

การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตึกข้างด้านทานแรงแผ่นดินไหว
ตามมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61

SEISMIC ANALYSIS FOR THE ELEPHANT TOWER PER DPT1301/1302-61



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2564

KMITL-2021-EN-M-097-093

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SEISMIC ANALYSIS FOR THE ELEPHANT TOWER PER DPT1301/1302-61



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2021

KMITL-2021-EN-M-097-093

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตึกช้างด้านทานแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61
Thesis Title	Seismic Analysis for The Elephant Tower per DPT1301/1302-61
นักศึกษา	นายนิติกร แสงสว่าง
รหัสประจำตัวนักศึกษา	62601161
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อม และการจัดการงานก่อสร้าง
พ.ศ.	2564
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการแข่งขันในอุตสาหกรรมการก่อสร้างและความต้องการเชิงสถาปัตยกรรมสูงขึ้นส่งผลให้รูปร่างของโครงสร้างอาคารมีความไม่สมมาตรและไม่สม่ำเสมอในรูปแบบต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด ความไม่สม่ำเสมอแนวระนาบ หรือความไม่สม่ำเสมอแนวตั้ง บทความนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์อาคารตัวอย่างตึกช้าง (Elephant Tower) ซึ่งเป็นอาคารที่ได้รับรางวัลดีกระฟ้าที่มีเอกลักษณ์อันดับที่ 4 ใน 20 ของโลกที่ถูกจัดอันดับโดย CNNGo ในปี 2011 และตึกช้างเป็นอาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอไม่ว่าจะเป็นความไม่สม่ำเสมอของมวล หรือสตีเฟนส เป็นต้น โดยมาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของแรงแผ่นดินไหว มยผ.1301/1302-61 ได้กำหนดวิธีการออกแบบโครงสร้างอาคารในลักษณะดังกล่าว โดยตั้งสมมติฐานว่าอาคารตั้งอยู่บริเวณพื้นที่แผ่นดินไหวรุนแรง อ.เมือง จ.เชียงใหม่ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างผลตอบสนองของอาคารและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลาตามมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 โดยวิธีวิเคราะห์แต่ละวิธีมีข้อจำกัด มีจุดเด่นและจุดด้อยที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาหาวิธีวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวที่เหมาะสม โดยได้นำตึกช้างซึ่งเป็นอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอเป็นอาคารต้นแบบในการวิเคราะห์

Thesis	Seismic Analysis for The Elephant Tower per DPT1301/1302-61
Student	Mr.Nitikorn Sangswang
Student ID.	62601161
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering Environmental Engineering and Construction
Year	2021
Thesis Advisor	Asst.Prof. Dr. Arthit Petchsasithorn

ABSTRACT

Nowadays, industrial and architectural demand increase that affect the complexity of shape and irregularity of the structures such as torsional irregularity, horizontal irregularity and vertical irregularity. This research presents the analytical results of the Elephant Tower which the building was ranked number four of the 20 World's Iconic Skyscraper by CNNGO in 2011. The shape of the Elephant Tower is obviously that this building is irregularity such as mass irregularity and stiffness irregularity. Design standard, DPT1301/1302-61 defines the seismic design methods for asymmetry and irregularity of structures. The elephant tower is assumed to be located in high seismic area, Chiang Mai, Thailand. Structural behavior and seismic responses of the building are investigated including equivalent static analysis, modal response spectrum analysis and linear time history analysis according to DPT 1301/1302-61. There are the advantages and disadvantages for each design methods. In this research to find the proper method for the irregular building by using The Elephant Tower to be the analytical model.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะสำเร็จไม่ได้เลย หากปราศจาก ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้ความรู้ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ดร.ณัฐภัทร วงศ์ภักดี ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะและช่วยเหลือ ตลอดจนให้ความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ บริษัท อินฟรา กรุ๊ป จำกัด, ผู้ร่วมงานและหัวหน้า บริษัท อินฟรา กรุ๊ป จำกัด ที่สนับสนุนข้าพเจ้าทั้งเวลา อุปกรณ์ในการทำวิจัย และให้คำปรึกษาในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมทาง ในการศึกษาต่อในระดับปริญญาโท โดยเฉพาะ นายพนัส โอภากุลวงศ์, นางสาวสิรินาถ ชวนพงษ์พานิช และนายฉัตรดนัย แสงณรงค์ สำหรับการช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกเรื่องและให้คำปรึกษาที่ดีแก่ข้าพเจ้าในทุกๆเรื่อง

และสุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดา มารดา และเพื่อนๆ และอีกมากมายที่ข้าพเจ้าไม่ได้กล่าวถึงที่เป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้า คอยว่ากล่าว เตือนสติ ของข้าพเจ้าจนสามารถทำให้ข้าพเจ้าทำ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเสร็จสิ้น

นิติกร แสงสว่าง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 ที่มาและความสำคัญ.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.5 วิธีการศึกษา.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว.....	4
2.1.1 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับพื้นที่ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ.....	5
2.1.2 การจำแนกประเภทของชั้นดิน.....	5
2.1.3 การปรับแก้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม.....	6
2.1.4 การปรับค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ.....	7
2.1.5 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ.....	8
2.1.6 ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร.....	10
2.1.7 ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว.....	11
2.2 ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว.....	13
2.2.1 ข้อกำหนดพื้นฐานของการออกแบบโครงสร้าง.....	13
2.2.2 การเลือกระบบโครงสร้าง.....	13
2.2.3 ความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงของโครงสร้าง.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.4 ข้อจำกัดและข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับอาคารที่รูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอ.....	20
2.2.5 วิธีวิเคราะห์โครงสร้าง.....	20
2.2.6 น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล.....	20
2.2.7 แบบจำลองโครงสร้าง.....	22
2.2.8 การเคลื่อนตัวด้านข้าง.....	22
2.3 การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า.....	23
2.3.1 แรงเฉือนที่ฐานอาคาร.....	23
2.3.2 การคำนวณคาบการสั่นพื้นฐาน.....	24
2.3.3 การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำทางด้านข้างต่ออาคารในชั้นต่างๆ.....	25
2.3.4 การคำนวณค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น.....	25
2.4 การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์.....	25
2.4.1 วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด.....	25
2.4.2 วิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา.....	28
2.5 สรุป.....	34
บทที่ 3 วิธีการศึกษา.....	35
3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย.....	35
3.2 พื้นที่ในการศึกษา.....	36
3.3 วิธีการเลือกอาคารตัวอย่างและการสร้างจำลองอาคาร.....	36
3.4 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบ.....	39
3.5 ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินสำหรับวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา.....	42
บทที่ 4 ผลวิเคราะห์.....	47
4.1 วิธีแรงสถิตเทียบเท่า.....	47
4.2 วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด.....	47
4.3 วิธีวิเคราะห์เชิงเส้นแบบประวัติเวลา.....	50
4.4 ผลวิเคราะห์แรงเฉือนที่ฐาน.....	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 ผลวิเคราะห์การเคลื่อนตัวแต่ละชั้นของโครงสร้าง.....	52
4.6 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น.....	53
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา.....	54
5.1 ผลการวิเคราะห์.....	54
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	55
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก ก.	59
ภาคผนวก ข.	122
ภาคผนวก ค.	131
ภาคผนวก ง.	167
ประวัติผู้แต่ง.....	176

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการจำแนกประเภทของชั้นดิน.....	6
2.2 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดินที่ ณ ที่ตั้งอาคาร F_a	7
2.3 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดินที่ ณ ที่ตั้งอาคาร F_v	7
2.4 การแบ่งประเภทการออกแบบด้านทางแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{DS}	12
2.5 การแบ่งประเภทการออกแบบด้านทางแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{D1}	12
2.6 รายละเอียดและคำอธิบายความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ.....	15
2.7 รายละเอียดและคำอธิบายความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวตั้ง.....	17
2.8 วิธีการวิเคราะห์ที่โครงสร้างเพื่อคำนวณผลของแรงแผ่นดินไหวที่อนุญาตให้ใช้ได้.....	21
2.9 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_g)	22
3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง.....	36
3.2 รูปแบบของชั้นทั่วไป (Typical Floor) โดยโปรแกรม ETABS.....	39
3.3 ตัวแปรสำหรับหาค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบ โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า.....	40
3.4 ตัวแปรสำหรับหาค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบ โดยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด.....	40
3.5 ตัวแปรสำหรับหาค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบ เพื่อหาแรงเฉือนของชั้นส่วนโครงสร้างแนวตั้ง (MRSA).....	41
3.6 การสั่นไหวของพื้นดินที่คาบการสั่น 0.2 วินาที และ 1.0 วินาที.....	42
3.7 แสดงรูปแบบของคลื่นที่ใช้ในการออกแบบจำนวน 7 ชุด.....	43
4.1 ค่าพารามิเตอร์สำหรับคำนวณแรงเฉือนที่ฐานโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า.....	47
4.2 จำนวนโหมดที่ต้องพิจารณา.....	48
4.3 รูปแบบการเสียรูปแบบโหมด 6 โหมดแรก.....	49
4.4 ค่าตัวประกอบปรับค่า $S_F - X$ axis และ $S_F - Y$ axis.....	50
4.5 การปรับค่าการตอบสนองเพื่อใช้ในการออกแบบโดยวิธี LTHA.....	50

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศ (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) $S_{D1} \leq S_{DS} 2$	8
2.2 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศ (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) $S_{D1} \geq S_{DS}$	9
2.3 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศ (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) $S_{D1} \leq S_{DS}$	9
2.4 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศ (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) $S_{D1} \geq S_{DS}$	10
3.1 ขั้นตอนในการทำวิจัย.....	35
3.2 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า.....	40
3.3 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบโดยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด.....	41
3.4 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบสำหรับออกแบบ เพื่อหาแรงเฉือนของชิ้นส่วนโครงสร้างแนวดิ่ง (MRSA).....	41
4.1 แรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear).....	51
4.2 การเคลื่อนตัวแต่ละชั้น (Floor Displacement).....	52
4.3 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift).....	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันการแข่งขันในอุตสาหกรรมการก่อสร้างและความต้องการในเชิงสถาปัตยกรรมค่อนข้างสูง ส่งผลให้รูปทรงของอาคารมีความซับซ้อนและไม่สม่ำเสมอทางโครงสร้างทั้งแนวตั้ง แนวราบ และความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด กรมโยธาธิการและผังเมืองได้กำหนดมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยพ.1302-52 และ มยพ.1301/1302-61 สำหรับอาคารดังกล่าว มีสมมติฐานการออกแบบโครงสร้างอาคารให้มีความเหนียวและสามารถสลายพลังงานจากการสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในระดับที่เหมาะสมโดยไม่เกิดการพังทลาย

มยพ.1301-1302-52 ได้กำหนดวิธีคำนวณแรงแผ่นดินไหวไว้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Analysis) และวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Analysis) และปรับปรุงเป็นมาตรฐานฉบับใหม่ มยพ.1301/1302-61 เพื่อปรับปรุงรายละเอียดให้ทันสมัยและสอดคล้องกับมาตรฐานสากล เช่น ปรับแก้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ วิธีการคำนวณหาแรงเฉือนที่ฐาน MRSA และชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่เหมาะสมแก่การวิเคราะห์โครงสร้าง เป็นต้น

วิธีแรงสถิตเทียบเท่าเป็นวิธีคำนวณแรงแผ่นดินไหวอย่างง่ายซึ่งไม่เหมาะสมกับลักษณะของโครงสร้างอาคารที่ไม่สม่ำเสมอในลักษณะต่างๆ ซึ่งก่อให้เกิดการกระจายตัวของแรงกระทำด้านข้างและแรงบิดของอาคารไม่คงที่ การออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์มีความเหมาะสมมากกว่าเนื่องจากพิจารณาผลกระทบดังกล่าว โดยวิธีเชิงพลศาสตร์สามารถจำแนกได้ 3 วิธี ได้แก่ วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมมด วิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างเชิงเส้นแบบประวัติเวลาและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา

งานวิจัยนี้นำเสนอผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตัวอย่างที่มีความไม่สม่ำเสมอทั้งแนวตั้งและแนวราบ อาคารตัวอย่างดังกล่าวเป็นอาคารที่ได้รับรางวัลดีกรีฟ้าที่มีเอกลักษณ์ของโลกอันดับที่ 4 ใน 20 ของโลก โดยศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างและเปรียบเทียบผลวิเคราะห์แรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) การเคลื่อนตัวของโครงสร้างในแต่ละชั้น (Floor Displacement) และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) เป็นสำคัญ

1.2 ที่มาและความสำคัญ

ในอุตสาหกรรมการออกแบบอาคารมีการแข่งขันที่สูงขึ้น ทำให้นักพัฒนาและผู้ออกแบบอาคารผลิตแบบก่อสร้างอาคารให้มีลักษณะที่โดดเด่นและมีเอกลักษณ์ ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้อาคารมีลักษณะที่ไม่สมมาตรและมีความไม่สม่ำเสมอเชิงรูปทรง ทำให้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างอาคารจำเป็นต้องคำนึงถึงผลความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างไม่ว่าจะเป็นความไม่สม่ำเสมอแนวตั้ง ความไม่สม่ำเสมอแนวราบหรือความไม่สม่ำเสมอเชิงบิด

ด้วยลักษณะอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอในรูปแบบต่างๆ ทำให้การเลือกวิธีการคำนวณแรงแผ่นดินไหวมีความสำคัญและต้องเหมาะสมกับรูปแบบโครงสร้างอาคาร ทำให้ในปัจจุบันกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ.2564 และกฎกระทรวงดังกล่าวได้ยกเลิกมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302-52 ทางกรมโยธาธิการและผังเมืองได้ปรับปรุงและพัฒนามาตรฐานให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นเป็น มาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 โดยมาตรฐานฉบับใหม่ได้ปรับปรุงค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับออกแบบ วิธีคำนวณแรงเฉือนที่ฐาน MRSA ทำให้วิธีการคำนวณแรงดังกล่าวมีความละเอียดและแม่นยำเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะสำหรับการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารที่มีรูปทรงที่ไม่สมมาตรและไม่สม่ำเสมอ

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาผลตอบสนองและพฤติกรรมของอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอและไม่สมมาตรที่ถูกกระทำโดยแรงแผ่นดินไหว

1.3.2 เพื่อศึกษาวิธีการออกแบบอาคารตามมาตรฐาน มยผ.1302-52 และ มยผ.1301/1302-61 โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีคำนวณแรงแผ่นดินไหวทั้งหมด 3 วิธี คือ วิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Analysis) วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum Analysis) และวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Linear Time History Analysis)

1.3.3 เพื่อเปรียบเทียบผลของแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคาร โดยได้เปรียบเทียบทั้งหมด 3 ตัวแปร คือ แรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) การเคลื่อนตัวของโครงสร้างในแต่ละชั้น (Floor Displacement) และ ค่าการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น (Story Drift)

1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1.4.1 นำลักษณะโครงสร้างอาคาร ตึกข้าง เพื่อเป็นรูปแบบในการสร้างแบบจำลอง
- 1.4.2 ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการสร้างแบบจำลอง ETABS Version 2016
- 1.4.3 สมมติว่าอาคารตั้งอยู่ที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ซึ่งเป็นโซนแผ่นดินไหวรุนแรง
- 1.4.4 ไม่พิจารณาถึงชั้นใต้ดินของอาคารและผลการถ่ายแรงด้านข้างของผนังก่อภายในอาคาร
- 1.4.5 โดยแบบจำลองเป็นแบบจำลองเชิงเส้น (Elastic Model)
- 1.4.6 พิจารณาถึงผลกระทบของ P-Delta

1.5 วิธีการศึกษา

- 1.5.1 กำหนดหัวข้อและวัตถุประสงค์ในการวิจัย
- 1.5.2 กำหนดขอบเขตของงานวิจัย
- 1.5.3 รวบรวมและศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.4 ศึกษามาตรฐานที่ใช้ในการทำวิจัย มยผ.1302-52 และ มยผ.1301/1302-61
- 1.5.5 สร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์
- 1.5.6 รวบรวมข้อมูลและผลการวิเคราะห์
- 1.5.7 วิเคราะห์และสรุปผล
- 1.5.8 จัดทำเล่มรายงาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 สามารถนำมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทางแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1302-52 และ มยผ.1301/1302-61 ได้อย่างถูกต้อง
- 1.6.2 ศึกษาพฤติกรรมและค่าการตอบสนองของโครงสร้างกับอาคารที่ไม่สมมาตร
- 1.6.3 สามารถวิเคราะห์ผลของค่าแรงเฉือนที่ฐาน ค่าการเคลื่อนตัวของโครงสร้างแต่ละชั้น และการเคลื่อนที่สัมพันธ์ระหว่างชั้น และสามารถวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธานิพนธ์เล่มนี้ซึ่งโดยหลักนั้นจะทำการอ้างอิงจากมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยพ.1302-52 และ มยพ.1301/1302-61 โดยในมาตรฐานได้กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการออกแบบอาคาร โดยสมมติฐานว่า การออกแบบให้อาคารมีความเหนียว สามารถเกิดการเคลื่อนตัวเกินพิสัยยืดหยุ่นของโครงสร้าง และสามารถสลายพลังงานของการสั่นไหวในระดับที่เหมาะสม โดยไม่พังถล่ม

มยพ.1302-52 ได้กำหนดวิธีคำนวณแรงแผ่นดินไหวไว้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Analysis) และวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Analysis) และปรับปรุงเป็นมาตรฐานฉบับใหม่ มยพ.1301/1302-61 เพื่อปรับปรุงรายละเอียดให้ทันสมัยและสอดคล้องกับมาตรฐานสากล เช่นปรับค่าสเปกตรัมตอบสนองสำหรับการออกแบบ วิธีการคำนวณแรงเฉือนที่ฐาน MRSA และปรับแก้ชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดิน

ในมาตรฐาน มยพ. ได้จำแนกลักษณะของอาคารทุกขนาดที่มีรูปทรงสม่ำเสมอ (Regular) และไม่สม่ำเสมอ (Irregular) และได้กำหนดข้อจำกัดและวิธีการคำนวณผลของแรงแผ่นดินไหว

2.1 ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว

ระดับการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารแต่ละพื้นที่ที่ระดับความรุนแรงมีค่าที่แตกต่างกัน โดยมีหลายปัจจัย เช่น ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว ระยะทางของโครงสร้างกับจุดศูนย์กลางของแผ่นดินไหว หรือลักษณะชั้นดิน เป็นต้น ทำให้แต่ละอาคารหรือแต่ละโครงสร้างมีผลการตอบสนองของโครงสร้างแตกต่างกัน โดยปัจจัยหลัก คือ คาบการสั่นธรรมชาติและอัตราความหน่วงของโครงสร้าง ในมาตรฐาน มยพ. ได้แสดงระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวและผลตอบสนองของอาคาร แสดงอยู่ในรูปของ “ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม” และได้กำหนดอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยอัตราหน่วงของคอนกรีตลดลงเมื่อความสูงของอาคารเพิ่มขึ้น โดยในมาตรฐาน กำหนดค่าอัตราส่วนความหน่วงไม่เกินร้อยละ 5 สำหรับอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 60 เมตร และ ค่าอัตราหน่วงไม่เกินร้อยละ 2.5 สำหรับอาคารที่สูงเกินกว่า 60 เมตร และสำหรับโครงสร้างเหล็ก ค่าอัตราหน่วงโครงสร้างไม่เกินร้อยละ 2.5

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม โดยในมาตรฐาน มยผ. ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ค่าสำหรับพื้นที่ทั่วประเทศยกเว้นแอ่งกรุงเทพฯ และค่าสำหรับพื้นที่แอ่งกรุงเทพฯ เนื่องจากในกรณีของพื้นที่แอ่งกรุงเทพฯ ได้รวมผลเนื่องจากสภาพดินอ่อนในพื้นที่เข้าไปแล้ว

2.1.1 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับพื้นที่ยกเว้นแอ่งกรุงเทพฯ

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา (Maximum Considered Earthquake) ที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_0) และคาบการสั่นที่ 1 วินาที (S_1) โดยค่าความเร่งตอบสนองได้มาจากวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว โดยสมมติให้สภาพชั้นดินในทุกๆ พื้นที่เป็นดินแข็งหรือหิน ที่มีความเร็วคลื่นเฉลี่ยในช่วงจากผิวดินถึงความลึก 30 เมตร (V_s) เท่ากับ 760 เมตรต่อวินาที โดยในงานวิจัยนี้ได้สมมติที่ตั้งของอาคาร เป็น อ.เมือง จ.เชียงใหม่ โดยมีค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 0.2 วินาที และ 1 วินาที ตามภาคผนวก ก.2

โดยประเภทของชั้นดิน ณ บริเวณที่ตั้งอาคาร มีผลต่อระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ดังนั้นที่จะนำค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ตามตารางภาคผนวก ก.2 มาใช้ออกแบบ จำเป็นต้องปรับแก้ค่าเนื่องจากผลของสภาพชั้นดิน บริเวณนั้นๆ

2.1.2 การจำแนกประเภทของชั้นดิน

ตำแหน่งและสถานที่ตั้งของอาคาร ประเภทของชั้นดินมีผลต่อระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว ดังนั้นการนำค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ที่ได้จากภาคผนวก ก.2 จำเป็นต้องมีการปรับแก้ค่าเพื่อให้เหมาะสมกับชั้นดิน โดยการจำแนกของชั้นดินจะจำแนกจากคุณสมบัติของชั้นดิน ตั้งแต่ผิวดินลงไปจนถึงความลึก 30 เมตร หากไม่มีข้อมูลดินหรือไม่สามารถทำการสำรวจดินได้ ให้สมมติว่าประเภทชั้นดินเป็นประเภท D

โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงแผ่นดินไหวกับประเภทชั้นดินที่ตั้งอาคาร โดยสามารถจำแนกได้ 6 ประเภท ได้แก่ A (หินแข็ง) B (หิน) C (ดินแข็ง) D (ดินปกติ) E (ดินอ่อน) F (ดินที่มีลักษณะพิเศษ) โดยได้อธิบายได้ดังนี้

- 1.) ชั้นดินประเภท A มีระดับการแตกร้าวหรือผุพังของหินน้อย
- 2.) ชั้นดินประเภท B มีระดับแตกร้าวและการผุพังต้องมีลักษณะคล้ายหิน
- 3.) ชั้นดินประเภท C มีระดับการผุพังมากและมีลักษณะคล้ายหินที่อ่อนแอ
- 4.) ชั้นดินประเภท D มีลักษณะเป็นหินผุพังโดนสมบูรณ์
- 5.) ชั้นดินประเภท E มีลักษณะเป็นดินตะกอน หรือดินเหนียวอ่อน
- 6.) ชั้นดินประเภท F เป็นลักษณะดินตะกอน หรือดินเหนียวอ่อนพิเศษเป็นชั้นดินที่มีโอกาสเกิด

ปรากฏการณ์ทรายเป็นอิมิตัว (Liquefaction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการจำแนกลักษณะของดิน มีพารามิเตอร์ในการจำแนกทั้งหมด 3 ตัว คือ ความเร็วคลื่นเฉือน (Shear Wave Velocity) ค่าทดสอบฝังจมมาตรฐานเฉลี่ย (Average Field Standard Penetration Resistance, N) และค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเฉลี่ย (S_u) โดยได้อธิบายเงื่อนไขการจำแนกประเภทของชั้นดิน ตามตารางที่ 2.1 และภาคผนวก ก.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกประเภทของชั้นดิน

ประเภทชั้นดิน	V_s	N หรือ N_{ch}	S_u
A	>1500 เมตร/วินาที	-	-
B	750-1500 เมตร/วินาที	-	-
C	360-750 เมตร/วินาที	>50	>100 kPa
D	180-360 เมตร/วินาที	15-50	50-100 kPa
E	< 180 เมตร/วินาที	<15	<50 kPa
	มีชั้นดินที่มีความหนามากกว่า 3 เมตร ที่มีคุณสมบัติดังนี้ Plasticity Index (PI) > 20 Moisture Content (w) > 40% $S_u < 25$ kPa		
F	ตามเกณฑ์ตามภาคผนวก ก.1		

2.1.3 การปรับแก้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม

การปรับแก้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุด โดยสามารถปรับแก้ค่าให้เหมาะสมกับประเภทของชั้นดิน ตามสมการ

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.1)$$

$$S_{MS} = F_v \cdot S_1 \quad (2.2)$$

โดยที่ S_{MS} คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 0.2 วินาทีที่ถูกปรับแก้เนื่องจากผลของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร

S_{M1} คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 1.0 วินาทีที่ถูกปรับแก้เนื่องจากผลของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร

F_a คือ สัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่นที่ 0.2 วินาที

F_v คือ สัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่นที่ 1.0 วินาที

ค่าสัมประสิทธิ์ F_a และ F_v แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดินที่ ณ ที่ตั้งอาคาร F_o

ประเภทของชั้นดิน	ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุด ที่พิจารณาที่คาบ 0.2 วินาที				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.7	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของดินเป็นกรณีๆไป				

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดินที่ ณ ที่ตั้งอาคาร F_v

ประเภทของชั้นดิน	ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุด ที่พิจารณาที่คาบ 1.0 วินาที				
	$S_I \leq 0.25$	$S_I = 0.5$	$S_I = 0.75$	$S_I = 1.0$	$S_I \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของดินเป็นกรณีๆไป				

2.1.4 การปรับค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ

ในมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 กำหนดค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_{DS}) และที่คาบการสั่น 1.0 วินาที (S_{DI}) ตามตารางภาคผนวก ก.2 เป็นแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา (Maximum Considered Earthquake, MCE) ในรอบ 2500 ปี ซึ่งมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวกว่าระดับที่พิจารณา (Probability of Exceedance) เท่ากับร้อยละ 2 ในรอบ 50 ปี แต่สำหรับการออกแบบอาคารใหม่จะพิจารณาแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ (Design Basic Earthquake, DBE) ซึ่งแผ่นดินไหวมีระดับความรุนแรงเป็นสองในสามของแผ่นดินไหวสูงสุดที่พิจารณา ตามสมการที่ 2.3 และ สมการที่ 2.4

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

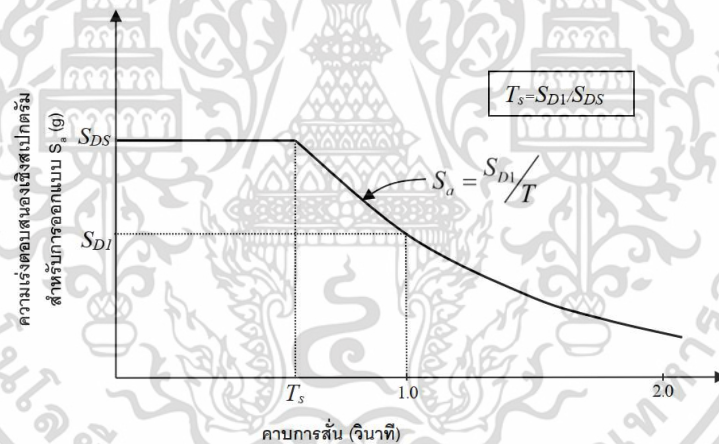
$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

2.1.5 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ

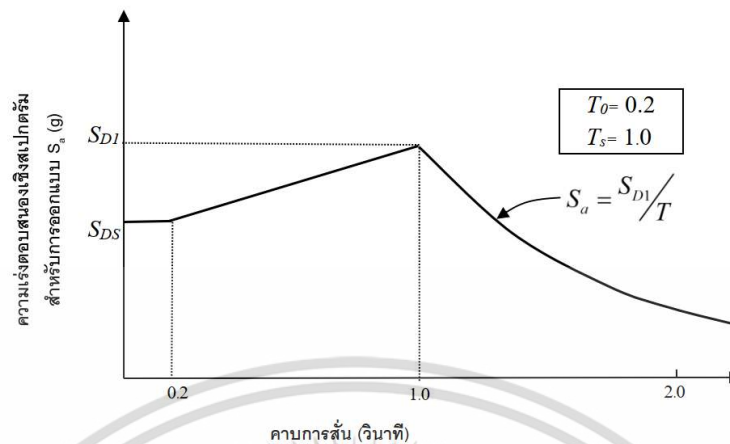
ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ S_o ซึ่งเป็นค่าบนพื้นดิน โดยสำหรับวิธีการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Analysis) และสำหรับออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ (Dynamic Analysis) ซึ่งขึ้นกับตำแหน่ง ณ ที่ตั้งของอาคาร

2.1.5.1 พื้นที่ทั่วประเทศยกเว้นแอ่งกรุงเทพ

1.) ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ สำหรับวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Analysis) ให้ใช้รูปที่ 2.1 สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} \leq S_{DS}$ และให้ใช้รูปที่ 2.2 สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} \geq S_{DS}$ โดยที่ S_{DS} และ S_{D1} คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ



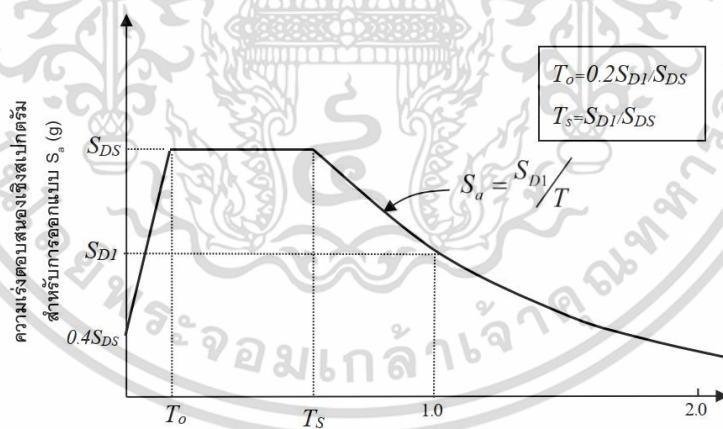
รูปที่ 2.1 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศ (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) $S_{D1} \leq S_{DS}$



รูปที่ 2.2 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

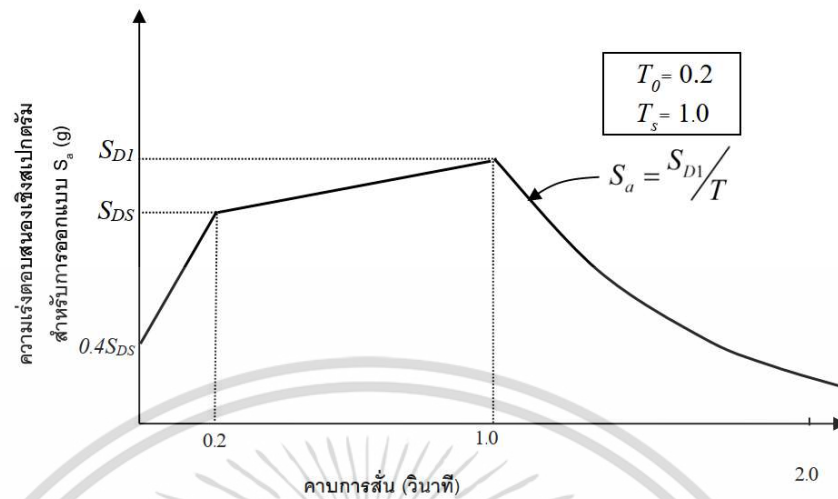
สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศ (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) $S_{D1} \geq S_{DS}$

2.) ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ (Dynamic Analysis) ให้ใช้รูปที่ 2.3 สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} \leq S_{DS}$ และให้ใช้รูปที่ 2.4 สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} \geq S_{DS}$ โดยที่ S_{DS} และ S_{D1} คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ



รูปที่ 2.3 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์

สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศ (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) $S_{D1} \leq S_{DS}$



รูปที่ 2.4 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์
สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศ (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) $S_{DI} \geq S_{DS}$

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่แสดงเป็นค่าที่สอดคล้องกับค่าอัตราส่วนความหน่วงเท่ากับร้อยละ 5 และสำหรับอัตราความหน่วงเท่ากับร้อยละ 2.5 ให้ปรับค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมโดยหารด้วย 0.85 สำหรับกรณีที่คาบการสั่น $T \geq T_0$ หรือในกรณีที่คาบการสั่น $T < T_0$ ให้คำนวณ S_a ตามสมการที่ 2.5

$$S_a = S_{DS} \left[(3.88) \frac{T}{T_s} + 0.4 \right] \quad (2.5)$$

2.1.5.2 พื้นที่แอ่งกรุงเทพ

พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพครอบคลุมกรุงเทพมหานครและจังหวัดปริมณฑลหลายจังหวัด โดยในมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 พื้นที่นี้ได้ถูกแบ่งย่อยเป็น 10 โซน ตามภาคผนวก ก.3 และค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับออกแบบ ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าและวิธีพลศาสตร์ โดยมีอัตราส่วนความหน่วง 2.5% และ 5% ตามภาคผนวก ก.3

2.1.6 ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร

อาคารได้จำแนกตามลักษณะการใช้งานของอาคารและความสำคัญต่อสาธารณะและการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุออกเป็น 4 ประเภท (Occupancy Category) คือ ประเภท I , II , III และ IV โดยอาคารแต่ละประเภทมีค่าตัวประกอบความสำคัญ (Important Factor) เท่ากับ 1.0 , 1.0 , 1.25 และ 1.5 ตามลำดับ โดยการจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร ตามภาคผนวก ก.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 ประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหว

ประเภทการออกแบบด้านทางแรงแผ่นดินไหว ในมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 ได้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ ประเภท ก ข ค และ ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.) ประเภท ก ไม่จำเป็นต้องออกแบบแรงต้านทางแรงแผ่นดินไหว

2.) ประเภท ข ต้องให้รายละเอียดการเสริมเหล็กบริเวณปลายของชิ้นส่วนโดยโครงสร้างสามารถใช้ระบบโครงสร้างธรรมดา (Ordinary Moment Frame, OMF) หรือระบบที่มีความเหนียวธรรมดา (Ductility) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่สามารถรับแรงต้านข้างได้ แต่ปราศจากความเหนียว

3.) ประเภท ค ต้องให้รายละเอียดโครงสร้างและการเสริมเหล็กโครงสร้างแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลาง (Intermediate moment frame, IMF) หรือความเหนียวจำกัด (Limit Ductility) เป็นโครงสร้างที่สามารถรับแรงต้านข้างได้และสามารถโยกตัวได้ระดับหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น การให้รายละเอียดการเสริมเหล็กของคาน กำลังด้านโมเมนต์บวกที่ขอบของข้อต่อจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของกำลังด้านโมเมนต์ลบที่ขอบของข้อต่อเดียวกันและนอกจากนี้กำลังด้านโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบที่หน้าตัดใด ๆ ตลอดความยาวคานจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในห้าของกำลังด้านโมเมนต์สูงสุดที่ขอบของข้อต่อที่ปลายทั้งสองของคาน หรือการเสริมเหล็กปลอกของเสาเพื่อต้านทางแรงดัด โดยจะต้องเสริมเหล็กปลอกเสามากกว่าระยะ S_0 ตลอดความยาว l_0 ที่วัดจากส่วนของข้อต่อเสา เป็นต้น โดยรายละเอียดการเสริมเหล็กให้โครงสร้างมีความเหนียวปานกลาง ตามภาคผนวก ก.5

4.) ประเภท ง ต้องออกแบบในระดับที่เข้มงวดที่สุด กล่าวคือในองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กต้องมีการให้รายละเอียดการเสริมเหล็กให้มีความเหนียวพิเศษ (Special Ductility) ยกตัวอย่างเช่น ระบุให้การออกแบบบริเวณจุดรองรับเพื่อรับแรงอัดได้อย่างปลอดภัย โดยไม่เกิดการต่อทาบเหล็กบริเวณจุดหมุนพลาสติก ในกรณีเสาจะต้องทำให้เสามีกำลังเพียงพอโดยไม่เกิดการครากบริเวณจุดต่อเสาคาน การครากของเสาก่อนคานจะทำให้โครงสร้างเกิดการเสียรูปและนำไปสู่การพังทลายของโครงสร้าง ดังนั้นในการออกแบบเสาจะต้องออกแบบให้มีกำลังรับแรงดัดของเสาสูงกว่าคานร้อยละ 20 ในบริเวณจุดต่อ

การกำหนดประเภทการออกแบบด้านทางแรงแผ่นดินไหวจะพิจารณาจากประเภทความสำคัญของอาคาร ตามหัวข้อที่ 2.1.6 และความรุนแรงของแผ่นดินไหว ณ ที่ตั้งอาคารซึ่งจะแสดงจากค่า S_{DS} และ S_{D1} โดยใช้หลักเกณฑ์ที่กำหนด ตามตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 การแบ่งประเภทการออกแบบด้านทางแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{DS}

ค่า S_{DS}	ประเภทการออกแบบด้านทางแผ่นดินไหว		
	ประเภทความสำคัญ I หรือ II	ประเภทความสำคัญ III	ประเภทความสำคัญ IV
$S_{DS} < 0.167$	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	ข	ข	ค
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	ค	ค	ง
$0.50 \leq S_{DS}$	ง	ง	ง

ตารางที่ 2.5 การแบ่งประเภทการออกแบบด้านทางแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{D1}

ค่า S_{D1}	ประเภทการออกแบบด้านทางแผ่นดินไหว		
	ประเภทความสำคัญ I หรือ II	ประเภทความสำคัญ III	ประเภทความสำคัญ IV
$S_{D1} < 0.067$	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	ข	ข	ค
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	ค	ค	ง
$0.20 \leq S_{D1}$	ง	ง	ง

สำหรับพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ ค่า S_{DS} และ S_{D1} มีค่าเท่ากับความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (S_0) ที่คาบการสั่น 0.2 วินาที และ 1.0 วินาที ตามลำดับ (อัตราส่วนความหน่วงร้อยละ 5)

สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศยกเว้นแอ่งกรุงเทพหากประเภทการออกแบบด้านทางแผ่นดินไหวที่กำหนดตามเกณฑ์ในตารางที่ 2.4 แตกต่างจากที่กำหนดตามเกณฑ์ในตารางที่ 2.5 ให้ยึดถือประเภทการออกแบบด้านทางแรงแผ่นดินไหวที่เข้มงวดกว่า แต่ในกรณีที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T) มีค่าน้อยกว่า $0.8T_s$ โดย T_s มีค่าเป็นไปตามที่กำหนดตามหัวข้อที่ 2.1.5 อนุญาตให้กำหนดประเภทการออกแบบด้านทางแผ่นดินไหวโดยใช้เฉพาะเกณฑ์ตามตารางที่ 4

สำหรับพื้นที่แอ่งกรุงเทพ ในกรณีที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 วินาที ให้กำหนดประเภทการออกแบบด้านทางแรงแผ่นดินไหวโดยใช้เกณฑ์จากตารางที่ 4 เท่านั้น และในกรณีที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T) มีค่ามากกว่า 0.5 วินาที ให้กำหนดประเภทการออกแบบด้านทางแรงแผ่นดินไหวโดยใช้เกณฑ์จากตารางที่ 5 เท่านั้น

2.2 ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

อาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว จะต้องออกแบบให้มีกำลังต้านทาน สติฟเนส และความสามารถในการสลายพลังงานในระดับที่สูงเพียงพอ ที่จะทำให้อาคารนั้นสามารถต้านทานแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบได้ กล่าวคือระบบโครงสร้างจะต้องประกอบด้วยระบบต้านแรงด้านข้าง (Lateral Load Resisting System) และระบบรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง (Gravity Load Resisting System) ที่จะทำให้อาคารสามารถต้านทานแผ่นดินไหว (Design Earthquake) ซึ่งประกอบด้วย

2.2.1 ข้อกำหนดพื้นฐานของการออกแบบโครงสร้าง

แรงกระทำที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว ต้องสามารถกระจายไปยังชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ ที่มีความต้านทานได้ ซึ่งจะต้องออกแบบให้ระบบโครงสร้างให้มีความต่อเนื่องของเส้นการถ่ายแรง (Continuous Load Path) โดยองค์อาคารต่างๆที่แรงถูกส่งผ่านจะต้องมีกำลัง และสติฟเนสเพียงพอต่อการถ่ายแรง และองค์อาคารต่างๆจะต้องได้รับการตรวจสอบให้สามารถต้านทาน แรงเฉือน (Shear Force) แรงตามแนวแกน (Axial Force) และโมเมนต์ดัด (Bending Moment) รวมถึงการเสียรูปที่เกิดขึ้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2.2.2 การเลือกระบบโครงสร้าง

ในการคำนวณค่าแรงเฉือนพื้นฐาน (Base Shear) การเลือกระบบโครงสร้างโครงสร้างโดยรวม และระบบโครงสร้างแรงด้านข้าง เพื่อใช้ในการหาแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนโครงสร้าง (Element Design Force) และค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้น (Story Drift) ของโครงสร้าง ประกอบด้วย ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (Ω_0) และตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d)

โดยการเลือกระบบโครงสร้างจะมีความสัมพันธ์กับประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว ที่ได้อธิบายในหัวข้อ 2.1.7 โดยระบบโครงสร้างที่เลือกใช้ ตามรายละเอียดตามภาคผนวก ก.7 และในการเลือกระบบโครงสร้างจะต้องได้รับการออกแบบและกำหนดรายละเอียดของโครงสร้าง (Detailing) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน

2.2.2.1 ข้อกำหนดด้านความสูงสำหรับประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว ง

ระบบต้านแรงด้านข้างที่ประกอบด้วย กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัด สำหรับประเภทการ

ออกแบบต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ง สามารถใช้ได้กับอาคารที่มีความสูงไม่เกินค่าต่อไปนี้

1.) 40 เมตร สำหรับ โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัด และโครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง

2.) 60 เมตร สำหรับ กำแพงรับแรงเฉือนธรรมดา

ทั้งนี้ในการคำนวณออกแบบด้านกำลัง ให้เพิ่มค่าแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบองค์อาคารอีกร้อยละ 40 แต่ในส่วนการคำนวณค่าการเสียรูปไม่จำเป็นต้องเพิ่มค่าแรงที่ใช้ในการคำนวณ

2.2.3 ความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงของโครงสร้าง

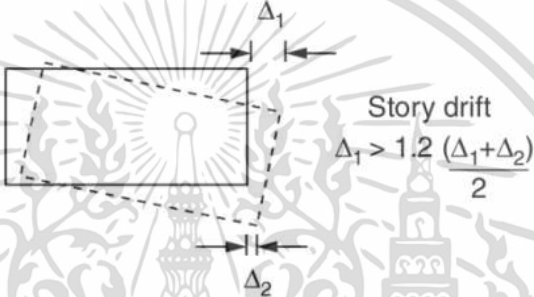
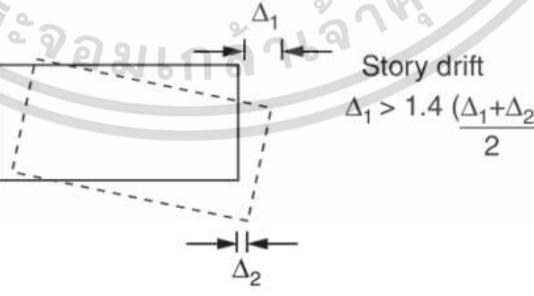
ในการออกแบบอาคาร สามารถจำแนกลักษณะของอาคารเป็น อาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างที่สม่ำเสมอ (Regular Shape of Building) และอาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอ (Irregular Shape of Building) ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความไม่สม่ำเสมอของอาคาร เพื่อนำไปสู่การกำหนดวิธีการวิเคราะห์ระหว่างวิธีสถิตเทียบเท่า กับวิธีพลศาสตร์ โดยข้อจำกัดจะแสดงในตารางที่ 8

ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างอาคารสามารถแยกได้ 2 ประเภท คือ อาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวราบ (Horizontal Irregularity) รายละเอียดตามตารางที่ 2.6 และอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง (Vertical Irregularity) รายละเอียดตามตารางที่ 2.7

อาคารที่มีลักษณะของความไม่สม่ำเสมอรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง หรือหลายรูปแบบตามตารางที่ 6 และ 7 ให้ถือว่า อาคารนั้นที่ความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวตั้งหรือแนวราบ

อาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวตั้ง แบบ 1ก 1ข หรือ 2 หากค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) ของชั้นใดๆ ที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่ามีค่าไม่เกินร้อยละ 130 ของชั้นที่อยู่เหนือถัดขึ้นไป ทั้งนี้การคำนวณค่าการเคลื่อนตัวดังกล่าวไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของการบิดตัวของอาคาร (Torsional Effect) และไม่จำเป็นต้องพิจารณาค่าการเคลื่อนตัวของสองชั้นบนสุดของอาคาร และในการออกแบบอาคาร 1 ชั้นและ 2 ชั้น ไม่จำเป็นต้องพิจารณาความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวตั้งแบบ 1ก 1ข และ 2


ตารางที่ 2.6 รายละเอียดและคำอธิบายความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ

ลักษณะ	รายละเอียด
1ก	<p>ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด (Torsional Irregularity) คือ กรณีที่ค่าสูงสุดของการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่ขอบด้านหนึ่งของอาคาร ที่คำนวณจากแรงแผ่นดินไหวที่รวมผลของแรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion) เข้าไปแล้วมีค่ามากกว่า 1.2 เท่าของค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่ขอบทั้ง 2 ด้านของอาคาร ในการคำนวณผลของแรงบิดโดยบังเอิญสามารถใช้ค่าตัวประกอบขยายแรงบิดโดยบังเอิญ เท่ากับ 1.0 ซึ่งเกณฑ์พิจารณานี้ใช้ได้เฉพาะกับอาคารที่มีเดือแอมแปรงหรือกิ่งแข็งเท่านั้น</p> 
1ข	<p>ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิดอย่างมาก (Extreme Torsional Irregularity) คือ กรณีที่ค่าสูงสุดของการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่ขอบด้านหนึ่งของอาคาร ที่คำนวณจากแรงแผ่นดินไหวที่รวมผลของแรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion) เข้าไปแล้วมีค่ามากกว่า 1.4 เท่าของค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่ขอบทั้ง 2 ด้านของอาคาร ในการคำนวณผลของแรงบิดโดยบังเอิญสามารถใช้ค่าตัวประกอบขยายแรงบิดโดยบังเอิญ (A_x) เท่ากับ 1.0 ซึ่งเกณฑ์พิจารณานี้ใช้ได้เฉพาะกับอาคารที่มีเดือแอมแปรงหรือกิ่งแข็งเท่านั้น</p> 



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2	<p>ความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน (Reentrant Corner Irregularity) คือ กรณีที่ผนังอาคารมีลักษณะหักมุมเข้าข้างใน ทำให้เกิดส่วนยื่นโดยที่ส่วนยื่นนั้นมีระยะฉายในแต่ละทิศทางมากกว่าร้อยละ 15 ของมิติของผนังในทิศทางนั้น</p> 
3	<p>ความไม่สม่ำเสมอจากความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม (Diaphragm Discontinuity Irregularity) คือ กรณีที่ไดอะแฟรมมีความไม่ต่อเนื่องหรือมีการเปลี่ยนค่าสถิติพื้นสอย่างฉับพลันในบางบริเวณ ซึ่งรวมถึงกรณีที่พื้นที่มีช่องเปิดมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่พื้น (ไดอะแฟรม) ทั้งหมด หรือกรณีที่ค่าสถิติพื้นสปรสทธิผลโดยรวมของไดอะแฟรมของชั้นใดชั้นหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่ามากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับชั้นถัดไป</p> 
4	<p>ความไม่สม่ำเสมอจากการเอียงออกนอกระนาบ (Out-of-Plane Offset Irregularity) คือ กรณีที่โครงสร้างแนวตั้งที่ต้านแรงด้านข้าง กำแพงรับแรงเฉือนมีความไม่ต่อเนื่อง เช่น กำแพงในชั้นใดชั้นหนึ่งเอียงออกจากระนาบของกำแพงในชั้นถัดไป</p> 

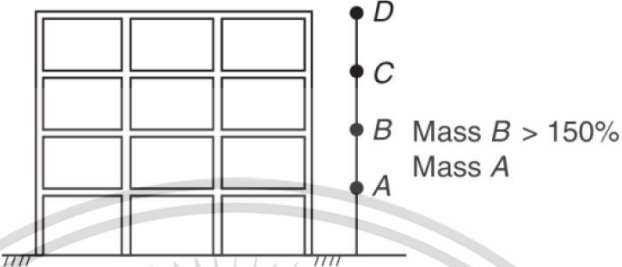
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5	<p>ความไม่สม่ำเสมอจากระบบที่ไม่ขนานกัน (Nonparallel System Irregularity) คือ กรณีที่โครงสร้างแนวตั้งที่ต้านทานแรงด้านข้าง เช่น กำแพงรับแรงเฉือน วางตัวในแนวที่ไม่ขนานกัน หรือไม่สมมาตรกันเมื่อเทียบกับแกนหลัก 2 แกน (ซึ่งตั้งฉากกัน) ของระบบต้านแรงด้านข้างของอาคาร</p> 
---	--

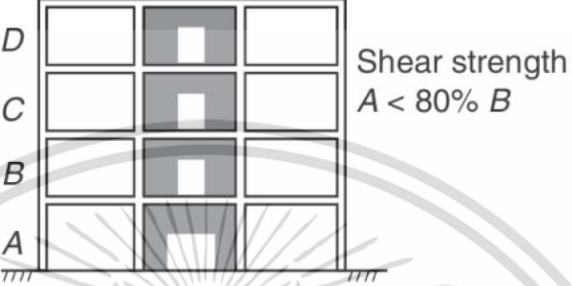
ตารางที่ 2.7 รายละเอียดและคำอธิบายความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวตั้ง

ลักษณะ	รายละเอียด
1ก	<p>ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส หรือมีชั้นที่อ่อน (Stiffness-Soft Story Irregularity) คือ กรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีค่าสติฟเนสทางด้านข้าง (Lateral Stiffness) น้อยกว่าร้อยละ 70 ของค่าในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป หรือน้อยกว่าร้อยละ 80 ของค่าสติฟเนสเฉลี่ยของสามชั้นที่เหนือขึ้นไป</p>  <p>Stiffness $A < 70\% B$ or $A < 80\% \frac{(B + C + D)}{3}$</p>
1ข	<p>ความไม่สม่ำเสมออย่างมากของสติฟเนส หรือมีชั้นที่อ่อนอย่างมาก (Stiffness-Extreme Soft Story Irregularity) คือ กรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีค่าสติฟเนสทางด้านข้าง (Lateral Stiffness) น้อยกว่าร้อยละ 60 ของค่าในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป หรือน้อยกว่าร้อยละ 70 ของค่าสติฟเนสเฉลี่ยของสามชั้นที่เหนือขึ้นไป</p>  <p>Stiffness $A < 60\% B$ or $A < 70\% \frac{(B + C + D)}{3}$</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2	<p>ความไม่สม่ำเสมอของมวล (Mass Irregularity) คือ กรณีที่ค่ามวลประสิทธิผล (Effective Mass) ของชั้นหนึ่งชั้นใด มีค่ามากกว่าร้อยละ 150 ของมวลประสิทธิผลของชั้นบนหรือชั้นล่างที่อยู่ถัดไป อาคารที่มีหลังคาที่มีมวลน้อยกว่าพื้นชั้นถัดลงมา ไม่ถือว่าเป็นอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอของมวล</p> 
3	<p>ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวตั้ง (Vertical Geometric Irregularity) คือ กรณีที่มีมิติในแนวราบของระบบต้านแรงด้านข้าง ณ ชั้นหนึ่งชั้นใด มีค่ามากกว่าร้อยละ 130 ของค่าในชั้นบนหรือชั้นล่างที่อยู่ถัดไป ยกเว้น Penthouse ที่สูง 1 ชั้น ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา</p> 
4	<p>ความไม่ต่อเนื่องภายในระนาบขององค์อาคารต้านแรงด้านข้างในแนวตั้ง (In-Plane Discontinuity in Vertical Lateral Force-Resisting Element Irregularity) คือ กรณีที่องค์อาคารในแนวตั้งที่ต้านแรงด้านข้างเช่นกำแพงรับแรงเฉือน มีความไม่ต่อเนื่องโดยมีการเยื้องตัวภายในระนาบตั้งขององค์อาคารต้านแรงด้านข้างมีค่ามากกว่าความยาวขององค์อาคารนั้นๆ</p> 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5ก.	<p>ความไม่ต่อเนื่องของกำลังด้านแรงด้านข้างหรือมีชั้นที่อ่อนแอ (Discontinuity in Lateral Strength-Weak Story Irregularity) คือ กรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีกำลังด้านแรงด้านข้างน้อยกว่าร้อยละ 80 ของกำลังในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป กำลังด้านแรงด้านข้างของชั้นในที่นี้คือผลรวมของกำลังด้านทานแรงด้านข้างของทุกๆ องค์อาคารที่แบกรับแรงเฉือนของอาคารในชั้นนั้นในทิศทางที่พิจารณา</p> 
5ข.	<p>ความไม่ต่อเนื่องอย่างมากของกำลังด้านแรงด้านข้างหรือมีชั้นที่อ่อนแอมาก (Discontinuity in Lateral Strength-Extreme Weak Story Irregularity) คือ กรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีกำลังด้านแรงด้านข้างน้อยกว่าร้อยละ 65 ของกำลังในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป</p> 

2.2.4 ข้อจำกัดและข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับอาคารที่รูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอ

- 1.) อาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง จะต้องไม่เป็นอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งแบบ (5ข)
- 2.) อาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งแบบ (5ข) จะมีความสูงได้ไม่เกิน 2 ชั้นหรือ 9 เมตร เว้นแต่อาคารนั้นสามารถต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวสถิติเทียบเท่าที่คุณด้วยตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (Ω_0) ได้
- 3.) อาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบแบบ (4) หรือในแนวตั้งแบบ (4) จะต้องได้รับการออกแบบให้องค์อาคารต่างๆ ที่รองรับกำแพงหรือโครงสร้างที่ไม่ต่อเนื่องมีกำลังเพียงพอที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านทานแรงซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกกระทำร่วมกับแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่าที่คุณด้วยตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (Ω_0)

4.) อาคารที่มีประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง และมีความไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบ แบบ (1ก) (1ข) (2) (3) หรือ (4) หรือมีความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งแบบ (4) จะต้องได้รับการออกแบบให้ (ก) จุดต่อระหว่างไดอะแฟรมกับโครงสร้างแนวตั้งด้านแรงด้านข้าง (ข) จุดต่อระหว่างไดอะแฟรมกับองค์อาคารเชื่อม (Collector) และ (ค) จุดต่อระหว่างองค์อาคารเชื่อมกับโครงสร้างแนวตั้งด้านแรงด้านข้างสามารถต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวตามแรงที่ใช้ออกแบบไดอะแฟรมคุณด้วย 1.25 องค์อาคารเชื่อมและจุดต่อระหว่างองค์อาคารเชื่อมก็ต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรง ดังกล่าวไว้แต่มาได้ถูกออกแบบให้ต้านทานแรงซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกกระทำร่วมกับแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่าที่คุณด้วยตัวประกอบกำลังส่วนเกินเรียบร้อยแล้ว

2.2.5 วิธีวิเคราะห์โครงสร้าง

ผู้ออกแบบโครงสร้างสามารถเลือกวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อคำนวณผลของแรงแผ่นดินไหว วิธีหนึ่งวิธีใด ตามเกณฑ์ที่แสดงโดยตารางที่ 2.8 ซึ่งขึ้นกับประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหว คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์และความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างของอาคาร

2.2.6 น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล

น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล คือน้ำหนักบรรทุกแนวตั้งของอาคารที่ต้องนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างด้านทานแผ่นดินไหว โดยน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล (W) จะต้องรวมน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมดของอาคาร และน้ำหนักบรรทุกประเภทอื่นๆ ดังต่อไปนี้

1.) ร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกจร (Floor Live Load) สำหรับอาคารที่ใช้เก็บพัสดุยกเว้นในกรณีที่น้ำหนักจากพัสดุรวมแล้วมีค่าไม่ถึงร้อยละ 5 ของน้ำหนักประสิทธิผลในชั้นที่พิจารณา ในกรณีของอาคารจอดรถยนต์ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงน้ำหนักในข้อนี้

2.) น้ำหนักของผนังอาคาร และผนังกันห้องต่างๆ หรือน้ำหนักบรรทุกเทียบเท่าจากน้ำหนักของผนังอาคาร ที่กระจายลงพื้นทั่วทั้งชั้นอย่างน้อย 480 นิวตันต่อตารางเมตร โดยให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่า

3.) น้ำหนักของเครื่องมือเครื่องจักรและอุปกรณ์ซึ่งติดตั้งถาวรในอาคาร

4.) น้ำหนักของวัสดุและส่วนประกอบต่างๆ ของส่วนที่อยู่บนชั้นหลังคาหรือบริเวณอื่นใน

อาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อคำนวณผลของแรงแผ่นดินไหวที่อนุญาตให้ใช้ได้

ประเภทการ ออกแบบ ด้านทาน แผ่นดินไหว	ลักษณะโครงสร้าง	วิธีแรงสถิต เทียบเท่า	วิธีสเปกตรัม ตอบสนอง แบบโหมด	วิธีวิเคราะห์ การตอบสนอง แบบประวัติ เวลา
ข, ค	โครงสร้างอาคารทุกรูปแบบ	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
ง	อาคารที่มีประเภทความสำคัญแบบ I หรือ II ที่ใช้โครงสร้างเบา (Light-frame Construction)	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารแบบอื่นๆ ที่มีประเภทความสำคัญแบบ I หรือ II และมีความสูงไม่เกิน 2 ชั้น	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างสม่ำเสมอ และมีความสูงไม่เกิน 50 เมตร	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารนอกแอ่งกรุงเทพฯ ที่มีรูปทรงโครงสร้างสม่ำเสมอที่สูงเกิน 50 เมตรและมีคาบการสั่นพื้นฐานน้อยกว่า 3.5Ts	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 50 เมตร และมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ แบบ 2, 3, 4, หรือ 5 หรือในแนวตั้งแบบ 4, 5ก หรือ 5ข	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารแบบอื่นๆ	ไม่อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต

2.2.7 แบบจำลองโครงสร้าง

ในการสร้างแบบจำลองจะต้องจำลองค่าสติเฟเนสและกำลังขององค์อาคารและส่วนประกอบต่างๆของอาคารที่มีความสำคัญต่อการต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวรวมถึงการจำลองการกระจายของมวลทั่วทั้งอาคารอย่างถูกต้อง

ในกรณีที่อาคารมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ แบบ 1ก, 1ข, 4 หรือ 5 แบบจำลองโครงสร้างจะต้องเป็นแบบ 3 มิติ ที่สามารถจำลองการเคลื่อนตัวโครงสร้างในแนวราบได้ทั้งทิศทางหลัก 2 ทิศทางที่ตั้งฉากกันและการบิดตัวรอบแกนในแนวตั้งของโครงสร้าง

การกำหนดค่าสติเฟเนสขององค์อาคารคอนกรีตและอิฐก่อจะต้องคำนึงถึงผลของการแตกร้าวที่มีต่อค่าสติเฟเนส โดยในกรณีที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์อย่างละเอียด อนุญาตให้ประมาณค่าสติเฟเนส จากค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิภาพ (I_{eff}) และค่าพื้นที่หน้าตัดประสิทธิภาพ (A_{eff}) ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาน	:	$l_{eff} = 0.35l_g$
เสา	:	$l_{eff} = 0.70l_g$, $A_{eff} = 0.70A_g$
กำแพงที่ไม่แตกร้าว	:	$l_{eff} = 0.70l_g$
กำแพงที่มีการแตกร้าว	:	$l_{eff} = 0.35l_g$
แผ่นพื้นไร้คาน	:	$l_{eff} = 0.25l_g$

โดยที่ l_g คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย และ A_g คือ พื้นที่หน้าตัดที่คำนวณจากหน้าตัดเต็ม

2.2.8 การเคลื่อนตัวด้านข้าง

ในการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหวจำเป็นต้องตรวจสอบการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) ให้อยู่ในข้อกำหนดตามตารางที่ 2.9 และในกรณีอาคารมีประเภทการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง ทุกองค์อาคารที่มีได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบโครงสร้างต้านแรงแผ่นดินไหวจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งร่วมกับแรงภายในองค์อาคารที่เกิดจากการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเท่ากับ Δ_o

ตารางที่ 2.9 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_o)

ลักษณะโครงสร้าง	ประเภทความสำคัญของอาคาร		
	I หรือ II	III	IV
1. โครงสร้างที่ไม่ใช่ผนังอิฐก่อรับแรงเฉือนและสูงไม่เกิน 4 ชั้นซึ่งผนังภายใน ฉากกันห้องฝ้าเพดาน และผนังภายนอกถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้มาก	$0.025h_{sx}$	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$
2. โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบยื่นจากฐานรองรับ	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$
3. โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบอื่นๆ	$0.07h_{sx}$	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$
4. โครงสร้างอื่นๆ ทั้งหมด	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.010h_{sx}$

โดย h_{sx} คือ ความสูงระหว่างชั้นที่อยู่ใต้พื้นที่ X

2.3 การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Analysis)

วิธีคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีนี้เริ่มจากคำนวณแรงสถิตเทียบเท่าในรูปของแรงเฉือนที่ฐานของอาคาร (Seismic Base Shear, V) จากนั้นจึงกระจายแรงไปยังชั้นต่างๆของอาคาร โดยแรงที่กระทำกับองค์อาคารต่างๆต้องกระทำร่วมกับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งของอาคารจะเป็นแรงที่เหมาะสม

สำหรับการนำไปออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้าง และการหาค่าการเคลื่อนตัว จะต้องถูกนำไปปรับแก้ตัวประกอบขยายค่าโก่งตัว จะได้เป็นค่าโก่งตัวสูงสุดที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว

2.3.1 แรงเฉือนที่ฐานอาคาร

การคำนวณหาแรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Seismic Base Shear) คำนวณได้จากสมการที่ 2.6

$$V = C_s W \quad (2.6)$$

โดยที่ C_s คือ สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว

W คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร ตามที่กำหนดในหัวข้อที่ 2.2.6

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว (C_s) คำนวณได้จากสมการที่ 2.7

$$C_s = S_a \left(\frac{I}{R} \right) \quad (2.7)$$

โดยที่ S_a คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ที่คาบการสั่นพื้นฐาน ของอาคาร (T)

R คือ ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง ตามหัวข้อที่ 2.2.2

I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร ตามหัวข้อที่ 2.2.2

และ C_s จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.01

2.3.2 การคำนวณคาบการสั่นพื้นฐาน

ค่าคาบการสั่นพื้นฐาน (Fundamental Period, T) ในทิศทางแกนหลักของอาคาร สามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ

1.) วิธี ก

คาบการสั่นพื้นฐาน (วินาที) สามารถคำนวณได้จากสูตรประมาณดังนี้

$$\text{สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก} \quad T = 0.02H \quad (2.7)$$

$$\text{สำหรับโครงสร้างเหล็ก} \quad T = 0.03H \quad (2.8)$$

โดยที่ H คือความสูงทั้งหมดของอาคารวัดจากพื้นดิน (เมตร)

2.) วิธี ข

คาบการสั่นพื้นฐาน (วินาที) สามารถคำนวณจากลักษณะการกระจายมวล (หรือน้ำหนัก) ภายในอาคาร และสถิติของระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้างของอาคาร ด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมและค่าคาบการสั่นพื้นฐานที่คำนวณได้จากวิธี ข. จะต้องไม่เกิน 1.5 เท่าของค่าที่คำนวณได้จาก วิธี ก. โดยค่าคาบการสั่นพื้นฐานคำนวณได้จากสมการที่ 2.9

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i \delta_i^2)}{g \sum_{i=1}^n (F_i \delta_i)}} \quad (2.9)$$

โดยที่ F_i คือ แรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำต่อชั้นที่ i (นิวตัน)

δ_i คือ การเคลื่อนตัวในแนวราบของอาคารที่ชั้นที่ i ไม่รวมผลของการบิด ณ ตำแหน่งศูนย์กลางมวลของชั้นที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า (เมตร)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (เมตร/วินาที²)

n คือ จำนวนชั้นของอาคาร

w_i คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของชั้นที่ i (นิวตัน)

2.3.3 การกระจายแรงเฉือนพื้นฐานเป็นแรงกระทำทางด้านข้างต่ออาคารในชั้นต่างๆ

แรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำต่ออาคาร ณ ชั้นใดๆ ในแนวราบ (F_x) คำนวณได้จากสมการที่ 2.10

$$F_x = C_{vx} V \quad (2.10)$$

และ

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.11)$$

โดยที่ C_{vx} คือ ตัวประกอบการกระจายในแนวดิ่ง

w_i และ w_x คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของชั้น i และ x ตามลำดับ

h_i และ h_x คือ ความสูงที่ระดับชั้น i และ x ตามลำดับ

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง ซึ่งมีค่าดังนี้

$$k = 1.0 \quad \text{เมื่อ } T \leq 0.5 \text{ วินาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k = 1 + \frac{T - 0.5}{2} \quad \text{เมื่อ } 0.5 < T < 2.5 \text{ วินาที}$$

$$k = 2.0 \quad \text{เมื่อ } T \geq 2.5 \text{ วินาที}$$

2.3.4 การคำนวณค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (Design Story Drift, Δ) คำนวณจากผลต่างระหว่างการเคลื่อนตัวในแนวราบที่จุดศูนย์กลางมวลของชั้นบนและชั้นล่างที่พิจารณา โดยการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ศูนย์กลางมวลของชั้นใด ๆ (Δ_x) ตามสมการที่ 2.12

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I} \quad (2.12)$$

โดยที่ C_d คือ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัวตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 2.2.2

δ_{xe} คือ ค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบที่จุดศูนย์กลางมวลของชั้น x เนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่าที่ได้จากวิธีวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับระบบอิลาสติก

I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคารตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 2.1.6

2.4 การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Analysis)

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแบบเชิงเส้น และวิธีแบบประวัติเวลา ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งในงานวิจัยนี้การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์จะวิเคราะห์ ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum Analysis, RSA) และวิธีวิเคราะห์เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Linear Time History Analysis, LTHA)

2.4.1 วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum Analysis)

การออกแบบด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum Analysis, RSA) จะต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อคำนวณค่าคาบการสั่นและรูปร่างโหมดธรรมชาติของการสั่นไหวของโครงสร้างโดยใช้แบบจำลองอาคารที่จำลองมวลและสติเฟนของโครงสร้างอาคารอย่างถูกต้อง โดยค่าความหน่วงของสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบจำเป็นต้องสอดคล้องกับอัตราหน่วงของอาคารที่ออกแบบ

2.4.1.1 จำนวนโหมดที่ต้องพิจารณา

ในการวิเคราะห์จะต้องพิจารณารวมการตอบสนองจากหลายโหมด โดยจำนวนโหมดที่พิจารณาจะต้องเพียงพอที่จะทำให้ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Effective Modal Weight, หรือ Modal Weight Participation) มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของน้ำหนักประสิทธิผลทั้งหมดของอาคาร สำหรับแต่ละทิศทางของแผ่นดินไหวในแนวราบที่ตั้งฉากกันโดยที่น้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมดสำหรับโหมดที่ m (W_m) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.13 ในกรณีทีวิเคราะห์แบบ 2 มิติ.

$$W_m = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \phi_{im} w_i \right)^2}{\sum_{i=1}^n \phi_{im}^2 w_i^2} \quad (2.13)$$

โดยที่ ϕ_{im} คือ ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของระดับชั้นที่ i ของอาคารที่เกิดในโหมดที่ m ในทิศทางที่พิจารณา (ค่านี้นำได้จากรูปร่างโหมดธรรมชาติของการสั่นไหวของโครงสร้าง)

w_i คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของชั้นที่ i ตามที่กำหนดในหัวข้อที่ 2.2.6

n คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคาร

ค่าการตอบสนองสูงสุดของโครงสร้างหาได้จากการรวมค่าการตอบสนองจากหลายโหมดเข้าด้วยกันโดยใช้วิธีการตอบสนองที่เหมาะสม เช่นวิธีรากที่สองของผลรวมของค่ากำลังสอง (Square Root of Sum of Squares, SRSS) หรือวิธีการรวมแบบสมบูรณ์ของค่ากำลังสอง (Complete Quadratic Combination, CQC)

2.4.1.2 การคำนวณค่าการตอบสนองแต่ละโหมด

การคำนวณค่าการตอบสนอง เช่นการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drifts) แรงที่ถ่ายลงสู่ฐานราก (Support Reaction Forces) หรือแรงภายในขององค์อาคาร (Member Forces) สำหรับแต่ละโหมดจะต้องคำนวณโดยใช้คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของแต่ละโหมด และใช้สเปกตรัมการตอบสนองที่กำหนดในหัวข้อที่ 2.1.1 ซึ่งเป็นการตอบสนองสูงสุดของระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นค่าแรงภายในที่ใช้สำหรับออกแบบกำลังความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้างยกเว้นค่าแรงเฉือนสำหรับการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างแนวตั้งเป็นรายชิ้นส่วน ให้ใช้ค่าการตอบสนองสูงสุดของระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นในแต่ละโหมดคูณด้วย $\frac{I}{R}$ โดยที่ R คือตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor) และ I คือตัวประกอบความสำคัญ (Important Factor) ของอาคาร

การคำนวณแรงเฉือนรวมที่ฐาน (Total Base Shear) ซึ่งรวมผลจากหลายโหมดด้วยวิธีการที่สองของผลรวมของค่ากำลังสอง (Square Root of Sum of Squares, SRSS) หรือวิธีการรวมแบบสมบูรณ์ของค่ากำลังสอง (Complete Quadratic Combination, CQC) โดยทุกโหมดถูกคูณด้วย $\frac{I}{R}$ จะได้ค่าแรงเฉือนที่ฐานจากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ (Total Base Shear, V_t) สำหรับใช้ในการคำนวณตัวคูณปรับค่า (S_F) ตามสมการที่ 2.14

$$V_t = \frac{I}{R} \sqrt{V_{b,1e}^2 + V_{b,2e}^2 + V_{b,3e}^2 + \dots} \quad (2.14)$$

โดย $V_{b,ie}$ คือ แรงเฉือนรวมที่ฐานในโหมด i ของระบบยึดหยุ่นเชิงเส้น (Linear Elastic)

ในกรณีที่ต้องการคำนวณค่าแรงเฉือนสำหรับการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างแนวดิ่งเป็นรายชิ้นส่วน (Individual Vertical Member) สำหรับโหมดแรกของการสั่นไหวในแต่ละทิศทางในแนวราบ ให้คูณค่าแรงเฉือนสูงสุดของชิ้นส่วนนั้นในระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นด้วย $\frac{S_F I \Omega_0}{R}$ โดยที่ Ω_0 คือ ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (ตามหัวข้อที่ 2.2.2) และ S_F คือ ตัวคูณปรับค่า (ตามหัวข้อที่ 2.4.3) สำหรับโหมดอื่นๆ ให้คูณค่าแรงเฉือนสูงสุดของชิ้นส่วนนั้นในระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นด้วย I จากนั้นรวมค่าการตอบสนองของทุกโหมดที่พิจารณาด้วยวิธีการที่สองของผลรวมของค่ากำลังสอง (SRSS) ตามสมการที่ 2.15 หรือวิธีการรวมแบบสมบูรณ์ของค่ากำลังสอง (CQC) จะได้ค่าแรงเฉือนที่ต้องต้านทานเพื่อใช้ในการออกแบบกำลังรับแรงเฉือนของชิ้นส่วนโครงสร้างแนวดิ่งนั้น

$$V = I \sqrt{\left(\frac{S_F \Omega_0 V_{1e}}{R}\right)^2 + V_{2e}^2 + V_{3e}^2 + \dots} \quad (2.15)$$

โดย V_{1e} , V_{2e} , และ V_{3e} คือแรงเฉือนในระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นในโหมดที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ

วิธีการคำนวณนี้เรียกว่า Modified Response Spectrum Analysis (MRSa) ซึ่งเป็นการปรับวิธีการคำนวณแรงเฉือนที่ต้องต้านทานให้การออกแบบมีความปลอดภัยโดยพิจารณาแรงเฉือนเนื่องจากโหมดสูงเป็นแบบยึดหยุ่นเชิงเส้น

ในการคำนวณแรงภายในอื่นนอกเหนือจากแรงเฉือนสำหรับการออกแบบชิ้นส่วนเช่นโมเมนต์ คัดให้ใช้ค่า $\frac{I}{R}$ คูณผลตอบสนองแบบยึดหยุ่นเชิงเส้นของทุกโหมดได้ ตามสมการที่ 2.14

การเคลื่อนตัวและการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่ประมาณว่าจะเกิดขึ้นจริงซึ่งพิจารณาผลของการตอบสนองแบบอินอีลาสติกคำนวณได้จากการเคลื่อนตัวและการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น

ภายใต้แรงที่ใช้ออกแบบกำลังความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง (ค่าการเคลื่อนตัวที่คูณด้วย $1/R$) คูณด้วยค่า $\frac{C_d}{I}$ ซึ่งเทียบเท่ากับค่าการเคลื่อนตัวของระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นคูณด้วย $\frac{C_d}{R}$ ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ประมาณว่าจะเกิดขึ้นจริง ในการตรวจสอบตามหัวข้อที่ 2.2.8 โดยการเคลื่อนตัวในระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นและการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นในระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นตามสมการที่ 2.16 และ 2.17 ตามลำดับ

$$\delta = \frac{C_d}{R} \sqrt{\delta_{1e}^2 + \delta_{2e}^2 + \delta_{3e}^2 + \dots} \quad (2.16)$$

$$\Delta = \frac{C_d}{R} \sqrt{\Delta_{1e}^2 + \Delta_{2e}^2 + \Delta_{3e}^2 + \dots} \quad (2.17)$$

โดยที่ δ_{1e} , δ_{2e} , และ δ_{3e} คือ การเคลื่อนตัวในระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นในโหมดที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ

Δ_{1e} , Δ_{2e} , และ Δ_{3e} คือ การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นในระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นในโหมดที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ

2.4.1.3 การปรับค่าการตอบสนองเพื่อใช้ในการออกแบบ

ค่าแรงเฉือนพื้นฐานจากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ (Modal Base Shear, V_t) ซึ่งคำนวณจากการรวมการตอบสนองของโหมดต่างๆ ตามสมการที่ 2.14 มีค่าน้อยกว่า 85% ของค่าแรงเฉือนพื้นฐาน (Base Shear, V) ที่ได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่าข้างต้นให้ปรับค่าแรงภายในที่ใช้ในการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์โดยคูณด้วยตัวประกอบปรับค่า (Scaling Factor, S_F) ตามสมการที่ 2.18 ทั้งนี้ไม่ต้องคูณปรับค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของพื้น (Floor Displacements) และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drifts) ที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์

$$S_F = 0.85 \frac{V}{V_t} \quad (2.18)$$

2.4.2 วิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Linear Time History Analysis)

การวิเคราะห์โครงสร้างเชิงเส้นแบบประวัติเวลาเป็นการวิเคราะห์หาค่าการตอบสนองที่ทุกขณะเวลาที่เกิดการสั่นไหวของโครงสร้างที่ถูกกระตุ้นด้วยความเร่งของพื้นดินที่ฐานอาคาร โดยการคำนวณ

ปริพันธ์เชิงตัวเลข (Numerical Integration) ในการวิเคราะห์จะต้องมีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้นของโครงสร้างและต้องมีข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดินที่ใช้กระทำที่ฐานอาคาร โดยข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดินจะต้องสอดคล้องกับสเปกตรัมการตอบสนองที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร

2.4.2.1 การสั่นไหวของดิน (Ground Motion)

การวิเคราะห์โครงสร้างเชิงเส้นแบบประวัติเวลาเป็นการวิเคราะห์หาค่าการตอบสนองที่ทุกขณะเวลาที่เกิดการสั่นไหวของโครงสร้างที่ถูกกระทำจากความเร่งของพื้นดินที่ฐานอาคาร โดยการคำนวณปริพันธ์เชิงตัวเลข (Numerical Integration) ในการวิเคราะห์จะต้องมีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้นของโครงสร้างและต้องมีข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดินที่ใช้กระทำที่ฐานอาคาร โดยข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดินจะต้องสอดคล้องกับสเปกตรัมการตอบสนองที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร

1.) การวิเคราะห์แบบ 2 มิติ

ในการวิเคราะห์ที่ใช้การสั่นไหวของพื้นดินแต่ละชุดเป็นประวัติเวลาของความเร่งในแนวราบซึ่งเลือกจากข้อมูลที่บันทึกได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวจริง (Actual Recorded Ground Motion) โดยเป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาด กลไกของแหล่งกำเนิดระยะห่างจากแหล่งกำเนิดและระดับความรุนแรงของการสั่นไหว สอดคล้องกับแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาในการออกแบบ (Maximum Considered Earthquake, MCE) การสั่นไหวของพื้นดินจะต้องถูกคูณปรับค่าด้วยค่าคงที่โดยต้องทำให้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมการตอบสนองมีค่าไม่ต่ำกว่าสเปกตรัมการตอบสนองที่ใช้ในการออกแบบ ที่มีอัตราส่วนความหน่วงเดียวกันและสอดคล้องกับอัตราส่วนความหน่วงของอาคารที่กำลังออกแบบ ตลอดช่วงคาบการสั่นระหว่าง $0.2T$ ถึง $1.5T$ โดยที่ T คือ ค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างในทิศทางที่การวิเคราะห์

2.) การวิเคราะห์แบบ 3 มิติ

การสั่นไหวของพื้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์แต่ละชุดจะต้องประกอบด้วยคู่ของความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทางที่ตั้งฉากกัน ซึ่งบันทึกได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวเดียวกันที่สถานีเดียวกันโดยจะต้องเลือกการสั่นไหวของพื้นดินจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาด กลไกของแหล่งกำเนิดระยะห่างจากแหล่งกำเนิด และระดับความรุนแรงของการสั่นไหว สอดคล้องกับแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาในการออกแบบ

สำหรับแต่ละชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินซึ่งประกอบด้วยความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทาง จำเป็นต้องมีการพิจารณาตัวคูณปรับค่าความเร่งของพื้นดินในแต่ละทิศทาง ดังนี้

- 1.) ให้คำนวณสเปกตรัมรวมของความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทาง สำหรับแต่ละชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินด้วยวิธี SRSS ซึ่งเป็นค่ารากที่สองของผลรวมของค่ายกกำลังสอง (Square Root of Sum of Squares) ของสเปกตรัมการตอบสนองสำหรับสองทิศทางนั้นที่ทุกคาบการสั่นสำหรับอัตราส่วนความหน่วงของอาคารที่กำลังออกแบบ
- 2.) คำนวณค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมรวม ที่ได้จากข้อ 1
- 3.) ความเร่งของพื้นดินทั้งสองทิศทางในแต่ละชุดต้องถูกคูณปรับค่าด้วยค่าคงที่เดียวกันโดยการคูณปรับค่าจะต้องทำให้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมรวมที่ได้จากข้อ 2 มีค่าไม่น้อยกว่า 1.17 เท่าของสเปกตรัมสำหรับออกแบบ (หัวข้อ 2.1.4) ที่ทุกคาบการสั่นระหว่าง $0.2T$ ถึง $1.5T$ โดยที่ T คือคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างในทิศทางที่ทำการวิเคราะห์

3.) การสั่นไหวของคลื่นทางเลือกใหม่ (Alternative Ground Motion)

นอกจากการใช้ชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินตามหัวข้อ 2.4.2.1.(1) และ 2.4.2.1.(2) อนุญาตให้ใช้ชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินตามแนวทางเลือกใหม่อีกสองแบบ โดยเลือกแบบใดก็ได้ คือ

1.) การสั่นไหวของพื้นดินที่ถูกปรับแต่งให้มีรูปร่างสเปกตรัมการตอบสนองใกล้เคียงกับสเปกตรัมการตอบสนองสำหรับการออกแบบ (หัวข้อ 2.1.1) ในช่วงคาบการสั่นระหว่าง $0.2T$ ถึง $1.5T$ โดยที่ T คือคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างในทิศทางที่ทำการวิเคราะห์ชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินในกรณีนี้เรียกว่า Uniform Hazard Spectral (UHS) Matching Ground Motions หากใช้ในการวิเคราะห์แบบ 3 มิติให้ใช้อย่างน้อย 3 ชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินโดยแต่ละชุดประกอบด้วยคู่ของความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทางที่ตั้งฉากกันซึ่งบันทึกได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวเดียวกันที่สถานีเดียวกันทั้งนี้การสั่นไหวของพื้นดินแต่ละชุดก่อนนำมาทำการปรับแต่งเป็นประวัติเวลาของความเร่งในแนวราบที่ถูกคัดเลือกมาจากข้อมูลที่บันทึกได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวจริง (Actual Recorded Ground Motion) โดยเป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาด กลไกของแหล่งกำเนิดระยะห่างจากแหล่งกำเนิดและระดับความรุนแรงของการสั่นไหว สอดคล้องกับแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาในการออกแบบ (Maximum Considered Earthquake, MCE)

2.) การสั่นไหวของพื้นดินที่ถูกคัดเลือกมาจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาด กลไกของแหล่งกำเนิดระยะห่างจากแหล่งกำเนิดและระดับความรุนแรงของการสั่นไหว สอดคล้องกับแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาในการออกแบบ (Maximum Considered Earthquake, MCE) หลายลักษณะ เนื่องจากลักษณะเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างคาบยาว (โหมดพื้นฐาน) และ

คาบสั้น (โหมตสูงๆ) อาจมาจากเหตุการณ์ที่มีลักษณะแตกต่างกันเช่นแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ระยะไกล จะมีผลกระทบต่อโครงสร้างคาบยาว ในขณะที่แผ่นดินไหวขนาดเล็กระยะใกล้จะมีผลกระทบต่อโครงสร้างคาบสั้นชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่เหมาะสมแก่การวิเคราะห์โครงสร้างที่มีคาบแตกต่างกันเรียกว่า Conditional Mean Spectrum (CMS) Ground Motions ซึ่งคาบของโครงสร้างที่กำลังพิจารณา เรียกว่า Conditioned Period ซึ่งในกรณีนี้สามารถใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินเพื่อการออกแบบอาคารของกรมโยธาธิการและผังเมือง

ในการใช้ชุดข้อมูลการสั่นไหว CMS ให้พิจารณาใช้ข้อมูลอย่างน้อย 3 กลุ่มซึ่งสองกลุ่มแรก สอดคล้องกับคาบ Conditioned Period ที่ 0.2 และ 3 วินาทีกลุ่มที่เหลือสอดคล้องกับคาบ Conditioned Period ที่คาดว่าจะทำให้โครงสร้างมีการตอบสนองที่วิกฤตที่สุดในแต่ละกลุ่มให้ประกอบด้วยข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดิน 3 ชุดเป็นอย่างน้อย ซึ่งแต่ละชุดประกอบด้วยคู่ของความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทางที่ตั้งฉากกันซึ่งบันทึกได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวเดียวกันที่สถานีเดียวกันแต่ละข้อมูลการสั่นไหวถูกคูณปรับค่าให้ค่าสเปกตรัมการตอบสนองที่คาบที่กำลังพิจารณา (Conditioned Period) มีค่าเท่ากับสเปกตรัมการตอบสนองสำหรับการออกแบบ (หัวข้อ 2.1.1) ที่คาบ Conditioned Period นั้นๆ

ในการนำค่าการตอบสนองไปใช้ในการออกแบบหรือตรวจสอบเทียบกับเกณฑ์ที่ยอมให้ให้พิจารณาผลที่เกิดจากการใช้ชุดข้อมูลการสั่นไหว CMS ที่สอดคล้องกับ Conditioned Period หลายๆ ค่าเพื่อให้ครอบคลุมลักษณะเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลายแบบที่จะมีผลกระทบต่อโหมตพื้นฐานและโหมตอื่นๆ ที่สูงขึ้น และให้นำค่าการตอบสนองสูงสุดจากการใช้ชุดข้อมูลการสั่นไหว CMS ที่ Conditioned Period ต่างๆ ไปพิจารณา

2.4.2.2 ค่าการตอบสนอง

ค่าแรงภายในที่ใช้สำหรับออกแบบกำลังความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้างยกเว้นแรงเฉือนในชิ้นส่วนโครงสร้างแนวตั้งเช่นเสาหรือกำแพง ให้ใช้ค่าการตอบสนองสูงสุดของระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นคูณด้วย $\frac{I}{R}$ โดยที่ R คือตัวประกอบปรับผลตอบสนอง และ I คือตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

ในกรณีที่ต้องการคำนวณค่าแรงเฉือนสำหรับการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างแนวตั้งเป็นรายชิ้นส่วน (Individual Member) สำหรับโหมตแรกของการสั่นไหวในแต่ละทิศทางในแนวราบให้คุณค่าแรงเฉือนในชิ้นส่วนนั้นในระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นด้วย $\frac{SF I \Omega_0}{R}$ โดยที่สำหรับโหมตอื่นๆ ให้คูณค่าแรงเฉือนสูงสุดของชิ้นส่วนนั้นในระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นด้วย I จากนั้นรวมค่าการตอบสนองของทุกโหมตที่

พิจารณาด้วยวิธีแบบประวัติเวลา จะได้ค่าแรงเฉือนที่ต้องต้านทานเพื่อใช้ในการออกแบบกำลังรับแรงเฉือนขององค์อาคารแนวตั้งนั้น

$$V(t) = I \left[\frac{S_F \Omega_0 V_{1e}(t)}{R} + V_{2e}(t) + V_{3e}(t) + \dots \right] \quad (2.19)$$

ในการออกแบบแรงเฉือนในเสาที่ต้องใช้ตัวประกอบกำลังส่วนเกินค่าจากสมการที่ 2.19 ถือว่า ได้คูณตัวประกอบกำลังส่วนเกินแล้วจึงไม่ต้องคูณตัวประกอบกำลังส่วนเกินซ้ำอีก หรือในหัวข้อที่กำหนดให้คุณค่าแรงเฉือนเป็นสองเท่าค่าจากสมการที่ 2.19 ไม่ต้องคูณสองอีก

สำหรับงานวิจัยนี้การวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงเส้นแบบประวัติเวลา ใช้คลื่นจาก มยผ.1301/1302-61 และคำนวณแรงเฉือนที่ฐานสำหรับการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างตามมาตรฐาน มยผ.1302-52 ตามสมการที่ 2.20

$$V(t) = \frac{I}{R} [V_{1e}(t) + V_{2e}(t) + V_{3e}(t) + \dots] \quad (2.20)$$

การเคลื่อนตัวและการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ใช้ในการตรวจสอบตามเกณฑ์ในหัวข้อ 2.3.4 ให้ใช้ค่าการเคลื่อนตัวของระบบยึดหยุ่นเชิงเส้นที่วิเคราะห์ได้จากวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างเชิงเส้นแบบประวัติเวลา (LTHA) คูณด้วย $\frac{C_d}{R}$

ถ้าทำการวิเคราะห์โดยใช้การสั่นไหวของพื้นดินไม่น้อยกว่า 7 ชุดอนุญาตให้ใช้ค่าเฉลี่ยของแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง เนื่องจากการสั่นไหวของพื้นดินทุกชุดในการออกแบบตามการรวมผลของแรงในหัวข้อ 2.5 และอนุญาตให้ใช้ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น Δ_i เนื่องจากการสั่นไหวของพื้นดินทุกชุดในการตรวจสอบตามหัวข้อ 2.2.8 หากใช้การสั่นไหวของพื้นดินตามหัวข้อ 2.4.2.1(3) ซึ่งกำหนดให้ใช้ข้อมูลการสั่นไหวอย่างน้อย 3 กลุ่มของชุดข้อมูลให้ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองในแต่ละกลุ่ม CMS ก่อน แล้วจึงนำค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุดไปใช้ในการออกแบบหรือตรวจสอบ

2.4.2.3 การปรับค่าการตอบสนองเพื่อใช้ในการออกแบบ

สำหรับการตอบสนองต่อการสั่นไหวของพื้นดินชุดที่ i ค่าแรงเฉือนรวมที่ฐานสูงสุด (Total Base Shear, V_i) จากวิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างเชิงเส้นแบบประวัติเวลา คูณด้วย $\frac{I}{R}$ ทุกโหมดแล้วจะต้องไม่น้อยกว่าค่าขั้นต่ำสุดที่กำหนดไว้ใน การออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า $V_{min}=0.01W$ โดยที่ W คือน้ำหนักประสิทธิผลของอาคาร ถ้าแรงเฉือนที่ฐาน (V_i) มีค่าน้อยกว่าแรงเฉือนขั้นต่ำ V_{min} จะต้องคูณปรับค่าแรงเฉือนที่ฐาน V_i และแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง Q_{Ei} ตามสมการที่ 2.21

$$S_F = \frac{V_{min}}{V_i} \quad (2.21)$$

2.4.2.4 ชุดคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา

สำหรับวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Linear Time History Analysis) ซึ่งข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมที่สามารถเลือกนำไปใช้ในการออกแบบอาคารโดยใช้วิธีประวัติเวลา (Time History Analysis) ที่คาบการเกิดแผ่นดินไหวที่ 2,475 ปี โดยการสร้าง Conditional Mean Spectrum (CMS) ซึ่งแสดงค่าสเปกตรัมผลตอบสนองที่คาบการสั่นของอาคารที่ 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 3.0 วินาที ในแต่ละพื้นที่บริเวณกรุงเทพและปริมณฑล จำนวน 10 โซน ที่สอดคล้องกับมาตรฐานฉบับปรับปรุง (มยพ.1301/1302-61) และสำหรับพื้นที่นอกแอ่งกรุงเทพจะเป็นข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวตัวแทนที่เหมาะสมที่สามารถเลือกนำไปใช้ในการออกแบบอาคารโดยใช้วิธีประวัติเวลา (Time History Analysis) สำหรับพื้นที่ 3 กลุ่ม ซึ่งตั้งอยู่บนชั้นดินประเภท D ประกอบด้วย

- 1.) โซนที่ 1 พื้นที่แผ่นดินไหวรุนแรง (แพร่)
- 2.) โซนที่ 2 พื้นที่แผ่นดินไหวรุนแรงปานกลาง (ลำปาง)
- 3.) โซนที่ 3 พื้นที่แผ่นดินไหวรุนแรงต่ำ (กาญจนบุรี)

ในแต่ละโซนจะประกอบด้วยตัวแทนคลื่นแผ่นดินไหวที่คาบการสั่นของอาคาร 0.2 และ 1.0 วินาที จำนวน 14 คลื่นต่อคาบการสั่น และมีค่าความหน่วงร้อยละ 5

2.5 สรุป

การทบทวนทฤษฎีและในมาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302-52 และ มยผ.1301/1302-61 โดยได้อธิบายวิธีการออกแบบอาคารอาคารด้านทานแผ่นดินไหว สำหรับการออกแบบโดยมีตัวแปรและค่าการตอบสนองที่แตกต่างกับออกไป ยกตัวอย่าง เช่น อาคารที่ลักษณะเดียวกัน ความสูงเท่ากัน ถ้าสถานที่ตั้งต่างกัน จะทำให้แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับตัวอาคารที่ไม่เท่ากันซึ่งส่งผลให้ขนาดของโครงสร้างและการเสริมเหล็กที่แตกต่างกัน

ในการออกแบบการเลือกประเภทของโครงสร้างและลักษณะโครงสร้าง เช่น ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างทั้งแนวตั้ง และความไม่สม่ำเสมอแนวราบ มีผลกับแรงที่กระทำกับโครงสร้าง โดยในงานวิจัยนี้จะให้หลักการออกแบบอาคารโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด และวิธีวิเคราะห์เชิงเส้นแบบประวัติเวลา เป็นหลัก

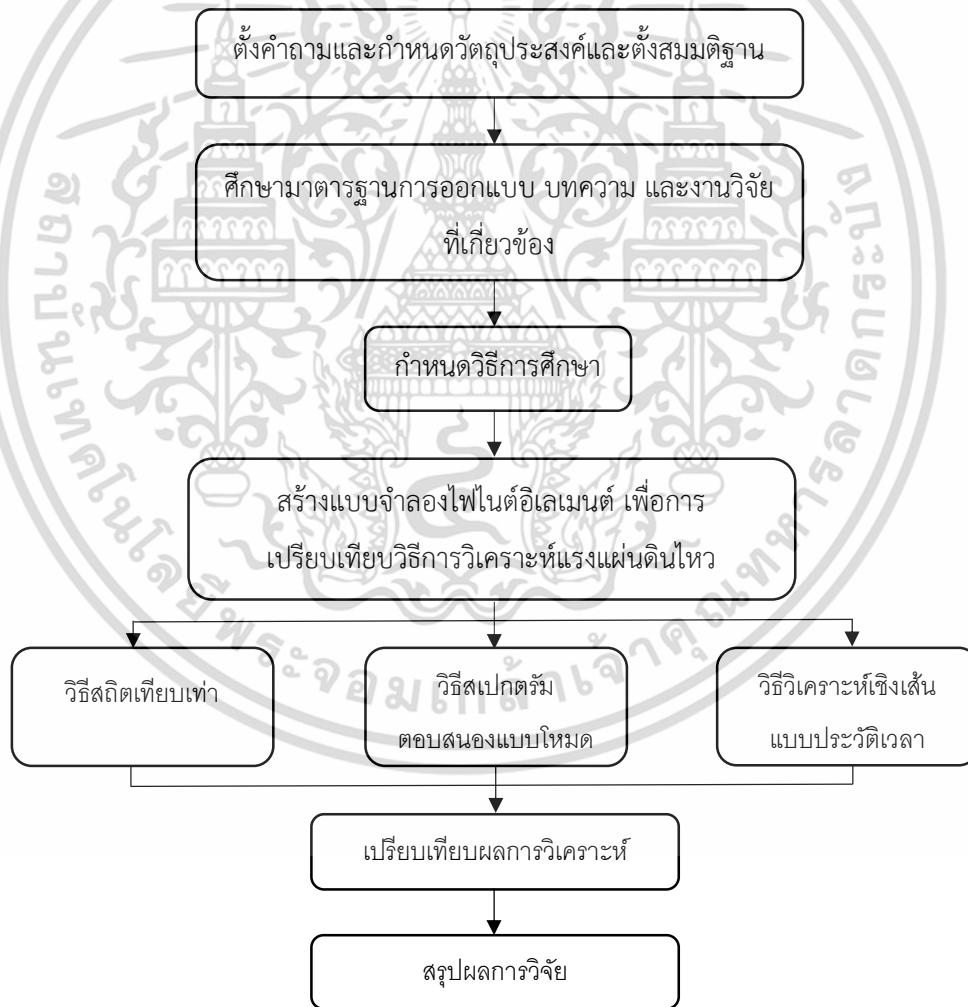


บทที่ 3

วิธีการศึกษา

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายเกี่ยวกับขั้นตอนการทำวิจัยและและการทำแบบจำลองไฟไนต์อิลีเมนต์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (ETABS) โดยอ้างอิงถึงมาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทางการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ.1301/1302-61) และ มยผ.1302-52 เป็นหลัก

3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการทำวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 พื้นที่ในการศึกษา

ในการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวที่ก่อกำกับอาคาร ระดับความรุนแรงจากแผ่นดินไหว คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร อัตราความหน่วงของโครงสร้าง และปัจจัยอื่นๆ ซึ่งในมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 ได้ให้และอธิบายความรุนแรงของแผ่นดินไหวและผลตอบสนองของอาคาร อยู่ในรูปของ “ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม” ซึ่งเป็นค่าบนมิตินและมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามคาบการสั่นและอัตราความหน่วงของโครงสร้าง

โดยในงานวิจัยนี้ได้ได้ตั้งขอบเขตของวิจัยนี้ โดยสถานที่ตั้งอาคาร คือ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยสามารถหาค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมได้จากภาคผนวก ก.1 สำหรับการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า และวิธีตอบสนองเชิงสเปกตรัมแบบโหมด

ชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่สร้าง Conditional Mean Spectrum (CMS) ตามมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 โดยในงานวิจัยนี้ จะใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวโซนที่ 1 แผ่นดินไหวรุนแรง (แพร่) ในการวิเคราะห์

3.3 วิธีการเลือกอาคารตัวอย่างและการสร้างจำลองอาคาร

ในงานวิจัยนี้ได้นำลักษณะโครงสร้างอาคาร ตึกข้าง เพื่อเป็นอาคารต้นแบบในการวิเคราะห์ เนื่องจาก ตึกข้าง เป็นอาคารที่รับได้รางวัลอันดับ 4 สำหรับตึกระฟ้าที่มีเอกลักษณ์ของโลก 20 อันดับ โดย CNNGo ในปี 2011 และลักษณะรูปร่างของตึกข้างที่สำคัญ คือ ตึกข้างเป็นอาคารที่มีความไม่เสมอเหมือนของโครงสร้าง เช่น ความไม่สม่ำเสมอของมวล (Mass Irregularity) ความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม (Diaphragm Discontinuity Irregularity) และความไม่สม่ำเสมอของของสติฟเนส (Stiffness Story Irregularity) ซึ่งความไม่สม่ำเสมอดังกล่าวเป็นความไม่สม่ำเสมอแนวตั้งและแนวราบ ตามภาคผนวก ข.1 และตารางที่ 2.6 และ 2.7

ในการสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์ผลตอบสนองของโครงสร้าง โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์อิเลเมนต์ ETABS โดยมีพารามิเตอร์และขนาดของโครงสร้างตามตารางที่ 3.1 และ รูปแบบของชั้นทั่วไป (Typical Floor) แสดงตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

พารามิเตอร์		รายละเอียด				
1. ลักษณะโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก		น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล (W)				
ความสูงระหว่างชั้น 1-7	: 4.5 เมตร	ชั้น 1-7 = 6.67×10^3 Ton				
ความสูงระหว่างชั้น 8-24	: 3.7 เมตร	ชั้น 8-24 = 3.56×10^3 Ton				
ความสูงระหว่างชั้น 25-27	: 3.7 เมตร	ชั้น 25-27 = 5.08×10^3 Ton				
ความสูงระหว่างชั้น 28-32	: 3.7 เมตร	ชั้น 28-32 = 5.12×10^3 Ton				
2. คุณสมบัติของวัสดุงานโครงสร้าง		เสาและกำแพงรับแรงเฉือน 500ksc พื้นคอนกรีตอัดแรง 320ksc โครงสร้างอื่นๆ 320ksc เหล็กเสริมคอนกรีต SD40				
3. ขนาดเสาและกำแพงรับแรงเฉือน (เมตร)						
ระดับชั้น	C1	C2	C3	C4	W1	W2
ชั้น 1-7	1.20x1.20	0.50x1.20	0.30x1.25	0.50x0.50	0.30	0.25
ชั้น 8-24	1.20x1.20	-	-	-	0.30	0.25
ชั้น 25-27	1.20x1.20	-	-	-	0.30	0.25
ชั้น 28-32	1.20x1.20	-	-	-	0.30	0.25
4. สถานที่ตั้งอาคาร		อ.เมือง จ.เชียงใหม่				
5. ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ		$S_S = 0.963$ $F_o = 1.118$ $S_{DS} = 0.842g$ $S_I = 0.248$ $F_v = 1.904$ $S_{DI} = 0.370g$				
6. ขนาดของอาคารและจำนวนชั้น		กว้าง 38.9ม. ยาว 199ม. และ สูง 128ม. จำนวน 32 ชั้น				

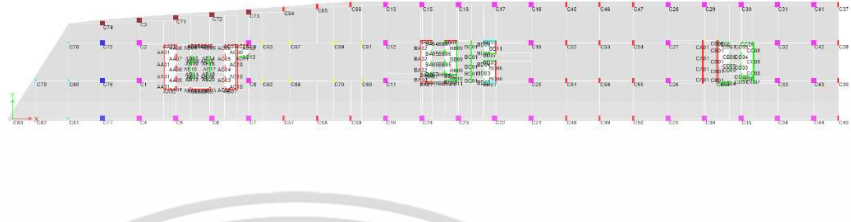
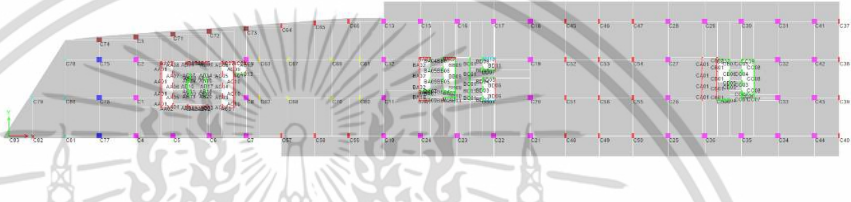
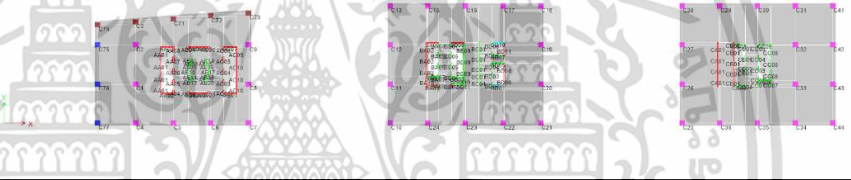
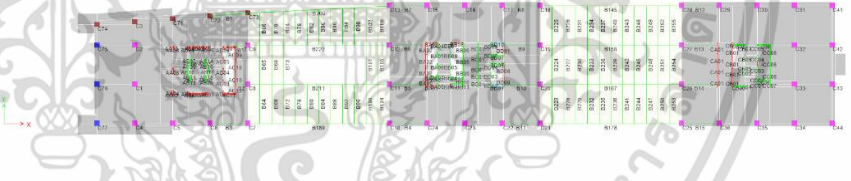
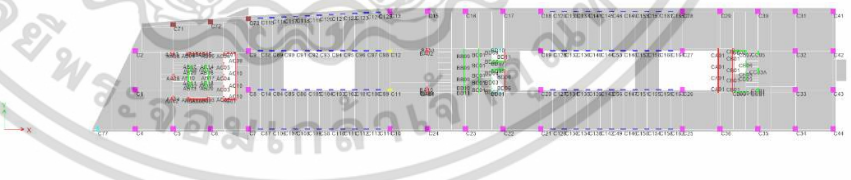
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (ต่อ)

พารามิเตอร์	รายละเอียด
7. น้ำหนักบรรทุก (LL, SDL) Ton/m ²	1. ลานจอดรถ (0.40, 0.05)
น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load, LL)	2. พื้นที่ร้านค้า (0.40, 0.35)
น้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติม (Super Imposed Dead Load, SDL)	3. ห้องงานระบบ (1.00, 0.20)
	4. พื้นที่ภูมิสถาปัตยกรรม (1.20, 1.00)
	5. ห้องพัก (0.20, 0.30)
	6. สำนักงาน (0.25, 0.30)
8. ประเภทการออกแบบต้านแผ่นดินไหว (Design Category)	ง
9. ประเภทความสำคัญอาคาร (Important Factor)	III
10. ประเภทของชั้นดิน	D
11. ความหน่วงของโครงสร้าง (Damping)	2.5%
12. ระบบโครงสร้าง	ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)
13. ระบบต้านแรงด้านข้าง	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)
14. ตัวประกอบผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R)	6
15. ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_0)	2.5
16. ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d)	5
17. ค่าสติเฟนสขององค์อาคารคอนกรีต	1. เสา $I_{eff} = 0.70/g$ และ $A_{eff} = 1.0A_g$ 2. กำแพงรับแรงเฉือน $I_{eff} = 0.70/g$ 3. พื้นคอนกรีตอัดแรง $I_{eff} = 0.50/g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 รูปแบบของชั้นทั่วไป (Typical Floor) โดยโปรแกรม ETABS

ชั้น	แปลน
FL.1	
FL.2 - FL.7	
FL.8 - FL.24	
FL.25 - FL.27	
FL.28 -Roof	

3.4 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบ

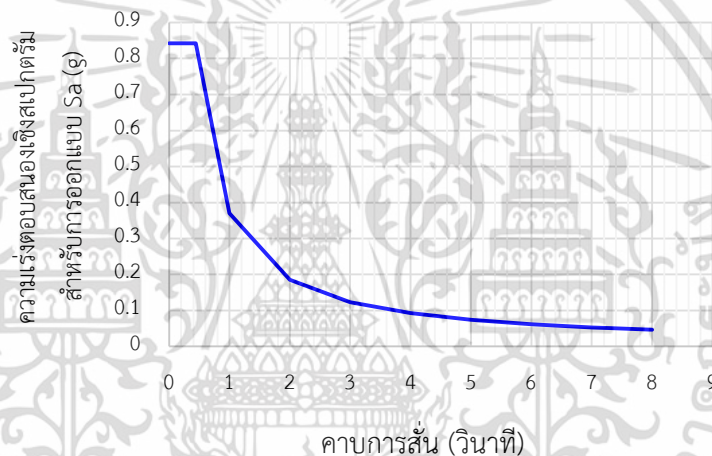
ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ได้ค่าสเปกตรัมตอบสนองที่ได้จาก ภาคผนวก ก.1 โดยค่าที่ได้ค่า คือ ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา (MCE) ที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_0) และคาบการสั่นที่ 1 วินาที และต้องทำการปรับแก้เนื่องจากสภาพชั้นดิน และปรับค่าสำหรับการออกแบบ (DBE) และจำเป็นต้องปรับค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอดคล้องกับค่าอัตราความหน่วงของโครงสร้าง จากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 2.5 โดยการหารด้วย 0.85 สำหรับกรณีที่คาบการสั่น $T \geq T_0$ หรือในกรณีที่คาบการสั่น $T < T_0$ ให้คำนวณ S_a จากสมการที่ 2.5 ความเร่งตอบสนองที่ใช้ออกแบบตามวิธีแรงสถิตเทียบเท่าแสดงตามรูปที่ 3.2 และ ภาคผนวก ข.2 โดยได้ปรับค่าแล้วตามหัวข้อที่ 2.1.5 และหัวข้อ 2.1.6 โดยมีค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรสำหรับหาค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

ตัวแปร	S_{DS}	S_{D1}	T_S (sec.)	S_a
ค่า	0.842g	0.370g	0.440	$0.370g / T$

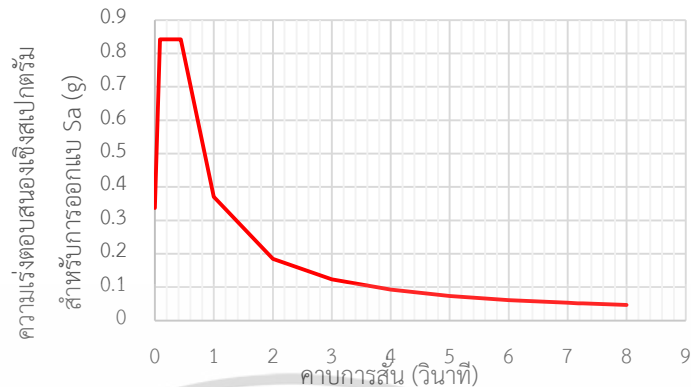


รูปที่ 3.2 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

ความเร่งตอบสนองที่ใช้ออกแบบตามวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดแสดงตามรูปที่ 3.3 และ ภาคผนวก ข.2 โดยได้ปรับค่าแล้วตามหัวข้อที่ 2.1.5 และหัวข้อ 2.1.6 โดยมีค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรสำหรับหาค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบโดยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด

ตัวแปร	S_{DS}	S_{D1}	$0.4S_{DS}$	T_0 (sec.)	T_S (sec.)	S_a
ค่า	0.842g	0.370g	0.337g	0.088	0.440	$0.370g / T$

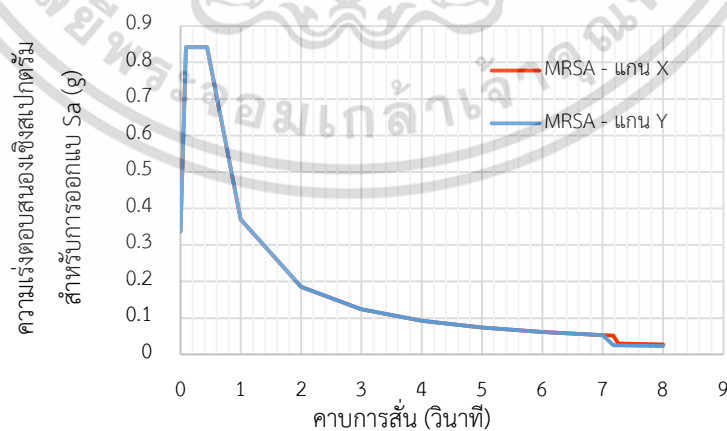


รูปที่ 3.3 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบ
โดยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด

จาก มยผ.1301/1302-61 ในการหาแรงเฉือนของชั้นส่วนโครงสร้างแนวตั้ง โดยต้องปรับค่าโดยอ้างอิงจากสมการที่ 2.15 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ตามตารางที่ 3.5 และภาคผนวกโดยแสดงค่าสเปกตรัมตอบสนองสำหรับออกแบบเพื่อหาแรงเฉือนของชั้นส่วนโครงสร้างแนวตั้งตามรูปที่ 3.4 และภาคผนวก ข.2

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรสำหรับหาค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบเพื่อหาแรงเฉือนของชั้นส่วนโครงสร้างแนวตั้ง (MRSA)

ตัวแปร	S_F X-axis	S_F Y-axis	R	I	Ω_0
ค่า	1.42	1.17	6	1.25	2.5



รูปที่ 3.4 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบสำหรับออกแบบเพื่อหาแรงเฉือน
ของชั้นส่วนโครงสร้างแนวตั้ง (MRSA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

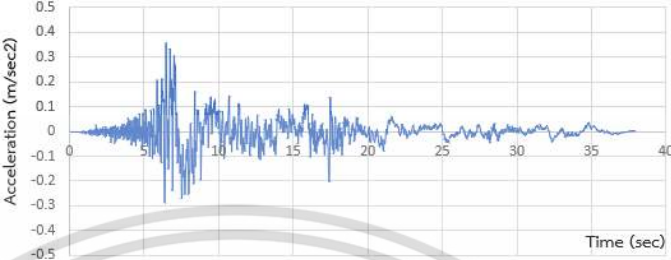
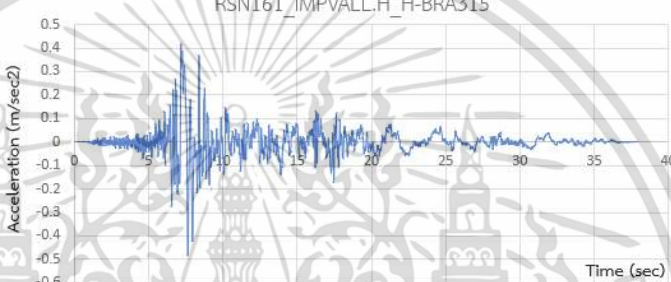
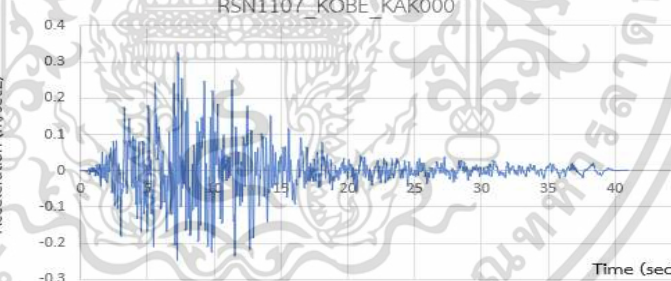
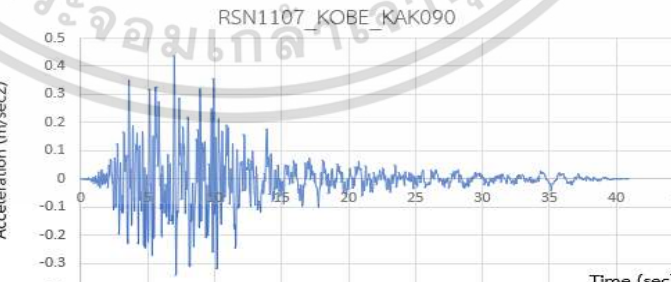
3.5 ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินสำหรับวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา

ในการออกแบบอาคารโดยวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติ (Time History Analysis) ตามมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 ที่คาบการเกิดแผ่นดินไหวที่ 2,475 ปี โดยการสร้าง Conditional Mean Spectrum (CMS) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้คลื่นทั้งหมด 7 ชุดที่คาบการสั่นที่ 0.2 วินาที และ 1.0 วินาที จากโซนแผ่นดินไหวรุนแรง (แพร่, High Hazard) ตามตารางที่ 3.6 ซึ่งในแต่ละชุดจะประกอบด้วย 2 คลื่นที่กระทำในทิศทางที่ตั้งฉากกัน

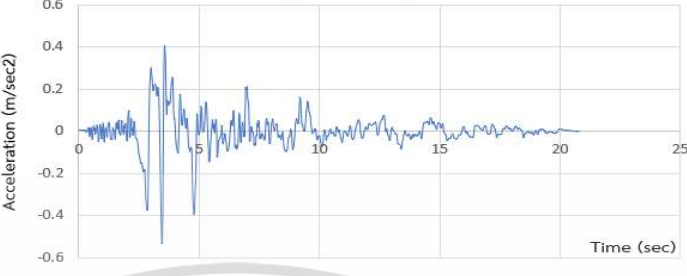
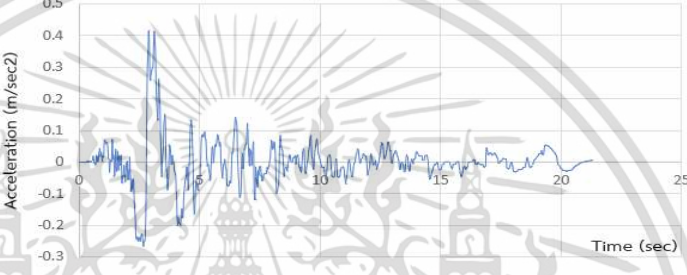
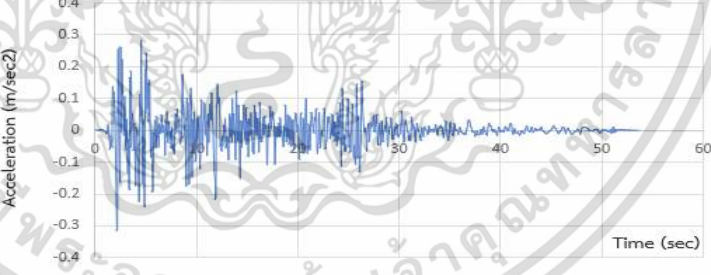
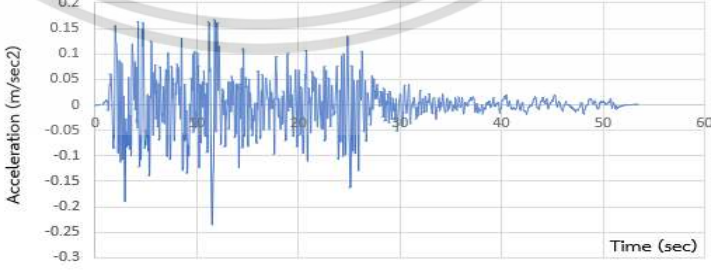
ตารางที่ 3.6 การสั่นไหวของพื้นดินที่คาบการสั่น 0.2 วินาที และ 1.0 วินาที

ชุดที่	คลื่นแผ่นดินไหว	สถานี	คาบ(วินาที)
1	RSN161_IMPVAL.L_H_H-BRA	H-BRA	0.2
2	RSN1107_KOBE_KAK	KAK	0.2
3	RSN821_ERZINCAN_ERZ	ERZ	0.2
4	RSN6_IMPVAL.L_I-ELC	I-ELC	1.0
5	RSN725_SUPER.B_B-POE	POE	1.0
6	RSN8124_CCHURCH_RHSCN	RHSCN	1.0
7	RSN1082_NORTHR_RO	RO	1.0

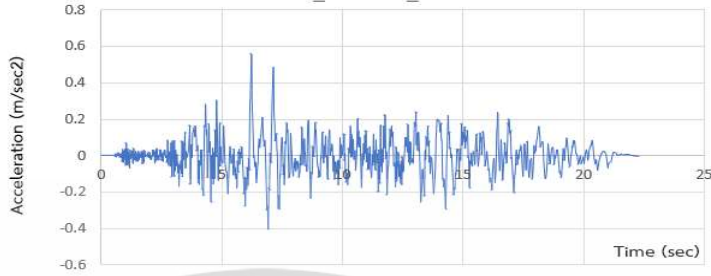
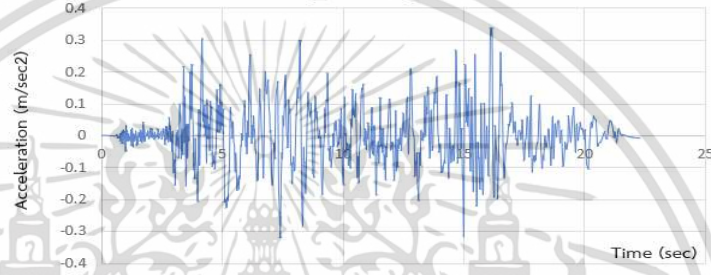
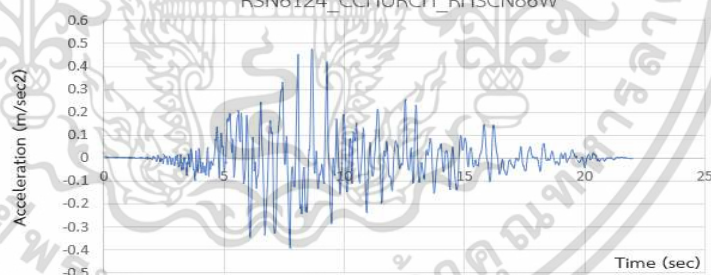
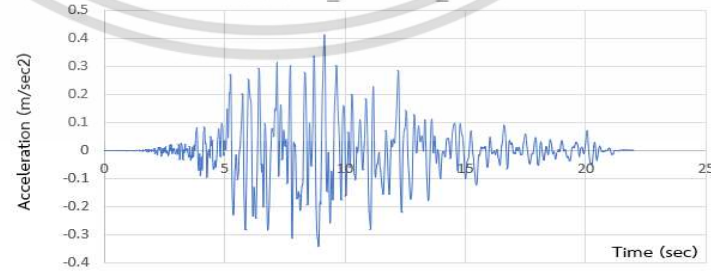
ตารางที่ 3.7 แสดงรูปแบบของคลื่นที่ใช้ในการออกแบบจำนวน 7 ชุด

ชุดคลื่นที่	รูปแบบคลื่น
1	<div style="text-align: center;"> <p>RSN161_IMPVAL.H_H-BRA225</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>RSN161_IMPVAL.H_H-BRA315</p>  </div>
ชุดคลื่นที่	รูปแบบคลื่น
2	<div style="text-align: center;"> <p>RSN1107_KOBE_KAK000</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>RSN1107_KOBE_KAK090</p>  </div>

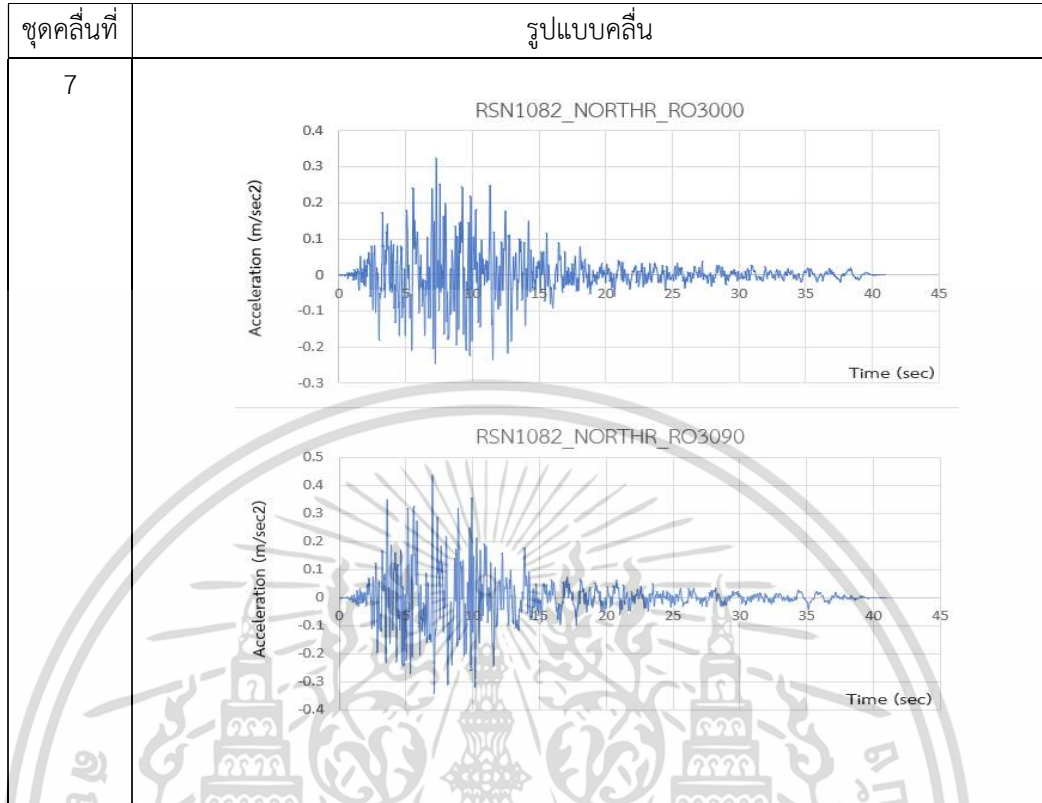
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดคลื่นที่	รูปแบบคลื่น
3	<div style="text-align: center;">RSN821_ERZINCAN_ERZ-EW</div>  <div style="text-align: center;">RSN821_ERZINCAN_ERZ-NS</div> 
ชุดคลื่นที่	รูปแบบคลื่น
4	<div style="text-align: center;">RSN6_IMPVALI_I-ELC180</div>  <div style="text-align: center;">RSN6_IMPVALI_I-ELC270</div> 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดคลื่นที่	รูปแบบคลื่น
5	<p style="text-align: center;">RSN725_SUPER.B_B-POE270</p>  <p style="text-align: center;">RSN725_SUPER.B_B-POE2360</p> 
6	<p style="text-align: center;">RSN8124_CCHURCH_RHSCN86W</p>  <p style="text-align: center;">RSN8124_CCHURCH_RHSCS04W</p> 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

ในบทนี้จะเป็นผลการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวโดยวิธีคำนวณแรงทั้ง 3 วิธี คือ วิธีแรงสถิตเทียบเท่า วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด และวิธีวิเคราะห์เชิงเส้นแบบประวัติเวลา เพื่อศึกษาพฤติกรรมและเปรียบเทียบผลตอบสนองของแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคาร โดยเปรียบเทียบแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) การเคลื่อนตัวแต่ละชั้นของโครงสร้าง (Floor Displacement) และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift)

4.1 วิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Analysis, STATIC)

ในการหาแรงเฉือนที่ฐานของวิธีแรงสถิตเทียบเท่าจะมีตัวแปรที่สำคัญ คือ สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว (C_S) และ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร (W) ตามสมการที่ 2.6 โดยมีค่าตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์สำหรับคำนวณแรงเฉือนที่ฐานโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

1. ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 0.2 วินาที ($S_{D0.2}$)	0.7157g
2. ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 1.0 วินาที (S_{D1})	0.3148g
3. คาบธรรมชาติ (T)	2.56 วินาที
4. สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว (C_S)	0.0256
5. น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร (W)	15,100.0 ตัน
6. แรงเฉือนที่ฐาน (V)	3,865.6 ตัน

4.2 วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum Analysis, RSA)

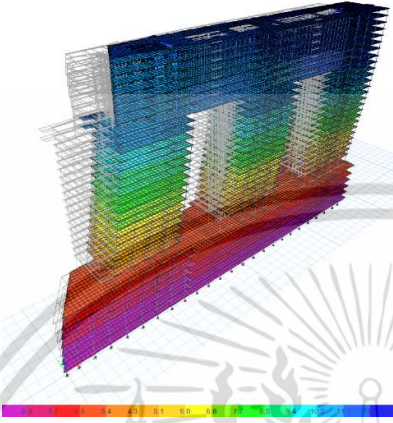
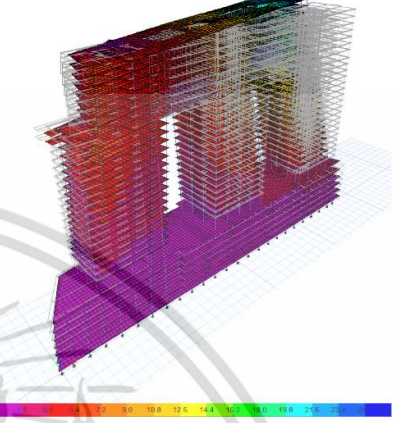
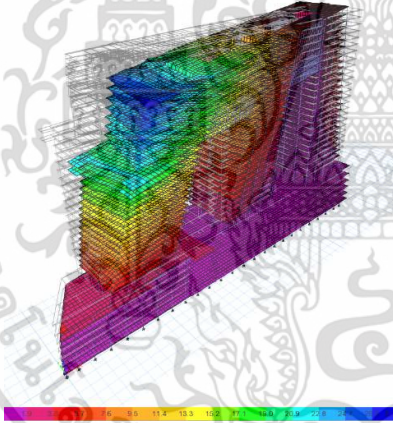
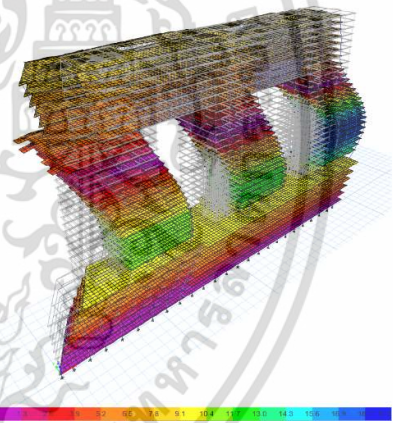
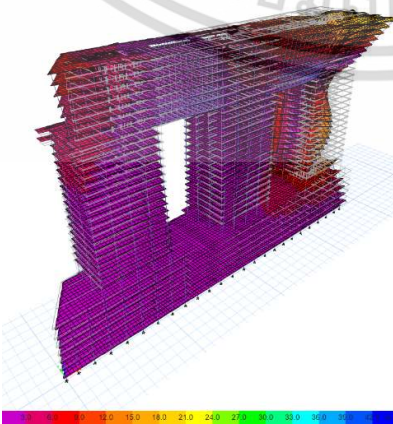
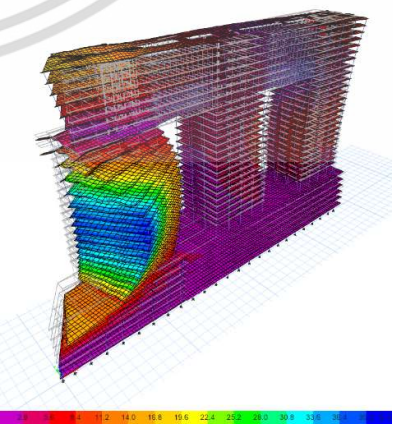
ในการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดจะต้องพิจารณาโหมดเป็นหลักโดยโหมดที่พิจารณาต้องเพียงพอที่จะทำให้ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Effective Modal Weight, หรือ Modal Participation) มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของน้ำหนักประสิทธิผลทั้งหมดของอาคาร ตามสมการที่ 2.13 โดยจะแสดงในตารางที่ 4.2 โดยโหมดที่พิจารณาทั้งหมด 30 โหมด แสดงในตารางที่ 4.3 และภาคผนวก ค.1 และ ค.2

ตารางที่ 4.2 จำนวนโหมดที่ต้องพิจารณา

Mode	Period(sec.)	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	7.26	0.69	0.02	0.687	0.024
2	7.17	0.03	0.33	0.719	0.350
3	5.33	0.00	0.28	0.720	0.625
4	1.74	0.10	0.00	0.819	0.626
5	1.57	0.00	0.04	0.820	0.666
6	1.42	0.00	0.01	0.820	0.680
7	1.35	0.02	0.00	0.835	0.681
8	1.28	0.00	0.07	0.835	0.748
9	1.13	0.00	0.02	0.835	0.770
10	1.11	0.00	0.00	0.836	0.771
11	0.98	0.00	0.01	0.836	0.778
12	0.84	0.04	0.00	0.875	0.779
13	0.83	0.00	0.01	0.879	0.787
14	0.68	0.00	0.00	0.879	0.792
15	0.62	0.00	0.03	0.880	0.818
16	0.62	0.02	0.00	0.900	0.820
17	0.57	0.00	0.03	0.900	0.846
18	0.56	0.00	0.01	0.900	0.854
19	0.53	0.00	0.00	0.900	0.855
20	0.45	0.00	0.00	0.900	0.858
21	0.45	0.00	0.00	0.901	0.858
22	0.44	0.00	0.00	0.901	0.859
23	0.42	0.02	0.00	0.920	0.859
24	0.39	0.00	0.00	0.920	0.859
25	0.38	0.00	0.02	0.920	0.877
26	0.37	0.00	0.00	0.920	0.882
27	0.36	0.00	0.00	0.920	0.887
28	0.34	0.00	0.01	0.920	0.895
29	0.33	0.00	0.00	0.923	0.895
30	0.31	0.00	0.00	0.923	0.900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 รูปแบบการเสียรูปแบบโหนด 6 โหนดแรก

โหนด	รูปแบบการเสียรูป	โหนด	รูปแบบการเสียรูป
1		2	
3		4	
5		6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาค่าตัวปรับค่าการตอบสนองเพื่อใช้ในการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ ด้วยการคูณด้วยตัวประกอบปรับค่า (Scaling Factor, S_F) ตามสมการที่ 2.18 โดยการหาค่าตัวประกอบปรับค่าในแกน X = 1.42 และ แกน Y = 1.17 แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าตัวประกอบปรับค่า S_F - X axis และ S_F - Y axis

Load Case/Combo	FX	FY	FZ	X	Y	Z
	tonf	tonf	tonf	m	m	m
EQX Max	1543.4064	96.7643	0.0001	0	0	-1.25
EQY Max	96.7446	1876.2205	0.0001	0	0	-1.25

Load Case/Combo	FX	FY	FZ	X	Y	Z
	tonf	tonf	tonf	m	m	m
DEAD	2.74E-05	0	113309.888	0	0	-1.25
SDL	9.44E-06	0	37690.3903	0	0	-1.25

Total Weight **151,000.28 TON**
Total Height 128.00 m.

	PERIOD	1.5x0.02H	BaseShear-RES.	Staic-RES. (g)	BaseShear-Static	85% static	resp./static
EQX Max	7.256	3.84	1543.4064	0.1675	2,578.24	2,191.51	1.42
EQY Max	7.173	3.84	1876.2205	0.1675	2,578.24	2,191.51	1.17

4.3 วิธีวิเคราะห์เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Linear Time History Analysis, LTHA)

ในการวิเคราะห์แบบประวัติเวลาเป็นผลการตอบสนองที่ทุกๆขณะเวลาที่เกิดการสั่นไหวกระทำกับโครงสร้าง โดยคำนวณปริพันธ์เชิงตัวเลข (Numerical Integration) โดยคลื่นพื้นในที่งานวิจัยนี้ได้ใช้ทั้งหมด 7 ชุด ตามตารางที่ 3.6 และ 3.7 โดยวิธีวิเคราะห์เชิงเส้นแบบประวัติเวลาจำเป็นต้องปรับค่าการตอบสนองเพื่อใช้ในการออกแบบ ตามสมการที่ 2.21 ที่ต้องปรับค่าต่ำสุดของวิธีแรงสถิตเทียบเท่า จะแสดงในตารางที่ 4.5

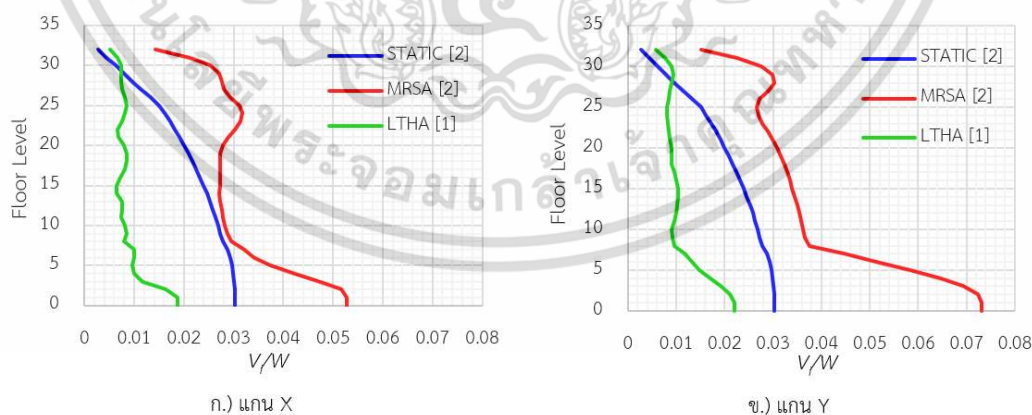
ตารางที่ 4.5 การปรับค่าการตอบสนองเพื่อใช้ในการออกแบบโดยวิธี LTHA

1. น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร (W)	15,100.0 ตัน
2. V_{min} ของวิธีแรงสถิตเทียบเท่า = $0.01W$	1,510.0 ตัน
3. V_{avg} ในแกน X ที่ได้จากวิธี LTHA	2823.8 ตัน
4. V_{avg} ในแกน Y ที่ได้จากวิธี LTHA	3,319.5 ตัน
5. S_F - X axis	1.00
5. S_F - Y axis	1.00

4.4 ผลวิเคราะห์แรงเฉือนที่ฐาน

จากรูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบแรงเฉือนที่ฐาน ผลวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าจะมีค่าเท่ากับ 3.03% ของน้ำหนักประสิทธิผลของโครงสร้าง โดยแรงเฉือนที่ฐานมีค่าเท่ากันทั้งแกน X และ Y วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดมีค่าแรงเฉือนที่ฐานทางแกน X และ Y เท่ากับ 5.27% และ 7.32% ของน้ำหนักประสิทธิผลของโครงสร้างตามลำดับ และวิธีการวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลามีค่าแรงเฉือนที่ฐานทางแกน X และ Y เท่ากับ 1.87% และ 2.21% ของน้ำหนักประสิทธิผลของโครงสร้าง

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา ค่าแรงเฉือนของแต่ละชั้นมีแนวโน้มคล้ายกัน โดยที่ชั้น 7-8 ซึ่งเป็นชั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลทำให้ค่าแรงเฉือนแต่ละชั้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน หากพิจารณาแรงเฉือนที่ฐานผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดได้ค่าแรงเฉือนที่ฐานมากที่สุดซึ่งมีค่ามากกว่าวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 1.8 เท่า และมากกว่าวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา 2.8 เท่า สำหรับแรงเฉือนที่ฐานทางแกน Y ด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดมีค่าแรงเฉือนที่ฐานมากที่สุด ซึ่งมากกว่าวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 2.4 เท่า และมากกว่าวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา 3.3 เท่า พบว่าวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด ทั้งแกน X และ Y มีค่าแรงเฉือนที่ฐานมากอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากวิธีวิเคราะห์แรงเฉือนโดยวิธี MRSA ค่าแรงเฉือนที่ฐานคูณด้วย $\frac{S_F I \Omega_0}{R}$ เพียงโหมดแรงเพียงโหมดเดียวแต่วิธีแรงสถิตเทียบเท่าและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา ค่าแรงเฉือนที่ฐานคูณด้วย $\frac{I}{R}$ ทุกโหมดทำให้ค่าแรงเฉือนที่ฐานมีค่าน้อยกว่า

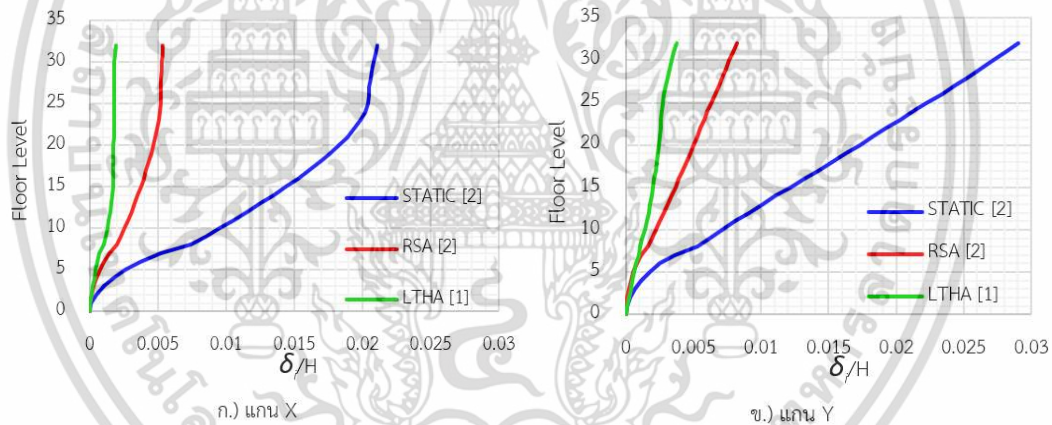


รูปที่ 4.1 แรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear)

4.5 ผลวิเคราะห์การเคลื่อนตัวแต่ละชั้นของโครงสร้าง

รูปที่ 4.2 แสดงการเคลื่อนตัวแต่ละชั้นของโครงสร้างแบบอีลาสติก (Elastic Displacement) ตามสมการที่ 2.16 ผลการวิเคราะห์วิธีแรงสถิตเทียบเท่ามีการเคลื่อนตัวสูงสุดทางแกน X และ Y เท่ากับ 2.11% และ 2.90% ของความสูงของโครงสร้างทั้งหมดตามลำดับ วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมตมีค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดทางแกน X และ Y เท่ากับ 0.54% และ 0.82% ของความสูงของโครงสร้างทั้งหมด และวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลามีค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดทางแกน X และ Y เท่ากับ 0.19% และ 0.37% ของความสูงของโครงสร้างทั้งหมด

การเคลื่อนตัวแต่ละชั้นของโครงสร้างทางแกน X และแกน Y วิธีการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวทั้ง 3 วิธีมีแนวโน้มการเคลื่อนตัวในลักษณะเดียวกัน ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่ามีการเคลื่อนตัวมากที่สุดทางแกน X ซึ่งมีค่ามากกว่าวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมต 3.9 เท่า และมากกว่าวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา 10.9 เท่า และทางแกน Y วิธีแรงสถิตเทียบเท่ามีการเคลื่อนตัวมากที่สุด ซึ่งมากกว่าวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมต 3.54 เท่าและมากกว่าวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา 7.74 เท่า

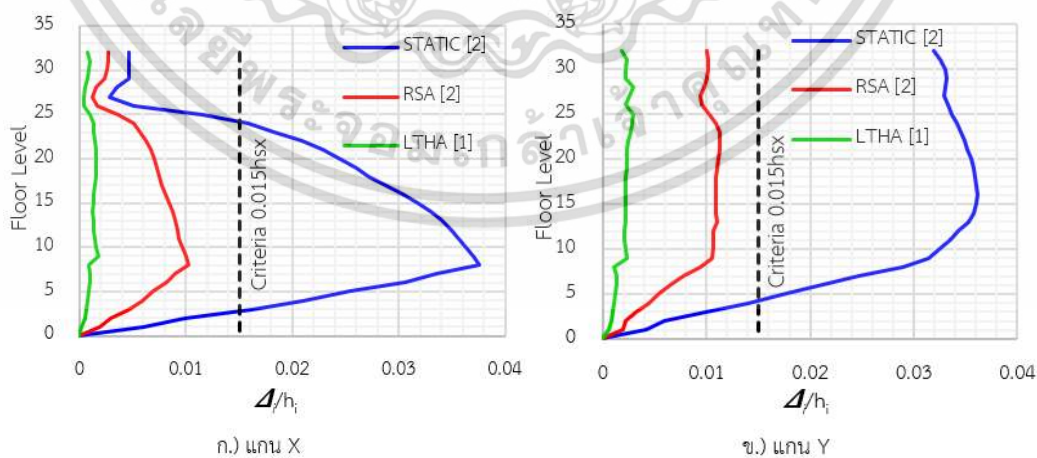


รูปที่ 4.2 การเคลื่อนตัวแต่ละชั้น (Floor Displacement)

4.6 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวให้พิจารณาค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_o) ต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.015 ของความสูงระหว่างชั้น (h_{sx}) สำหรับประเภทความสำคัญของอาคาร (Importance Factor) ระดับ III

ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (รูปที่ 4.3) ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าได้มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ต่อความสูงระหว่างชั้นสูงสุดทางแกน X และ Y เท่ากับ 0.0376 และ 0.0361 ตามลำดับ วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดมีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ต่อความสูงระหว่างชั้นทางแกน X และ Y เท่ากับ 0.0102 และ 0.0113 และวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ต่อความสูงระหว่างชั้นทางแกน X และ Y เท่ากับ 0.0067 และ 0.0111 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด และวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา ทั้งแกน X และ Y อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้ตามมาตรฐาน มยผ. ในทางตรงกันข้ามวิธีแรงสถิตเทียบเท่า มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ยอมให้ทั้งแกน X และ Y ประมาณ 2.5 เท่า ซึ่งผลการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวทั้ง 3 วิธี การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีการเคลื่อนตัวในลักษณะเดียวกัน โดยที่การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงมากที่สุดทางแกน X ในชั้นที่ 8 ซึ่งเป็นชั้นที่เปลี่ยนแปลงความไม่สม่ำเสมอของมวลและความไม่สม่ำเสมอของสติเฟเนส เมื่อพิจารณาทางแกน X ที่ชั้น 25-27 ซึ่งเป็นส่วนของโครงถักถายน้ำหนัก (Transfer Truss) เชื่อมต่อแต่ละอาคารทำให้ระบบโครงสร้างมีลักษณะคล้ายโมเมนต์เฟรม (Moment Frame System) ทำให้การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่าน้อย และทางแกน Y เนื่องจากระบบโครงสร้างของอาคารมีลักษณะคล้ายคานยื่น (Free Cantilever System) ที่เปลี่ยนแปลงของสติเฟเนสในแต่ละช่วง ทำให้การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ 8-32 มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่



รูปที่ 4.3 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 ผลการวิเคราะห์

การศึกษาพฤติกรรมและเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว 3 วิธี คือ วิธีแรงสถิตเทียบเท่า วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด และวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา โดยใช้มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว มยพ.1301/1302-61 และ มยพ.1302-52 เพื่อวิเคราะห์ผลตอบสนองเชิงสเปกตรัมของโครงสร้าง โดยอาคารตัวอย่าง ตึกข้าง โดยมีสมมติฐานว่าอาคารตั้งอยู่บริเวณแผ่นดินไหวรุนแรง อ.เมือง จ.เชียงใหม่ เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและระบบโครงสร้างเป็นระบบโครงอาคารและกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ โดยสรุปได้ดังนี้

1.) แรงเฉือนแต่ละชั้น (Story Shear) วิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลามีแนวโน้มที่คล้ายกันที่ชั้น 7-8 และชั้น 24-25 ซึ่งเป็นชั้นที่เปลี่ยนแปลงความไม่สม่ำเสมอของมวลและความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส ในทางตรงกันข้ามวิธีแรงสถิตเทียบเท่าให้ผลของแรงเฉือนแต่ละชั้นมีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ค่าแรงเฉือนไม่สอดคล้องกับลักษณะความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างอาคาร

โดยความไม่สม่ำเสมอของมวล (Mass Irregularity) โดยมีน้ำหนักประสิทธิผลตามตารางที่ 3.1 โดยน้ำหนักประสิทธิผลของชั้นโพเดียม (ชั้น1-7) มีค่ามากกว่าชั้นTower (ชั้น 8-24) ประมาณ 1.87 เท่า และน้ำหนักประสิทธิผลของของชั้นเชื่อมต่อของอาคาร (ชั้น25-หลังคา) มีน้ำหนักประสิทธิผลมากกว่าชั้น Tower เท่ากับ 1.43 เท่า

ความไม่สม่ำเสมออีก 2 รูปแบบของอาคารที่เด่นชัดที่สุดคือ ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส (Stiffness Story Irregularity) เนื่องจากมีชั้นที่มีสติฟเนสสูงมากที่ชั้น Podium และชั้นของโครงถัก ถ้ายน้ำหนักที่ชั้น 25-27 (Transfer Truss) และความไม่สม่ำเสมอจากความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม (Diaphragm Discontinuity Irregularity) โดยชั้น Tower (ชั้น 8-24) แยกกันเป็น Tower A, B และ C ซึ่งทำให้ไดอะแฟรมไม่ต่อเนื่องกัน

แรงเฉือนที่ฐานวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด MRSA มีค่ามากอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่าแรงเฉือนที่ฐานคูณด้วย $\frac{SF\Omega_0}{R}$ เพียงโหมดแรกเพียงโหมดเดียวซึ่งแตกต่างจากวิธีอื่น ที่ค่าแรงเฉือนที่ฐานคูณด้วย $\frac{I}{R}$ ทุกโหมด

2.) การเคลื่อนตัวแต่ละชั้นและการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีแนวโน้มที่คล้ายกัน ที่ชั้น 8 มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมากที่สุด เนื่องจากอาคารมีการเปลี่ยนแปลงความไม่สม่ำเสมอของมวล วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลาให้ผลที่ใกล้เคียงกัน

ผลวิเคราะห์การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลามีค่าที่อยู่ในเกณฑ์ แต่วิธีแรงสถิตเทียบเท่ามีความมากกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้อย่างมีนัยสำคัญ

3.) วิธีวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวทั้ง 3 วิธี พบว่าวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลามีความเหมาะสมมากกว่าวิธีแรงสถิตเทียบเท่า เนื่องจากผลการวิเคราะห์แรงเฉือนแต่ละชั้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากตามมวลและสติเฟนสแต่ละชั้นของอาคาร แต่ค่าแรงเฉือนแต่ละชั้นจากวิธีแรงสถิตเทียบเท่ามีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้นตั้งแต่ชั้นหลังคาจนถึงชั้นล่างสุด และวิธีแรงสถิตเทียบเท่ายังเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ไม่ได้คำนึงถึงผลของการเสียรูปของอาคาร คาบธรรมชาติของอาคารในแต่ละโหมดและไม่ได้คำนึงถึงผลของการกระจายตัวของแรงด้านข้าง ด้วยเหตุผลข้างต้นทำให้วิธีแรงสถิตเทียบเท่าไม่เหมาะสมที่จะใช้คำนวณผลของแรงแผ่นดินไหวกับอาคารตัวอย่าง ตึกข้าง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์แรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่กระทำกับโครงสร้างอาคาร ในการเลือกวิธีวิเคราะห์จำเป็นต้องคำนึงถึงความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง ไม่ว่าจะเป็นความไม่สม่ำเสมอในแนวราบ หรือความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง เนื่องจากผลการกระจายแรงด้านข้างของแรงแผ่นดินไหวซึ่งวิธีแรงสถิตเทียบเท่าไม่ได้คำนึงผลนี้ ทำให้วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด แล้ววิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา มีความเหมาะสมมากกว่า

ข้อสังเกต สำหรับวิธีสเปกตรัมตอบสนองเชิงโหมด ตามมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 ในการหาค่าแรงเฉือนที่ฐานโดยนำค่า $\frac{SF\Omega_0}{R}$ คูณที่โหมดแรกเพียงแคะโหมดเดียวและโหมดอื่นไม่ได้คุณทำให้ถ้าอาคารมีความไม่สม่ำเสมอค่อนข้างมากกว่าที่กำหนด ซึ่งทำให้แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารโดยวิธีพลศาสตร์ จำเป็นต้องมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 85 ของวิธีแรงสถิตเทียบเท่า กล่าวคือถ้าการที่ต้องคูณตัวปรับค่า (Scaling Factor, S_F) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.92 (สำหรับงานวิจัยนี้) จะทำให้พจน์ $\frac{SF\Omega_0}{R}$ ที่ต้องคูณสำหรับโหมดแรกมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งหมายความว่า ในการวิเคราะห์ในรูปแบบอินอีลาสติก (Inelastic) ที่ต้องคูณลดค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) เพื่อลดแรงและคูณค่าตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection

Amplification Factor, C_d) เพื่อหาค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของอาคาร จำเป็นอีกหรือไม่ เนื่องจากในการวิเคราะห์ต้องพิจารณาแรงสูงสุดที่ใช้ออกแบบ และยังจำเป็นต้องให้รายละเอียดโครงสร้างพิเศษเพื่อให้โครงสร้างมีความเหนียวตามระบบโครงสร้างและระบบต้านแรงด้านข้าง

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการออกแบบอาคารให้มีความเหนียวตามระบบโครงสร้าง การออกแบบโครงสร้างแบบอีลาสติก การคูณตัวปรับค่า (Scaling Factor) ที่มีค่าสูงมากกว่าปกติของอาคารที่ความไม่สม่ำเสมอทั้งแนวตั้งและแนวนอน หรือวิธีวิเคราะห์เชิงเส้นแบบประวัติเวลาที่นำโหมดการเสียรูปมาเป็นปัจจัยในการคำนวณ ทำให้ในทางกรณี วิธี MRSA และ LTHA (Modal) อาจจะมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1302-52 ปี 2552, กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย

มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1301/1302-61 ปี 2561, กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย

Chang (Elephant) Building, BKK Kids, 9 October 2013. Retrieved 9 March 2014

Computers and Structures, Inc., Integrated Building Design Software, User's guide ETABS version 2016, USA., 2016.

Kimleng Khy, Chatpan Chintanapakdee, Pennung Warnitchai and Anil C. Wijeyewickrema, Modified response spectrum analysis to compute shear force in tall RC shear wall buildings, Engineering Structures Vol.180, 2019, Page 295–309, DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.11.022

Huanjun Jiang, Xilin Lu & Tetsuo Kubo (2009), Maximum Displacement Profiles of Reinforced Concrete Frames, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 8:1, 183-190, DOI: 10.3130/jaabe.8.183

Reza Siami, Payam Tehrani (2019), ASCE 7-16 Ground-motion Scaling Procedure For Nonlinear Analysis of Buildings In Comparison With ASCE 7-10 And ASCE 7-05, Researchgate.net, DOI: 10.13140/RG.2.2.25787.98082

สิวะลักษณ์ ขำนันทน์, สนั่นกานต์ ศรีทองอ่อน (2563), ค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหวในทุกอำเภอของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1301/1302-61), การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 วันที่ 15-17 กรกฎาคม 2563, จ.ชลบุรี

พัศพงษ์ วิจิตรพงษ์, ฉัตร สุจินดา (2559), การเปรียบเทียบผลของการออกแบบอาคารรับแรงแผ่นดินไหวที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง ระหว่างวิธีวิเคราะห์แรงสถิตเทียบเท่า สเปกตรัมการตอบสนอง และประวัติเวลา, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 วันที่ 28-30 มิถุนายน 2559, จ.สงขลา

ศุภชาติ จิ่งแสงสถิตย์พร, ฉัตร สุจินดา (2559), การเปรียบเทียบผลของการออกแบบอาคารรับแรงแผ่นดินไหวที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวราบระหว่างวิธีสถิตเทียบเท่า สเปกตรัมการตอบสนอง และประวัติเวลา, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 วันที่ 28-30 มิถุนายน 2559, จ.สงขลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.1

การจำแนกชั้นดิน

มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของ
แผ่นดินไหว มยพ.1301/1302-61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การจำแนกประเภทชั้นดินที่ตั้งอาคาร

การจำแนกประเภทของชั้นดินที่ตั้งอาคาร จะพิจารณาจากคุณสมบัติของชั้นดินตั้งแต่ผิวดินลงไปจนถึงความลึก 30 เมตร หากไม่มีข้อมูลดินที่ชัดเจนเพียงพอที่จะนำมาใช้จำแนกประเภท และไม่สามารถทำการสำรวจดินให้สมมุติว่าประเภทของชั้นดินเป็นประเภท D เว้นแต่กรณีที่มีผู้เชี่ยวชาญหรือหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องกำหนดว่าชั้นดิน ณ ตำแหน่งนั้นเป็นประเภท E หรือ F นอกจากนี้ในกรณีที่มีชั้นดินที่หนามากกว่า 3 เมตร อยู่ระหว่างฐานรากกับชั้นหินจะต้องไม่กำหนดให้ชั้นดินเป็นประเภท A หรือ B

2. การวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดิน

ในกรณีที่อาคารตั้งอยู่บนชั้นดินประเภท F จะต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดินต่อคลื่นการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (Site Response Analysis) เพื่อนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ในการออกแบบอาคาร

3. การกำหนดประเภทชั้นดิน

ประเภทชั้นดินจะถูกจำแนกตามเกณฑ์ที่แสดงในตารางที่ก-1 และมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังแสดงด้านล่างนี้

3.1 ชั้นดินประเภท F

ชั้นดินที่มีลักษณะต่อไปนี้ให้จัดเป็นชั้นดินประเภท F และต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดินต่อคลื่นการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

- (1) ชั้นดินมีโอกาสสวิตภายใต้แผ่นดินไหว เช่น ดินที่สามารถเกิดการเหลวตัว (Liquefaction) หรือดินเหนียวที่อ่อนมาก เป็นต้น
- (2) ชั้นดินเหนียวที่วัตถุอินทรีย์อยู่มาก และมีความหนามากกว่า 3 เมตร
- (3) ชั้นดินที่มีความเป็นพลาสติกสูง (มีความหนามากกว่า 7.6 เมตรและมีค่า PI มากกว่า 75)
- (4) ชั้นดินเหนียวอ่อนถึงปานกลางที่หนามาก (มีความหนามากกว่า 37 เมตรและมีกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ S_u น้อยกว่า 50 กิโลปาสกาล)

3.2 ชั้นดินประเภท E

ในกรณีที่ชั้นดินมิใช่ประเภท F และมีชั้นดินเหนียวหนากว่า 3 เมตรซึ่งมีกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (S_U) น้อยกว่า 25 กิโลปาสกาล และมีปริมาณน้ำในดิน (w) มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 40 และมีขีดพลาสติก PI มากกว่า 20 ให้จัดเป็นชั้นดินประเภท E

3.3 ชั้นดินประเภท C, D, และ E

การจำแนกประเภทดินเป็นประเภท C, D, และ E สามารถทำได้โดยพิจารณาจากค่าต่อไปนี้

- (1) ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย (v_s) ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก (เรียกว่าวิธี v_s)
- (2) ค่าการทดสอบฝังจรมมาตรฐานเฉลี่ย (Average Field Standard Penetration Resistance, N) ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก (เรียกว่าวิธี N)
- (3) ค่าการทดสอบฝังจรมมาตรฐานเฉลี่ยสำหรับชั้นทราย ($PI < 20$) (Average Standard Penetration Resistance for Cohesionless Soil Layer, N_{ch}) ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก และค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเฉลี่ย (S_U) สำหรับดินเหนียว ($PI > 20$) ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก หากเกณฑ์ของ N_{ch} และ S_U แตกต่างกันให้เลือกประเภทชั้นดินที่อ่อนกว่า

3.4 ความเร็วคลื่นเฉือนของดินประเภท B

การหาความเร็วคลื่นเฉือนของหิน (ชั้นดินประเภท B) จะต้องทำการตรวจวัดในสถานที่จริง หรือทำการประมาณโดยวิศวกรทางธรณีเทคนิคธรณีวิทยา หรือผู้เชี่ยวชาญด้านแผ่นดินไหว ในกรณีที่ชั้นหินมีลักษณะค่อนข้างอ่อน หรือมีการแตกร้าวผุพังมาก จะต้องทำการตรวจวัดความเร็วคลื่นเฉือนในสถานที่จริงหรือมีฉะนั้นก็ให้จัดประเภทของชั้นดินเป็นแบบ C

3.5 ความเร็วคลื่นเฉือนของดินประเภท A

การประเมินว่าเป็นหินแข็งต้องใช้ในการตรวจวัดความเร็วคลื่นเฉือนในสถานที่จริงหรือสถานที่ซึ่งมีสภาพหินคล้ายคลึงกัน(หินแบบเดียวกันมีระดับการแตกร้าวผุพังเหมือนกัน)

ภาคผนวก ก.2

คำความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับพื้นที่นอกแอ่งกรุงเทพ

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของ
แผ่นดินไหว มยพ.1301/1302-61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.4-1 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม
ที่คาบสั้น 0.2 วินาที (S_s) และ ที่คาบ 1 วินาที
(S_1) ของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนอง เชิงสเปกตรัม		
		S_s	S_1	
กระบี่	เกาะลันตา	0.143	0.089	
	เขาพนม	0.227	0.108	
	คลองท่อม	0.147	0.129	
	ปลายพรุขยา	0.263	0.100	
	เมืองกระบี่	0.218	0.105	
	ลำทับ	0.158	0.090	
	เหนือคลอง	0.195	0.088	
	อ่าวลึก	0.267	0.110	
กาญจนบุรี	คำชะอี	0.862	0.316	
	ทองผาภูมิ	0.728	0.200	
	ท่าม่วง	0.802	0.275	
	ท่ามะกา	0.481	0.154	
	ไทรโยค	0.747	0.210	
	บ่อพลอย	0.659	0.197	
	พนมทวน	0.452	0.136	
	เมืองกาญจนบุรี	0.642	0.241	
	เลาขวัญ	0.487	0.158	
	ศรีสวัสดิ์	0.752	0.208	
	สังขละบุรี	0.840	0.234	
	หนองปรือ	0.674	0.199	
	ห้วยกระเจา	0.520	0.155	
กาฬสินธุ์	กมลาไสย	0.046	0.028	
	กุฉินารายณ์	0.049	0.028	
	เขาวง	0.054	0.029	
	คำม่วง	0.059	0.031	
	ฆ้องชัย	0.046	0.028	
	คอนจวน	0.048	0.028	
	ท่าคันโท	0.070	0.033	
	นาคู	0.055	0.029	
	นารน	0.050	0.029	
	เมืองกาฬสินธุ์	0.048	0.028	
	ยางตลาด	0.048	0.028	
	ร่องคำ	0.045	0.027	
	กาฬสินธุ์	สามชัย	0.061	0.031
		สมเด็จ	0.053	0.030
		สหัสขันธ์	0.055	0.030
		หนองกุงศรี	0.055	0.030
ห้วยผึ้ง		0.052	0.029	
ห้วยเม็ก		0.054	0.030	
กาฬสินธุ์		โกสัมพีนคร	0.469	0.133
		ขามเฒ่า	0.363	0.108
		คลองขลุง	0.332	0.104
		คลองลาน	0.496	0.149
		ทรายทองวัฒนา	0.252	0.086
		โพนงาม	0.252	0.084
		บึงสามัคคี	0.205	0.077
		ปางศิลาทอง	0.493	0.147
กาฬสินธุ์		พราหมณ์	0.433	0.117
	เมืองกาฬสินธุ์	0.434	0.122	
	สาคู	0.327	0.094	
	ขอนแก่น	0.060	0.031	
	เขาสวนกวาง	0.074	0.033	
ขอนแก่น	โคกโพธิ์ไชย	0.050	0.031	
	ชนบท	0.048	0.029	
	ชุมแพ	0.080	0.035	
	ซำสูง	0.054	0.030	
	โนนศิลา	0.045	0.029	
	น้ำพอง	0.064	0.032	
	บ้านแฮด	0.049	0.029	
	บ้านไผ่	0.047	0.029	
	บ้านฝาง	0.056	0.031	
	หนองบัวลำภู	0.087	0.036	
	เปือยน้อย	0.043	0.028	
	พระยืน	0.053	0.030	
	พล	0.044	0.029	
	ภูผาม่าน	0.110	0.038	
	ภูเวียง	0.074	0.034	
มัญจาคีรี	0.050	0.030		
เมืองขอนแก่น	0.053	0.030		
เวียงชัย	0.045	0.030		
เวียงใหญ่	0.047	0.029		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความแรงตอบสนองเชิงปกติ		จังหวัด	อำเภอ	ค่าความแรงตอบสนองเชิงปกติ	
		S_y	S_l			S_y	S_l
	สีชมพู	0.098	0.037		คอนสาร	0.104	0.038
	หนองเรือ	0.059	0.032		จัตุรัส	0.045	0.032
	หนองจองห้อง	0.042	0.028		ซับใหญ่	0.048	0.034
	อุบลรัตน์	0.072	0.033		เทพสถิต	0.048	0.035
จันทบุรี	แก่งหางแมว	0.049	0.033		เนินสง่า	0.045	0.032
	ขลุง	0.040	0.030		บ้านเขว้า	0.049	0.032
	เขาคิชฌกูฏ	0.043	0.031		บ้านแท่น	0.061	0.032
	ท่าใหม่	0.044	0.032		บ้านหมี่จตุรรงค์	0.047	0.033
	นายายอาม	0.049	0.033		ภักดีชุมพล	0.059	0.036
	โป่งน้ำร้อน	0.040	0.029		กุยเชียง	0.060	0.032
	มขาม	0.041	0.030		เมืองชัยภูมิ	0.047	0.031
	เมืองจันทบุรี	0.041	0.030		หนองบัวแดง	0.059	0.034
	สอยดาว	0.041	0.029		หนองบัวระเหว	0.050	0.033
	แหลมสิงห์	0.042	0.031				
ฉะเชิงเทรา	ท่าตะเกียบ	0.054	0.034	ชุมพร	ท่าแซะ	0.108	0.078
	แปลงยาว	0.089	0.042		ทุ่งตะโก	0.160	0.079
	พนมสารคาม	0.058	0.036		ปะทิว	0.097	0.075
	สนามชัยเขต	0.068	0.038		พะโต๊ะ	0.286	0.093
ชลบุรี	เกาะจันทร์	0.096	0.042		เมืองชุมพร	0.120	0.080
	เกาะสีชัง	0.153	0.056		ละม้าย	0.188	0.082
	บ่อทอง	0.084	0.039		สวี	0.149	0.080
	บางละมุง	0.117	0.048	เชียงราย	ห้วยสัก	0.180	0.082
	บ้านบึง	0.118	0.045		ขุนตาล	0.769	0.175
	พนัสนิคม	0.114	0.046		เชียงของ	0.796	0.202
	ศรีราชา	0.141	0.049		เชียงแสน	0.984	0.296
	สัตหีบ	0.116	0.049		คอยหลวง	1.015	0.329
	หนองใหญ่	0.094	0.040		เทิง	0.763	0.160
			ป่าแดด		0.772	0.157	
			พญาเม็งราย		0.787	0.188	
			พาน		0.831	0.175	
ชัยนาท	เนินขาม	0.362	0.116	เมืองเชียงราย	0.917	0.250	
	หนองมะโมง	0.385	0.119	แม่จัน	1.022	0.306	
	มโนรมย์	0.150	0.069	แม่ฟ้าหลวง	1.015	0.292	
	เมืองชัยนาท	0.170	0.075	แม่ลาว	0.884	0.220	
	วัดสิงห์	0.207	0.083	แม่สรวย	0.894	0.212	
	สรรคบุรี	0.161	0.073	แม่สาย	0.981	0.278	
	สรรพยา	0.126	0.064				
หันคา	0.220	0.088	เวียงแก่น	0.767	0.182		
ชัยภูมิ	เกษตรสมบูรณ์	0.075	0.035	เวียงเชียงรุ้ง	0.931	0.267	
	แก้งคร้อ	0.052	0.032	เวียงชัย	0.879	0.229	
	คอนสวรรค์	0.048	0.031				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม		จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม	
		S_S	S_I			S_S	S_I
	เวียงป่าเป้า	0.855	0.195		คลองใหญ่	0.034	0.023
เชียงใหม่	จอมทอง	0.893	0.243		บ่อไร่	0.037	0.027
	เชียงดาว	1.019	0.266		เมืองตราด	0.036	0.027
	ไชยปราการ	1.018	0.265		แหลมงอบ	0.037	0.028
	คอยเต่า	0.834	0.237	ตาก	ท่าสองยาง	0.733	0.185
	คอยสยะเก็ด	0.910	0.225		บ้านตาก	0.561	0.154
	คอยหล่อ	0.926	0.248		พบพระ	0.597	0.156
	ฝาง	1.038	0.282		เมืองตาก	0.543	0.142
	ห้วยข้าว	0.953	0.238		แม่ระมาด	0.635	0.172
	เมืองเชียงใหม่	0.963	0.248		แม่สอด	0.609	0.156
	แม่แจ่ม	0.891	0.242		วังเจ้า	0.535	0.137
	แม่แตง	0.992	0.260		สามเงา	0.577	0.163
	แม่ริม	0.984	0.254		อุ้มผาง	0.607	0.184
	แม่วาง	0.936	0.248		นครปฐม	กำแพงแสน	0.279
	แม่เมาะ	1.080	0.317	นครพนม	ท่าอุเทน	0.307	0.064
	แม่ฮอน	0.867	0.187		ธาตุพนม	0.087	0.032
	เวียงแหง	1.032	0.274		นาแก	0.077	0.031
	สยะเม็ง	0.967	0.258		นาทม	0.255	0.059
	สันกำแพง	0.926	0.230		นาหว้า	0.129	0.040
	สันทราย	0.973	0.251		บ้านแพง	0.336	0.072
	สันป่าดอง	0.938	0.244		ปลาปาก	0.125	0.038
สาขะ	0.927	0.256	โพนสวรรค์		0.213	0.050	
หางดง	0.931	0.243	เมืองนครพนม		0.283	0.060	
ฮ่อมก้อ	0.857	0.244	เวณียง		0.109	0.035	
ศรีสะเกษ	ฮอด	0.849	0.237	วังยาง	0.091	0.033	
	กันตัง	0.199	0.096	ศรีสะเกษ	0.228	0.053	
	นาโยง	0.199	0.089	นครราชสีมา	แก่งสนามนาง	0.045	0.030
	ปะเหลียน	0.196	0.094		ขามทะเลสอ	0.042	0.031
	เมืองศรีสะเกษ	0.195	0.091		ขามสะแกแสง	0.043	0.030
	ชัยภู	0.149	0.085		คง	0.041	0.029
	ย่านตาขาว	0.216	0.092		ครบุรี	0.040	0.029
	วังวิเศษ	0.164	0.094		จักราช	0.039	0.028
	ลิเกา	0.154	0.097		เฉลิมพระเกียรติ	0.040	0.029
	หาดสำราญ	0.192	0.097		ชุมหวง	0.039	0.027
ห้วยยอด	0.161	0.091	โชคชัย		0.040	0.030	
ตราด	เกาะกูด	0.036	0.027		ด่านขุนทด	0.045	0.033
	เกาะช้าง	0.038	0.029	เทพารักษ์	0.047	0.035	
	เขาสมิง	0.038	0.028	โนนแดง	0.041	0.028	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงปกติ		จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงปกติ		
		S_S	S_I			S_S	S_I	
	โนนไทย	0.043	0.031		เมืองนครศรีธรรมราช	0.201	0.072	
	โนนสูง	0.041	0.029		ร่อนพิบูลย์	0.156	0.077	
	บัวลาย	0.043	0.029		ลานสกา	0.193	0.077	
	บัวใหญ่	0.043	0.029		ฉะเชิงเทรา	0.160	0.068	
	บ้านเหลื่อม	0.045	0.031		หัวไทร	0.112	0.069	
	ประทาย	0.041	0.028	นครสวรรค์	เก้าเลี้ยว	0.171	0.070	
	ปักธงชัย	0.042	0.032		โกรกพระ	0.226	0.084	
	ปากช่อง	0.048	0.036		ชุมตาบง	0.473	0.141	
	พระทองคำ	0.043	0.031		ชุมแสง	0.116	0.058	
	พิมาย	0.040	0.028		ตากฟ้า	0.090	0.054	
	เมืองนครราชสีมา	0.041	0.030		ตากสิน	0.112	0.061	
	เมืองยาง	0.039	0.027		ท่าตะโก	0.091	0.053	
	ลำทะเมนชัย	0.039	0.026		บรรพตพิสัย	0.221	0.081	
	วังน้ำเขียว	0.043	0.032		พยุหะคีรี	0.165	0.072	
	เสิงสาง	0.042	0.028		โพนพิสัย	0.077	0.049	
	สีคิ้ว	0.043	0.033		เมืองนครสวรรค์	0.175	0.072	
	สูงเนิน	0.043	0.032		แม่เปิน	0.518	0.155	
	เสิงสาง	0.038	0.028		แม่วงก์	0.494	0.148	
	หนองบุญมาก	0.039	0.028		ลาดยาว	0.449	0.130	
	ห้วยแถลง	0.039	0.028	หนองบัว	0.083	0.050		
นครศรีธรรมราช	ขนอม	0.116	0.067	นราธิวาส	จันทบุรี	0.063	0.061	
	จุฬาภรณ์	0.156	0.079		เจาะไอร้อง	0.058	0.057	
	ควาง	0.180	0.082		ตากใบ	0.056	0.053	
	เฉลิมพระเกียรติ	0.167	0.074		บาเจาะ	0.058	0.058	
	ชะอวด	0.143	0.077		เมืองนราธิวาส	0.057	0.056	
	ช้างกลาง	0.181	0.081		ยี่งอ	0.059	0.058	
	เชียรใหญ่	0.162	0.071		ระแงะ	0.060	0.059	
	กำแพงนคร	0.195	0.086		รือเสาะ	0.062	0.061	
	ท่าศาลา	0.211	0.070		แว้ง	0.061	0.058	
	ทุ่งสง	0.162	0.082		ศรีสาคร	0.063	0.062	
	ทุ่งใหญ่	0.174	0.087		สุคีริน	0.062	0.060	
	นบพิตำ	0.186	0.075		สุโหงโลก	0.059	0.056	
	นาบอน	0.170	0.082		สุโหงปาตี	0.059	0.057	
	บางขัน	0.147	0.088		น่าน	เฉลิมพระเกียรติ	0.705	0.148
	ปากพอง	0.169	0.068			เขื่องกลาง	0.826	0.216
	พรหมคีรี	0.205	0.074			ท่าวังผา	0.927	0.222
พระพรหม	0.184	0.074	ทุ่งช้าง	0.773		0.192		
พิปูน	0.192	0.079		น่าน้อย	0.709	0.124		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงเปกตรัม		จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงเปกตรัม		
		S_S	S_I			S_S	S_I	
	นาหมื่น	0.718	0.128		หนองกี่	0.038	0.028	
	ปอเกวียน	0.664	0.138		หนองหงส์	0.038	0.027	
	บ้านพลวง	0.714	0.133		ห้วยราช	0.036	0.025	
	ปัว	0.924	0.236		ประจวบคีรีขันธ์	กุยบุรี	0.277	0.085
	ภูเพียง	0.732	0.154			ทับสะแก	0.185	0.079
	เมืองน่าน	0.738	0.150			บางสะพาน	0.158	0.078
	แม่จิม	0.668	0.133			บางสะพานน้อย	0.120	0.074
	เวียงสา	0.689	0.126			ปราณบุรี	0.275	0.085
	สองแคว	0.793	0.168			เมืองประจวบคีรีขันธ์	0.263	0.086
	ลับแล	0.738	0.177			สามร้อยยอด	0.290	0.087
	บึงกาฬ	เซกา	0.206		0.053	หัวหิน	0.246	0.081
ไชยพิสัย		0.196	0.052	ปราจีนบุรี	กบินทร์บุรี	0.047	0.033	
เมืองบึงกาฬ		0.310	0.071		นาดี	0.045	0.033	
บึงโขงหลง		0.302	0.067		ประจันตคาม	0.050	0.035	
บุ่งคล้า		0.330	0.075		เมืองปราจีนบุรี	0.052	0.036	
ปากคาด		0.241	0.059		ศรีมหาโพธิ์	0.051	0.034	
พรเจริญ		0.202	0.053	ศรีมโหสถ	0.061	0.038		
ศรีวิไล		0.263	0.064	ปัตตานี	กะพ้อ	0.060	0.059	
บุรีรัมย์	กระสัง	0.036	0.024		โคกโพธิ์	0.065	0.066	
	แคนดง	0.038	0.026		ทุ่งยางแดง	0.061	0.060	
	บ้านคาน	0.037	0.025		ปะนาเระ	0.058	0.058	
	คูเมือง	0.038	0.026		มายอ	0.060	0.060	
	เฉลิมพระเกียรติ	0.036	0.025		เมืองปัตตานี	0.062	0.062	
	ฉะบือ	0.037	0.026		แม่ลาน	0.064	0.064	
	นางรอง	0.037	0.026		ไม้แก่น	0.058	0.057	
	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	0.057		
	บ้านกรวด	0.034	0.024	หนองจิก	0.064	0.065		
	บ้านใหม่ไชยพจน์	0.041	0.027	พรนครศรีอยุธยา	นครหลวง	0.108	0.059	
	ประโคนชัย	0.035	0.025		บางซ้าย	0.160	0.073	
	ปะคำ	0.037	0.026		บางปะหัน	0.114	0.060	
	พลับพลาชัย	0.035	0.024		บ้านแพรก	0.103	0.057	
	พุทไธสง	0.040	0.027		ผักไห่	0.150	0.070	
	เมืองบุรีรัมย์	0.036	0.025		ภาชี	0.095	0.055	
ละหานทราย	0.036	0.026	มหาราช		0.108	0.059		
ลำปลายมาศ	0.037	0.026	พะเยา	จุน	0.756	0.141		
สตึก	0.037	0.025		เชียงคำ	0.737	0.142		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม		จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม		
		S_S	S_I			S_S	S_I	
	เชียงใหม่	0.745	0.132	พิษณุโลก	ชาติตระการ	0.418	0.096	
	ดอกคำใต้	0.756	0.138		นครไทย	0.291	0.070	
	ปง	0.714	0.137		เนินมะปราง	0.125	0.051	
	ภูพานยาว	0.768	0.143		บางกระพุ่ม	0.140	0.057	
	ภูซาง	0.740	0.146		บางระกำ	0.268	0.080	
	เมืองพญา	0.781	0.146		พรหมพิราม	0.415	0.104	
	แม่อิง	0.797	0.156		เมืองพิษณุโลก	0.249	0.074	
พิจิตร	กษป่ง	0.253	0.117		วังทอง	0.225	0.068	
	เกาะยาว	0.282	0.117		วัดโบสถ์	0.368	0.091	
	คุรุบุรี	0.323	0.116		เพชรบุรี	แก่งกระจาน	0.290	0.111
	ตะกั่วทุ่ง	0.273	0.118	ชะอำ		0.223	0.083	
	ตะกั่วป่า	0.261	0.119	ท่ายาง		0.207	0.085	
	ทับปุด	0.267	0.109	บ้านลาด		0.191	0.085	
	ท้ายเหมือง	0.267	0.125	บ้านแหลม		0.202	0.089	
	เมืองพิจิตร	0.272	0.114	เมืองเพชรบุรี		0.179	0.079	
พัทลุง	กงหรา	0.078	0.085	หนองหญ้าปล้อง		0.269	0.110	
	เขาชัยสน	0.074	0.080	เพชรบูรณ์	เขาค้อ	0.153	0.049	
	ควนขนุน	0.072	0.078		ชนแดน	0.079	0.044	
	ตะโหมด	0.078	0.084		น้ำหนาว	0.200	0.049	
	บางแก้ว	0.074	0.080		บึงสามพัน	0.060	0.040	
	ปากพูน	0.072	0.077		เมืองเพชรบูรณ์	0.110	0.042	
	ป่าพะยอม	0.075	0.082		วังโป่ง	0.093	0.046	
	ป่าบอน	0.076	0.082		วิเชียรบุรี	0.055	0.039	
	เมืองพัทลุง	0.073	0.079		ศรีเทพ	0.055	0.040	
	ศรีนครินทร์	0.077	0.084		หนองไผ่	0.065	0.039	
	ศรีบรรพต	0.077	0.083		หล่มเก่า	0.221	0.054	
พิจิตร	คงเจริญ	0.088	0.050	หล่มสัก	0.205	0.052		
	ตะพานหิน	0.106	0.053	แพร่	เด่นชัย	0.853	0.197	
	ทับคล้อ	0.085	0.047		เมืองแพร่	0.919	0.214	
	บ้านฉลุง	0.106	0.055		ร้องวาง	0.795	0.146	
	บึงนาราง	0.155	0.064		ลอง	0.880	0.185	
	โพทะเล	0.134	0.062		วังชิ้น	1.086	0.275	
	โพธิ์ประทับช้าง	0.131	0.059		สอง	0.794	0.142	
	เมืองพิจิตร	0.132	0.058		สูงเม่น	0.854	0.197	
	วชิรบรรณ	0.192	0.070		หนองม่วงไข่	0.843	0.191	
	วังทรายพูน	0.109	0.051		ภูเก็ต	กะทู้	0.306	0.130
	สากเหล็ก	0.121	0.054			ตลาด	0.313	0.129
สามง่าม	0.165	0.064	เมืองภูเก็ต	0.299		0.129		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงปกติ		จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงปกติ	
		S_S	S_I			S_S	S_I
มหาสารคาม	กันทรวิชัย	0.048	0.028		ธาดาทอ	0.071	0.071
	กุฉีกรัง	0.045	0.028		บ้านม่วงตา	0.067	0.066
	แกดำ	0.043	0.027		เบตง	0.078	0.076
	โกสุมพิสัย	0.047	0.029		เมืองยลลา	0.064	0.064
	กันทรวิชัย	0.053	0.030		ยลลา	0.067	0.068
	เชียงยืน	0.050	0.029		รามัน	0.062	0.062
	นาเชือก	0.042	0.027		ร้อยเอ็ด	เกษตรวิสัย	0.038
	นาคนูน	0.040	0.026	จตุรพักตรพิมาน		0.040	0.026
	บรบือ	0.044	0.028	จังหาร		0.044	0.027
	พยัคฆภูมิพิสัย	0.039	0.026	เชียงขวัญ		0.043	0.027
	เมืองมหาสารคาม	0.045	0.028	ทุ่งเขาหลวง		0.041	0.026
	ยางสีสุราช	0.040	0.027	ธวัชบุรี		0.042	0.026
	วาปีปทุม	0.041	0.026	ปทุมรัตน์	0.039	0.026	
มุกดาหาร	คำชะอี	0.052	0.028	พนมไพร	0.038	0.024	
	คงหลวง	0.060	0.030	โพธิ์ชัย	0.044	0.027	
	ดอนตาล	0.045	0.026	โพนทราย	0.037	0.024	
	นิคมคำสร้อย	0.047	0.026	โพนทอง	0.045	0.027	
	เมืองมุกดาหาร	0.052	0.027	เมยวดี	0.046	0.027	
	หนองสูง	0.048	0.027	เมืองร้อยเอ็ด	0.042	0.027	
	ห้วยผึ้ง	0.062	0.029	เมืองสรวง	0.040	0.026	
แม่ฮ่องสอน	ขุนยวม	0.888	0.208	ศรีสมเด็จ	0.042	0.027	
	ปางมะผ้า	1.056	0.270	สุวรรณภูมิ	0.038	0.025	
	ป่าเย็บ	1.019	0.269	เสลภูมิ	0.041	0.026	
	เมืองแม่ฮ่องสอน	0.962	0.227	หนองพอก	0.045	0.027	
	แม่ลาน้อย	0.837	0.199	หนองฮี	0.037	0.024	
	แม่สะเรียง	0.832	0.195	อาจสามารถ	0.040	0.025	
	สบเมย	0.854	0.201	ระยอง	กระบุรี	0.184	0.089
ยโสธร	กุสุมาลย์	0.041	0.025		กษเปออร์	0.352	0.105
	ค้อวัง	0.035	0.023		เมืองระยอง	0.310	0.098
	คำชะอี	0.037	0.024		ละฮูน	0.249	0.092
	ทรายมูล	0.040	0.025	ตุษสำราญ	0.355	0.112	
	ไทยเจริญ	0.041	0.025	ระยอง	แกลง	0.056	0.036
	ป่าดิว	0.038	0.024		เขาชะเมา	0.057	0.035
	มหาชนะชัย	0.036	0.024		นิคมพัฒนา	0.094	0.042
เมืองยโสธร	0.039	0.025	บ้านค่าย		0.080	0.040	
เลิงนกทา	0.043	0.026	บ้านฉาง		0.094	0.044	
ยลลา	0.066	0.066	ปลวกแดง		0.118	0.045	
กาบัง	0.071	0.072	เมืองระยอง	0.088	0.042		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงเปกตรัม		จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงเปกตรัม		
		S_S	S_I			S_S	S_I	
	วังจันทร์	0.067	0.037	เลย	เชียงคาน	0.265	0.066	
ราชบุรี	บ้านคา	0.308	0.121		คำน้าย	0.287	0.068	
	จอมบึง	0.498	0.179		ท่าลี่	0.283	0.069	
	บ้านโป่ง	0.361	0.128		นาด้วง	0.172	0.047	
	โพธาราม	0.348	0.123		นาแห้ว	0.390	0.087	
	สวนผึ้ง	0.421	0.150		ปากชม	0.202	0.053	
ลพบุรี	โคกเจริญ	0.066	0.045		ผาขาว	0.152	0.043	
	โคกสำโรง	0.080	0.052		ภูกระดึง	0.148	0.042	
	ชัยบาดาล	0.054	0.040		ภูเรือ	0.279	0.066	
	ท่าวีง	0.107	0.060		ภูหลวง	0.239	0.055	
	ท่าหลวง	0.055	0.041		เมืองเลย	0.215	0.054	
	บ้านหมี่	0.094	0.055		วังสะพุง	0.222	0.053	
	พัฒนานิคม	0.063	0.044		หนองหิน	0.193	0.049	
	เมืองลพบุรี	0.080	0.051		เอราวัณ	0.177	0.047	
	ลำสนธิ	0.048	0.036		ศรีสะเกษ	กันทรลักษ์	0.030	0.020
	สระโบสถ์	0.070	0.047			กันทรารมย์	0.033	0.022
หนองม่วง	0.080	0.051	ขุขันธ์			0.032	0.021	
ลำปาง	เกาะคา	0.813	0.184			ขุนหาญ	0.031	0.021
	งาว	0.784	0.142	น้ำเกลี้ยง		0.032	0.021	
	แจ้ห่ม	0.811	0.160	โนนคูณ		0.032	0.021	
	เถิน	0.651	0.166	บึงบูรพ์		0.035	0.024	
	เมืองปาน	0.814	0.170	เบญจลักษ์		0.031	0.020	
	เมืองลำปาง	0.835	0.177	ปรางค์กู่		0.033	0.022	
	แม่ทะ	0.930	0.210	พยุห์		0.033	0.022	
	แม่พริก	0.636	0.162	โพธิ์ศรีสุวรรณ		0.035	0.023	
	แม่เมาะ	0.938	0.155	ไพรบึง		0.032	0.021	
	งิ้วเหนือ	0.898	0.195	ภูสิงห์		0.031	0.021	
	สบปราบ	0.935	0.264	เมืองจันทร์		0.035	0.023	
	เสริมงาม	0.775	0.195	เมืองศรีสะเกษ	0.034	0.022		
	ห้างฉัตร	0.814	0.178	ยางชุมน้อย	0.034	0.022		
ลำพูน	ทุ่งหัวช้าง	0.809	0.213	ราชธิไล	0.035	0.023		
	บ้านธิ	0.872	0.209	วังหิน	0.033	0.022		
	บ้านโฮ่ง	0.876	0.237	ศิลาลาด	0.036	0.024		
	ป่าซาง	0.915	0.240	ศรีวิเศษ	0.032	0.021		
	เมืองลำพูน	0.908	0.232	ห้วยทับทัน	0.034	0.023		
	แม่ทา	0.851	0.211	อุทุมพรพิสัย	0.034	0.023		
	สী	0.765	0.209	สกลนคร	กุศบาก	0.069	0.033	
	เวียงหนองล่อง	0.894	0.245		กุศมาสัย	0.123	0.038	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม		จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม	
		S_S	S_I			S_S	S_I
สงขลา	คำตากล้า	0.176	0.048	สงขลา	คลองทาด	0.043	0.031
	โคกศรีสุพรรณ	0.075	0.032		คลองทาด	0.040	0.029
	เจริญศิลป์	0.115	0.039		โคกสูง	0.036	0.026
	เต่างอย	0.065	0.031		ตาพรหม	0.055	0.025
	นิคมน้ำอุ่น	0.074	0.034		เมืองสงขลา	0.042	0.030
	บ้านม่วง	0.150	0.045		วังน้ำเย็น	0.042	0.030
	พรหมนิคม	0.087	0.035		วังสมบูรณ์	0.043	0.030
	พังโคน	0.088	0.036		วัฒนานคร	0.039	0.029
	โพนนาแก้ว	0.102	0.035		อัญญาประเทศ	0.037	0.027
	ภูพาน	0.061	0.031		สระบุรี	แก่งคอย	0.067
	เมืองสกลนคร	0.082	0.033	เฉลิมพระเกียรติ		0.078	0.050
	วานรนิวาส	0.119	0.040	คอนพลู		0.101	0.057
	วาริชภูมิ	0.082	0.035	บ้านหม้อ		0.087	0.053
	สว่างแดนดิน	0.094	0.037	นเรศวร		0.082	0.052
	สองแคว	0.093	0.037	มวกเหล็ก		0.057	0.041
	อากาศอำนวย	0.145	0.043	วังม่วง		0.057	0.042
	สตูล	กระแตเสี้ยว	0.069	0.074	วิหารแดง	0.071	0.053
คลองหอยโข่ง		0.077	0.082	เมืองสระบุรี	0.070	0.053	
ควนเนียง		0.073	0.078	เสาไห้	0.081	0.051	
อุบล		0.069	0.073	หนองแค	0.076	0.055	
เมทรา		0.066	0.068	หนองแซง	0.089	0.053	
นาทวี		0.072	0.075	หนองโดน	0.090	0.054	
นาหม่อม		0.072	0.076	สิงห์บุรี	ค่ายบางระจัน	0.121	0.063
บางกล่ำ		0.074	0.079		ทกช้าง	0.119	0.063
เมืองสงขลา		0.069	0.073		บางระจัน	0.127	0.065
ระโนด		0.068	0.072		พรมบุรี	0.109	0.059
รัตภูมิ		0.077	0.083		เมืองสิงห์บุรี	0.114	0.061
สิงหนคร		0.069	0.073	อินทร์บุรี	0.120	0.063	
สตง		0.069	0.073	สุโขทัย	กงไกรลาศ	0.431	0.109
สะเดา		0.079	0.084		คีรีมาศ	0.435	0.111
ตะปาย	0.069	0.071	ทุ่งเสลี่ยม		0.490	0.126	
หาดใหญ่	0.074	0.079	บ้านด่านลานหอย		0.451	0.120	
สตูล	ควนกาหลง	0.083	0.089		เมืองสุโขทัย	0.449	0.117
	ควนโดน	0.084	0.090		ศรีนคร	0.621	0.154
	ท่าแพ	0.088	0.094		ศรีสังขาลย์	0.526	0.131
	ทุ่งหว้า	0.088	0.094	ศรีสำโรง	0.464	0.118	
	มะนัง	0.084	0.091	สวรรคโลก	0.503	0.126	
	เมืองสตูล	0.087	0.093				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงลบกตริ้ม		จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงลบกตริ้ม		
		S_S	S_I			S_S	S_I	
สุพรรณบุรี	คอนเเจคีย์	0.349	0.114	หนองคาย	เมืองสุรินทร์	0.055	0.024	
	คำนช้าง	0.494	0.146		รัตนบุรี	0.036	0.024	
	เดิมบางนางบวช	0.188	0.080		ลำคอน	0.034	0.023	
	บางปลาร้า	0.204	0.083		ศีขรภูมิ	0.034	0.023	
	เมืองสุพรรณบุรี	0.258	0.096		ศรีณรงค์	0.033	0.023	
	ศรีประจันต์	0.186	0.079		สนม	0.036	0.024	
	สองพี่น้อง	0.246	0.093		สังขะ	0.053	0.022	
	สามชุก	0.200	0.082		สำโรงทาบ	0.034	0.023	
	หนองหญ้าไซ	0.311	0.106		หนองบัวลำภู	ท่าบ่อ	0.212	0.051
	อู่ทอง	0.346	0.115			เฝ้าไร่	0.191	0.050
สุราษฎร์ธานี	กาญจนดิษฐ์	0.138	0.076	โพนพิสัย		0.208	0.052	
	เกาะพะงัน	0.066	0.061	โพนพิสัย		0.218	0.052	
	เกาะลพบุรี	0.076	0.062	เมืองหนองคาย		0.196	0.048	
	คีรีรัฐนิคม	0.276	0.091	รัตนวาปี		0.211	0.053	
	เคียนซา	0.236	0.086	ศีขรภูมิ		0.197	0.050	
	ชัยบุรี	0.228	0.094	สระใคร		0.192	0.047	
	ไชยา	0.163	0.080	สังขะ		0.200	0.053	
	คอนสัก	0.109	0.069	เมืองหนองบัวลำภู		นากลาง	0.165	0.045
	ท่าฉาง	0.199	0.083		นาหว้า	0.178	0.047	
	ท่าขนุน	0.173	0.081		โนนสัง	0.083	0.035	
	บ้านตาขุน	0.310	0.095		เมืองหนองบัวลำภู	0.132	0.041	
	บ้านนาเคียน	0.207	0.083		ศรีบุญเรือง	0.102	0.037	
	บ้านนาสาร	0.195	0.083	สุวรรณคูหา	0.198	0.050		
	พนม	0.291	0.098	อำเภอง	ไชโย	0.116	0.062	
	พระแสง	0.264	0.095		ป่าโมก	0.121	0.062	
	พุนพิน	0.218	0.083		โพธิ์ทอง	0.146	0.070	
	เมืองสุราษฎร์ธานี	0.188	0.080		เมืองอำเภอง	0.120	0.062	
วิภาวดี	0.296	0.093	วิเศษชัยชาญ		0.135	0.066		
เวียงสระ	0.201	0.084	สามโก้	0.151	0.071			
สุรินทร์	กานเชิง	0.033	0.023	แสวงหา	0.130	0.065		
	เขวาสินรินทร์	0.035	0.024	อำนาจเจริญ	ชานุมาน	0.043	0.025	
	จอมพระ	0.036	0.024		ปทุมราชวงศา	0.038	0.024	
	ชุมพลบุรี	0.037	0.025		พนา	0.036	0.023	
	ท่าตูม	0.036	0.024		เมืองอำนาจเจริญ	0.038	0.024	
	โนนบารายณ์	0.035	0.024		ลืออำนาจ	0.037	0.023	
	บัวเชด	0.032	0.022		เสนางคนิคม	0.040	0.025	
	ปราสาท	0.034	0.024		หัวตะพาน	0.037	0.024	
	พนมดงรัก	0.034	0.023	อุตรธานี	คูแก้ว	0.095	0.036	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความแรงตอบสนองเชิงบวกถ้าม		จังหวัด	อำเภอ	ค่าความแรงตอบสนองเชิงบวกถ้าม	
		S_S	S_I			S_S	S_I
	กุดจับ	0.184	0.047		เขื่องโน	0.035	0.023
	กุมภวาปี	0.104	0.037		โขงเจียม	0.032	0.020
	โขยวาน	0.108	0.038		คอนมตแดง	0.034	0.022
	ทุ่งฝน	0.132	0.041		เดชอุดม	0.031	0.020
	นาเยีย	0.213	0.054		ตรขการพิซผล	0.035	0.022
	น้ำโสม	0.215	0.053		ตาลุม	0.033	0.021
	โนนสอาด	0.083	0.035		ทุ่งศรีอุดม	0.030	0.020
	บ้านคุง	0.181	0.048		นาจะหลวย	0.028	0.018
	บ้านมือ	0.208	0.051		นาตาล	0.037	0.023
	ประจักษ์ศิลปาคม	0.124	0.039		นาเยีย	0.031	0.020
	พิบูลย์รักษ์	0.180	0.047		น้ำขุ่น	0.029	0.019
	พิบูลย์	0.254	0.057		น้ำยืน	0.029	0.019
	เมืองอุตรธานี	0.176	0.045		บุญทรึก	0.029	0.019
	วังสามหมอ	0.066	0.032		พิบูลย์มังสาหาร	0.031	0.020
	ศรีธาตุ	0.074	0.033		โพธิ์โพ	0.036	0.023
	ลำธิงคอง	0.250	0.057		ม่วงสามสิบ	0.035	0.023
	หนองบัวขอ	0.124	0.040		เมืองอุบลราชธานี	0.033	0.021
	หนองแสง	0.108	0.038		วารินชำราบ	0.033	0.021
	หนองหาน	0.128	0.040		ศรีเมืองใหม่	0.034	0.021
อุตรดิตถ์	ตรอน	0.684	0.167	สว่างวีรวงศ์	0.032	0.021	
	ทองแสนขัน	0.570	0.134	สิรินธร	0.031	0.020	
	ท่าวาฬ	0.671	0.159	สำโรง	0.032	0.021	
	น้ำปาด	0.526	0.118	เหล่าเสือโก้ก	0.034	0.022	
	บ้านโคก	0.484	0.108				
	พิชัย	0.617	0.154				
	พากทำ	0.505	0.114				
	เมืองอุตรดิตถ์	0.579	0.139				
ลับแล	0.558	0.135					
อุทัยธานี	ทัพทัน	0.244	0.091				
	บ้านไร่	0.299	0.107				
	เมืองอุทัยธานี	0.165	0.074				
	ลานสัก	0.321	0.109				
	สว่างอารมณ์	0.202	0.081				
	หนองขาหย่าง	0.189	0.080				
	หนองขาหย่าง	0.281	0.100				
ห้วยคต	0.379	0.123					
อุบลราชธานี	กุดขำบัว	0.037	0.023				
	เขมราฐ	0.039	0.024				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.3

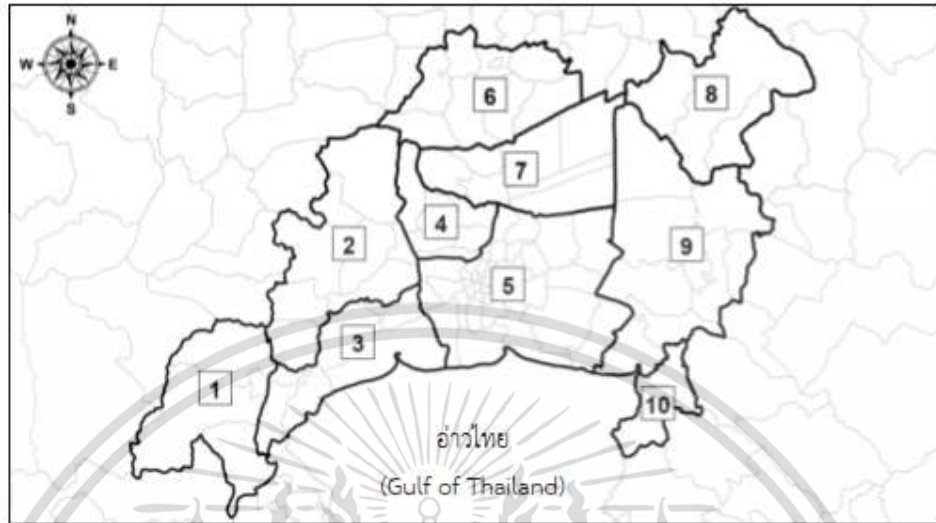
ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับพื้นที่แอ่งกรุงเทพ

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของ
แผ่นดินไหว มยพ.1301/1302-61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งโซนพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพฯ เพื่อการออกแบบอาคารด้านทานแผ่นดินไหว



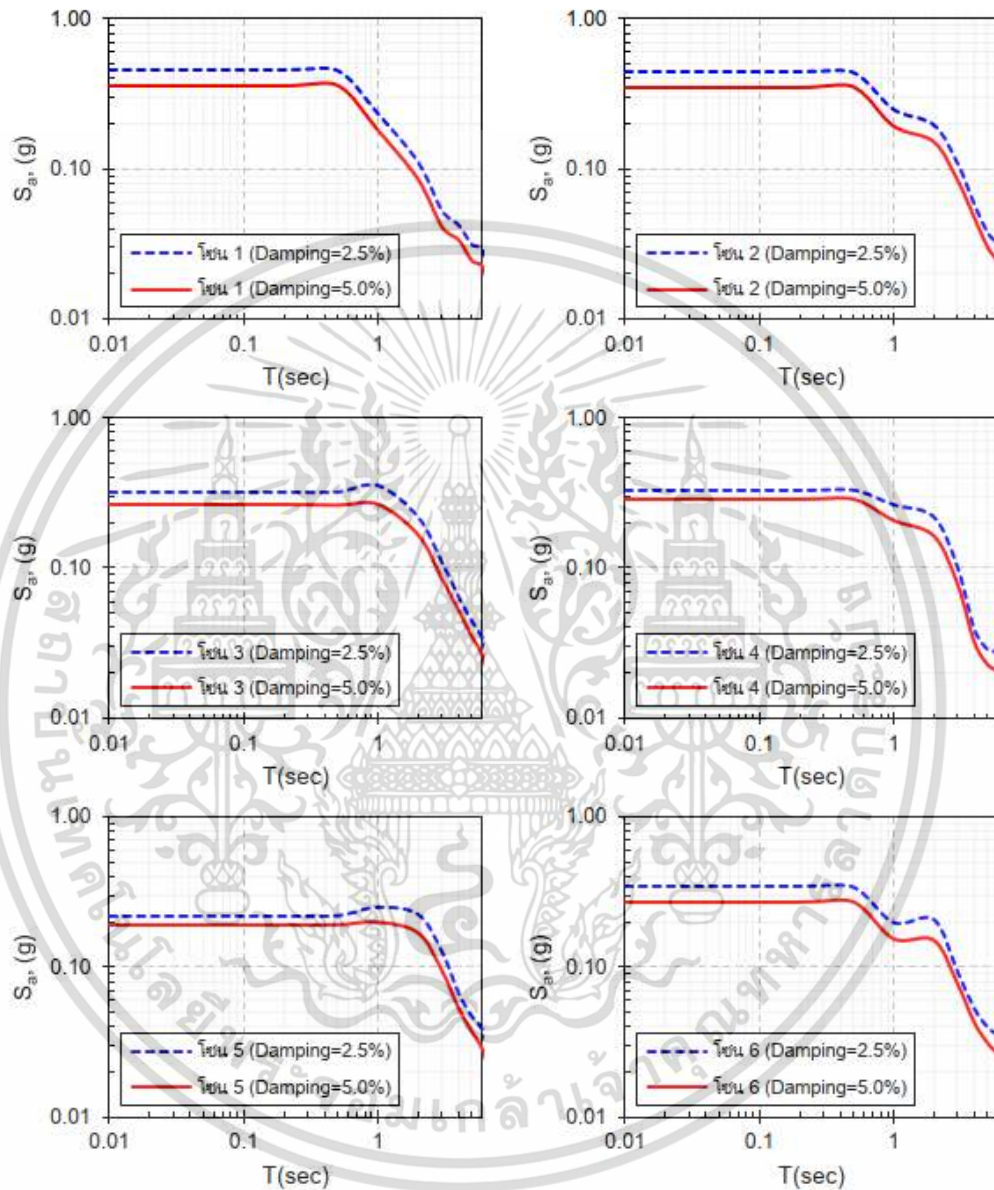
แผนที่แสดงการแบ่งโซนพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพฯ เพื่อการออกแบบ อาคารด้านทานแผ่นดินไหว

โซน 1 จังหวัดเพชรบุรี - อ.เขาย้อย จังหวัดราชบุรี - อ.ปากท่อ - อ.วัดเพลง - อ.เมืองราชบุรี	โซน 2 จังหวัดราชบุรี - อ.ดำเนินสะดวก - อ.บางแพะ จังหวัดนครปฐม - อ.สามพราน - อ.พุทธธะนุเสล - อ.นครชัยศรี - อ.ดอนตูม - อ.บางเลน - อ.เมืองนครปฐม	โซน 3 จังหวัดสมุทรสาคร (ทั้งจังหวัด) จังหวัดสมุทรสงคราม (ทั้งจังหวัด) โซน 4 จังหวัดนนทบุรี (ทั้งจังหวัด) โซน 5 จังหวัดกรุงเทพมหานคร (ทั้งจังหวัด) จังหวัดสมุทรปราการ (ทั้งจังหวัด)	โซน 6 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา - อ.ลาดบัวหลวง - อ.บางไทร - อ.บางปะอิน - อ.วังน้อย - อ.เสนา - อ.อุทัย - อ.ท่าเรือ - อ.บางบาล - อ.เมืองพระนครศรีอยุธยา โซน 7 จังหวัดปทุมธานี (ทั้งจังหวัด) โซน 8 จังหวัดนครนายก - อ.บ้านนา - อ.ปากพลี - อ.เมืองนครนายก	โซน 9 จังหวัดนครนายก - อ.องครักษ์ จังหวัดปราจีนบุรี - อ.บ้านสร้าง จังหวัดฉะเชิงเทรา - อ.บางน้ำเปรี้ยว - อ.บางคล้า - อ.ราชสาส์น - อ.คลองเขื่อน - อ.บ้านโพธิ์ - อ.บางปะกง - อ.เมืองฉะเชิงเทรา โซน 10 จังหวัดชลบุรี - อ.พานทอง - อ.เมืองชลบุรี
---	--	---	---	---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

สำหรับโซน 1-6 ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.3

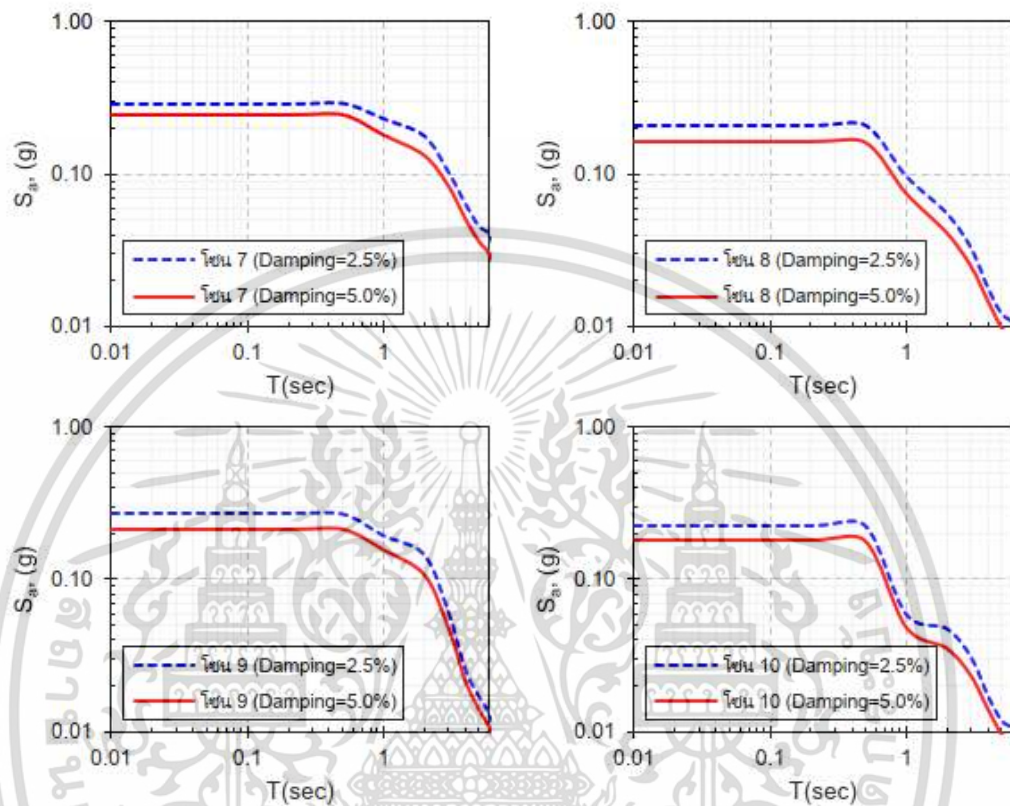
ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ

ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของ
แผ่นดินไหว มยผ.1301/1302-61

ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

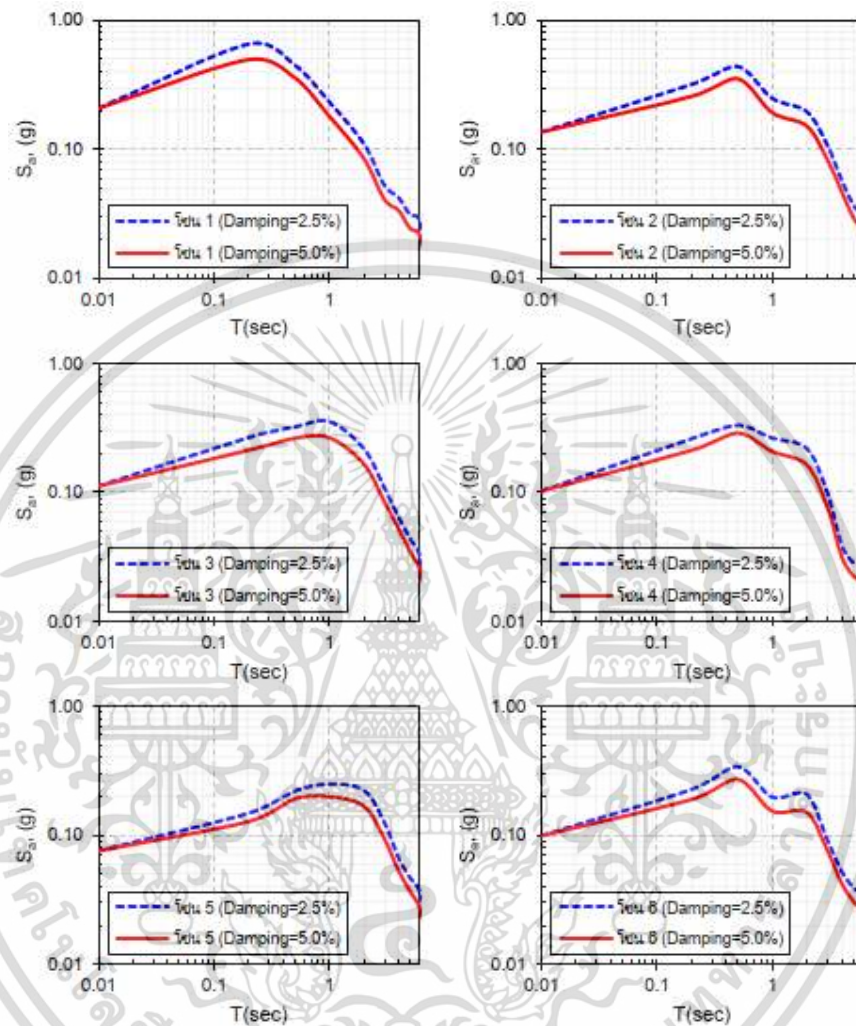
สำหรับโซน 7-10 ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์

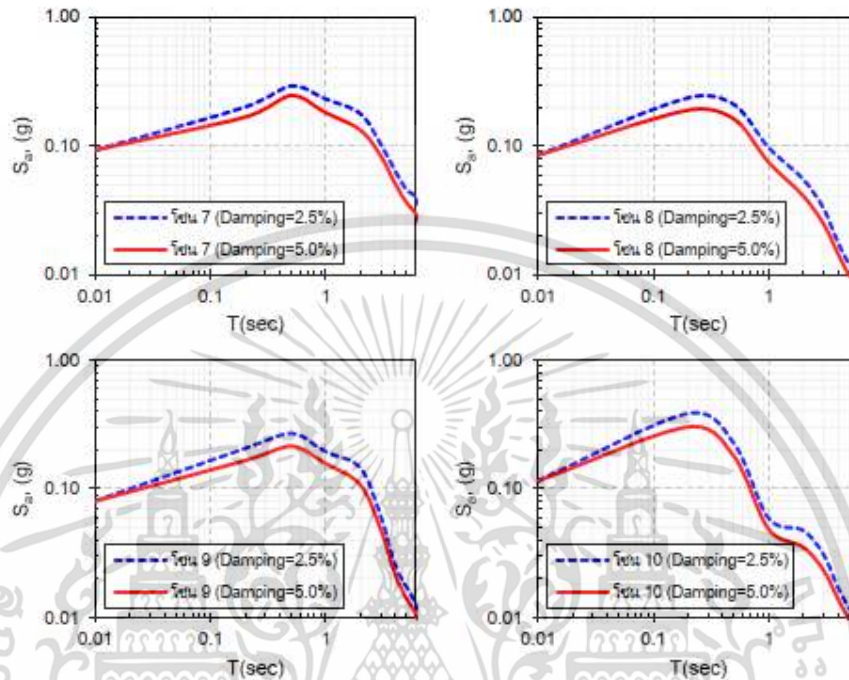
สำหรับโซน 1-6 ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์

สำหรับโซน 7-10 ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.3

ตารางความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ

ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของ
แผ่นดินไหว มยพ.1301/1302-61

ตารางที่ 1.4-4 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าสำหรับ
พื้นที่ในโซนต่าง ๆ (อัตราส่วนความหน่วง 2.5%) ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ

S_a โซน	S_a (0.01s)	S_{DS} (0.2 s)	S_a (0.5 s)	S_{D1} (1.0s)	S_a (2.0 s)	S_a (3.0 s)	S_a (4.0 s)	S_a (5.0 s)	S_a (6.0 s)
1	0.451	0.451	0.451	0.233	0.110	0.053	0.042	0.031	0.029
2	0.439	0.439	0.439	0.249	0.196	0.108	0.058	0.038	0.030
3	0.320	0.320	0.320	0.353	0.217	0.109	0.064	0.044	0.034
4	0.330	0.330	0.330	0.264	0.218	0.100	0.039	0.029	0.027
5	0.220	0.220	0.220	0.250	0.223	0.126	0.067	0.047	0.038
6	0.340	0.340	0.340	0.198	0.207	0.093	0.053	0.040	0.035
7	0.291	0.291	0.291	0.231	0.177	0.103	0.064	0.046	0.040
8	0.210	0.210	0.210	0.097	0.055	0.033	0.018	0.012	0.011
9	0.269	0.269	0.269	0.194	0.144	0.061	0.026	0.017	0.013
10	0.225	0.225	0.225	0.059	0.047	0.031	0.017	0.012	0.010

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าสำหรับ
พื้นที่ในโซนต่าง ๆ (อัตราส่วนความหน่วง 5.0%) ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ

S_a โซน	S_a (0.01s)	S_{DS} (0.2 s)	S_a (0.5 s)	S_{D1} (1.0s)	S_a (2.0 s)	S_a (3.0 s)	S_a (4.0 s)	S_a (5.0 s)	S_a (6.0 s)
1	0.360	0.360	0.360	0.181	0.085	0.041	0.034	0.024	0.022
2	0.352	0.352	0.352	0.193	0.151	0.084	0.047	0.030	0.024
3	0.262	0.262	0.262	0.265	0.166	0.085	0.052	0.035	0.026
4	0.287	0.287	0.287	0.207	0.163	0.078	0.032	0.023	0.020
5	0.191	0.191	0.191	0.199	0.168	0.094	0.053	0.037	0.028
6	0.272	0.272	0.272	0.154	0.150	0.077	0.042	0.031	0.026
7	0.246	0.246	0.246	0.181	0.132	0.084	0.051	0.036	0.030
8	0.162	0.162	0.162	0.075	0.041	0.025	0.015	0.010	0.008
9	0.214	0.214	0.214	0.156	0.107	0.048	0.022	0.014	0.011
10	0.179	0.179	0.179	0.049	0.035	0.023	0.014	0.010	0.008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.4-6 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีพลศาสตร์สำหรับพื้นที่ใน
โซนต่าง ๆ (อัตราส่วนความหน่วง 2.5%) ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ

โซน \ S_a	S_a (0.01s)	S_{DS} (0.2 s)	S_a (0.5 s)	S_{D1} (1.0s)	S_a (2.0 s)	S_a (3.0 s)	S_a (4.0 s)	S_a (5.0 s)	S_a (6.0 s)
1	0.208	0.654	0.451	0.233	0.110	0.053	0.042	0.031	0.029
2	0.136	0.318	0.439	0.249	0.196	0.108	0.058	0.038	0.030
3	0.111	0.266	0.320	0.353	0.217	0.109	0.064	0.044	0.034
4	0.102	0.260	0.330	0.264	0.218	0.100	0.039	0.029	0.027
5	0.075	0.148	0.220	0.250	0.223	0.126	0.067	0.047	0.038
6	0.099	0.226	0.340	0.198	0.207	0.093	0.053	0.040	0.035
7	0.093	0.200	0.291	0.231	0.177	0.103	0.064	0.046	0.040
8	0.085	0.236	0.210	0.097	0.055	0.033	0.018	0.012	0.011
9	0.080	0.205	0.269	0.194	0.144	0.061	0.026	0.017	0.013
10	0.115	0.383	0.225	0.059	0.047	0.031	0.017	0.012	0.010

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีพลศาสตร์สำหรับพื้นที่ใน
โซนต่าง ๆ (อัตราส่วนความหน่วง 5.0%) ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ

โซน \ S_a	S_a (0.01s)	S_{DS} (0.2 s)	S_a (0.5 s)	S_{D1} (1.0s)	S_a (2.0 s)	S_a (3.0 s)	S_a (4.0 s)	S_a (5.0 s)	S_a (6.0 s)
1	0.208	0.495	0.360	0.181	0.085	0.041	0.034	0.024	0.022
2	0.136	0.257	0.352	0.193	0.151	0.084	0.047	0.030	0.024
3	0.111	0.212	0.262	0.265	0.166	0.085	0.052	0.035	0.026
4	0.102	0.211	0.287	0.207	0.163	0.078	0.032	0.023	0.020
5	0.075	0.128	0.191	0.199	0.168	0.094	0.053	0.037	0.028
6	0.099	0.189	0.272	0.154	0.150	0.077	0.042	0.031	0.026
7	0.093	0.167	0.246	0.181	0.132	0.094	0.051	0.036	0.030
8	0.085	0.189	0.162	0.075	0.041	0.025	0.015	0.010	0.008
9	0.080	0.165	0.214	0.156	0.107	0.048	0.022	0.014	0.011
10	0.115	0.301	0.179	0.049	0.035	0.023	0.014	0.010	0.008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.4

ตารางจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร

และค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของ
แผ่นดินไหว มยพ.1301/1302-61

การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร และค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

ประเภทของอาคาร	ประเภท ความสำคัญ	ตัวประกอบ ความสำคัญ
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้น ๆ เช่น <ul style="list-style-type: none"> - อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร - อาคารชั่วคราว - อาคารเก็บของเล็ก ๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ 	I (น้อย)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภท ความสำคัญ น้อย มาก และสูง มาก	II (ปกติ)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และ สาธารณชนอย่างมาก เช่น <ul style="list-style-type: none"> - อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่ง ๆ มากกว่า 300 คน - โรงเรียนประถมหรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน - มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย ที่มีความจุมากกว่า 500 คน - สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ 	III (มาก)	1.25
อาคารและโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน หรือ อาคารที่ จำเป็นต่อการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุ เช่น <ul style="list-style-type: none"> - โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และโรงเก็บรถฉุกเฉินต่าง ๆ - โรงไฟฟ้า - โรงผลิตน้ำประปา ถังเก็บน้ำ และสถานีสูบน้ำที่มีความดันสูงสำหรับการดับเพลิง - อาคารศูนย์สื่อสาร - อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย - ทำอวกาศยาน ศูนย์บังคับการบิน และโรงเก็บเครื่องบิน ที่ต้องใช้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน - อาคารศูนย์บัญชาการแห่งชาติ <p>อาคารและโครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ การจัดเก็บ หรือการใช้สารพิษ เชื้อเพลิง หรือสารเคมีอันอาจก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นได้</p>	IV (สูงมาก)	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.5

การเสริมเหล็กของเสาและคานของโครงสร้างที่มีความเหนียวปานกลาง

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของ
แผ่นดินไหว มยพ.1301/1302-61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.7 รายละเอียดการเสริมเหล็กโครงสร้างแรงดึงที่มีความเหนียวปานกลางสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

5.2.7.1 คานและเสา คานหมายถึง องค์อาคารของโครงสร้างแรงดึงที่มีแรงตามแนวแกนปรับค่า (Factored Axial Load) ไม่มากกว่า $0.10A_g f_c'$ และเสาหมายถึงองค์อาคารของโครงสร้างแรงดึงที่มีแรงตามแนวแกนปรับค่ามากกว่าค่าดังกล่าว

5.2.7.2 กำลังด้านแรงเฉือน กำลังด้านแรงเฉือนที่ใช้ออกแบบ คาน เสา และแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน สำหรับด้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวจะต้องไม่น้อยกว่าค่าแรงเฉือนในข้อ 5.2.7.2.1 หรือข้อ 5.2.7.2.2 ข้อใดข้อหนึ่ง

5.2.7.2.1 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อแรงดัดที่ปลายขององค์อาคารทั้งสองถึงค่าโมเมนต์กำลังระบุร่วมกับแรงเฉือนจากน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (ถ้ามี) (รูปที่ 5.2-2)

5.2.7.2.2 แรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากการรวมน้ำหนักบรรทุกออกแบบ (Design Load Combinations) ที่พิจารณาแรงแผ่นดินไหวเป็น 2 เท่าของแรงที่กำหนดในกฎหมายควบคุมอาคารว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

5.2.7.3 การเสริมเหล็กในคาน ข้อกำหนดการเสริมเหล็กในคานของโครงสร้างแรงดึงมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 5.2-3)

5.2.7.3.1 กำลังด้านโมเมนต์บวกที่ขอบของข้อต่อจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของกำลังด้านโมเมนต์ลบที่ขอบของข้อต่อเดียวกัน นอกจากนี้กำลังด้านโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบที่หน้าตัดใด ๆ ตลอดความยาวคานจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในห้าของกำลังด้านโมเมนต์สูงสุดที่ขอบของข้อต่อที่ปลายทั้งสองของคาน

5.2.7.3.2 ภายในบริเวณปลายคานที่ห่างจากขอบของจุดรองรับเป็นระยะ 2 เท่าของความลึกคานจะต้องเสริมเหล็กปลอกที่มีระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่มากกว่าค่าที่น้อยที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

- (1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิผล
- (2) 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กที่สุด
- (3) 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก
- (4) 300 มิลลิเมตร

และเหล็กปลอกแรกจะอยู่ห่างจากขอบของจุดรองรับเป็นระยะไม่มากกว่า 50 มิลลิเมตร

5.2.7.3.3 ระยะเรียงของเหล็กปลอกในบริเวณอื่นที่นอกเหนือจากข้อ 5.2.7.3.2 จะต้องไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิผล

5.2.7.3.4 ควรหลีกเลี่ยงการทาบเหล็กเสริมตามยาวทั้งบนและล่างภายในระยะ 2 เท่าของความลึกคาน เมื่อวัดจากขอบของจุดรองรับ

5.2.7.4 การเสริมเหล็กในเสา ข้อกำหนดการเสริมเหล็กในเสาของโครงสร้างดัดมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 5.2-4)

5.2.7.4.1 ในกรณีเหล็กปลอกเดี่ยว จะต้องเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวที่มีระยะไม่มากกว่าระยะ s_0 ตลอดความยาว l_0 ที่วัดจากขอบของข้อต่อเสา โดยที่ระยะ s_0 จะต้องไม่มากกว่าค่าที่น้อยที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

- (1) 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กที่สุด
- (2) 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก
- (3) ครึ่งหนึ่งของมิติที่เล็กที่สุดของหน้าตัดเสา
- (4) 300 มิลลิเมตร

และเหล็กปลอกแรกจะต้องอยู่ห่างจากขอบของข้อต่อเป็นระยะไม่มากกว่า $0.5s_0$

5.2.7.4.2 สำหรับความยาว l_0 ในข้อ 5.2.7.4.1 จะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

- (1) 1 ใน 6 ของความสูงจากขอบถึงขอบของเสา
- (2) มิติที่มากที่สุดของหน้าตัดเสา
- (3) 500 มิลลิเมตร

5.2.7.4.3 ในกรณีเหล็กปลอกเกลียว การเสริมเหล็กให้เป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับการเสริมเหล็กองค์อาคารรับแรงอัดในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

5.2.7.4.4 ข้อต่อระหว่างเสาและคานหรือระหว่างเสาและแผ่นพื้นในกรณีแผ่นพื้นไร้คาน จะต้องมีการเสริมเหล็กปลอกเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า

$$A_v = \frac{1}{3} \frac{c_1 s}{f_y} \quad (5.2-6)$$

(หรือไม่น้อยกว่า $A_v = 3.5 \frac{c_1 s}{f_y}$ สำหรับหน่วยเมตริก)

โดยที่เหล็กเสริมนี้จะต้องเสริมภายในเสาเป็นความลึกไม่น้อยกว่าความลึกของคานที่ลึกที่สุดที่ข้อต่อนั้น

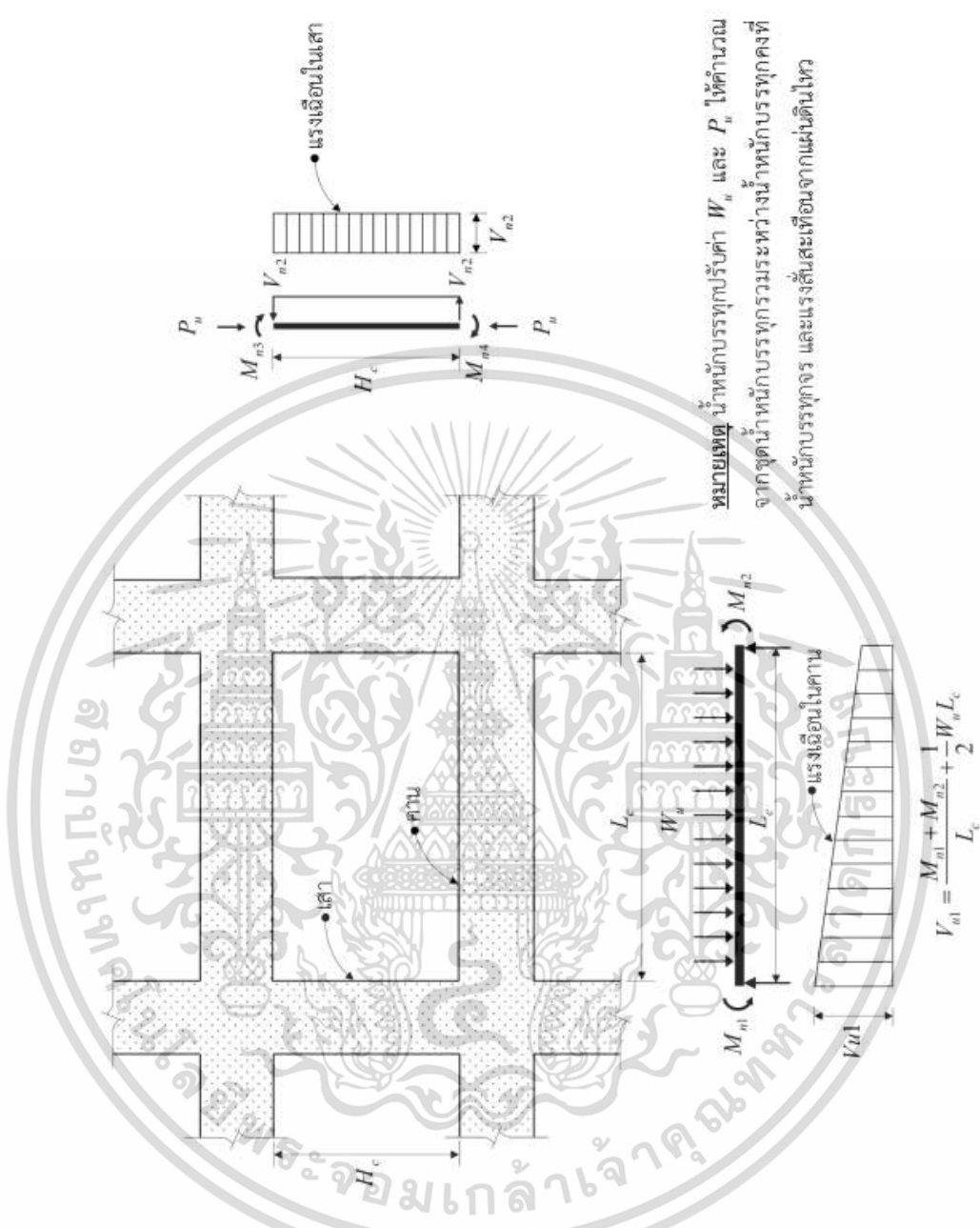
ข้อยกเว้น ข้อต่อระหว่างเสาและคานหรือระหว่างเสาและแผ่นพื้นไร้คาน ที่ไม่ได้เป็นส่วนหลักของระบบ รับแรงด้านแรงล้นสะเทือนจากแผ่นดินไหว และมีการยึดโคนเสาทั้ง 4 ด้านด้วยคานหรือแผ่นพื้นที่มีความลึกเท่ากันโดยประมาณ

5.2.7.4.5 ระยะเรียงของเหล็กปลอกเดี่ยวในส่วนที่นอกเหนือจากข้อ 5.2.7.4.1 จะต้องไม่มากกว่า 2 เท่าของระยะ s_n

5.2.7.4.6 พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามยาวของเสาจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 และไม่ควรมากกว่าร้อยละ 6 ของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

5.2.7.4.7 การต่อเหล็กเสริมในเสาควรต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา โดยวิธีการต่อเหล็กให้เป็นไปตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

5.2.7.4.8 รอยต่อของเหล็กเสริมแต่ละเส้นที่อยู่ข้างเคียง ต้องไม่อยู่ในแนวเดียวกัน และควรเหลื่อมกันประมาณ 1.00 เมตร หากไม่จำเป็นไม่ควรต่อเหล็กเสริม

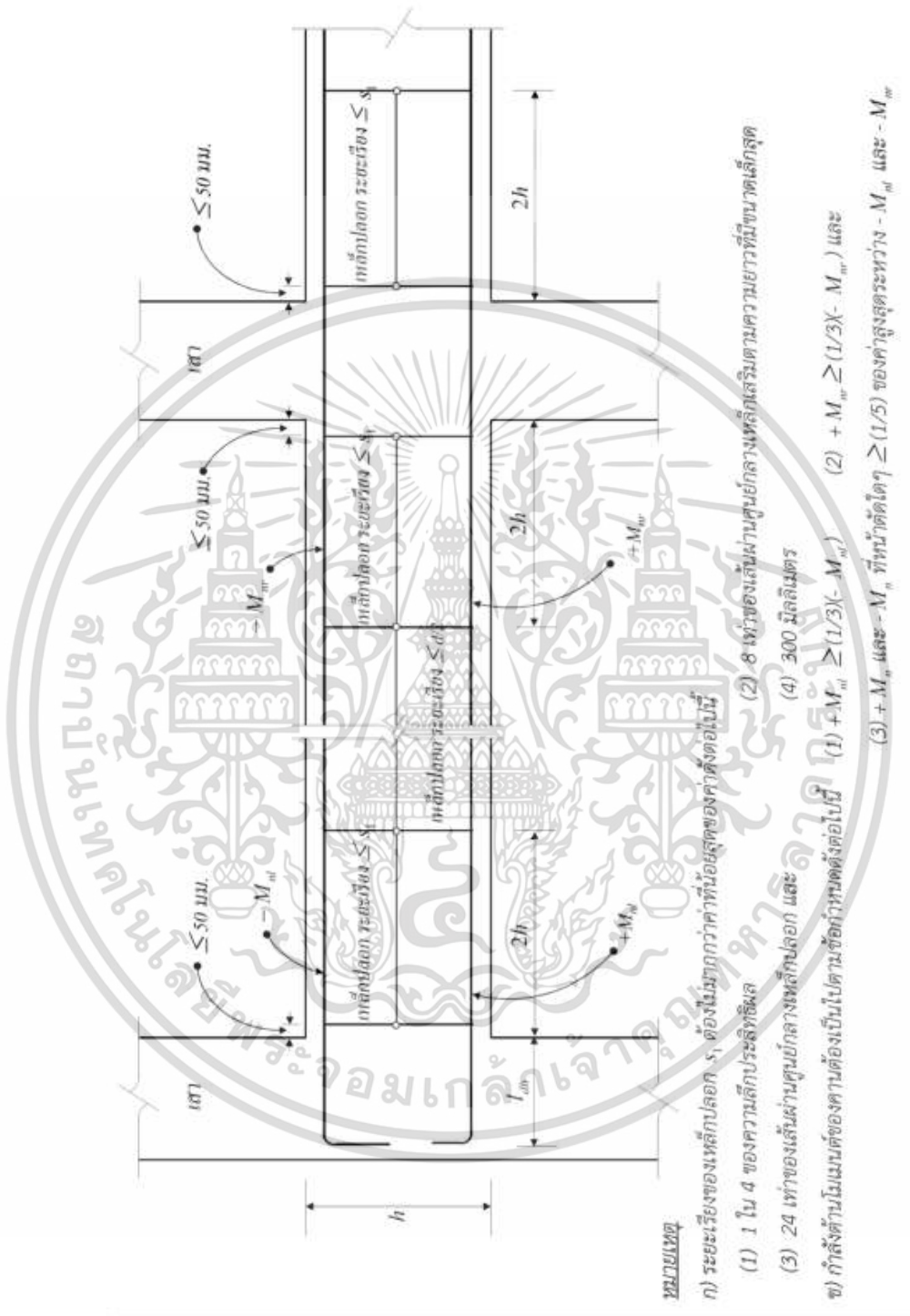


หมายเหตุ นำหนักบรรทุกปรับค่า W_u และ P_u ใต้คำนวณ จากชุดน้ำหนักบรรทุกรวมระหว่างน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

$$V_{u1} = \frac{M_{u1} + M_{u2}}{L_c} + \frac{1}{2} W_u L_c$$

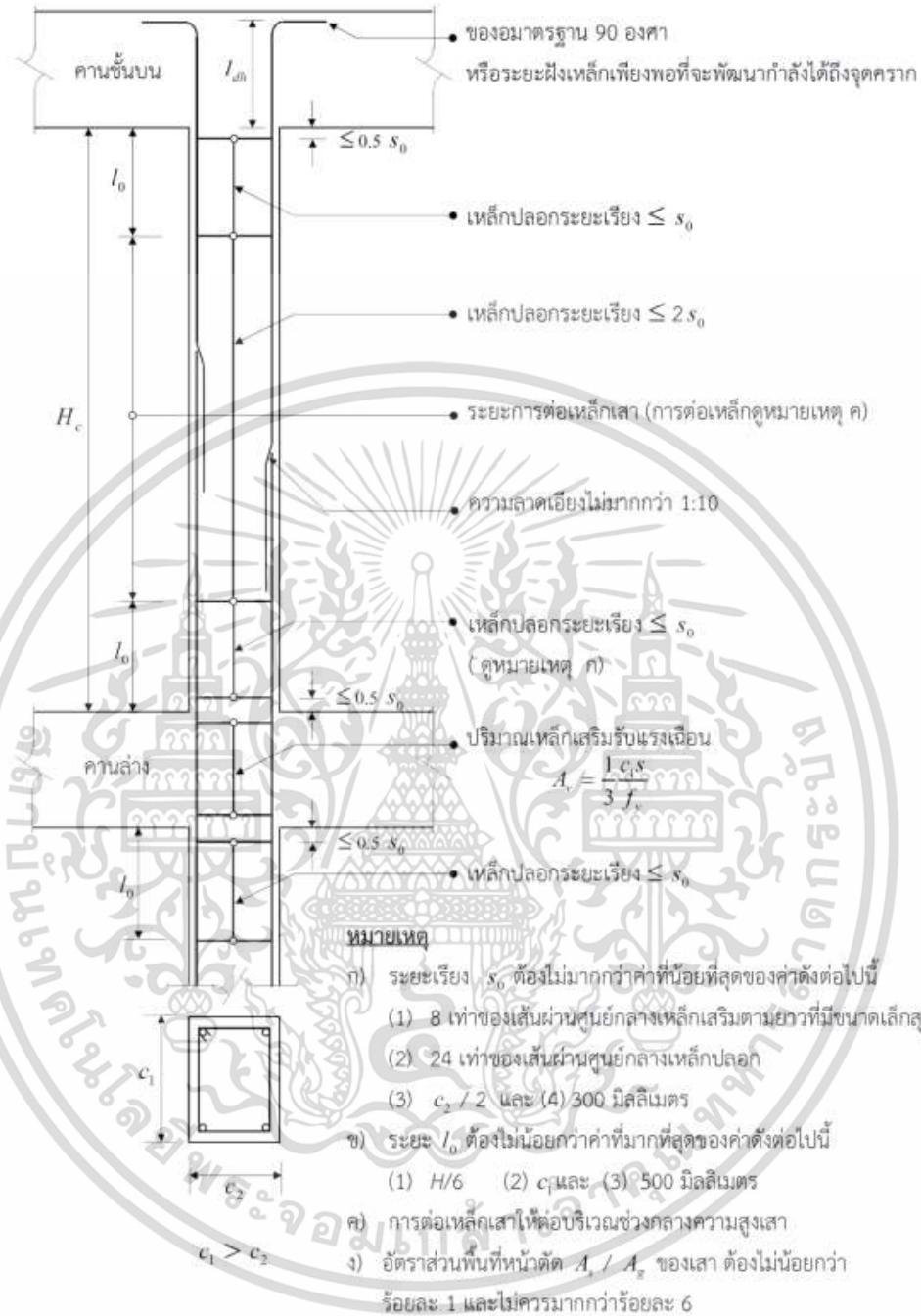
รูปที่ 5.2-2 ตัวอย่างการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนตามข้อ 5.2.7.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2-3 รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2-4 รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสา (ใช้ในกรณีไม่มีผนังอิฐก่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.7.5 การออกแบบข้อต่อระหว่างคานและเสา

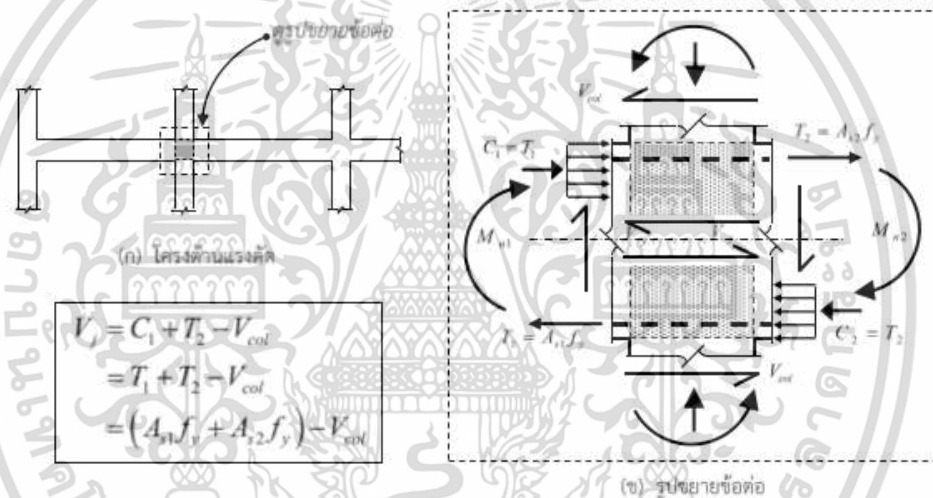
ข้อต่อระหว่างคานและเสาต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อให้แรงภายในข้อต่อมีค่าเกินกว่ากำลังของข้อต่อ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.2.7.5.1 แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ (V_j) จะต้องไม่มากกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนออกแบบ (ϕV_n) หรือ

$$V_j \leq \phi V_n \quad (5.2-7)$$

โดยที่ตัวคูณลดกำลังของข้อต่อ (ϕ) ให้ใช้เท่ากับ 0.85

5.2.7.5.2 แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อเป็นแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อหน้าตัดคานที่ปลายคานทั้งสองด้านของข้อต่อมีกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดระบุในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 5.2-5



รูปที่ 5.2-5 การคำนวณแรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ

5.2.7.5.3 กำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n) ของข้อต่อมีค่าดังต่อไปนี้

(1) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคานทั้ง 4 ด้าน [(รูปที่ 5.2-6 (ก))]

$$V_n = 1.7 \sqrt{f'_c} A_j \quad (5.2-8)$$

(หรือ $V_n = 5.4 \sqrt{f'_c} A_j$ ในหน่วยเมตริก)

- (2) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคาน 3 ด้าน หรือคาน 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน
[รูปที่ 5.2-6 (ข)]

$$V_n = 1.25\sqrt{f'_c}A_j \quad (5.2-9)$$

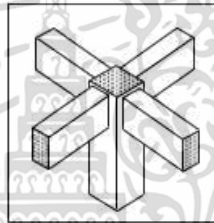
(หรือ $V_n = 4.0\sqrt{f'_c}A_j$ ในหน่วยเมตริก)

- (3) ข้อต่ออื่น ๆ [รูปที่ 5.2-6 (ค)]

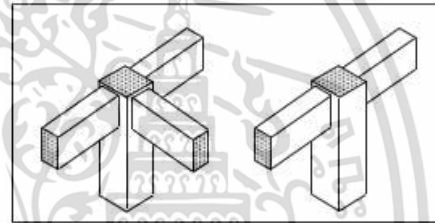
$$V_n = 1.0\sqrt{f'_c}A_j \quad (5.2-10)$$

(หรือ $V_n = 3.2\sqrt{f'_c}A_j$ ในหน่วยเมตริก)

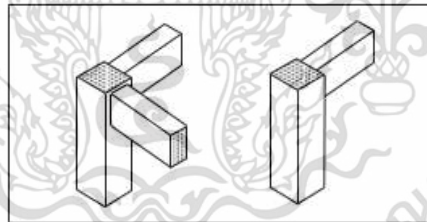
โดยที่ A_j เป็นพื้นที่ด้านแรงเฉือนในแนวอนประสิทธิผลของข้อต่อ ดังแสดงในรูปที่ 5.2-7 และจะถือว่าข้อต่อได้รับการยึดรัดจากคานก็ต่อเมื่อคานที่เข้ามายึดรัดนั้นมีความกว้างไม่น้อยกว่าสามในสี่ของความกว้างเสาด้านที่คานเข้ามาบรรจบ และมีความลึกไม่น้อยกว่าสามในสี่ของความลึกคานตัวที่ลึกที่สุดที่เข้ามาบรรจบกันที่ข้อต่อ



(ก) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคานทั้ง 4 ด้าน



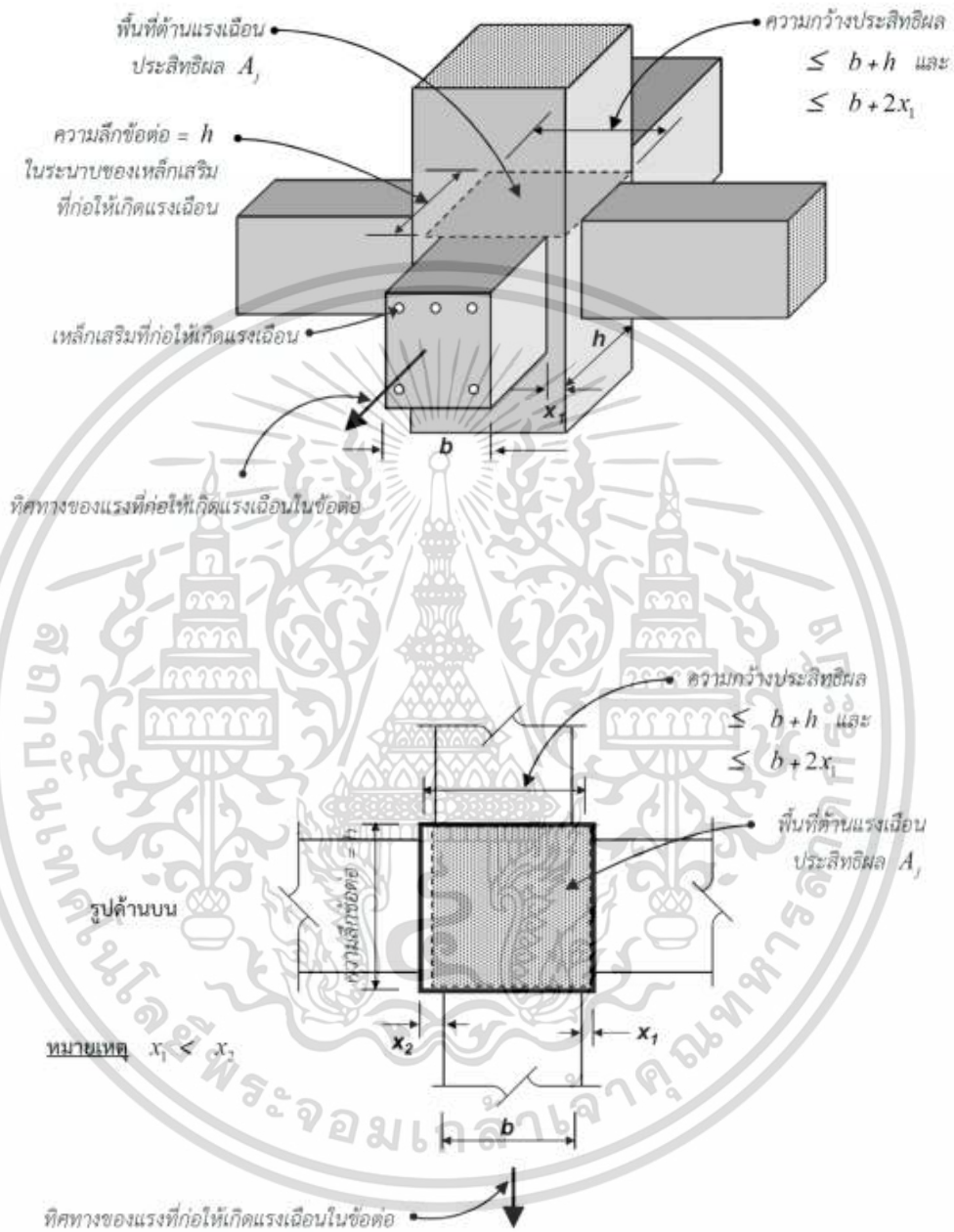
(ข) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคาน 3 ด้าน
หรือคาน 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน



(ค) ข้อต่ออื่น ๆ

รูปที่ 5.2-6 ข้อต่อประเภทต่าง ๆ สำหรับการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

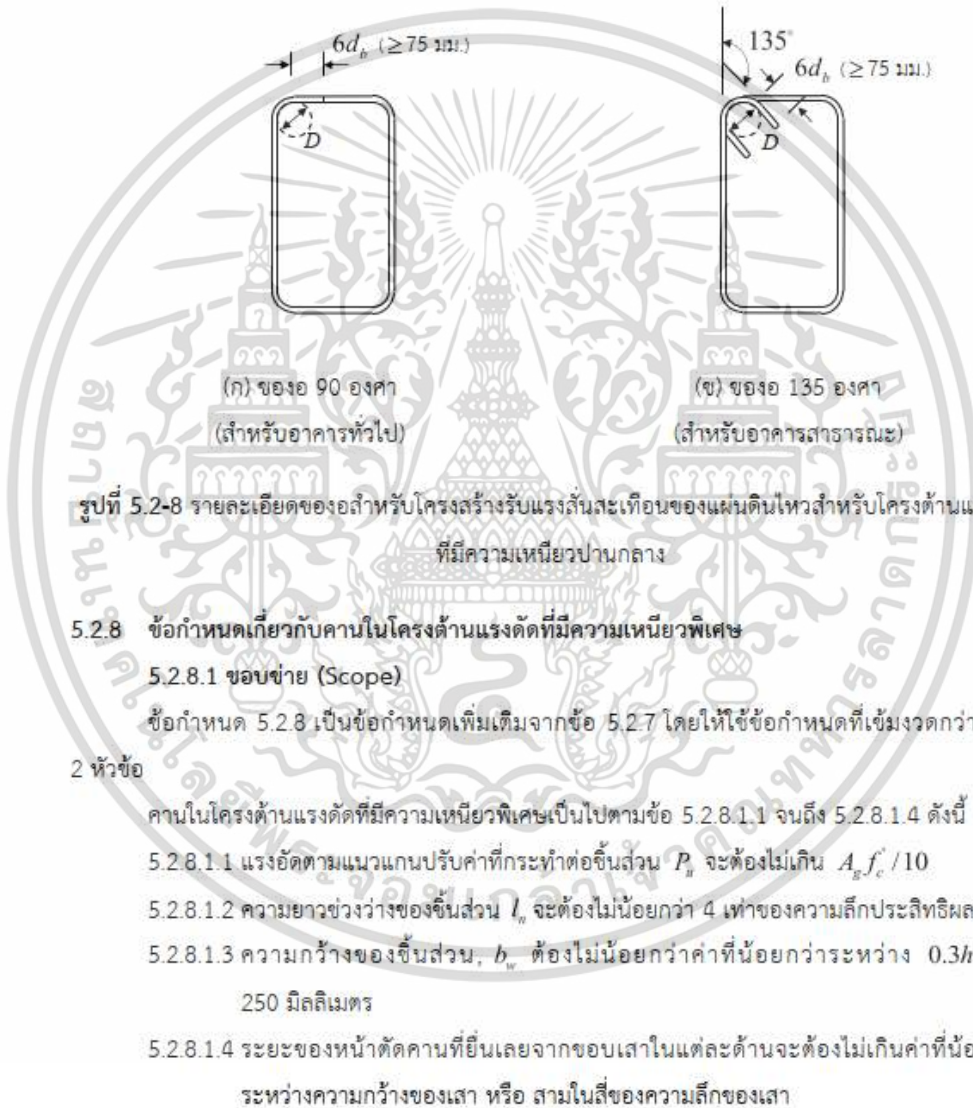


รูปที่ 5.2-7 พื้นที่ต้านแรงเฉือนประสิทธิภาพของข้อต่อระหว่างคานและเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.7.6 ของอสำหรับโครงสร้างรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ของอของเหล็กปลอกถูกตั้ง (Stirrup) และเหล็กปลอกรัดรอบ (Hoop) โดยทั่วไปอาจตัดเป็นมุม 90 องศา และมีส่วนปลายยื่นต่อไปอีกไม่น้อยกว่า 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก (รูปที่ 5.2-8) สำหรับอาคารสาธารณะ เช่น โรงมหรสพ หอประชุม โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา เป็นต้น หรืออาคารที่ออกแบบให้มีความเหนียว ของอดังกล่าวควรมีการตัดเป็นมุม 135 องศา หรือในกรณีที่ทำเป็นของอ 90 องศา ควรยึดด้วยคลิปของอ (Hook-Clip) เพื่อรัดขาของอ 90 องศา ในบริเวณใกล้ข้อต่อ (ระยะ $2h$ ในรูปที่ 5.2-3 หรือ l_0 ในรูปที่ 5.2-4)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.8.2 เหล็กเสริมตามยาว

5.2.8.2.1 ที่หน้าตัดใด ๆ ของคาน ต้องเสริมเหล็กตามแนวยาวทั้งเหล็กบนและเหล็กล่างตามหลักเกณฑ์ของการเสริมเหล็กรับแรงดัดตามมาตรฐานที่เป็นยอมรับ โดยที่ปริมาณเหล็กเสริมจะต้องไม่น้อยกว่า $1.4b_w d / f_y$ (หรือ $14b_w d / f_y$ ในหน่วยเมตริก) ยกเว้นว่าได้เสริมเหล็กไว้เกิน $1/3$ ของปริมาณที่ได้จากการคำนวณ และอัตราส่วนเหล็กเสริม, ρ จะต้องไม่เกิน 0.025 และจะต้องมีเหล็กตามแนวยาวอย่างน้อย 2 เส้นวางต่อเนื่องทั้งด้านบนและด้านล่างของหน้าตัด

5.2.8.2.2 กำลังต้านโมเมนต์บวกที่หน้าข้อต่อต้องไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของกำลังต้านโมเมนต์ลบที่หน้าข้อต่อนั้น และกำลังต้านโมเมนต์บวกและลบที่หน้าตัดใด ๆ ตลอดความยาวชิ้นส่วน ต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในสี่ของกำลังต้านโมเมนต์สูงสุดที่หน้าข้อต่อ

5.2.8.2.3 การทาบเหล็กเสริมรับแรงดัด จะยอมให้ทำได้เฉพาะในกรณีที่มีเหล็กปลอกรัดรอบหรือเหล็กปลอกเกลียวตลอดการทาบเหล็กนั้น ระยะเรียงของเหล็กปลอกดังกล่าว ต้องไม่เกินค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิภาพ และ 100 มิลลิเมตร การทาบเหล็กจะไม่ยอมให้ใช้ในบริเวณ

- (1) ภายในข้อต่อ
- (2) ภายในระยะสองเท่าของความลึกของชิ้นส่วนวัดจากหน้าข้อต่อและ
- (3) ในบริเวณที่ผลการวิเคราะห์ชี้ว่าเกิดการครากของหน้าตัดเนื่องจากการเคลื่อนที่ด้านข้างแบบไม่ยืดหยุ่นของโครง

5.2.8.3 เหล็กเสริมทางขวาง

5.2.8.3.1 เหล็กปลอกรัดรอบ (Hoop) จะต้องเสริมในบริเวณต่อไปนี้ของคาน

- (1) ตลอดระยะเท่ากับสองเท่าของความลึกคานวัดจากผิวของฐานรองไปศูนย์กลางช่วงคานที่ปลายคานทั้งสองด้าน
- (2) ตลอดความยาวเท่ากับสองเท่าของความลึกคาน วัดออกไปทั้งสองด้านของหน้าตัดที่คาดว่าจะเกิดครากเมื่อโครงสร้างเกิดการเคลื่อนที่ด้านข้างแบบไม่ยืดหยุ่น

5.2.8.3.2 เหล็กปลอกรัดรอบตำแหน่งแรกต้องอยู่ไม่เกิน 50 มิลลิเมตร จากขอบของฐานรอง ระยะเรียงของเหล็กปลอกรัดรอบต้องไม่เกินค่าที่น้อยที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

- (1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิภาพ
- (2) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่เล็กที่สุด
- (3) 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอกรัดรอบ
- (4) 300 มิลลิเมตร

5.2.8.3.3 ในบริเวณที่มีการใส่เหล็กปลอกรัตรอบ เหล็กเสริมตามยาวที่อยู่บริเวณโดยรอบของเหล็กปลอกรัตรอบนั้น ต้องได้รับการรองรับทางข้างตามมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เป็นที่ยอมรับ

5.2.8.3.4 ในบริเวณที่ไม่ต้องการเหล็กปลอกรัตรอบ ให้ใส่เหล็กกุกตั้งที่ทำของด้านแผ่นดินไหวที่ปลายทั้งสองด้านด้วยระยะเรียงที่ไม่เกินครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิผลของคาน

5.2.8.3.5 เหล็กกุกตั้งหรือเหล็กปลอก (Stirrups or Ties) ที่ใช้ในการต้านแรงเฉือนจะต้องเป็นเหล็กรัตรอบตลอดความยาวของชิ้นส่วน ในข้อ 5.2.8.3, 5.2.9.4 และ 5.2.10.2

5.2.8.3.6 เหล็กปลอกรัตรอบ (Hoop) ในคาน อนุญาตให้ทำจากเหล็กกุกตั้งที่มีของด้านแผ่นดินไหวที่ปลายทั้งสองและปิดด้วยเหล็กยึดขวาง (Cross Tie) เหล็กยึดขวางที่วางต่อเนื่องกันจะต้องทำของ 90 องศาที่ปลายด้านตรงกันข้ามของคาน ในกรณีที่เหล็กเสริมนอนที่ยึดด้วยเหล็กปลอกขวางได้รับการยึดรั้งจากแผ่นพื้นเพียงด้านเดียวของคานนั้น ของ 90 องศาของปลอกขวางจะต้องวางอยู่ที่ด้านนั้น

5.2.8.4 ข้อกำหนดกำลังต้านแรงเฉือน

5.2.8.4.1 แรงเฉือนที่ใช้ในการออกแบบ

แรงเฉือนที่ใช้ในการออกแบบ V_u ให้คำนวณจากแรงที่กระทำบนส่วนของคานที่อยู่ระหว่างผิวหน้าของรอยต่อ โดยให้สมมติว่าที่หน้ารอยต่อทั้งสองมีโมเมนต์ที่มีค่าเท่ากับ กำลังต้านโมเมนต์ตัดที่เป็นไปได้ (M_{pr}) กระทำในทิศตรงกันข้าม และชิ้นส่วนคานนั้นถูกกระทำโดยแรงแนวตั้งที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยกระทำร่วมด้วย (ดังรูป 5.2-2, ให้แทน M_u ด้วย M_{pr})

ค่ากำลังต้านโมเมนต์ตัดที่เป็นไปได้ (M_{pr}) ให้คำนวณจากค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมเท่ากับ $1.25 f_y$

5.2.8.4.2 เหล็กเสริมตามขวาง

เหล็กเสริมตามขวางตลอดความยาวที่ระบุในหัวข้อ 5.2.8.3.1 จะต้องออกแบบให้ต้านแรงเฉือนโดยให้สมมติว่า $V_c = 0$ เมื่อ

(1) แรงเฉือนส่วนที่เกิดจากแผ่นดินไหวซึ่งคำนวณตามข้อ 5.2.8.4.1 มีค่าเกินกว่า หรือ เท่ากับกำลังต้านแรงเฉือนสูงสุดที่ต้องการภายในช่วงความยาวของชิ้นส่วน และ

(2) แรงอัดตามแกนเพิ่มค่า, P_u ซึ่งรวมผลจากแผ่นดินไหวมีค่าน้อยกว่า $A_g f'_c / 20$

ภาคผนวก ก.6

การเสริมเหล็กของเสาและคานของโครงสร้างที่มีความเหนียวพิเศษ

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของ
แผ่นดินไหว มยพ.1301/1302-61

5.2.9 ข้อกำหนดเกี่ยวกับเสาในโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ

5.2.9.1 ขอบเขต (Scope)

ข้อกำหนด 5.2.9 เป็นข้อกำหนดเพิ่มเติมจากข้อ 5.2.7 โดยให้ใช้ข้อกำหนดที่เข้มงวดกว่าในทั้ง 2 หัวข้อ

ข้อกำหนดนี้ใช้กับเสาในโครงต้านแรงดัดที่ (1) ด้านแรงแผ่นดินไหว (2) มีค่าแรงตามแนวแกนปรับค่าเกิน $A_g f_c' / 10$ ซึ่งขนาดและสัดส่วนของหน้าตัดเสาจะต้องเป็นไปตามข้อ (ก) และ (ข) ดังนี้

- (ก) มิติของหน้าตัดเสาที่สั้นที่สุด ซึ่งวัดจากเส้นตรงที่ลากผ่านจุดศูนย์กลางของหน้าตัด ต้องไม่ต่ำกว่า 300 มิลลิเมตร
- (ข) อัตราส่วนของมิติที่สั้นที่สุดของเสาต่อมิติที่ตั้งฉากกัน ต้องไม่น้อยกว่า 0.4

5.2.9.2 กำลังต้านโมเมนต์ดัดขั้นต่ำของเสา

5.2.9.2.1 กำลังต้านโมเมนต์ดัดของเสาต้องเป็นไปตามข้อ 5.2.9.2.2 หรือ 5.2.9.2.3 สำหรับเสาที่ไม่เป็นไปตาม 5.2.9.2.2 ไม่ต้องนำมาพิจารณาในการคำนวณกำลังและสติฟเนสเพื่อการต้านแรงด้านข้างของโครงสร้าง แต่ให้ถือว่าเป็นชิ้นส่วนของโครงสร้างที่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบต้านแรงแผ่นดินไหว

5.2.9.2.2 กำลังต้านโมเมนต์ดัดระบุของเสา ต้องเป็นไปตามสมการ 5.2-11

$$\sum M_{nc} \geq (6/5) \sum M_{nb} \quad (5.2-11)$$

โดยที่ $\sum M_{nc}$ คือ ผลรวมของกำลังต้านโมเมนต์ดัดระบุของเสา ณ จุดต่อนั้น โดยให้คำนวณที่ขอบของจุดต่อ การคำนวณกำลังต้านโมเมนต์ดัดระบุของเสานั้น ให้คำนึงถึงค่าแรงอัดตามแนวแกนที่กระทำต่อเสาในลักษณะที่ทำให้มีค่ากำลังต้านโมเมนต์ดัดต่ำที่สุด

$\sum M_{nb}$ คือ ผลรวมของกำลังต้านโมเมนต์ดัดของคาน ณ จุดต่อนั้น คำนวณที่ขอบของจุดต่อ ในกรณีที่คานมีหน้าตัดตัวที่ ซึ่งพื้นที่เป็นปีกคานทำหน้าที่รับแรงดัด ให้พิจารณาเหล็กเสริมในช่วงความกว้างประสิทธิผลของพื้นที่ในการคำนวณกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดของคานด้วย

การรวมค่าโมเมนต์ดัดระบุข้างต้นให้มีสมมุติฐานว่า โมเมนต์ในเสากระทำในทิศตรงข้ามกับโมเมนต์ในคาน

5.2.9.2.3 หากไม่สามารถเป็นไปตาม 5.2.9.2.2 แล้ว ให้เสริมเหล็กปลอกในเสาที่รองรับข้อต่อดังกล่าว ด้วยเหล็กเสริมตามขวางตามข้อ 5.2.9.4.1 จนถึง 5.2.9.4.3 ตลอดความสูงเสา

5.2.9.3 เหล็กเสริมตามยาว

5.2.9.3.1 พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามยาว A_s ต้องไม่ต่ำกว่า $0.01A_g$ แต่ไม่มากกว่า $0.06A_g$

5.2.9.3.2 การต่อเหล็กด้วยวิธีทางกลและการเชื่อมให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด การต่อทาบเหล็กให้กระทำเฉพาะในบริเวณช่วงกลางของเสา โดยให้พิจารณาเป็นการทาบชนิดรับแรงดึง และใส่เหล็กเสริมตามขวางตาม 5.2.9.4.2 ถึง 5.2.9.4.3

5.2.9.4 เหล็กเสริมตามขวาง (Transverse Reinforcement)

5.2.9.4.1 ให้ใส่เหล็กเสริมตามขวางในเสาตามข้อ (1)– (5) ยกเว้นหากมีความต้องการเหล็กเสริมตามขวางที่มากกว่าตาม 5.2.9.5

(1) อัตราส่วนเชิงปริมาตรของเหล็กปลอกเกลียว ρ_s ต้องไม่น้อยกว่าค่าในสมการ 5.2-12 และ 5.2-13

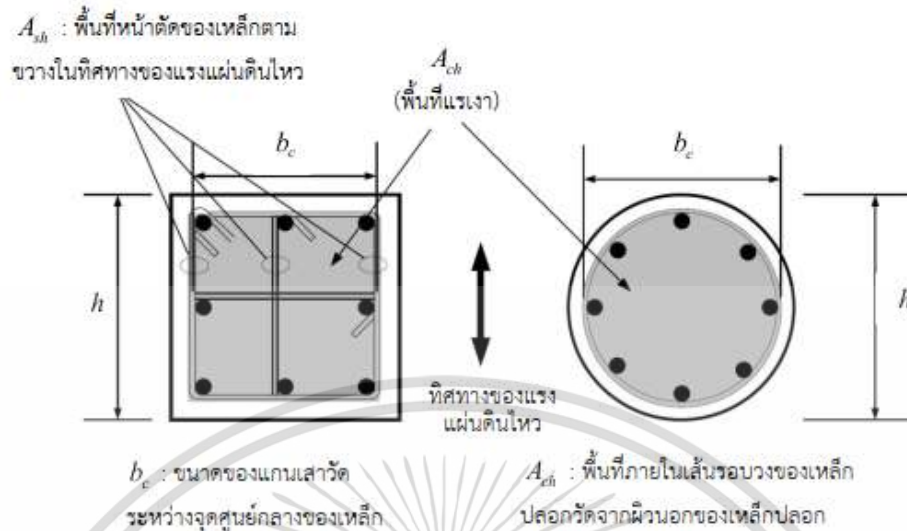
$$\rho_s = 0.12 f'_c / f_{yh} \quad (5.2-12)$$

$$\rho_s = 0.45 \left[\left(A_g / A_{ch} \right) - 1 \right] \left(f'_c / f_{yh} \right) \quad (5.2-13)$$

(2) พื้นที่หน้าตัดเหล็กปลอกรัดรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า A_{sh} ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดในสมการ 5.2-14 และ 5.2-15

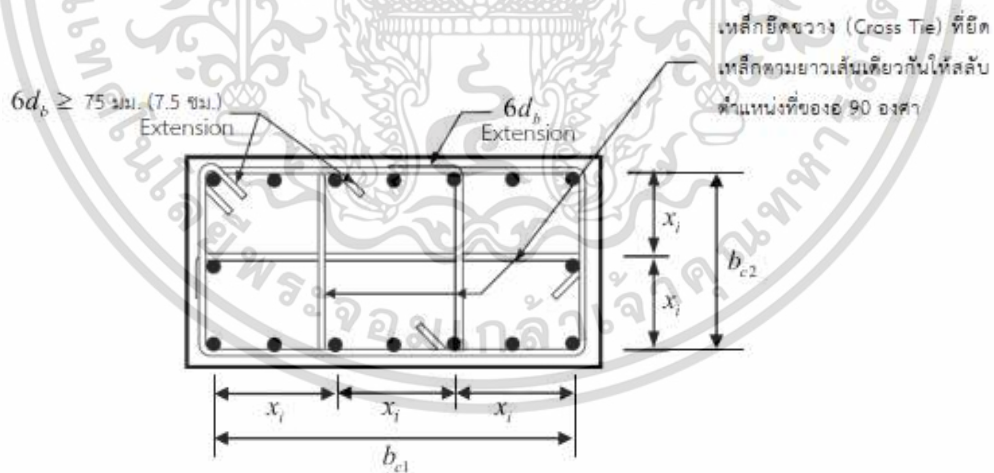
$$A_{sh} = 0.3 (s b_c f'_c / f_{yh}) \left[\left(A_g / A_{ch} \right) - 1 \right] \quad (5.2-14)$$

$$A_{sh} = 0.09 s b_c f'_c / f_{yh} \quad (5.2-15)$$



รูปที่ 5.2-9 นิยามของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องตามสูตร

(3) เหล็กเสริมตามขวาง อาจใช้เป็น เหล็กปลอกหรือแบบเส้นเดียว หรือ หลายเส้นซ้อนกัน และอนุญาตให้ใช้ เหล็กยึดขวาง (Cross Tie) ซึ่งมีขนาดและระยะเรียงเท่ากับเหล็กปลอกหรือรอบได้ โดยปลายแต่ละด้านของเหล็กยึดขวางจะต้องยึดกับเหล็กเสริมตามยาว เหล็กยึดขวางที่วางเรียงกันไป ควรจะสลับทิศทางปลายยึดเหล็กตามยาว

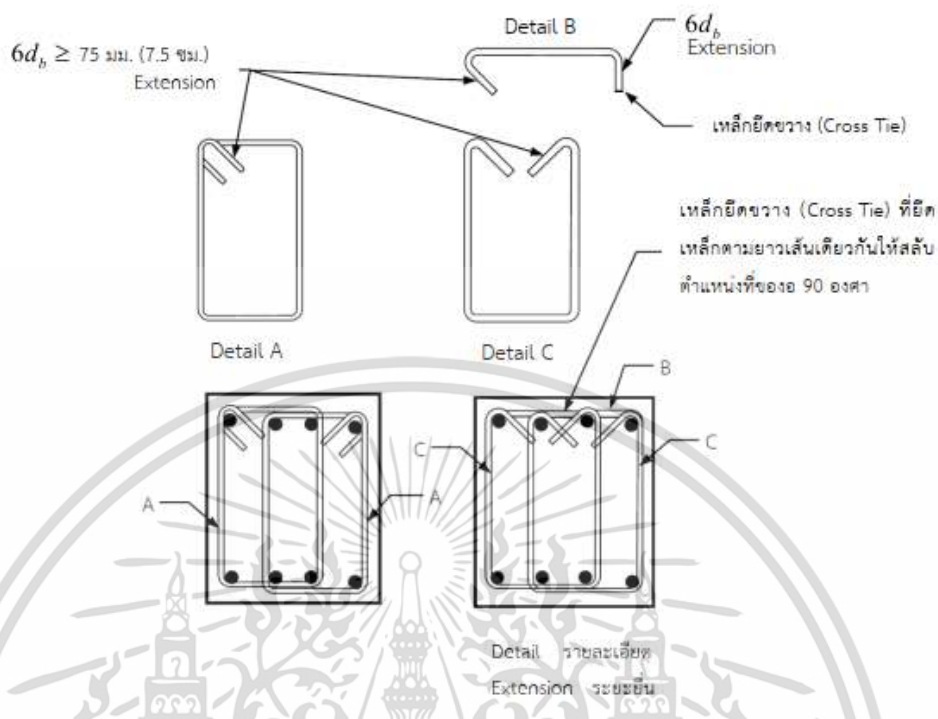


โดยที่ $x_i \leq 350$ มม. (35 ซม.)

x_i = ค่าสูงสุดของค่า x_i ทุก ๆ ด้าน

รูปที่ 5.2-10 ตัวอย่างเหล็กเสริมหลักและเหล็กปลอกในเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2-11 ตัวอย่างเหล็กปลอกที่รัดรอบที่วางซ้อนกัน

(4) หากค่ากำลังออกแบบที่คำนวณจากแกนเสา สามารถต้านทานน้ำหนักบรรทุกที่รวมผลของแผ่นดินไหวออกแบบได้ ไม่จำเป็นต้องใช้สมการ 5.2-15

(5) หากระยะหุ้มของคอนกรีตนอกเหล็กปลอกโอบรัดมีความหนาเกิน 100 มม. ให้ใส่เหล็กเสริมตามขวางเพิ่มเติม ที่มีระยะเรียงไม่เกิน 300 มม. และระยะหุ้มเหล็กปลอกขวางเพิ่มเติมนี้จะต้องไม่เกิน 100 มม.

5.2.9.4.2 ระยะเรียงของเหล็กเสริมตามขวาง ต้องไม่เกินค่าที่น้อยที่สุดระหว่างค่าดังต่อไปนี้

- (1) 1 ใน 4 ของขนาดหน้าตัดเสาตามที่เล็กที่สุด
- (2) 6 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามยาว
- (3) ระยะ S_0 (มิลลิเมตร) คำนวณจากสมการ (5.2-16)

$$S_0 = 100 + \left(\frac{350 - x_i}{3} \right) \quad (5.2-16)$$

$$\text{(หรือ } S_0 = 10 + \left(\frac{35 - x_i}{3} \right) \text{ ในหน่วยเมตร)}$$

ระยะ S_0 ต้องไม่ต่ำกว่า 100 มม. และไม่มากกว่า 150 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5.2.9.4.3 ระยะตามแนวนอนของเหล็กยึดขวางหรือขาของเหล็กปลอกรัตรอบที่วางซ้อนกัน ต้องไม่เกิน 350 มม. วัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลาง
- 5.2.9.4.4 เหล็กเสริมตามขวางตามที่กำหนดใน 5.2.9.4.1 ถึง 5.2.9.4.3 ให้วางภายในระยะ l_0 จากขอบของข้อต่อทั้งสองด้าน และจากหน้าตัดที่คาดว่าจะมีการครากของเหล็กตามแนวยาวเกิดขึ้น โดยระยะ l_0 ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากที่สุดระหว่าง
- (1) มิติที่มากที่สุดของหน้าตัดเสา
 - (2) 1 ใน 6 เท่าของความสูงจากขอบถึงขอบของเสา
 - (3) 500 มม.
- 5.2.9.4.5 เสาที่รองรับแรงจากชั้นส่วนเกร็งที่ไม่ต่อเนื่องเช่น จาก กำแพง จะต้องเสริมเหล็กตามขวางตามข้อกำหนด 5.2.9.4.1 จนถึง 5.2.9.4.3 ตลอดความสูงเสาได้ระดับที่เกิดความไม่ต่อเนื่อง เมื่อแรงอัดตามแนวแกนปรับค่าภายใต้แรงที่รวมแผ่นดินไหวมีค่าเกิน
- เหล็กเสริมตามขวางตามที่ระบุใน 5.2.9.4.1 จนถึง 5.2.9.4.3 จะต้องเสริมให้เล็กลงไปในชั้นส่วนที่ไม่ต่อเนื่องอีกเป็นระยะอย่างน้อยเท่ากับระยะฝังภายใต้แรงดึงคำนวณโดยใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กตามยาวในเสาที่มีขนาดใหญ่ที่สุด
- เมื่อปลายล่างของเสาตั้งอยู่บนกำแพง เหล็กเสริมตามขวางตามที่ระบุใน 5.2.9.4.1 จนถึง 5.2.9.4.3 จะต้องเสริมเล็กลงไปในกำแพงเป็นระยะไม่น้อยกว่า l_0 ซึ่งคำนวณจากเหล็กเสริมยาวขนาดใหญ่ที่สุด
- เมื่อเสาตั้งอยู่บนฐานราก เหล็กเสริมตามขวางตามที่ระบุใน 5.2.9.4.1 จนถึง 5.2.9.4.3 จะต้องเสริมเล็กลงไปในฐานรากเป็นระยะไม่น้อยกว่า 300 มม.
- 5.2.9.4.6 ในบริเวณอื่นของเสาที่ไม่ได้เสริมเหล็กปลอกขวางตามที่ระบุใน ข้อ 5.2.9.4.1 จนถึง 5.2.9.4.3 ตลอดความสูงเสา ให้เสริมเหล็กปลอกเกลียวหรือปลอกรัตรอบที่มีระยะเรียงจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางไม่เกินค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กตามแนวยาวและ 150 มม.

5.2.9.5 ข้อกำหนดกำลังต้านแรงเฉือน

5.2.9.5.1 แรงเฉือนออกแบบ V_u ให้คำนวณโดยพิจารณาจากแรงสูงสุดที่กระทำที่ปลายของเสาทั้งสองด้าน โดยแรงสูงสุดนี้หมายถึง กำลังต้านโมเมนต์สูงสุดที่เป็นไปได้ M_{pr} และค่าแรงอัดตามแนวแกนปรับค่า P_u ที่กระทำร่วมกัน โดยที่ค่าแรงเฉือนออกแบบ V_u ที่คำนวณได้นี้จะต้องไม่น้อยกว่าแรงเฉือนปรับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง

5.2.9.5.2 ค่ากำลังต้านโมเมนต์ดัดที่เป็นไปได้ (M_{pr}) ให้คำนวณจากค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมเท่ากับ $1.25f_y$

5.2.9.5.3 เหล็กเสริมตามขวางตลอดระยะ l_o ที่ระบุในหัว 5.2.9.4.4 จะต้องออกแบบให้ต้านแรงเฉือนโดยไม่คิดกำลังต้านแรงเฉือนของคอนกรีต ($V_c = 0$) เมื่อ

(1) แรงเฉือนที่เกิดจากแผ่นดินไหว ที่คำนวณตามข้อ 5.2.9.5.1 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงเฉือนปรับค่าสูงสุด และ

(2) แรงอัดตามแนวแกนปรับค่า P_u ที่รวมผลของแผ่นดินไหวแล้ว น้อยกว่า $A_g f_c / 20$

5.2.10 ข้อต่อระหว่างคานและเสาในโครงคานแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ

5.2.10.1 ข้อกำหนดทั่วไป

ข้อกำหนด 5.2.10 เป็นข้อกำหนดเพิ่มเติมจากข้อ 5.2.7 โดยให้ใช้ข้อกำหนดที่เข้มงวดกว่าในทั้ง 2 หัวข้อ

5.2.10.1.1 แรงในเหล็กเสริมตามยาวในคานที่ข้อต่อให้คำนวณโดยใช้ค่าหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมเท่ากับ $1.25f_y$

5.2.10.1.2 กำลังของข้อต่อให้คำนวณโดยใช้ตัวคูณลดกำลังเท่ากับ 0.85

5.2.10.1.3 เหล็กเสริมตามยาวในคานควรจจะวางเลยออกไปจนถึงขอบด้านนอกของแกนเสา และให้ทำการฝังยึดกับแถบเสา โดยหากเป็นกรณีรับแรงดึงให้ทำตามข้อ 5.2.10.4 และหากเป็นกรณีรับแรงอัดให้ทำตามข้อกำหนดเรื่องเสาในมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

5.2.10.1.4 สำหรับเหล็กเสริมตามยาวในคานที่วางทะลุผ่านข้อต่อ มิติของเสาที่ขนานกับเหล็กเสริมในคานจะต้องไม่น้อยกว่า 20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในกรณีที่เป็นคอนกรีตน้ำหนักปกติ สำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบา มิติของเสาจะต้องไม่น้อยกว่า 26 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาว

5.2.10.2 เหล็กเสริมตามขวาง

5.2.10.2.1 ให้เสริมเหล็กปลอกรัตรอบตามข้อ 5.2.9.4 ในข้อต่อ ถ้าหากว่าข้อต่อนั้นไม่ได้ถูกยึดรัตรโดยคานตามข้อ 5.2.10.2.2

5.2.10.2.2 เมื่อข้อต่อมีคานเข้ามาชนทั้ง 4 ด้าน และความกว้างของคานอย่างน้อยเท่ากับสามในสี่ของความกว้างเสา ให้ใส่เหล็กเสริมตามขวางเป็นปริมาณอย่างน้อยเท่ากับครึ่งหนึ่งของที่ระบุใน 5.2.9.4.1 ภายในระยะความสูง h ของคานที่มีความลึกที่น้อยที่สุดที่เข้ามาชนกับจุดต่อ และระยะเรียงตามทีระบุใน 5.2.9.4.2 สามารถปรับเพิ่มขึ้นเป็น 150 มม. ได้

5.2.10.2.3 ในกรณีที่ไม่มีความเข้ามาชนกับข้อต่อ ให้เสริมเหล็กเสริมตามขวางตามที่ระบุใน 5.2.9.4 ภายในข้อต่อเพื่อที่จะให้เกิดการโอบรัด (Confinement) ให้แก่เหล็กตามยาวในคาน

5.2.10.3 กำลังต้านแรงเฉือน (Shear Strength)

กำลังต้านแรงเฉือน V_n ของข้อต่อ ให้คำนวณจากสูตรสำหรับคอนกรีตน้ำหนักปกติตาม 5.2.7.5.3 สำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบาให้ใช้ค่ากำลังต้านแรงเฉือนของข้อต่อไม่เกิน 3 ใน 4 ของค่าที่กำหนด

5.2.10.4 ระยะฝังของเหล็กเสริมรับแรงดึง

5.2.10.4.1 ระยะฝังของเหล็กเสริม l_{dh} ที่ทำของมาตรฐาน 90 องศาจะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากที่สุดระหว่าง 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง และ 150 มม. และความยาวที่กำหนดตามสมการ

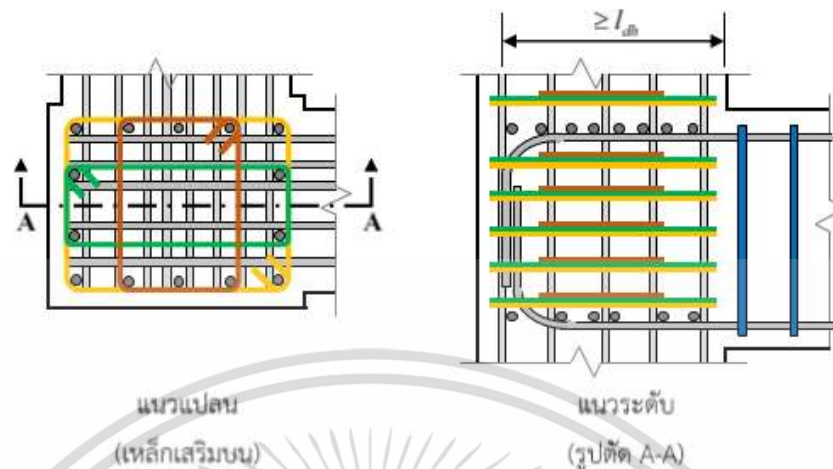
$$l_{dh} = f_y d_b / (5.3 \sqrt{f'_c}) \quad (5.2-17)$$

(หรือ $l_{dh} = f_y d_b / (17 \sqrt{f'_c})$ ในหน่วยเมตริก)

สำหรับเหล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 9 – 32 มม.

สำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบา ระยะฝัง l_{dh} จะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากที่สุดระหว่าง 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง และ 200 มม. และ 1.25 เท่าของค่าที่คำนวณจากสมการข้างต้น

ของ 90 องศาจะต้องอยู่ภายในแกนเสาที่ถูกยึดรัตรหรือภายในชิ้นส่วนขอบเขต (Boundary Element)



รูปที่ 5.2-12 ตัวอย่างการทำของเหล็กที่เชื่อมต่อ

5.2.10.4.2 สำหรับเหล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 9 ถึง 32 มม. ระยะห่างสำหรับเหล็กตรง ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากกว่าระหว่าง (1) และ (2)

(1) 2.5 เท่าของระยะในข้อ 5.2.10.4.1 ถ้าความลึกของคอนกรีตที่เทครั้งเดียวได้ เหล็กไม่เกิน 250 มม.

(2) 3.25 เท่าของระยะในข้อ 5.2.10.4.1 ถ้าความลึกของคอนกรีตที่เทครั้งเดียว ได้เหล็กเกิน 250 มม.

5.2.10.4.3 เหล็กเสริมตรงที่หยุดที่ข้อต่อ ให้วางทะลุผ่านแกนของเสาที่ได้รับการโอบรัด หรือ ของชิ้นส่วนขอบเขต ส่วนใดของระยะห่าง l_d ที่ไม่ได้้อยู่ภายในแกนที่ถูกโอบรัดให้ เพิ่มความยาวขึ้นอีก 1.6 เท่า

5.2.10.4.4 ในกรณีที่ใช้เหล็กเคลือบผิวอีพ็อกซี ให้เพิ่มระยะห่างตามที่คำนวณในข้อ 5.2.10.4.1 ถึง 5.2.10.4.3 ด้วยตัวคูณที่เหมาะสมตามมาตรฐานการออกแบบที่ได้รับการยอมรับ

5.2.11 กำแพงคอนกรีตที่มีความเหนียวพิเศษและคานยึดควบ

5.2.11.1 ขอบเขต

ข้อกำหนดนี้ใช้กับกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษและคานยึดควบ (Coupling Beam) ในระบบต้านแรงแผ่นดินไหว

5.2.11.2 เหล็กเสริม

5.2.11.2.1 อัตราส่วนเหล็กเสริมในส่วนอกกำแพง ρ_l และ ρ_t จะต้องไม่น้อยกว่า 0.0025 ยกเว้นเมื่อแรงเฉือนปรับค่า V_u มีค่าไม่เกิน $0.083A_{cv}\sqrt{f'_c}$ (หน่วย SI) [หรือ $0.265A_{cv}\sqrt{f'_c}$ (หน่วย เมตริก)] อนุญาตให้ลด ρ_l และ ρ_t ลงได้ตามที่กำหนด ในมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

ระยะเรียงของเหล็กเสริมในแต่ละทิศทางต้องไม่เกิน 450 มม. เหล็กเสริมที่นำมาคำนวณกำลังต้านทานแรงเฉือน V_u จะต้องวางกระจายอย่างต่อเนื่องตลอด ระบายเฉือน

5.2.11.2.2 หากค่าแรงเฉือนปรับค่า V_u มีค่าเกิน $0.166A_{cv}\sqrt{f'_c}$ (หน่วย SI) [หรือ $0.53A_{cv}\sqrt{f'_c}$ (หน่วย เมตริก)] จะต้องเสริมเหล็กปลอกในกำแพงอย่างน้อย 2 ชั้นที่ผิวกำแพง

5.2.11.3 แรงที่ใช้ออกแบบ

แรงเฉือนปรับค่าที่ใช้ออกแบบกำแพง V_u ได้มาจากการวิเคราะห์แรงต้านข้าง

5.2.11.4 กำลังต้านแรงเฉือน

5.2.11.4.1 กำลังต้านแรงเฉือนระบุของกำแพง V_n มีค่าไม่เกิน

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c\sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \quad (5.2-18)$$

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ α_c เท่ากับ 0.249 (หน่วย SI) [หรือ 0.795 (หน่วยเมตริก)] เมื่อ $h_w/L_w \leq 1.5$ และ เท่ากับ 0.166 (หน่วย SI) [หรือ 0.53 (หน่วยเมตริก)] เมื่อ $h_w/L_w \geq 2.0$ และแปรผันเชิงเส้น เมื่อ h_w/L_w อยู่ระหว่าง 1.5 และ 2.0

5.2.11.4.2 ในการคำนวณตามข้อ 5.2.11.4.1 อัตราส่วน h_w/L_w ที่ใช้ในการหาค่า V_n สำหรับแต่ละชิ้นส่วนของกำแพง (Wall Segments) ให้ใช้ค่าที่มากกว่าระหว่าง อัตราส่วนของกำแพงทั้งผืนและของเฉพาะชิ้นส่วนกำแพงที่พิจารณา

5.2.11.4.3 เหล็กเสริมในกำแพงที่ต้านแรงเฉือนต้องเป็นเหล็กเสริมกระจายในสองทิศทางที่ตั้งฉากกันในระนาบของกำแพง ในกรณีที่อัตราส่วน h_w/L_w ไม่เกิน 2.0 อัตราส่วนเหล็กเสริม ρ_t ต้องไม่น้อยกว่าอัตราส่วนเหล็กเสริม ρ_l

- 5.2.11.4.4 กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ V_n รวมของกำแพงเฉือนจะต้องไม่เกิน $0.68A_{cv}\sqrt{f'_c}$ (หน่วย SI) [หรือ $2.12A_{cv}\sqrt{f'_c}$ (หน่วยเมตริก)] เมื่อ A_{cv} คือพื้นที่หน้าตัดรวมของกำแพง แต่สำหรับชิ้นส่วนกำแพงแต่ละแผง กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ V_n จะต้องไม่เกิน $0.85A_{cv}\sqrt{f'_c}$ (หน่วย SI) [หรือ $2.65A_{cv}\sqrt{f'_c}$ (หน่วยเมตริก)] เมื่อ A_{cv} คือพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนกำแพงเฉพาะแผงนั้น
- 5.2.11.4.5 สำหรับส่วนของกำแพงในแนวนอน และ คานยึดควบ ค่ากำลังต้านแรงเฉือนระบุ V_n จะต้องไม่มากกว่า $0.85A_{cv}\sqrt{f'_c}$ (หน่วย SI) [หรือ $2.65A_{cv}\sqrt{f'_c}$ (หน่วยเมตริก)] โดยที่ A_{cv} คือพื้นที่ของชิ้นส่วนของกำแพงแนวนอนหรือของคานยึดควบ
- 5.2.11.5 การออกแบบด้านแรงดัดและแรงตามแนวแกน
- 5.2.11.5.1 การออกแบบกำแพงให้คำนึงถึงแรงดัดและแรงตามแนวแกนปรับค่าที่กระทำร่วมกับแรงเฉือนปรับค่า โดยให้พิจารณาหน้าตัดที่ประกอบด้วยคอนกรีตและเหล็กเสริมที่อยู่ภายในบริเวณความกว้างประสิทธิภาพของปีก ชิ้นส่วนขอบเขต และบริเวณอกกำแพง และให้คำนึงช่องเปิดในกำแพงเฉือนด้วย
- 5.2.11.5.2 ในกรณีที่ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ละเอียด ให้ถือว่าความกว้างประสิทธิภาพของหน้าตัดที่มีลักษณะเป็นปีก มีระยะยื่นออกจากส่วนอกกำแพงเท่ากับค่าน้อยกว่าระหว่างครึ่งหนึ่งของระยะไปถึงอกกำแพงข้างเคียง และ หนึ่งในสี่ของความสูงกำแพงทั้งหมด
- 5.2.11.6 ชิ้นส่วนขอบเขตของกำแพงที่มีความเหนียวพิเศษ
- 5.2.11.6.1 ให้พิจารณาว่ามีความจำเป็นที่จะต้องเสริมชิ้นส่วนขอบเขต ที่ปลายของกำแพงหรือไม่ ตาม 5.2.11.6.2 หรือ 5.2.11.6.3 และให้ปฏิบัติตาม 5.2.11.6.4 และ 5.2.11.6.5 ด้วย
- 5.2.11.6.2 ข้อกำหนดในส่วนนี้ให้ใช้กับกำแพงหรือชิ้นส่วนกำแพง ที่มีความต่อเนื่องจากฐานรากจนถึงส่วนบนสุดของกำแพงและมีหน้าตัดวิกฤติในการต้านแรงดัดและแรงตามแนวแกนที่ตำแหน่งเดียว สำหรับกำแพงที่ไม่เป็นไปตามนี้ ให้ทำตาม 5.2.11.6.3
- (1) บริเวณปลายกำแพงที่รับแรงอัดควรเสริมชิ้นส่วนขอบเขตเมื่อ

$$c \geq l_w / (600\delta_u / h_w) \quad (5.2-19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า c ในสมการ (5.2-19) เป็นค่าความลึกของแกนสะเทินที่มากที่สุดคำนวณภายใต้แรงตามแนวแกนปรับค่าร่วมกับกับกำลังต้านโมเมนต์ระดับที่สอดคล้องกับการเคลื่อนตัวด้านข้างออกแบบ δ_u อัตราส่วน δ_u / h_u ในสมการ (5.2-19) จะต้องไม่น้อยกว่า 0.007

- (2) เมื่อต้องมีการเสริมชิ้นส่วนขอบเขตตามข้อ 5.2.11.6.2 (1) เหล็กเสริมในชิ้นส่วนขอบเขตต้องมีความยาวในแนวตั้งวัดออกจากหน้าตัดวิกฤติเป็นระยะไม่น้อยกว่าค่าที่มากกว่าระหว่าง l_u และ $M_u / 4V_u$

5.2.11.6.3 สำหรับกำแพงโครงสร้างที่ไม่ได้ออกแบบตามข้อ 5.2.11.6.2 ให้เสริมชิ้นส่วนขอบเขตที่ปลายกำแพงและขอบรอบช่องเปิดเมื่อหน่วยแรงอัดสูงสุดภายใต้แรงแผ่นดินไหวปรับค่ามีค่าเกิน $0.2f'_c$ และสามารถหยุดการเสริมชิ้นส่วนขอบเขตได้ในตำแหน่งที่ค่าหน่วยแรงอัดน้อยกว่า $0.15f'_c$ การคำนวณหน่วยแรงอัดให้คำนวณตามทฤษฎียึดหยุ่นเชิงเส้นและใช้คุณสมบัติของหน้าตัดรวม สำหรับกำแพงที่มีปีก ให้คำนวณความกว้างประสิทธิภาพตามข้อ 5.2.11.5.2

5.2.11.6.4 เมื่อจำเป็นต้องเสริมชิ้นส่วนขอบเขตตามข้อ 5.2.11.6.2 หรือ 5.2.11.6.3 ให้ทำตามข้อ (1) ถึง (5) ต่อไปนี้

- (1) ชิ้นส่วนขอบเขตควรจะต้องมีความยาววัดจากผิวที่รับแรงอัดไม่น้อยกว่าค่าที่มากกว่าระหว่าง $c - 0.1l_u$ และ $c/2$ เมื่อ c คือความลึกแกนสะเทินที่มากที่สุดที่คำนวณภายใต้แรงตามแนวแกนปรับค่าและค่ากำลังต้านโมเมนต์ระดับที่สอดคล้องกับ δ_u
- (2) สำหรับหน้าตัดกำแพงที่มีลักษณะเป็นปีก ชิ้นส่วนขอบเขตให้นับรวมส่วนความกว้างประสิทธิภาพด้วยและต้องมีความลึกอย่างน้อย 300 มม. เข้าไปในส่วนนอกกำแพง
- (3) เหล็กเสริมตามขวางในชิ้นส่วนขอบเขตให้เป็นไปตามข้อ 5.2.9.4.1 ถึง 5.2.9.4.3 ยกเว้นสมการ 5.2-13
- (4) ให้เสริมเหล็กเสริมตามขวางในชิ้นส่วนขอบเขตที่ฐานกำแพงลงไปในฐานะรองรับเป็นระยะอย่างน้อยเท่ากับระยะฝั่งของเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด ในกรณีที่ชิ้นส่วนขอบเขตตั้งบนฐานราก ให้เสริมเหล็กเสริมตามขวางลึกลงไปในฐานะรากอย่างน้อย 300 มม.
- (5) สำหรับเหล็กเสริมแนวราบที่อยู่ในอกกำแพง ให้ทำการเสริมเหล็กดังกล่าวในแกนของชิ้นส่วนขอบเขตเพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้ถึงจุดคราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.11.6.5 ในบริเวณที่ต้องการเสริมชิ้นส่วนขอบเขตตามข้อ 5.2.11.6.2 หรือ 5.2.11.6.3 ให้ทำตามข้อ (1) และ (2) นี้

(1) ถ้าอัตราส่วนเหล็กเสริมตามยาวที่ปลายกำแพง มีค่ามากกว่า $2.8/f_y$ (ในหน่วยเมตริก: $28/f_y$) เหล็กเสริมทางขวางจะต้องเป็นไปตามข้อ 5.2.9.4.1(3), 5.2.9.4.3 และ 5.2.11.6.4 (1) โดยที่ระยะเรียงของเหล็กเสริมทางขวางในบริเวณดังกล่าวต้องไม่เกิน 200 มม.

(2) หากแรงเฉือนปรับค่า V_u มีค่าเกิน $0.083A_{cv}\sqrt{f'_c}$ (หน่วย SI) [หรือ $0.265A_{cv}\sqrt{f'_c}$ (หน่วยเมตริก)] เหล็กเสริมนอนที่หยุดที่ปลายกำแพงที่ไม่มีชิ้นส่วนขอบเขต ให้ทำของมาตรฐานที่ปลายหรือให้ทำเหล็กปลอกเป็นรูปตัวยูยึดกับเหล็กเสริมตามแนวแกนในกำแพงโดยให้มีขนาดและระยะเรียงเช่นเดียวกับเหล็กแนวอนนั้น และให้ทาบเหล็กตัวยูกับเหล็กแนวอนนั้นด้วย

5.2.11.7 คานยึดคาน

5.2.11.7.1 คานยึดคานที่มีอัตราส่วน $l_n/h \geq 4$ ให้ออกแบบตาม 5.2.8 โดยอาจไม่ต้องพิจารณา 5.2.8.1.3 และ 5.2.8.1.4 ก็ได้ ถ้าผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าคานดังกล่าวมีเสถียรภาพทางด้านข้างเพียงพอ

5.2.11.7.2 สำหรับคานยึดคานที่มีอัตราส่วน $l_n/h < 4$ อนุญาตให้เสริมเหล็กทแยงมุมวางตัดกันและสมมาตรรอบจุดกึ่งกลางคาน

5.2.11.7.3 คานยึดคานที่มีอัตราส่วน $l_n/h < 2$ และมีค่าแรงเฉือนปรับค่า $V_u < 0.34\sqrt{f'_c}A_{cv}$ (หน่วย SI) [หรือ $V_u < 1.06\sqrt{f'_c}A_{cv}$ (หน่วยเมตริก)] ให้เสริมด้วยเหล็กวางทแยงมุมตัดกันให้สมมาตรรอบจุดกึ่งกลางคาน เว้นแต่จะแสดงให้เห็นว่าการสูญเสียสติเฟสและกำลังของคานยึดคานจะไม่กระทบต่อกำลังรับน้ำหนักโครงสร้าง การอพยพออกจากโครงสร้าง ความมีเสถียรภาพของส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างและรอยต่อที่ยึดกับโครงสร้าง

5.2.11.7.4 คานยึดคานที่เสริมด้วยเหล็กทแยงมุมวางตัดกันและสมมาตรรอบจุดกึ่งกลางคาน ต้องปฏิบัติตามข้อ (1) (2) (3) (4) (5) และ (6)

(1) เหล็กแยงมุมต้องมีอย่างน้อย 4 เส้นในแต่ละทิศทาง ประกอบกันเป็นหน้าตัดที่มีขนาดวัดจากขอบนอกของเหล็กเสริมตามขวางไม่น้อยกว่า $b_n/2$ ในทิศทางตั้งฉากกับระนาบคาน และ $b_n/5$ ในระนาบของคานที่ตั้งฉากกับเหล็กทแยงมุม

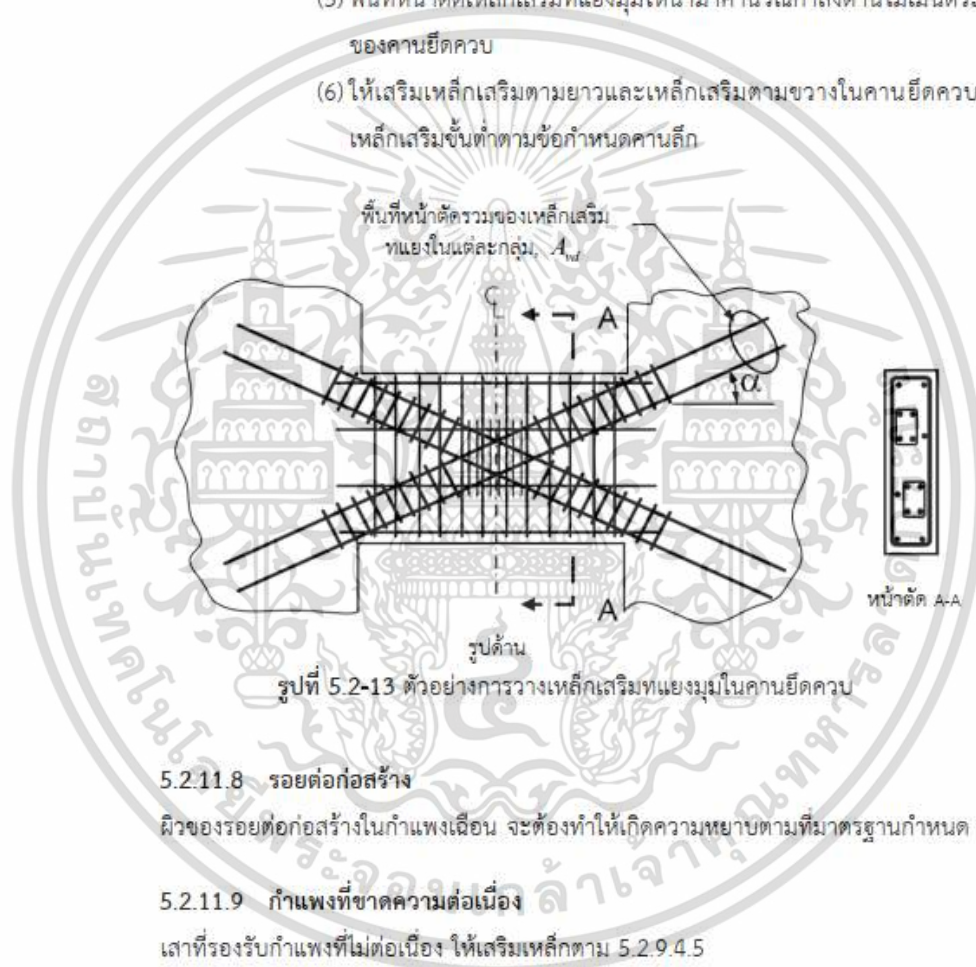
(2) กำลังต้านแรงเฉือนระบุ V_u คำนวณได้จาก

$$V_n = 2A_{wd}f_y \sin \alpha < 0.85\sqrt{f'_c}A_{cw} \quad (5.2-20)$$

($V_n = 2A_{wd}f_y \sin \alpha < 2.65\sqrt{f'_c}A_{cw}$ ในหน่วยเมตริก)

โดยที่ α คือ มุมระหว่างเหล็กเสริมทแยงมุมกับแกนตามยาวของคานยึดควบ

- (3) เหล็กเสริมตามขวางที่เสริมรอบเหล็กทแยงมุม ต้องทำตามข้อ 5.2.9.4.1 ถึง 5.2.9.4.3
- (4) เหล็กเสริมทแยงมุมต้องฝังยึดให้รับแรงดึงถึงจุดคราก
- (5) พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมทแยงมุมให้นำมาคำนวณกำลังต้านโมเมนต์ระบุ M_n ของคานยึดควบ
- (6) ให้เสริมเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางในคานยึดควบ โดยใช้เหล็กเสริมชั้นต่ำตามข้อกำหนดคานล็ก



5.2.11.8 รอยต่อก่อสร้าง

ผิวของรอยต่อก่อสร้างในกำแพงเดียน จะต้องทำให้เกิดความหยาบตามที่มาตรฐานกำหนด

5.2.11.9 กำแพงที่ขาดความต่อเนื่อง

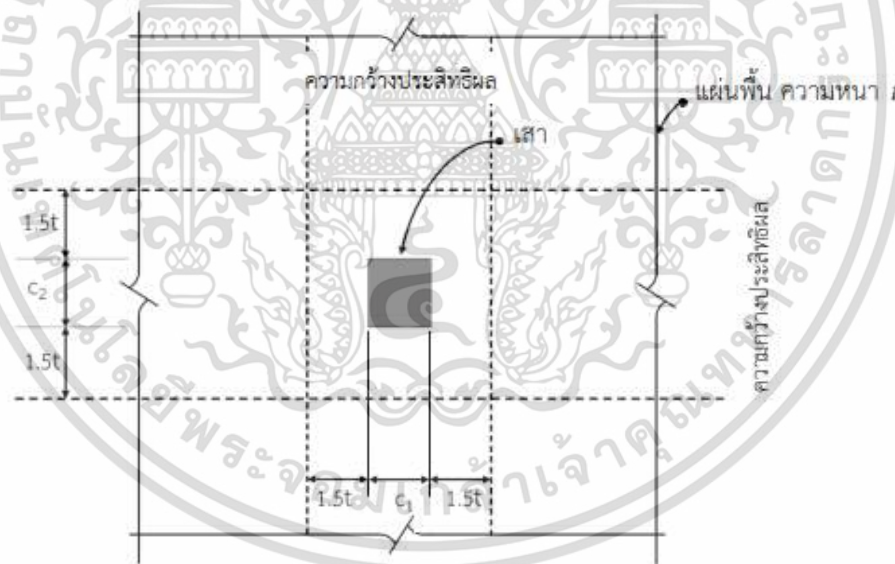
เสาที่รองรับกำแพงที่ไม่ต่อเนื่อง ให้เสริมเหล็กตาม 5.2.9.4.5

5.2.12 การเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไร้คาน

การเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไร้คานที่พิจารณาว่าเป็นส่วนของโครงต้านแรงดัดรับแรงล้นสะท้อนจากแผ่นดินไหว ให้เสริมเหล็กตามรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 5.2-14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

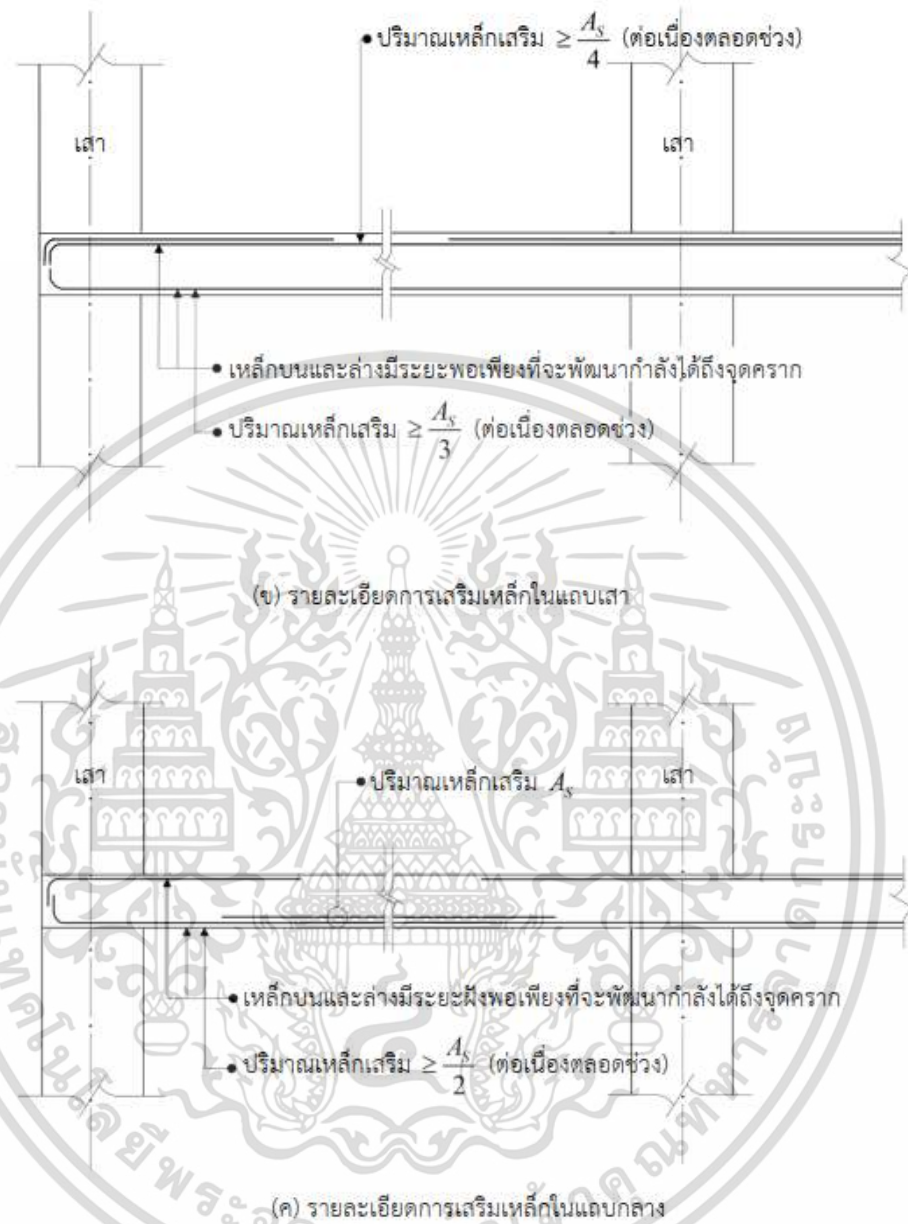
- 5.2.12.1 ปริมาณเหล็กเสริมที่คำนวณได้สำหรับรับส่วนของโมเมนต์ตัดในแผ่นพื้นที่ถ่ายให้จุดรองรับ (M_r) จะต้องวางอยู่ในแถบเสาทั้งหมด
- 5.2.12.2 ปริมาณเหล็กเสริมสำหรับต้านทานสัดส่วนโมเมนต์ $\gamma_r M_r$ จะต้องอยู่ภายในความกว้างประสิทธิภาพ
- 5.2.12.3 ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมในแถบเสาบริเวณจุดรองรับ จะต้องวางอยู่ภายในความกว้างประสิทธิภาพของแผ่นพื้น
- 5.2.12.4 ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 1 ใน 4 ของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจุดรองรับ จะต้องต่อเนื่องตลอดความยาวช่วง และจะต้องมีเหล็กเสริมบนไม่น้อยกว่า 2 เส้นวางผ่านแนวเสาในแต่ละทิศทาง
- 5.2.12.5 เหล็กเสริมล่างในแถบเสาที่มีความต่อเนื่องจะต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจุดรองรับ
- 5.2.12.6 ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมล่างที่กึ่งกลางช่วงจะต้องต่อเนื่อง และสามารถพัฒนาให้เกิดกำลังครากที่ขอบของจุดรองรับได้
- 5.2.12.7 ที่ขอบของแผ่นพื้นที่ไม่ต่อเนื่อง เหล็กเสริมบนและล่างที่จุดรองรับจะต้องสามารถพัฒนาเกิดกำลังครากที่ขอบของจุดรองรับได้



(ก) ความกว้างประสิทธิภาพ

รูปที่ 5.2-14 รายละเอียดการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2-14 รายละเอียดการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.12.1 แรงเฉือนเจาะทะลุในแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน

5.2.12.1.1 หน่วยแรงเฉือนเจาะทะลุบนหน้าตัดวิกฤติรอบเสาที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกแนวตั้งร่วมกับหน่วยแรงเฉือนที่เกิดจากโมเมนต์ไม่สมดุลที่ส่งถ่ายระหว่างเสาและพื้นจะต้องไม่เกินกำลังต้านแรงเฉือนที่กำหนดไว้ในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ

5.2.12.1.2 ค่าอัตราส่วนแรงเฉือน $V_u / \phi V_c$ ที่คำนวณได้จะต้องไม่เกิน 0.4 โดยที่ V_u เป็นแรงเฉือนปรับค่าบนหน้าตัดวิกฤติรอบเสาที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกแนวตั้งขนาดเท่ากับ $1.2D + 1.0L$ ซึ่งตัวคูณน้ำหนักบรรทุกในส่วนของหน่วยน้ำหนักบรรทุกจร (L) สามารถลดจาก 1.0 เป็น 0.5 ได้ หากหน่วยน้ำหนักจรมีค่าน้อยกว่า 4.9 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (500 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร) เว้นแต่อาคารนั้นเป็นที่อาคารจอดรถ หรือพื้นที่ที่ใช้เป็นส่วนของการชุมนุมคน ตัวคูณลดกำลัง ϕ ในที่นี้ให้ใช้เท่ากับ 0.75 และ V_c ให้คำนวณตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) สำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก V_c ให้ใช้ค่าน้อยที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

$$(ก) \quad V_c = \left[1 + \frac{2}{\beta_c} \right] \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{6} \quad (5.2-21)$$

$$\text{(หรือ } V_c = 0.27 \left[2 + \frac{4}{\beta_c} \right] \sqrt{f'_c} b_o d \text{ ในหน่วยเมตริก)}$$

$$(ข) \quad V_c = \left[\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right] \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{12} \quad (5.2-22)$$

$$\text{(หรือ } V_c = 0.27 \left[\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right] \sqrt{f'_c} b_o d \text{ ในหน่วยเมตริก)}$$

โดยที่ α_s ให้ใช้เท่ากับ 40 สำหรับเสาภายใน เท่ากับ 30 สำหรับเสาขอบ และเท่ากับ 20 สำหรับเสามุม

$$(ค) \quad V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_o d \quad (5.2-23)$$

$$\text{(หรือ } V_c = 1.06 \sqrt{f'_c} b_o d \text{ ในหน่วยเมตริก)}$$

(2) สำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง V_c ให้ใช้ค่าดังต่อไปนี้

$$V_c = \left[\beta_p \sqrt{f'_c} + 0.3 f_{pc} \right] b_o d + V_p \quad (5.2-24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{(หรือ } V_c = [0.27\beta_p\sqrt{f'_c} + 0.3f_{pc}]b_0d + V_p \text{ ในหน่วยเมตริก)}$$

โดยที่ β_p เป็นค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 0.29 และ $\left[\frac{\alpha_s d}{b_0} + 1.5\right] / 12$ (หรือค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 3.5 หรือ $\left[\frac{\alpha_s d}{b_0} + 1.5\right]$ ในหน่วยเมตริก) และ α_s ให้ใช้เท่ากับ 40 สำหรับเสาภายใน เท่ากับ 30 สำหรับเสาขอบ และเท่ากับ 20 สำหรับเสามุม

5.2.12.1.3 ข้อกำหนดในข้อ 5.2.12.1.2 ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาหากหน่วยแรงเฉือนปรับค่าแบบสองทาง (Factored Two-Way Shear Stress) ณ ตำแหน่งที่ให้ค่าสูงสุด มีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงเฉือน ϕv_n โดยหน่วยแรงเฉือนปรับค่าดังกล่าว เป็นส่วนของหน่วยแรงเฉือนที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวและสงถ่าย โดยการเอียงศูนย์ของแรงเฉือน (Eccentricity of Shear) และ ϕv_n ให้คำนวณดังต่อไปนี้

(1) สำหรับองค์อาคารที่ไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน

$$\phi v_n = \frac{\phi V_c}{b_0 d} \quad (5.2-25)$$

(2) สำหรับองค์อาคารที่เสริมเหล็กรับแรงเฉือนนอกเหนือจากเหล็กหมวกรับแรงเฉือน (Shearhead)

$$\phi v_n = \frac{\phi(V_c + V_s)}{b_0 d} \quad (5.2-26)$$

5.2.12.1.4 สำหรับข้อต่อพื้นเสาในระบบแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คานที่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบรับแรงดันทันข้าง จะต้องจัดให้มีเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนในแผ่นพื้นโดยที่ กำลังต้านแรงเฉือนของเหล็กเสริม (V_s) จะต้องไม่น้อยกว่า $0.3\sqrt{f'_c}b_0d$ (หรือไม่น้อยกว่า $0.93\sqrt{f'_c}b_0d$ ในหน่วยเมตริก) และต้องวางเหล็กเสริมดังกล่าวออกไปจากขอบของที่รองรับเป็นระยะไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความหนาแผ่นพื้น แต่ข้อกำหนดข้างต้นอาจยกเว้นได้ หากการออกแบบเป็นไปตามข้อ (1) หรือข้อ (2) เพียงข้อหนึ่งข้อใด

(1) หน่วยแรงเฉือนเจาะทะลุบนหน้าตัดวิกฤตรอบเสาที่เกิดจากแรงเฉือนปรับค่า V_u ร่วมกับหน่วยแรงเฉือนที่เกิดจากโมเมนต์ไม่สมดุลที่สงถ่ายระหว่างเสา และพื้นภายใต้การเคลื่อนตัวด้านข้างออกแบบจะต้องไม่เกินกำลังต้านแรง

เงื่อนไขที่กำหนดไว้ในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง
ของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

- (2) ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นออกแบบ (Design Story Drift) จะต้องไม่เกินกว่าค่าที่มากกว่าระหว่าง 0.005 ของความสูงระหว่างชั้น และ $[0.035 - 0.05(V_u / \phi V_c)]$

กรณีที่ใช้การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวง ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้าง
ออกแบบให้คำนวณจากการเคลื่อนตัวในระบบรับแรงด้านข้างภายใต้แรงดังกล่าวคูณด้วยอัตราส่วน $3/K$
เมื่อ K เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ส่วนกรณี
ที่ใช้การคำนวณแรงสั่นสะเทือนในสถานะจำกัดด้านกำลัง (Strength Limit State) และใช้การวิเคราะห์
แบบยืดหยุ่น (Elastic Analysis) ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างออกแบบให้คำนวณจากการเคลื่อนตัวในระบบ
รับแรงด้านข้างภายใต้แรงดังกล่าวคูณด้วยตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัวที่เหมาะสม

การคำนวณค่า V_u และ ϕV_c ให้เป็นไปตามข้อ 5.2.13.2

5.2.12.2 การป้องกันการวิบัติอย่างต่อเนื่อง (Progressive Collapse)

สำหรับแผ่นพื้นไร้คานจุดรองรับภายในจะต้องมีเหล็กเสริมล่างวางผ่านหรือฝังเข้าไปในแกนเสาใน
แต่ละทิศทางเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า

$$A_{sm} = \frac{0.5w_u L_1 L_2}{0.9f_y} \quad (5-27)$$

โดยที่ w_u เป็นน้ำหนักบรรทุกทุกปรับค่ากระจายอย่างสม่ำเสมอ แต่ทั้งนี้จะต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่า
ของน้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน (Service Dead Load) สำหรับจุดรองรับที่ขอบและที่มุม เหล็กเสริมล่างที่
จัดวางผ่านหรือฝังเข้าไปในแกนเสาจะต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าสองในสามและหนึ่งในสองของปริมาณ
ที่กำหนดไว้ในสมการข้างต้นตามลำดับ โดยที่เหล็กเสริมดังกล่าวจะต้องวางผ่านหรือฝังเข้าไปในเสา ทั้งนี้
เหล็กเสริมในข้อ 5.2.12.5 สามารถนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม A_{sm} ได้

ภาคผนวก ก.7

ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R)

ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_0)

ตัวประกอบขยาย ค่าการโก่งตัว(Deflection Amplification Factor, C_d)

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของ

แผ่นดินไหว มยพ.1301/1302-61

ตารางที่ 2.3-1 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบแทน (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d)

ระบบโครงสร้าง โดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการ ออกแบบ ด้านทานแรง แผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
1. ระบบกำแพงรับ น้ำหนักบรรทุกแนวตั้ง (Bearing Wall System)	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	4	2.5	4	✓	✓	*
	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)	โครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงดัดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	8	2	4	✓	✓	✓
	โครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment-Resisting Connections)	7	2	4	✓	✓	✓
	โครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบให้รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5	✓	✓	✓
	โครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบธรรมดา (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	✓	✓	*
	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 * = ดูหัวข้อ 2.3.1.2 ++ = ดูหัวข้อ 2.3.1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3-1 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบแทน (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d) (ต่อ)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบด้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
3. ระบบโครงสร้างต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงสร้างต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (Ductile/Special Steel Moment-Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงสร้างต้านแรงดัดที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	7	3	5.5	√	√	√
	โครงสร้างต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	4.5	3	4	√	√	*
	โครงสร้างต้านแรงดัดเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3	√	√	X
	โครงสร้างต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (แบบหล่อในที่ หรือ แบบหล่อสำเร็จ) (Precast or Cast-in-Place Ductile/Special Reinforced Concrete Moment Resisting Frame) ++	8	3	5.5	√	√	√
	โครงสร้างต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัด (Ductile RC Moment-Resisting Frame with Limited Ductility/ Intermediate RC Moment-Resisting Frame)	5	3	4.5	√	√	*
	โครงสร้างต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	3	3	2.5	√	X	X
4. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงสร้างต้านแรงดัดที่มีความเหนียวที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Ductile/Special Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงสร้างเหล็กแบบตรงศูนย์แบบพิเศษ (Special Steel Centrally Braced Frame)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับโครงสร้างเหล็กแบบเยื้องศูนย์ (Steel Eccentrically Braced Frame)	8	2.5	4	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	*

หมายเหตุ √ = ใช้ได้ x = ห้ามใช้ * = ดูหัวข้อ 2.3.1.2 ++ = ดูหัวข้อ 2.3.1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3-1 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบแทน (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d) (ต่อ)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
5. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงค้ำที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัดที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Moment Resisting Frame with Limited Ductility / Dual System with Intermediate Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบพิเศษ (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	√	√	*
6. ระบบปฏิสัมพันธ์ (Shear Wall Frame Interactive System)	ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำแพงรับแรงเฉือนและโครงต้านแรงค้ำแบบธรรมดาที่ไม่มีการให้รายละเอียดความเหนียว (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 * = ดูหัวข้อ 2.3.1.2 ++ = ดูหัวข้อ 2.3.1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.1

การตรวจสอบความไม่สม่ำเสมอของอาคาร ตึกช้าง



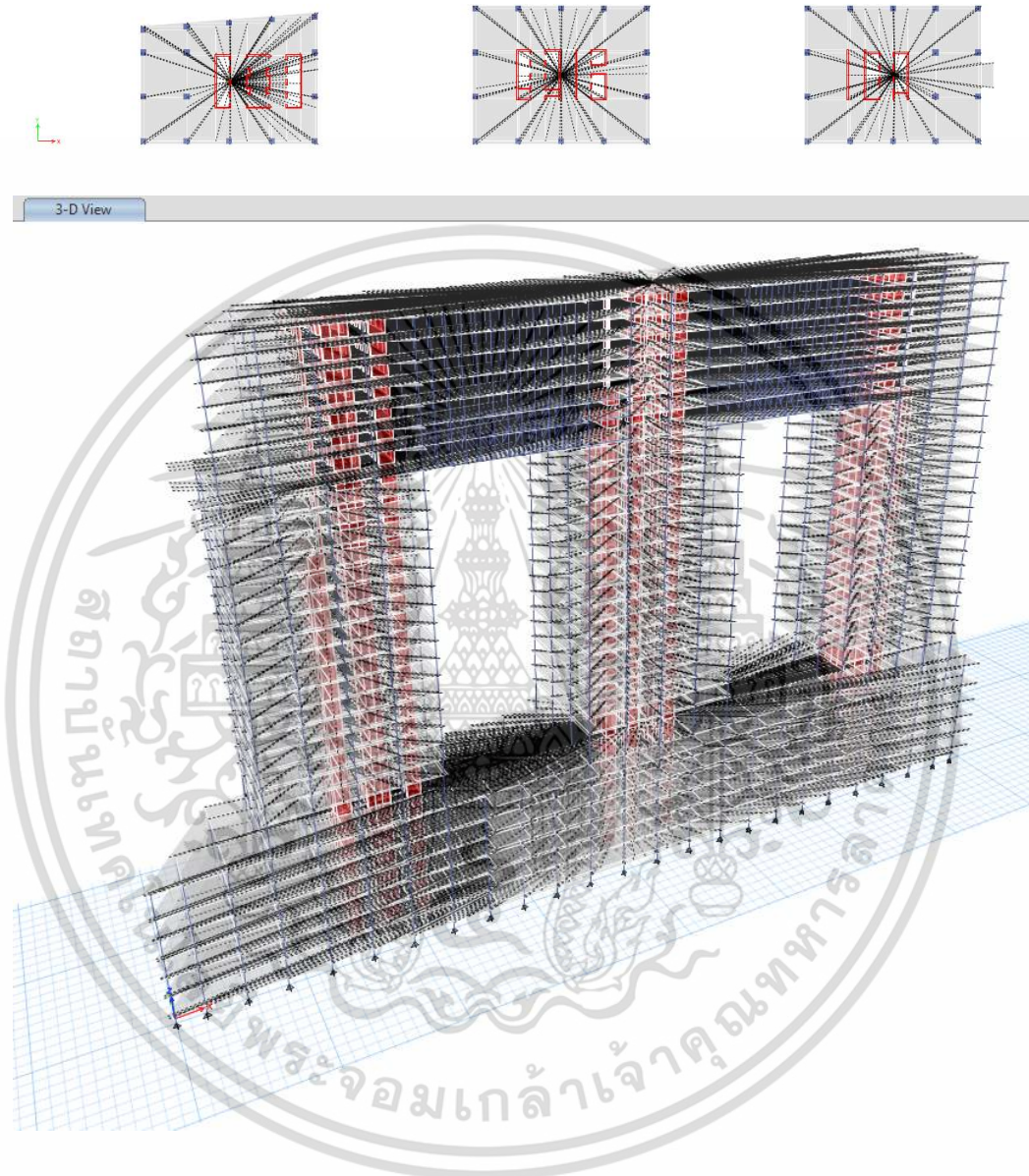
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความไม่สม่ำเสมอเชิงมวล (Mass Irregularity)

TABLE: Material List by Story	
Story	Weight
	tonf
Roof	3,427.81
L31	3,442.54
L30	3,533.65
L29	3,504.18
L28	3,720.14
L27	3,880.69
L26	4,827.52
L25	4,171.72
L24	2,748.82
L23	2,686.95
L22	2,686.95
L21	2,705.82
L20	2,734.36
L19	2,715.72
L18	2,715.72
L17	2,715.72
L16	2,715.72
L15	2,715.72
L14	2,715.72
L13	2,715.72
L12	2,715.72
L11	2,708.21
L10	2,708.21
L9	2,708.21
L8	3,848.50
L7	5,461.60
L6	5,121.53
L5	5,109.61
L4	5,104.60
L3	5,104.60
L2	5,268.81
L1	4,356.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม (Diaphragm Discontinuity Irregularity)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความไม่สม่ำเสมอของของสติฟเนส (Stiffness Story Irregularity) : X axis

TABLE: Story Stiffness							
Story	Output Case	Shear X	Drift X	Stiff X	Shear Y	Drift Y	Stiff Y
		tonf	m	tonf/m	tonf	m	tonf/m
Roof	EQX	2,162.11	0.01	193,293.78	108.27	0.00	0.00
L31	EQX	3,188.01	0.01	280,697.49	161.91	0.00	0.00
L30	EQX	3,813.74	0.01	350,409.34	198.28	0.00	0.00
L29	EQX	4,090.19	0.01	435,960.05	219.76	0.00	0.00
L28	EQX	4,170.76	0.01	677,102.01	232.92	0.00	0.00
L27	EQX	4,229.92	0.00	1,286,066.21	241.19	0.00	0.00
L26	EQX	4,434.07	0.00	893,600.62	249.40	0.00	0.00
L25	EQX	4,713.37	0.01	429,033.77	255.77	0.00	0.00
L24	EQX	4,795.28	0.02	294,060.39	256.49	0.00	0.00
L23	EQX	4,740.11	0.02	249,966.53	257.05	0.00	0.00
L22	EQX	4,571.54	0.02	219,935.19	257.73	0.00	0.00
L21	EQX	4,362.38	0.02	197,518.23	258.19	0.00	0.00
L20	EQX	4,196.88	0.02	182,998.06	258.38	0.00	0.00
L19	EQX	4,120.37	0.02	176,742.88	259.25	0.00	0.00
L18	EQX	4,111.66	0.02	174,505.97	260.92	0.00	0.00
L17	EQX	4,121.86	0.02	173,670.23	263.33	0.00	0.00
L16	EQX	4,117.43	0.02	172,201.05	266.66	0.00	0.00
L15	EQX	4,100.66	0.02	168,541.24	271.48	0.00	0.00
L14	EQX	4,095.21	0.02	164,950.89	278.68	0.00	0.00
L13	EQX	4,116.36	0.03	162,828.87	289.03	0.00	0.00
L12	EQX	4,156.72	0.03	161,750.58	302.74	0.00	0.00
L11	EQX	4,200.78	0.03	158,767.86	319.11	0.00	0.00
L10	EQX	4,251.04	0.03	155,763.68	336.97	0.00	0.00
L9	EQX	4,328.53	0.03	153,506.93	354.88	0.00	0.00
L8	EQX	4,462.45	0.06	73,788.88	374.12	0.00	0.00
L7	EQX	4,854.77	0.04	120,849.14	411.87	0.00	0.00
L6	EQX	5,162.24	0.03	172,187.90	436.53	0.00	0.00
L5	EQX	5,617.75	0.03	221,569.41	460.69	0.00	0.00
L4	EQX	6,348.54	0.02	277,653.58	487.18	0.00	0.00
L3	EQX	7,150.61	0.02	385,655.73	514.04	0.00	0.00
L2	EQX	7,787.32	0.01	578,675.53	535.54	0.00	0.00
L1	EQX	7,948.36	0.00	2,441,495.18	542.30	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไม่สม่ำเสมอของของสติฟเนส (Stiffness Story Irregularity) : Y axis

TABLE: Story Stiffness							
Story	Output Case	Shear X	Drift X	Stiff X	Shear Y	Drift Y	Stiff Y
		tonf	m	tonf/m	tonf	m	tonf/m
Roof	EQY	149.82	0.00	0.00	2,273.15	0.03	80,038.68
L31	EQY	217.70	0.00	0.00	3,410.55	0.03	118,061.01
L30	EQY	254.21	0.00	0.00	4,161.42	0.03	143,260.89
L29	EQY	263.98	0.00	0.00	4,525.54	0.03	157,583.99
L28	EQY	259.86	0.00	0.00	4,575.23	0.03	165,117.13
L27	EQY	259.40	0.00	0.00	4,387.38	0.03	172,531.18
L26	EQY	280.89	0.00	0.00	4,099.47	0.03	138,549.07
L25	EQY	318.12	0.01	0.00	4,027.39	0.03	123,840.07
L24	EQY	337.61	0.01	0.00	4,087.45	0.03	125,923.49
L23	EQY	343.43	0.01	0.00	4,207.64	0.03	128,238.77
L22	EQY	337.26	0.01	0.00	4,365.66	0.03	136,367.35
L21	EQY	324.26	0.01	0.00	4,524.83	0.03	145,231.63
L20	EQY	312.07	0.01	0.00	4,663.57	0.03	152,630.91
L19	EQY	306.13	0.01	0.00	4,780.31	0.03	159,521.57
L18	EQY	306.43	0.01	0.00	4,879.05	0.03	165,579.80
L17	EQY	309.01	0.01	0.00	4,966.09	0.03	170,727.15
L16	EQY	309.90	0.01	0.00	5,048.91	0.03	174,967.59
L15	EQY	308.07	0.01	0.00	5,132.13	0.03	178,315.46
L14	EQY	305.35	0.01	0.00	5,215.12	0.03	180,741.72
L13	EQY	304.25	0.01	0.00	5,292.60	0.03	182,245.47
L12	EQY	305.91	0.01	0.00	5,358.44	0.03	188,554.85
L11	EQY	309.92	0.01	0.00	5,410.82	0.03	189,956.92
L10	EQY	315.79	0.01	0.00	5,459.39	0.03	192,255.42
L9	EQY	324.04	0.01	0.00	5,526.40	0.03	197,683.91
L8	EQY	337.37	0.02	0.00	5,672.66	0.05	107,351.88
L7	EQY	380.74	0.01	0.00	6,726.96	0.03	201,437.02
L6	EQY	408.22	0.00	0.00	7,763.11	0.02	333,889.57
L5	EQY	434.05	0.00	0.00	8,829.54	0.02	464,048.07
L4	EQY	466.88	0.00	0.00	9,775.47	0.02	629,490.55
L3	EQY	502.90	0.00	0.00	10,479.49	0.01	878,385.18
L2	EQY	534.15	0.00	0.00	10,932.24	0.01	1,131,607.92
L1	EQY	542.27	0.00	0.00	11,048.10	0.00	3,513,018.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.2

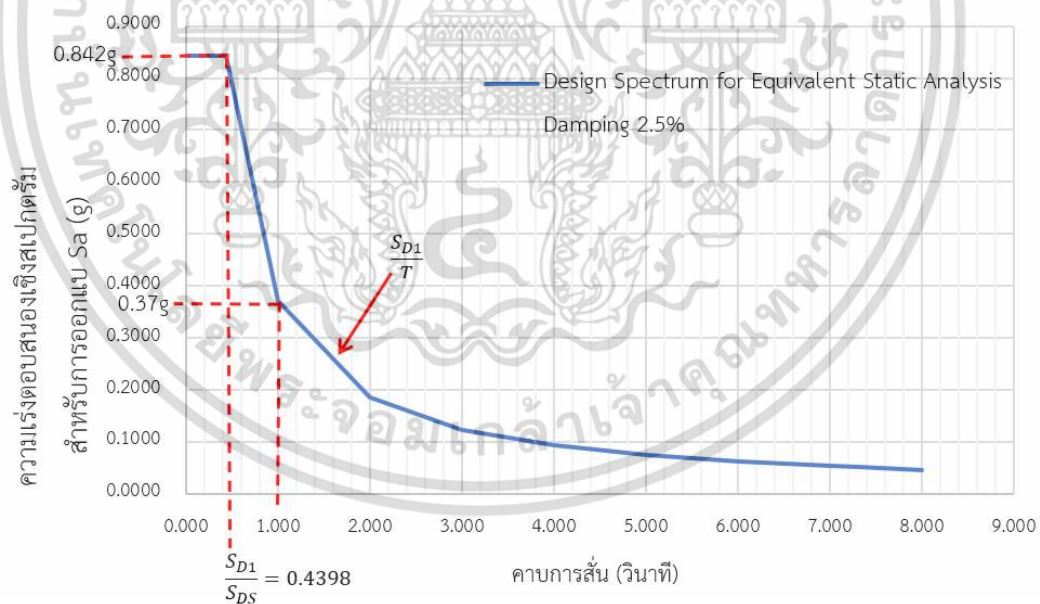
ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

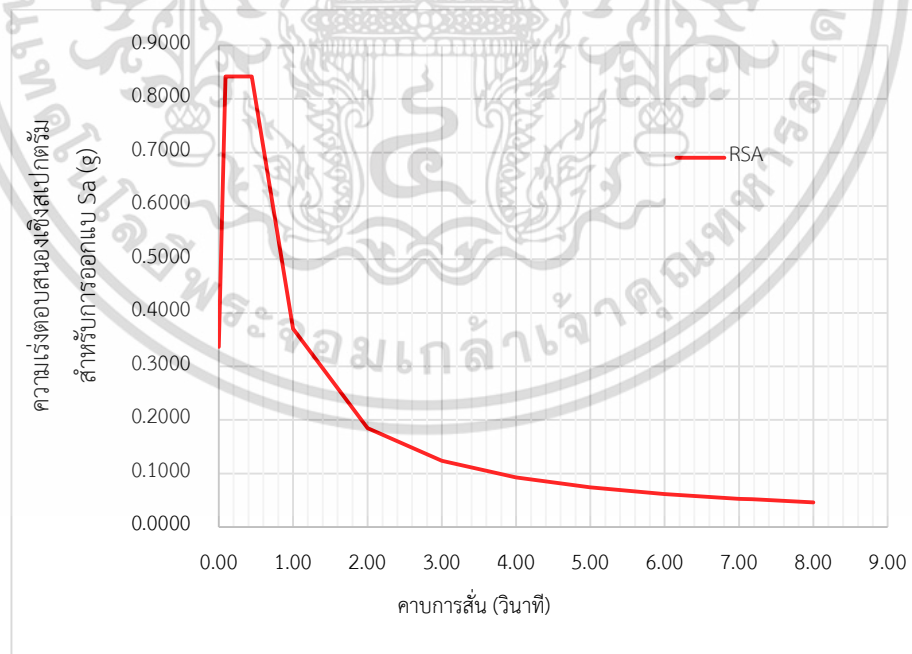
ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า		
Sa(g) (damp 5%)	Sa /0.85 (damp 2.5%)	Period(sec.)
0.7157	0.8420	0.000
0.7157	0.8420	0.440
0.3148	0.3704	1.000
0.1574	0.1852	2.000
0.1049	0.1235	3.000
0.0787	0.0926	4.000
0.0630	0.0741	5.000
0.0525	0.0617	6.000
0.0450	0.0529	7.000
0.0431	0.0507	7.300
0.0394	0.0463	8.000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบโดยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด
(RSA)

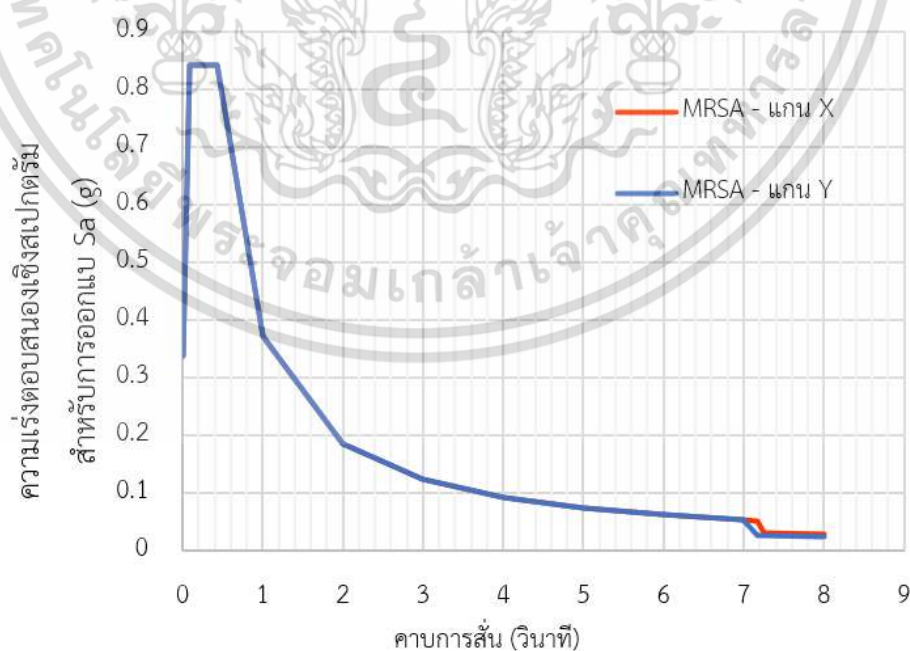
ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบโดยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบ	
Period (sec.)	Sa (g, damp5%)
0.0000	0.3368
0.0880	0.8420
0.4398	0.8420
1.0000	0.3704
2.0000	0.1852
3.0000	0.1235
4.0000	0.0926
5.0000	0.0741
6.0000	0.0617
7.0000	0.0529
7.1730	0.0516
7.2560	0.0510
8.0000	0.0463



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบโดยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด
(MRSA)

Period (sec.)	Sa (g)	Sa *I/R (g)	MRSA - X axis (g)	MRSA - Y axis (g)	Damp 2.5%	
					Sf = 1.42	Sf = 1.17
					MRSA - X axis (g)	MRSA - Y axis (g)
0.000	0.2863	0.0596	0.2863	0.2863	0.3368	0.3368
0.088	0.7157	0.1491	0.7157	0.7157	0.8420	0.8420
0.440	0.7157	0.1491	0.7157	0.7157	0.8420	0.8420
1.000	0.3148	0.0656	0.3148	0.3148	0.3704	0.3704
2.000	0.1574	0.0328	0.1574	0.1574	0.1852	0.1852
3.000	0.1049	0.0219	0.1049	0.1049	0.1235	0.1235
4.000	0.0787	0.0164	0.0787	0.0787	0.0926	0.0926
5.000	0.0630	0.0131	0.0630	0.0630	0.0741	0.0741
6.000	0.0525	0.0109	0.0525	0.0525	0.0617	0.0617
7.000	0.0450	0.0094	0.0450	0.0450	0.0529	0.0529
7.173	0.0439	0.0091	0.0439	0.0214	0.0516	0.0252
7.256	0.0434	0.0090	0.0257	0.0212	0.0302	0.0249
8.000	0.0394	0.0082	0.0233	0.0192	0.0274	0.0226



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1

ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Effective Modal Weight, หรือ Modal Participation)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Effective Modal Weight, หรือ Modal Participation)						
Case	Mode	Period(sec.)	UX	UY	Sum UX	Sum UY
Modal	1	7.26	0.687	0.024	0.687	0.024
Modal	2	7.17	0.032	0.327	0.719	0.350
Modal	3	5.33	0.002	0.275	0.720	0.625
Modal	4	1.74	0.099	0.000	0.819	0.626
Modal	5	1.57	0.000	0.040	0.820	0.666
Modal	6	1.42	0.000	0.014	0.820	0.680
Modal	7	1.35	0.015	0.001	0.835	0.681
Modal	8	1.28	0.000	0.067	0.835	0.748
Modal	9	1.13	0.000	0.022	0.835	0.770
Modal	10	1.11	0.001	0.001	0.836	0.771
Modal	11	0.98	0.000	0.008	0.836	0.778
Modal	12	0.84	0.039	0.001	0.875	0.779
Modal	13	0.83	0.003	0.008	0.879	0.787
Modal	14	0.68	0.000	0.005	0.879	0.792
Modal	15	0.62	0.001	0.026	0.880	0.818
Modal	16	0.62	0.020	0.002	0.900	0.820
Modal	17	0.57	0.000	0.027	0.900	0.846
Modal	18	0.56	0.000	0.007	0.900	0.854
Modal	19	0.53	0.000	0.002	0.900	0.855
Modal	20	0.45	0.000	0.002	0.900	0.858
Modal	21	0.45	0.000	0.000	0.901	0.858
Modal	22	0.44	0.000	0.001	0.901	0.859
Modal	23	0.42	0.019	0.000	0.920	0.859
Modal	24	0.39	0.000	0.001	0.920	0.859
Modal	25	0.38	0.000	0.018	0.920	0.877
Modal	26	0.37	0.000	0.005	0.920	0.882
Modal	27	0.36	0.000	0.005	0.920	0.887
Modal	28	0.34	0.000	0.009	0.920	0.895
Modal	29	0.33	0.003	0.000	0.923	0.895
Modal	30	0.31	0.000	0.005	0.923	0.900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

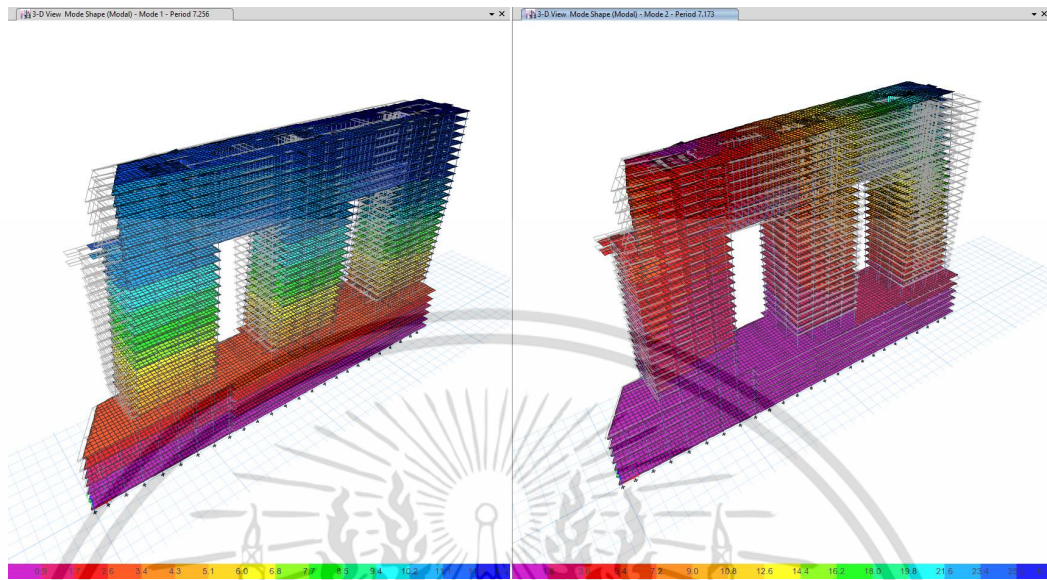
ภาคผนวก ค.2

คาบธรรมชาติ (NATURAL FREQUENCY)

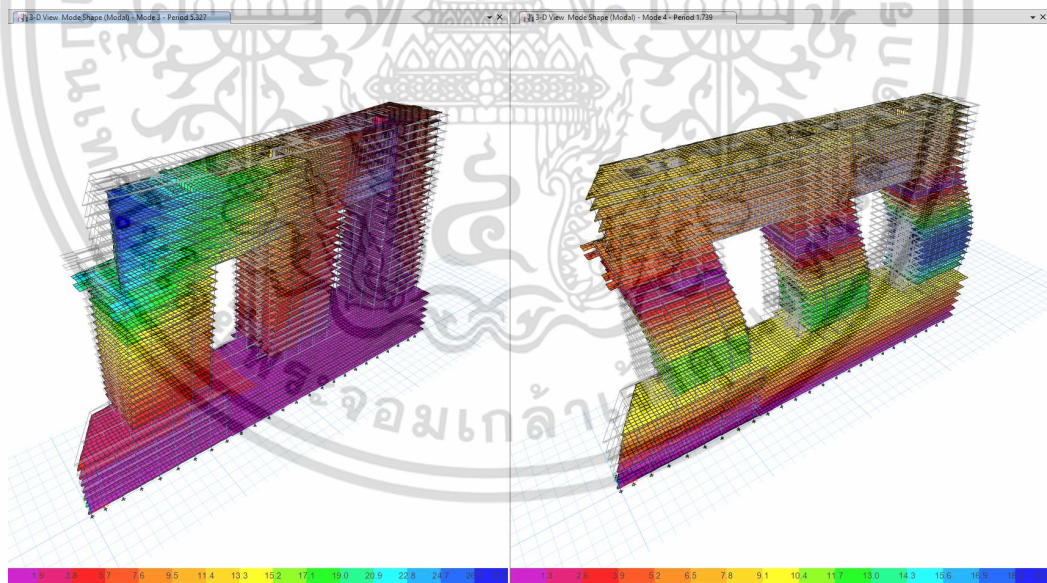


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2

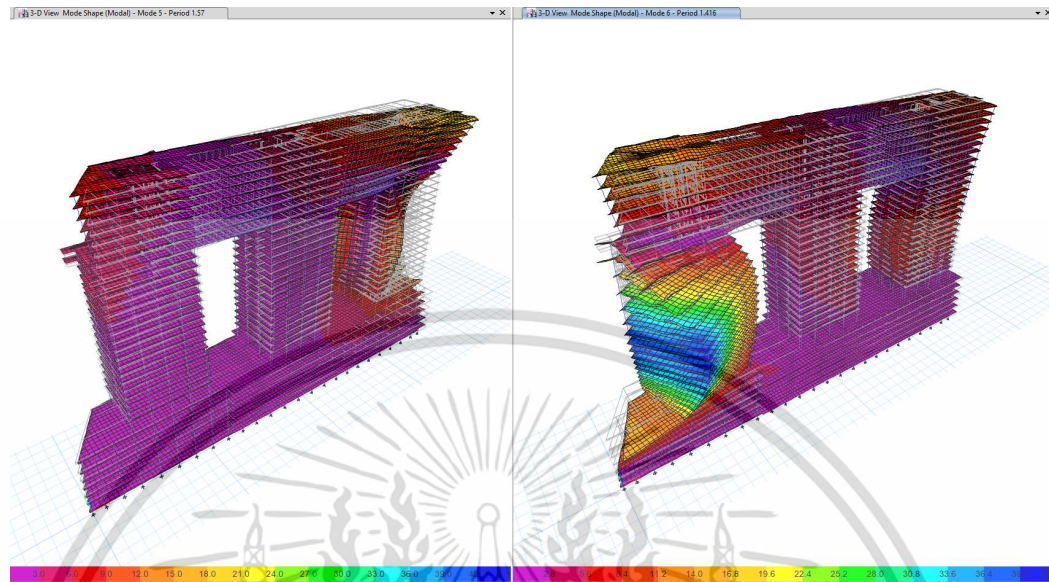


โหมดที่ 3 และ โหมดที่ 4

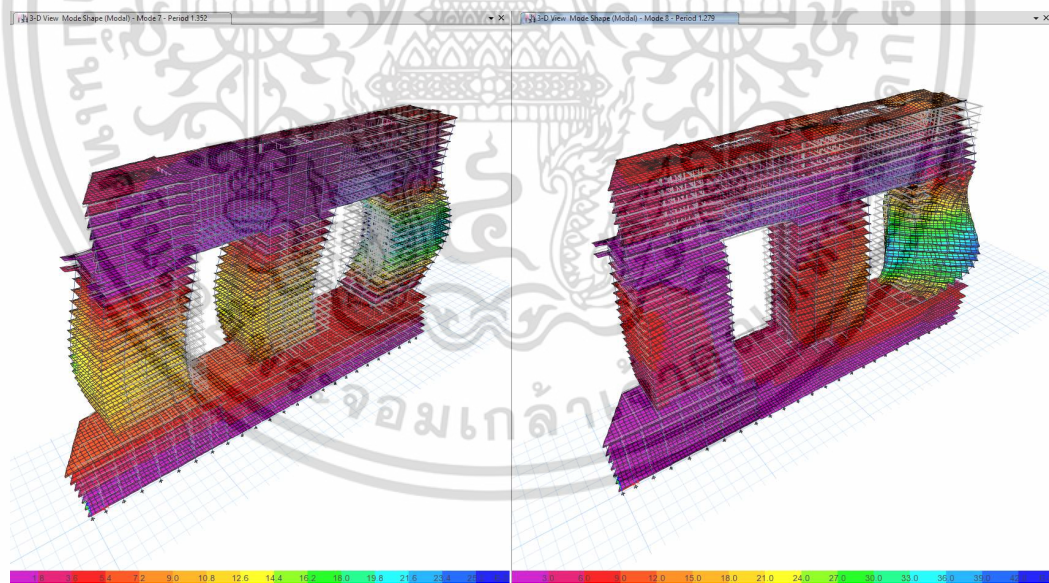


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดที่ 5 และ โหมดที่ 6

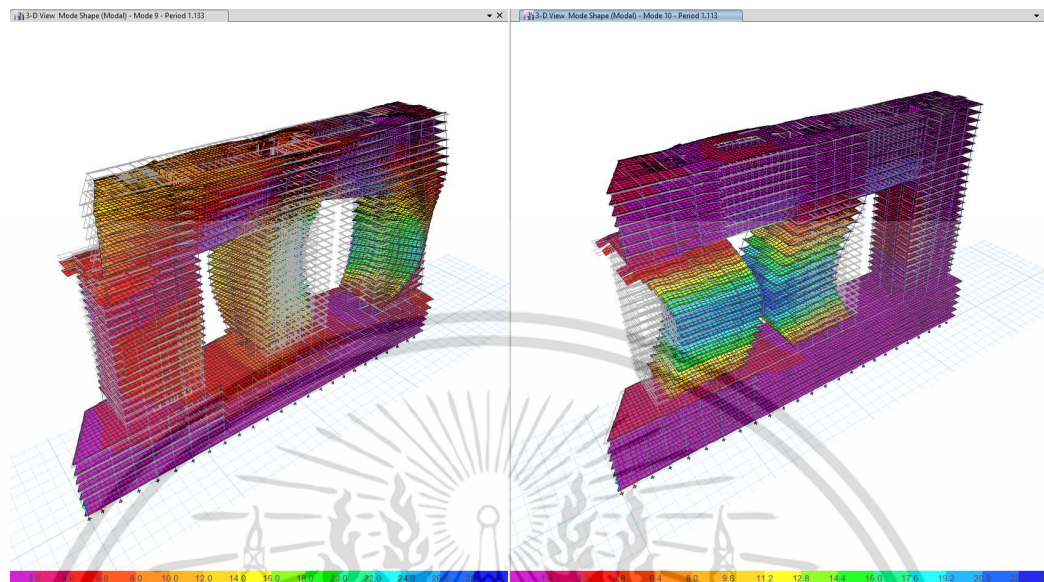


โหมดที่ 7 และ โหมดที่ 8

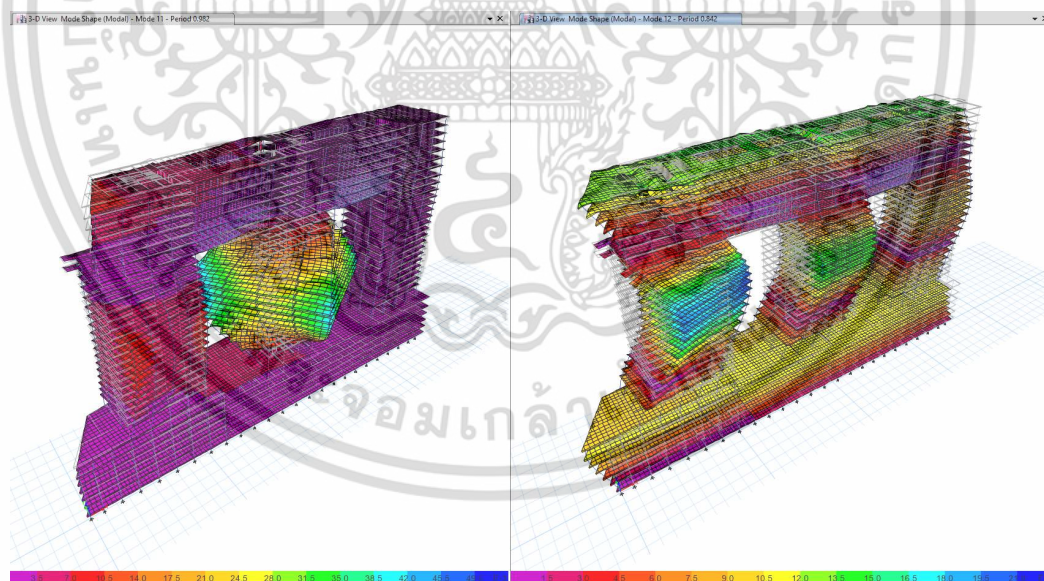


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดที่ 9 และ โหมดที่ 10

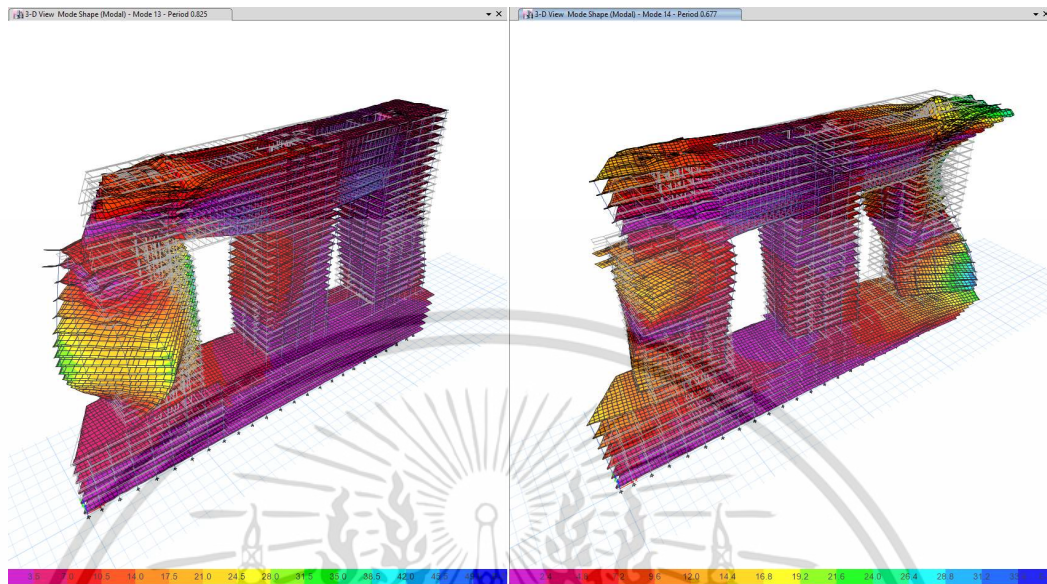


โหมดที่ 11 และ โหมดที่ 12

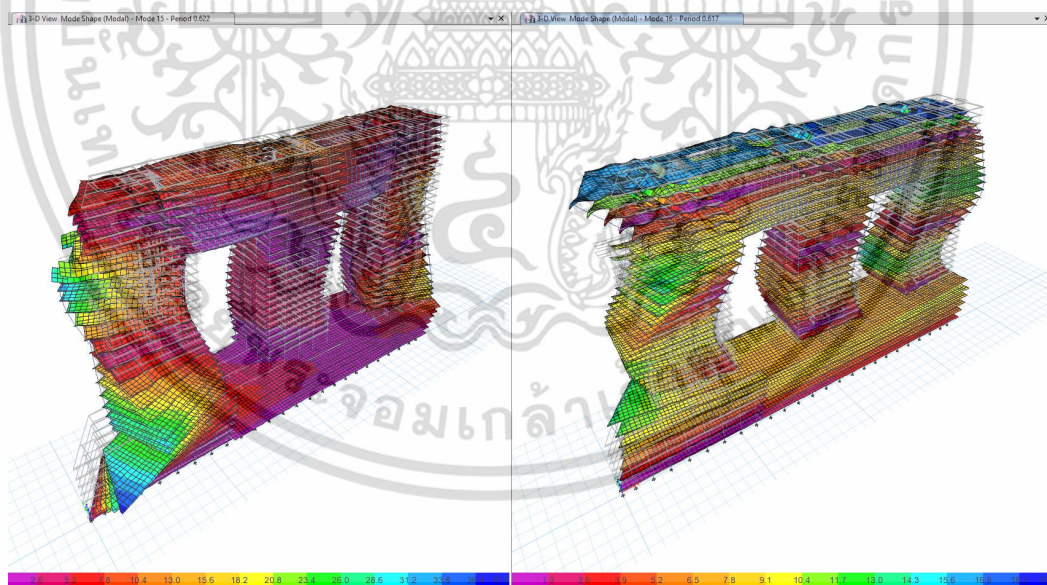


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดที่ 13 และ โหมดที่ 14

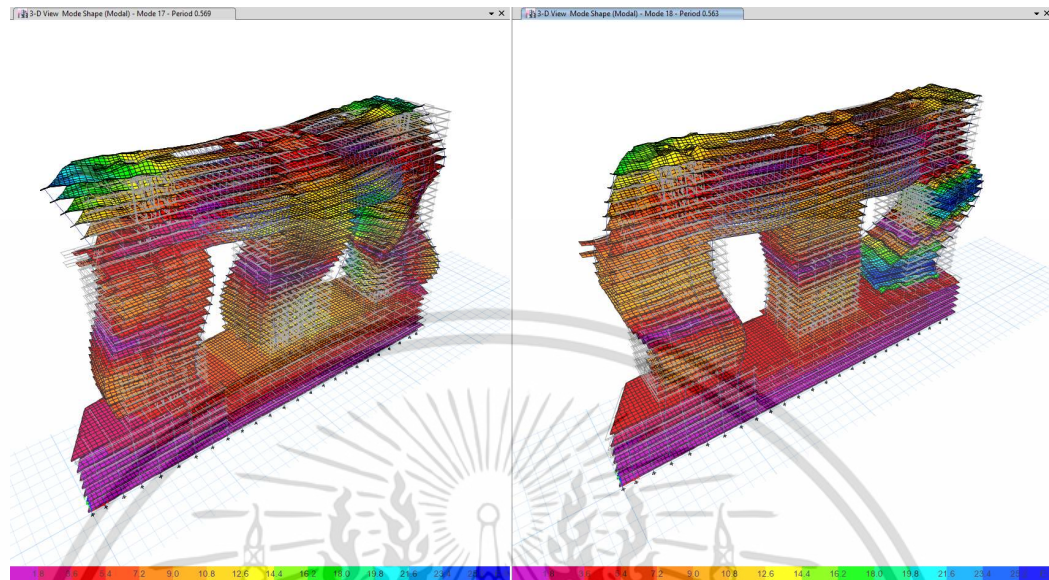


โหมดที่ 15 และ โหมดที่ 16

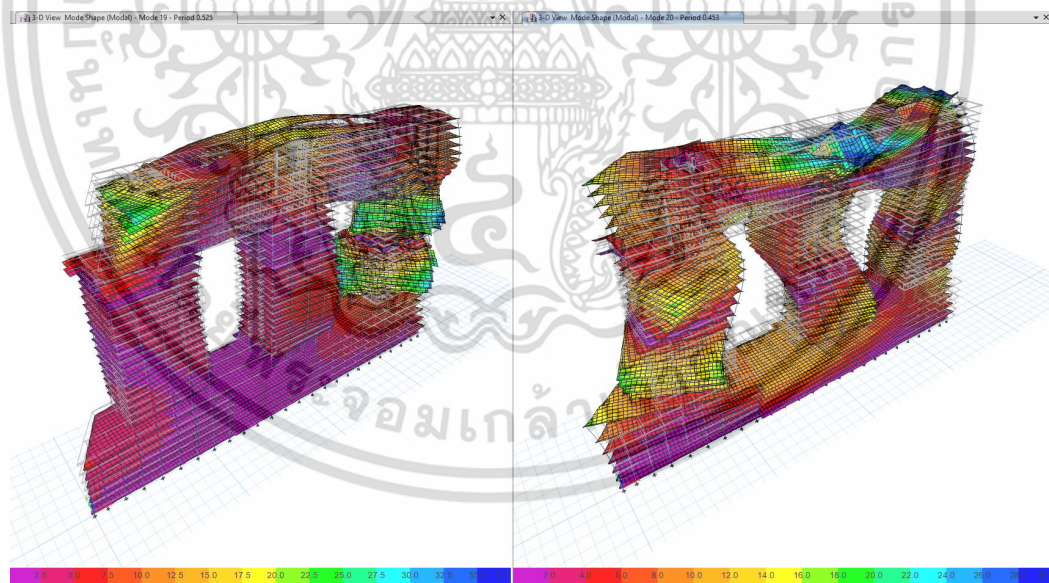


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดที่ 17 และ โหมดที่ 18

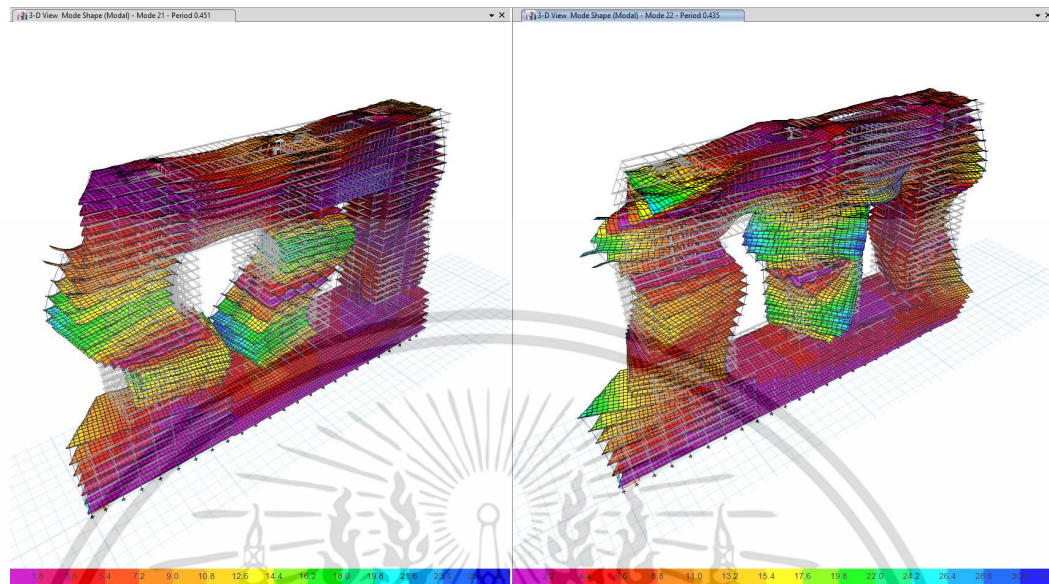


โหมดที่ 19 และ โหมดที่ 20

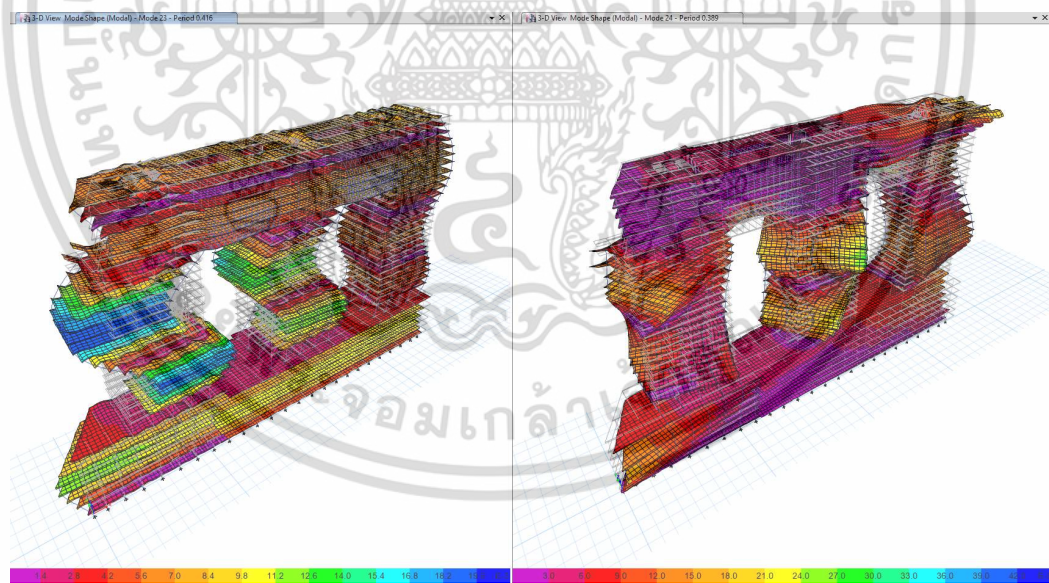


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดที่ 21 และ โหมดที่ 22

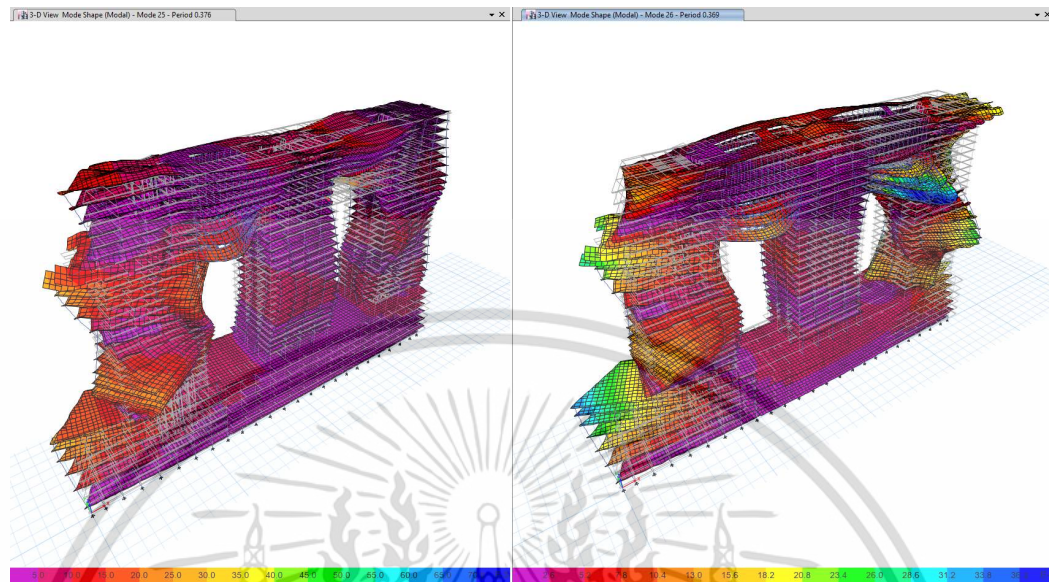


โหมดที่ 23 และ โหมดที่ 24

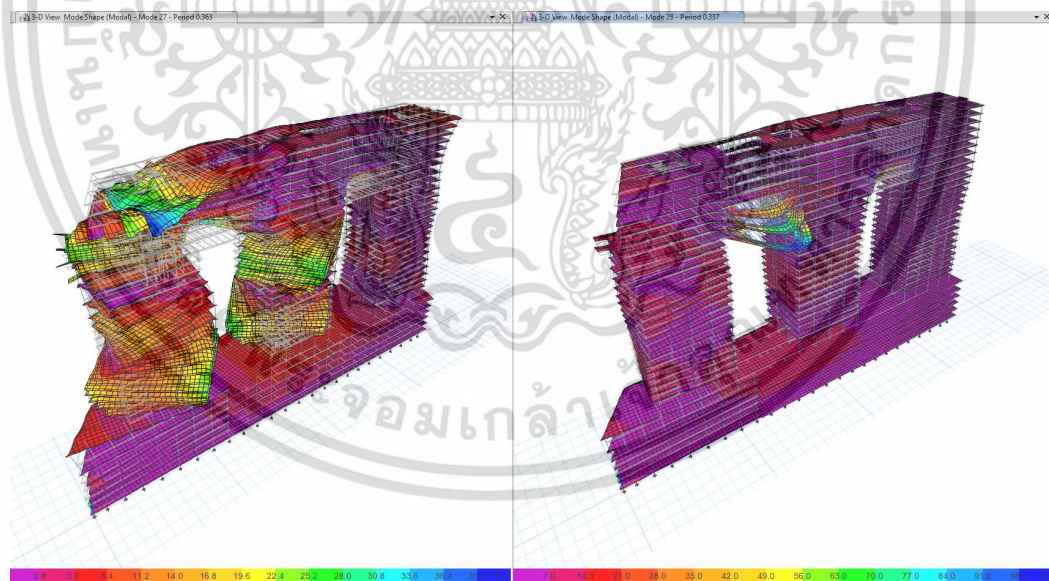


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดที่ 25 และ โหมดที่ 26

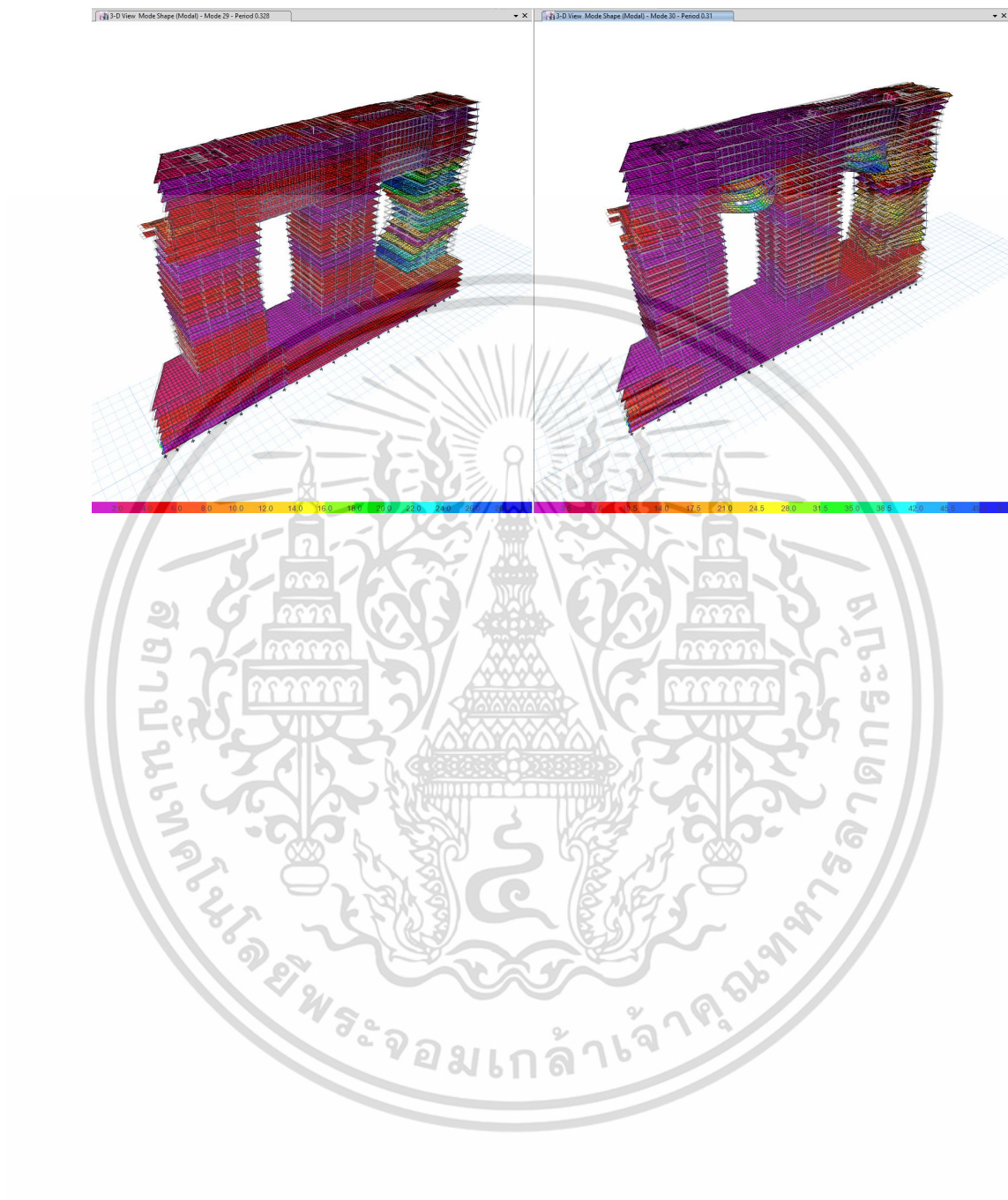


โหมดที่ 27 และ โหมดที่ 28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดที่ 29 และ โหมดที่ 30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3-1

ค่าแรงเดือนที่ฐานต่อชั้น วิธีแรงสถิติเทียบเท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOOR	EQX		Force /0.85/Mass (damp2.5%)	EQY		Force /0.85/Mass (damp2.5%)
32	Roof	345.61	0.0027	Roof	345.61	0.0027
31	L31	574.28	0.0045	L31	574.28	0.0045
30	L30	802.66	0.0063	L30	802.66	0.0063
29	L29	1019.47	0.0079	L29	1019.47	0.0079
28	L28	1235.54	0.0096	L28	1235.54	0.0096
27	L27	1450.50	0.0113	L27	1450.50	0.0113
26	L26	1701.15	0.0133	L26	1701.15	0.0133
25	L25	1936.37	0.0151	L25	1936.37	0.0151
24	L24	2075.94	0.0162	L24	2075.94	0.0162
23	L23	2206.79	0.0172	L23	2206.79	0.0172
22	L22	2332.50	0.0182	L22	2332.50	0.0182
21	L21	2453.60	0.0191	L21	2453.60	0.0191
20	L20	2570.42	0.0200	L20	2570.42	0.0200
19	L19	2681.31	0.0209	L19	2681.31	0.0209
18	L18	2787.03	0.0217	L18	2787.03	0.0217
17	L17	2887.58	0.0225	L17	2887.58	0.0225
16	L16	2982.96	0.0232	L16	2982.96	0.0232
15	L15	3073.17	0.0239	L15	3073.17	0.0239
14	L14	3158.21	0.0246	L14	3158.21	0.0246
13	L13	3238.07	0.0252	L13	3238.07	0.0252
12	L12	3312.77	0.0258	L12	3312.77	0.0258
11	L11	3382.07	0.0264	L11	3382.07	0.0264
10	L10	3446.22	0.0269	L10	3446.22	0.0269
9	L9	3505.22	0.0273	L9	3505.22	0.0273
8	L8	3570.17	0.0278	L8	3570.17	0.0278
7	L7	3698.29	0.0288	L7	3698.29	0.0288
6	L6	3757.17	0.0293	L6	3757.17	0.0293
5	L5	3804.12	0.0296	L5	3804.12	0.0296
4	L4	3840.88	0.0299	L4	3840.88	0.0299
3	L3	3867.40	0.0301	L3	3867.40	0.0301
2	L2	3886.04	0.0303	L2	3886.04	0.0303
1	L1	3891.48	0.0303	L1	3891.48	0.0303

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3-2

คำแรงเฉือนที่ฐานตอชั้น วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Floor level	Load Case/Combo	VX(TON)	Vtx/H (TON/Floor)	Load Case/Combo	VY(TON)	Vty/H (TON/Floor)
32	EQX	2164.73	0.014	EQY	2273.70	0.015
31	EQX	3191.82	0.021	EQY	3411.35	0.023
30	EQX	3818.15	0.025	EQY	4162.38	0.028
29	EQX	4094.66	0.027	EQY	4526.58	0.030
28	EQX	4174.92	0.028	EQY	4576.26	0.030
27	EQX	4233.73	0.028	EQY	4388.18	0.029
26	EQX	4437.88	0.029	EQY	4099.97	0.027
25	EQX	4717.58	0.031	EQY	4027.87	0.027
24	EQX	4799.61	0.032	EQY	4088.07	0.027
23	EQX	4744.56	0.031	EQY	4208.34	0.028
22	EQX	4576.25	0.030	EQY	4366.42	0.029
21	EQX	4367.50	0.029	EQY	4525.67	0.030
20	EQX	4202.48	0.028	EQY	4664.52	0.031
19	EQX	4126.29	0.027	EQY	4781.34	0.032
18	EQX	4117.70	0.027	EQY	4880.11	0.032
17	EQX	4127.91	0.027	EQY	4967.14	0.033
16	EQX	4123.58	0.027	EQY	5049.88	0.033
15	EQX	4107.05	0.027	EQY	5132.98	0.034
14	EQX	4101.93	0.027	EQY	5215.83	0.035
13	EQX	4123.35	0.027	EQY	5293.17	0.035
12	EQX	4163.86	0.028	EQY	5358.90	0.035
11	EQX	4208.03	0.028	EQY	5411.25	0.036
10	EQX	4258.40	0.028	EQY	5459.86	0.036
9	EQX	4335.96	0.029	EQY	5527.01	0.037
8	EQX	4469.83	0.030	EQY	5673.47	0.038
7	EQX	4861.81	0.032	EQY	6727.98	0.045
6	EQX	5169.42	0.034	EQY	7764.21	0.051
5	EQX	5625.07	0.037	EQY	8830.73	0.058
4	EQX	6355.61	0.042	EQY	9776.78	0.065
3	EQX	7157.19	0.047	EQY	10480.92	0.069
2	EQX	7793.54	0.052	EQY	10933.78	0.072
1	EQX	7954.52	0.053	EQY	11049.55	0.073

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3-3

ค่าแรงเดือนที่ฐานต่อชั้น

วิธีวิเคราะห์วิเคราะห์เชิงเส้นแบบประวัตืเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHEAR FORCE - EQX (1/2)

Floor	Ele.	CASE	MODEL1	MODEL2	MODEL3	MODEL4
32	128	EQX	394.25	412.80	721.53	677.41
31	123.3	EQX	534.90	495.70	857.94	866.03
30	119.6	EQX	590.65	562.68	835.29	988.32
29	115.9	EQX	617.11	692.74	892.39	882.82
28	112.2	EQX	758.36	760.96	888.16	898.92
27	108.5	EQX	972.44	787.92	967.15	766.28
26	104.8	EQX	1247.07	865.95	1002.00	788.35
25	100.3	EQX	1431.25	891.93	1079.17	938.55
24	96.6	EQX	1404.94	824.29	1062.01	978.68
23	92.9	EQX	1286.58	672.50	949.61	938.16
22	89.2	EQX	1090.94	661.72	797.88	802.61
21	85.5	EQX	1079.75	661.68	740.04	739.10
20	81.8	EQX	1232.89	751.93	843.41	777.41
19	78.1	EQX	1281.09	826.74	900.91	707.10
18	74.4	EQX	1299.13	764.62	830.73	803.17
17	70.7	EQX	1248.31	678.52	924.16	828.73
16	67	EQX	1085.28	696.73	948.00	803.14
15	63.3	EQX	878.18	757.70	851.89	882.05
14	59.6	EQX	903.77	777.33	885.98	889.24
13	55.9	EQX	1180.70	922.39	1122.94	864.52
12	52.2	EQX	1308.14	804.10	1084.99	735.29
11	48.5	EQX	1432.65	732.75	833.07	645.47
10	44.8	EQX	1420.67	891.82	1069.37	749.96
9	41.1	EQX	1214.55	1017.08	1149.36	829.98
8	37.4	EQX	1003.97	811.56	1003.71	956.03
7	29.65	EQX	1809.66	1160.61	1356.35	1099.54
6	24	EQX	1621.89	1350.88	1220.63	850.82
5	19.4	EQX	1554.15	1368.81	1135.75	701.15
4	14.9	EQX	1309.02	997.49	1198.44	810.82
3	10.4	EQX	1616.84	1172.83	1485.10	1154.75
2	5.9	EQX	2275.44	1987.32	2141.84	1622.89
1	0.9	EQX	2751.19	2363.47	2455.30	1928.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHEAR FORCE - EQX (2/2)

Floor	Ele.	CASE	MODEL5	MODEL6	MODEL7	AVG.	Vt/W
32	128	EQX	1059.89	817.44	468.69	765.04	0.0051
31	123.3	EQX	1482.89	1133.00	588.99	1001.59	0.0066
30	119.6	EQX	1610.16	1353.01	643.41	1106.47	0.0073
29	115.9	EQX	1487.29	1430.55	575.24	1105.57	0.0073
28	112.2	EQX	1345.15	1420.59	587.84	1119.32	0.0074
27	108.5	EQX	1205.54	1488.86	641.88	1147.91	0.0076
26	104.8	EQX	1251.15	1462.71	617.13	1215.86	0.0081
25	100.3	EQX	1356.09	1298.07	572.77	1271.91	0.0084
24	96.6	EQX	1347.59	1192.57	493.08	1227.42	0.0081
23	92.9	EQX	1254.40	1163.26	472.44	1132.26	0.0075
22	89.2	EQX	1065.06	1084.89	431.40	997.39	0.0066
21	85.5	EQX	1278.08	1206.36	481.25	1039.71	0.0069
20	81.8	EQX	1557.68	1490.12	546.13	1210.01	0.0080
19	78.1	EQX	1720.44	1656.42	591.77	1291.51	0.0086
18	74.4	EQX	1720.59	1674.75	535.90	1282.17	0.0085
17	70.7	EQX	1518.32	1562.70	539.84	1226.99	0.0081
16	67	EQX	1117.74	1314.51	480.01	1083.26	0.0072
15	63.3	EQX	900.96	1047.64	482.26	974.90	0.0065
14	59.6	EQX	1002.61	797.98	563.59	978.23	0.0065
13	55.9	EQX	1254.43	905.14	602.90	1151.77	0.0076
12	52.2	EQX	1342.86	1085.39	518.58	1156.20	0.0077
11	48.5	EQX	1281.05	1133.71	629.45	1124.06	0.0074
10	44.8	EQX	1347.83	1200.62	688.08	1238.38	0.0082
9	41.1	EQX	1452.55	1237.83	698.15	1277.23	0.0085
8	37.4	EQX	1594.08	1168.72	622.52	1203.46	0.0080
7	29.65	EQX	1386.56	1372.53	818.71	1513.27	0.0100
6	24	EQX	1669.30	1590.71	641.31	1503.45	0.0100
5	19.4	EQX	1545.15	1670.10	620.16	1444.58	0.0096
4	14.9	EQX	1844.51	1874.51	891.44	1500.21	0.0099
3	10.4	EQX	2264.75	1978.88	850.65	1768.70	0.0117
2	5.9	EQX	2918.56	2512.84	1260.48	2473.84	0.0164
1	0.9	EQX	3160.75	2664.60	1477.75	2823.82	0.0187

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHEAR FORCE - EQY (1/2)

Floor	Ele.	CASE	MODEL1	MODEL2	MODEL3	MODEL4
32	128	EQY	737.69	953.20	612.96	823.87
31	123.3	EQY	1042.05	1358.79	871.59	1104.04
30	119.6	EQY	1248.16	1587.66	1077.63	1238.68
29	115.9	EQY	1304.39	1537.21	1205.50	1257.22
28	112.2	EQY	1347.01	1392.07	1172.67	1113.60
27	108.5	EQY	1321.86	1352.62	965.79	959.09
26	104.8	EQY	1295.77	1443.45	966.56	840.32
25	100.3	EQY	1496.33	1239.45	785.55	807.46
24	96.6	EQY	1571.76	1422.50	729.26	727.87
23	92.9	EQY	1575.87	1460.18	894.25	827.67
22	89.2	EQY	1550.32	1368.08	1024.88	955.99
21	85.5	EQY	1471.96	1402.50	1128.20	1080.23
20	81.8	EQY	1306.79	1488.42	1221.74	1148.76
19	78.1	EQY	1244.19	1419.28	1287.28	1136.14
18	74.4	EQY	1303.13	1209.95	1315.57	1126.31
17	70.7	EQY	1473.88	1221.62	1323.77	1212.94
16	67	EQY	1650.02	1288.86	1386.71	1248.26
15	63.3	EQY	1849.75	1390.86	1460.70	1228.00
14	59.6	EQY	1958.04	1428.72	1489.24	1182.67
13	55.9	EQY	1971.27	1366.00	1460.85	1148.04
12	52.2	EQY	1895.04	1310.05	1371.73	1189.77
11	48.5	EQY	1784.53	1263.56	1224.10	1139.74
10	44.8	EQY	1668.00	1339.43	1123.43	983.92
9	41.1	EQY	1635.77	1340.05	1149.16	879.70
8	37.4	EQY	1685.14	1290.52	1097.42	976.50
7	29.65	EQY	1810.50	1736.71	1458.40	1589.26
6	24	EQY	2007.82	1833.30	1783.69	1771.97
5	19.4	EQY	2192.91	1959.39	2045.53	1816.42
4	14.9	EQY	2348.63	2605.69	2368.79	2076.60
3	10.4	EQY	2510.76	3030.10	2599.48	2241.46
2	5.9	EQY	2699.12	3292.20	2869.29	2461.08
1	0.9	EQY	2757.39	3396.36	2950.34	2598.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHEAR FORCE - EQY (2/2)

Floor	Ele.	CASE	MODEL5	MODEL6	MODEL7	AVG.	Vt/W
32	128	EQY	826.95	568.16	575.34	856.84	0.0057
31	123.3	EQY	1059.01	785.01	778.79	1176.35	0.0078
30	119.6	EQY	1184.80	830.87	878.73	1352.36	0.0090
29	115.9	EQY	1285.02	888.50	943.84	1415.41	0.0094
28	112.2	EQY	1095.63	969.75	995.12	1358.96	0.0090
27	108.5	EQY	1136.60	1065.56	961.21	1304.66	0.0086
26	104.8	EQY	1114.85	1164.66	823.71	1285.60	0.0085
25	100.3	EQY	1023.94	1158.26	689.98	1210.25	0.0080
24	96.6	EQY	1001.48	1146.67	662.09	1220.44	0.0081
23	92.9	EQY	968.80	1102.33	680.76	1262.16	0.0084
22	89.2	EQY	970.86	1010.01	734.69	1279.80	0.0085
21	85.5	EQY	1015.51	904.75	787.66	1309.38	0.0087
20	81.8	EQY	1165.53	893.27	815.04	1351.19	0.0089
19	78.1	EQY	1257.26	964.69	853.47	1371.82	0.0091
18	74.4	EQY	1280.66	1002.16	871.78	1362.95	0.0090
17	70.7	EQY	1430.32	977.20	929.07	1440.13	0.0095
16	67	EQY	1476.69	1006.67	949.84	1513.79	0.0100
15	63.3	EQY	1427.92	991.01	972.26	1566.47	0.0104
14	59.6	EQY	1376.38	949.77	945.95	1568.20	0.0104
13	55.9	EQY	1302.91	1014.06	913.59	1542.31	0.0102
12	52.2	EQY	1317.29	1046.67	859.98	1511.01	0.0100
11	48.5	EQY	1324.24	1056.30	789.74	1442.39	0.0096
10	44.8	EQY	1262.10	1078.81	705.46	1371.62	0.0091
9	41.1	EQY	1353.38	1191.85	745.81	1394.24	0.0092
8	37.4	EQY	1432.23	1349.93	836.83	1456.90	0.0096
7	29.65	EQY	1396.39	1523.96	982.08	1764.25	0.0117
6	24	EQY	1692.86	1662.13	1175.91	2004.65	0.0133
5	19.4	EQY	2025.78	1677.19	1479.70	2217.97	0.0147
4	14.9	EQY	2404.17	1825.67	1701.33	2576.62	0.0171
3	10.4	EQY	2970.88	2051.49	1766.47	2885.82	0.0191
2	5.9	EQY	3516.77	2266.27	1919.72	3197.39	0.0212
1	0.9	EQY	3676.22	2447.41	1984.66	3329.54	0.0220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4-1

ค่าการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น วิธีแรงสถิตเทียบเท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Displacement Static : inelastic

Height	Floor	DIS. (m.)	x Cd/i	MAX Disp./H (X-axis)	DIS. (m.)	x Cd/i	MAX Disp./H (Y-axis)
128	Roof	0.39776	1.90926	0.01755	0.54844	2.63250	0.02420
123.3	L31	0.39525	1.89721	0.01744	0.53114	2.54949	0.02343
119.6	L30	0.39289	1.88586	0.01733	0.51353	2.46496	0.02266
115.9	L29	0.39066	1.87518	0.01724	0.49570	2.37938	0.02187
112.2	L28	0.38873	1.86589	0.01715	0.47779	2.29341	0.02108
108.5	L27	0.38719	1.85850	0.01708	0.45991	2.20759	0.02029
104.8	L26	0.38637	1.85459	0.01705	0.44204	2.12178	0.01950
100.3	L25	0.38527	1.84928	0.01700	0.42008	2.01637	0.01853
96.6	L24	0.38100	1.82880	0.01681	0.40178	1.92853	0.01773
92.9	L23	0.37451	1.79766	0.01652	0.38323	1.83952	0.01691
89.2	L22	0.36636	1.75851	0.01616	0.36449	1.74957	0.01608
85.5	L21	0.35661	1.71175	0.01573	0.34558	1.65877	0.01525
81.8	L20	0.34541	1.65796	0.01524	0.32650	1.56719	0.01440
78.1	L19	0.33288	1.59785	0.01469	0.30727	1.47487	0.01356
74.4	L18	0.31918	1.53205	0.01408	0.28791	1.38195	0.01270
70.7	L17	0.30441	1.46117	0.01343	0.26845	1.28858	0.01184
67	L16	0.28869	1.38570	0.01274	0.24895	1.19498	0.01098
63.3	L15	0.27211	1.30613	0.01200	0.22947	1.10143	0.01012
59.6	L14	0.25477	1.22291	0.01124	0.21005	1.00826	0.00927
55.9	L13	0.23676	1.13646	0.01045	0.19080	0.91584	0.00842
52.2	L12	0.21817	1.04721	0.00963	0.17178	0.82456	0.00758
48.5	L11	0.19939	0.95705	0.00880	0.15310	0.73489	0.00675
44.8	L10	0.18018	0.86487	0.00795	0.13485	0.64729	0.00595
41.1	L9	0.16054	0.77057	0.00708	0.11713	0.56220	0.00517
37.4	L8	0.14046	0.67421	0.00620	0.10002	0.48008	0.00441
29.65	L7	0.09801	0.47047	0.00432	0.06847	0.32866	0.00302
24	L6	0.07004	0.33619	0.00309	0.04786	0.22973	0.00211
19.4	L5	0.04999	0.23994	0.00221	0.03343	0.16048	0.00147
14.9	L4	0.03317	0.15920	0.00146	0.02165	0.10390	0.00095
10.4	L3	0.01925	0.09242	0.00085	0.01233	0.05917	0.00054
5.9	L2	0.00888	0.04260	0.00039	0.00572	0.02747	0.00025
0.9	L1	0.00888	0.04260	0.00039	0.00132	0.00634	0.00006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4-2

คำการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Displacement RSA : inelastic

Ele.	CASE	Max. Disp.	DisX*Cd/l	DisX/H	CASE	Max. Disp.	DisY*Cd/l	DisY/H
128	EQX	0.20713	0.82853	0.00536	EQY	0.26074	1.04296	0.00819
123.3	EQX	0.20578	0.82312	0.00533	EQY	0.25232	1.00929	0.00793
119.6	EQX	0.20452	0.81808	0.00530	EQY	0.24380	0.97518	0.00766
115.9	EQX	0.20337	0.81349	0.00527	EQY	0.23525	0.94102	0.00739
112.2	EQX	0.20239	0.80957	0.00524	EQY	0.22685	0.90739	0.00713
108.5	EQX	0.20162	0.80648	0.00522	EQY	0.21869	0.87475	0.00687
104.8	EQX	0.20123	0.80492	0.00521	EQY	0.21073	0.84292	0.00662
100.3	EQX	0.20065	0.80261	0.00520	EQY	0.20105	0.80422	0.00632
96.6	EQX	0.19848	0.79390	0.00514	EQY	0.19292	0.77168	0.00606
92.9	EQX	0.19516	0.78066	0.00505	EQY	0.18465	0.73859	0.00580
89.2	EQX	0.19101	0.76405	0.00495	EQY	0.17632	0.70529	0.00554
85.5	EQX	0.18607	0.74428	0.00482	EQY	0.16798	0.67191	0.00528
81.8	EQX	0.18041	0.72162	0.00467	EQY	0.15960	0.63842	0.00502
78.1	EQX	0.17409	0.69635	0.00451	EQY	0.15117	0.60468	0.00475
74.4	EQX	0.16718	0.66873	0.00433	EQY	0.14265	0.57058	0.00448
70.7	EQX	0.16000	0.64001	0.00414	EQY	0.13400	0.53600	0.00421
67	EQX	0.15265	0.61059	0.00395	EQY	0.12521	0.50084	0.00393
63.3	EQX	0.14484	0.57935	0.00375	EQY	0.11626	0.46504	0.00365
59.6	EQX	0.13657	0.54627	0.00354	EQY	0.10715	0.42859	0.00337
55.9	EQX	0.12783	0.51133	0.00331	EQY	0.09788	0.39153	0.00308
52.2	EQX	0.11864	0.47454	0.00307	EQY	0.08850	0.35398	0.00278
48.5	EQX	0.10899	0.43596	0.00282	EQY	0.07904	0.31614	0.00248
44.8	EQX	0.09893	0.39570	0.00256	EQY	0.06959	0.27835	0.00219
41.1	EQX	0.08848	0.35393	0.00229	EQY	0.06026	0.24102	0.00189
37.4	EQX	0.07769	0.31076	0.00201	EQY	0.05119	0.20477	0.00161
29.65	EQX	0.05479	0.21915	0.00142	EQY	0.03568	0.14272	0.00112
24	EQX	0.03977	0.15908	0.00103	EQY	0.02512	0.10050	0.00079
19.4	EQX	0.02892	0.11568	0.00075	EQY	0.01777	0.07107	0.00056
14.9	EQX	0.01962	0.07848	0.00051	EQY	0.01169	0.04676	0.00037
10.4	EQX	0.01167	0.04669	0.00030	EQY	0.00681	0.02722	0.00021
5.9	EQX	0.00556	0.02225	0.00014	EQY	0.00373	0.01490	0.00012
0.9	EQX	0.00123	0.00493	0.00003	EQY	0.00104	0.00416	0.00003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4-3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX DISPLACEMENT - EQX (1/2)

Ele. (m.)	CASE	MODEL1	MODEL2	MODEL3	MODEL4
128	EQX	0.1414	0.0218	0.0220	0.0237
123.3	EQX	0.1404	0.0206	0.0200	0.0216
119.6	EQX	0.1405	0.0199	0.0183	0.0194
115.9	EQX	0.1408	0.0200	0.0171	0.0184
112.2	EQX	0.1410	0.0199	0.0162	0.0191
108.5	EQX	0.1409	0.0198	0.0158	0.0195
104.8	EQX	0.1408	0.0197	0.0157	0.0198
100.3	EQX	0.1404	0.0194	0.0155	0.0200
96.6	EQX	0.1396	0.0189	0.0152	0.0203
92.9	EQX	0.1383	0.0182	0.0160	0.0206
89.2	EQX	0.1364	0.0177	0.0172	0.0211
85.5	EQX	0.1341	0.0171	0.0176	0.0208
81.8	EQX	0.1319	0.0174	0.0173	0.0207
78.1	EQX	0.1298	0.0191	0.0168	0.0212
74.4	EQX	0.1270	0.0211	0.0189	0.0215
70.7	EQX	0.1232	0.0225	0.0207	0.0223
67	EQX	0.1185	0.0233	0.0222	0.0228
63.3	EQX	0.1130	0.0250	0.0234	0.0229
59.6	EQX	0.1067	0.0259	0.0238	0.0225
55.9	EQX	0.1006	0.0256	0.0233	0.0216
52.2	EQX	0.0936	0.0246	0.0219	0.0204
48.5	EQX	0.0856	0.0236	0.0203	0.0191
44.8	EQX	0.0773	0.0223	0.0184	0.0179
41.1	EQX	0.0684	0.0208	0.0160	0.0171
37.4	EQX	0.0592	0.0188	0.0132	0.0158
29.65	EQX	0.0398	0.0135	0.0083	0.0121
24	EQX	0.0271	0.0104	0.0068	0.0092
19.4	EQX	0.0202	0.0082	0.0058	0.0084
14.9	EQX	0.0145	0.0060	0.0055	0.0071
10.4	EQX	0.0093	0.0043	0.0045	0.0051
5.9	EQX	0.0049	0.0028	0.0030	0.0029
0.9	EQX	0.0012	0.0008	0.0009	0.0008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX DISPLACEMENT - EQX (2/2)

Ele. (m.)	CASE	MODEL5	MODEL6	MODEL7	AVG.	DIS X * Cd/l	DIS X / Hi
128	EQX	0.0703	0.0648	0.0239	0.0526	0.2473	0.0019
123.3	EQX	0.0658	0.0617	0.0230	0.0504	0.2374	0.0019
119.6	EQX	0.0615	0.0589	0.0222	0.0487	0.2291	0.0018
115.9	EQX	0.0600	0.0579	0.0220	0.0480	0.2260	0.0018
112.2	EQX	0.0611	0.0594	0.0226	0.0485	0.2281	0.0018
108.5	EQX	0.0624	0.0602	0.0229	0.0488	0.2296	0.0018
104.8	EQX	0.0632	0.0606	0.0231	0.0490	0.2304	0.0018
100.3	EQX	0.0644	0.0603	0.0232	0.0490	0.2307	0.0018
96.6	EQX	0.0666	0.0594	0.0230	0.0490	0.2305	0.0018
92.9	EQX	0.0690	0.0577	0.0225	0.0489	0.2301	0.0018
89.2	EQX	0.0708	0.0554	0.0222	0.0487	0.2292	0.0018
85.5	EQX	0.0713	0.0526	0.0220	0.0479	0.2255	0.0018
81.8	EQX	0.0705	0.0528	0.0216	0.0475	0.2233	0.0017
78.1	EQX	0.0687	0.0532	0.0212	0.0471	0.2218	0.0017
74.4	EQX	0.0671	0.0529	0.0209	0.0470	0.2214	0.0017
70.7	EQX	0.0663	0.0530	0.0203	0.0469	0.2207	0.0017
67	EQX	0.0665	0.0529	0.0194	0.0465	0.2189	0.0017
63.3	EQX	0.0662	0.0531	0.0188	0.0461	0.2167	0.0017
59.6	EQX	0.0648	0.0535	0.0188	0.0451	0.2125	0.0017
55.9	EQX	0.0617	0.0531	0.0183	0.0435	0.2045	0.0016
52.2	EQX	0.0571	0.0516	0.0179	0.0410	0.1929	0.0015
48.5	EQX	0.0529	0.0490	0.0171	0.0382	0.1798	0.0014
44.8	EQX	0.0488	0.0455	0.0158	0.0351	0.1653	0.0013
41.1	EQX	0.0433	0.0409	0.0142	0.0315	0.1484	0.0012
37.4	EQX	0.0383	0.0353	0.0127	0.0276	0.1300	0.0010
29.65	EQX	0.0298	0.0257	0.0092	0.0198	0.0930	0.0007
24	EQX	0.0222	0.0210	0.0070	0.0148	0.0698	0.0005
19.4	EQX	0.0165	0.0170	0.0058	0.0117	0.0551	0.0004
14.9	EQX	0.0119	0.0127	0.0048	0.0089	0.0420	0.0003
10.4	EQX	0.0077	0.0082	0.0039	0.0061	0.0289	0.0002
5.9	EQX	0.0041	0.0042	0.0025	0.0035	0.0165	0.0001
0.9	EQX	0.0011	0.0010	0.0007	0.0009	0.0043	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX DISPLACEMENT - EQY (1/2)

Ele. (m.)	CASE	MODEL1	MODEL2	MODEL3	MODEL4
128	EQY	0.1689	0.0839	0.1269	0.1089
123.3	EQY	0.1623	0.0778	0.1218	0.1050
119.6	EQY	0.1559	0.0718	0.1167	0.1011
115.9	EQY	0.1511	0.0662	0.1114	0.0971
112.2	EQY	0.1466	0.0613	0.1060	0.0933
108.5	EQY	0.1415	0.0569	0.1009	0.0897
104.8	EQY	0.1356	0.0549	0.0969	0.0866
100.3	EQY	0.1276	0.0529	0.0938	0.0836
96.6	EQY	0.1236	0.0461	0.0912	0.0818
92.9	EQY	0.1227	0.0477	0.0882	0.0802
89.2	EQY	0.1227	0.0496	0.0849	0.0786
85.5	EQY	0.1219	0.0512	0.0814	0.0770
81.8	EQY	0.1203	0.0526	0.0776	0.0744
78.1	EQY	0.1176	0.0540	0.0733	0.0706
74.4	EQY	0.1140	0.0557	0.0684	0.0656
70.7	EQY	0.1107	0.0580	0.0631	0.0596
67	EQY	0.1071	0.0591	0.0573	0.0527
63.3	EQY	0.1024	0.0584	0.0534	0.0496
59.6	EQY	0.0964	0.0559	0.0512	0.0488
55.9	EQY	0.0893	0.0518	0.0488	0.0471
52.2	EQY	0.0813	0.0465	0.0459	0.0443
48.5	EQY	0.0726	0.0439	0.0425	0.0402
44.8	EQY	0.0629	0.0408	0.0385	0.0351
41.1	EQY	0.0529	0.0361	0.0338	0.0307
37.4	EQY	0.0428	0.0302	0.0286	0.0264
29.65	EQY	0.0311	0.0198	0.0286	0.0265
24	EQY	0.0214	0.0167	0.0232	0.0201
19.4	EQY	0.0168	0.0146	0.0176	0.0163
14.9	EQY	0.0121	0.0134	0.0120	0.0132
10.4	EQY	0.0090	0.0108	0.0077	0.0105
5.9	EQY	0.0063	0.0072	0.0048	0.0065
0.9	EQY	0.0021	0.0029	0.0015	0.0024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX DISPLACEMENT - EQY (2/2)

Ele. (m.)	CASE	MODEL5	MODEL6	MODEL7	AVG.	DIS X * Cd/l	DIS X / Hi
128	EQY	0.0658	0.1176	0.0423	0.1020	0.4802	0.0038
123.3	EQY	0.0615	0.1113	0.0395	0.0970	0.4566	0.0036
119.6	EQY	0.0574	0.1049	0.0367	0.0921	0.4333	0.0034
115.9	EQY	0.0537	0.0986	0.0340	0.0874	0.4115	0.0032
112.2	EQY	0.0514	0.0928	0.0315	0.0833	0.3918	0.0031
108.5	EQY	0.0508	0.0880	0.0293	0.0796	0.3745	0.0029
104.8	EQY	0.0513	0.0840	0.0279	0.0768	0.3612	0.0028
100.3	EQY	0.0528	0.0803	0.0271	0.0740	0.3484	0.0027
96.6	EQY	0.0532	0.0777	0.0267	0.0715	0.3364	0.0026
92.9	EQY	0.0523	0.0756	0.0298	0.0709	0.3337	0.0026
89.2	EQY	0.0492	0.0736	0.0317	0.0700	0.3296	0.0026
85.5	EQY	0.0442	0.0714	0.0336	0.0687	0.3231	0.0025
81.8	EQY	0.0399	0.0686	0.0343	0.0668	0.3144	0.0025
78.1	EQY	0.0413	0.0650	0.0337	0.0651	0.3061	0.0024
74.4	EQY	0.0420	0.0610	0.0319	0.0627	0.2950	0.0023
70.7	EQY	0.0420	0.0568	0.0290	0.0599	0.2818	0.0022
67	EQY	0.0411	0.0524	0.0266	0.0566	0.2664	0.0021
63.3	EQY	0.0393	0.0480	0.0258	0.0538	0.2534	0.0020
59.6	EQY	0.0368	0.0450	0.0262	0.0515	0.2423	0.0019
55.9	EQY	0.0352	0.0434	0.0264	0.0488	0.2299	0.0018
52.2	EQY	0.0345	0.0407	0.0258	0.0456	0.2144	0.0017
48.5	EQY	0.0328	0.0371	0.0243	0.0419	0.1972	0.0015
44.8	EQY	0.0301	0.0328	0.0218	0.0374	0.1761	0.0014
41.1	EQY	0.0265	0.0298	0.0188	0.0326	0.1536	0.0012
37.4	EQY	0.0221	0.0271	0.0174	0.0278	0.1309	0.0010
29.65	EQY	0.0316	0.0215	0.0210	0.0257	0.1212	0.0009
24	EQY	0.0264	0.0161	0.0172	0.0202	0.0949	0.0007
19.4	EQY	0.0229	0.0121	0.0146	0.0164	0.0772	0.0006
14.9	EQY	0.0173	0.0092	0.0115	0.0127	0.0596	0.0005
10.4	EQY	0.0134	0.0065	0.0080	0.0094	0.0443	0.0003
5.9	EQY	0.0092	0.0040	0.0045	0.0061	0.0286	0.0002
0.9	EQY	0.0030	0.0014	0.0015	0.0021	0.0099	0.0001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.5-1

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น วิธีแรงสถิตเทียบเท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Story Drifts : STATIC

FLOOR	H	hi	Drift X	Drift X x Cd/l	Drift Y	Drift Y x Cd/l
Roof	128	4.7	0.0010	0.0046	0.0068	0.0320
L31	123.3	3.7	0.0010	0.0046	0.0069	0.0326
L30	119.6	3.7	0.0010	0.0046	0.0070	0.0330
L29	115.9	3.7	0.0010	0.0047	0.0070	0.0332
L28	112.2	3.7	0.0007	0.0035	0.0070	0.0331
L27	108.5	3.7	0.0006	0.0028	0.0070	0.0329
L26	104.8	4.5	0.0011	0.0051	0.0071	0.0333
L25	100.3	3.7	0.0025	0.0115	0.0072	0.0337
L24	96.6	3.7	0.0034	0.0159	0.0073	0.0342
L23	92.9	3.7	0.0039	0.0183	0.0073	0.0346
L22	89.2	3.7	0.0044	0.0208	0.0074	0.0349
L21	85.5	3.7	0.0049	0.0229	0.0075	0.0352
L20	81.8	3.7	0.0052	0.0246	0.0075	0.0355
L19	78.1	3.7	0.0055	0.0260	0.0076	0.0358
L18	74.4	3.7	0.0058	0.0272	0.0076	0.0360
L17	70.7	3.7	0.0061	0.0288	0.0077	0.0361
L16	67	3.7	0.0065	0.0304	0.0077	0.0361
L15	63.3	3.7	0.0067	0.0318	0.0076	0.0360
L14	59.6	3.7	0.0070	0.0330	0.0076	0.0357
L13	55.9	3.7	0.0072	0.0341	0.0075	0.0353
L12	52.2	3.7	0.0074	0.0350	0.0073	0.0343
L11	48.5	3.7	0.0076	0.0357	0.0071	0.0335
L10	44.8	3.7	0.0077	0.0363	0.0069	0.0326
L9	41.1	3.7	0.0079	0.0371	0.0067	0.0315
L8	37.4	7.75	0.0080	0.0376	0.0061	0.0289
L7	29.65	5.65	0.0071	0.0336	0.0053	0.0248
L6	24	4.6	0.0065	0.0307	0.0045	0.0213
L5	19.4	4.5	0.0054	0.0255	0.0038	0.0178
L4	14.9	4.5	0.0045	0.0210	0.0030	0.0141
L3	10.4	4.5	0.0034	0.0162	0.0021	0.0100
L2	5.9	5	0.0021	0.0099	0.0013	0.0060
L1	0.9	0.9	0.0013	0.0060	0.0009	0.0042

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.5-2

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Story Drifts : RSA

FL	CASE	Drift	Diff $x \cdot Cd/i$	CASE	Drift	Diff $y \cdot Cd/i$
32	EQX	0.0008	0.0027	EQY	0.0025	0.0100
31	EQX	0.0008	0.0027	EQY	0.0025	0.0101
30	EQX	0.0008	0.0026	EQY	0.0025	0.0102
29	EQX	0.0007	0.0024	EQY	0.0025	0.0100
28	EQX	0.0005	0.0016	EQY	0.0024	0.0097
27	EQX	0.0004	0.0012	EQY	0.0023	0.0094
26	EQX	0.0005	0.0017	EQY	0.0024	0.0096
25	EQX	0.0011	0.0036	EQY	0.0025	0.0102
24	EQX	0.0015	0.0050	EQY	0.0027	0.0109
23	EQX	0.0017	0.0057	EQY	0.0028	0.0113
22	EQX	0.0019	0.0062	EQY	0.0028	0.0113
21	EQX	0.0020	0.0067	EQY	0.0028	0.0112
20	EQX	0.0021	0.0070	EQY	0.0028	0.0111
19	EQX	0.0022	0.0073	EQY	0.0027	0.0110
18	EQX	0.0023	0.0076	EQY	0.0027	0.0109
17	EQX	0.0024	0.0078	EQY	0.0027	0.0109
16	EQX	0.0024	0.0081	EQY	0.0027	0.0108
15	EQX	0.0025	0.0084	EQY	0.0027	0.0109
14	EQX	0.0026	0.0087	EQY	0.0027	0.0109
13	EQX	0.0027	0.0090	EQY	0.0027	0.0110
12	EQX	0.0028	0.0092	EQY	0.0027	0.0107
11	EQX	0.0028	0.0094	EQY	0.0027	0.0107
10	EQX	0.0029	0.0097	EQY	0.0026	0.0106
9	EQX	0.0030	0.0101	EQY	0.0026	0.0105
8	EQX	0.0031	0.0103	EQY	0.0023	0.0094
7	EQX	0.0027	0.0090	EQY	0.0019	0.0077
6	EQX	0.0025	0.0082	EQY	0.0016	0.0065
5	EQX	0.0021	0.0070	EQY	0.0014	0.0055
4	EQX	0.0018	0.0059	EQY	0.0011	0.0044
3	EQX	0.0014	0.0047	EQY	0.0008	0.0032
2	EQX	0.0009	0.0030	EQY	0.0005	0.0022
1	EQX	0.0006	0.0019	EQY	0.0005	0.0019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.5-3

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

วิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STORY DRIFT – EQX (1/2)

Ele.	Floor	CASE	MODEL1	MODEL2	MODEL3	MODEL4
128	Roof	EQX	0.00069	0.00052	0.00078	0.00069
123.3	L31	EQX	0.00067	0.00048	0.00075	0.00069
119.6	L30	EQX	0.00061	0.00041	0.00068	0.00064
115.9	L29	EQX	0.00052	0.00033	0.00060	0.00055
112.2	L28	EQX	0.00036	0.00021	0.00042	0.00035
108.5	L27	EQX	0.00037	0.00019	0.00028	0.00024
104.8	L26	EQX	0.00058	0.00037	0.00033	0.00030
100.3	L25	EQX	0.00108	0.00075	0.00067	0.00061
96.6	L24	EQX	0.00154	0.00097	0.00085	0.00077
92.9	L23	EQX	0.00170	0.00086	0.00079	0.00073
89.2	L22	EQX	0.00195	0.00105	0.00077	0.00073
85.5	L21	EQX	0.00212	0.00120	0.00080	0.00071
81.8	L20	EQX	0.00217	0.00117	0.00076	0.00075
78.1	L19	EQX	0.00206	0.00099	0.00071	0.00072
74.4	L18	EQX	0.00188	0.00098	0.00072	0.00069
70.7	L17	EQX	0.00187	0.00090	0.00071	0.00069
67	L16	EQX	0.00183	0.00077	0.00077	0.00067
63.3	L15	EQX	0.00183	0.00072	0.00069	0.00068
59.6	L14	EQX	0.00205	0.00069	0.00075	0.00063
55.9	L13	EQX	0.00220	0.00060	0.00070	0.00058
52.2	L12	EQX	0.00228	0.00065	0.00061	0.00066
48.5	L11	EQX	0.00243	0.00074	0.00067	0.00073
44.8	L10	EQX	0.00258	0.00079	0.00073	0.00075
41.1	L9	EQX	0.00267	0.00093	0.00084	0.00078
37.4	L8	EQX	0.00266	0.00100	0.00082	0.00074
29.65	L7	EQX	0.00232	0.00072	0.00064	0.00074
24	L6	EQX	0.00199	0.00064	0.00052	0.00068
19.4	L5	EQX	0.00163	0.00055	0.00047	0.00055
14.9	L4	EQX	0.00125	0.00051	0.00042	0.00047
10.4	L3	EQX	0.00102	0.00043	0.00040	0.00050
5.9	L2	EQX	0.00076	0.00040	0.00043	0.00044
0.9	L1	EQX	0.00054	0.00038	0.00042	0.00035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STORY DRIFT – EQX (2/2)

Ele.	Floor	CASE	MODEL5	MODEL6	MODEL7	AVG.	DIS X * Cd/I	DIS X / Hi
128	Roof	EQX	0.00122	0.00115	0.00060	0.00081	0.00379	0.00081
123.3	L31	EQX	0.00121	0.00115	0.00055	0.00079	0.00369	0.00100
119.6	L30	EQX	0.00115	0.00110	0.00046	0.00072	0.00339	0.00092
115.9	L29	EQX	0.00100	0.00097	0.00035	0.00062	0.00290	0.00078
112.2	L28	EQX	0.00063	0.00062	0.00023	0.00040	0.00190	0.00051
108.5	L27	EQX	0.00045	0.00043	0.00017	0.00030	0.00143	0.00039
104.8	L26	EQX	0.00054	0.00055	0.00023	0.00041	0.00194	0.00043
100.3	L25	EQX	0.00110	0.00108	0.00039	0.00081	0.00382	0.00103
96.6	L24	EQX	0.00146	0.00129	0.00051	0.00105	0.00496	0.00134
92.9	L23	EQX	0.00146	0.00129	0.00050	0.00105	0.00492	0.00133
89.2	L22	EQX	0.00137	0.00128	0.00049	0.00109	0.00514	0.00139
85.5	L21	EQX	0.00158	0.00145	0.00053	0.00120	0.00565	0.00153
81.8	L20	EQX	0.00178	0.00162	0.00060	0.00126	0.00595	0.00161
78.1	L19	EQX	0.00193	0.00169	0.00064	0.00125	0.00587	0.00159
74.4	L18	EQX	0.00194	0.00171	0.00060	0.00121	0.00571	0.00154
70.7	L17	EQX	0.00178	0.00160	0.00057	0.00116	0.00545	0.00147
67	L16	EQX	0.00147	0.00153	0.00057	0.00109	0.00511	0.00138
63.3	L15	EQX	0.00129	0.00135	0.00050	0.00101	0.00475	0.00128
59.6	L14	EQX	0.00112	0.00117	0.00050	0.00099	0.00464	0.00125
55.9	L13	EQX	0.00131	0.00109	0.00051	0.00100	0.00470	0.00127
52.2	L12	EQX	0.00157	0.00113	0.00056	0.00107	0.00501	0.00135
48.5	L11	EQX	0.00169	0.00129	0.00063	0.00117	0.00550	0.00149
44.8	L10	EQX	0.00167	0.00156	0.00064	0.00124	0.00586	0.00158
41.1	L9	EQX	0.00190	0.00180	0.00066	0.00137	0.00644	0.00174
37.4	L8	EQX	0.00215	0.00187	0.00072	0.00142	0.00669	0.00086
29.65	L7	EQX	0.00145	0.00155	0.00059	0.00114	0.00538	0.00095
24	L6	EQX	0.00138	0.00119	0.00049	0.00098	0.00463	0.00101
19.4	L5	EQX	0.00127	0.00101	0.00042	0.00084	0.00396	0.00088
14.9	L4	EQX	0.00105	0.00100	0.00038	0.00073	0.00341	0.00076
10.4	L3	EQX	0.00085	0.00091	0.00033	0.00063	0.00298	0.00066
5.9	L2	EQX	0.00064	0.00066	0.00036	0.00053	0.00249	0.00050
0.9	L1	EQX	0.00049	0.00049	0.00033	0.00043	0.00202	0.00225

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STORY DRIFT – EQY (1/2)

Ele.	Floor	CASE	MODEL1	MODEL2	MODEL3	MODEL4
128	Roof	EQY	0.00212	0.00194	0.00194	0.00176
123.3	L31	EQY	0.00211	0.00180	0.00191	0.00175
119.6	L30	EQY	0.00205	0.00162	0.00186	0.00168
115.9	L29	EQY	0.00190	0.00174	0.00183	0.00147
112.2	L28	EQY	0.00202	0.00319	0.00173	0.00250
108.5	L27	EQY	0.00197	0.00265	0.00162	0.00200
104.8	L26	EQY	0.00222	0.00254	0.00154	0.00214
100.3	L25	EQY	0.00252	0.00210	0.00211	0.00283
96.6	L24	EQY	0.00283	0.00195	0.00196	0.00230
92.9	L23	EQY	0.00295	0.00206	0.00194	0.00172
89.2	L22	EQY	0.00290	0.00197	0.00180	0.00152
85.5	L21	EQY	0.00294	0.00192	0.00167	0.00166
81.8	L20	EQY	0.00298	0.00190	0.00176	0.00162
78.1	L19	EQY	0.00290	0.00172	0.00181	0.00165
74.4	L18	EQY	0.00264	0.00157	0.00185	0.00176
70.7	L17	EQY	0.00223	0.00154	0.00193	0.00205
67	L16	EQY	0.00191	0.00137	0.00199	0.00226
63.3	L15	EQY	0.00211	0.00150	0.00202	0.00230
59.6	L14	EQY	0.00235	0.00158	0.00194	0.00218
55.9	L13	EQY	0.00260	0.00160	0.00176	0.00199
52.2	L12	EQY	0.00269	0.00170	0.00151	0.00157
48.5	L11	EQY	0.00280	0.00179	0.00152	0.00145
44.8	L10	EQY	0.00289	0.00183	0.00155	0.00167
41.1	L9	EQY	0.00297	0.00194	0.00172	0.00187
37.4	L8	EQY	0.00258	0.00187	0.00161	0.00172
29.65	L7	EQY	0.00207	0.00159	0.00157	0.00152
24	L6	EQY	0.00177	0.00115	0.00136	0.00104
19.4	L5	EQY	0.00132	0.00109	0.00127	0.00115
14.9	L4	EQY	0.00126	0.00090	0.00105	0.00104
10.4	L3	EQY	0.00103	0.00100	0.00078	0.00112
5.9	L2	EQY	0.00094	0.00102	0.00068	0.00097
0.9	L1	EQY	0.00099	0.00133	0.00071	0.00112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STORY DRIFT – EQY (2/2)

Ele.	Floor	CASE	MODEL5	MODEL6	MODEL7	AVG.	DIS Y * Cd/I	DIS Y / Hi
128	Roof	EQY	0.00154	0.00235	0.00121	0.00184	0.00864	0.00184
123.3	L31	EQY	0.00144	0.00239	0.00124	0.00180	0.00849	0.00230
119.6	L30	EQY	0.00140	0.00242	0.00128	0.00176	0.00827	0.00224
115.9	L29	EQY	0.00142	0.00244	0.00129	0.00173	0.00812	0.00220
112.2	L28	EQY	0.00306	0.00246	0.00132	0.00232	0.01094	0.00296
108.5	L27	EQY	0.00234	0.00244	0.00135	0.00205	0.00966	0.00261
104.8	L26	EQY	0.00186	0.00264	0.00135	0.00204	0.00962	0.00214
100.3	L25	EQY	0.00194	0.00337	0.00160	0.00235	0.01107	0.00299
96.6	L24	EQY	0.00166	0.00325	0.00134	0.00218	0.01027	0.00278
92.9	L23	EQY	0.00155	0.00320	0.00123	0.00209	0.00985	0.00266
89.2	L22	EQY	0.00144	0.00279	0.00116	0.00194	0.00913	0.00247
85.5	L21	EQY	0.00169	0.00208	0.00108	0.00186	0.00876	0.00237
81.8	L20	EQY	0.00178	0.00177	0.00122	0.00186	0.00875	0.00237
78.1	L19	EQY	0.00177	0.00155	0.00128	0.00181	0.00852	0.00230
74.4	L18	EQY	0.00170	0.00139	0.00129	0.00174	0.00819	0.00221
70.7	L17	EQY	0.00161	0.00135	0.00121	0.00170	0.00801	0.00217
67	L16	EQY	0.00166	0.00138	0.00127	0.00169	0.00796	0.00215
63.3	L15	EQY	0.00163	0.00140	0.00130	0.00175	0.00823	0.00223
59.6	L14	EQY	0.00152	0.00140	0.00122	0.00174	0.00819	0.00221
55.9	L13	EQY	0.00128	0.00145	0.00107	0.00168	0.00789	0.00213
52.2	L12	EQY	0.00120	0.00157	0.00086	0.00159	0.00747	0.00202
48.5	L11	EQY	0.00115	0.00171	0.00084	0.00161	0.00757	0.00204
44.8	L10	EQY	0.00110	0.00174	0.00100	0.00168	0.00792	0.00214
41.1	L9	EQY	0.00128	0.00165	0.00113	0.00179	0.00844	0.00228
37.4	L8	EQY	0.00136	0.00147	0.00104	0.00166	0.00783	0.00101
29.65	L7	EQY	0.00221	0.00116	0.00115	0.00161	0.00758	0.00134
24	L6	EQY	0.00145	0.00101	0.00085	0.00123	0.00580	0.00126
19.4	L5	EQY	0.00134	0.00091	0.00075	0.00112	0.00526	0.00117
14.9	L4	EQY	0.00149	0.00072	0.00085	0.00104	0.00491	0.00109
10.4	L3	EQY	0.00133	0.00063	0.00083	0.00096	0.00451	0.00100
5.9	L2	EQY	0.00130	0.00060	0.00068	0.00088	0.00415	0.00083
0.9	L1	EQY	0.00140	0.00064	0.00068	0.00098	0.00462	0.00513

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.1

เอกสารตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 26
วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตึกช้างด้านทานแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 SEISMIC ANALYSIS FOR THE ELEPHANT TOWER PER DPT1301/1302-61

นิติกร แสงสว่าง^{1*}, อาทิตย์ เพชรศิธร², สุวัฒน์ ธิเรศชัย³ และ ณัฐภัทร วงศ์ภักดี⁴

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร

³ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร

⁴ วิศวกรโครงสร้าง, บริษัท อินฟรา กรุ๊ป จำกัด, กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author address: nitikorn.kmitt@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการแข่งขันในอุตสาหกรรมก่อสร้างและความต้องการเชิงสถาปัตยกรรมสูงส่งผลให้รูปร่างของโครงสร้างอาคารมีความไม่สมมาตรและไม่สม่ำเสมอในรูปแบบต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด ความไม่สม่ำเสมอแนวระนาบ หรือความไม่สม่ำเสมอแนวตั้ง บทความนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์อาคารตัวอย่างตึกช้าง (Elephant Tower) ซึ่งเป็นอาคารที่ได้รับรางวัลตึกะฟ้าที่มีเอกลักษณ์อันดับที่ 4 ใน 20 ของโลกในปี 2011 และเป็นอาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอดังกล่าว มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของแรงแผ่นดินไหว มยผ.1301/1302-61 ได้กำหนดวิธีการออกแบบโครงสร้างอาคารในลักษณะดังกล่าว โดยตั้งสมมติฐานว่าอาคารตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่แผ่นดินไหวรุนแรง อ.เมือง จ.เชียงใหม่ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้าง ผลตอบสนองของอาคารและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบใหม่และวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลาตามมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61

คำสำคัญ: วิธีแรงสถิตเทียบเท่า, วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบใหม่, วิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา, มยผ.1301/1302-61

Abstract

Nowadays, industrial and architectural demand increase that affect the complexity of shape and irregularity of the structures such as torsional irregularity, horizontal irregularity and vertical irregularity. This research presents the analytical results of the Elephant Tower which the building was ranked number four of the 20 World's Iconic Skyscraper by CNNGO in 2011. Design standard, DPT1301/1302-61 defines the seismic design methods for asymmetry and irregularity of structures. The elephant tower is assumed to be located in high seismic area, Chiang Mai, Thailand. Structural behavior and seismic responses of the building are investigated including equivalent static analysis, modal response spectrum analysis and linear time history analysis according to DPT 1301/1302-61.

Keywords: Equivalent static, Modal response spectrum analysis, Linear time history analysis, DPT1301/1302-61

1. บทนำ

ปัจจุบันการแข่งขันในอุตสาหกรรมก่อสร้างและความต้องการในเชิงสถาปัตยกรรมค่อนข้างสูง ส่งผลให้รูปทรงของอาคารมีความซับซ้อนและไม่สม่ำเสมอทางโครงสร้างทั้งแนวตั้ง แนวราบ และความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด กรมโยธาธิการและผังเมืองได้กำหนดมาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302-52 [1] และ มยผ.1301/1302-61 [2] สำหรับอาคารดังกล่าว มีสมมติฐานการออกแบบโครงสร้างอาคารให้มีความเหนียวและสามารถสลายพลังงานจากการสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในระดับที่เหมาะสมโดยไม่เกิดการพังทลาย

มยผ.1301-1302-52 [1] ได้กำหนดวิธีคำนวณแรงแผ่นดินไหวไว้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Analysis)

และวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Analysis) และปรับปรุงเป็นมาตรฐานฉบับใหม่ มยผ.1301/1302-61 [2] เพื่อปรับปรุงรายละเอียดให้ทันสมัยและสอดคล้องกับมาตรฐานสากล เช่น ปรับแก้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบวิธีการคำนวณหาแรงเฉือนที่ฐาน MRSA [2,5] และชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นที่ดินที่เหมาะสมแก่การวิเคราะห์โครงสร้าง เป็นต้น

วิธีแรงสถิตเทียบเท่าเป็นวิธีคำนวณแรงแผ่นดินไหวอย่างง่ายซึ่งไม่เหมาะสมกับลักษณะของโครงสร้างอาคารที่ไม่สม่ำเสมอในลักษณะต่างๆ ซึ่งก่อให้เกิดการกระจายตัวของแรงกระทำด้านข้างและแรงบิดของอาคารไม่คงที่ การออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์มีความเหมาะสมมากกว่าเนื่องจากพิจารณาผลกระทบดังกล่าว โดยวิธีเชิงพลศาสตร์สามารถจำแนกได้ 3 วิธี ได้แก่ วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบใหม่ วิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างเชิง

เส้นแบบประวัติเวลาและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้าง
ไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา

บทความนี้นำเสนอผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตัวอย่างที่มีความไม่สม่ำเสมอทั้งแนวตั้งและแนวราบ อาคารตัวอย่างดังกล่าวเป็นอาคารที่ได้รับรางวัลตีกระฟ้าที่มีเอกลักษณ์ของโลกอันดับที่ 4 ใน 20 ของโลก [3] โดยศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างและเปรียบเทียบผลวิเคราะห์แรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) การเคลื่อนตัวของโครงสร้างในแต่ละชั้น (Floor Displacement) และการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) เป็นสำคัญ

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย

2.1. วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัย

ศึกษาพฤติกรรมและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตัวอย่างด้วยวิธีการวิเคราะห์ผลของแรงแผ่นดินไหวต่อโครงสร้าง ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า [2] วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบใหม่ [2] และวิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างเชิงเส้นแบบประวัติเวลา [1] โดยทำการศึกษากฎการของโครงสร้างและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แรงเฉือนที่ฐาน การเคลื่อนตัวแต่ละชั้น และการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น

2.2. ขอบเขตของงานวิจัย

วิเคราะห์โครงสร้างโดยการสร้างแบบจำลองอาคารตัวอย่างด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ETABS [4] โดยไม่รวมชั้นใต้ดินและผลการถ่ายแรงดั่งข้างของนั่งก้อภายในอาคาร มีสมมติฐานว่าอาคารตั้งอยู่บริเวณแผ่นดินไหวรุนแรง อ.เมือง จ.เชียงใหม่ โดยสร้างแบบจำลองแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Elastic Model) และพิจารณาผลกระทบของ P-Delta

3. การออกแบบอาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวตามมาตรฐานมผ.1301/1302-61

3.1. วิธีแรงสถิตเทียบเท่า

วิธีแรงสถิตเทียบเท่า [2] เป็นวิธีการคำนวณแรงแผ่นดินไหวอย่างง่ายเพื่อหาแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear, V) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การตอบสนองของแผ่นดินไหว (C_S) และน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล (W) ดังสมการที่ (1)

$$V = C_S W \quad (1)$$

โดยค่า C_S คำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$C_S = S_a \left(\frac{I}{R} \right) \geq 0.01g \quad (2)$$

โดย S_a คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม

I คือ ค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร และ

R คือ ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง

การหาค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ศูนย์กลางมวลของชั้นใด (δ_x) หาได้จากสมการที่ (3)

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I} \quad (3)$$

C_d คือ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว และ

δ_{xe} คือ ค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบที่จุดศูนย์กลางมวลของชั้น x

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ (Story Drift, Δ) คือผลต่างระหว่างการเคลื่อนตัวในแนวราบของชั้นบนและชั้นล่าง

3.2. วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบใหม่

การออกแบบด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบใหม่ [2] (Modal Response Spectrum Analysis, RSA) โดยคำนวณจากค่าการสั่นและรูปร่างโหมดธรรมชาติของการสั่นของโครงสร้างหลายโหมดและใช้สเปกตรัมในการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ และมีค่าอัตราส่วนความหน่วงต้องสอดคล้องกับอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างอาคาร

จำนวนโหมดที่พิจารณาจะต้องเพียงพอที่จะทำให้ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Modal Mass Participation) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 90 ของน้ำหนักประสิทธิผลทั้งหมดของอาคารสำหรับแต่ละทิศของแรงแผ่นดินไหวในแนวราบที่ตั้งฉากกัน

การคำนวณแรงเฉือนรวมที่ฐาน (Total Base Shear, V_t) เป็นผลรวมของแรงเฉือนแต่ละโหมดด้วยวิธีการที่สองของผลรวมของค่ากำลังสองหรือวิธีรวมแบบสัมบูรณ์ของค่ากำลังสอง โดยทุกโหมดถูกคูณด้วย $\frac{I}{R}$ จะได้แรงเฉือนที่ฐาน V_t สำหรับใช้ในการคำนวณตัวคูณปรับค่า (S_F) ตามสมการที่ (4)

$$V_t = \frac{I}{R} \sqrt{V_{b,1e}^2 + V_{b,2e}^2 + V_{b,3e}^2 + \dots} \quad (4)$$

โดย $V_{b,ie}$ คือ แรงเฉือนที่ฐานของโหมด i ของระบบเชิงเส้น

แรงเฉือนที่ฐานรวม (Total Base Shear, V_t) เป็นคำนวณจากการรวมการตอบสนองของโหมดต่างๆตามสมการที่ (4) ที่มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 85 ของค่าแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear, V) ที่ได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่า ให้ปรับแก้ค่าแรงภายในที่ใช้ในการออกแบบด้วยวิธีพลศาสตร์โดยคูณค่าตัวประกอบปรับค่า (Scaling Factor, S_F) ตามสมการที่ (5)

$$S_F = 0.85 \frac{V}{V_t} \quad (5)$$

ทั้งนี้ไม่ต้องคูณค่าตัวประกอบปรับค่า (S_F) สำหรับการคำนวณการเคลื่อนตัวแต่ละชั้นและการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น การคำนวณค่าแรงเฉือนสำหรับการออกแบบชิ้นส่วน

โครงสร้างแนวตั้งรายชิ้นส่วน (Individual Vertical Member) เฉพาะโหมดแรกให้คูณค่าแรงเฉือนสูงสุดของชิ้นส่วนนั้นในระบบเชิงเส้นด้วย $\frac{SF I \Omega_0}{R}$ โดยที่ Ω_0 คือ ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน [2] และ S_F คือ ตัวคูณปรับค่าตามสมการที่ (5) จะได้ค่าแรงเฉือนต้านทานเพื่อใช้ในการออกแบบกำลังรับแรงเฉือนของชิ้นส่วนโครงสร้างแนวตั้งรายชิ้นส่วนตามสมการที่ (6)

$$V = I \sqrt{\left(\frac{S_F \Omega_0 V_{1e}}{R}\right)^2 + V_{2e}^2 + V_{3e}^2 + \dots} \quad (6)$$

โดย V_{ie} คือ แรงเฉือนในระนาบของโหมด i ของระบบเชิงเส้น

วิธีการคำนวณนี้เรียกว่า Modified Response Spectrum Analysis (MRSA) [2,5] ซึ่งเป็นวิธีการปรับวิธีการคำนวณแรงเฉือนที่ใช้ในการออกแบบโดยพิจารณาที่โหมดสูงสุดเป็นแบบยึดหยุ่นเชิงเส้น โดยคำนวณแกน X และแกน Y แต่ละแกนแยกกัน

ทั้งนี้การเคลื่อนตัวในแนวราบที่จุดศูนย์กลางมวล (δ) และการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น (Δ) จะพิจารณาผลของการเสียรูปแบบอินทิลาสติกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) และสมการที่ (8) ตามลำดับ

$$\delta = \frac{C_d}{R} \sqrt{\delta_{1e}^2 + \delta_{2e}^2 + \delta_{3e}^2 + \dots} \quad (7)$$

$$\Delta = \frac{C_d}{R} \sqrt{\Delta_{1e}^2 + \Delta_{2e}^2 + \Delta_{3e}^2 + \dots} \quad (8)$$

โดย δ_{ie} คือ การเคลื่อนตัวของโหมด i ของระบบเชิงเส้น

Δ_{ie} คือ การเคลื่อนตัวสัมพันธ์ของโหมด i ของระบบเชิง

3.3. วิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา

การวิเคราะห์โครงสร้างเชิงเส้นแบบประวัติเวลา [1] (Linear Time History Analysis, LTHA) เป็นการวิเคราะห์ผลตอบสนองทุกขณะเวลาที่เกิดการสั่นไหวของโครงสร้างที่ถูกกระทำด้วยความเร่งของผิวดินที่ฐานของอาคาร โดยการวิเคราะห์ต้องใช้ประวัติเวลาความเร่งของผิวดิน (Ground Motion) ที่เหมาะสมกระทำที่ฐานของอาคารไม่น้อยกว่า 3 ชุด และคลื่นแต่ละชุดจะต้องประกอบด้วยคู่ของความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทางที่ตั้งฉากกัน ในกรณีที่วิเคราะห์โดยใช้คลื่นไม่น้อยกว่า 7 ชุด อนุญาตให้ใช้ค่าเฉลี่ยของแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้างและการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นได้ ชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่เหมาะสมแก่การวิเคราะห์โครงสร้างตามมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 [2] ได้กำหนดข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบที่คาบการเกิดแผ่นดินไหวที่ 2,475 ปี โดยแบ่งพื้นที่เป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วยพื้นที่แผ่นดินไหวระดับรุนแรง (แพร์) พื้นที่แผ่นดินไหวระดับปานกลาง (ลำปาง) และพื้นที่แผ่นดินไหวระดับต่ำ (กาญจนบุรี) ตั้งอยู่บน

ชั้นดินประเภท D โดยคลื่นแต่ละกลุ่มแสดงค่าสเปกตรัมผลตอบสนองที่คาบการสั่นของอาคารที่ 0.2 วินาที และ 1.0 วินาที ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานว่าอาคารตั้งอยู่บนพื้นที่แผ่นดินไหวรุนแรงและวิเคราะห์ด้วยชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่คาบการสั่นที่ 0.2 วินาทีและ 1.0 วินาที ทั้งหมด 7 ชุด ตามตารางที่ (1)

การหาค่าตัวประกอบปรับค่า (S_F) ให้ใช้ V_e คูณด้วย $\frac{I}{R}$ ทุกโหมดและตรวจสอบค่าแรงเฉือนขั้นต่ำที่กำหนดไว้ในกรอกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า $V_{min} = 0.01W$ โดยที่ W คือ น้ำหนักประสิทธิผลของโครงสร้าง ถ้าแรงเฉือนพื้นฐาน V_e มีค่าน้อยกว่าแรงเฉือนขั้นต่ำ V_{min} จะต้องปรับค่าแรงเฉือนพื้นฐานตามสมการที่ (9)

$$S_F = \frac{V_{min}}{V_e} \quad (9)$$

ค่าแรงเฉือนพื้นฐานสำหรับการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างแนวตั้งรายชิ้นส่วน (Individual Vertical Member) สำหรับโหมดแรกให้คูณค่าแรงเฉือนสูงสุดของชิ้นส่วนนั้นด้วย $\frac{SF I \Omega_0}{R}$ ตามสมการที่ (10)

$$V(t) = I \left[\frac{S_F \Omega_0 V_{1e}(t)}{R} + V_{2e}(t) + V_{3e}(t) + \dots \right] \quad (10)$$

สำหรับงานวิจัยนี้วิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงเส้นแบบประวัติเวลา ใช้คลื่นจาก มยผ.1301/1302-61 [2] ดังแสดงในตารางที่ (1) และคำนวณแรงเฉือนพื้นฐานสำหรับการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างตามมาตรฐาน มยผ.1302-52 [1] ตามสมการที่ (11)

$$V(t) = \frac{I}{R} [V_{1e}(t) + V_{2e}(t) + V_{3e}(t) + \dots] \quad (11)$$

ตารางที่ 1 ชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่คาบการสั่น 0.2 วินาที และ 1.0 วินาที [2]

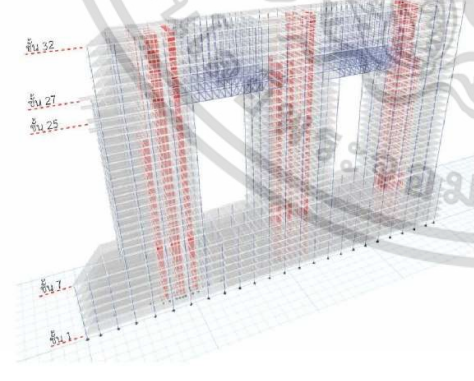
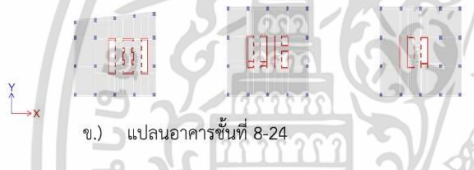
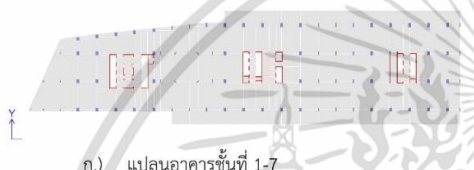
	คลื่นแผ่นดินไหว	สถานี	คาบ(วินาที)
1	RSN161_IMPVAL.L_H-BRA	H-BRA	0.2
2	RSN1107_KOBE_KAK	KAK	0.2
3	RSN821_ERZINCAN_ERZ	ERZ	0.2
4	RSN6_IMPVAL.L_I-ELC	I-ELC	1.0
5	RSN725_SUPER.B_B-POE	POE	1.0
6	RSN8124_CCHURCH_RHSCN	RHSCN	1.0
7	RSN1082_NORTH.RO	RO	1.0

4. อาคารตัวอย่างและผลการวิเคราะห์โครงสร้าง

อาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง คือ ตึกช้าง (Elephant Tower) โดยลักษณะของอาคารตามรูปที่ 1 และสมมติให้อาคารตั้งอยู่บริเวณแผ่นดินไหวรุนแรง อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 2 โดย

แบบจำลองเป็นแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Elastic Model) และพิจารณาผลกระทบของ P-Delta

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า [2] วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด [2] และวิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างเชิงเส้นแบบประวัติเวลา [1] เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าแรงเฉือนที่ฐาน ค่าการเคลื่อนที่ในแต่ละชั้นและการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น



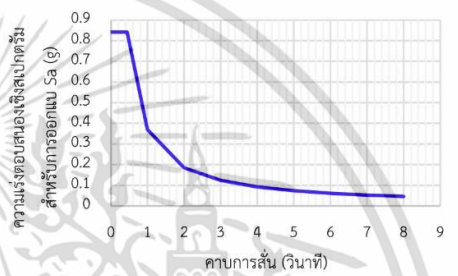
รูปที่ 1 แบบจำลองโครงสร้างตึกข้างด้วยโปรแกรม ETABS [4]

4.1. ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบ

4.1.1. วิธีแรงสถิตเทียบเท่า (STATIC) [2]

แรงแผ่นดินไหวที่ใช้ออกแบบจะอยู่ในรูปของแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear, V) โดยหาความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่มีค่าความหน่วงของโครงสร้าง 2.5% ตามรูปที่ 2 โดยมีตัวแปรดังนี้

คาบธรรมชาติ (T)	= 2.56 วินาที	W	= 1.48x10 ⁶ kN
C _s	= 0.0256	V	= 3.79x10 ⁴ kN



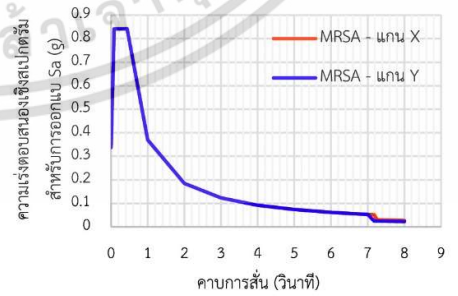
รูปที่ 2 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

4.1.2. วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด (RSA) [2]

ค่าตัวประกอบปรับค่า (S_w) จากสมการที่ (5) ของแกน X และ Y มีค่าเท่ากับ 1.42 และ 1.17 ตามลำดับ

ในการวิเคราะห์ได้คำนวณโหมดการเสียรูปของอาคารทั้งหมด 30 โหมด เพื่อให้ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมดทางแกน X และ Y เท่ากับ 92.3% และ 90.0% ของน้ำหนักประสิทธิผลของทั้งอาคารตามลำดับ ตารางที่ 3 แสดงคาบการสั่นและผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลทางแกน X และ Y

ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ใช้ออกแบบด้วยวิธี MRSA [2.5] ตามรูปที่ 3 เพื่อคำนวณค่าแรงเฉือนสำหรับการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างแนวตั้งรายชั้นส่วนตามสมการที่ (6)



รูปที่ 3 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

พารามิเตอร์	รายละเอียด					
1. ลักษณะโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล (W) ชั้น 1-7 = 66.7×10^3 kN ชั้น 8-24 = 35.6×10^3 kN ชั้น 25-27 = 50.8×10^3 kN ชั้น 28-32 = 51.2×10^3 kN					
2. คุณสมบัติของวัสดุงานโครงสร้าง	เสาและกำแพงรับแรงเฉือน 50MPa พื้นคอนกรีตอัดแรง 32MPa โครงสร้างอื่นๆ 32MPa เหล็กเสริมคอนกรีต SD40					
3. ขนาดเสาและกำแพงรับแรงเฉือน (เมตร)						
ระดับชั้น	C1	C2	C3	C4	W1	W2
ชั้น 1-7	1.20x1.20	0.50x1.20	0.30x1.25	0.50x0.50	0.30	0.25
ชั้น 8-24	1.20x1.20	-	-	-	0.30	0.25
ชั้น 25-27	1.20x1.20	-	-	-	0.30	0.25
ชั้น 28-32	1.20x1.20	-	-	-	0.30	0.25
4. สถานที่ตั้งอาคาร	อ.เมือง จ.เชียงใหม่					
5. ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ	$S_s = 0.963$ $F_a = 1.118$ $S_{DS} = 0.842g$ $S_l = 0.248$ $F_v = 1.904$ $S_{D1} = 0.370g$					
6. ขนาดของอาคารและจำนวนชั้น	กว้าง 38.9ม. ยาว 199ม. และ สูง 128ม. จำนวน 32 ชั้น					
7. น้ำหนักบรรทุก (LL, SDL) kPa	1. ลานจอดรถ (4, 0.5)					
น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load, LL)	2. พื้นที่ร้านค้า (4, 3.5)					
น้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติม (Super Imposed Dead Load, SDL)	3. ห้องงานระบบ (10, 2)					
	4. พื้นที่มีสลาปตีตย (12, 10)					
	5. ห้องพัก (2, 3)					
	6. สำนักงาน (2.5, 3)					
8. ประเภทการออกแบบต้านแผ่นดินไหว (Design Category)	ง					
9. ประเภทความสำคัญอาคาร (Important Factor)	III					
10. ประเภทชั้นดิน	D					
11. ความหน่วงของโครงสร้าง (Damping)	2.5%					
12. ระบบโครงสร้าง	ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)					
13. ระบบต้านแรงต้านข้าง	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)					
14. ตัวประกอบผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R)	6					
15. ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_0)	2.5					
16. ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d)	5					
17. ค่าสติเฟนขององค์อาคารคอนกรีต	1. เสา $I_{eff} = 0.70I_g$ และ $A_{eff} = 1.0A_g$ 2. กำแพงรับแรงเฉือน $I_{eff} = 0.70I_g$ 3. พื้นคอนกรีตอัดแรง $I_{eff} = 0.50I_g$					

STR-16-5

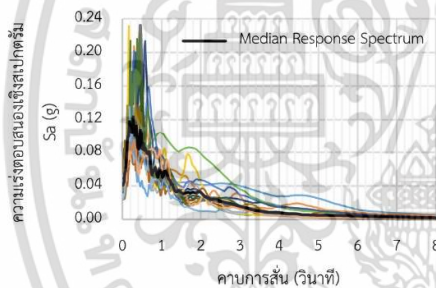
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 คาบการสั่นและผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผล

โหมด	คาบการสั่น (วินาที)	การเคลื่อนตัว แกน X	การเคลื่อนตัว แกน Y	ผลรวม W แกน X	ผลรวม W แกน Y
1	7.26	0.687	0.024	0.687	0.024
2	7.17	0.032	0.326	0.719	0.350
3	5.33	0.001	0.275	0.720	0.625
.
29	0.33	0.003	0.000	0.923	0.895
30	0.31	0.000	0.005	0.923	0.900

4.1.3. วิถีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัตินเวลา (LTHA) [1]

ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของชุดคลื่นแผ่นดินไหวทั้ง 7 ชุด (ตารางที่ 1) เทียบกับค่า มัชฌิมาน (Median) ตามรูปที่ 4 โดยค่าความหน่วงของโครงสร้าง 2.5% เพื่อหาค่าตัวปรับคุณภาพ (S_F)



รูปที่ 1 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมด้วยวิถีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัตินเวลา

4.2. ผลการวิเคราะห์

4.2.1. แรงเฉือนที่ฐาน

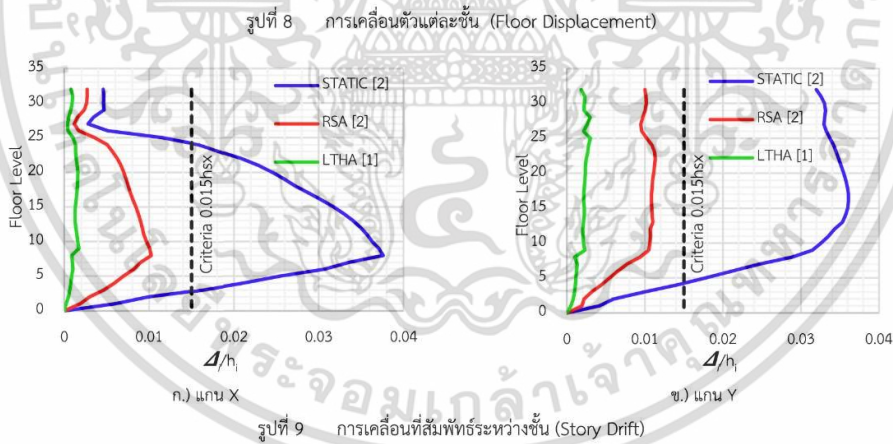
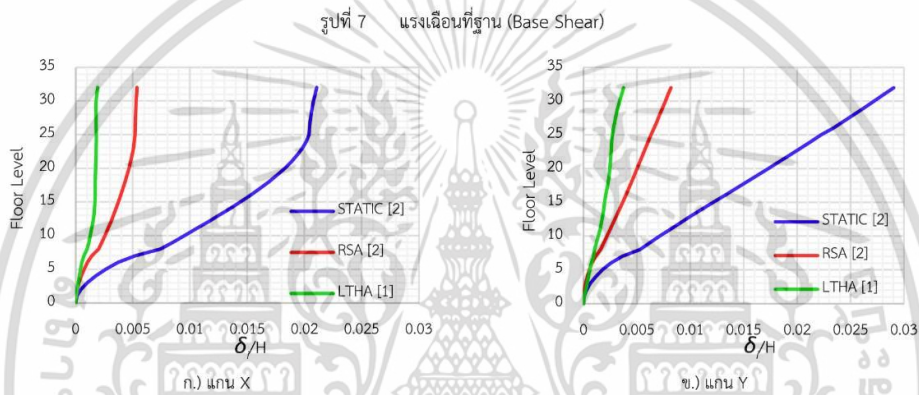
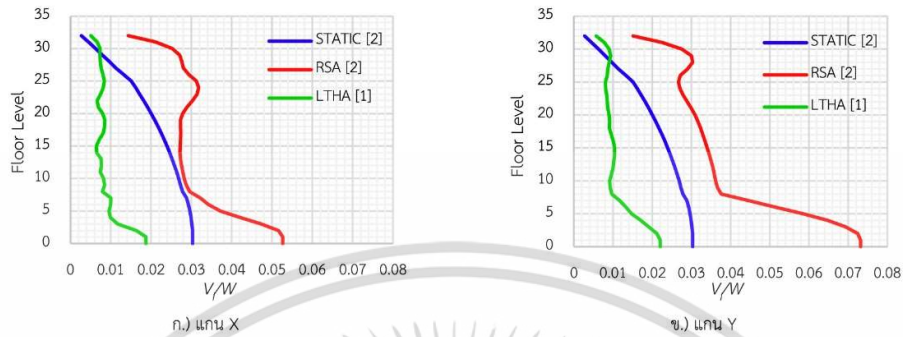
รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบแรงเฉือนที่ฐาน ผลวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าจะมีค่าเท่ากับ 3.03% ของน้ำหนักประสิทธิผลของโครงสร้าง โดยแรงเฉือนที่ฐานมีค่าเท่ากับทั้งแกน X และ Y วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบใหม่มีค่าแรงเฉือนที่ฐานทางแกน X และ Y เท่ากับ 5.27% และ 7.32% ของน้ำหนักประสิทธิผลของโครงสร้างตามลำดับ และวิถีการวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัตินเวลามีค่าแรงเฉือนที่ฐานทางแกน X และ Y เท่ากับ 1.87% และ 2.21% ของน้ำหนักประสิทธิผลของโครงสร้าง

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบใหม่ และวิถีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัตินเวลา ค่าแรงเฉือนของแต่ละชั้นมีแนวโน้มคล้ายกัน โดยที่ชั้น 7-8 ซึ่งเป็นชั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลทำให้ค่าแรงเฉือนแต่ละชั้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน หากพิจารณาแรงเฉือนที่ฐาน ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบใหม่ได้ค่าแรงเฉือนที่ฐานมากที่สุดซึ่งมีค่ามากกว่าวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 1.8 เท่า และมากกว่าวิถีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัตินเวลา 2.8 เท่า สำหรับแรงเฉือนที่ฐานทางแกน Y ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบใหม่มีแรงเฉือนที่ฐานมากที่สุด ซึ่งมากกว่าวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 2.4 เท่า และมากกว่าวิถีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัตินเวลา 3.3 เท่า พบว่าวิถีสเปกตรัมการตอบสนองแบบใหม่ ทั้งแกน X และ Y มีค่าแรงเฉือนที่ฐานมากอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากวิถีวิเคราะห์แรงเฉือนโดยวิธี MRSA [2,5] ค่าแรงเฉือนที่ฐานคูณด้วย $\frac{S_F I \Omega_0}{R}$ เพียงโหมดแรงเฉือนเดียวแต่วิธีแรงสถิตเทียบเท่าและวิถีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัตินเวลา ค่าแรงเฉือนที่ฐานคูณด้วย $\frac{I}{R}$ ทุกโหมดทำให้ค่าแรงเฉือนที่ฐานมีค่าน้อยกว่า

4.2.2. การเคลื่อนตัวแต่ละชั้นของโครงสร้าง

รูปที่ 8 แสดงการเคลื่อนตัวแต่ละชั้นของโครงสร้างแบบอีลาสติก (Elastic Displacement) ตามสมการที่ 8 ผลการวิเคราะห์วิธีแรงสถิตเทียบเท่ามีการเคลื่อนตัวสูงสุดทางแกน X และ Y เท่ากับ 2.11% และ 2.90% ของความสูงของโครงสร้างทั้งหมดตามลำดับ วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบใหม่มีการเคลื่อนตัวสูงสุดทางแกน X และ Y เท่ากับ 0.54% และ 0.82% ของความสูงของโครงสร้างทั้งหมด และวิถีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัตินเวลามีค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดทางแกน X และ Y เท่ากับ 0.19% และ 0.37% ของความสูงของโครงสร้างทั้งหมด

การเคลื่อนตัวแต่ละชั้นของโครงสร้างทางแกน X และแกน Y วิถีการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวทั้ง 3 วิธีมีแนวโน้มการเคลื่อนตัวในลักษณะเดียวกัน ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่ามีการเคลื่อนตัวมากที่สุดทางแกน X ซึ่งมีค่ามากกว่าวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบใหม่ 3.9 เท่า และมากกว่าวิถีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัตินเวลา 10.9 เท่า และทางแกน Y วิธีแรงสถิตเทียบเท่ามีการเคลื่อนตัวมากที่สุด ซึ่งมากกว่าวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบใหม่ 3.54 เท่าและมากกว่าวิถีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัตินเวลา 7.74 เท่า



4.2.3. การเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น

การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวให้พิจารณาการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_i) ต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.015 ของความสูงระหว่างชั้น (h_{sx}) [1,2] สำหรับประเภทความสำคัญของอาคาร III

ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น (รูปที่ 9) ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าได้มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ต่อความสูง

ระหว่างชั้นสูงสุดทางแกน X และ Y เท่ากับ 0.0376 และ 0.0361 ตามลำดับ วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดมีค่าการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ต่อความสูงระหว่างชั้นทางแกน X และ Y เท่ากับ 0.0102 และ 0.0113 และวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ต่อความสูงระหว่างชั้นทางแกน X และ Y เท่ากับ 0.0067 และ 0.0111

การเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นของวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด [2] และวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติ

เวลา [1] ทั้งแกน X และ Y อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้ตามมาตรฐาน มยผ. ในทางตรงกันข้ามวิธีแรงสถิตเทียบเท่า [2] มีค่าการเคลื่อนตัว สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ยอมให้ทั้งแกน X และ Y ประมาณ 2.5 เท่า ซึ่งผลการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวทั้ง 3 วิธี การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีการเคลื่อนตัวในลักษณะเดียวกัน โดย ที่การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงมากที่สุดทางแกน X ในชั้นที่ 8 ซึ่งเป็นชั้นที่เปลี่ยนแปลงความไม่สม่ำเสมอของมวลและความไม่ สม่ำเสมอของสติเฟนส เมื่อพิจารณาทางแกน X ที่ชั้น 25-27 ซึ่งเป็น ส่วนของโครงถักถ่ายน้ำหนัก (Transfer Truss) เชื่อมต่อแต่ละ อาคารทำให้ระบบโครงสร้างมีลักษณะคล้ายโมเมนต์เฟรม (Moment Frame System) ทำให้การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่าง ชั้นมีค่าน้อย และทางแกน Y เนื่องจากระบบโครงสร้างของอาคารมี ลักษณะคล้ายคานยื่น (Free Cantilever System) ที่เปลี่ยนแปลง ของสติเฟนสในแต่ละช่วง ทำให้การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ 8-32 มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่

5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมและเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์แรง แผ่นดินไหว 3 วิธี คือ วิธีแรงสถิตเทียบเท่า [2] วิธีสเปกตรัมการ ตอบสนองแบบโหมด [2] และวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้น แบบประวัติเวลา [1] โดยใช้มาตรฐานการออกแบบอาคารด้าน แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว มยผ. เพื่อวิเคราะห์ผลตอบสนอง เชิงสเปกตรัมของโครงสร้าง โดยอาคารตัวอย่าง ตึกข้าง โดยมี สมมติฐานว่าอาคารตั้งอยู่บริเวณแผ่นดินไหวรุนแรง อ.เมือง จ. เชียงใหม่ เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและระบบโครงสร้างเป็น ระบบโครงอาคารและกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้ รายละเอียดพิเศษ [1,2] โดยสรุปได้ดังนี้

1.) แรงเฉือนแต่ละชั้น (Story Shear) วิเคราะห์ด้วยวิธี สเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิง เส้นแบบประวัติเวลา มีแนวโน้มที่คล้ายกันที่ชั้น 7-8 และชั้น 24-25 ซึ่งเป็นชั้นที่เปลี่ยนแปลงความไม่สม่ำเสมอของมวลและความไม่ สม่ำเสมอของสติเฟนส ในทางตรงกันข้ามวิธีแรงสถิตเทียบเท่าให้ผล ของแรงเฉือนแต่ละชั้นมีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ค่าแรงเฉือนไม่ สอดคล้องกับลักษณะความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างอาคาร

แรงเฉือนที่ฐานวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด MRSA [2] มีค่าอย่างมากมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่าแรงเฉือนที่ฐานคูณ ด้วย $\frac{SF\Omega_0}{R}$ เพียงโหมดแรกเพียงโหมดเดียวซึ่งแตกต่างจากวิธีอื่น ที่ค่าแรงเฉือนที่ฐานคูณด้วย $\frac{I}{R}$ ทุกโหมด

2.) การเคลื่อนตัวแต่ละชั้นและการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่าง ชั้นมีแนวโน้มที่คล้ายกัน ที่ชั้น 8 มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่าง ชั้นมากที่สุด เนื่องจากอาคารมีการเปลี่ยนแปลงความไม่สม่ำเสมอ

ของมวล วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมดและวิธีวิเคราะห์การ ตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลาให้ผลที่ใกล้เคียงกัน

ผลวิเคราะห์การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นวิธีสเปกตรัม ตอบสนองแบบโหมดและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบ ประวัติเวลา มีค่าที่อยู่ในเกณฑ์ [1,2] แต่วิธีแรงสถิตเทียบเท่า มีค่า มากกว่าเกณฑ์ที่ยอมให้ อย่างมีนัยสำคัญ [2]

3.) วิธีวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวทั้ง 3 วิธี พบว่าวิธีสเปกตรัม ตอบสนองแบบโหมดและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบ ประวัติเวลา มีความเหมาะสมมากกว่าวิธีแรงสถิตเทียบเท่า เนื่องจาก ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนแต่ละชั้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากตาม มวลและสติเฟนสแต่ละชั้นของอาคาร แต่ค่าแรงเฉือนแต่ละชั้นจาก วิธีแรงสถิตเทียบเท่า มีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้นตั้งแต่ชั้นหลังคานถึงชั้น ล่างสุด และวิธีแรงสถิตเทียบเท่ายังเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ไม่ได้คำนึงถึง ผลของการเสียรูปของอาคาร คาบธรรมชาติของอาคารในแต่ละ โหมดและไม่ได้คำนึงถึงผลของการกระจายตัวของแรงต้านข้าง ด้วย เหตุผลข้างต้นทำให้วิธีแรงสถิตเทียบเท่าไม่เหมาะสมที่จะใช้คำนวณ ผลของแรงแผ่นดินไหวกับอาคารตัวอย่าง ตึกข้าง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ต้องขอขอบคุณอาจารย์ที่ ปรึกษา ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาใน ทุกด้านของงานวิจัย

ขอขอบคุณพี่และน้องๆ จากบริษัท อินฟรากรุ๊ป จำกัด ที่ให้คำ ปรึกษาในการทำวิจัยและสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำวิจัย

7. การอ้างอิง

- [1] มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านการสั่นสะเทือนของ แผ่นดินไหว มยผ. 1302-52 ปี 2552, กรมโยธาธิการและผัง เมือง กระทรวงมหาดไทย, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย
- [2] มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านการสั่นสะเทือนของ แผ่นดินไหว มยผ. 1301/1302-61 ปี 2561, กรมโยธาธิการ และผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย
- [3] Chang (Elephant) Building, BKK Kids, 9 October 2013. Retrieved 9 March 2014
- [4] Computers and Structures, Inc., Integrated Building Design Software, User's guide ETABS version 2016, USA., 2016.
- [5] Kimleng Khy, Chatpan Chintanapakdee, Pennung Warnitchai and Anil C. Wijeyewickrema, Modified response spectrum analysis to compute shear force in tall RC shear wall buildings, Engineering Structures Vol.180, 2019, Page 295–309, DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.11.022

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายนิติกร แสงสว่าง
 วัน เดือน ปีเกิด 10 มกราคม 2536
 ที่อยู่ 115/13 หมู่ 2 ต.พุดตาลอง อ.สัตหีบ
 จ.ชลบุรี 20180 โทร 087-619-1117
 ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2558 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน วิศวกรรมโครงสร้าง

ประสบการณ์ทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ. 2561 – ปัจจุบัน วิศวกรโครงสร้าง บริษัท อินฟรา กรุป จำกัด

พ.ศ. 2564 นิติกร, อาทิตย์, สุวัฒน์ และณัฐภัทร (2564). การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตึกข้างต้านทานแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26