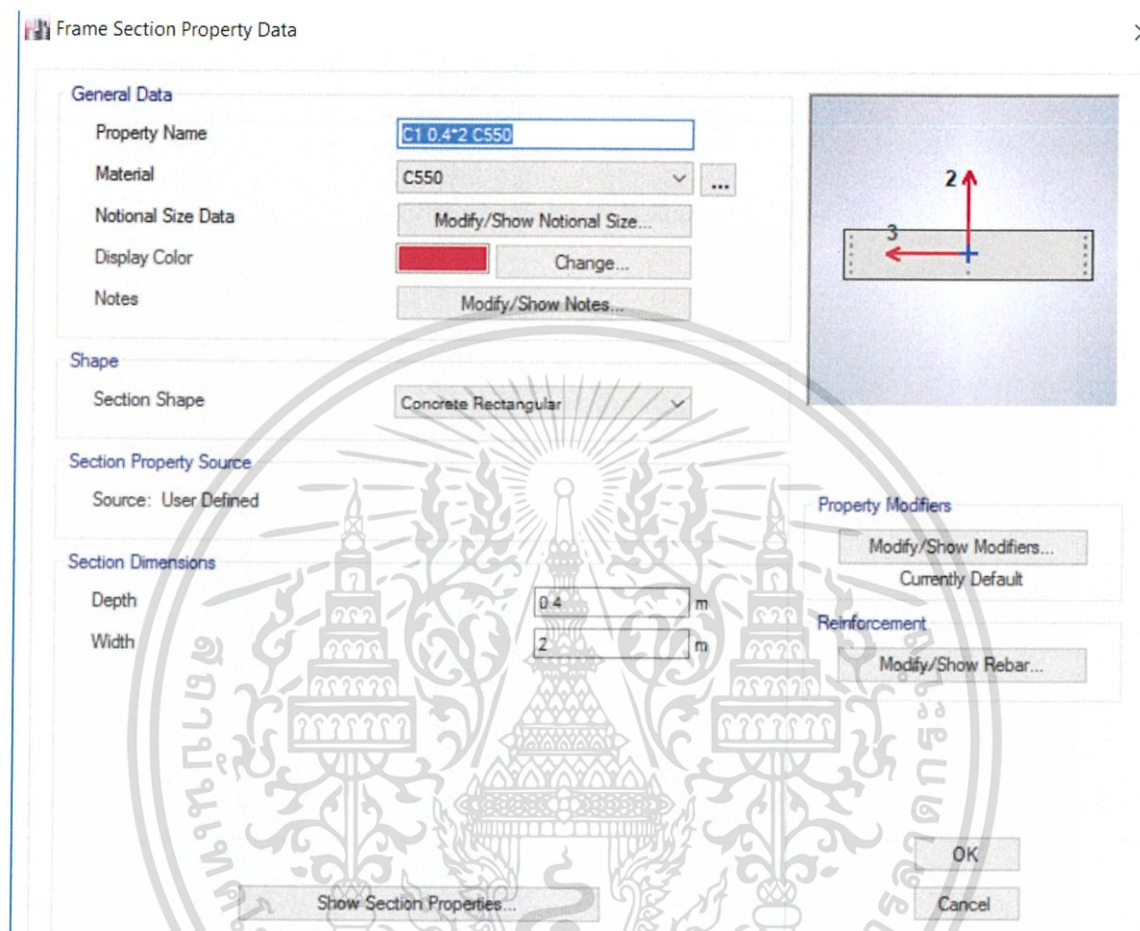
Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

รูปที่ 3.23 คุณสมบัติของคอนกรีต 550 Ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

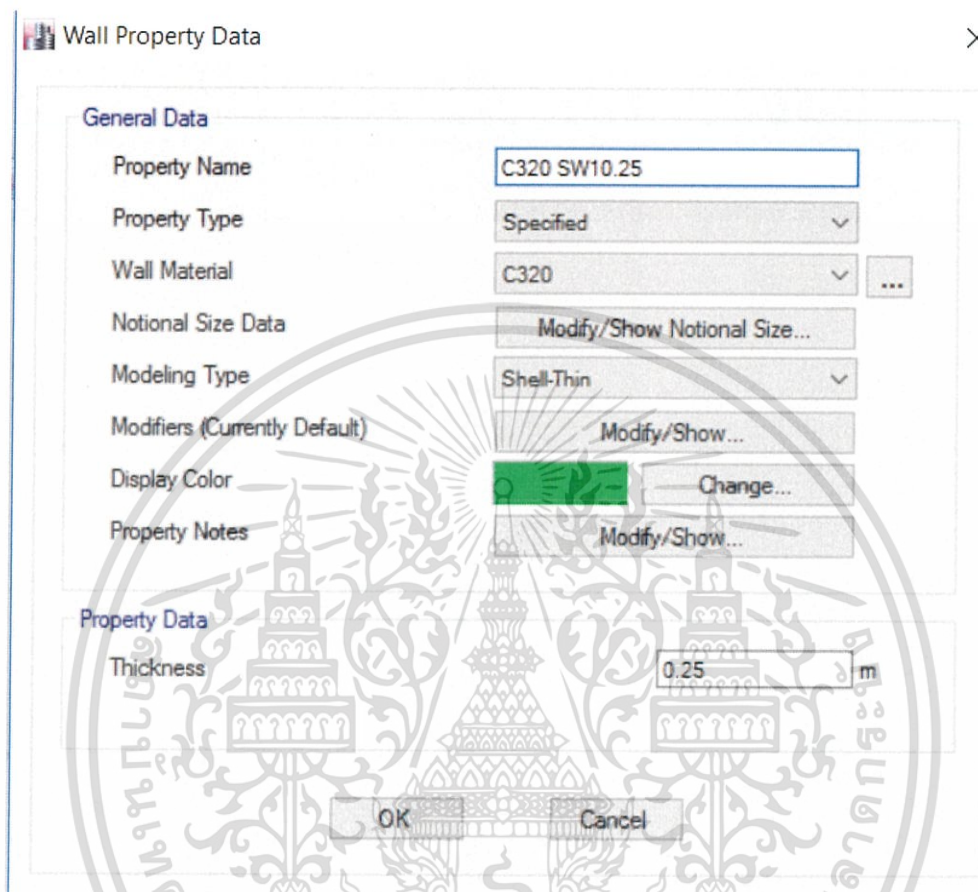
กำหนดหน้าตัดและขนาด ของเสา C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C7A C8 ที่มีกำลังรับแรงอัด
550 450 และ 320 ksc



รูปที่ 3.24 ขนาดและหน้าตัดเสา C1 ขนาด 0.4 m x 2 m กำลังรับแรงอัด = 550 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

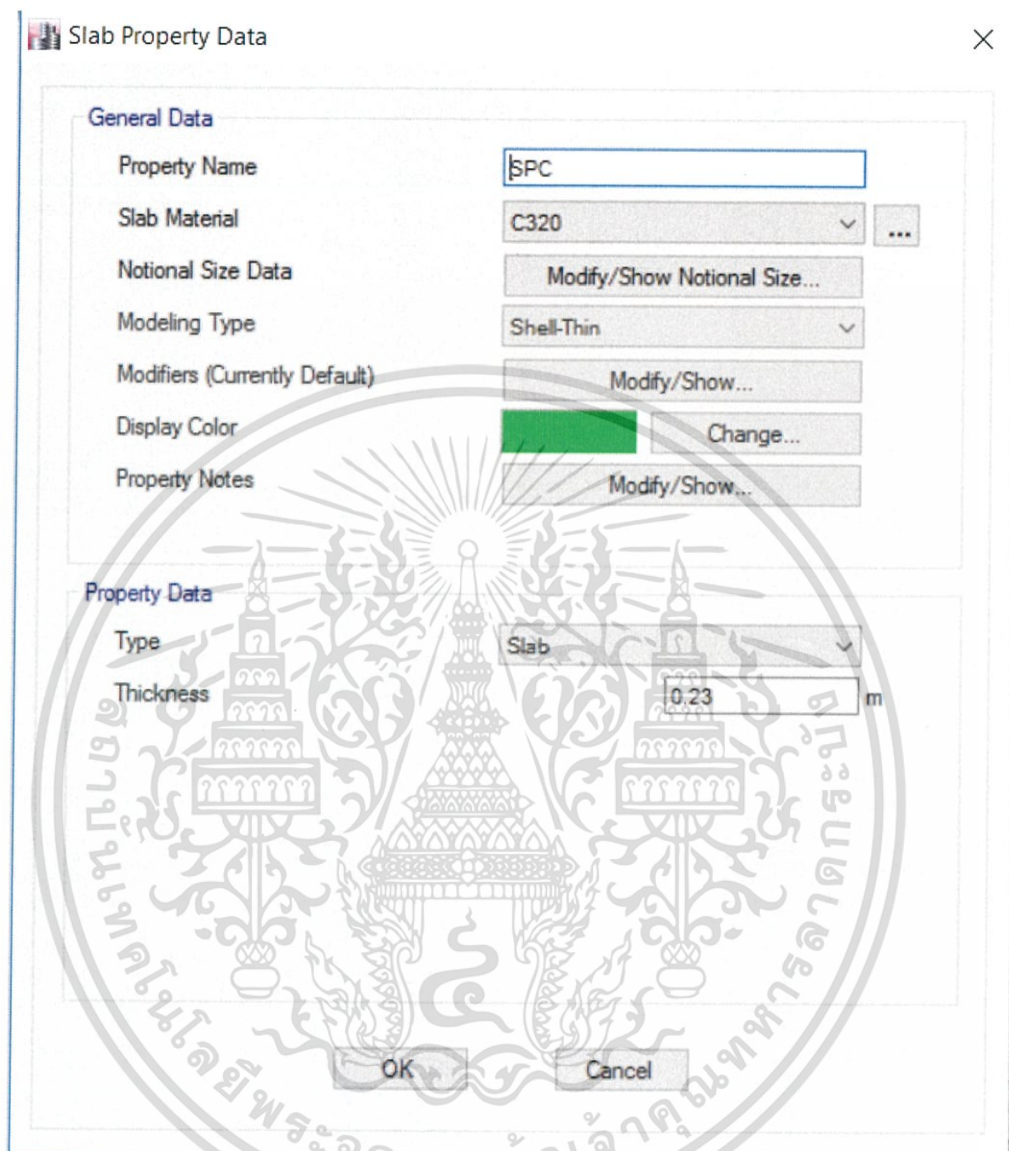
กำหนดหน้าตัดและขนาดของผนังรับแรงเฉือน SW-1 SW-2 SW-3 SW-4 SW-5 SW-6 SW-7 SW-8 ที่มีกำลังรับแรงอัด 450 และ 320 ksc



รูปที่ 3.25 คุณสมบัติและความหนาของผนังรับแรงเฉือน SW-1 กำลังรับแรงอัด=320 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดคุณสมบัติและขนาดของพื้นไร้คาน (Flat slab)



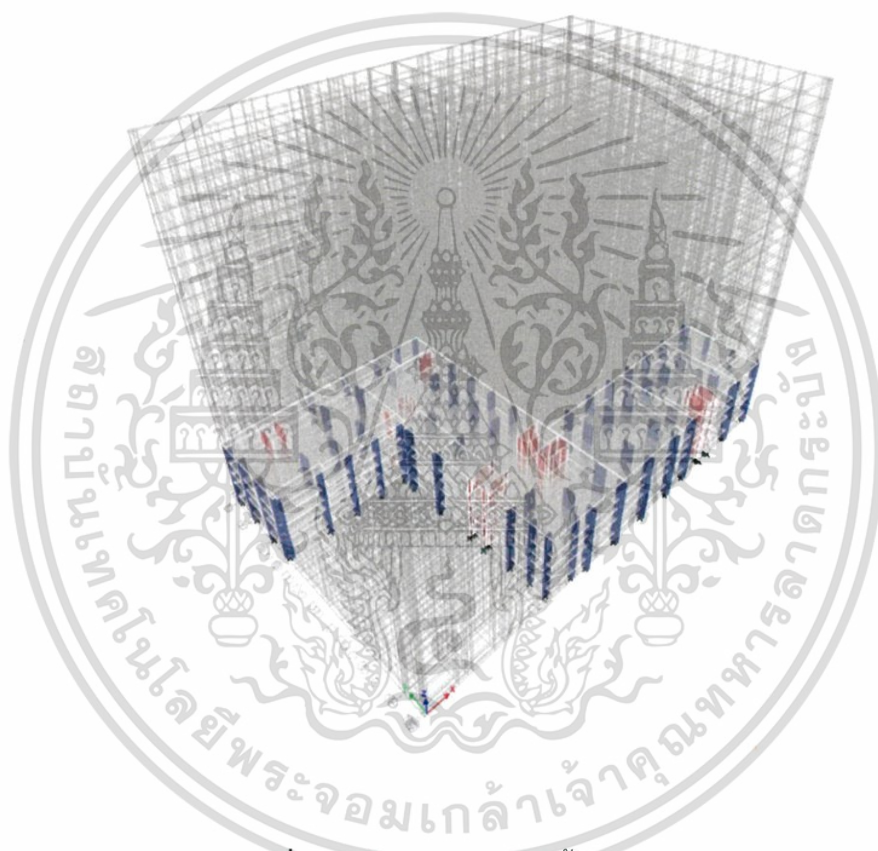
รูปที่ 3.26 คุณสมบัติและขนาดของพื้นไร้คาน (Flat slab) ที่มีความหนา 23 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากกำหนดคุณสมบัติและขนาดต่างๆ เสร็จหมดแล้ว จากนั้นทำการขึ้นโครงสร้างตามแบบสำหรับ

ชั้น 1-5 มีคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) เสามีกำลังรับแรงอัดทั้งหมด 550 ksc
- 2) ผนังรับแรงเฉือนมีกำลังรับแรงอัดทั้งหมด 450 ksc
- 3) พื้นไร้คาน (Flat Slab) มีความหนา 23 cm มีกำลังรับแรงอัดทั้งหมด 320 ksc

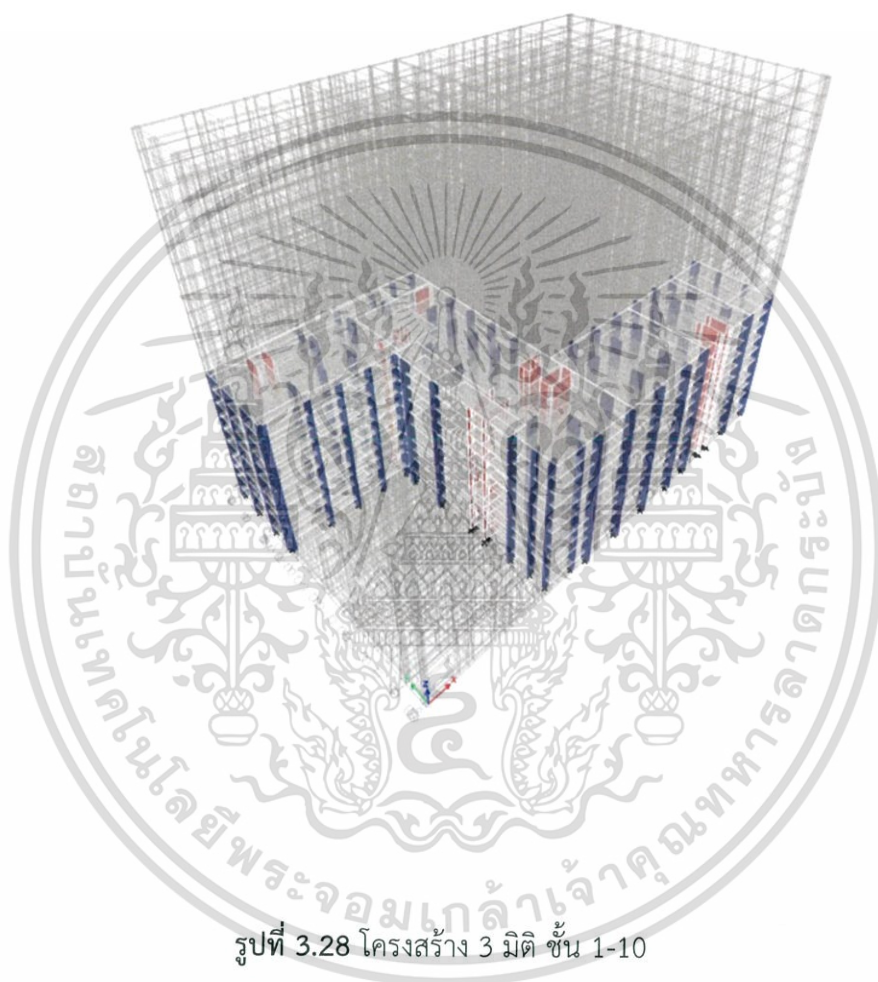


รูปที่ 3.27 โครงสร้าง 3 มิติ ชั้น 1-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น 5-10

- 1) เสามีกำลังรับแรงอัดทั้งหมด 450 ksc
- 2) ผนังรับแรงเฉือนมีกำลังรับแรงอัดทั้งหมด 450 ksc
- 3) พื้นไร้คาน (Flat Slab) มีความหนา 23 cm มีกำลังรับแรงอัดทั้งหมด 320 ksc

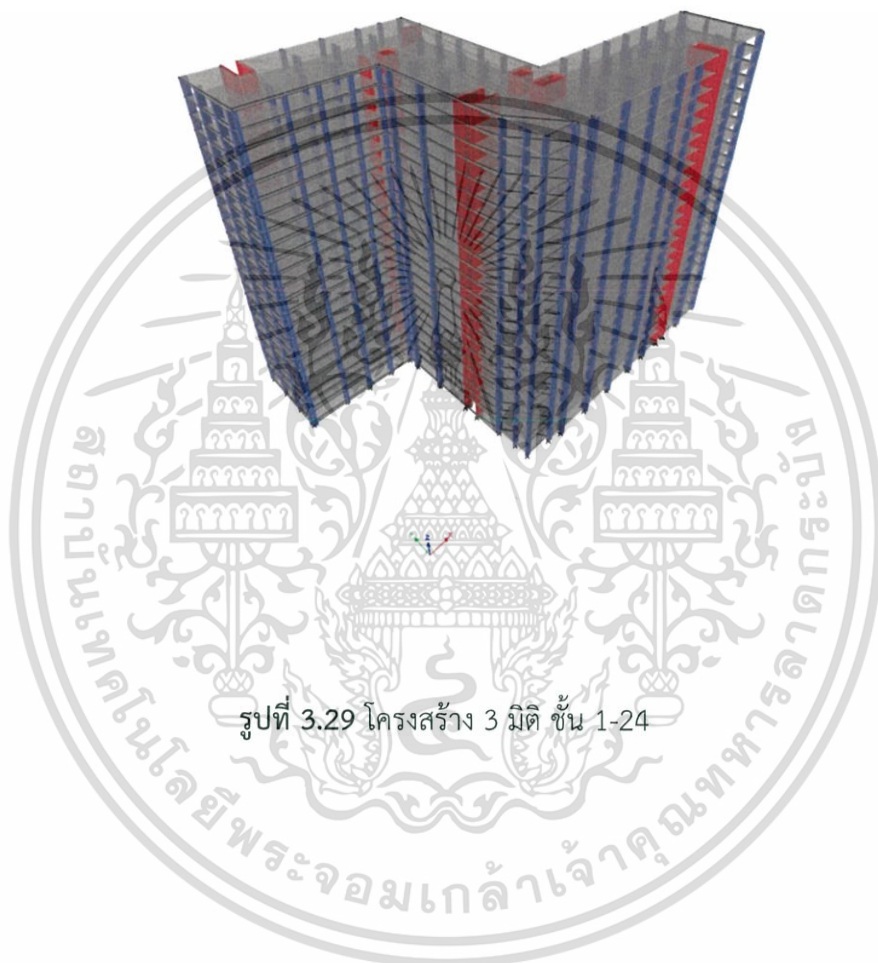


รูปที่ 3.28 โครงสร้าง 3 มิติ ชั้น 1-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น 10-24

- 1) เสามีกำลังรับแรงอัดทั้งหมด 320 ksc
- 2) ผนังรับแรงเฉือนมีกำลังรับแรงอัดทั้งหมด 320 ksc
- 3) พื้นไร้คาน (Flat Slab) มีความหนา 23 cm มีกำลังรับแรงอัดทั้งหมด 320 ksc



รูปที่ 3.29 โครงสร้าง 3 มิติ ชั้น 1-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดน้ำหนักบรรทุกในแต่ละชั้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 น้ำหนักบรรทุกในแต่ละชั้น

Story	LL	SDL	TOPPING	Total SDL
	(kg/m ²)	(kg/m ²)	(kg/m ²)	(m ²)
1	300	20	120	140
2	800	0	0	0
3	800	0	0	0
4	800	0	0	0
5	800	0	0	0
6	300	20	120	140
7	300	20	120	140
8	300	20	120	140
9	300	20	120	140
10	300	20	120	140
11	300	20	120	140
12	300	20	120	140
13	300	20	120	140
14	300	20	120	140
15	300	20	120	140
16	300	20	120	140
17	300	20	120	140
18	300	20	120	140
19	300	20	120	140
20	300	20	120	140
21	300	20	120	140
22	300	20	120	140
23	300	20	120	140
Roof	150	20	120	140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใส่น้ำหนักบรรทุก

Shell Load Assignment - Uniform

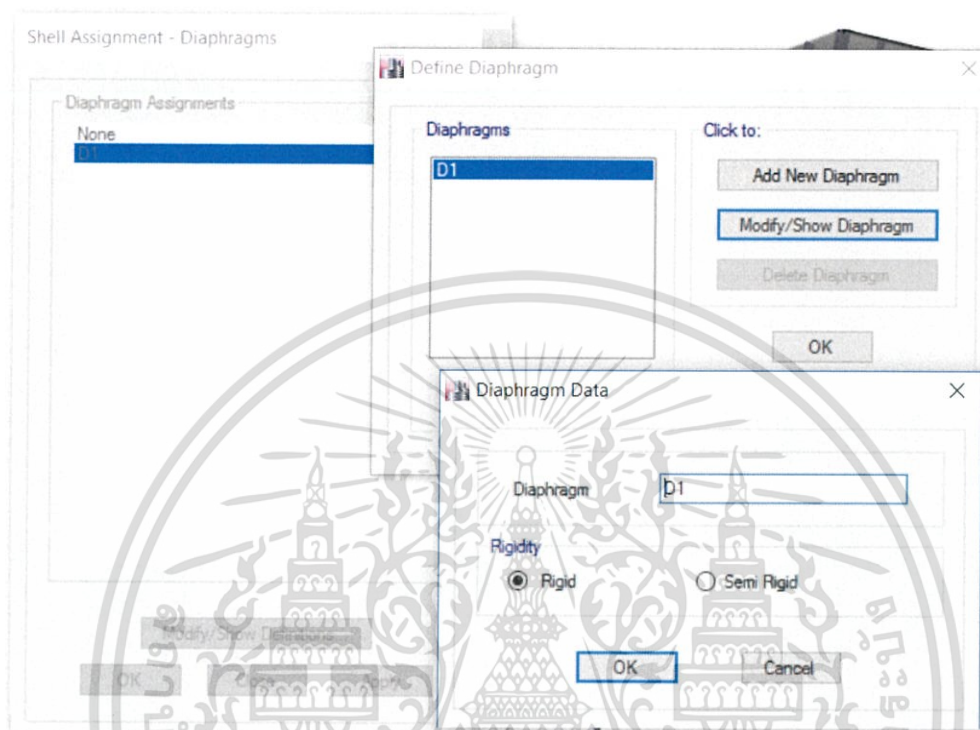
x

Load Pattern Name		Live
Uniform Load		Options
Load	800	kgf/m ²
Direction	Gravity	
		<input type="radio"/> Add to Existing Loads <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads <input type="radio"/> Delete Existing Loads
OK		Close
		Apply

รูปที่ 3.30 ใส่ น้ำหนักบรรทุก (live load) ในชั้นที่ 2 ถึง ชั้นที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้พื้นเป็นไดอะแฟรม(Diaphragm) D1 เพื่อส่งถ่ายแรงด้านข้างโดยเลือก D1 เป็น ไดอะแฟรมแข็ง (Rigid diaphragm)



รูปที่ 3.31 กำหนดให้พื้น D1 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid diaphragm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

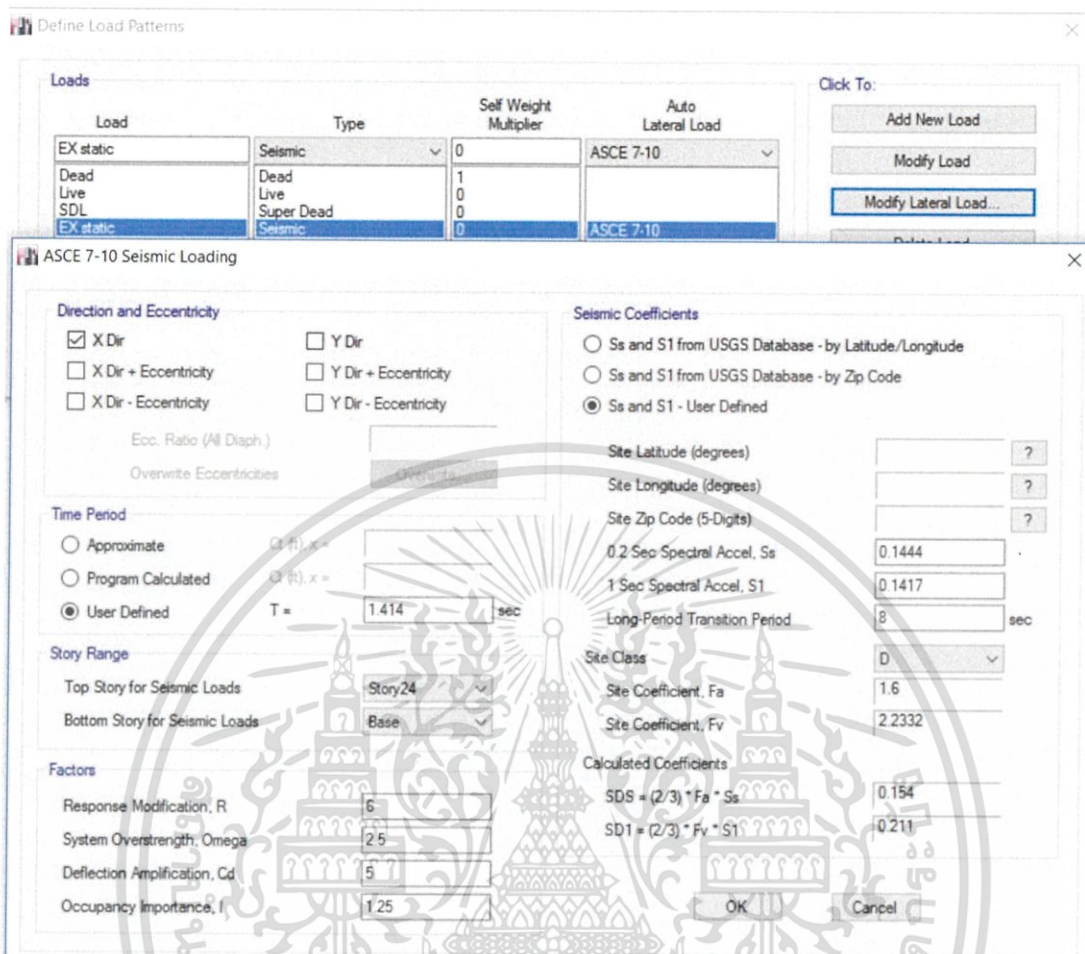
กำหนดรายละเอียดแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (มยผ. 1302)

การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าใช้มาตรฐาน ASCE 7-10 ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกับมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ 1302) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.5 ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ 1302)

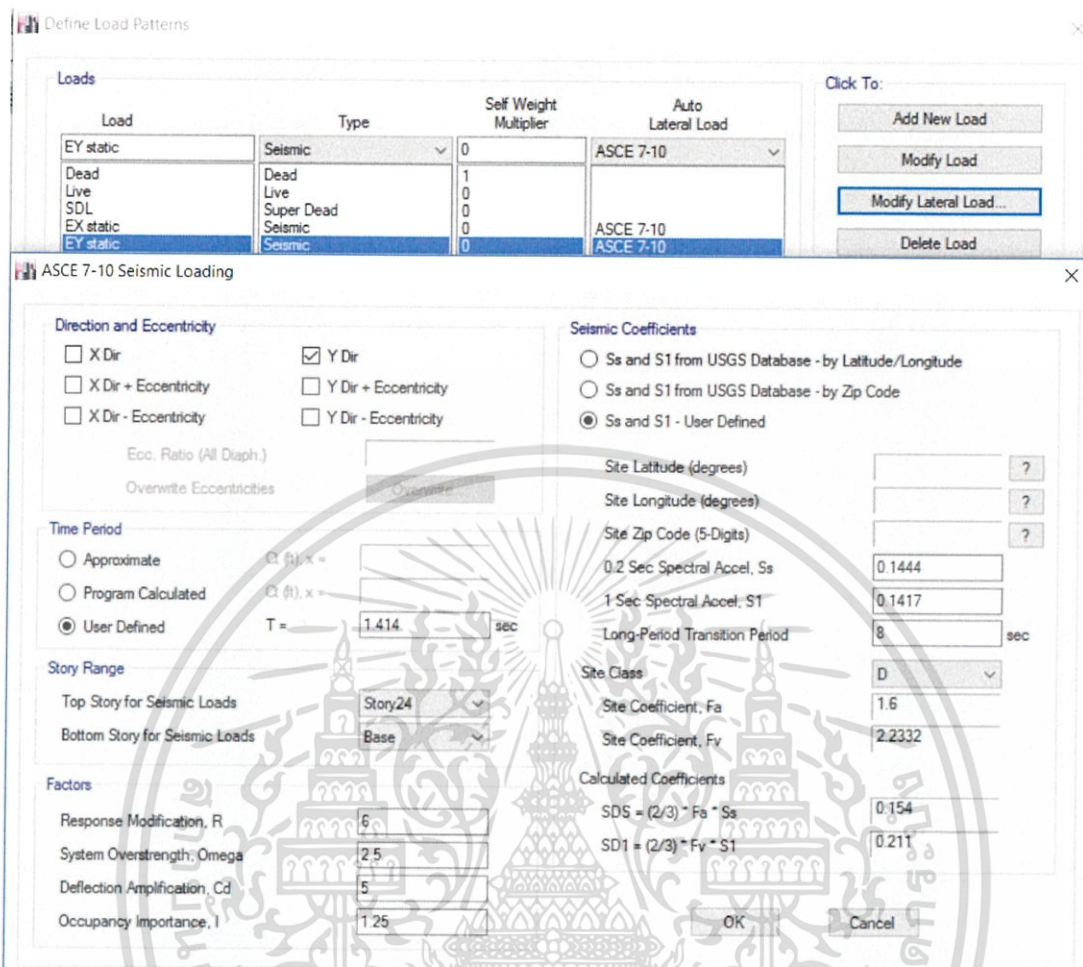
ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ				
พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ zone 4		ชั้นดินประเภท E ชั้นดินอ่อน		
ประเภทความสำคัญของอาคาร(III)		=1.25	อาคารประเภท ก	
Sa	at T=0.2 s	= 0.154	=	SDS
	at T=1 s	= 0.211	=	SD1
S	สัมประสิทธิ์ประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้ง			= 2.5
ออกแบบโดยพิจารณาตามค่าSD1				
ระบบโครงอาคาร		R	Ω_0	Cd
กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ		6	2.5	5
อาคารมีความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวราบประเภท		=3.ความไม่สม่ำเสมอจากการหักมุมเข้าข้างใน		
อาคารมีความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวตั้งประเภท		=1ก ความไม่สม่ำเสมอของสติเฟเนสแบบความไม่ต่อเนื่องของเสา		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



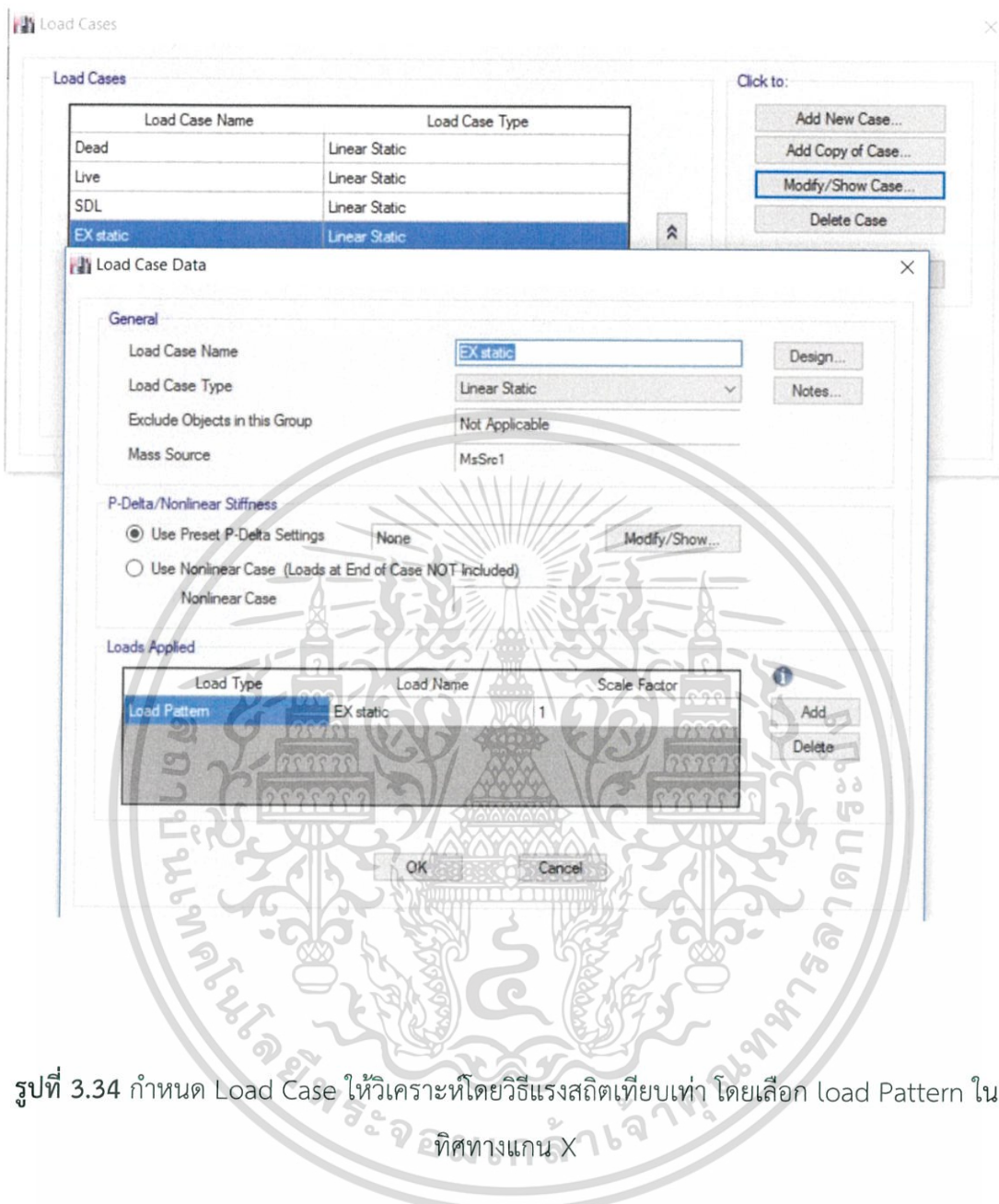
รูปที่ 3.32 กำหนด Load Pattern ทิศทางแรงแผ่นดินไหวในแนวแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



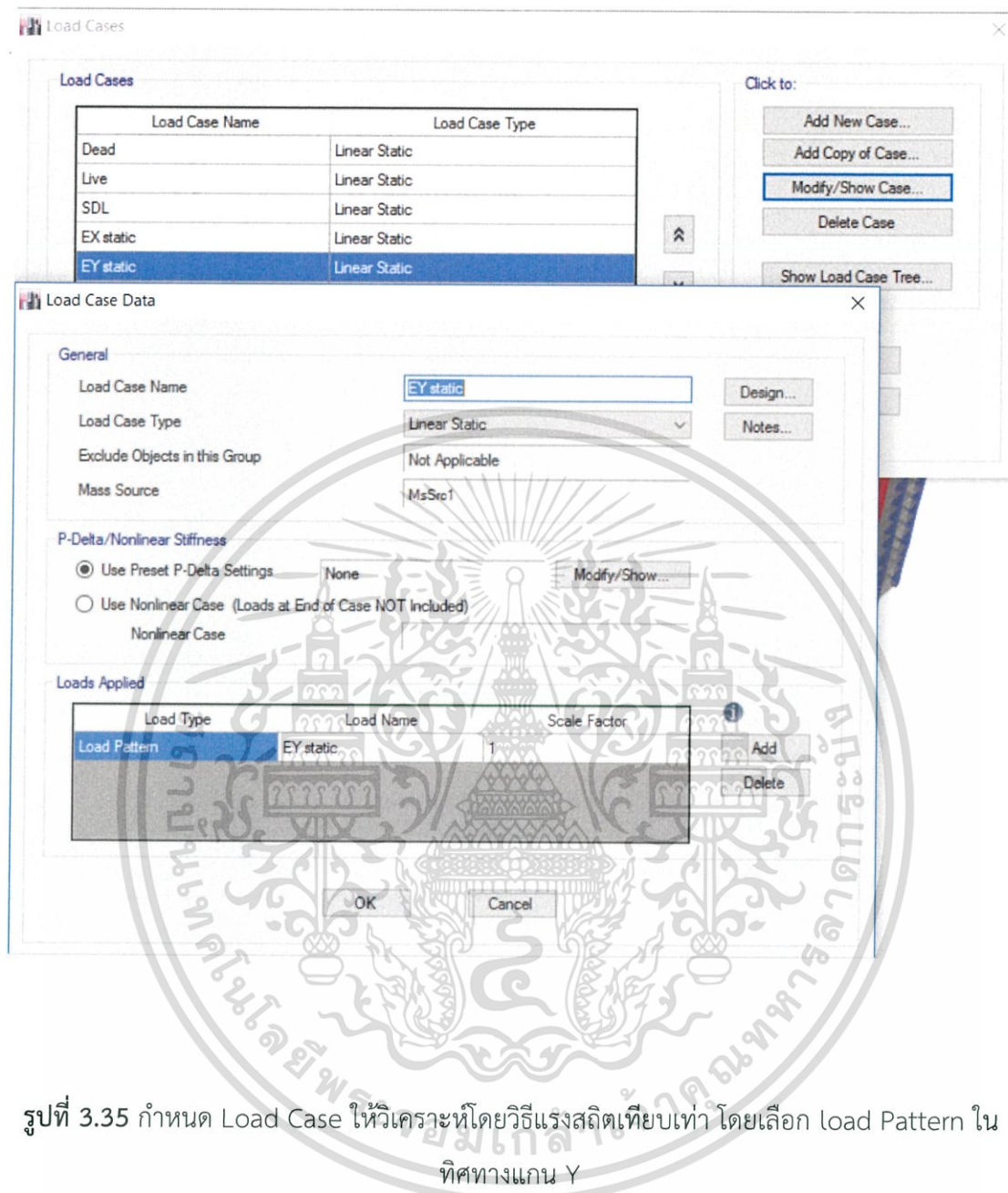
รูปที่ 3.33 กำหนด Load Pattern ทิศทางแรงแผ่นดินไหวในแนวแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 กำหนด Load Case ให้วิเคราะห์โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า โดยเลือก load Pattern ในทิศทางแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

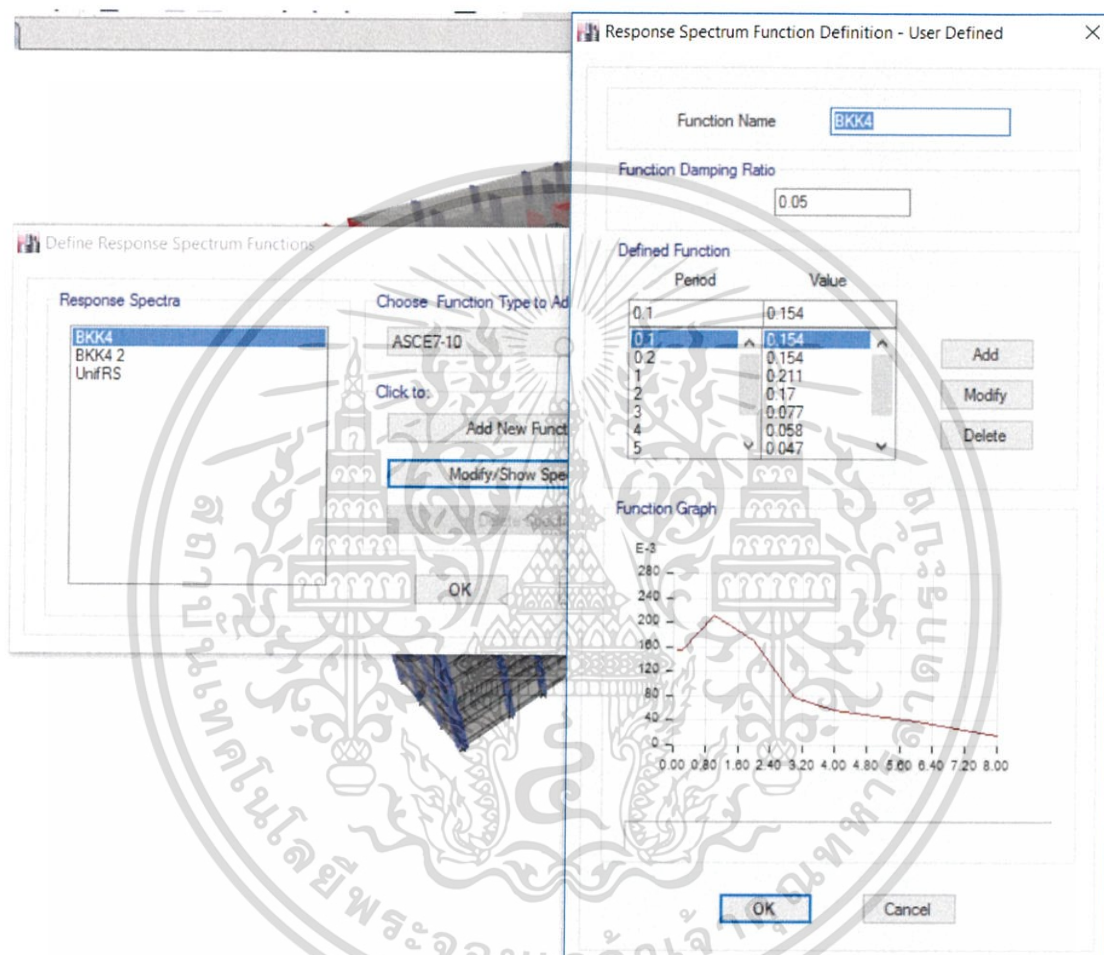


รูปที่ 3.35 กำหนด Load Case ให้วิเคราะห์โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า โดยเลือก load Pattern ในทิศทางแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

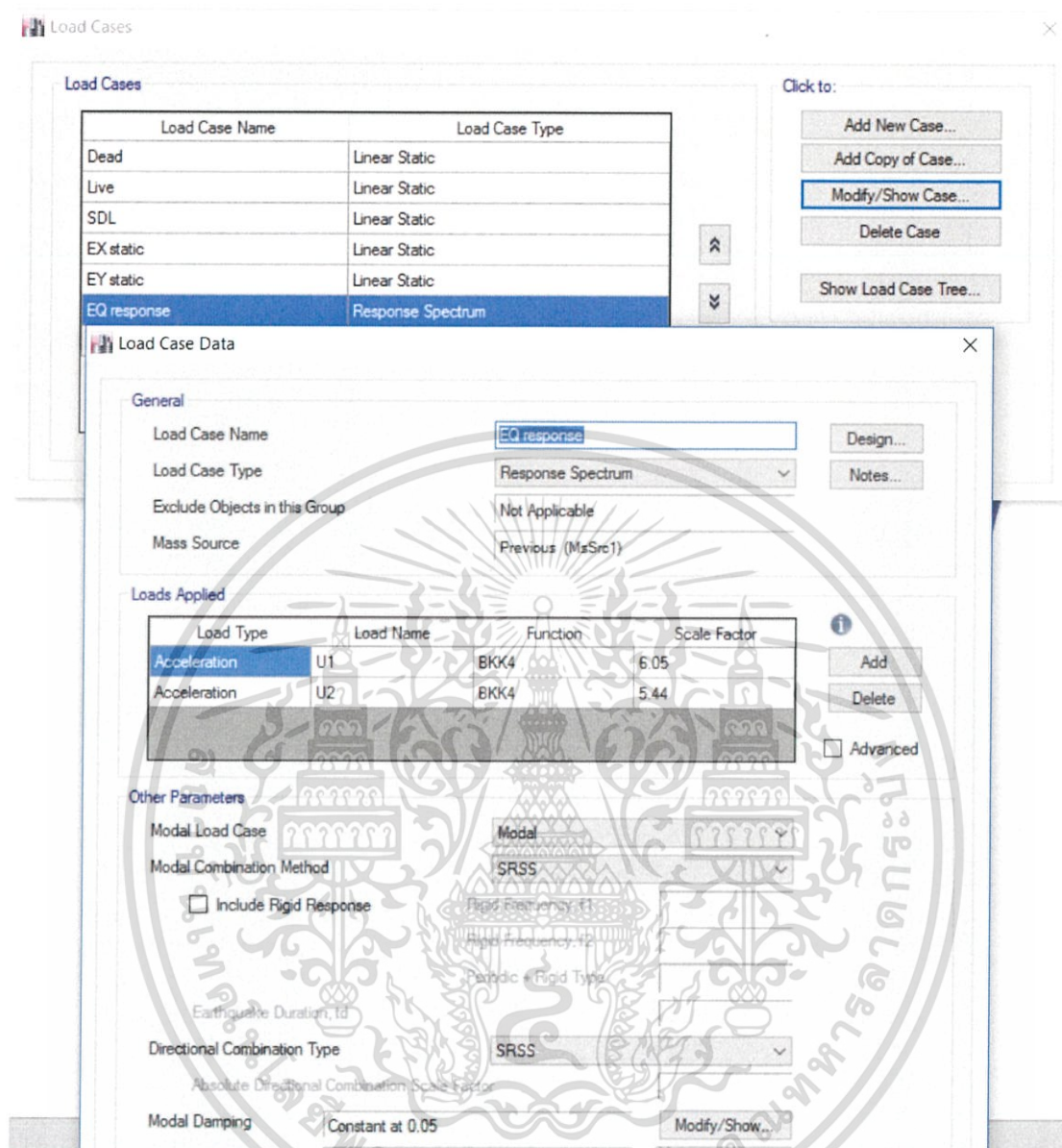
กำหนดรายละเอียดแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (มยผ. 1302)

การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด ใช้มาตรฐาน ASCE 7-10 ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกับมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ 1302) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.36 กำหนดค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

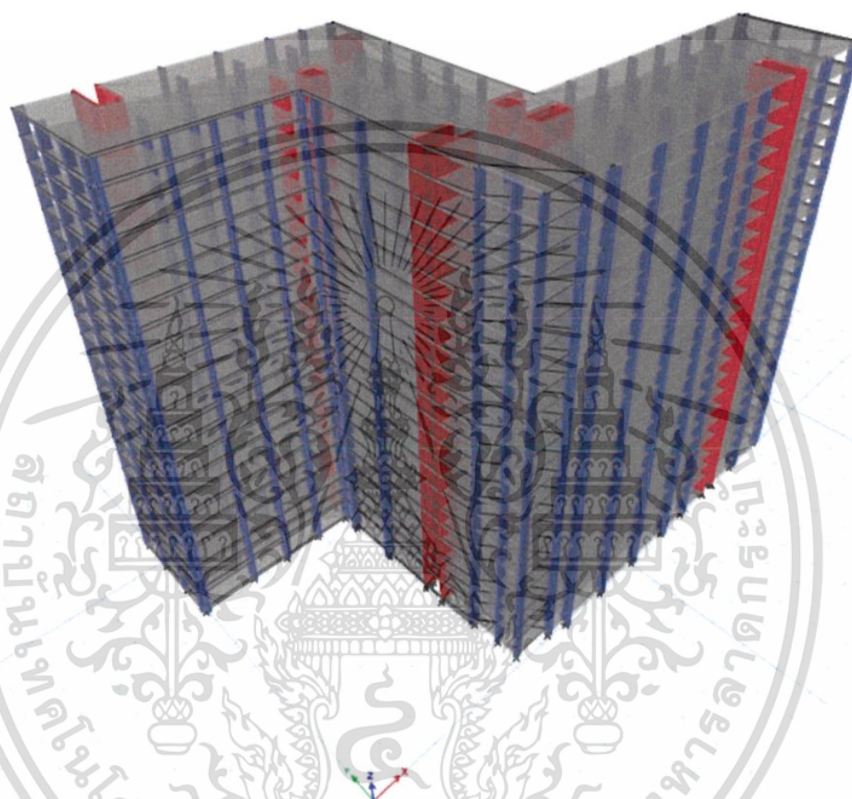


รูปที่ 3.37 กำหนด Load case และปรับค่า Scale factor โดยให้ค่า Base shear ใกล้เคียงกันทั้ง

สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากกำหนด Load pattern และ Load case และปรับค่า Scale factor โดยให้ค่าแรงเฉือนที่ฐาน (Base shear) ใกล้เคียงกันตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ 1302) หลังจากนั้นทำการ Run เพื่อวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนตัวทางข้างของอาคาร (Story displacement) และค่าการเคลื่อนตัวในแต่ละชั้น (Story drifts)



รูปที่ 3.38 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

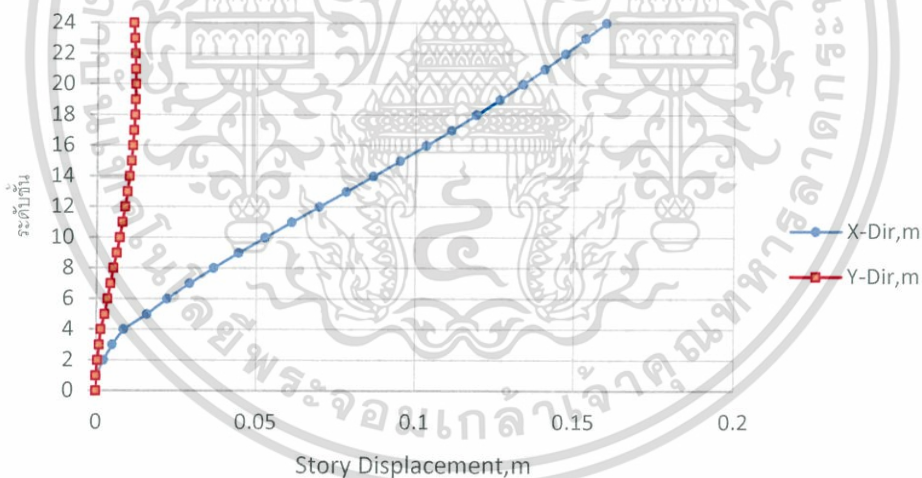
ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีสถิตเชิงเส้น

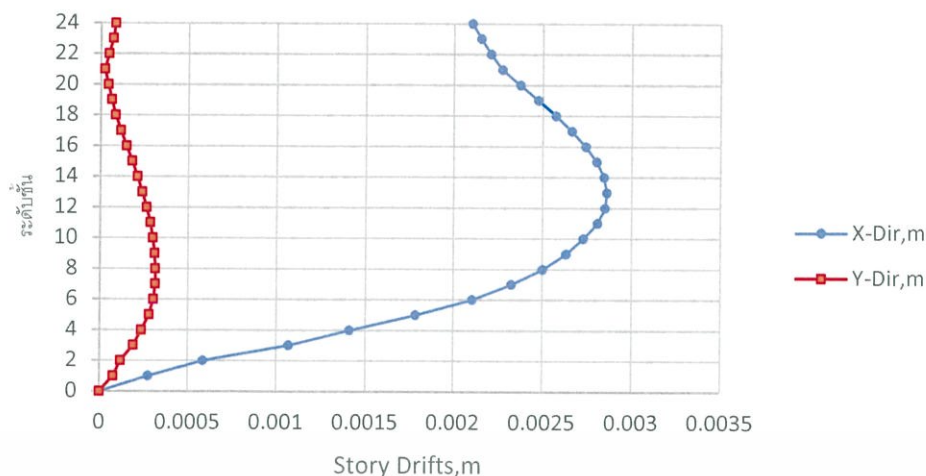
โดยในการวิเคราะห์แบบสถิตเชิงเส้นจะใช้ทฤษฎีแรงสถิตเทียบเท่า(Equivalent Static) ที่ได้จากมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยพ.1302) ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1.1

จากมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยพ.1302) จะได้ค่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างจากฐานอาคารในแต่ละชั้น (Lateral Displacement)

ของแต่ละทิศทาง และ ค่าการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ในแต่ละชั้น (Story Drifts) ของแต่ละทิศทางเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำในแต่ละแกน ดังนี้



รูปที่ 4.1 ค่าการการเคลื่อนตัวสูงสุดทางด้านข้างของอาคาร (Story Displacement) ในแต่ละชั้นเมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน X (วิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า)

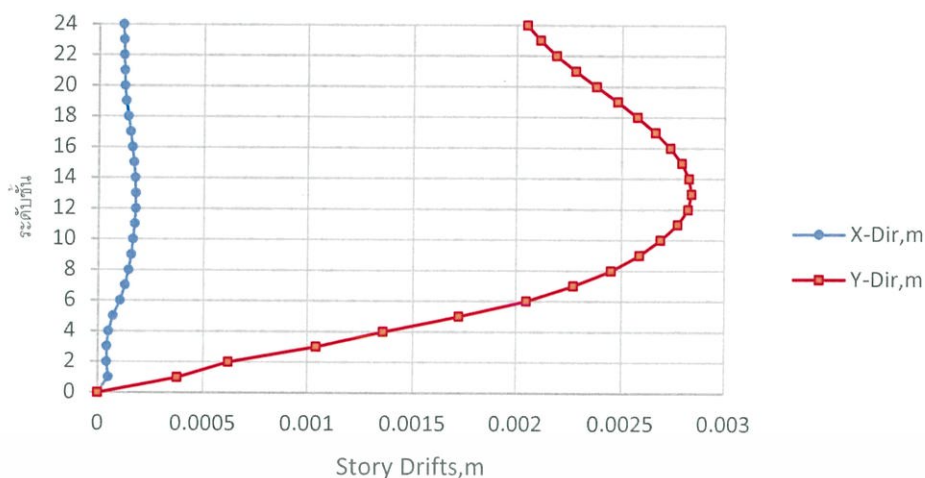


รูปที่ 4.2 ค่าการการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์สูงสุดของอาคาร(Story Drifts)ในแต่ละชั้นเมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน X (วิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า)



รูปที่ 4.3 ค่าการการเคลื่อนตัวสูงสุดทางด้านข้างของอาคาร(Story Displacement)ในแต่ละชั้นเมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y (วิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



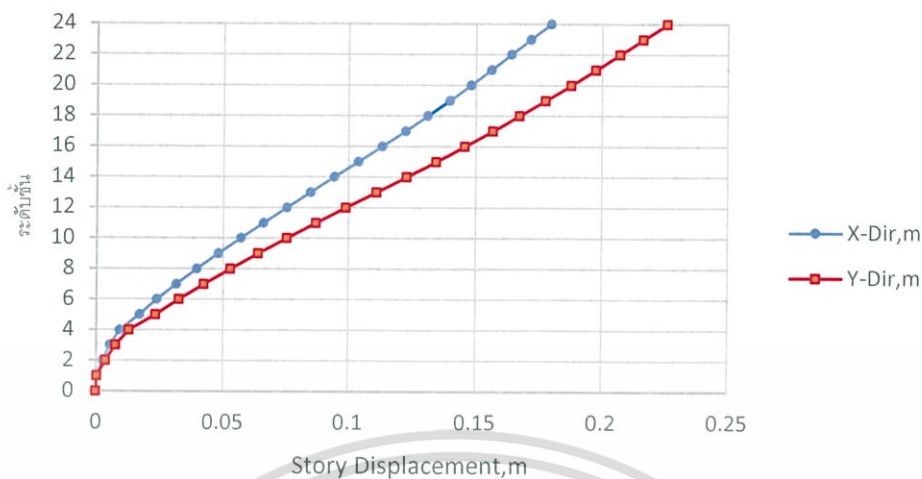
รูปที่ 4.4 ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์สูงสุดของอาคาร(Story Drifts)ในแต่ละชั้นเมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y (วิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า)

4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีพลศาสตร์เชิงเส้น

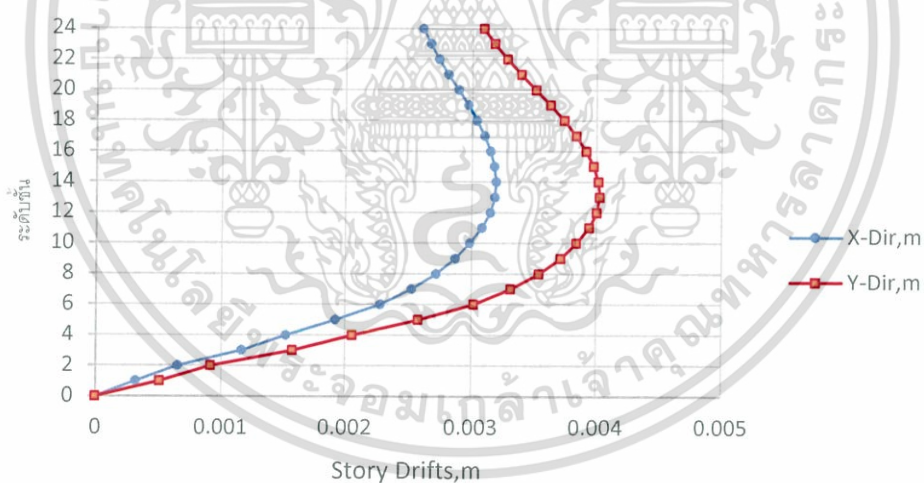
โดยในการวิเคราะห์แบบวิธี (Responses Spectrum) ที่ได้จากมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1302) ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1.2

จากมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1302) จะได้ค่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างจากฐานอาคารที่แต่ละชั้น (Lateral Displacement)

ของแต่ละทิศทาง และ ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในแต่ละชั้น(Story Drifts)ของแต่ละทิศทางเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำในแต่ละแกน ดังนี้



รูปที่ 4.5 ค่าการการเคลื่อนตัวสูงสุดทางด้านข้างของอาคาร(Story Displacement)ในแต่ละชั้นเมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน X และ Y (วิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมต)



รูปที่ 4.6 ค่าการการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์สูงสุดของอาคาร(Story Drifts)ในแต่ละชั้นเมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน X และ Y (วิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมต)

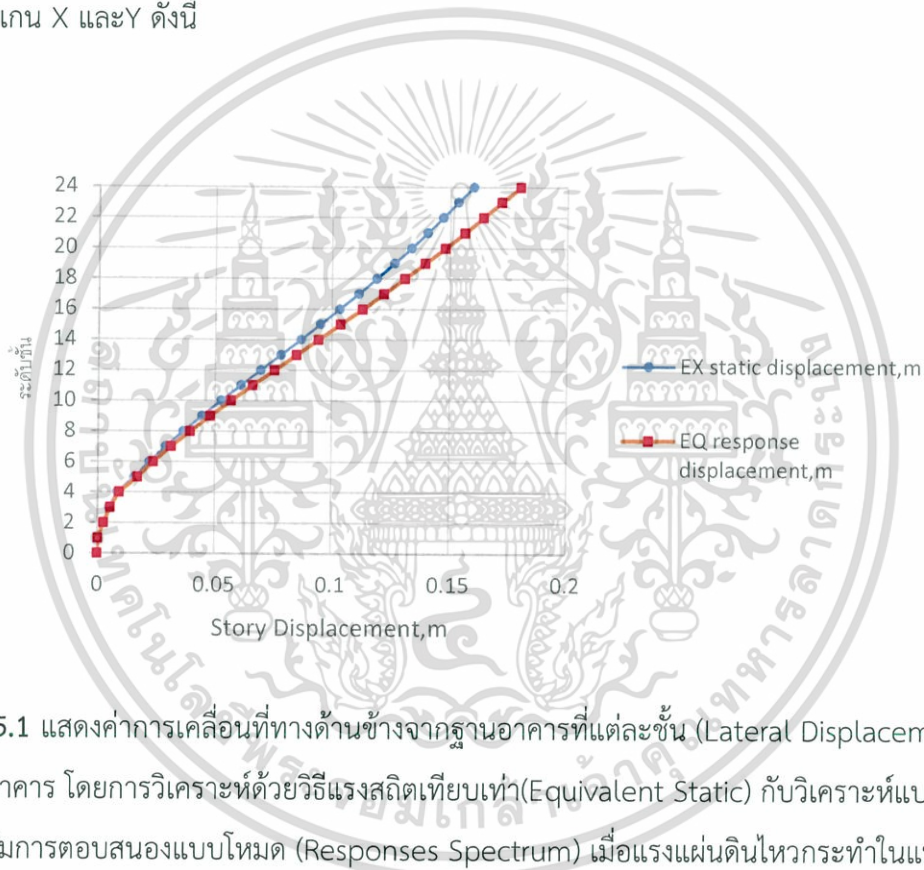
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

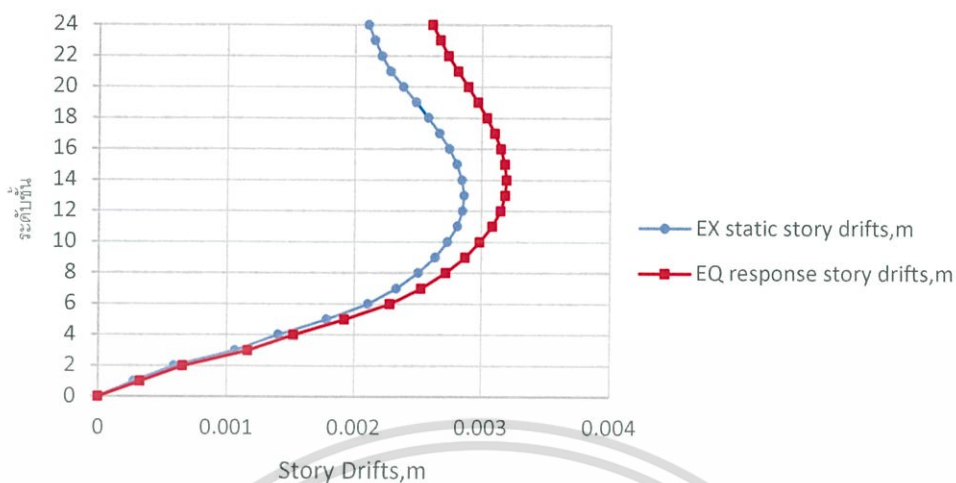
5.1 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร

เมื่อโครงสร้างได้รับแรงกระทำทางด้านข้าง(Lateral Loads) เนื่องจากแรงแผ่นดินไหว โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า(Equivalent Static) กับวิเคราะห์แบบวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Responses Spectrum) จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drifts) และการเคลื่อนที่ทางด้านข้างจากฐานอาคารที่แต่ละชั้น (Lateral Displacement) ทั้งในทิศทางแกน X และ Y ดังนี้

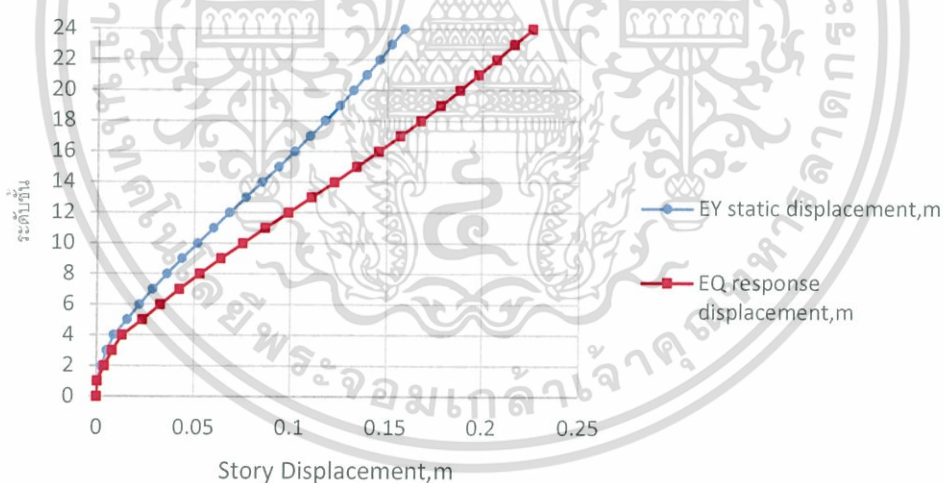


รูปที่ 5.1 แสดงค่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างจากฐานอาคารที่แต่ละชั้น (Lateral Displacement) ของอาคาร โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า(Equivalent Static) กับวิเคราะห์แบบวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Responses Spectrum) เมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน

X



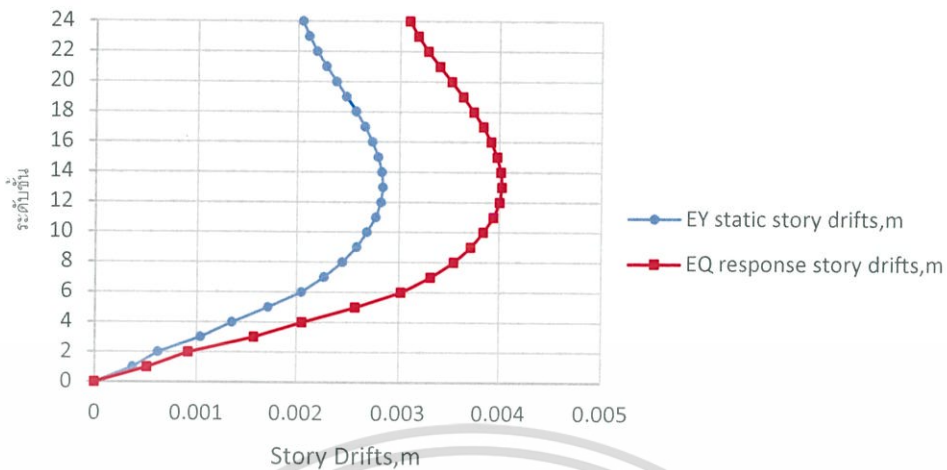
รูปที่ 5.2 แสดงค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drifts) ของอาคาร โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static) กับวิเคราะห์แบบวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Responses Spectrum) เมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน X



รูปที่ 5.3 แสดงค่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างจากฐานอาคารที่แต่ละชั้น (Lateral Displacement) ของอาคาร โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static) กับวิเคราะห์แบบวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Responses Spectrum) เมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน

Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drifts) ของอาคาร โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า(Equivalent Static) กับวิเคราะห์แบบวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Responses Spectrum) เมื่อแรงแผ่นดินไหวกระทำในแนวแกน Y

ซึ่งจากรูป 5.1-5.4 จะเห็นได้ว่าค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drifts) หรือ ค่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างจากฐานอาคารที่แต่ละชั้น (Lateral Displacement) ของอาคาร โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Responses Spectrum) จะให้ค่ามากกว่า วิธีแรงสถิตเทียบเท่า(Equivalent Static) ดังนั้นถ้านำผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า ไปออกแบบจะได้รูปแบบและขนาดขององค์อาคารที่เล็กและมีสตีเฟนน้อยเกินไปจนทำให้ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน

5.2 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) สำหรับโครงสร้างจริงที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง ความไม่สม่ำเสมอของสตีฟเนส (Stiffness-Soft Story Irregularity) และมีความไม่สม่ำเสมอในแนวราบ ความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าใน (Reentrant Corner Irregularity) โดยกำหนดให้อาคารรับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity Loads) และแรงกระทำทางข้าง (Lateral Loads) เนื่องจากแรงแผ่นดินไหว พบว่าในการวิเคราะห์และออกแบบควรใช้วิธีวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum) เนื่องจาก

- 1.อาคารสูงมักมีความซับซ้อนและการสั่นไหวในหลายโหมด การใช้วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum) จะได้ผลที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของโครงสร้างมากกว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static)
- 2.ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum) เมื่อนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างจะทำให้โครงสร้างมีความปลอดภัยมากกว่า ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static)

บรรณานุกรม

- [1] กรมโยธาธิการและผังเมือง. 2552. มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302. กรุงเทพฯ
- [2] The Thailand Research Fund (TRF) ; <http://www.trf.or.th/home/about-trf>
- [3] ไพบุลย์ ปัญญาคะโป. 2545. การออกแบบอาคาร Building Design. กรุงเทพฯ : รุ่งแสงการพิมพ์.
- [4] กิตติ เตชะศิริประภา. 2554. การเปรียบเทียบการเซตตัวต้านข้างของอาคารที่มีรูปแบบไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งระหว่างวิธีแรงสถิตเทียบเท่า กับวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด
- [5] บุรินทร์ เวชบรรเทิง. ความรู้พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับแผ่นดินไหว : สำนักแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา.





ภาคผนวก

ข้อมูลที่ใช้จากตารางใน มยผ.1302

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ข้อมูลที่ใช้จากตารางใน มยพ.1302

ตารางที่ 1 ความเร่งการตอบสนองเชิงสเปคตรัมที่คาบ
เส้น S_5 และที่คาบ 1 วินาที S_1 ของแผ่นดินไหวสูงสุดที่
พิจารณา

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_1	S_5
กระบี่	กิ่งอำเภอเหนือคลอง	0.113	0.102
	เกาะลันตา	0.110	0.108
	เขาพนม	0.105	0.097
	คลองท่อม	0.099	0.099
	ปลายพระยา	0.110	0.100
	เมืองกระบี่	0.123	0.105
	ลำทับ	0.059	0.092
	อ่าวลึก	0.160	0.113
กาญจนบุรี	ตำบลมะขามเตี้ย	0.876	0.253
	ทองผาภูมิ	0.689	0.199
	ท่าวุ้ง	0.826	0.238
	ทิวมะคา	0.475	0.138
	ไทรโยค	0.698	0.202
	บ่อพลอย	0.593	0.172
	พนมทวน	0.429	0.127
	เมืองกาญจนบุรี	0.704	0.205
	เลาขวัญ	0.435	0.128
	ศรีสวัสดิ์	0.673	0.195
	สังขละบุรี	0.777	0.233
	หนองปรือ	0.595	0.171
ห้วยกระเจา	0.491	0.144	
กาฬสินธุ์	กมลาไสย	0.046	0.028
	กิ่งอำเภอจั้งชัย	0.046	0.028
	กิ่งอำเภอคอนจาน	0.048	0.028
	กิ่งอำเภอนาคู	0.055	0.029
	กิ่งอำเภอสามชัย	0.062	0.031
	กุฉินารายณ์	0.049	0.028
	เขาวง	0.054	0.029
	คำม่วง	0.059	0.031
	ท่าคันโท	0.073	0.033
	นามน	0.050	0.029
	เมืองกาฬสินธุ์	0.048	0.028
	ยางตลาด	0.048	0.028

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_1	S_5
	ร่องคำ	0.045	0.027
	สมเด็จ	0.053	0.030
	สหัสขันธ์	0.055	0.030
	หนองกุงศรี	0.056	0.030
	ห้วยผึ้ง	0.052	0.029
	ห้วยเม็ก	0.054	0.030
กำแพงเพชร	กิ่งอำเภอโคกสิงหนคร	0.479	0.131
	กิ่งอำเภอบึงสามัคคี	0.219	0.074
	ขามเฒ่า	0.374	0.105
	คลองขลุง	0.345	0.102
	คลองลาน	0.499	0.144
	ทรายทองวัฒนา	0.266	0.085
	โกรงาม	0.266	0.083
	ปางศิลาทอง	0.493	0.141
ขอนแก่น	พรมนครต่าย	0.445	0.115
	เมืองกำแพงเพชร	0.448	0.120
	ลานกระบือ	0.341	0.093
	กระนวน	0.061	0.031
	กิ่งอำเภอโคกโพธิ์ไชย	0.050	0.030
ขอนแก่น	กิ่งอำเภอซำสูง	0.054	0.030
	กิ่งอำเภอโนนศิลา	0.045	0.029
	กิ่งอำเภอบ้านแฮด	0.049	0.029
	กิ่งอำเภอหนองนาคำ	0.093	0.036
	เขาสวนกวาง	0.077	0.033
	ชนบท	0.048	0.029
	ชุมแพ	0.086	0.035
	น้ำพอง	0.065	0.032
	บ้านไผ่	0.047	0.029
	บ้านฝาง	0.057	0.031
	เปือยน้อย	0.043	0.028
	พระยืน	0.053	0.030
	พล	0.044	0.029
ภูผาม่าน	0.125	0.039	
ภูเวียง	0.076	0.034	
มัญจาคีรี	0.050	0.030	
เมืองขอนแก่น	0.054	0.030	
เวียงน้อย	0.045	0.029	
เวียงใหญ่	0.047	0.029	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามไว้แล้วให้กับ การใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ความแรงตอบสนอง		จังหวัด	อำเภอ	ความแรงตอบสนอง	
		(g)				(g)	
		S ₁	S ₂			S ₁	S ₂
	สีชมพู	0.106	0.037		คอนสวรรค์	0.048	0.030
	หนองเรือ	0.060	0.032		คอนสาร	0.118	0.038
	หนองสองห้อง	0.042	0.028		จัตุรัส	0.045	0.032
	อุบลรัตน์	0.075	0.033		เทพสถิต	0.048	0.035
จันทบุรี	กิ่งอำเภอเขาฉกรรจ์	0.044	0.030		เนินสง่า	0.045	0.031
	กิ่งอำเภอนายายอาม	0.051	0.033		บ้านขวัญ	0.049	0.032
	แก่งหางแมว	0.051	0.032		บ้านแท่น	0.062	0.032
	ขลุง	0.040	0.029		บำเหน็จณรงค์	0.047	0.033
	ท่าใหม่	0.044	0.031		ภักดีชุมพล	0.061	0.036
	โป่งน้ำร้อน	0.040	0.029		ภูเขียว	0.062	0.032
	มะขาม	0.041	0.030		เมืองชัยภูมิ	0.047	0.031
	เมืองจันทบุรี	0.042	0.030		หนองบัวแดง	0.061	0.034
	สอยดาว	0.041	0.029		หนองบัวระเหว	0.050	0.033
	แหลมสิงห์	0.042	0.031				
ฉะเชิงเทรา	ท่าตะเกียบ	0.059	0.034	ชุมพร	ท่าแซะ	0.093	0.078
	แปลงยาว	0.106	0.041		ทุ่งตะโก	0.081	0.079
	พนมสารคาม	0.064	0.036		ปะทิว	0.085	0.075
	สนามชัยเขต	0.077	0.038		พะโต๊ะ	0.091	0.093
ชลบุรี	กิ่งอำเภอเกาะจันทร์	0.118	0.041		เมืองชุมพร	0.088	0.080
	เกาะสีชัง	0.186	0.054		ละแม	0.081	0.082
	บ่อทอง	0.105	0.039		สวี	0.082	0.080
	บางละมุง	0.144	0.047		หลังสวน	0.082	0.082
	บ้านบึง	0.149	0.044	เชิงราช	กิ่งอำเภอค้อยหลวง	0.924	0.270
	พนัสนิคม	0.140	0.044		กิ่งอำเภอเวียงเชียงรุ้ง	0.833	0.241
	ศรีราชา	0.177	0.049		ขุนตาล	0.650	0.169
	สัตหีบ	0.140	0.047		เชียงของ	0.706	0.191
	หนองใหญ่	0.119	0.040		เชียงแสน	0.935	0.273
ชัยนาท	กิ่งอำเภอเนินขาม	0.351	0.111		เทิง	0.619	0.157
	กิ่งอำเภอหนองมะโมง	0.378	0.114		ป่าแดด	0.618	0.154
	มโนรมย์	0.143	0.065		พญาเหม็งราย	0.672	0.180
	เมืองชัยนาท	0.161	0.070		พาน	0.656	0.173
	วัดสิงห์	0.200	0.079		เมืองเชียงราช	0.798	0.232
	สรรคบุรี	0.151	0.069		แม่จัน	0.940	0.278
	สรรพยา	0.116	0.060		แม่ฟ้าหลวง	0.929	0.275
	หันคา	0.212	0.083		แม่ลาว	0.735	0.211
ชัยภูมิ	กิ่งอำเภอซับใหญ่	0.048	0.034		แม่สรวย	0.749	0.209
	เกษตรสมบูรณ์	0.080	0.035		แม่สาย	0.933	0.273
	แก้งคร้อ	0.053	0.032		เวียงแก่น	0.683	0.175
					เวียงชัย	0.753	0.215

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง		จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง		
		(g)				(g)		
		S_1	S_2			S_1	S_2	
	เวียงป่าเป้า	0.759	0.194		คลองใหญ่	0.033	0.023	
เชียงใหม่	กิ่งอำเภอคอกยหล่อ	0.832	0.248		คลองใหญ่	0.034	0.023	
	กิ่งอำเภอแม่ออน	0.740	0.187		บ่อไร่	0.037	0.027	
	จอมทอง	0.796	0.243		เมืองตราด	0.036	0.027	
	เชียงดาว	0.933	0.266		แหลมงอบ	0.037	0.028	
	ไชยปราการ	0.909	0.262	ตาก	กิ่งอำเภอวังเจ้า	0.485	0.135	
	คอยเต่า	0.739	0.237		ท่าสองยาง	0.664	0.184	
	คอยสะแก	0.821	0.225		บ้านตาก	0.498	0.153	
	ฝาง	0.927	0.271		พบพระ	0.500	0.152	
	พร้าว	0.850	0.237		เมืองตาก	0.481	0.140	
	เมืองเชียงใหม่	0.878	0.248		แม่ระมาด	0.575	0.171	
	แม่แจ่ม	0.776	0.242		แม่สอด	0.525	0.154	
	แม่แตง	0.914	0.260		สามเงา	0.509	0.162	
	แม่ริม	0.896	0.254		อุ้มผาง	0.544	0.162	
	แม่แตง	0.847	0.248		นครปฐม	กำแพงแสน	0.265	0.093
	แม่อาว	0.963	0.283	นครพนม	กิ่งอำเภอวังยาง	0.098	0.033	
	เวียงแหง	0.959	0.273		ท่าอุเทน	0.326	0.065	
	สะเมิง	0.884	0.258		ธาตุพนม	0.096	0.032	
	สันกำแพง	0.835	0.230		นาแก	0.081	0.031	
	สันทราย	0.890	0.251		นาทม	0.274	0.059	
	สันป่าตอง	0.844	0.244		นาหว้า	0.139	0.040	
	สารภี	0.847	0.236		บ้านแพง	0.356	0.073	
	หางดง	0.853	0.243		ปลาปาก	0.134	0.038	
	อมก๋อย	0.771	0.244		โพนสวรรค์	0.229	0.050	
	ฮอด	0.744	0.237		เมืองนครพนม	0.299	0.060	
	ศรีสะเกษ	กันตัง	0.091		0.096	เรณูนคร	0.120	0.035
		กิ่งอำเภอนาโง	0.082		0.090	ศรีสงคราม	0.245	0.054
กิ่งอำเภอร้อยภู		0.079	0.085		นครราชสีมา	กิ่งอำเภอเทพารักษ์	0.047	0.035
กิ่งอำเภอหาดสำราญ		0.092	0.097	กิ่งอำเภอนับไย		0.043	0.029	
ปะเหลียน		0.087	0.094	กิ่งอำเภอพระทองคำ		0.043	0.031	
เมืองศรีสะเกษ		0.084	0.092	กิ่งอำเภอเมืองยาง		0.039	0.027	
ย่านตาขาว		0.085	0.093	กิ่งอำเภอลำทะเมนชัย		0.039	0.026	
วังวิเศษ		0.089	0.094	กิ่งอำเภอสีดา		0.042	0.028	
สิเกา		0.093	0.097	แก้งสามนาง		0.045	0.030	
ห้วยยอด	0.085	0.092	ขามทะเลสอ	0.042		0.031		
			ขามสะแกแสง	0.043		0.030		
ตราด	เกาะกูด	0.036	0.027	คง	0.041	0.028		
	เกาะช้าง	0.038	0.029	ครบุรี	0.040	0.029		
	เขาสมิง	0.038	0.028					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง		จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง			
		(๒)				(๒)			
		S_1	S_2			S_1	S_2		
	จักราช	0.039	0.028	นครสวรรค์	พิบูน	0.074	0.079		
	เฉลิมพระเกียรติ	0.040	0.029		เมืองนครสวรรค์	0.068	0.073		
	ชุมพวง	0.039	0.027		วิเศษชัยชาญ	0.072	0.078		
	โชคชัย	0.040	0.029		ลานสกา	0.072	0.077		
	คำนูนทอง	0.045	0.033		สิชล	0.065	0.068		
	โนนแดง	0.041	0.028		หัวไทร	0.066	0.070		
	โนนไทย	0.043	0.031		กิ่งอำเภอชุมตาบง	0.471	0.136		
	โนนสูง	0.041	0.029		กิ่งอำเภอแม่เปิน	0.503	0.146		
	บัวใหญ่	0.043	0.029		แก่งเลี้ยว	0.176	0.067		
	บ้านเหลื่อม	0.045	0.031		โกรกพระ	0.226	0.081		
	ประทาย	0.041	0.028		ชุมแสง	0.116	0.055		
	ปักธงชัย	0.042	0.032		ตากฟ้า	0.082	0.050		
	ปากช่อง	0.047	0.036		ตากสิน	0.103	0.056		
	พิมาย	0.040	0.028		ท่าตะโก	0.086	0.049		
	เมืองนครราชสีมา	0.041	0.030		บรรพตพิสัย	0.229	0.078		
	วังน้ำเขียว	0.043	0.032		พยุหะคีรี	0.159	0.068		
	สีคิ้ว	0.043	0.033		ไพศาลี	0.072	0.046		
	สูงเนิน	0.043	0.032		เมืองนครสวรรค์	0.175	0.069		
	เสิงสาง	0.038	0.027		แม่वंค	0.491	0.142		
	หนองบุญนา	0.039	0.028		ลาดยาว	0.454	0.127		
	ห้วยแถลง	0.039	0.027		หนองบัว	0.081	0.047		
	นครสวรรค์	กิ่งอำเภอช้างกลาง	0.075		0.081	นราธิวาส	จะแนะ	0.063	0.062
		กิ่งอำเภอบึงนาราง	0.071		0.075		เจาะไอร้อง	0.058	0.057
ขอม		0.065	0.067	ตากใบ	0.056		0.054		
จุฬาภรณ์		0.073	0.079	บาเจาะ	0.058		0.058		
ฉวาง		0.077	0.083	เมืองนราธิวาส	0.057		0.056		
เฉลิมพระเกียรติ		0.069	0.074	ยี่งอ	0.059		0.058		
ชะอวด		0.071	0.077	ระแงะ	0.060		0.059		
เข็ญใหญ่		0.067	0.071	รือเสาะ	0.062		0.061		
ถ้าพระมรธา		0.081	0.086	แว้ง	0.061		0.059		
ท่าศาลา		0.067	0.071	ศรีสาคร	0.064		0.062		
ทุ่งสง		0.076	0.082	สุคีริน	0.062		0.060		
ทุ่งใหญ่		0.083	0.088	สุไหงโก-ลก	0.059		0.057		
นบอน		0.077	0.083	สุไหงปาตี	0.059		0.057		
บางขัน		0.082	0.089	น่าน	กิ่งอำเภอภูเพียง		0.641	0.154	
ปากพนัง		0.065	0.068		เฉลิมพระเกียรติ		0.636	0.147	
พรหมคีรี		0.070	0.074		เข็ญกลาง		0.834	0.215	
พระพรหม		0.069	0.074		ท่าวังหา		0.893	0.222	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ความแรงตอบสนอง		จังหวัด	อำเภอ	ความแรงตอบสนอง	
		(๕)				(๕)	
		S ₁	S ₂			S ₁	S ₂
	ทุ่งช้าง	0.766	0.192		บางสะพานน้อย	0.116	0.074
	นาน้อย	0.544	0.124		ปราณบุรี	0.283	0.085
	นาหมื่น	0.571	0.129		เมืองประจวบคีรีขันธ์	0.279	0.086
	บ่อเกลือ	0.596	0.138		หัวหิน	0.245	0.081
	บ้านหลวง	0.572	0.132	ปราจีนบุรี	กบินทร์บุรี	0.047	0.033
	ปัว	0.874	0.235		นาดี	0.045	0.033
	เมืองน่าน	0.629	0.150		ประจันตคาม	0.051	0.035
	แม่จิม	0.565	0.133		เมืองปราจีนบุรี	0.053	0.036
	เวียงสา	0.540	0.126		ศรีมหาโพธิ์	0.054	0.034
	สองแคว	0.697	0.167		ศรีวิหะสล	0.063	0.037
	สันติสุข	0.714	0.177	ปัตตานี	กิ่งอำเภอกะพ้อ	0.060	0.059
บุรีรัมย์	กระสัง	0.036	0.024		กิ่งอำเภอทุ่งยางแดง	0.061	0.061
	กิ่งอำเภอแคนดง	0.038	0.026		กิ่งอำเภอแม่ลาน	0.064	0.064
	กิ่งอำเภอบ้านด่าน	0.037	0.025		กิ่งอำเภอไม้แก่น	0.058	0.057
	คูเมือง	0.038	0.026		โคกโพธิ์	0.065	0.067
	เฉลิมพระเกียรติ	0.036	0.025		ปะนาเระ	0.058	0.059
	ชำนิ	0.037	0.026		มาบ	0.061	0.061
	นางรอง	0.037	0.026		เมืองปัตตานี	0.062	0.062
	นาโพธิ์	0.041	0.027		ยะรัง	0.062	0.062
	โนนดินแดง	0.036	0.026		ยะหริ่ง	0.060	0.061
	โนนสุวรรณ	0.037	0.027		สายบุรี	0.058	0.058
	บ้านกรวด	0.034	0.024		หนองจิก	0.064	0.065
	บ้านใหม่ไชยพจน์	0.041	0.027	พระนครศรี-	ท่าเรือ	0.078	0.048
	ประโคนชัย	0.035	0.024	-อยุธยา	นครหลวง	0.096	0.053
	ปะคำ	0.036	0.026		บางซ้าย	0.150	0.065
	พลับพลาชัย	0.035	0.024		บางบาล	0.111	0.056
	พุทไธสง	0.040	0.027		บางปะหัน	0.103	0.055
	เมืองบุรีรัมย์	0.036	0.025		บ้านแพรก	0.090	0.052
	ละหานทราย	0.036	0.025		ศีลไทร	0.138	0.063
	ลำปลายมาศ	0.037	0.026		พระนครศรีอยุธยา	0.104	0.055
	สตึก	0.037	0.025		ภาชี	0.083	0.049
	หนองกี่	0.038	0.027		มหาราช	0.096	0.053
	หนองหงส์	0.038	0.027	พะเยา	กิ่งอำเภอภูพานยาว	0.616	0.143
	หัวราช	0.036	0.025		กิ่งอำเภอภูซาง	0.608	0.144
ประจวบคีรีขันธ์	กิ่งอำเภอสามร้อยยอด	0.306	0.088		จุน	0.597	0.139
	กุยบุรี	0.302	0.086		เชียงคำ	0.603	0.141
	ทับสะแก	0.184	0.079		เชียงม่วน	0.580	0.132
	บางสะพาน	0.144	0.078		ดอกคำใต้	0.605	0.138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ความแรงตอบสนอง		จังหวัด	อำเภอ	ความแรงตอบสนอง		
		(g)				(g)		
		S_1	S_2			S_1	S_2	
	ป่ง	0.584	0.136		บางกระทุ่ม	0.146	0.056	
	เมืองพะเยา	0.630	0.146		บางระกำ	0.279	0.078	
	แม่ใจ	0.641	0.155		พรหมพิราม	0.426	0.104	
พิจิตร	กะปง	0.136	0.117		เมืองพิษณุโลก	0.259	0.074	
	เกาะฮาว	0.179	0.118		วังทอง	0.236	0.068	
	คุระบุรี	0.110	0.116		วัดโบสถ์	0.381	0.091	
	ตะกั่วทุ่ง	0.176	0.119	เพชรบูรณ์	แก่งกระจาน	0.272	0.109	
	ตะกั่วป่า	0.122	0.119		ชะอำ	0.188	0.081	
	ทับปุด	0.138	0.110		ท่ายาง	0.180	0.082	
	ท้ายเหมือง	0.184	0.125		บ้านลาด	0.173	0.081	
	เมืองพังงา	0.161	0.115		บ้านแหลม	0.183	0.084	
	เมืองพังงา	0.164	0.115		เมืองเพชรบูรณ์	0.160	0.076	
พัทลุง	กงหรา	0.078	0.085		หนองหญ้าปล้อง	0.261	0.107	
	กิ่งอำเภอบางแก้ว	0.074	0.080		เพชรบูรณ์	เขาค้อ	0.172	0.049
	กิ่งอำเภอป่าพะยอม	0.075	0.082			ชนแดน	0.080	0.042
	กิ่งอำเภอศรีนครินทร์	0.078	0.085	น้ำหนาว		0.234	0.050	
	กิ่งอำเภอศรีบรรพต	0.077	0.084	บึงสามพัน		0.059	0.039	
	เขาชัยสน	0.074	0.080	เมืองเพชรบูรณ์		0.122	0.042	
	ควนขนุน	0.072	0.078	วังโป่ง		0.096	0.045	
	ตะโหมด	0.078	0.085	วิเชียรบุรี		0.055	0.038	
	ป่าพะยอม	0.072	0.077	ศรีเทพ		0.053	0.039	
	ป่าบอน	0.076	0.082	หนองไผ่		0.066	0.039	
	เมืองพัทลุง	0.073	0.080	หล่มเก่า		0.251	0.055	
	พิจิตร	กิ่งอำเภอคงเจริญ	0.087	0.047		หล่มสัก	0.238	0.052
กิ่งอำเภอปึงนาราง		0.164	0.062	แพร่		เด่นชัย	0.783	0.193
กิ่งอำเภอสามหลัก		0.126	0.052		เมืองแพร่	0.847	0.214	
ตะพานหิน		0.108	0.051		ร้องกวาง	0.636	0.146	
ทับคล้อ		0.086	0.046		สอง	0.769	0.184	
บางมูลนาก		0.107	0.052		วังชิ้น	1.021	0.276	
โพทะเล		0.138	0.059		สอง	0.628	0.143	
โพธิ์ประทับช้าง		0.138	0.057		สูงเม่น	0.795	0.195	
เมืองพิจิตร		0.137	0.056		หนองม่วงไข่	0.787	0.191	
วชิรบรรพต		0.202	0.068		ภูเก็ท	กะทู้	0.207	0.131
วังทรายพูน		0.112	0.050			อลาง	0.211	0.129
สามง่าม	0.173	0.063	เมืองภูเก็ต			0.199	0.129	
พิษณุโลก	ชาติตระการ	0.443	0.097	มหาสารคาม	กันทรวิชัย	0.048	0.028	
	นครไทย	0.317	0.071		กิ่งอำเภอคูคตวัง	0.045	0.028	
	เนินมะปราง	0.133	0.051		กิ่งอำเภอชื่นชม	0.054	0.030	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง		จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง	
		(g)				(g)	
		S_1	S_2			S_1	S_2
	แก่งค้ำ	0.043	0.027		เมืองยะลา	0.064	0.064
	โกสัมพิลัย	0.047	0.029		ยะหา	0.067	0.068
	เจียงยี่น	0.051	0.029		รามัน	0.063	0.062
	นาเชือก	0.042	0.027	ร้อยเอ็ด	กิ่งอำเภอเชียงขวัญ	0.043	0.027
	นาคน	0.040	0.026		กิ่งอำเภอทุ่งเขาหลวง	0.041	0.026
	บรบือ	0.044	0.028		กิ่งอำเภอหนองฮี	0.037	0.024
	พยัคฆภูมิพิสัย	0.039	0.026		เกษตรวิสัย	0.038	0.025
	เมืองมหาสารคาม	0.045	0.028		จตุรพักตรพิมาน	0.040	0.026
	ยางสีสุราช	0.040	0.027		จังหาร	0.044	0.027
	วาปีปทุม	0.041	0.026		ธวัชบุรี	0.042	0.026
มุกดาหาร	คำชะอี	0.053	0.028		ปทุมรัตต์	0.039	0.026
	ดงหลวง	0.062	0.030		พนมไพร	0.038	0.024
	ดอนตาล	0.046	0.026		โพธิ์ชัย	0.044	0.027
	นิคมคำสร้อย	0.047	0.026		โพนทราย	0.037	0.024
	เมืองมุกดาหาร	0.054	0.027		โพนทอง	0.045	0.027
	หนองสูง	0.048	0.027		เมยวดี	0.046	0.027
	ห้วยน้ำใหญ่	0.066	0.029		เมืองร้อยเอ็ด	0.042	0.027
แม่ฮ่องสอน	ขุนยวม	0.760	0.208		เมืองสรวง	0.040	0.026
	ป่าแม่คำ	0.967	0.269		ศรีสมเด็จ	0.042	0.027
	ป่าาย	0.940	0.268		สุวรรณภูมิ	0.038	0.025
	เมืองแม่ฮ่องสอน	0.860	0.226		เสลภูมิ	0.041	0.026
	แม่ลาน้อย	0.701	0.199		หนองพอก	0.045	0.027
	แม่สะเรียง	0.707	0.195		อาจสามารถ	0.040	0.025
	สบเมย	0.729	0.200	ระนอง	กระบุรี	0.098	0.089
ยโสธร	กุศชุม	0.041	0.025		กะเปอร์	0.100	0.105
	ลือวัง	0.035	0.023		เมืองระนอง	0.096	0.098
	คำเขื่อนแก้ว	0.037	0.024		ละอุ่น	0.092	0.092
	ทรายมูล	0.040	0.025		สุขสำราญ	0.105	0.112
	ไทยเจริญ	0.041	0.025	ระยอง	แกลง	0.060	0.036
	ป่าดิว	0.038	0.024		เขาชะเมา	0.064	0.035
	มหาชนะชัย	0.036	0.024		นิคมพัฒนา	0.118	0.042
	เมืองยโสธร	0.039	0.025		บ้านค่าย	0.097	0.040
	เลิงนกทา	0.043	0.026		บ้านฉาง	0.113	0.043
ยะลา	กิ่งอำเภอกรงปินัง	0.066	0.066		ปลวกแดง	0.150	0.044
	กิ่งอำเภอคากัง	0.071	0.073		เมืองระยอง	0.107	0.042
	ธารโต	0.071	0.071		วังจันทร์	0.079	0.037
	บ้านนิงस्ता	0.067	0.067	ราชบุรี	กิ่งอำเภอบ้านคา	0.319	0.118
	เบตง	0.079	0.077		จอมมิ่ง	0.524	0.154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (๒)		จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (๒)	
		S_1	S_2			S_1	S_2
	บ้านโป่ง	0.365	0.115		ด่านซ้าย	0.315	0.069
	โพธาราม	0.347	0.112		ท่าลี่	0.307	0.070
	สวนผึ้ง	0.436	0.138		นาด้วง	0.192	0.047
ลพบุรี	โคกเจ็ว	0.061	0.042		นาแห้ว	0.413	0.088
	โคกสำโรง	0.071	0.047		ปากชม	0.223	0.054
	ชัยบาดาล	0.052	0.039		ผาขาว	0.172	0.043
	ท่าม่วง	0.093	0.054		ภูกระดึง	0.171	0.042
	ท่าหลวง	0.052	0.039		ภูเรือ	0.306	0.067
	บ้านหมี่	0.082	0.050		ภูหลวง	0.272	0.056
	พัฒนานิคม	0.057	0.041		เมืองเลย	0.239	0.054
	เมืองลพบุรี	0.071	0.046		วังสะพุง	0.249	0.054
	ลำสนธิ	0.048	0.036	ศรีสะเกษ	กันทรลักษ์	0.030	0.020
	สระโบสถ์	0.062	0.043		กันทรารมย์	0.033	0.022
หนองม่วง	0.072	0.047	กิ่งอำเภอโพธิ์ศรี		0.035	0.023	
ลำปาง	เกาะคา	0.740	0.184		กิ่งอำเภอศิลาลาด	0.036	0.024
	งาว	0.637	0.142		สุขันธ์	0.032	0.021
	แจ้ห่ม	0.702	0.160		ขุนหาญ	0.031	0.021
	เถิน	0.597	0.166		น้ำเกลี้ยง	0.032	0.021
	เมืองปาน	0.714	0.170		โนนคูณ	0.032	0.021
	เมืองลำปาง	0.738	0.177		บึงบูรพ์	0.035	0.024
	แม่ทะ	0.836	0.210		เบญจลักษ์	0.031	0.020
	แม่พริก	0.556	0.162	ปรางค์กู่	0.033	0.022	
	แม่เมาะ	0.692	0.155	พยุห์	0.033	0.022	
	วังเหนือ	0.782	0.194	ไพรบึง	0.032	0.021	
ลำพูน	สนปราบ	0.956	0.265	ภูสิงห์	0.031	0.021	
	เสริมงาม	0.734	0.197	เมืองจันทร์	0.035	0.023	
	ห้างฉัตร	0.723	0.178	เมืองศรีสะเกษ	0.034	0.022	
	กิ่งอำเภอเวียงหนอง	0.808	0.245	ยางชุมน้อย	0.034	0.022	
	ทุ่งหัวช้าง	0.742	0.215	ราษีไศล	0.035	0.023	
	บ้านธิ	0.784	0.209	วังหิน	0.033	0.022	
	บ้านโฮ้ง	0.792	0.238	ศรีรัตนะ	0.032	0.021	
	ป่าซาง	0.838	0.240	ห้วยทับทัน	0.034	0.023	
	เมืองลำพูน	0.835	0.232	อุทุมพรพิสัย	0.034	0.023	
	แม่ทา	0.781	0.211	สกลนคร	กุศบาท	0.070	0.033
ลิ	0.675	0.210	กุสุมาลย์		0.134	0.039	
เลย	กิ่งอำเภอหนองหิน	0.221	0.049		คำตากล้า	0.186	0.049
	กิ่งอำเภอเอราวัณ	0.201	0.047		โคกศรีสุพรรณ	0.078	0.032
	เชียงคาน	0.288	0.067	เจริญศิลป์	0.121	0.039	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ความแรงตอบสนอง		จังหวัด	อำเภอ	ความแรงตอบสนอง		
		(๒)	(๒)			(๒)	(๒)	
		S_1	S_2			S_1	S_2	
	เต่างอย	0.067	0.031		เขาลงกรรจ์	0.043	0.030	
	นิคมท่าอุเทน	0.075	0.034		คลองหาด	0.040	0.029	
	บ้านม่วง	0.162	0.045		ตาพระยา	0.035	0.025	
	พรรณานิคม	0.091	0.035		เมืองสระแก้ว	0.042	0.030	
	พังโคน	0.092	0.036		วังน้ำเย็น	0.042	0.030	
	โพนนาแก้ว	0.109	0.035		วัฒนานคร	0.039	0.028	
	ภูพาน	0.062	0.031		อรัญประเทศ	0.037	0.027	
	เมืองสกลนคร	0.087	0.033		สระบุรี	แก่งคอย	0.060	0.042
	วานรนิวาส	0.126	0.040			เฉลิมพระเกียรติ	0.069	0.045
	วาริชภูมิ	0.085	0.035			คอนกุด	0.088	0.051
	สว่างแดนดิน	0.100	0.037			บ้านหม้อ	0.077	0.048
	ส่องดาว	0.099	0.037			พระพุทธบาท	0.072	0.046
	อากาศอำนวย	0.154	0.043			มวกเหล็ก	0.054	0.039
	สงขลา	กระแสสินธุ์	0.069		0.074	วังม่วง	0.054	0.040
กิ่งอำเภอคลองหอย		0.077	0.083	เสนาใหม่	0.072	0.046		
กิ่งอำเภอนาหม่อม		0.072	0.076	หนองแขง	0.078	0.048		
กิ่งอำเภอบางกล่ำ		0.074	0.079	หนองโดน	0.078	0.049		
กิ่งอำเภอสิงหนคร		0.070	0.074	สิงห์บุรี	ค่ายบางระจัน	0.111	0.058	
ควนเนียง		0.073	0.079		ท่าช้าง	0.108	0.058	
จะนะ		0.069	0.073		บางระจัน	0.116	0.060	
เทพา		0.066	0.068		พรหมบุรี	0.097	0.054	
นาทวี		0.072	0.076	เมืองสิงห์บุรี	0.102	0.056		
เมืองสงขลา		0.069	0.073	อินทร์บุรี	0.110	0.058		
ระโนด		0.068	0.072	สุโขทัย	กองโกรลสาช	0.441	0.108	
รัตภูมิ		0.077	0.083		ศิริมาศ	0.446	0.110	
สทิงพระ		0.069	0.073		ทุ่งเสลี่ยม	0.500	0.126	
สะเดา		0.079	0.084		บ้านค่านานาหอย	0.460	0.119	
สะบ้าย้อย	0.069	0.071	เมืองสุโขทัย		0.458	0.116		
หาดใหญ่	0.074	0.079	ศรีนคร		0.628	0.154		
สตูล	กิ่งอำเภอมะนัง	0.084	0.091	ศรีสังขาลือ	0.535	0.131		
	ควนกาหลง	0.083	0.090	ศรีสำโรง	0.473	0.118		
	ควนโดน	0.084	0.091	สวรรค์โลก	0.512	0.126		
	ท่าแพ	0.089	0.095	สุพรรณบุรี	คอนเจคีย์	0.335	0.108	
	ทุ่งหว้า	0.088	0.094		ค่านช้าง	0.472	0.136	
	เมืองสตูล	0.087	0.093		เดิมบางนางบวช	0.178	0.075	
	ละงู	0.092	0.097		บางปลาหมอ	0.193	0.077	
สระแก้ว	กิ่งอำเภอโคกสูง	0.036	0.026		เมืองสุพรรณบุรี	0.245	0.089	
	กิ่งอำเภอวังสมบูรณ์	0.043	0.030	ศรีประจันต์	0.176	0.073		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง		จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง		
		(๒)				(๒)		
		S_1	S_2			S_1	S_2	
	สองพี่น้อง	0.237	0.087		สังขะ	0.033	0.022	
	สามชุก	0.191	0.078		สำโรงทาบ	0.034	0.023	
	หนองหญ้าไซ	0.298	0.101	หนองคาย	กิ่งอำเภอเฝ้าไร่	0.213	0.050	
	อุททอง	0.335	0.108		กิ่งอำเภอโพธิ์ตาก	0.233	0.052	
สุราษฎร์ธานี	กาญจนดิษฐ์	0.074	0.076		กิ่งอำเภอรัตนวาปี	0.230	0.053	
	กิ่งอำเภอวิภาวดี	0.090	0.093		กิ่งอำเภอสระใคร	0.217	0.048	
	เกาะพะงัน	0.061	0.061		เซกา	0.216	0.053	
	เกาะสมุย	0.062	0.062		ไชยพิสัย	0.214	0.053	
	คีรีรัฐนิคม	0.088	0.092		ท่าบ่อ	0.240	0.052	
	เคียนซา	0.082	0.087		บึงกาฬ	0.323	0.072	
	ชัยบุรี	0.098	0.094		บึงโขงหลง	0.318	0.067	
	ไชยา	0.078	0.080		บึงกล่ำ	0.345	0.075	
	คอนสัก	0.068	0.069		ปากคาด	0.258	0.059	
	ท่าฉาง	0.080	0.083		พรเจริญ	0.213	0.054	
	ท่าชนะ	0.080	0.082		โพนพิสัย	0.246	0.053	
	บ้านตาขุน	0.095	0.096		เมืองหนองคาย	0.221	0.049	
	บ้านนาเคียน	0.079	0.083		ศรีเชียงใหม่	0.222	0.051	
	บ้านนาสาร	0.078	0.083		ศรีวิไล	0.273	0.064	
	พนม	0.101	0.098		สังคม	0.221	0.053	
	พระแสง	0.098	0.095		หนองบัวลำภู	นากลาง	0.182	0.045
	พุนพิน	0.079	0.083			นาวัง	0.199	0.048
	เมืองสุราษฎร์ธานี	0.077	0.080			โนนสัง	0.088	0.035
	เวียงสระ	0.080	0.084			เมืองหนองบัวลำภู	0.150	0.041
สุรินทร์	กามเชิง	0.033	0.023		ศรีบุญเรือง	0.110	0.037	
	กิ่งอำเภอเขวาสินรินทร์	0.035	0.024		สุวรรณคูหา	0.223	0.051	
	กิ่งอำเภอโนนนารายณ์	0.035	0.024	อ่างทอง	ไชโย	0.104	0.056	
	กิ่งอำเภอพนมดงรัก	0.034	0.023		ป่าโมก	0.110	0.056	
	กิ่งอำเภอศรีณรงค์	0.033	0.023		โพธิ์ทอง	0.132	0.064	
	จอมพระ	0.036	0.024		เมืองอ่างทอง	0.108	0.057	
	ชุมพลบุรี	0.037	0.025		วิเศษชัยชาญ	0.123	0.060	
	ท่าตูม	0.036	0.024		สามโก้	0.139	0.065	
	บัวเชด	0.032	0.022		แสวงหา	0.119	0.060	
	ปราสาท	0.034	0.024	อำนาจเจริญ	ขานุมาน	0.044	0.025	
	เมืองสุรินทร์	0.035	0.024		ปทุมราชวงศา	0.038	0.024	
	รัตนบุรี	0.036	0.024		พนา	0.036	0.023	
	ลำควน	0.034	0.023		เมืองอำนาจเจริญ	0.038	0.024	
	ศีขรภูมิ	0.034	0.023		ลืออำนาจ	0.037	0.023	
	สนม	0.036	0.024		เสนางคณิศม	0.040	0.025	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)		จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_x	S_y			S_x	S_y
	หัวตะพาน	0.037	0.024	อุบลราชธานี	กิ่งอำเภอนาตาล	0.037	0.023
อุครธานี	กิ่งอำเภอแก้ว	0.104	0.037		กิ่งอำเภอนาเยีย	0.031	0.020
	กิ่งอำเภอประจักษ์	0.141	0.040		กิ่งอำเภอน้ำขุ่น	0.029	0.019
	คูคต	0.213	0.048		กิ่งอำเภอสว่างวีระวงศ์	0.032	0.021
	กุมภวาปี	0.116	0.037		กิ่งอำเภอเหล่าเสือโก้ก	0.034	0.022
	ไชยวาน	0.118	0.038		กุดข้าวปุ้น	0.037	0.023
	ทุ่งฝน	0.149	0.041		เขมราฐ	0.039	0.024
	นาเยีย	0.236	0.055		เมืองโนน	0.035	0.023
	น้ำโสม	0.237	0.054		โขงเจียม	0.032	0.020
	โนนสะอาด	0.090	0.035		คอนมุดแดง	0.034	0.022
	บ้านคุง	0.206	0.049		เดชอุดม	0.031	0.020
	บ้านค้อ	0.233	0.052		ตระการพืชผล	0.035	0.022
	พิบูลย์รักษ์	0.208	0.048		ตาลชุม	0.033	0.021
	เพี้ย	0.288	0.058		ทุ่งศรีอุดม	0.030	0.020
	เมืองอุครธานี	0.205	0.046		นาจะหลวย	0.028	0.018
	วังสามหมอ	0.067	0.032		น้ำยืน	0.029	0.019
	ศรีรัต	0.077	0.033		บุณฑริก	0.029	0.019
	สร้างคอม	0.284	0.058		พิบูลย์มังสาหาร	0.031	0.020
	หนองบัวระ	0.140	0.040		ไพร่ไทย	0.036	0.023
	หนองแสง	0.121	0.038		ม่วงสามสิบ	0.035	0.023
	หนองหาน	0.145	0.041		เมืองอุบลราชธานี	0.033	0.021
อุครดิต	ตรอน	0.699	0.167		วารินชำราบ	0.033	0.021
	ทองแสนขัน	0.583	0.135		ศรีเมืองใหม่	0.034	0.021
	ท่าปลา	0.693	0.159		สำโรง	0.032	0.021
	น้ำปาด	0.550	0.119		สิรินธร	0.031	0.020
	บ้านโคก	0.505	0.109				
	พิชัย	0.632	0.154				
	พังกา	0.526	0.115				
	เมืองอุครดิต	0.596	0.138				
ลับแล	0.576	0.135					
อุทัยธานี	ทัพทัน	0.237	0.082				
	บ้านไร่	0.279	0.093				
	เมืองอุทัยธานี	0.155	0.066				
	ลานสัก	0.305	0.094				
	สว่างอารมณ์	0.201	0.073				
	หนองขาหย่าง	0.179	0.072				
	หนองฉาง	0.269	0.089				
ห้วยคต	0.351	0.104					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_R) และตัวประกอบขยายค่าโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงล้าข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบ		
		R	Ω_R	C_d	ด้านทานแรงแผ่นดินไหว		
					ช	ค	ง
1. ระบบกำแพงรับน้ำหนัก บรรทุกแนวตั้ง (Bearing Wall System)	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	4	2.5	4	√	√	X
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	5	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	3	2.5	3	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall)	4	2.5	4	√	√	X
2. ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	โครงแกนเหล็กแบบเอียงคานยี่ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงคดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	8	2	4	√	√	√
	โครงแกนเหล็กแบบเอียงคานยี่ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment-Resisting Connections)	7	2	4	√	√	√
	โครงแกนเหล็กแบบตรงคานยี่แบบให้รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5	√	√	√
	โครงแกนเหล็กแบบตรงคานยี่แบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	3.5	2	3.5	√	√	X
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	4.5	√	√	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	4	2.5	4	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall)	5	2.5	4.5	√	√	X

หมายเหตุ √ = ใช้ได้ X = ห้ามใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบแทน (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_R) และตัวประกอบขยายค่าโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบด้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_R	C_d	ข	ค	ง
					√	√	×
3. ระบบโครงสร้างแรงค้ำ (Moment Resisting Frame)	โครงสร้างแรงค้ำเหล็กที่มีความเหนียว (Ductile/Special Steel Moment-Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงสร้างค้ำเหล็กที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	7	3	5.5	√	√	√
	โครงสร้างค้ำเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	4.5	3	4	√	√	×
	โครงสร้างค้ำเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3	√	√	×
	โครงสร้างค้ำคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียว (Ductile/Special Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงสร้างค้ำคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวจำกัด (Ductile RC Moment-Resisting Frame with Limited Ductility/ Intermediate RC Moment-Resisting Frame)	5	3	4.5	√	√	×
	โครงสร้างค้ำคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	3	3	2.5	√	×	×
4. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงสร้างค้ำที่มีความเหนียวที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Ductile/Special Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์กลางเป็นพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์ (Steel Eccentrically Braced Frame)	8	2.5	4	√	√	√
	ร่วมกับค้ำผนังแรงเฉือนแบบพิเศษให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับค้ำผนังแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	×

หมายเหตุ √ = ใช้ได้ x = ห้ามใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบแทน (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_R) และตัวประกอบขยายค่าโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงดัดข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_R	C_d	ข	ก	ง
5. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงสร้างดัดที่มีความเหนียวจำกัดที่สามารถต้านทานแรงดัดข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Moment Resisting Frame with Limited Ductility/ Dual System with Intermediate Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์กลางแบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	6	2.5	5	√	√	X
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6.5	2.5	5	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5.5	2.5	4.5	√	√	X
6. ระบบปฏิสัมพันธ์ (Shear Wall Frame Interactive System)	ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำแพงรับแรงเฉือนและโครงสร้างดัดแบบธรรมดาที่ไม่มีการให้รายละเอียดความเหนียว (Shear Wall Frame Interactive System with Ordinary Reinforced Concrete Moment Frame and Ordinary Concrete Shear Wall)	4.5	2.5	4	√	X	X
7. ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว (Steel Systems: Not Specifically Detailed for Seismic Resistance)	ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว	3	3	3	√	√	X

หมายเหตุ √ = ใช้ได้ x = ห้ามใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร และค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ	ตัวประกอบความสำคัญ
อาคารและ โครงสร้างอื่นๆ ที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้นๆ เช่น <ul style="list-style-type: none"> - อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร - อาคารชั่วคราว - อาคารเก็บของเด็กๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ 	I (น้อย)	1.0
อาคารและ โครงสร้างอื่นๆ ที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภท ความสำคัญ น้อย มาก และ สูงมาก	II (ปกติ)	1.0
อาคารและ โครงสร้างอื่นๆ ที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น <ul style="list-style-type: none"> - อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่งๆ มากกว่า 300 คน - โรงเรียนประถมหรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน - มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย ที่มีความจุมากกว่า 500 คน - สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ 	III (มาก)	1.25
อาคารและ โครงสร้างที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน หรือ อาคารที่จำเป็นต่อการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุ เช่น <ul style="list-style-type: none"> - โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และ โรงเก็บรถฉุกเฉินต่างๆ - โรงไฟฟ้า - โรงผลิตน้ำประปา ถังเก็บน้ำ และ สถานีสูบน้ำที่มีความดันสูงสำหรับการดับเพลิง - อาคารศูนย์สื่อสาร - อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย - ท่าอากาศยาน ศูนย์บังคับการบิน และ โรงเก็บเครื่องบิน ที่ต้องใช้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน - อาคารศูนย์บัญชาการแห่งชาติ <p>อาคารและ โครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ การจัดเก็บ หรือการใช้สารพิษ เชื้อเพลิง หรือสารเคมี อันอาจก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นได้</p>	IV (สูงมาก)	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a)

ลักษณะโครงสร้าง	ประเภทความสำคัญของอาคาร		
	I หรือ II	III	IV
โครงสร้างที่ไม่ใช่ผนังอิฐก่อรับแรงเฉือนและสูงไม่เกิน 4 ชั้น ซึ่งผนังภายใน ฉากกั้นห้อง ฝ้าเพดาน และผนังภายนอกถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้มาก	0.025h _{xx}	0.020h _{xx}	0.015h _{xx}
โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบยื่นจากรูานรองรับ	0.010h _{xx}	0.010h _{xx}	0.010h _{xx}
โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบอื่น ๆ	0.007h _{xx}	0.007h _{xx}	0.007h _{xx}
โครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด	0.020h _{xx}	0.015h _{xx}	0.010h _{xx}

หมายเหตุ

- 1) h_{xx} คือความสูงระหว่างชั้นที่อยู่ใต้พื้นที่ชั้นที่ x
- 2) อาคารชั้นเดียวที่มีผนังภายใน ฉากกั้นห้อง ฝ้าเพดาน และผนังภายนอกที่ถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้มาก จะมีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเท่าใดก็ได้ไม่จำกัด แต่ยังคงต้องพิจารณาการเว้นระยะห่างระหว่างโครงสร้างตามหัวข้อที่ 2.11.3
- 3) โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบยื่นจากรูานรองรับ หมายถึง อาคารที่ถูกออกแบบให้ใช้กำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนเป็นชั้นส่วนโครงสร้างในแนวตั้งซึ่งยื่นขึ้นมารูานรองรับ และถูกก่อสร้างในลักษณะที่มีถ่ายโมเมนต์คดและแรงเฉือนระหว่างกำแพงข้างเคียง (แบบ Coupling Beam) น้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้