

การศึกษาและเปรียบเทียบการเสริมกำลังด้านแรงแผ่นดินไหว
ของอาคารสูงที่มีรูปทรงไม่สมมาตร
THE STUDY AND COMPARISON OF STRENGTHENING
EARTHQUAKE RESISTANT ASYMMETRIC HIGH-RISE BUILDING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การศึกษาและเปรียบเทียบการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว
ของอาคารสูงที่มีรูปทรงไม่สมมาตร
THE STUDY AND COMPARISON OF STRENGTHENING
EARTHQUAKE RESISTANT ASYMMETRIC HIGH-RISE BUILDING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตบัณชิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY AND COMPARISON OF STRENGTHENING
EARTHQUAKE RESISTANT ASYMMETRIC HIGH-RISE BUILDING



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาและเปรียบเทียบการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว

ของอาคารสูง

นักศึกษา

ณัฐวุฒิ ชวดฉิม รหัสประจำตัว 58010432

ธรรมรัตน์ ทาสี รหัสประจำตัว 58010560

อรรษชัย เขียนงาม รหัสประจำตัว 58011427

หลักสูตร







วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร	
รศ. สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	
ผศ.ดร. อำพน จรัสรุ่งเกียรติ	
ผศ.ดร. อัญญาวิทย์ สุจริตพงศ์	
อาจารย์ ทรงกลด แซ่อึ้ง	
ดร. ณัฐดนัย สิ้นสมุทรผดุง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....

การศึกษาและเปรียบเทียบการเสริมกำลังด้านแรงแผ่นดินไหวของอาคารสูง

นาย ณัฐวุฒิ	ชาตฉิม	รหัสประจำตัว	58010432
นาย ธรรมรัตน์	ทาสี	รหัสประจำตัว	58010560
นาย อรรถชัช	เขียนงาม	รหัสประจำตัว	58011427

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเหตุการณ์แผ่นดินไหวเกิดขึ้นได้ทั้งในประเทศและนอกประเทศ ซึ่งมีผลกระทบต่อประเทศไทยทั้งทางตรงและทางอ้อม ทางกรมโยธาธิการและผังเมืองจึงได้มีมาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาแผ่นดินไหว (มยผ. 1301-50) หลังจากนั้นก็ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มเติมเป็นมาตรฐานการประเมินและเสริมความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1301-50)

โครงการพิเศษนี้มีจุดมุ่งหมายให้ผู้อ่านได้เข้าใจถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการเสริมกำลังด้านแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีการต่างๆ พอกโครงสร้างด้วยวัสดุต่างๆได้แก่ การพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต, การพอกโครงสร้างด้วยเหล็ก, การพอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (CFRP) และการเสริมโครงแกนง (bracing) และการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนโดยใช้อุปกรณ์สลายพลังงานแบบพาสซีฟ ซึ่งได้วิเคราะห์และศึกษาด้วยโปรแกรม ETABS จากนั้นนำมาเปรียบเทียบความเหมาะสมสำหรับอาคารที่นำมาศึกษา ซึ่งอาคารที่ได้นำมาเป็นตัวอย่างคืออาคารช้าง (Elephant Building)

THE STUDY AND COMPARISON OF STRENGTHENING EARTHQUAKE RESISTANT ASYMMETRIC HIGH-RISE BUILDING

Mr. Nutthawut Chuadchim Student ID. 58010432
Mr. Thammarat Tasee Student ID. 58010560
Mr. Atsachai Kaenggam Student ID. 58011427

Advisor Asist.Prof.Dr.Arthit Phetchsasithon
Academic Year 2018

ABSTRACT

Nowadays, the earthquake appears in the country and foreign countries which affect to Thailand in direct and indirect. Thus, the department of public works and town & country planning standard created the design building standards for the earthquake issues.

A special project aims a reader that can clearly know to reinforce a building under the design building standards which has 5 solutions. They include 1. Steel Plate Jacketing 2. Concrete Jacketing 3. Fiber reinforce plastic Jacketing 4. Bracing

For all methods are simulated and analyzed by ETABS 2016 then we compare these methods under appropriate factors by Elephant Building.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วย ความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และคำชี้แนะในการปรับปรุงแก้ไขปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับโครงการนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้ให้ข้อแนะนำทางวิชาการ ข้อคิดเห็น และแนวทางที่เป็นประโยชน์ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณะกรรมการผู้จัดการ บริษัทอรุณชัยเสรี ที่ให้ความอนุเคราะห์แบบตึกข้างสำหรับใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างซึ่งทำให้สามารถทำวิทยานิพนธ์ได้

สุดท้ายต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดู อบรมส่งเสริมการศึกษาซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอดที่ทำให้มีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ณัฐติ	ชวดฉิม	รหัสประจำตัว	58010432
ธรรมรัตน์	ทาสี	รหัสประจำตัว	58010560
อรรชชัย	เขียนงาม	รหัสประจำตัว	58011427

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3. ขอบเขตของโครงการพิเศษ.....	2-3
1.4. ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.1.1 ความสำคัญของแรงแผ่นดินไหว.....	5
2.1.2 แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทย.....	6
2.1.3 ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว.....	7
2.1.4 พื้นที่ในกรุงเทพมหานคร.....	7-9
2.1.5 ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร.....	10
2.1.6 การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัด.....	11-14
2.1.7 ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง.....	15-17
2.1.8 ข้อจำกัดและข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับอาคารที่รูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอ.....	17-18
2.1.9 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นและการโก่งตัวของโครงสร้าง.....	18
2.1.10 แบบจำลองโครงสร้าง.....	18-19
2.2 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง.....	20
2.2.1 การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า.....	20

2.2.2 การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์.....	20
2.3 การเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว.....	21
2.3.1 บทนำ.....	21
2.3.2 การพอกโครงสร้างด้วยวัสดุต่างๆ.....	21
2.3.2.1 การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก (Steel plate Jacketing)	22-23
2.3.2.2 การพอกโครงสร้างเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก (reinforced concrete jacketing).	23-26
2.3.2.3 การพอกโครงสร้างด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Fiber Reinforced Polymer).....	26-30
2.3.3 โครงแกว่ง (Bracing).....	30-31
2.3.4 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนโดยใช้อุปกรณ์สลายพลังงานแบบพาสซีฟ.....	31
2.3.4.1 ข้อกำหนดทั่วไป.....	31
2.3.4.2 แบบจำลองอุปกรณ์สลายพลังงาน.....	31
2.3.4.2.1 อุปกรณ์สลายพลังงานที่มีคุณสมบัติขึ้นกับการเคลื่อนที่.....	31-32
2.3.4.2.2 อุปกรณ์สลายพลังงานที่มีคุณสมบัติขึ้นกับความเร็ว.....	32-33
2.4 คุณสมบัติของวัสดุและน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำต่อโครงสร้าง.....	34-35
2.5 ข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ1302-52.....	35-37
2.6 ข้อมูลตึกข้าง.....	37-49
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	49-50
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ.....	51
3.1. รูปแบบการวิจัย	51
3.2. การรวบรวมข้อมูล.....	51
3.3. เครื่องมือวิจัย.....	51
3.4. ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	52
3.5. การสร้างแบบจำลองอาคาร	52

3.5.1. ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Etabs	52-60
3.6 การคำนวณแรงแผ่นดินไหว มผย1302-52.....	61
3.6.1 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสถิตย์ (มผย. 1302-52).....	61-63
3.6.2 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด.....	63-67
3.7 วิธีการเสริมกำลังโครงสร้าง ในแบบจำลองในโปรแกรม.....	68
3.7.1 การเสริมกำลังด้วยวิธีการพอกโครงสร้างด้วยวัสดุเสริมกำลัง.....	68-70
3.7.2 การติดตั้งอุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดของเหลว.....	70-71
3.7.3 การติดตั้งอุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดแข็ง.....	72-73
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	74
4.1 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด.....	74-75
4.2 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสถิตย์เทียบเท่า.....	75
4.2.1 พอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต (Concrete Jacketing).....	75-76
4.2.2 พอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก (Steel Jacketing)	77-78
4.2.3 พอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (Polymer Jacketing).....	78-79
4.2.4 โครงแกว่ง (Bracing).....	80-82
4.2.5 อุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดของเหลว (Fluid viscous damper).....	83-85
4.2.6 อุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดแข็ง (Friction damper).....	86-88
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	89
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	89
5.1.1 พฤติกรรมของโครงสร้างทั้งก่อนการเสริมกำลังและหลังการเสริมกำลังโดยจะแสดงค่าคาบของ โครงสร้างจำนวน 12 โหมด.....	89-93
5.1.2 การเปรียบเทียบวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารที่ศึกษา โดยบอกข้อดี ข้อเสียของแต่ละ วิธี.....	94
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	94-95
บรรณานุกรม.....	96
ภาคผนวก.....	97

ภาคผนวก ก.....	97-112
ภาคผนวก ข.....	113-154
ภาคผนวก ค.....	155
ภาคผนวก ง.....	156-159
ภาคผนวก จ.....	160



สารบัญตาราง

หัวข้อ	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
ตารางที่ 2.1 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีสถิตย์เทียบเท่า.....	8
ตารางที่ 2.2 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีพลศาสตร์.....	8
ตารางที่ 2.3 การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคารและค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร.....	10
ตารางที่ 2.4 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R).....	12-14
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตประเภทโพลิเมอร์ชนิดแผ่นเสริมเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยแก้ว....	26
ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดขนาดหน้าตัดของเสา.....	26-41
ตารางที่ 2.7 แสดงรายละเอียดขนาดหน้าตัดของคาน.....	41-45
ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของ Fluid viscous damper.....	70
ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของ Friction damper.....	72
ตารางที่ 5.1 กราฟแสดงแสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างก่อนการเสริมกำลัง.....	89
ตารางที่ 5.2 กราฟแสดงแสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างหลังการเสริมกำลังด้วยวิธีการพอกคอนกรีต.....	91
ตารางที่ 5.3 กราฟแสดงแสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างหลังการเสริมกำลังด้วยวิธีการพอกคอนกรีต.....	91
ตารางที่ 5.4 กราฟแสดงแสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างหลังการเสริมกำลังด้วยโพลิเมอร์เสริมเส้นใย.....	92
ตารางที่ 5.5 กราฟแสดงแสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างหลังการเสริมกำลังด้วยโครงแกน.....	92
ตารางที่ 5.6 กราฟแสดงแสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างหลังการเสริมกำลังด้วยอุปกรณ์แบบยึดหยุ่นชนิด ของเหลว.....	93
ตารางที่ 5.7 กราฟแสดงแสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างหลังการเสริมกำลังด้วยอุปกรณ์แบบยึดหยุ่นชนิด ของเหลว.....	93
ตารางที่ข-1 ก่อนการเสริมกำลัง EQX.....	113-114
ตารางที่ข-2 ก่อนการเสริมกำลัง EQY.....	115-116
ตารางที่ข-3 ก่อนการเสริมกำลัง RESPONSE SPECTRUM.....	117-118
ตารางที่ข-4 วิธี Bracing หลังการเสริมกำลัง EQX.....	119-124
ตารางที่ข-5 วิธี FRD หลังการเสริมกำลัง EQX.....	125-130
ตารางที่ข-6 วิธี FVD หลังการเสริม EQX.....	131-136

ตารางที่ข-7 วิธี CFRP JACK หลังเสริมกำลัง EQX.....	137-142
ตารางที่ข-8 วิธี concrete Jacketing หลังเสริมกำลัง EQX.....	143-148
ตารางที่ข-9 วิธี STEEL PLATE JACKETING หลังการเสริมกำลัง EQX.....	149-154
ตารางที่ ค-1.ตารางการแปลงหน้าตัดของวัสดุ.....	155
ตารางที่ ง-1 รายละเอียดของเหล็กแผ่นดำ.....	156
ตารางที่ ง-2 รายละเอียดข้อมูลคุณสมบัติของ CFRP.....	157
ตารางที่ ง-3 รายละเอียดของเหล็ก Wide Flange.....	158
ตารางที่ ง-4 แสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์ตัวห่วงยึดหยุนชนิดของเหลว.....	159
ตารางที่ ง-5 แสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์ตัวห่วงยึดหยุนชนิดของแข็ง.....	159
ตารางที่ จ-1 ตารางแสดงการจำแนกชั้นดิน.....	160



สารบัญรูป

หัวข้อ

หน้า

รูปที่ 2.1 Tectonic map of SE Asia	7
รูปที่ 2.2 การแบ่งโซนพื้นที่แอ่งกรุงเทพเพื่อการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว	9
รูปที่ 2.3 ความไม่สม่ำเสมอของสตีฟเนส.....	16
รูปที่ 2.4 ความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงในแนวดิ่ง	17
รูปที่ 2.5 ความไม่ต่อเนื่องในระนาบ.....	17
รูปที่ 2.6 แสดงค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผล และค่าพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล	19
รูปที่ 2.7 การหุ้มด้วยแผ่นเหล็ก (มยพ.1303-57,กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2557).....	22
รูปที่ 2.8 การหุ้มหน้าตัดด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก	24
รูปที่ 2.9 ภาพแสดงรูปตึกข้าง.....	38
รูปที่ 2.10 แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของตึกข้าง	39
รูปที่ 3.1 การตั้งค่า Display units, steel code,concrete code	53
รูปที่ 3.2 วางแนว Grid line และจำนวนชั้นของแบบจำลอง	53
รูปที่ 3.3 กำหนดคุณสมบัติของกำลังคอนกรีต 320 ksc	54
รูปที่ 3.4 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 0.25x0.50 เมตร.....	55
รูปที่ 3.5 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 1.20x1.20 เมตร	55
รูปที่ 3.6 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของแผ่นพื้นPost tension ความหนา250 มม.....	56
รูปที่ 3.7 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของผนังรับแรงเฉือน ความหนา 0.20 เมตร	56
รูปที่ 3.8 แปลนแบบจำลองของโครงสร้าง เสา ผนังรับแรงเฉือน และพื้น ชั้นที่ 32.....	57
รูปที่ 3.9 แบบจำลองของอาคาร ตึกข้าง ในการแสดงผลแบบ 3D.....	57
รูปที่ 3.10 กำหนด Mass Source Data.....	58
รูปที่ 3.11 ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผลของคาน.....	59
รูปที่ 3.12 ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผลของเสา	59
รูปที่ 3.13 ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผลของแผ่นพื้นสำเร็จรูป	60
รูปที่ 3.14 การสันพื้นฐานของอาคาร	60
รูปที่ 3.15 กำหนด Define Load Pattern	61

รูปที่ 3.16 Modify lateral load	63
รูปที่ 3.17 Define Response spectrum Function.....	64
รูปที่ 3.18 กำหนด Load case ของการวิเคราะห์แบบ Response spectrum.....	65
รูปที่ 3.19 แสดงน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Effective Modal Weight)	66
รูปที่ 3.20 แสดงแรงเฉือนที่ฐานก่อนการปรับค่า Scale Factor	67
รูปที่ 3.21 แสดงแรงเฉือนที่ฐานหลังการปรับค่า Scale Factor.....	67
รูปที่ 3.22 เพิ่มขนาดของกำแพงรับแรงเฉือนจาก300 mm เป็น 350 mm.....	68
รูปที่ 3.23 ตั้งค่าหน้าตัดของเหล็ก wide-flange.....	69
รูปที่ 3.24 หาดำแหน่งที่เหมาะสมที่จะติดตั้ง bracing ในแบบจำลอง.....	70
รูปที่ 3.25 ตั้งค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์แบบยึดหยุ่นชนิดของเหลว.....	71
รูปที่ 3.26 หาดำแหน่งที่เหมาะสมที่จะติดตั้งอุปกรณ์ตัวหน่วงในแบบจำลอง.....	71
รูปที่ 3.27 แสดงคุณสมบัติของ Friction Damper	72
รูปที่ 3.28 หาดำแหน่งที่เหมาะสมที่จะติดตั้งโครงอาคารป้องกันการโก่งเดาะ	73
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชั้นและการเคลื่อนตัวสัมพันธ์(Inter-story drift)	74
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชั้นและการเคลื่อนตัวสัมพันธ์(Inter-story drift)	75
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น.....	76
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น.....	76
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น.....	77
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น.....	78
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น.....	79
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น.....	79
รูปที่ 4.9 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในห้องค้ำอาคาร	80
รูปที่ 4.10 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทิศทางแกน X	81
รูปที่ 4.11 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทิศทางแกน Y.....	81
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น.....	82
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น.....	82
รูปที่ 4.14 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในห้องค้ำอาคาร	83
รูปที่ 4.15 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทิศทางแกน X	84

รูปที่ 4.16 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทิศทางแกน Y.....	84
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น.....	85
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น.....	85
รูปที่ 4.19 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในห้องค้ำอาคาร	86
รูปที่ 4.20 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทิศทางแกน X	87
รูปที่ 4.21 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทิศทางแกน Y.....	87
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น.....	88
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น.....	88
รูปที่ 5.1 แสดงภาพ 3 มิติของโครงสร้างใน Mode Shape ที่ 1-3	90
รูปที่ ก-1 ACS P1-2-Model	96
รูปที่ ก-2 ACS P2B-3B-Model.....	97
รูปที่ ก-3 ACS P3-4-Model	98
รูปที่ ก-4 ACS P5-6-Model	99
รูปที่ ก-5 ACS P7-Model.....	100
รูปที่ ก-6 ACS P8-12-Model.....	101
รูปที่ ก-7 ACS P9B-Model.....	102
รูปที่ ก-8 ACS P16-24-Model.....	103
รูปที่ ก-9 ACS P18-21-Model.....	104
รูปที่ ก-10 ACS P25-26-Model.....	105
รูปที่ ก-11 ACS P27-28-Model.....	106
รูปที่ ก-12 ACS P29-30-Model.....	107
รูปที่ ก-13 ACS P31-PR-Model.....	108
รูปที่ ก-14 ACS P13 and P17-Model	109
รูปที่ ก-15 ACS P18 and P21-Model	110
รูปที่ ก-16 ACS P22 and P24-Model	111

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยในปัจจุบันได้นิยมการสร้างอาคารสูงเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้ที่ดินเนื่องจากที่ดินมีราคาสูงและได้มีการเตรียมพร้อมเรื่องแผ่นดินไหวมากขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้นทางผู้ศึกษาจึงมีความตั้งใจในการศึกษาเกี่ยวกับการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปออกแบบอาคารสูงโดยอาคารสูงคืออาคารที่บุคคลอาจเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้ที่มีความสูงตั้งแต่ยี่สิบสามเมตรขึ้นไป โครงสร้างอาคารส่วนใหญ่ในประเทศล้วนแล้วแต่เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในการใช้โปรแกรม ETABS ทำให้รู้ถึงความสามารถของโครงสร้างในการรับแรงหรือระบบพิกัดตำแหน่งของน้ำหนักที่กระทำและรู้พฤติกรรมของโครงสร้างว่าจะได้รับผลกระทบจากแรงที่กระทำอย่างไรบ้าง และบอกถึงแบบจำลองของการรับน้ำหนักที่กระทำให้เกิดการวิบัติที่ขึ้นส่วนไหนของโครงสร้าง และทางกรมโยธาธิการและผังเมืองจึงได้มีมาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาแผ่นดินไหวซึ่งเป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 49

ในที่นี่จึงได้มีการนำอาคารที่ได้ทำการสร้างก่อนกฎหมายรองรับแผ่นดินไหว มาวิเคราะห์โครงสร้างภายในอาคารและมาศึกษาหาวิธีการเสริมกำลังของโครงสร้างเพื่อสามารถรองรับแรงแผ่นดินไหวได้และเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบอาคาร (มยผ. 1303-57)

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารทั้งก่อนและหลังการเสริมกำลังด้านแรงแผ่นดินไหว
- 1.2.2. เพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารที่ศึกษา โดยบอกข้อดี ข้อเสียของแต่ละวิธี
- 1.2.3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงด้านข้างระหว่างโครงข้อแข็งและกำแพงรับแรงเฉือนด้วยโปรแกรม ETABS

1.3. ขอบเขตของโครงการพิเศษ

- 1.3.1. ศึกษาเฉพาะแบบจำลองโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 32 ชั้น โครงการชื่อ Elephant Building สถานที่ตั้ง 369/38 ถนนพหลโยธิน 26 แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพฯ ที่นี้แบ่งตึกเป็น 3 อาคาร ได้แก่ อาคาร A, B เป็นสำนักงาน อาคาร C เป็นที่พักอาศัย และมีส่วนเชื่อมต่อด้านบนอาคาร ชั้น 25-32 โครงสร้างทั่วไป ระบบพื้น คาน แบบ post tension slab และ slab on ground ส่วนที่จอดรถเป็นระบบคอนกรีตอัดแรง โครงสร้างส่วนเชื่อมอาคารด้านบนเป็นแผง คอนกรีตเสริมเหล็กด้านละ 4 แผง ยึดเข้ากับโครงสร้างหลักของแต่ละอาคาร ด้วยโปรแกรม ETABS เท่านั้น
- 1.3.2. แรงกระทำด้านข้างเนื่องมาจากแผ่นดินไหวในการวิเคราะห์ที่ใช้มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1302-52) เท่านั้น
- 1.3.3. ศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมการเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคาร (Lateral Displacement) และการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น (Inter-story Drift)
- 1.3.4. ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต เพื่อหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุด ในการเสริมกำลังแก่อาคารที่ศึกษา
- 1.3.5. ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก เพื่อหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุด โดยขนาดแผ่นเหล็กในตลาด ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 528-2540 มีความหนาตั้งแต่ 1.2-100 มม. เพื่อหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุด ในการเสริมกำลังแก่ตัวอาคารที่ศึกษา โดยไม่คำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น และ ความเครียดของวัสดุเสริมกำลัง
- 1.3.6. ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานของการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย เพื่อหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุด ในการเสริมกำลังแก่อาคารที่ศึกษา โดยไม่คำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น และ ความเครียดของวัสดุเสริมกำลัง
- 1.3.7. ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานของโครงแกน โดยเหล็กชนิด Wide Flange มาตรฐาน ASTM ชนิดเหล็กแผ่นดำ เพื่อหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุด โดยศึกษาจากการเปรียบเทียบกัน

- 1.3.8. ศึกษาโครงสร้างโดยการติดตั้งอุปกรณ์สลายพลังงานที่มีคุณสมบัติขึ้นกับความเร็ว ชนิดอุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดแข็ง
- 1.3.9. ศึกษาโครงสร้างโดยการติดตั้งอุปกรณ์สลายพลังงานที่มีคุณสมบัติขึ้นกับความเร็ว ชนิดอุปกรณ์แบบหนืดยืดหยุ่นชนิดของเหลว
- 1.3.10. ศึกษาเปรียบเทียบวิธีเสริมโครงสร้างแต่ละวิธี เลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุด บอกข้อดี ข้อเสีย โดยคำนึงถึง ด้านสถาปัตยกรรมและด้านราคา เท่านั้น
- 1.3.11. ศึกษาโดยกำหนดแบบจำลองโครงสร้างอาคารเป็นรูปทรงไม่สมมาตรบนฐานรากยึดแน่นสูง 32 ชั้น
- 1.3.12. ศึกษาและวิเคราะห์แบบจำลองโดยไม่คำนึงถึงความเค้นและความเครียด ที่สะสมอยู่ในโครงสร้างเดิม เสมือนว่าเป็นโครงสร้างอาคารที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน
- 1.3.13. ศึกษาแบบจำลองโดยไม่คำนึงถึงน้ำหนักของวัสดุเสริมกำลังที่เพิ่มเข้ามา ในการแปลงหน้าตัดแปลงโดยใช้ความหนาเท่านั้น
- 1.4. ขั้นตอนการดำเนินงาน
- ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

NO.	Task Name	Duration (Week)	2018					2019			
			Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr
1.	ศึกษาวิธีการเสริมกำลังด้านแผ่นดินไหว	8	■								
2.	หาข้อมูลของอาคารที่นำมาศึกษา	4	■								
3.	สร้างโมเดลของอาคาร	4			■						
4.	วิเคราะห์โครงสร้างของอาคาร	4						■			
5.	นำแบบจำลองของอาคารมาเสริมกำลังด้านแผ่นดินไหว	8						■			
6.	เปรียบเทียบวิธีการเสริมกำลังที่เหมาะสมกับอาคาร	2								■	
7.	สรุปผลการศึกษา	4									■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1. ได้เรียนรู้วิธีการตรวจสอบอาคารด้วยโปรแกรม ETABS
- 1.5.2. ได้ทราบพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารหลังการเสริมแรงต้านแผ่นดินไหว
- 1.5.3. ได้เรียนรู้วิธีการประยุกต์ใช้โปรแกรม ETABS ในการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวของอาคาร
- 1.5.4. ได้ทราบถึงวิธีการเสริมการต้านแรงแผ่นดินไหวที่เหมาะสมที่สุด ของ Elephant Building
- 1.5.5. เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ระดับความสูงต่างๆ



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

2.1.1 ความสำคัญของแรงแผ่นดินไหว

จากข้อมูลผลการสำรวจและงานวิจัยใหม่ๆ ที่เกี่ยวกับแผ่นดินไหวภายในประเทศแสดงว่า พื้นที่บางส่วนของประเทศไทยได้แก่ภาคเหนือและภาคตะวันตกมีโอกาสที่จะเกิดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวที่มีขนาดปานกลางถึงขนาดรุนแรงได้ เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีรอยเลื่อนที่มีพลัง (active fault) ที่สามารถทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ได้ ในปัจจุบันนี้มีเมืองใหญ่ๆ หลายแห่งตั้งอยู่ในรัศมีของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวเหล่านี้ ซึ่งจะแผ่อิทธิพลของการสั่นสะเทือนไปถึงได้ ยกตัวอย่างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย เมื่อปี พ.ศ. 2537 ได้เกิดแผ่นดินไหวขนาดกลางขึ้นมีขนาด 5.1 ริกเตอร์และมีศูนย์กลางของแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณเทือกเขาที่ห่างจากตัวอำเภอเพียง 20-30 กิโลเมตร ทำให้เกิดความเสียหายค่อนข้างรุนแรงต่ออาคารโรงพยาบาลคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 2 ชั้น รวมทั้งได้ก่อให้เกิดความเสียหายแก่โรงเรียนมากกว่า 20 หลัง และวัดอีกมากมายกว่า 30 แห่ง

เพื่อป้องกันภัยพิบัติที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในปัจจุบันนี้ กระทรวงมหาดไทยจึงออกกฎกระทรวงฉบับ พ.ศ. 2550 เพื่อควบคุมให้อาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยมีการออกแบบและก่อสร้างให้ต้านทานแผ่นดินไหวอย่างเหมาะสม โดยมีผลบังคับใช้แล้วตั้งแต่วันที่ 18 พฤศจิกายน 2550 เป็นต้นไป ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างอาคารจะต้องคำนึงถึงการจัดรูปแบบเรขาคณิตให้มีเสถียรภาพต่อการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยมีรูปทรงและสัดส่วนที่ดี มีการจัดรายละเอียดเหล็กเสริมบริเวณจุดรอยต่อระหว่างองค์อาคาร และโครงสร้างทั้งระบบให้มีความเหนียวคือสามารถโยกไหวได้โดยไม่แตกร้าวรุนแรงจนสูญเสียกำลังรับน้ำหนักบรรทุก เพื่อป้องกันการวิบัติแบบสิ้นเชิง

โดยที่การออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว มีความแตกต่างจากการออกแบบอาคารรับแรงประเภทอื่น ๆ ดังนั้นวิศวกรผู้ออกแบบจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบที่ถูกต้อง

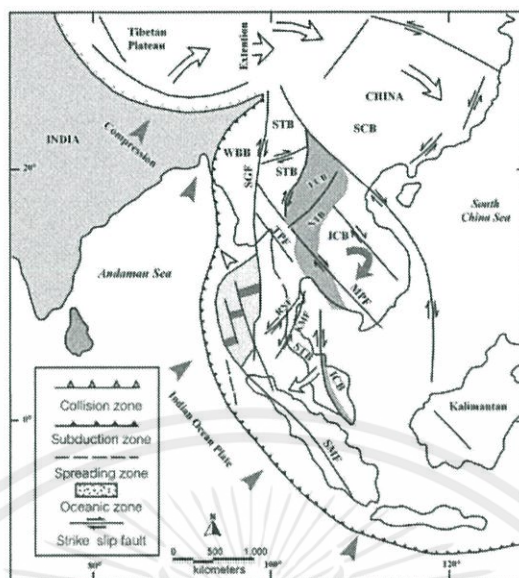
2.1.2 แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทย

แนวแผ่นดินไหวของโลก ตรงบริเวณขอบของแผ่นเปลือกโลก ในกรณีของประเทศไทย แนวแผ่นดินไหวโลกที่ใกล้ ๆ ได้แก่ แนวในมหาสมุทรอินเดีย สุมาตรา และ ประเทศพม่า และแนวรอยเลื่อนต่าง ๆ ในกรณีประเทศไทย ได้แก่ แนวรอยเลื่อนในประเทศเพื่อนบ้าน พม่า จีนตอนใต้ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว แนวรอยเลื่อนภายในประเทศซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในภาคเหนือ และภาคตะวันตก

แนวรอยเลื่อนเหล่านี้ยังมีโอกาสเคลื่อนตัวอยู่จึงเรียกว่า รอยเลื่อนมีพลัง (Active Fault) ในประเทศไทยมีรอยเลื่อนที่มีพลังอยู่กัน ได้แก่ รอยเลื่อนเชียงแสน รอยเลื่อนแพร่ รอยเลื่อนแม่ทา รอยเลื่อนเถิน รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ รอยเลื่อนระนอง

บริเวณที่มีความเสี่ยงต่อภัยแผ่นดินไหวสูงในประเทศไทยได้แก่

1. บริเวณที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ตามแนวรอยเลื่อนทั้งภายในภายนอกประเทศ ส่วนใหญ่อยู่บริเวณภาคเหนือและภาคตะวันตก ของประเทศไทย
2. บริเวณที่เคยมีประวัติหรือสถิติแผ่นดินไหวในอดีตจะมีความเสียหายเกิดขึ้น จากนั้นวันช่วงการเกิดแผ่นดินไหวเป็นระยะเวลาานาน ๆ บริเวณนั้นจะมีโอกาสกาเกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดใกล้เคียงกับสถิติเดิมได้อีก
3. บริเวณที่เป็นดินอ่อนซึ่งสามารถขยายการสั่นสะเทือนได้ดี เช่น บริเวณที่มีดินเหนียวอยู่ใต้พื้นดินเป็นชั้นหนา เช่น บริเวณที่ลุ่ม หรืออยู่ใกล้ปากแม่น้ำ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 Tectonic map of SE Asia showing major fault systems and the relative movement of crustal blocks in response to India-Asia collision (modified from Poolachan, 1989)

2.1.3 ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว

เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว อาคารต่าง ๆ จะมีการตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือ คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร และปัจจัยประกอบอื่น ๆ ดังนั้น ผลตอบสนองของอาคารจึงแสดงในรูปของ “ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม” ซึ่งมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามคาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร ซึ่งในกรณีของพื้นที่เฝ้ากรุงเทพมหานคร ผลตอบสนองของอาคารได้ถูก แสดงในรูปของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ซึ่งได้รวมผลเนื่องจากสภาพดินอ่อนในพื้นที่นี้เข้าไปแล้ว

2.1.4 พื้นที่เฝ้ากรุงเทพมหานคร

พื้นที่เฝ้ากรุงเทพมหานครครอบคลุมกรุงเทพมหานครและจังหวัดปริมณฑลหลายจังหวัด พื้นที่นี้ ได้ถูกแบ่งย่อยเป็น 7 โซน ดังรูปที่ 2.1 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ในพื้นที่ 7 โซนนี้ขึ้นกับวิธีการออกแบบดังนี้

สำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า ให้ใช้สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการ ออกแบบ ที่กำหนดตามค่าที่แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ ในโซนต่าง ๆ ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพฯ หน่วยเป็น (g)

โซน	S _a (0.1 s)	S _a (0.2 s)	S _a (1 s)	S _a (2 s)	S _a (3 s)	S _a (4 s)	S _a (5 s)	S _a (6 s)
1	0.297	0.297	0.284	0.174	0.083	0.062	0.050	0.041
2	0.199	0.199	0.274	0.205	0.107	0.080	0.064	0.054
3	0.192	0.192	0.198	0.154	0.071	0.053	0.043	0.036
4	0.154	0.154	0.211	0.170	0.077	0.058	0.046	0.039
5	0.126	0.126	0.158	0.174	0.078	0.058	0.047	0.039
6	0.113	0.113	0.144	0.149	0.067	0.050	0.040	0.034
7	0.217	0.217	0.147	0.149	0.068	0.051	0.041	0.034

ตารางที่ 2.2 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีพลศาสตร์ สำหรับพื้นที่ใน โซนต่าง ๆ ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพฯ หน่วยเป็น (g)

โซน	S _a (0.1s)	S _a (0.2s)	S _a (1s)	S _a (2s)	S _a (3s)	S _a (4s)	S _a (5s)	S _a (6s)
1	0.154	0.297	0.284	0.174	0.083	0.062	0.050	0.041
2	0.116	0.199	0.274	0.205	0.107	0.080	0.064	0.054
3	0.097	0.192	0.198	0.154	0.071	0.053	0.043	0.036
4	0.089	0.154	0.211	0.170	0.077	0.058	0.046	0.039
5	0.079	0.126	0.158	0.174	0.078	0.058	0.047	0.039
6	0.062	0.113	0.144	0.149	0.067	0.050	0.040	0.034
7	0.111	0.217	0.147	0.149	0.068	0.051	0.041	0.034



แผนที่แสดงการแบ่งโซนพื้นที่แอ่งกรุงเทพเพื่อการออกแบบ อาคารต้านทานแผ่นดินไหว

โซน 1	โซน 3	โซน 5	เขตยวมมา	เขตสวนหลวง	โซน 6
จังหวัดเพชรบุรี	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	กรุงเทพมหานคร	เขตบางบอน	เขตสะพานสูง	จังหวัดฉะเชิงเทรา
• อ.เขาชัยสน	• อ.บางบาล	• เขตคลองเตย	เขตบางพลัด	เขตสัมพันธวงศ์	• กิ่งอ.คลองเขื่อน
จังหวัดนครปฐม	• อ.บางโพธิ์	เขตคลองสามวา	เขตบางกอกใหญ่	เขตสาทร	• อ.บางคล้า
• อ.ดอนตูม	• อ.สามชัย	เขตคลองหลวง	เขตบางเขน	เขตสายไหม	• อ.บางน้ำเปรี้ยว
• อ.บางเลน	• อ.วิเศษ	เขตคันนายาว	เขตบางเขน	เขตหนองจอก	• อ.บ้านโพธิ์
• อ.เมืองนครปฐม	• อ.คูบัว	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตหนองแขม	• อ.ราชสาส์น
จังหวัดราชบุรี	• อ.สวนผึ้ง	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตหลักสี่	• อ.เมืองระยอง
• อ.ลำพูน	โซน 4	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	จังหวัดนครนายก
• อ.สวนผึ้ง	จังหวัดนครปฐม	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	• อ.บ้านนา
• อ.บางแพะ	• อ.นครชัยศรี	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	• อ.ปากพลี
• อ.วิเศษ	• อ.พุทธมณฑล	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	• อ.อัครวิทย์
• อ.เมืองราชบุรี	• อ.สามพราน	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	• อ.เมืองนครนายก
โซน 2	จังหวัดนนทบุรี	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	จังหวัดปทุมธานี
จังหวัดนครปฐม	• อ.บางกรวย	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	• อ.คลองหลวง
• อ.นครชัยศรี	• อ.บางบัวทอง	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	• อ.วิเศษบุรี
• อ.พุทธมณฑล	• อ.บางใหญ่	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	• อ.อ่าวทอง
• อ.สามพราน	• อ.ปากเกร็ด	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	• อ.หนองเสือ
จังหวัดสมุทรสงคราม	• อ.เมืองนนทบุรี	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	จังหวัดปราจีนบุรี
• อ.บางคนที	• อ.ไทรน้อย	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	• อ.บ้านสร้าง
• อ.อัมพวา	จังหวัดปทุมธานี	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	โซน 7
• อ.เมืองสมุทรสงคราม	• อ.ลาดหลุมแก้ว	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	จังหวัดชลบุรี
จังหวัดสมุทรสาคร	• อ.สามโคก	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	• อ.ท่าทอง
• อ.กระทุ่มแบน	• อ.เมืองปทุมธานี	เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	• อ.เมืองชลบุรี
• อ.บ้านแพ้ว		เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	
• อ.เมืองสมุทรสาคร		เขตจตุจักร	เขตบางเขน	เขตวิเศษ	

รูปที่ 2.2 การแบ่งโซนพื้นที่แอ่งกรุงเทพเพื่อการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร

อาคารได้ถูกจำแนกตามลักษณะการใช้งานและความสำคัญของอาคารที่มีต่อสาธารณชนและการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุออกเป็น 4 ประเภท (Occupancy Category) คือ ประเภท I, II, III, และ IV โดยอาคารแต่ละประเภทมีค่าตัวประกอบความสำคัญ (Importance Factor) เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารด้านทานแผ่นดินไหวแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.3 การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคารและค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัด

ระบบต้านแรงด้านข้างและระบบรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งของโครงสร้างอาคารอาจเป็นระบบใดระบบหนึ่งที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.3 หรือเป็นระบบผสมที่ได้จากการรวมระบบโครงสร้างหลายแบบ ระบบโครงสร้างที่สามารถเลือกใช้ได้จะขึ้นกับประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหว ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) และตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (System Over strength Factor, Ω_0) ของระบบโครงสร้างแต่ละแบบให้เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบเหล่านี้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) แรงในองค์อาคาร เพื่อการออกแบบ (Element Design Force) และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้น (Story Drift) ระบบโครงสร้างที่เลือกใช้จะต้องได้รับการออกแบบและกำหนดรายละเอียดของโครงสร้าง (Detailing) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานอ้างอิงที่เกี่ยวข้องและข้อกำหนดเพิ่มเติมตามที่ระบุในมาตรฐานฉบับนี้

ในกรณีที่วิศวกรผู้ออกแบบต้องการเลือกใช้ระบบโครงสร้างแบบอื่นที่ไม่ได้มีระบุไว้ในตารางที่ 2.3 จะต้องดำเนินการพิสูจน์ด้วยการวิเคราะห์โครงสร้างและการทดสอบตัวอย่างโครงสร้างในห้องปฏิบัติการ เพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบโครงสร้างนั้น ๆ มีพฤติกรรมเชิงพลศาสตร์ ความสามารถในการต้านทานแรงทางด้านข้าง และความสามารถในการสลายพลังงานเทียบเท่าระบบโครงสร้างแบบใดแบบหนึ่งในตารางที่ 2.3 ที่มีค่าตัวประกอบ R , และ C_d เท่าเทียมกันกับระบบที่เลือกใช้

ตารางที่ 2.4 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบแทน (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Over strength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบ ขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, Cd)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงต้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบ		
		R	Ω_0	C_d	ดัดทานแรง		
					ข	ค	ง
1. ระบบกำแพงรับน้ำหนัก บรรทุกแนวตั้ง (Bearing Wall System)	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	4	2.5	4	✓	✓	X
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีคราให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	5	✓	✓	✓
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	3	2.5	5	✓	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีคราให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall)	4	2.5	4	✓	✓	X
2. ระบบ โครงอาคาร (Building Frame System)	โครงแกนเหล็กแบบรับแรงดัดที่จุดต่อแบบรับแรงดัดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	3	2	4	✓	✓	✓
	โครงแกนเหล็กแบบรับแรงดัดที่จุดต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment-Resisting Connections)	7	2	4	✓	✓	✓
	โครงแกนเหล็กแบบรับแรงดัดที่จุดต่อแบบให้รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5	✓	✓	✓
	โครงแกนเหล็กแบบรับแรงดัดที่จุดต่อแบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	3.5	2	3.5	✓	✓	X
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีคราให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	✓	✓	✓
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	4.5	✓	✓	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	4	2.5	4	✓	X	X
กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีคราให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall)	5	2.5	4.5	✓	✓	X	

หมายเหตุ ✓ = ใช้ได้ x = ห้ามใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบแทน (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบ กำลังส่วนเกิน (System Over strength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบ ขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, Cd) (ต่อ)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงต้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบ		
		R	Ω_0	C _d	ต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
					๗	๘	๙
3. ระบบโครงสร้างแรงคด (Moment Resisting Frame)	โครงสร้างแรงคดเหล็กที่มีความเหนียว (Ductile Special Steel Moment-Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงสร้างคานแรงคดที่มีคราให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	7	3	5.5	√	√	√
	โครงสร้างแรงคดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	4.5	3	4	√	√	X
	โครงสร้างแรงคดเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3	√	√	X
	โครงสร้างแรงคดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียว (Ductile Special Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงสร้างแรงคดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวจำกัด (Ductile RC Moment-Resisting Frame with Limited Ductility/ Intermediate RC Moment-Resisting Frame)	5	3	4.5	√	√	X
	โครงสร้างแรงคดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	5	3	2.5	√	X	X
4. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงสร้างคานแรงคดที่มีความเหนียวที่สามารถต้านทานแรงต้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Ductile/Special Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์กลางพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์กลาง (Steel Eccentrically Braced Frame)	8	2.5	4	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีคราให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	X

หมายเหตุ √ = ใช้ได้ x = ห้ามใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบแทน (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบ กำลังส่วนเกิน (System Over strength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบ ขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, Cd) (ต่อ)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกมบนด้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
5. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงสร้างต้านแรงค้ำที่มีความเหนียวจำกัดที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Moment Resisting Frame with Limited Ductility/ Dual System with Intermediate Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบค้ำแบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	6	2.5	5	√	√	X
	ร่วมกับค้ำเพจรับแรงเฉือนแบบที่มีค้ำให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6.5	2.5	5	√	√	√
	ร่วมกับค้ำเพจรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5.5	2.5	4.5	√	√	X
6. ระบบปฏิสัมพันธ์ (Shear Wall Frame Interactive System)	ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างค้ำเพจรับแรงเฉือนและโครงสร้างต้านแรงค้ำแบบธรรมดาที่ไม่มีค้ำให้รายละเอียดพิเศษ (Shear Wall Frame Interactive System with Ordinary Reinforced Concrete Moment Frame and Ordinary Concrete Shear Wall)	4.5	2.5	4	√	X	X
7. ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีค้ำให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว (Steel Systems Not Specifically Detailed for Seismic Resistance)	ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีค้ำให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว	3	3	3	√	√	X

หมายเหตุ √ = ใช้ได้ x = ห้ามใช้

2.1.7 ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวตั้ง (Vertical Structural Irregularities)

อาคารที่มีลักษณะรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง หรือหลายรูปแบบตามรายการดังต่อไปนี้ ให้ถือว่าเป็นอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวตั้ง

(1ก) ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส หรือมีชั้นที่อ่อน(Stiffness-Soft Story Irregularity) คือกรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีค่าสติฟเนสทางด้านข้าง(Lateral Stiffness) น้อยกว่าร้อยละ 70 ของค่าในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไปหรือน้อยกว่าร้อยละ 80 ของค่าสติฟเนสเฉลี่ยของสามชั้นที่เหนือขึ้นไป ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.4-3ก

(1ข) ความไม่สม่ำเสมออย่างมากของสติฟเนส หรือมีชั้นที่อ่อนอย่างมาก(Stiffness-Extreme Soft Story Irregularity) คือกรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีค่าสติฟเนสทางด้านข้าง(Lateral Stiffness) น้อยกว่าร้อยละ 60 ของค่าในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไปหรือน้อยกว่าร้อยละ 70 ของค่าสติฟเนสเฉลี่ยของสามชั้นที่เหนือขึ้นไป

(2) ความไม่สม่ำเสมอของมวล(Mass Irregularity) คือกรณีที่ค่ามวลประสิทธิผล(Effective Mass) ของชั้นหนึ่งชั้นใด มีค่ามากกว่าร้อยละ 150 ของมวลประสิทธิผลของชั้นบนหรือชั้นล่างที่อยู่ถัดไป ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.4-3ข อาคารที่มีหลังคาที่มีมวลน้อยกว่าพื้นชั้นถัดลงมา ไม่ถือว่าเป็นอาคารที่มีความสม่ำเสมอของมวล

(3) ความไม่สม่ำเสมอของเรขาคณิตของรูปทรงในแนวตั้ง(Vertical Geometric Irregularity) คือกรณีที่มีมิติในแนวราบของระบบต้านแรงด้านข้าง ณ ชั้นหนึ่งชั้นใด มีค่ามากกว่าร้อยละ 130 ของค่าในชั้นบนหรือชั้นล่างที่อยู่ถัดไป ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.4-3ค

(4) ความไม่ต่อเนื่องภายในระนาบตั้งขององค์อาคารต้านแรงด้านข้าง(In-Plane Discontinuity in Vertical Lateral Force-Resisting Element Irregularity) คือกรณีที่องค์อาคารในแนวตั้งที่ต้านแรงด้านข้าง เช่น กำแพงรับแรงเฉือน มีความไม่ต่อเนื่องโดยมีการเยื้องตัวภายในระนาบแนวตั้งขององค์อาคาร เกินกว่ามิติในแนวราบขององค์อาคารนั้น ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.4-3ง

(5ก) ความไม่ต่อเนื่องของกำลังต้านแรงด้านข้างหรือมีชั้นที่อ่อนแอ (Discontinuity in Lateral Strength-Weak Story Irregularity) คือกรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีกำลังต้านแรงด้านข้างน้อยกว่าร้อยละ 80 ของกำลังในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.4-3จ กำลังต้านแรงด้านข้างของชั้นในที่นี่ คือ ผลรวมของกำลังต้านทานแรงด้านข้างของทุกรอบค้ออาคารที่แบกรับแรงเฉือนของอาคารในชั้นนั้น ในทิศทางที่พิจารณา

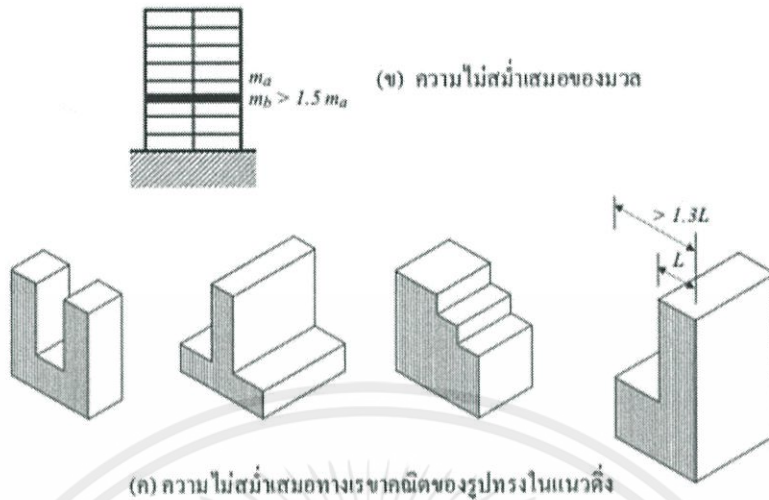
(5ข) ความไม่ต่อเนื่องอย่างมากของกำลังต้านแรงด้านข้างหรือมีชั้นที่อ่อนแอมาก (Discontinuity in Lateral Strength-Extreme Weak Story Irregularity) คือกรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีกำลังต้านแรงด้านข้าง น้อยกว่าร้อยละ 65 ของกำลังในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป

ข้อยกเว้น

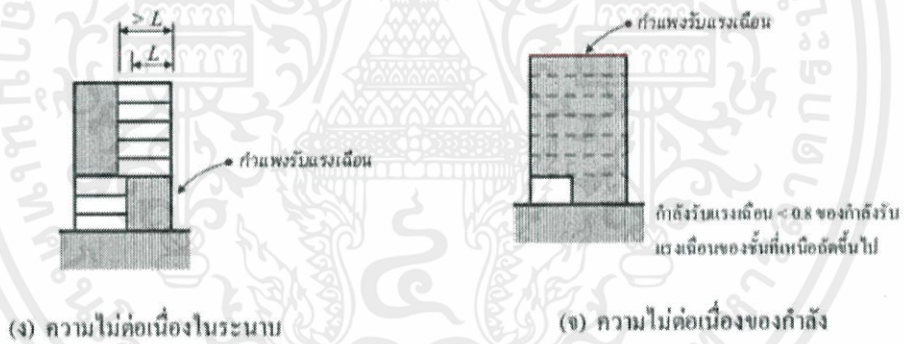
- (1) อาคารจะไม่ถือว่าเป็นความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวตั้ง แบบ 1ก 1ข หรือ 2 หากค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) ของชั้นใด ๆ ที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่า มีค่าไม่เกินร้อยละ 130 ของชั้นที่อยู่เหนือถัดขึ้นไป ทั้งนี้การคำนวณค่าการเคลื่อนตัวดังกล่าว ไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของการบิดตัวของอาคาร (Torsional Effect) และไม่จำเป็นต้องพิจารณาค่าการเคลื่อนตัวของสองชั้นบนสุดของอาคาร
- (2) ในการออกแบบอาคาร 1 ชั้นและ 2 ชั้น ไม่จำเป็นต้องพิจารณาถึงความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวตั้งแบบ 1ก 1ข หรือ 2



รูปที่ 2.3 ความไม่สม่ำเสมอของสติเฟเนส



รูปที่ 2.4 ความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงในแนวตั้ง



รูปที่ 2.5 ความไม่ต่อเนื่องในระนาบ

2.1.8 ข้อจำกัดและข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับอาคารที่รูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอ

- (1) อาคารที่มีประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง จะต้องไม่เป็นอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งแบบ 5ข
- (2) อาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้งแบบ 5ข จะมีความสูงได้ไม่เกิน 2 ชั้น หรือ 9 เมตร เว้นแต่อาคารนั้นสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่าที่คูณด้วยตัวประกอบกำลังส่วนเกินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) อาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบแบบ 4 หรือในแนวตั้งแบบ 4 จะต้องได้รับการออกแบบให้องค์อาคารต่างๆที่รองรับกำแพงหรือโครงสร้างที่ไม่ค่อยต่อเนื่อง มีกำลังเพียงพอที่จะต้านทานแรงซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุก กระทำร่วมกับแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่าที่คุณด้วยตัวประกอบกำลังส่วนเกิน

(4) อาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง และมีความไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบแบบ 1ก 1ข 2 3 หรือ 4 หรือมีความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง แบบ 4 จะต้องได้รับการออกแบบให้ (ก) จุดต่อระหว่างโคอะแฟรมกับโครงสร้างแนวตั้งต้านแรงด้านข้าง(ข) จุดต่อระหว่างโคอะแฟรมกับองค์อาคารเชื่อม (Collector) และ (ค) จุดต่อระหว่างองค์อาคารเชื่อมกับโครงสร้างแนวตั้งต้านแรงด้านข้าง สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่าที่คุณด้วย 1.25 องค์อาคารเชื่อม และจุดต่อระหว่างองค์อาคารเชื่อม ก็ต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงดังกล่าว เว้นแต่ว่าได้ถูกออกแบบให้ต้านทานแรงซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำร่วมกับแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่าที่คุณด้วยตัวประกอบกำลังส่วนเกินเรียบร้อยแล้ว

2.1.9 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นและการโก่งตัวของโครงสร้าง

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ(Design Story Drift) ที่คำนวณได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่าหรือวิธีเชิงพลศาสตร์จะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่ยอมให้(Allowable Story Drift) ในกรณีที่อาคารมีการปิดตัวรอบแกนตั้งอย่างชัดเจน เมื่อถูกแรงแผ่นดินไหวกระทำการคำนวณค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นนี้จะต้องรวมผลของการปิดตัวของอาคารเข้าไปด้วย

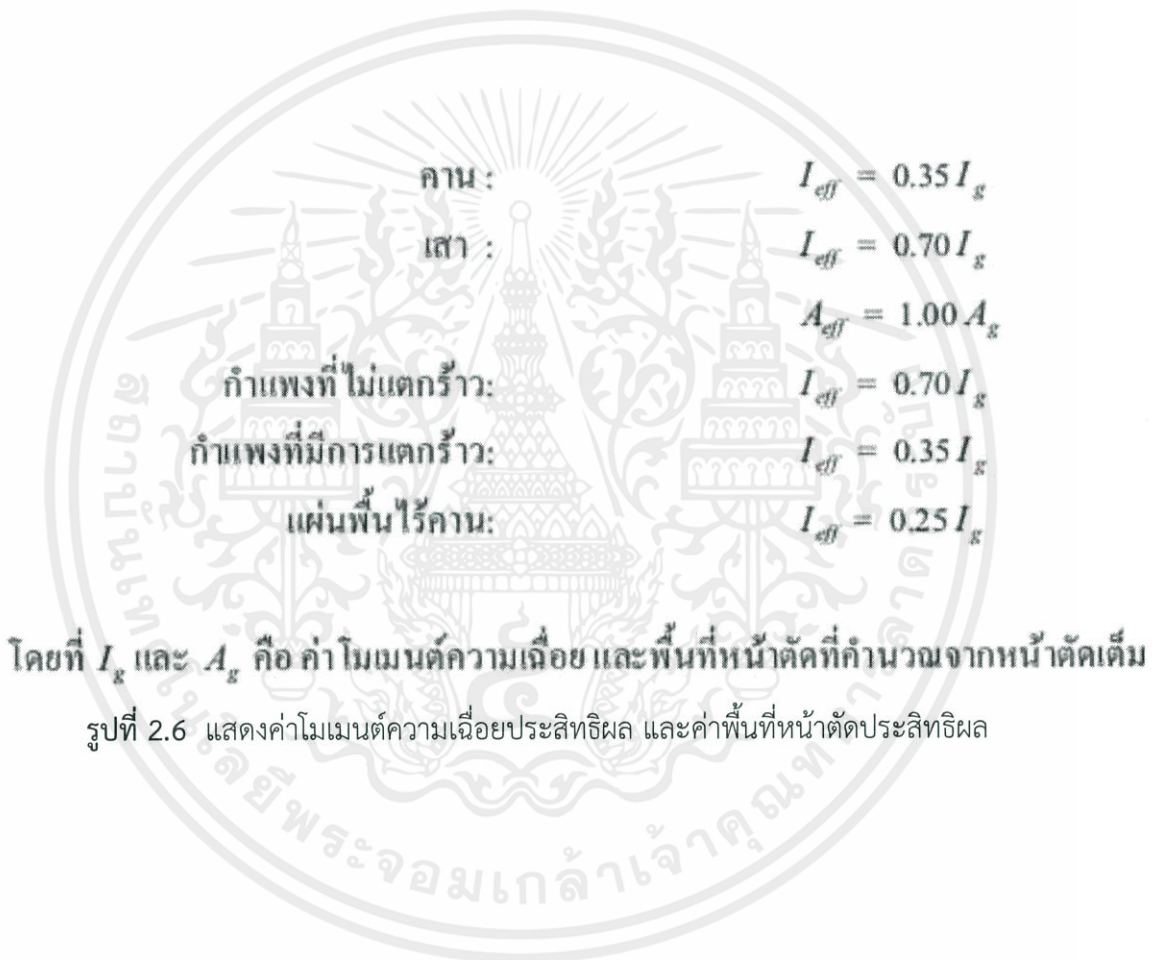
ในกรณีที่อาคารมีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ค หรือ ง และมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบแบบ 1ก หรือ 1ข จะเป็นค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้น ขอบด้านใดด้านหนึ่งของอาคาร ณ ชั้นที่พิจารณาที่มีค่ามากที่สุด

2.1.10 แบบจำลองโครงสร้าง

แบบจำลองโครงสร้างจะต้องถูกสร้างขึ้นเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์คำนวณหาแรงภายในองค์อาคารและการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว ดังนั้นในแบบจำลองนี้จะต้องมีการจำลองค่าสติเฟเนสและกำลังขององค์อาคารที่มีความสำคัญต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว รวมถึงจำลองลักษณะการกระจายของมวลทั่วทั้งอาคารอย่างถูกต้อง

ในกรณีที่อาคารมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวราบแบบ 1ก,1ข,4หรือ 5 แบบจำลองโครงสร้างจะต้องเป็นแบบ 3 มิติ ที่สามารถจำลองการเคลื่อนตัวโครงสร้างในแนวราบได้ทั้งทิศทางหลัก 2 ทิศทางที่ตั้งฉากกัน และบิดตัวรอบแกนในแนวตั้งของโครงสร้าง

การกำหนดค่าสถิติเเนสขององค์อาคารคอนกรีตและอิฐก่อจะต้องคำนึงถึงผลของการแตกร้าวที่มีต่อค่าสถิติเเนส โดยในกรณีที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์อย่างละเอียด อนุญาตให้ประมาณค่าสถิติเเนสจากค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิภาพ และค่าพื้นที่หน้าตัดประสิทธิภาพ ดังต่อไปนี้



2.2 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง

2.2.1 การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีวิธีสถิตเทียบเท่า (มยผ 1302-52) การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสถิตเทียบเท่าเป็นวิธีที่นำมาใช้ออกแบบอาคารได้หลากหลายประเภท วิธีนี้เริ่มจากการคำนวณหาค่าแรงสถิตเทียบเท่าในรูปของแรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Seismic Base Shear, V) จากนั้นจึงกระจายแรงไปยังชั้นต่างๆ ของอาคาร แรงที่เกิดขึ้นภายในองค์อาคารต่างๆ เนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำร่วมกับน้ำหนักบรรทุกทุกในแนวตั้งของอาคารจะเป็นแรงที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการออกแบบกำลังต้านทานและ หาค่าการเคลื่อนตัวขององค์อาคารเหล่านี้

2.2.2 การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ (มยผ 1302-52) การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์แบ่งได้เป็น 2 ประเภท

- 1) วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น
- 2) วิธีแบบประวัติเวลา ซึ่งแบ่งย่อยการวิเคราะห์โครงสร้างแบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้น

ดังนั้นในการออกแบบเพื่อกำหนดความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง วิศวกรผู้ออกแบบ สามารถเลือกใช้วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum Analysis) หรือ วิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างเชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Linear Response History Procedure) โดยวิธีแบบประวัติเวลาจะมีความถูกต้องสูงกว่าวิธีสเปกตรัมการตอบสนอง แบบโหมดวิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Nonlinear Response History Procedure) ใช้ในกรณีที่ต้องการตรวจพิสูจน์สมรรถนะของโครงสร้างที่มีความ ซับซ้อนหรือมีความสำคัญ ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ให้ค่าการตอบสนองที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ

2.3 การเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว

2.3.1 บทนำ

หลักการสำคัญอันหนึ่งในการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารคือ การพยายามลดความไม่สม่ำเสมอที่มีอยู่ของโครงสร้างอาคาร (Reduction of existing irregularities) โดยการเสริมกำลังอาคารที่จะนำเสนอมีทั้งหมด 2 วิธี ได้แก่

1.การพอกโครงสร้างด้วยวัสดุต่างๆ

1.1 การพอกโครงสร้างด้วยเหล็ก (Steel plate jacketing)

1.2 การพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete jacketing)

1.3 การพอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (Polymer jacketing)

1.4 โครงแกงแนง (Bracing)

2.การติดตั้งอุปกรณ์สลายพลังงานแบบพาสซีฟ

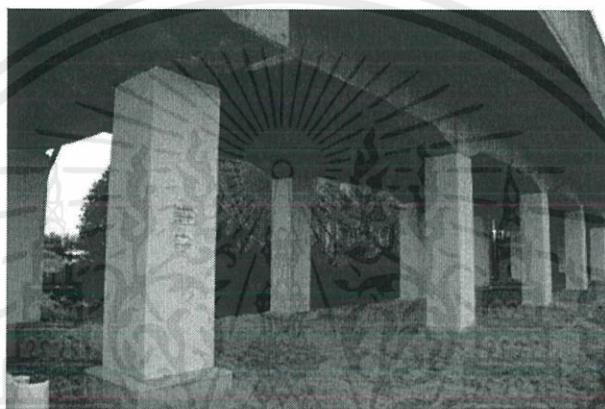
2.3.2 การพอกโครงสร้างด้วยวัสดุต่างๆ

การเสริมกำลังโดยวิธีพอกโครงสร้างจัดเป็นแนวทางการปรับปรุงชิ้นส่วนโครงสร้างเฉพาะที่ใช้ในกรณีที่ต้องการ โดยที่วัสดุที่นำมาพอกโครงสร้างได้แก่ คอนกรีต เหล็ก และโพลีเมอร์เสริมเส้นใย โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อเพิ่มกำลังของชิ้นส่วนให้เพียงพอกับแรงที่ต้องต้านทานจากผลแผ่นดินไหว อันได้แก่ กำลังรับแรงดัด แรงเฉือน การโอברัดความสามารถในการเคลื่อนที่หรือความเหนียว และอื่น ๆ การเสริมกำลังด้วยวิธีการดังกล่าวมานี้ ทั้งในการดำเนินการออกแบบและการก่อสร้างต้องทำให้เกิดพฤติกรรมร่วม (Composite action) ระหว่างหน้าตัดขององค์อาคารเดิมกับวัสดุเสริมกำลังที่นำมาติดตั้ง นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงกำลังรับน้ำหนักของชิ้นส่วนเดิมนั้น ต้องคำนึงถึงกำลังรับน้ำหนักของชิ้นส่วนเชื่อมต่อที่อยู่ข้างเคียงด้วยว่าสามารถต้านทานแรงที่ถ่ายมาจากชิ้นส่วนที่ส่วนเสริมกำลังแล้วหรือไม่ ทั้งนี้อาจต้องพิจารณาปรับปรุงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคารข้างเคียงด้วย สำหรับการคำนวณออกแบบเสริมกำลังชิ้นส่วนอาคารด้วยวิธีข้างต้นนั้น ให้ใช้สูตรหรือสมการตามมาตรฐานสากลหรืออ้างอิงจากผลการทดสอบที่เป็นที่น่าเชื่อถือ

2.3.2.1 การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก (Steel plate Jacketing)

การหุ้มด้วยแผ่นเหล็ก (steel plate jacketing) เป็นวิธีการเสริมให้ชิ้นส่วนมีกำลังต้านทานแรงจากแผ่นดินไหวหรือมีความเหนียวของหน้าตัดที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวที่มากกระทำต่อโครงสร้างได้ข้อดีคือมีราคาถูกและช่างก่อสร้างทั่วไปมีความคุ้นเคย แต่มีข้อเสียคืออาจเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่ให้แก่ชิ้นส่วน อีกทั้งการทำงานบางครั้งต้องรบกวนโครงสร้างเดิมมาก

การหุ้มด้วยแผ่นเหล็กจัดเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพิ่มกำลังรับโมเมนต์ดัด แรงเฉือนและการทาบทอเหล็กเสริม ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 การหุ้มด้วยแผ่นเหล็ก (มยพ.1303-57, กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2557)

การหุ้มแผ่นเหล็กนั้น นอกจากสามารถเพิ่มกำลังต้านทานโมเมนต์ดัด กำลังต้านทานแรงเฉือน และกำลังที่รอยต่อทาบทอเหล็กเสริมแล้ว ยังช่วยเพิ่มความเหนียว (Ductility) ให้แก่ชิ้นส่วนโดยกลไกการโอบรัดหน้าตัด (confinement action) อีกด้วย ซึ่งทำให้ชิ้นส่วนสามารถเคลื่อนที่ด้านข้างได้มากขึ้นโดยไม่เกิดการวิบัติ พฤติกรรมการโอบรัดเกิดขึ้นจากหน่วยแรงโอบรัดด้านข้างซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยส่วนหุ้มคอนกรีตเสริมเหล็กหรือแผ่นเหล็กที่หุ้มหน้าตัดและทำให้กำลังรับแรงอัดและความเครียดประลัยของหน้าตัดคอนกรีตเดิมนั้นสูงขึ้น ซึ่งมีผลให้กำลังรับน้ำหนักและความเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้น

การพอกโครงสร้างเสาที่มีอยู่เดิมด้วยแผ่นเหล็กโดยมีข้อกำหนดในมาตรฐานดังนี้

1. ลักษณะการติดตั้งและหุ้มเสาด้วยแผ่นเหล็ก

การพอกโครงสร้างเสาด้วยแผ่นเหล็กรอบเสาให้กระทำโดยรอบตลอดความสูงของเสาเพื่อให้เกิดพฤติกรรมร่วม (Composite action) ขณะใช้งาน โดยความหนาแผ่นเหล็กที่ติดตั้ง ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า

4.5 มิลลิเมตรและไม่เกิดการสูญเสียรูปนอกระนาบ (out of plane deformation) ระหว่างการอัดฉีด ประสานด้วยน้ำปูนซีเมนต์หรือมอร์ตาร์

2. การอัดฉีดประสานด้วยน้ำปูนซีเมนต์หรือมอร์ตาร์ (grouting mortar)

ในการอัดฉีดน้ำปูนซีเมนต์หรือมอร์ตาร์ทำให้เกิดการยึดเกาะประสานระหว่างแผ่นเหล็กและคอนกรีตเก่า ค่ากำลังรับแรงอัดของน้ำปูนซีเมนต์หรือมอร์ตาร์ที่นำมาอัดฉีดต้องไม่น้อยกว่า 21 เมกะปาสคาลและไม่น้อยกว่ากำลังอัดคอนกรีตเก่าของโครงสร้างเสาเดิม การเตรียมผิวก่อนการซ่อม การอัดฉีดประสานด้วยน้ำปูนซีเมนต์หรือมอร์ตาร์ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ต้องไม่ปรากฏช่องว่างระหว่างผิวคอนกรีตของโครงสร้างเดิมกับแผ่นเหล็ก และการฉีดประสาน ต้องเว้นระยะห่างบริเวณรอยต่อหัวเสากับโครงสร้างใกล้เคียงที่ยึดกับเสาเพื่อป้องกันการแตกร้าวเมื่อโครงสร้างให้ตัว

3. วิธีการยึดฝังกรณีใช้สายเหล็กรัดรอบ (steel strap jacking)

การใช้สายเหล็กรัดรอบแผ่นเหล็กรัดรอบแผ่นเหล็กเสาทำได้โดยการเชื่อมสายเหล็กรัดรอบเข้ากับเหล็กฉากที่ยึดแน่นเข้ากับมุมทั้งสี่ด้านของเสา สายเหล็กรัดรอบควรมีขนาดความกว้างไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร มีระยะเว้นระหว่างสายรัดรอบเสาตามแนวตั้งไม่เกิน 300 มิลลิเมตร นอกจากนี้ควรจัดให้มีการเจาะยึดด้วยสลักเกลียว (bolt) ชนิดฝังแน่น เพื่อยึดสายเหล็กรัดรอบแนบติดเข้ากับเนื้อคอนกรีตเสาเดิม ปริมาณสลักเกลียว ระยะฝังและระยะห่างสลักเกลียวควรออกแบบให้มีการยึดฝังกระจายทั่วหน้าตัดเสาเดิมและเพียงพอที่เกิดประสิทธิภาพของการโอบรัดเสากายหลังการติดตั้ง หรือให้เป็นไปตามหลักการออกแบบเพื่อให้เสาสามารถต้านทานแผ่นดินไหว วิธีการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเก่า สลักเกลียวและวัสดุซ่อมให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล

2.3.2.2 การพอกโครงสร้างเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก(reinforced concrete jacking)

การหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก(Concrete jacking) ในส่วนหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น ประกอบด้วยเหล็กแกนเหล็กปลอก และคอนกรีตหุ้ม ซึ่งเพิ่มกำลังต้านทานแรงดัด แรงเฉือน และเสริมความเสริมความแข็งแรงที่บริเวณรอยต่อที่ทาบบเหล็กด้วย ข้อพิจารณาที่สำคัญในการออกแบบและก่อสร้างส่วนหุ้มคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้องคำนึงการถ่ายเทแรงเฉือนที่ผิวสัมผัสระหว่างหน้าตัดคอนกรีตเดิม

และส่วนหุ้ม ซึ่งอาจต้องออกแบบเหล็กเดือย (dowel bars) เพื่อยึดวัสดุใหม่และวัสดุเดิมเข้าไว้ด้วยกัน เป็นหน้าตัดเชิงประกอบ (composite section)

เพื่อป้องกันการวิบัติเฉือนและดัดที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วน อาจใช้วิธีการเสริมกำลังด้วยการหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก (reinforcement concrete jacketing) ซึ่งวิธีนี้สามารถเพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนและกำลังต้านโมเมนต์ให้แก่ชิ้นส่วนได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างการหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กแสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งแสดงให้เห็นหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเดิม



รูปที่ 2.8 การหุ้มหน้าตัดด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก

(มยผ.1303-57,กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2557)

การหุ้มหน้าตัดด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก นอกจากสามารถเพิ่มกำลังต้านทานโมเมนต์ดัด กำลังต้านทานแรงเฉือน และกำลังที่รอยต่อทาบเหล็กเสริมแล้ว ยังช่วยเพิ่มความเหนียว (Ductility) ให้แก่ชิ้นส่วนโดยกลไกการโอบรัดหน้าตัด (confinement action) อีกด้วย ซึ่งทำให้ชิ้นส่วนสามารถเคลื่อนที่ด้านข้างได้มากขึ้นโดยไม่เกิดการวิบัติ พฤติกรรมการโอบรัดเกิดขึ้นจากหน่วยแรงโอบรัดด้านข้างซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยส่วนหุ้มคอนกรีตเสริมเหล็กหรือแผ่นเหล็กที่หุ้มหน้าตัดและทำให้กำลังรับแรงอัดและความเครียดประลัยของหน้าตัดคอนกรีตเดิมนั้นสูงขึ้น ซึ่งมีผลให้กำลังรับน้ำหนักและความเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้น

การพอกโครงสร้างเสาที่มีอยู่เดิมด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กมีข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ดังนี้

1. คุณสมบัติของคอนกรีตใหม่ที่นำมาพอก

ค่ากำลังอัดของคอนกรีตใหม่มาพอกคาดทับชั้นเหล็กเสริม ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หล่อเสาเดิม นอกจากนี้คอนกรีตใหม่ควรมีคุณสมบัติอื่น ๆ เช่นเดียวกับวัสดุซ่อมทั่วไปตามที่กำหนดในมาตรฐาน

2. ความหนาของคอนกรีตใหม่ที่นำมาพอก

ความหนาของคอนกรีตใหม่ที่นำมาพอกคาดทับชั้นเหล็กเสริมต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร สำหรับการพอกหล่อในที่และไม่น้อยกว่า 40 มิลลิเมตร สำหรับการพอกด้วยวิธีการพัน การพอกด้วยคอนกรีตใหม่ให้ทำโดยรอบเสาทั้ง 4 ด้าน เพื่อให้เกิดพฤติกรรมร่วมระหว่างคอนกรีตเก่าและวัสดุที่พอกโดยการพอกควรเว้นระยะห่างเล็กน้อยช่วงจุดต่อระหว่างโครงสร้างข้างเคียง บริเวณเสาที่พอกเพื่อป้องกันการแตกร้าวเมื่อโครงสร้างให้ตัวขณะรับแรงดัด

3. พื้นที่หน้าตัดเหล็กยื่นขั้นต่ำบริเวณที่ทำการพอก

การเพิ่มเหล็กเสริมเพิ่มเติมก่อนการคาดด้วยคอนกรีตใหม่ให้เป็นไปตามข้อกำหนด และให้เป็นไปตามหลักการออกแบบที่ให้เสาสามารถต้านทานแผ่นดินไหว โดยพื้นที่หน้าตัดเหล็กยื่นของเหล็กเสริมควรอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.04 ของพื้นที่ทั้งหมดที่พอก ยกเว้นกรณีที่พอกคอนกรีตใหม่เพื่อการโอบรัดหรือเพื่อการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนเท่านั้น กำหนดให้ใช้เหล็กเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 12 มิลลิเมตรขึ้นไปบริเวณมุมเสา และควรเจาะเหล็กยื่นให้ทะลุผ่านโครงสร้างข้างเคียง เช่น พื้น คาน ตลอดแนวความสูงของเสาทุกชั้นก่อนการคาดพอกด้วยคอนกรีตใหม่

4. พื้นที่หน้าตัดเหล็กปลอกขั้นต่ำบริเวณที่ทำการพอก

ในการเสริมเหล็กปลอกเพิ่มเติมบริเวณที่มีการคาดทับด้วยคอนกรีตใหม่ เหล็กปลอกที่ใช้ต้องมีขนาดผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตรขึ้นไป หรือ $1/3$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กยื่นที่ใหญ่ที่สุดของหน้าตัดเสา ยกเว้นกรณีใช้ลวดตาข่าย (wire mesh) ควรมีช่องอทำมุม 135 องศากรณีเหล็กปลอกประกบกันมากกว่า 1 ชั้น ทั้งนี้การออกแบบพื้นที่หน้าตัดเหล็กปลอกขั้นต่ำหรือลวดตาข่ายให้เป็นไปตามหลักการออกแบบเสา เพื่อให้มีความเหนียวเพียงพอ

5. วิธีการยึดฝังชั้นเหล็กเสริมและเหล็กปลอกที่ติดตั้งเพิ่มเติมก่อนการคาดด้วยคอนกรีตใหม่ต้องยึดฝังเข้ากับคอนกรีตเก่าเพื่อทำให้เกิดกลไกการถ่ายแรงเฉือนที่สมบูรณ์ภายหลังการซ่อมโดยระยะฝัง

ต้องออกแบบทะลุผ่านจากชั้นวัสดุซ่อมไปจนถึงเนื้อคอนกรีตเก่าและเพียงพอที่จะเกิดประสิทธิภาพของการโอบรัดเสาภายหลังการติดตั้ง วิธีการยึดฝังให้เป็นไปตามมาตรฐาน

2.3.2.3 การพอกโครงสร้างด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Fiber Reinforced Polymer)

เส้นใย เรซิน วัสดุยึดประสาน สารเคลือบเส้นใย วัสดุฉาบ สารเคลือบป้องกันผิวและวัสดุอื่นใดที่ไม่ได้กล่าวถึงนี้ หากนำมาใช้เป็นองค์ประกอบของวัสดุเพื่อการซ่อมแซมและเสริมกำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการติดหรือหุ้มภายนอกโครงสร้างปกติด้วยวัสดุคอมโพสิตประเภทพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ก่อนและหลังการซ่อมแซมและเสริมกำลังต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบด้วยวิธีการทดสอบคุณสมบัติ อาทิ การประเมินกำลังรับแรงดึง โมดูลัสยืดหยุ่น ความเครียดประลัย การตรวจสอบการยึดเหนี่ยว การตรวจสอบความหนาและการทดสอบอื่น ๆ ที่กำหนดใน มยผ.1508-51 และ มยผ.1901-51 หรือในเอกสารมาตรฐานอื่นใดที่เป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานสากล โดยค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าที่อ้างถึงในแบบเกินกว่าร้อยละ 5 และค่าต่ำสุดของคุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าที่อ้างถึงในแบบเกินกว่าร้อยละ 10 จึงถือว่าใช้ได้ คุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตประเภทพอลิเมอร์เสริมเส้นใย วัสดุรองพื้น วัสดุฉาบ วัสดุเรซิน ตลอดจนข้อปฏิบัติในการติดตั้งและการทดสอบให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ยอมรับตามมาตรฐานสากล

1. คุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตประเภทพอลิเมอร์ชนิดแผ่นเสริมเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยแก้ว

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตประเภทพอลิเมอร์ชนิดแผ่นเสริมเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยแก้ว

คุณสมบัติ	เส้นใยคาร์บอนโมดูลัสสูงประเภท พอลิอะครีโลไนทริล		เส้นใยอะรามิต
	ชนิด 3400	ชนิด 2900	โมโนเมอร์ชนิดเดียว
กำลังรับแรงดึง(MPsc)	มากกว่า 3400	มากกว่า 2900	มากกว่า 2060
โมดูลัสยืดหยุ่น(MPsc)	230+45 หรือ 230-15		118±20
ความหนาแน่นเส้นใย เสริมกำลัง(g/cm ³)	1.80+-0.05		1.45+-0.05

2. วัสดุรองพื้นและวัสดุฉาบ

การเลือกใช้ชนิดของวัสดุรองพื้นและวัสดุฉาบควรเลือกให้สัมพันธ์กับระบบการติดตั้งวัสดุคอมโพสิตประเภท โพลีเมอร์เสริมเส้นใย ทั้งนี้เพื่อให้การเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างในด้านกำลังรับแรงดัด แรงเฉือน การโอบรัด ความสามารถในการเคลื่อนที่หรือความเหนียวเป็นไปตามหลักการออกแบบให้ด้านทานแผ่นดินไหว วัสดุรองพื้นที่ต้องเป็นวัสดุที่เข้ากันได้กับวัสดุยึดประสาน สารเคลือบเส้นใย วัสดุฉาบ และสารเคลือบป้องกันผิว เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและการยึดเหนียวที่ไม่สมบูรณ์ขึ้นได้ในระหว่างการติดตั้ง ชนิดของวัสดุรองพื้นหรือวัสดุฉาบที่นำมาใช้ซ่อมแซมและเสริมกำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการติดหรือการหุ้มภายนอกโครงสร้างปกติด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน มยผ.1508-51 และ มยผ.1901-51

3. คุณสมบัติความหนืดของวัสดุเรซิน

กรณีการลงแผ่นเส้นใยและสารเคลือบเส้นใย วิศวกรผู้ออกแบบวิศวกรผู้ออกแบบต้องพิจารณาเลือกใช้วัสดุเรซินที่มีคุณสมบัติความหนืด (Viscosity) ให้เหมาะสม ซึ่งการเลือกวัสดุเรซินนั้นต้องเลือกจะดูว่าเรซินมีความหนืดมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับข้อพิจารณาทางเทคนิคในการติดตั้ง เช่น หากเป็นที่คาดเดาได้ว่าการหย่อนขึ้นในช่วงการติดหรือหุ้มวัสดุเสริมเส้นใยภายนอกโครงสร้างผู้ออกแบบควรใช้วัสดุเรซินที่มีความหนืดสูง หรือหากการติดต้องการให้เกิดความแนบสนิทระหว่างเนื้อคอนกรีตเก่ากับวัสดุซ่อม เรซินที่ใช้ควรมีความหนืดต่ำ ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจได้ว่าเรซินชุ่มตัวเส้นใยอย่างทั่วถึงขณะทำการรีดติดตั้งและทำให้สามารถรีดอากาศที่ขังอยู่ระหว่างคอนกรีตเก่าและแผ่นเส้นใยออกมาได้จนหมด ชนิดของ เรซินที่ควรนำมาใช้ซ่อมแซมและเสริมกำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการติดหรือการหุ้มภายนอกโครงสร้างปกติด้วยวัสดุคอมโพสิตประเภทโพลีเมอร์เสริมเส้นใยให้เป็นไปตามมาตรฐาน มยผ. 1508-51 มยผ. 1901-51

4. การติดตั้งวัสดุคอมโพสิต

เตรียมผิวก่อนการซ่อมพื้นผิวระหว่างบริเวณเนื้อคอนกรีตเก่าและใหม่ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐาน มยผ.1901-51 โดยสำหรับเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยม ให้ทำการลบมุมทั้งสี่มุม

โดยควรให้มีรัศมีมุมโค้งไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร และค่าความหนาพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ต้องพักรอบเสาควรใช้เป็น 2 เท่าของค่าที่คำนวณได้จากสูตรเสากลมที่คำนวณด้วยค่าความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า

5. การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยว

การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเก่าและวัสดุซ่อมให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในมาตรฐาน มยผ.1901-51เมื่ออาคารรับแรงแผ่นดินไหว อาจมีชิ้นส่วนอาคารในบางบริเวณที่มีอัตราส่วนระหว่างแรงเฉือนที่ต้องต้านทานและกำลังต้านทานเฉือนมากกว่า 1 จำเป็นต้องเสริมความแข็งแรงต้านการเฉือนของชิ้นส่วนเหล่านั้น อาจทำการเสริมกำลังได้โดยวิธีพอกโครงสร้างด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเพื่อป้องกันการวิบัติแบบเฉือนของชิ้นส่วน ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบเสริมกำลังชิ้นส่วนโดยวิธีพอกโครงสร้างด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใย มีดังนี้

1. คุณสมบัติหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องเสริมกำลัง จากข้อมูลอาคารก่อสร้างจริง
 - 1.1. ความสูงของเสา
 - 1.2. ช่วงแรงเฉือน
 - 1.3. ความลึกของหน้าตัดเสา
 - 1.4. ความกว้างของหน้าตัดเสา
 - 1.5. ระยะหุ้มคอนกรีต
 - 1.6. กำลังอัดประลัยคอนกรีต
 - 1.7. แรงกระทำตามแนวแกน
 - 1.8. ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของเสาเมื่อถึงค่าความโค้งที่จุดคราก
 - 1.9. ค่าความโค้งหน้าตัดเสาที่จุดคราก
 - 1.10. ตำแหน่งแกนสะเทิน
 - 1.11. รายละเอียดการเสริมในหน้าตัดเสาที่ต้องเสริมกำลัง
 - 1.12. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม
 - 1.13. พื้นที่หน้าตัดรวมของเหล็กเสริม
 - 1.14. ค่ากำลังแรงดึงคราก

2. รายละเอียดการเสริมเหล็กปลอกในหน้าตัดเสาที่ต้องเสริมกำลัง
 - 2.1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก
 - 2.2. พื้นที่หน้าตัดของเหล็กปลอก
 - 2.3. ระยะเรียงของเหล็กปลอก
3. คุณสมบัติของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ใช้พอกโครงสร้าง ซึ่งได้จากเอกสารระบุข้อมูลผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิต
 - 3.1. โมดูลัสยืดหยุ่น
 - 3.2. หน่วยแรงดึงประลัย
 - 3.3. ความเครียดประลัย

หลังจากการรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติของหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก คุณสมบัติของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ใช้พอกเสา และแรงภายในที่เกิดขึ้นในเสา ซึ่งได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารประกอบด้วย แรงอัดตามแนวแกน แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นทั้งสองทาง ทำการตรวจสอบเกณฑ์การพอกโครงสร้างด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเพื่อออกแบบเสริมกำลังชิ้นส่วน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบเกณฑ์การพอกโครงสร้าง จากความต้องการกำลังรับแรงเฉือน เพื่อเพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือน เพื่อเพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนของชิ้นส่วน โดยพิจารณาผลต่างระหว่างแรงเฉือนประลัยที่ต้องต้านทาน V_u (แรงภายในที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร) และกำลังต้านทานแรงเฉือน V_c ตามสมการที่ (ข.3-12) ในภาคผนวก ข ของ มยผ. 1303-57[1] ซึ่งพิจารณาตัวคูณลดกำลังแล้ว ความหนาของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ต้องใช้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ข.3-15) และ (ข.3-16) ในภาคผนวก ข ของ มยผ. 1303-57[1] สำหรับเสาหน้าตัดกลมและเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมตามลำดับ และระยะการพันพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเพื่อเสริมกำลังรับแรงเฉือนเป็นไปตามข้อภาคผนวก ข ของ มยผ. 1303-57 [1]

2. ตรวจสอบเกณฑ์การพอกโครงสร้าง จากการเพิ่มความสามารถในการเสีรูป โดยทำให้ชิ้นส่วนเกิดพฤติกรรมของการโอบรัดบริเวณจุดหมุนพลาสติก เพื่อป้องกันการวิบัติ ที่ตำแหน่งดังกล่าว ความหนาของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ต้องใช้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ข.3-17) ในภาคผนวก ข ของ มยผ. 1303-57[1] และระยะการพันพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเพื่อการโอบรัด เป็นไปตามข้อ ข.3.5 ในภาคผนวก ข ของ มยผ. 1303-57[1]

3. ตรวจสอบเกณฑ์การพอกโครงสร้าง จากการบีบรัดกรณีการต่อทาบเหล็กเสริมเพื่อป้องกันการวิบัติของชิ้นส่วนบริเวณที่มีการต่อทาบเหล็กเสริม ความหนาของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ต้องใช้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ข.3-24) ในภาคผนวก ข ของ มยผ. 1303-57[1] และระยะการพันพอลิเมอร์เสริมเส้นใย เพื่อการโอบรัด เป็นไปตามข้อ ข.3.5 ภาคผนวก ข ของ มยผ. 1303-57[1]

2.3.3 โครงแกงแนง (Bracing)

การเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนเป็นอีกวิธีหนึ่งที่เสริมความแข็งแรงโดยรวมให้กับอาคารโดยเหมือนเป็นการเพิ่มโครงสร้างใหม่ที่ช่วยต้านทานแรงด้านข้างภายใต้แผ่นดินไหวที่พิจารณา การเสริม โครงสร้างลักษณะนี้สามารถนำไปใช้กับโครงสร้างที่อ่อนแอซึ่งมีการเคลื่อนที่ไปมากภายใต้สภาวะแผ่นดินไหว

การเสริมโครงสร้างโดยการเพิ่มโครงแกงแนงสามารถลดความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงอาคารได้ และถ้าหากกรณีที่อาคารมีความไม่สม่ำเสมอในด้านการบิดการวางโครงแกงแนงในตำแหน่งที่เหมาะสมก็สามารถช่วยลดความไม่สม่ำเสมอดังกล่าวได้

ในการวิเคราะห์และประเมินโครงสร้างอาคารที่มีการเสริมโครงแกงแนง สามารถใช้โปรแกรม ETABS ในการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยมีการจำลองชิ้นส่วนกำแพงรับแรงเฉือนหลังจากที่ได้แรงหรือค่าการเสีรูปของอาคารจากการวิเคราะห์แล้ว สามารถนำค่าเหล่านั้นไปทำการประเมินอาคารที่เป็นโครงสร้างใหม่ โดยใช้หลักการและเกณฑ์การยอมรับสำหรับการประเมินกำแพงรับแรงเฉือนเป็นไปตามมาตรฐาน มยผ.1303-57

ในการจัดทำแบบจำลองเพื่อประเมินโครงสร้างที่มีการเสริมโครงแกงแนงมีข้อพิจารณาคือ ส่วนของโครงสร้างที่เพิ่มใหม่อาจไม่ได้ช่วยรับแรงในแนวตั้งที่กระทำกับอาคารเดิมอยู่ ในการจำลองโครงสร้างจึงต้องพิจารณาการกระจายแรงในแนวตั้งให้เหมาะสม ตามขั้นตอนวิธีการก่อสร้างและการเสริมกำลังใน

การเสริมกำลัง ต้องทำให้โครงสร้างสามารถถ่ายแรงไปสู่ส่วนของโครงสร้างใหม่ได้ตามที่สมมุติในแบบจำลองและในกรณีที่เป็น

2.3.4 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนโดยใช้อุปกรณ์สลายพลังงานแบบพาสซีฟ

2.3.4.1 ข้อกำหนดทั่วไป

อุปกรณ์สลายพลังงานต้องได้รับการออกแบบโดยพิจารณาภาวะแวดล้อมในการใช้งาน ประกอบด้วย ความล่าช้า ความคืบ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือความชื้นประกอบด้วย

ในการสร้างแบบจำลอง ต้องพิจารณาค่าแห่งของอุปกรณ์สลายพลังงานในทางแปลนและ ตามความสูงของอาคารอย่างครบถ้วน ในการวิเคราะห์ ต้องพิจารณาคุณสมบัติที่อาจเปลี่ยนไป มยพ.1303-57 มาตรฐานการประเมินและการเสริมความมั่นคงแข็งแรง ของโครงสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวตามความถี่ อุณหภูมิ ความเร็ว และแรงภายในที่แบกทานอยู่ โดยอาศัยการวิเคราะห์หลายๆกรณีที่ครอบคลุมช่วงคุณสมบัติของอุปกรณ์สลายพลังงาน

2.3.4.2 แบบจำลองอุปกรณ์สลายพลังงาน

อุปกรณ์สลายพลังงานที่มีคุณสมบัติขึ้นกับการเคลื่อนที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่อาศัยแรงเสียดทาน อุปกรณ์ที่อาศัยการครากของโลหะ โดยอุปกรณ์ประเภทนี้มีพฤติกรรมไม่ขึ้นกับความเร็วและความถี่ อุปกรณ์สลายพลังงานที่มีคุณสมบัติขึ้นกับความเร็วประกอบด้วย อุปกรณ์ แบบหนืดยืดหยุ่น (viscoelastic device) และแบบของเหลวหนืด (fluid viscous device)

สำหรับการสร้างแบบจำลองอุปกรณ์สลายพลังงาน ต้องพิจารณาชิ้นส่วนโครงสร้างซึ่งถ่ายแรงลงไปยังฐานรากด้วย ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านี้มีปฏิสัมพันธ์กับอุปกรณ์สลายพลังงานด้วยในการจำลอง ต้องเป็นไปตามนี้

2.3.4.2.1 อุปกรณ์สลายพลังงานที่มีคุณสมบัติขึ้นกับการเคลื่อนที่

อุปกรณ์สลายพลังงานที่มีคุณสมบัติขึ้นกับการเคลื่อนที่สามารถแสดงคุณสมบัติได้ ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเคลื่อนที่สัมพันธ์ระหว่างปลายสองข้าง โดยไม่ขึ้นกับความเร็วหรือความถี่ของแรง ในแบบจำลองต้องสามารถแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างแรงและการเคลื่อนที่ได้แรงสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$F = k_{eff}D \quad (8.4-1)$$

โดยที่ k_{eff} = สติฟเนสประสิทธิผลของอุปกรณ์ (นิวตันต่อมิลลิเมตร)

D = การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างปลายสองข้างของอุปกรณ์ (มิลลิเมตรต่อวินาที)

2.3.4.2.2 อุปกรณ์สลายพลังงานที่มีคุณสมบัติขึ้นกับความเร็ว

1.1 อุปกรณ์แบบหนืดยืดหยุ่นชนิดแข็ง

อุปกรณ์แบบหนืดยืดหยุ่นชนิดแข็งสามารถจำลองด้วยแบบจำลองสปริง และตัวหน่วงที่ต่อขนานกัน (แบบจำลองเคลวิน) โดยค่าคงที่ของแบบจำลอง ต้องเลือกโดยพิจารณาช่วงอุณหภูมิและความถี่ที่ใช้งาน หากไม่สามารถใช้ ค่าคงที่ที่เพียงค่าเดียวเป็นตัวแทนได้ ให้ทำการวิเคราะห์หลายกรณี เพื่อให้ ครอบคลุมค่าขอบบนและค่าขอบล่างของค่าคงที่

แรงในอุปกรณ์แบบหนืดยืดหยุ่นชนิดแข็งแสดงได้ดังสมการ

$$F = k_{eff}DF = k_{eff}D + C\dot{D} \quad (8.4-2)$$

โดยที่ C = สัมประสิทธิ์ความหน่วง

D = การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างปลายสองข้างของอุปกรณ์ (มิลลิเมตร)

\dot{D} = ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างปลายสองข้างของอุปกรณ์ (มิลลิเมตรต่อวินาที)

k_{eff} = สติฟเนสประสิทธิผลของอุปกรณ์ (นิวตันต่อ มิลลิเมตร)

ค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$C = \frac{w_D}{\pi\omega D_{ave}^2} \quad (8.4-3)$$

โดยที่ ω = ความเร็วเชิงมุม (เรเดียนต่อวินาที)

D_{ave} = การเคลื่อนที่สูงสุดเฉลี่ยทางด้านดึงและอัด (มิลลิเมตร)

w_D = พื้นที่ในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการ เคลื่อนที่ใน 1 รอบ

(นิว ตัน × มิลลิเมตร)

1.2 อุปกรณ์แบบหนืดยืดหยุ่นชนิดของเหลว

อุปกรณ์แบบหนืดยืดหยุ่นชนิดของเหลวสามารถจำลองด้วยแบบจำลองสปริงและตัวหน่วงที่ต่ออนุกรมกัน (แบบจำลองแมกซ์เวล) โดยค่าคงที่ของ แบบจำลอง ต้องเลือกโดยพิจารณาช่วงอุณหภูมิและความถี่ที่ใช้งาน หากไม่ สามารถใช้ค่าคงที่เพียงค่าเดียวเป็นตัวแทนได้ ให้ทำการวิเคราะห์หลายกรณีเพื่อหาคอบคลุมค่าขอบบนและค่าขอบล่างของค่าคงที่

1.3 อุปกรณ์แบบของเหลวหนืด

อุปกรณ์แบบของเหลวหนืดสามารถจำลองได้ด้วยสมการ

$$F = C|\dot{D}|^\alpha \text{sign}(\dot{D}) \quad (8.4-4)$$

โดยที่ C = สัมประสิทธิ์ความหน่วง

\dot{D} = ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างปลายสองข้างของอุปกรณ์

α = กำลังของความเร็วสัมพัทธ์ซึ่งแสดงถึงความไม่เป็นเชิงเส้น

อุปกรณ์แบบของเหลวหนืดที่มีสติเฟนสในช่วงความถี่ 0.55 ถึง 2 ต้องจำลองเป็นอุปกรณ์แบบหนืดยืดหยุ่นชนิดของเหลว (fluid viscoelastic device)

1.4 อุปกรณ์แบบอื่น

สำหรับอุปกรณ์แบบอื่น ต้องจำลองความสัมพันธ์ของแรง การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างปลายสองข้าง และความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างปลายสองข้างให้ถูกต้อง

2.4 คุณสมบัติของวัสดุและน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำต่อโครงสร้าง

การตรวจสอบความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตึกข้างทำโดยอ้างอิงกับแบบวิศวกรรมโครงสร้างของอาคารและทำการจำลองแบบโครงสร้างอาคารด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้คุณสมบัติของวัสดุและน้ำหนักบรรทุกทุกตายตัวและน้ำหนักบรรทุกทุกจรดตั้งต่อไปนี้

คุณสมบัติของวัสดุ: คอนกรีตเสริมเหล็ก

เหล็กเสริม	เหล็กกลม	เหล็กข้ออ้อย
Grade (SR-24, SD-40 or SD-50)	SR-24	SD-40
กำลังรับแรงดึงที่จุดคราก, f_y	2400	4000 กก./ตร.ซม.
modulus of elasticity, E_s	2.04E+06	2.04×10 ⁶ กก./ตร.ซม.
คอนกรีต		
กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต(k_{sc})	320	

2.4.1 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์โครงสร้าง

2.4.1.1 Load Factors (For Ultimate Strength Design of Concrete Elements)

1.1 LCase1=1.2DL+1.0LL+0.3EQX+1.0EQY

1.2 LCase2=1.2DL+1.0LL+1.0EQX+0.3EQY

1.3 LCase3=0.9DL+0.3EQX+1.0EQY

1.4 LCase4=0.9DL+1.0EQX+0.3EQY

2.4.1.2 Reduction Factors

โมเมนต์ดัด	:	0.90
แรงดึงตามแนวแกน	:	0.90
แรงเฉือนและแรงบิด	:	0.85
แรงอัดตามแนวแกน, เหล็กปลอกเกลียว	:	0.75
แรงอัดตามแนวแกน, เหล็กปลอกเดี่ยว	:	0.70

2.4.1.3 น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่

คอนกรีต	:	2400	กก./ลบ.ม.
เหล็ก	:	7850	กก./ลบ.ม.

2.4.1.4 น้ำหนักบรรทุกทุกจร

ทางเดินและสำนักงาน	:	250	กก./ตร.ม.
ร้านค้าปลีกและร้านอาหาร	:	400	กก./ตร.ม.
โรงลิฟต์และบันได	:	300	กก./ตร.ม.
ที่จอดรถ	:	400	กก./ตร.ม.
ห้องเครื่อง	:	500	กก./ตร.ม.
หลังคา ค.ส.ล.	:	200	กก./ตร.ม.

2.5 ข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ 1302-52

2.5.1 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสถิตเทียบเท่า (มยผ.1302-52)

เนื่องจากอาคารที่นำมาศึกษาตั้งอยู่ใน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ซึ่งจากรูปที่ 2. เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่ในโซน 5 และออกแบบด้วยวิธีพลศาสตร์ ดังนั้นเราจะได้ค่าสำหรับการคำนวณ ดังนี้

- ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบแรงสถิตเทียบเท่าจากตารางที่ 2.1 ได้ดังนี้
คาบโครงสร้าง $T=0.02H=0.02 \times (128)=2.56$ s
ดังนั้นค่า $S_a=0.12024$
- ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร (I) จากตารางที่ 2.2 ได้เท่ากับ $I = 1.25$

3) การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัด จากตารางที่ 2.3 จะได้ดังนี้

- 3.1) ค่าตัวประกอบผลตอบแทน (R) : 5
 3.2) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (Ω_0) : 2.5
 3.3) ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (c_d) : 4.5

4) การจำแนกประเภทชั้นดินที่ตั้งอาคารสำหรับการออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว จากตาราง จ-1 ในภาคผนวก จะได้ว่าอาคารที่นำมาศึกษาอยู่ในชั้นดิน D

5) การคำนวณแรงต้านข้าง

5.1) คำนวณหาแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) จากสูตร

$$V = C_s W \quad (2.5-1)$$

$$\text{โดย } C_s = S_a(I/R) \quad (2.2-2)$$

5.2) กระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำด้านข้างต่ออาคารในชั้นต่าง ๆ

$$F_x = C_{vx} V \quad (2.5-3)$$

$$\text{โดย } C_{vx} = (W_x H_x^k) / (\sum W_x H_x^k) \quad (2.5-4)$$

ซึ่ง $K=2$ เนื่องจาก $T > 2.5$ s

2.5.2 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมต (มยผ.1302-52)

เนื่องจากอาคารที่นำมาศึกษาตั้งอยู่ใน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ซึ่งจากรูปที่ 2. เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่ในโซน 5 และออกแบบด้วยวิธีพลศาสตร์ ดังนั้นเราจะได้ค่าสำหรับการคำนวณ ดังนี้

- 1) ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีพลศาสตร์ จากตารางที่ 2.1 ได้ดังนี้
 $S_s : 0.1187$
 $S_1 : 0.0987$
- 2) ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร (I) จากตารางที่ 2.2 ได้เท่ากับ $I = 1.25$
- 3) การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัด จากตารางที่ 2.3 จะได้ดังนี้
 - 3.1) ค่าตัวประกอบผลตอบสนอง (R) : 5
 - 3.2) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (Ω_0) : 2.5
 - 3.3) ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (c_d) : 4.5
- 4) การจำแนกประเภทชั้นดินที่ตั้งอาคารสำหรับการออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว อยู่ใน Site Class : D
- 5) การคำนวณแรงด้านข้าง
 วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น

2.6 ข้อมูลตึกข้าง

2.6.1 ประวัติอาคาร

ตึกข้าง ตึกระฟ้าแห่งหนึ่งซึ่งตั้งอยู่บนถนนพหลโยธิน และถนนรัชดาภิเษก แขวงจอมพล เขตจตุจักร ในเขตธุรกิจทางตอนเหนือของกรุงเทพมหานคร และเป็นอาคารที่มีชื่อเสียงในเอกลักษณ์ของข้าง ตึกแห่งนี้ คือ ความร่วมมือระหว่าง ศ.ดร.อรุณ ชัยเสรี และสถาปนิก นายองอาจ สาตรพันธุ์ ศิลปินแห่งชาติ สาขาทัศนศิลป์ ด้านสถาปัตยกรรมร่วมสมัย เป็นอาคารสูง 32 ชั้น สูง 102 เมตร (335 ฟุต) และสร้างเสร็จใน พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1997) ตึกข้างได้รับรางวัลอันดับ 4 สำหรับตึกระฟ้าที่มีเอกลักษณ์ของโลก 20 อันดับ โดย CNNGo ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 (ค.ศ. 2011)

ตึกข้างมีแนวคิดการออกแบบมาจากพื้นฐานที่ว่า อาคารนี้เป็นอาคารประเภทอาคารสำนักงานและพักอาศัยรวม เป็นอาคารขนาดใหญ่พิเศษ รูปลักษณ์ของอาคารถูกบังคับตามพื้นที่ดินที่มีลักษณะยาวเป็นเส้นก้วยเดี่ยว ด้วยกฎหมายและความต้องการของเจ้าของโครงการ คือ ศ.ดร.อรุณ โดยเริ่มแรกอาคารถูกแบ่งออกเป็น 3 ทาวเวอร์ เนื่องจากต้องการพื้นที่ขายมากจึงจำเป็นต้องเชื่อม 3 ทาวเวอร์เข้าด้วยกัน แต่ด้วยข้อกำหนดเรื่องพื้นที่เปิดโล่ง จึงทำให้เชื่อมอาคารได้เพียงส่วนบนและเกิดช่องว่างขนาดใหญ่ 2 ช่อง ต่อมา ศ.ดร.อรุณ เห็นว่าอาคารมีลักษณะคล้ายข้างและส่วนตัวท่านขึ้นขอบข้างอยู่แล้ว อาจารย์จึงออกแบบตกแต่งส่วนของอาคารเพิ่ม เพื่อให้เหมือนข้างจริง ๆ

ตึกข้างประกอบด้วย 7 ส่วน

1. อาคาร A - สำนักงาน
2. อาคาร B - สำนักงาน
3. อาคาร C - ที่พักอาศัย
4. ชั้นบนสุด - ห้องสูท
5. ลานสันทนาการ - สวนและสระว่ายน้ำ
6. ลานซื้อของ ธนาคาร ไพรชณีย์ และอุ่มมรดก



รูปที่ 2.9 ภาพแสดงรูปตึกข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ตำแหน่งที่ตั้ง

369/38 ถนนพหลโยธิน 26 แขวงจอมพล

เขตจตุจักร 10900 กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย



รูปที่ 2.10 แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของดิกช้าง

2.6.3 ลักษณะของโครงสร้าง

กำหนดให้แบบจำลองเป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 32 ชั้น สำหรับดิกช้างถือเป็นอาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่ง ๆ มากกว่า 300 คนซึ่งจัดเป็นอาคารที่มีประเภทความสำคัญประเภท III ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งค่าตัวประกอบความสำคัญ, I, สำหรับอาคารประเภทดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 1.25 มีระบบโครงสร้าง ชนิด ระบบโครงการ ระบบต้านทานแรงด้นข้าง ด้วยระบบกำแพงรับแรงเฉือนธรรมดา (Ordinary Reinforcement Concrete Shear Wall) โดยมีค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง, R มีค่าเท่ากับ 5 ดังแสดงในหัวข้อที่ 2.5(3) โดยการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์จะสามารถจัดลักษณะโครงสร้างให้จัดอยู่ใน ลักษณะโครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด $0.015h_{sx}$ และโดยความสูงระหว่างชั้นสูง 5 เมตรในชั้นที่ 2 ต่อมา 4 เมตรในชั้นที่ 29 กับชั้นที่ 33

และนอกเหนือจากนั้นที่เหลือมีความสูง 3.7 เมตร ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร และการ
รายละเอียดการจัดวางกำแพงรับแรงเฉือน ดังหัวข้อที่ 2.6.6

2.6.4 รายละเอียดขนาดหน้าตัดของเสา

ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดขนาดหน้าตัดของเสา

ID OF COLUMN	DIMENSION OF COLUMN (mm)
C1	1200×600
C2	1200×900
C3	1200×1200
C4	1000×250
C5	1050×250
C6	1250×300
C7	1000×1200
C8	200×200
C9	300×300
C10	400×400
C11	1100×1100
C12	500×500
C13	250×250
C14	1200×300
C15	1200×500
C16	1200×600
C17	1200×600
C18	1200×1200
C19	1000×250
C20	1050×250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ID OF COLUMN	DIMENSION OF COLUMN (mm)
C21	1250×300
C22	1000×1200
C23	350×350
CH1	350×350
CH2	450×350

2.6.5 รายละเอียดขนาดหน้าตัดของคาน

ตารางที่ 2.7 แสดงรายละเอียดขนาดหน้าตัดของคาน

ID OF BEAM	DIMENSION OF BEAM (mm)
B1	200×300
B2	200×400
B3	200×500
B4	200×600
B5	200×700
B6	200×800
B7	200×850
B8	200×950
B9	200×1000
B10	200×1100
B11	200×1500
B12	200×1200
B13	200×1250
B14	200×1600
B15	200×1650

ID OF BEAM	DIMENSION OF BEAM (mm)
B16	200×1750
B17	200×1850
B18	300×400
B19	200×1850
B20	300×500
B21	300×600
B22	300×700
B23	300×800
B24	300×900
B25	300×750
B26	300×950
B27	300×1000
B28	300×1200
B29	300×1650
B30	300×1750
B31	300×2200
B32	400×700
B33	400×800
B34	400×1000
B35	400×1200
B36	400×1350
B37	500×600
B38	500×700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ID OF BEAM	DIMENSION OF BEAM (mm)
B39	500×800
B40	500×750
B41	500×850
B42	500×1500
B43	500×1000
B44	500×1200
B42	600×500
B43	600×600
B44	600×700
B45	600×1500
B46	600×1700
B47	700×700
B48	700×800
B49	700×750
B50	700×850
B51	800×500
B52	800×600
B53	800×550
B54	800×1000
B55	150×500
B56	250×300
B57	250×400
B58	250×500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ID OF BEAM	DIMENSION OF BEAM (mm)
B59	250×600
B60	250×700
B61	250×800
B62	250×850
B63	250×950
B64	250×1500
B65	250×1000
B66	250×1150
B67	250×1200
B68	250×1250
B69	250×1400
B70	250×1650
B71	250×1700
B72	250×1750
B73	250×2000
B74	250×2100
B75	250×2300
B76	250×2700
B78	250×2750
B79	250×3200
B80	250×3300
B81	350×700
B82	350×600
B83	350×800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ID OF BEAM	DIMENSION OF BEAM (mm)
B84	350×1000
B85	350×1650
B86	450×600
B87	450×850
B88	1000×800
B89	1100×950
B90	1200×800

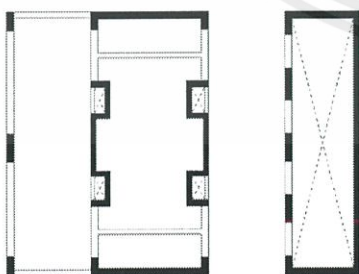
2.6.6 รายละเอียดของกำแพงรับแรงเฉือน

2.6.6.1 Tower A

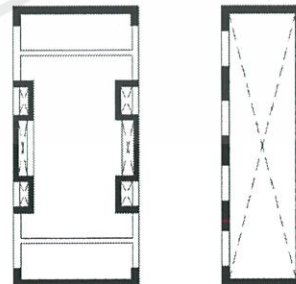


ชั้น 1-6 (tower A)

ชั้น 7-19-20 (tower A)

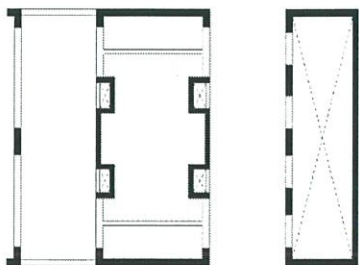


ชั้น 24 (tower A)

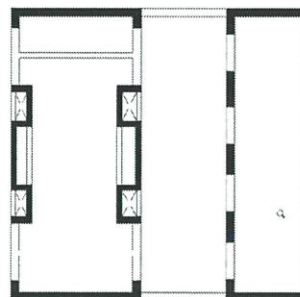


ชั้น 25-28 (tower A)

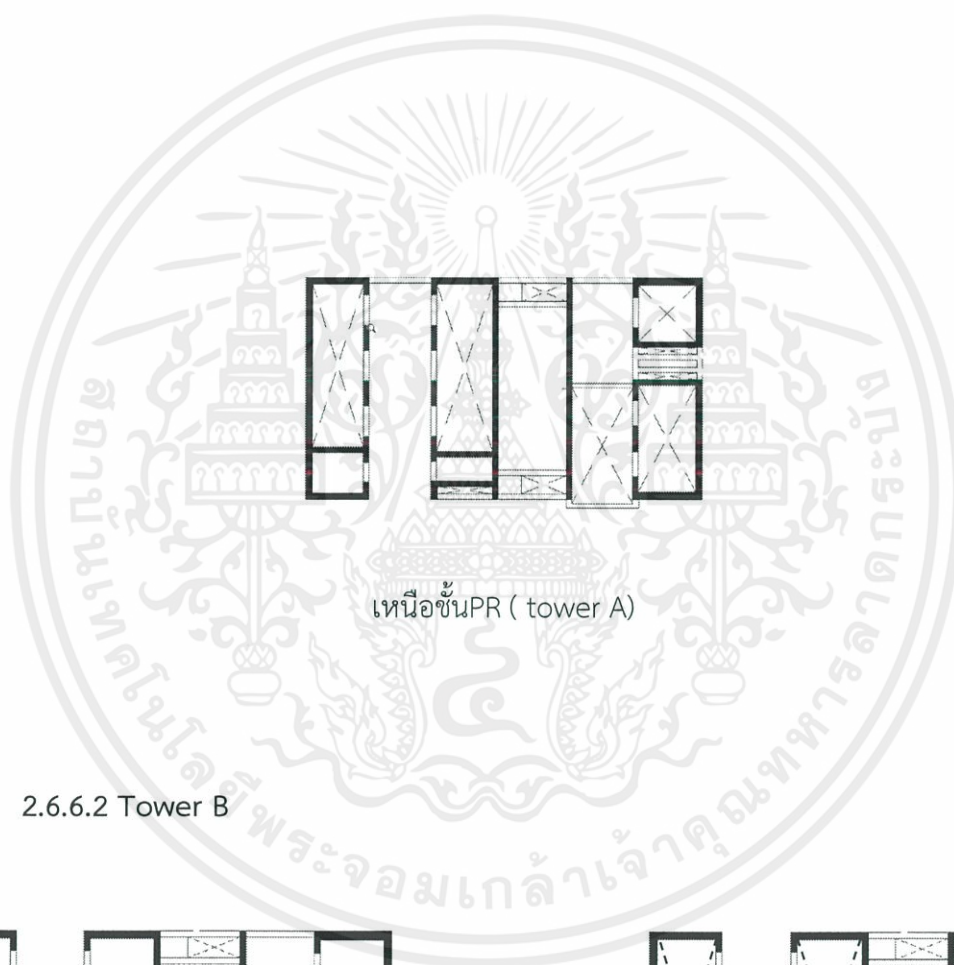
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชั้น 21-22-23,29-30,31 (tower A)

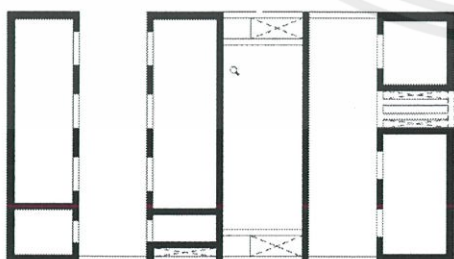


ชั้น PR (tower A)

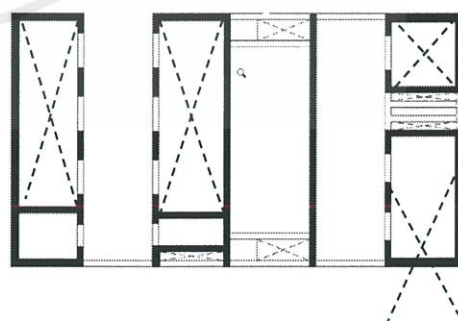


เหนือชั้นPR (tower A)

2.6.6.2 Tower B

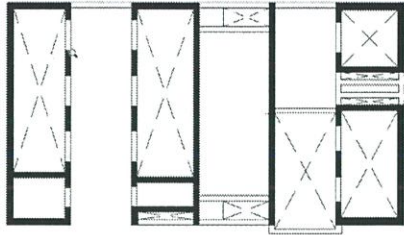


ชั้น1-2 (tower B)

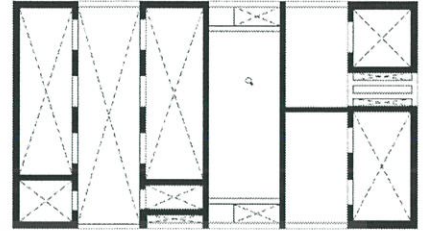


ชั้น 3 (tower B)

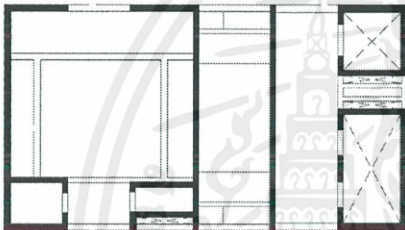
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



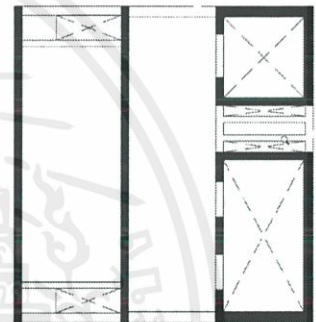
ชั้น 4 (tower B)



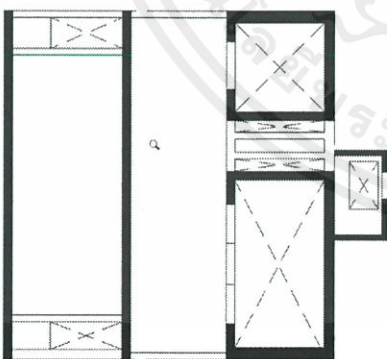
ชั้น 5-24, 25-26, (tower B)



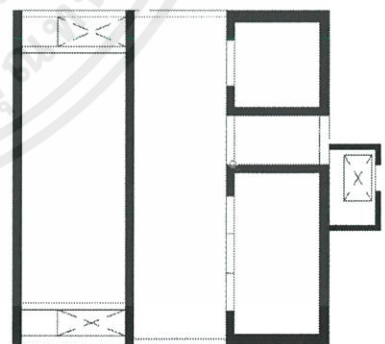
ชั้น 27 (tower B)



ชั้น 29-30 (tower B)

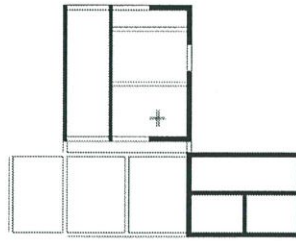


ชั้น 31 (tower B)



ชั้น PR (tower B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



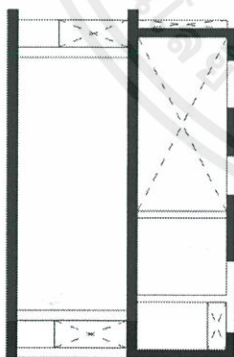
เหนือชั้นPR (tower B)

2.6.6.3 Tower C



ชั้น 1-24 (tower C)

ชั้น 25 (tower C)

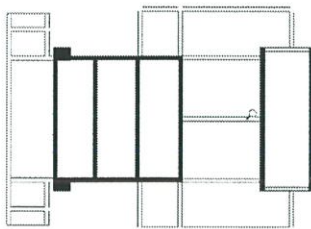


ชั้น 26-31 (tower C)



ชั้น PR (tower C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เหนือชั้นPR (tower C)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ¹ Dharmesh Chandnani, ² Riddhi Joshi, ³ Kumarpal Trivedi (2016) ได้ศึกษาการเสริมกำลังด้านแผ่นดินไหวในอาคารโดยใช้อุปกรณ์ตัวหน่วง ชนิดต่าง ๆ เช่น Friction Dampers ,Viscous Dampers ,Yielding Dampers (Hysteretic, Metallic, X-Plate or Elasto-Plastic) ,Magnetic Dampers ,Tuned Mass Dampers (TMD)(harmonic absorber) เพื่อช่วยลดค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างอันเนื่องมาจากแรงแผ่นดินไหว โดยจะศึกษารูปแบบการทำงาน และการนำไปประยุกต์ใช้ ของตัวหน่วงดังกล่าวข้างต้น โดยมีข้อสรุปดังต่อไปนี้
 1. การติดตั้งอุปกรณ์ตัวหน่วงช่วยทำให้การรับแรงขององค์อาคารมีประสิทธิภาพมากขึ้น
 2. อัตราส่วนระหว่าง ประสิทธิภาพ ต่อราคาค่าใช้จ่าย เพิ่มสูงขึ้น
 3. เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ตัวหน่วงแล้วควรมีการดูแลรักษาเพื่อให้อุปกรณ์ตัวหน่วงทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
 4. อุปกรณ์ตัวหน่วงช่วยลดความเครียดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างได้

2. ¹THARNTUSANA ANANTARIYAKUL, ²THANAPOOM SANGKHASILPIN, ³PHICHACHET PHANPHOMMA (2017) ได้ศึกษาการเสริมกำลังอาคาร ที่ออกแบบและก่อสร้างในประเทศไทยก่อนที่กฎหมายว่าด้วยอาคารที่มีลักษณะตามที่กฎหมายกำหนดต้องออกแบบให้รับแรงแผ่นดินไหว โดยใช้อาคารอื้อจื่อเหลียงแบบแบบจำลองในการเสริมกำลัง โดยอาคารเป็นอาคารที่มีรูปทรงสมมาตร มีจำนวนชั้น 38 ชั้น สูง 160 เมตรมีระบบโครงสร้างเป็นระบบ คาน เสา รับแรงด้านข้างโดยกำแพงรับแรงเฉือน ซึ่งใช้แรงแผ่นดินไหวตาม มยพ1302-52 วิธีสถิติเทียบเท่า โดยใช้วิธีเสริมกำลังตามมาตรฐาน มยพ1303-57 ดังนี้ การพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต , การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก ,การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย และ การเสริมโครงสร้างด้วยโครงแกนง เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลการเคลื่อนตัวด้านข้าง หลังเสริมกำลังรับแรงแผ่นดินไหวในด้านของราคา และความเหมาะสม โดยมีข้อสรุปดังนี้ ในด้านสถาปัตยกรรม วิธีพอกโครงสร้าง 3 วิธีดังที่กล่าวมาข้างต้นเหมาะสมกว่าเนื่องจากการบดบังทัศนียภาพ ส่วนในด้านราคาการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต เหมาะสมที่สุดเนื่องจากราคาค่าใช้จ่ายในการเสริมกำลังน้อยที่สุด
3. Miguel Augusto DIAZ FIGUEROA¹ , Taiki Saito² ได้ศึกษาการติดตั้งอุปกรณ์ตัวหน่วงแบบของเหลวหนืด(Viscous damper) และโครงอาคารค้ำยันป้องกันการโก่งเดาะ(BRBs) ในอาคารสูง 37 ชั้นสูง 108.9 เมตร โดยรูปทรงอาคารเป็นรูปทรงแบบสมมาตร ในประเทศญี่ปุ่น โดยใช้แรงแผ่นดินไหว จาก 5 สถานที่ คือ BJC-L2 ,EL Centro 5 kine , kobe , Osaka และ Naoya ใช้วิธีวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ เพื่อช่วยลดการเคลื่อนตัวด้านข้าง โดยจะเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวด้านข้างทั้งก่อนเสริมกำลัง และหลังเสริมกำลัง ซึ่งได้ข้อสรุปดังนี้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการเสริมกำลังด้วยวิธีดังต่อไปนี้

3.1.1 พอกโครงสร้างด้วยวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ การพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต, การพอกโครงสร้างด้วยเหล็ก, การพอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (CFRP), และการเสริมโครงแกงแนง(bracing)

3.1.2 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนโดยใช้อุปกรณ์สลายพลังงานแบบพาสซีฟ

เพื่อที่จะให้ผ่านมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยศึกษาและเปรียบเทียบจาก พิจารณาระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคาร เนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง

เมื่อ EQX คือ แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X โดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

EQY คือ แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน Y โดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

3.2. การรวบรวมข้อมูล

ทำการรวบรวมข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ หนังสือ และเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยได้ให้รายละเอียดไว้แล้วในบทก่อนหน้า

3.3. เครื่องมือวิจัย

วิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างอาคารก่อนเสริมกำลัง และหลังเสริมกำลังด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด โดยวิธีการเสริมดังที่กล่าวไว้ เนื่องจากแรงแผ่นดินไหวด้วยโปรแกรม ETABS

3.4. ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

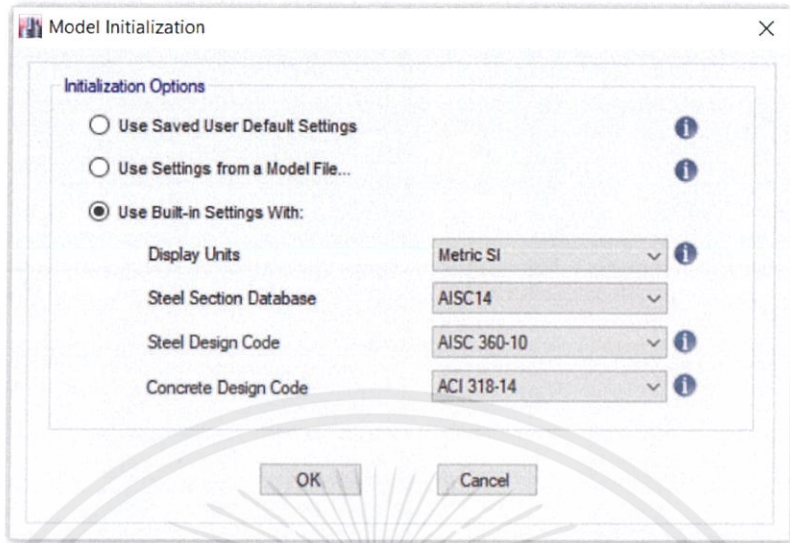
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกี่ยวกับการเสริมพอกโครงสร้างด้วยวัสดุต่างๆ และ การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนโดยใช้อุปกรณ์สลายพลังงานแบบพาสซีฟ และศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยพ.1302)
2. ศึกษาข้อมูลวิธีการใช้งานโปรแกรม ETABS
3. สร้างแบบจำลองตึกข้างโดยใช้โปรแกรม ETABS
4. คำนวณหาแรงกระทำด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว โดยโปรแกรม ETABS
5. สร้างแบบจำลองระบบวิธีการเสริมกำลังต่างๆ ได้แก่ การเสริมพอกโครงสร้างด้วยวัสดุต่างๆและ การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสั่นสะเทือนโดยใช้อุปกรณ์สลายพลังงานแบบพาสซีฟ
6. โดยเสริมกำลังที่แบบจำลองอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
7. ทำการวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบข้อมูลระบบวิธีการเสริมกำลัง
8. สรุปผลการวิจัยพร้อมทั้งจัดรูปเล่ม

3.5. การสร้างแบบจำลองอาคาร

3.5.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Etabs

ในส่วนของการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม Etabs จำสร้างแบบจำลองอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 32 ชั้นและ 1 ชั้นลานจอดเฮลิคอปเตอร์ ความสูงรวม 128 เมตร ซึ่งรูปตัดของโครงสร้างอาคารแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก. การสร้างแบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Etabs วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวเพื่อดูค่าการโก่งตัวของอาคาร (Deflection Shape)

ในขั้นตอนแรกเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะต้องทำการตั้งค่า Display units, steel code , concrete code ตามมาตรฐานที่กำหนดในที่นี้ใช้มาตรฐานดังแสดงตามรูป



รูปที่ 3.1 การตั้งค่า Display units, steel code, concrete code

จากนั้นทำการวางแนว Grid line จำนวนชั้นและความสูงของแต่ละชั้นตามแบบ

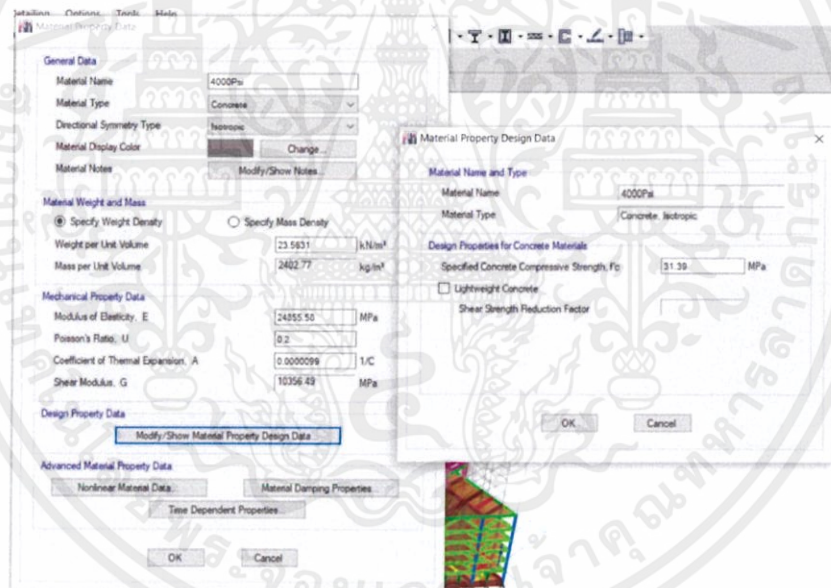


รูปที่ 3.2 วางแนว Grid line และจำนวนชั้นของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

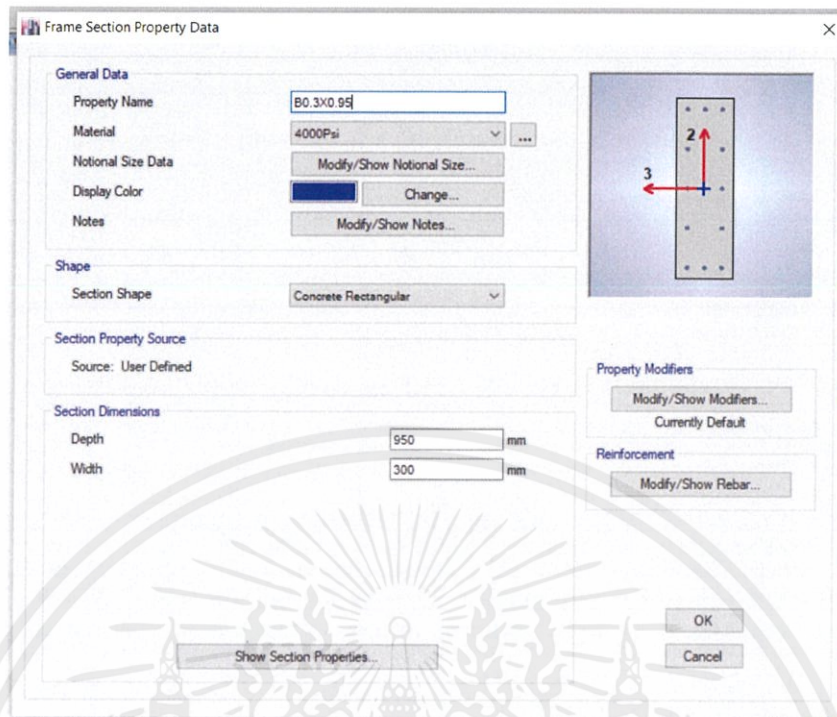
กำหนดคุณสมบัติของคอนกรีต 600, 400, 350, และ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ โดยใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัด (f_c') เท่ากับ 600, 400, 350, และ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (รูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน ขนาด 0.15×0.30 m. โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (E) เท่ากับ $15,200\sqrt{f_c'}$)

กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของโครงสร้างต่างๆในอาคาร ได้แก่ เสา ผนังรับแรงเฉือน และพื้น Post tension เป็นต้น โดยมีตัวอย่างดังต่อไปนี้

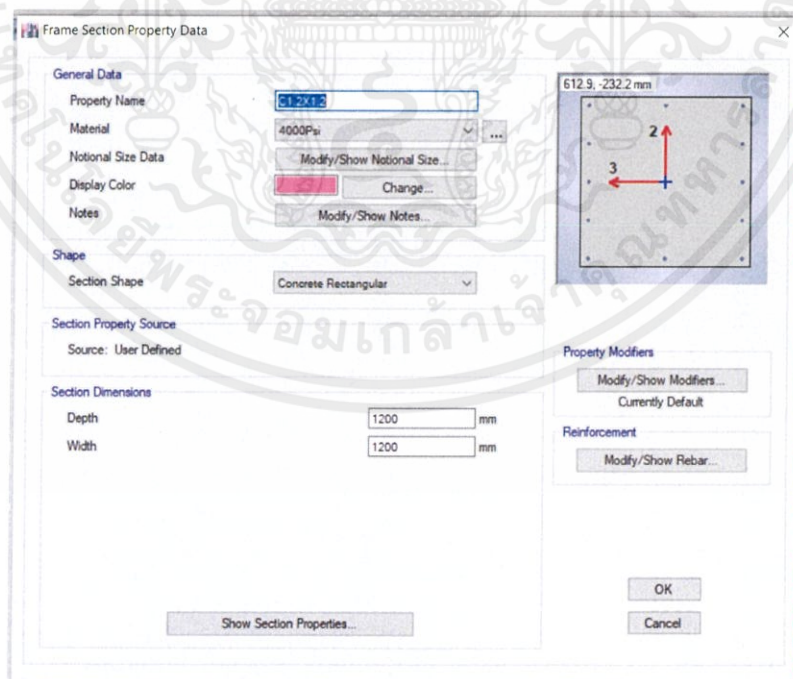


รูปที่ 3.3 กำหนดคุณสมบัติของกำลังคอนกรีต 320 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.25x0.50 เมตร



รูปที่ 3.5 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 1.20x1.20 เมตร

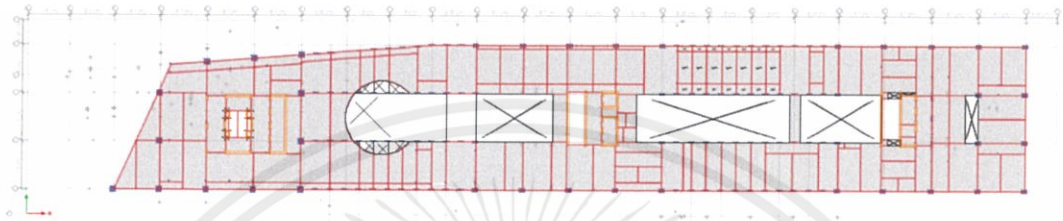
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของแผ่นพื้น Post tension ความหนา 250 มม.

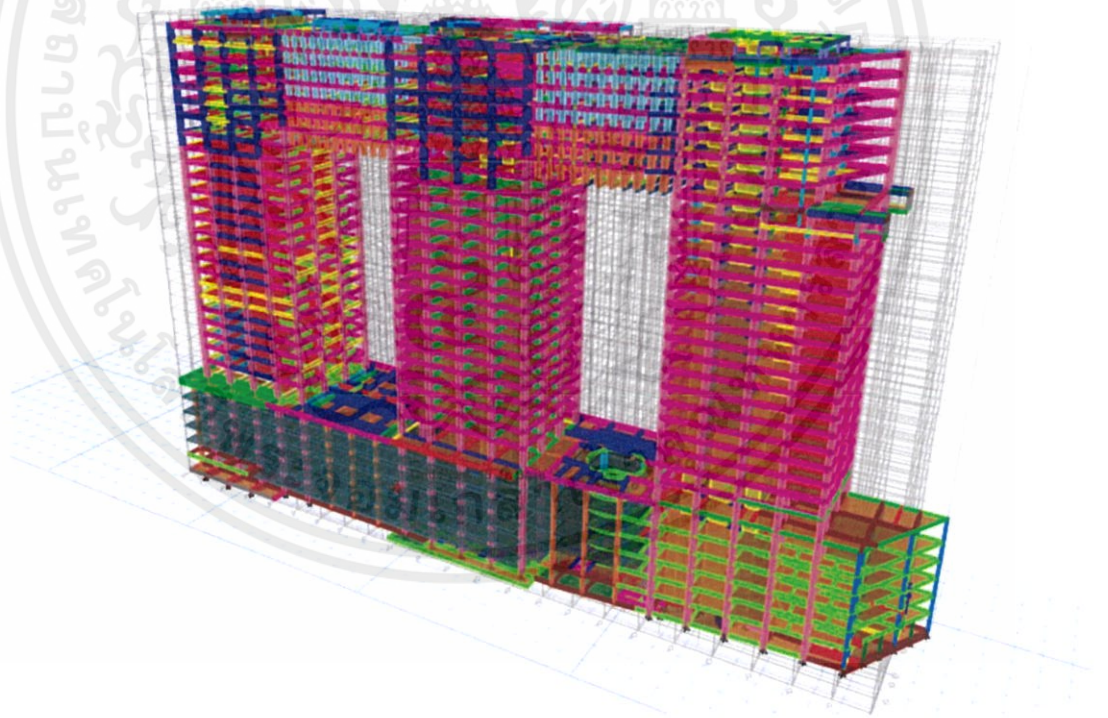
รูปที่ 3.7 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของผนังรับแรงเฉือน ความหนา 0.20 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดขนาดหน้าตัดของส่วนประกอบของโครงสร้างเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงทำการสร้างแบบจำลอง เสา คาน พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้น Post-Tension และผนังรับแรงเฉือนตามแบบของอาคารที่กำหนดไว้



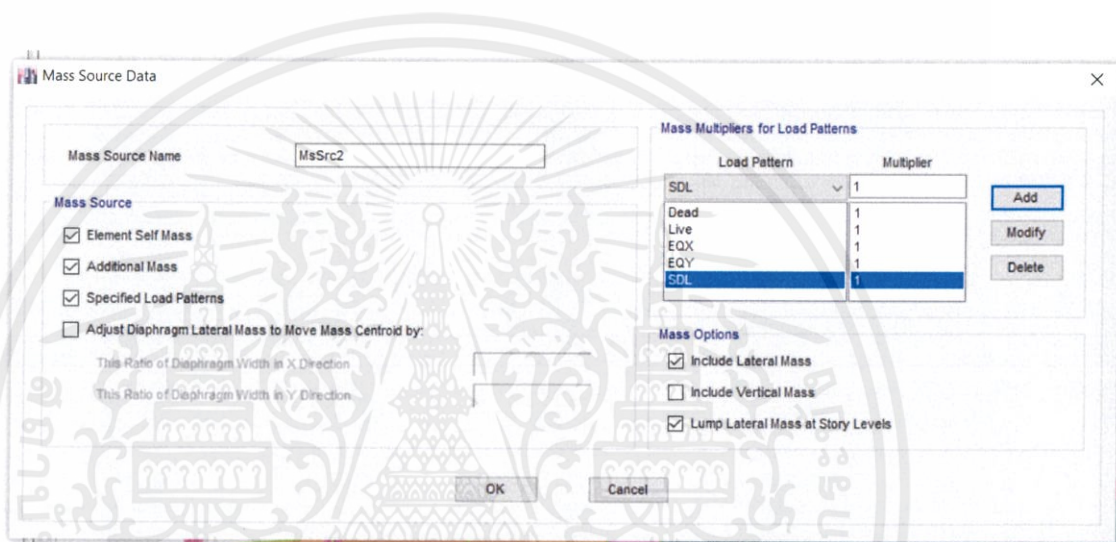
รูปที่ 3.8 แปลนแบบจำลองของโครงสร้าง เสา ผนังรับแรงเฉือน และพื้น ชั้นที่ 32



รูปที่ 3.9 แบบจำลองของอาคาร ตึกข้าง ในการแสดงผลแบบ 3D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดค่าน้ำหนักสุทธิ Mass source โดยใช้น้ำหนักบรรทุกคงที่ (น้ำหนักโครงสร้าง) 100% น้ำหนักบรรทุกจร 100% น้ำหนักบรรทุกคงที่ (วัสดุตกแต่งและผนัง) 100% แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 100 % และ แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน Y โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 100%



รูปที่ 3.10 กำหนด Mass Source Data

จากนั้นทำการกำหนดค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผล และค่าพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.35
Moment of Inertia about 3 axis	0.35
Mass	1
Weight	1

OK Close Apply

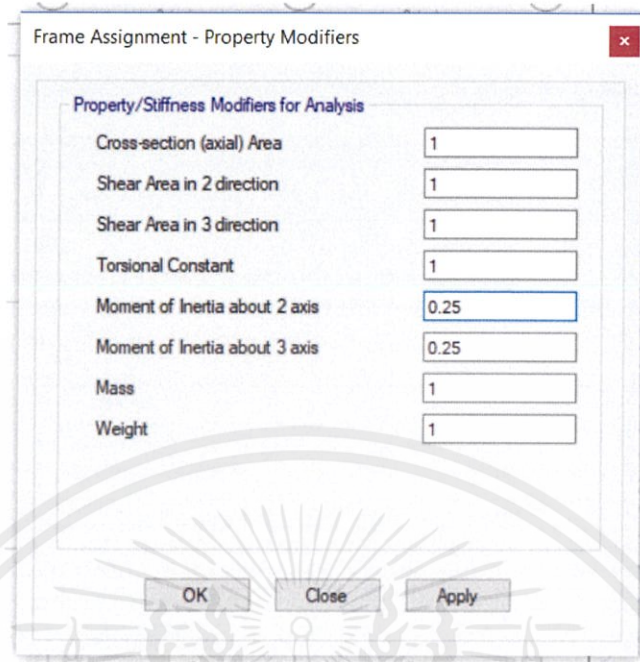
รูปที่ 3.11 ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผลของคาน

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.70
Moment of Inertia about 3 axis	0.70
Mass	1
Weight	1

OK Close Apply

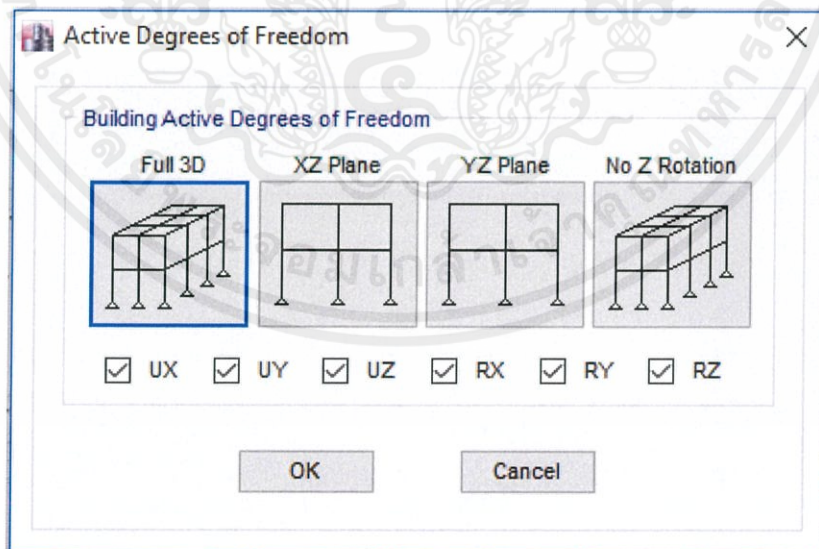
รูปที่ 3.12 ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผลของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผลของแผ่นพื้นสำเร็จรูป

กำหนดรูปแบบการสั่นพื้นฐานของอาคารที่ 100 โหมดเมื่อกำหนดและป้อนข้อมูลทุกอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการสั่งวิเคราะห์แบบจำลอง



รูปที่ 3.14 การสั่นพื้นฐานของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

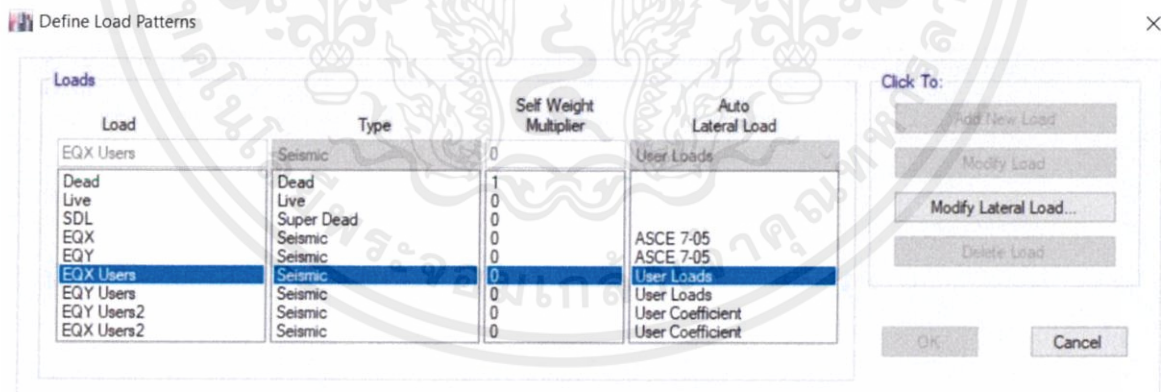
3.6 การคำนวณแรงแผ่นดินไหว (มยผ.1302-52)

3.6.1 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสถิตเทียบเท่า (มยผ.1302-52)

3.6.1.1 ทำการตั้งค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากตัวโครงสร้างเอง น้ำหนักบรรทุกจร และน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม และแรงด้านข้างคือแรงแผ่นดินไหว โดยใช้คำสั่ง Define-> Load Pattern โดยกำหนดแรงที่กระทำกับโครงสร้างดังนี้

1. น้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง (Dead Load)
2. น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)
3. น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม (SDL)
4. แรงแผ่นดินไหวที่กระทำในแนวแกน X (EQX)
5. แรงแผ่นดินไหวที่กระทำในแนวแกน Y (EQY)

เนื่องจากในที่นี้ใช้มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ตามกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2552 (มยผ 1302-52) ซึ่งในโปรแกรม ETABS ไม่มีมาตรฐานดังที่กล่าวข้างต้น ดังนั้นจึงต้องใช้การคำนวณโดยใช้วิธีสถิตเทียบเท่าเพื่อคำนวณหาแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับโครงสร้างที่ระดับชั้นความสูงต่างๆ โดยใช้คำสั่ง USER LOAD



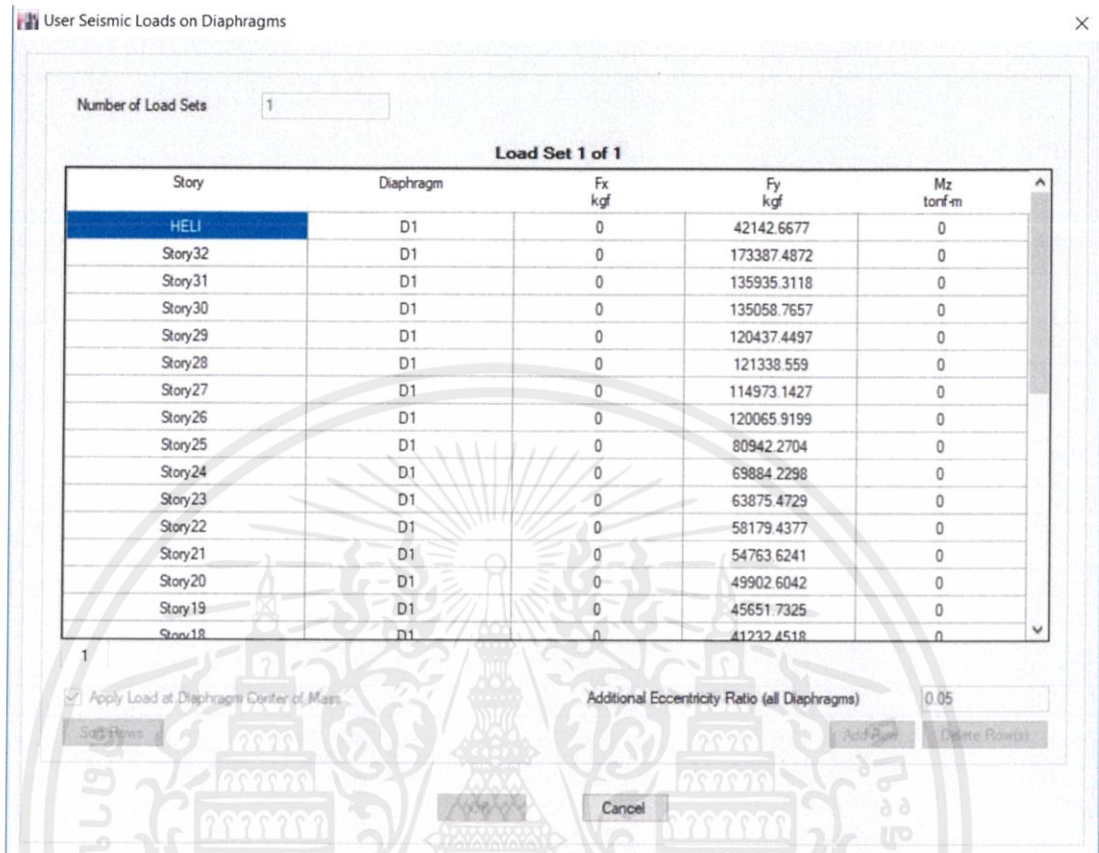
รูปที่ 3.15 กำหนด Define Load Pattern

จากนั้นจึงทำการคำนวณหาแรงแผ่นดินไหวได้ดังตารางต่อไปนี้

Story	Mass X (kg)	Mass Y (kg)	Height (m)	$w_x h_x^2$	F_x (kg)
HELI	884248.89	884248.89	128	1.45E+10	42142.67
Story32	3784449.7	3784449.72	125.5	5.96E+10	173387.5
Story31	3149997.1	3149997.07	121.8	4.67E+10	135935.3
Story30	3328859.2	3328859.15	118.1	4.64E+10	135058.8
Story29	3163602.7	3163602.72	114.4	4.14E+10	120437.4
Story28	3403894	3403894.02	110.7	4.17E+10	121338.6
Story27	3452242.4	3452242.43	107	3.95E+10	114973.1
Story26	3868045.3	3868045.27	103.3	4.13E+10	120065.9
Story25	2850584.6	2850584.58	98.8	2.78E+10	80942.27
Story24	2656382.4	2656382.36	95.1	2.4E+10	69884.23
Story23	2628537.5	2628537.49	91.4	2.2E+10	63875.47
Story22	2600415.7	2600415.65	87.7	2E+10	58179.44
Story21	2668124.2	2668124.23	84	1.88E+10	54763.62
Story20	2660507.9	2660507.93	80.3	1.72E+10	49902.6
Story19	2674682.1	2674682.05	76.6	1.57E+10	45651.73
Story18	2667205.9	2667205.89	72.9	1.42E+10	41232.45
Story17	2663908.7	2663908.71	69.2	1.28E+10	37107.28
Story16	2675119.7	2675119.74	65.5	1.15E+10	33385.15
Story15	2679943.3	2679943.3	61.8	1.02E+10	29773.52
Story14	2666486	2666485.98	58.1	9E+09	26182.98
Story13	2670247.6	2670247.64	54.4	7.9E+09	22986.71
Story12	2655610.1	2655610.06	50.7	6.83E+09	19856.73
Story11	2652547.9	2652547.85	47	5.86E+09	17044.59
Story10	2651985.6	2651985.61	43.3	4.97E+09	14463.54
Story9	2752782.8	2752782.75	39.6	4.32E+09	12557.11
Story8	2963236.9	2963236.92	35.2	3.67E+09	10680.2
Story7	6024541.3	6024541.32	29.65	5.3E+09	15406.39
Story6	5111347.3	5111347.33	23.9	2.92E+09	8492.954
Story5	4931758.1	4931758.14	19.4	1.86E+09	5399.242
Story4	4878585.6	4878585.62	14.9	1.08E+09	3150.606
Story3	4879261.4	4879261.4	10.4	5.28E+08	1535.141
Story2	5066003.9	5066003.9	5.9	1.76E+08	512.9761
Story1	4925328	4925328.04	0.9	3989516	11.60507
Σ	109,290,473.8	109,290,473.8		5.8E+11	1,686,317.857

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงนำค่าของแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารในแต่ละชั้น (F_x) ที่คำนวณได้ลงในโปรแกรม

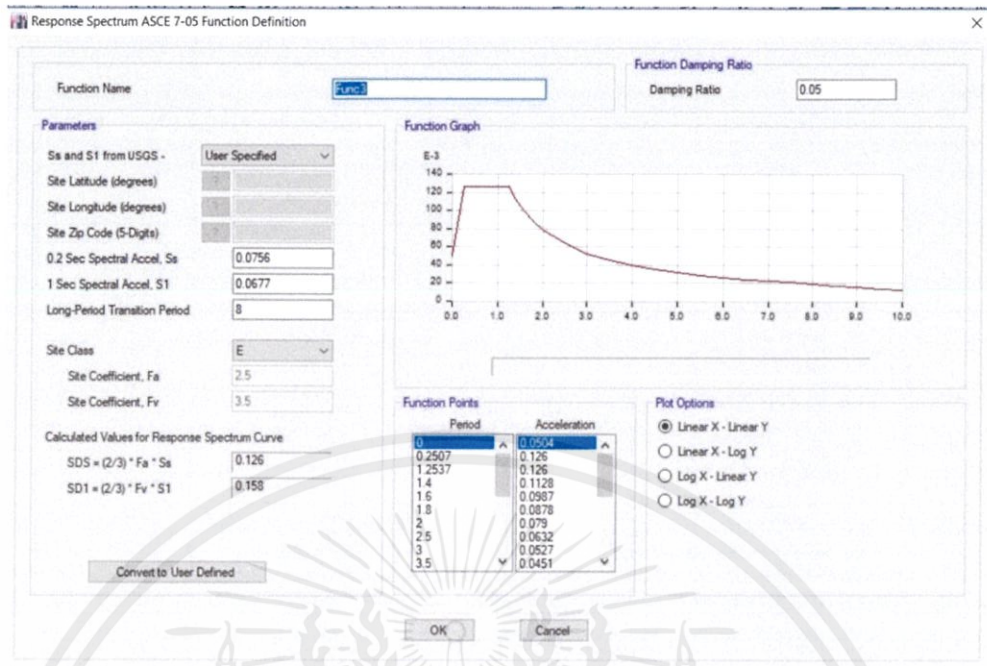


รูปที่ 3.16 Modify lateral load โดยการตั้งค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมให้ตรงตามตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร

3.6.2 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (มยพ.1302-52)

โดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Response spectrum) สามารถตั้งค่าในโปรแกรมได้ตั้งขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) ทำการตั้งค่า Define Response spectrum Function เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASCE7-05 แล้วทำการแก้ไขค่าการตอบสนอง ตามที่ มยพ 1302-52 กำหนด



รูปที่ 3.17 Define Response spectrum Function

2) ตั้งค่า Load Case การวิเคราะห์แบบสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

เริ่มจากคำนวณหา Scale Factor = $I \cdot (g/R) = 1.25 \cdot (9.81/5) = 2.452 \text{ m/s}^2$

และการหาค่ารวมค่าของแรงในแต่ละโหมดโดยวิธี SRSS ซึ่งโปรแกรมจะทำการคำนวณให้อัตโนมัติ

Load Case Data

General

Load Case Name: Design...

Load Case Type: Response Spectrum Notes...

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Func3	2.452
Acceleration	U2	Func3	2.452

Add
Delete
 Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: SRSS

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms Modify/Show...

OK Cancel

รูปที่ 3.18 กำหนด Load case ของการวิเคราะห์แบบ Response spectrum

3) ทำการหาจำนวนโหมดที่จะทำให้ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Effective Modal Weight) มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ซึ่งจากการวิเคราะห์จะเห็นว่าโหมดที่ 67 มีผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมดเกินกว่าร้อยละ 90 ดังรูปที่ 3.19

TABLE: Modal Participating Mass Ratios

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
Modal	1	7.001	0.6817	0.0015	0	0.6817	0.0015	0	0.0008	0.3076	0.001	0.0008	0.3076	0.001
Modal	2	5.105	0.0003	0.4703	0	0.682	0.4718	0	0.2955	0.0002	0.1391	0.2963	0.3078	0.1401
Modal	3	4.668	0.0021	0.1456	0	0.6841	0.6175	0	0.0845	0.0012	0.4735	0.3808	0.309	0.6136
Modal	4	1.619	0.122	0.00002182	0	0.806	0.6175	0	0.0001	0.33	0.0001	0.3809	0.639	0.6136
Modal	5	1.093	0.00001564	0.0269	0	0.806	0.6444	0	0.0356	0.00002715	0.1286	0.4165	0.639	0.7423
Modal	6	1.005	0.0001	0.1299	0	0.8061	0.7743	0	0.1713	0.0001	0.0234	0.5878	0.6391	0.7656
Modal	7	0.777	0.056	0.000007283	0	0.8621	0.7744	0	0.000005435	0.0443	7.133E-07	0.5878	0.6833	0.7657
Modal	8	0.51	0.000002332	0.0001	0	0.8621	0.7744	0	0.0001	0.000009694	0.0045	0.5879	0.6834	0.7701
Modal	9	0.508	0	0.0023	0	0.8622	0.7767	0	0.0038	0.000006745	0.0708	0.5917	0.6834	0.8409
Modal	10	0.481	0.0253	0.0005	0	0.8874	0.7772	0	0.0007	0.0791	0	0.5924	0.7624	0.8409
Modal	11	0.461	0.0003	0.0709	0	0.8877	0.8481	0	0.0888	0.0007	0.0016	0.6812	0.7631	0.8425
Modal	12	0.336	0.0164	0.00002459	0	0.9041	0.8481	0	0.00003452	0.0195	0.000004738	0.6812	0.7825	0.8425
Modal	13	0.301	0	0.0019	0	0.9041	0.85	0	0.0035	0	0.0423	0.6848	0.7825	0.8848
Modal	14	0.276	0.0000104	0.0397	0	0.9041	0.8897	0	0.0741	0.00001199	0.0021	0.7589	0.7825	0.8869
Modal	15	0.241	0.0149	0.000002086	0	0.919	0.8897	0	0.000005076	0.035	0	0.7589	0.8176	0.8869
Modal	16	0.205	0	8.929E-07	0	0.919	0.8897	0	0.000004777	0	0.0024	0.7589	0.8176	0.8893
Modal	17	0.204	0	0	0	0.919	0.8897	0	0	0	0	0.7589	0.8176	0.8893
Modal	18	0.199	0.000002848	0.0007	0	0.919	0.8904	0	0.001	0.000004939	0.0197	0.7599	0.8176	0.909
Modal	19	0.183	0.000003677	0.0222	0	0.9191	0.9125	0	0.0413	0.000008241	0.0008	0.8013	0.8176	0.9098
Modal	20	0.183	0.012	0	0	0.9311	0.9125	0	0	0.0229	0.00002428	0.8013	0.8405	0.9098
Modal	21	0.171	0	0.00002963	0	0.9311	0.9125	0	0.0001	0	0.000004122	0.8013	0.8405	0.9098
Modal	22	0.151	0.000005749	8.334E-07	0	0.9311	0.9125	0	0.00000122	0.00001287	0.0017	0.8013	0.8405	0.9115
Modal	23	0.15	0	0.00001251	0	0.9311	0.9126	0	0.00002527	0	0.00001356	0.8014	0.8405	0.9115
Modal	24	0.15	0	0	0	0.9311	0.9126	0	0	0	0.000006282	0.8014	0.8405	0.9115
Modal	25	0.15	0	6.769E-07	0	0.9311	0.9126	0	0.000001367	0	8.114E-07	0.8014	0.8405	0.9115
Modal	26	0.15	0	0	0	0.9311	0.9126	0	0	0	6.357E-07	0.8014	0.8405	0.9115
Modal	27	0.15	0	0	0	0.9311	0.9126	0	0	0	0	0.8014	0.8405	0.9115
Modal	28	0.15	0	0	0	0.9311	0.9126	0	0	0	0	0.8014	0.8405	0.9115
Modal	29	0.15	0	0	0	0.9311	0.9126	0	0	0	0	0.8014	0.8405	0.9115
Modal	30	0.15	0	0	0	0.9311	0.9126	0	0	0	0	0.8014	0.8405	0.9115
Modal	31	0.15	0	0	0	0.9311	0.9126	0	0	0	0	0.8014	0.8405	0.9115
Modal	32	0.15	0	0	0	0.9311	0.9126	0	0	0	0	0.8014	0.8405	0.9115
Modal	33	0.15	0	0.00003997	0	0.9311	0.9126	0	0.0001	0	0.0002	0.8014	0.8405	0.9117
Modal	34	0.15	0	0.00002323	0	0.9311	0.9126	0	0.00004617	0	0.00003278	0.8015	0.8405	0.9117
Modal	35	0.147	0.0069	0.00003083	0	0.9379	0.9126	0	0.0001	0.0152	0.0006	0.8016	0.8558	0.9124
Modal	36	0.145	0.0005	0.0008	0	0.9384	0.9135	0	0.0018	0.001	0.0122	0.8034	0.8568	0.9246
Modal	37	0.138	0	0.00004445	0	0.9384	0.9135	0	0.0001	0	0.00002569	0.8035	0.8568	0.9246
Modal	38	0.135	0.0001	0.000003667	0	0.9385	0.9135	0	0.000007546	0.0001	9.826E-07	0.8035	0.8569	0.9246
Modal	39	0.132	0	0.0145	0	0.9385	0.9281	0	0.0308	0	0.0014	0.8343	0.8569	0.926
Modal	40	0.119	0.0056	0	0	0.9441	0.9281	0	0	0.0117	0.0001	0.8343	0.8686	0.9261
Modal	41	0.116	0.0001	0.0004	0	0.9442	0.9285	0	0.0009	0.0002	0.0095	0.8352	0.8688	0.9357
Modal	42	0.114	0	0.000002768	0	0.9442	0.9285	0	0.000006115	0	0.0001	0.8352	0.8688	0.9358
Modal	43	0.107	0	0.0082	0	0.9442	0.9367	0	0.0169	0	0.0009	0.8521	0.8688	0.9367
Modal	44	0.098	0.0056	0.0001	0	0.9498	0.9368	0	0.0001	0.0128	0.0003	0.8522	0.8816	0.937
Modal	45	0.097	0.0001	0.0003	0	0.9499	0.9371	0	0.0007	0.0002	0.0009	0.8529	0.8817	0.9379
Modal	46	0.097	0.0002	0.0013	0	0.9501	0.9384	0	0.0028	0.0004	0.005	0.8558	0.8822	0.9429
Modal	47	0.091	5.523E-07	0.0048	0	0.9501	0.9432	0	0.0104	0.000001258	0.0012	0.8662	0.8822	0.9442
Modal	48	0.086	0.000003492	0.0016	0	0.9501	0.9449	0	0.0037	0.000007638	0.0007	0.8699	0.8822	0.9448
Modal	49	0.085	0.0043	0	0	0.9544	0.9449	0	0	0.009	0.000006385	0.8699	0.8912	0.9448
Modal	50	0.084	0.0001	0.00002992	0	0.9544	0.9449	0	0.0001	0.0001	0.0001	0.8699	0.8913	0.9449
Modal	51	0.079	0.000001725	0.00002287	0	0.9544	0.9449	0	0.0001	0.000003837	0.0042	0.87	0.8913	0.9491
Modal	52	0.077	0.000002761	0.0029	0	0.9544	0.9479	0	0.0066	0.000005911	0.0004	0.8766	0.8913	0.9495
Modal	53	0.074	0.0027	0.000004445	0	0.9571	0.9479	0	0.0000111	0.0063	8.333E-07	0.8766	0.8977	0.9495
Modal	54	0.071	0	0.002	0	0.9571	0.9498	0	0.0042	0	0.0019	0.8808	0.8977	0.9514
Modal	55	0.07	5.123E-07	0.0007	0	0.9571	0.9506	0	0.0016	0.000001265	0.0001	0.8824	0.8977	0.9515
Modal	56	0.069	0.000002761	0.00000174	0	0.9571	0.9506	0	0.000003996	0.000006184	0.000001197	0.8824	0.8977	0.9515
Modal	57	0.068	0.000002241	0.0012	0	0.9571	0.9518	0	0.0028	0.000005506	0.0026	0.8852	0.8977	0.954
Modal	58	0.067	0	0	0	0.9571	0.9518	0	0	0	0.000002731	0.8852	0.8977	0.954
Modal	59	0.067	0	0	0	0.9571	0.9518	0	0	0	0.00001776	0.8852	0.8977	0.9541
Modal	60	0.063	0.0025	0.000001606	0	0.9596	0.9518	0	0.000003047	0.0054	0.000002659	0.8852	0.903	0.9541
Modal	61	0.062	0.000001716	0.0018	0	0.9596	0.9536	0	0.0041	0.000003972	0.0032	0.8894	0.9031	0.9572
Modal	62	0.06	0.000003104	0.0035	0	0.9596	0.9571	0	0.0079	0.000006843	0.0008	0.8972	0.9031	0.9581
Modal	63	0.056	0.0033	0.000001115	0	0.9629	0.9571	0	0.000003011	0.0079	0.000001411	0.8972	0.911	0.9581
Modal	64	0.055	6.381E-07	0.0007	0	0.9629	0.9578	0	0.0016	0.000001487	0.0003	0.8989	0.911	0.9583
Modal	65	0.055	0.0002	0	0	0.9631	0.9578	0	0	0.0004	0.000001341	0.8989	0.9113	0.9583
Modal	66	0.054	0.000001459	0.000001431	0	0.9631	0.9578	0	0.000001467	0.000003385	0.0013	0.8989	0.9113	0.9596
Modal	67	0.053	0.000001244	0.0006	0	0.9631	0.9584	0	0.0012	0.000002941	0.0001	0.9001	0.9113	0.9597
Modal	68	0.052	0.000009034	0.0017	0	0.9631	0.96	0	0.0038	0.00002084	0.0003	0.9039	0.9114	0.96
Modal	69	0.052	0.0015	0.000006308	0	0.9646	0.96	0	0.0000128	0.0033	5.872E-07	0.9039	0.9147	0.96
Modal	70	0.051	9.687E-07	5.306E-07	0	0.9646	0.96	0	0.000001148	0.00000218	7.405E-07	0.9039	0.9147	0.96

รูปที่ 3.19 แสดงน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Effective Modal Weight)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เนื่องจากแรงภายในที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ไม่ควรมีค่าต่างจากการหาแรงภายในจากวิธีแรงสถิตเทียบเท่าจนเกินไปดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณหาแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear, V) ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent static) หากค่าคาบการสั่นที่คำนวณจากวิธีเชิงพลศาสตร์มีค่ามากกว่าค่าคาบที่คำนวณได้จากวิธีสถิตเทียบเท่า เกิน 1.5 เท่าจะต้องใช้ค่าของคาบสำหรับการคำนวณหาแรงเฉือนที่ฐานโดยวิธีสถิตเทียบเท่า เท่ากับ $1.5T$ ($T=0.02H, H=128m$) หรือเท่ากับ 3.89 วินาที

เมื่อนำไปเปิดตารางที่ 2.1 จะได้ค่า $S_a=0.0612$ จากนั้นคำนวณหา C_s จาก $C_s=0.0612*(1.25/5)=0.0153$ ซึ่งมีค่าเกิน $C_{s,max}=0.0103$ ดังนั้นเลือกใช้ค่า $C_{s,max}$ ในการคำนวณหาแรงเฉือนที่ฐานจะได้เท่ากับ 1124161.82 kg ดังรูปที่ 3.20

TABLE: Base Reactions

Load Case/Comb	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m	X m	Y m	Z m
res1 Max	598576.77	708328.8	0.08	41579488.89	38946254.92	74306316.95	0	0	0
EQX Users	-1124161.15	-0.24	-0.05	22.95	-110511454	21238494.54	0	0	0
EQY Users	-0.17	-1124160.26	-0.19	110511442.4	4.68	-122866294	0	0	0

รูปที่ 3.20 แสดงแรงเฉือนที่ฐานก่อนการปรับค่า Scale Factor

จากรูปจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนระหว่างแรงเฉือนที่ฐานที่คำนวณด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ต่อแรงเฉือนที่คำนวณด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่ามีค่าน้อยกว่าร้อยละ 85 ดังนั้นค่า Scale Factor จะต้องมีการเพิ่มค่าเท่ากับ $0.85V/V_t$ โดย V_t คือแรงเฉือนที่ฐานที่คำนวณด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ จะได้ค่า Scale Factor เป็น 3.925 m/s^2

TABLE: Base Reactions

Load Case/Comb	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m	X m	Y m	Z m
res1 Max	958162.24	1133846.06	0.12	66557705.5	62342598.11	118944655	0	0	0
EQX Users	-1124161.15	-0.24	-0.05	22.95	-110511454	21238494.54	0	0	0
EQY Users	-0.17	-1124160.26	-0.19	110511442.4	4.68	-122866294	0	0	0

รูปที่ 3.21 แสดงแรงเฉือนที่ฐานหลังการปรับค่า Scale Factor

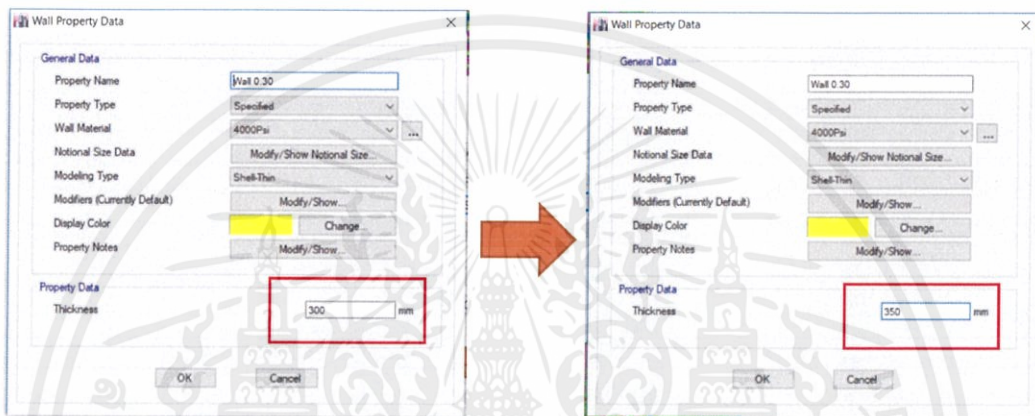
จากนั้นทำการวิเคราะห์อีกครั้งจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนระหว่างแรงเฉือนที่ฐานที่คำนวณด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ต่อแรงเฉือนที่คำนวณด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่ามีค่ามากกว่าร้อยละ 85 ทั้งสองทิศทาง ดังรูปที่ 3.21 ดังนั้นสามารถนำค่าต่างๆไปคำนวณหาการเคลื่อนตัวได้

3.7 วิธีการเสริมกำลังโครงสร้าง ในแบบจำลองโปรแกรม

3.7.1 การเสริมกำลังด้วยวิธีการพอกโครงสร้างด้วยวัสดุเสริมกำลัง

3.7.1.1 ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต

ในขั้นตอนแรกจะทำการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กบริเวณกำแพงรับแรงเฉือน เสา และคานที่สนใจโดยจะเพิ่มขนาดจากขนาดเดิมโดยเข้าไปที่คำสั่ง Define → Section property → Wall Section



รูปที่ 3.22 เพิ่มขนาดของกำแพงรับแรงเฉือนจาก 300 mm เป็น 350 mm

3.7.1.2 ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก

เนื่องจากโปรแกรมไม่สามารถใช้คำสั่งให้ใช้วัสดุพอกโครงสร้างเดิมได้ดังนั้นจึงต้องทำการเพิ่มขนาดหน้าตัดของโครงสร้างเดิมที่มีอยู่แล้วโดยจะหาขนาดความหนาของแผ่นจากการแปลงหน้าตัด (transform section) จากความหนาของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นในหัวข้อที่ 3.7.1.1 มาใช้ในการแปลงหาความหนาของแผ่นเหล็ก โดยจะเสริมบริเวณกำแพงรับแรงเฉือน

$$\text{ความหนาของแผ่นเหล็ก} = \text{ความหนาของคอนกรีต} \times \frac{\text{โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต}}{\text{โมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นเหล็ก}}$$

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ $271905.87 \text{ kg/cm}^2$

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นเหล็กมีค่าเท่ากับ $2.04 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

โดยความหนาของแผ่นเหล็กที่คำนวณออกมาได้ต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 4.5 มิลลิเมตร

3.7.1.3 ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (Carbon Fiber reinforced Polymer หรือ CFRP)

เนื่องจากในโปรแกรมไม่สามารถใช้คำสั่งให้ใช้วัสดุพอกโครงสร้างเดิมได้ตั้งนั้นจึงต้องทำการเพิ่มขนาดหน้าตัดของโครงสร้างเดิมที่มีอยู่แล้วโดยจะหาขนาดความหนาของแผ่นจากการแปลงหน้าตัด (transform section) จากความหนาของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นในหัวข้อที่ 3.7.1.1 มาใช้ในการแปลงหาความหนาของแผ่นเหล็ก โดยจะเสริมบริเวณกำแพงรับแรงเฉือน

ความหนาของแผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้นใย

$$= \text{ความหนาของคอนกรีต} \times \frac{\text{โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต}}{\text{โมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นเหล็ก}}$$

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 271905.87 kg/cm²

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้นใยมีค่าเท่ากับ 2.04×10^6 kg/cm²

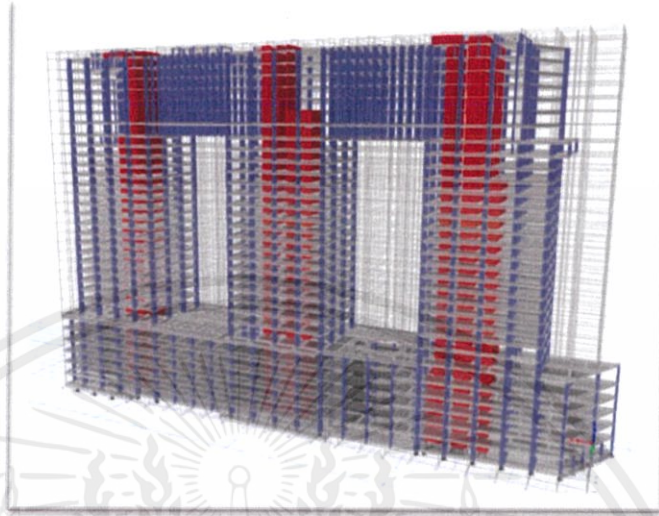
3.7.1.4 ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานของโครงแกงแนง (Bracing)

ในขั้นแรกทำการกำหนดหน้าตัดโครงแกงแนงที่จะเสริม อย่างเช่นเหล็ก Wide-flange ,H-Beam, I-Beam ในโปรแกรม ETABS โดยใช้คำสั่ง Define → Section property → Frame section



รูปที่ 3.23 ตั้งค่าหน้าตัดของเหล็ก wide-flange

จากนั้นทำการติดตั้งเหล็กโครงแกนแข็งที่กำหนดในโมเดลอาคารที่เตรียมไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสมแล้วทำการวิเคราะห์หาค่า Inter story drift แล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ



รูปที่ 3.24 หาดำแหน่งที่เหมาะสมที่จะติดตั้ง bracing ในแบบจำลอง

3.7.2 การติดตั้งอุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดของเหลว (Fluid viscous damper)

โดยขั้นแรกจะทำการตั้งค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์ตัวหน่วงในโปรแกรม ETABS โดยจะใส่ค่า Mass และ weight ของตัวหน่วง และทำการกำหนด DIRECTIONAL PROPERTIES ของอุปกรณ์ตัวหน่วงดังตารางต่อไปนี้

Name	FVD250
Type	Damper-Exponential
Mass(kg)	44
Weight(kN)	250
Direction	U1

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของ Fluid viscous damper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Link Property Data

General

Link Property Name: FVD250 Link Type: Damper - Exponential

Link Property Notes: Modify/Show Notes... P-Delta Parameters: Modify/Show...

Total Mass and Weight

Mass: 44 kg Rotational Inertia 1: 0 tonf-m²

Weight: 250 kN Rotational Inertia 2: 0 tonf-m²

Rotational Inertia 3: 0 tonf-m²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 1 m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 1 m²

Directional Properties

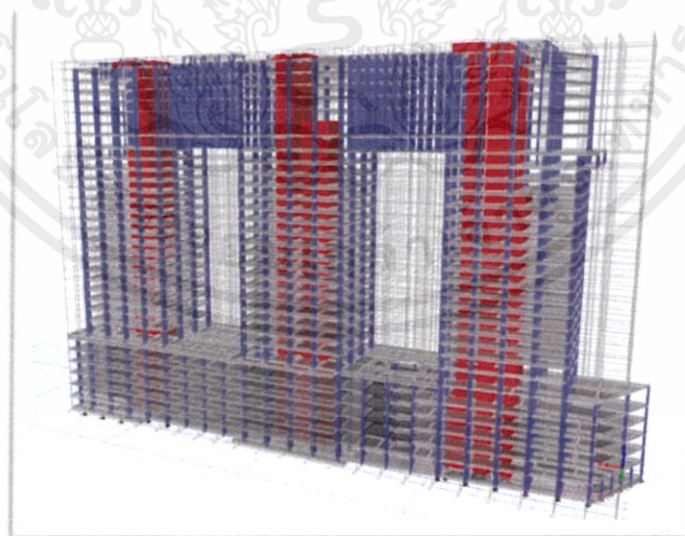
Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Fix All Clear All

OK Cancel

รูปที่ 3.25 ตั้งค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดของเหลว

จากนั้นทำการติดตั้งเหล็กโครงแกงแนงที่กำหนดในโมเดลอาคารที่เตรียมไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสมแล้วทำการวิเคราะห์หาค่า Inter story drift แล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวิธีอื่น



รูปที่ 3.26 หาตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะติดตั้งอุปกรณ์ตัวหน่วงในแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.3 การติดตั้งอุปกรณ์แบบยึดหยุ่นชนิดแข็ง (Friction damper)

โดยขั้นแรกจะทำการตั้งค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์ตัวหนึ่งในโปรแกรม ETABS โดยจะใส่ค่า Mass และ weight ของตัวหน่วง และทำการกำหนด DIRECTIONAL PROPERTIES ของอุปกรณ์ตัวหน่วงดังตารางต่อไปนี้

Name	Friction damper
Type	Plastic (Wen)
Mass(kg)	222.07
Weight(kN)	2.18
Direction	U1

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของ Friction damper

Link Property Data

General

Link Property Name: FRICION DAMPER Link Type: Plastic (Wen)

Link Property Notes: Modify/Show Notes... P-Delta Parameters: Modify/Show...

Total Mass and Weight

Mass: 222.07 kg Rotational Inertia 1: 0 tonf-m-s²

Weight: 2.18 kN Rotational Inertia 2: 0 tonf-m-s²

Rotational Inertia 3: 0 tonf-m-s²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 1 m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 1 m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3

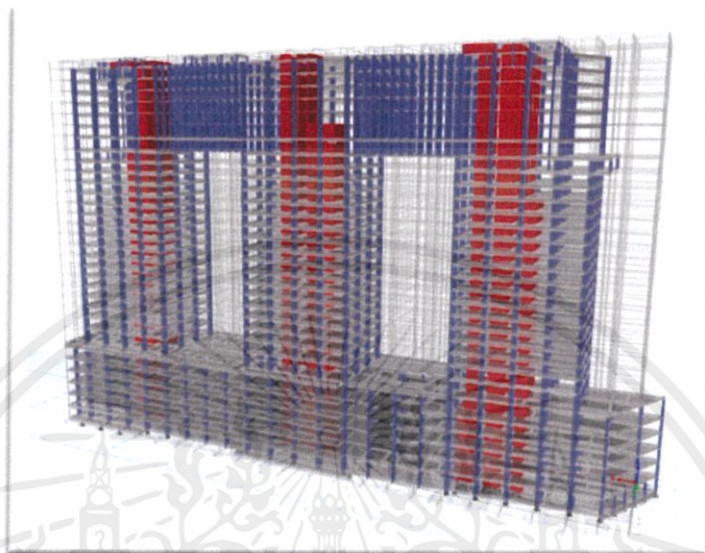
Fix All Clear All

OK Cancel

รูปที่ 3.27 แสดงคุณสมบัติของ Friction Damper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงนำโครงอาคารป้องกันการโก่งเดาะที่ตั้งค่าหน้าตัดแล้วไปใส่ในแบบจำลองที่เตรียมไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสมโดยวางในรูปแบบต่างๆ เช่น ตัววี หรือวางแนวทะแยง



รูปที่ 3.28 หาดำแหน่งที่เหมาะสมที่จะติดตั้งโครงอาคารป้องกันการโก่งเดาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

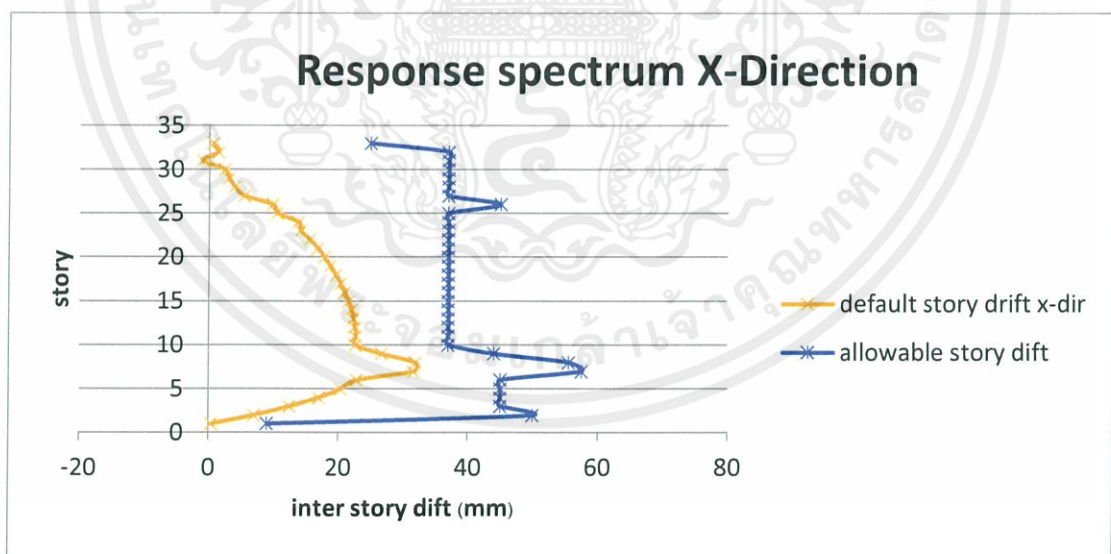
ผลการทดลอง

ในบทที่4 จะแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวทางด้านข้างจากโปรแกรม ETABS โดยจะแสดงทั้งก่อนการเสริมกำลัง และ หลังการเสริมกำลังด้วยวิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้ 1.พอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต 2.พอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก 3.พอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย 4.โครงแกนง 5. อุปกรณ์แบบยึดหยุ่นชนิดของเหลว 6.อุปกรณ์แบบยึดหยุ่นชนิดแข็ง โดยจะแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 วิธีคือ

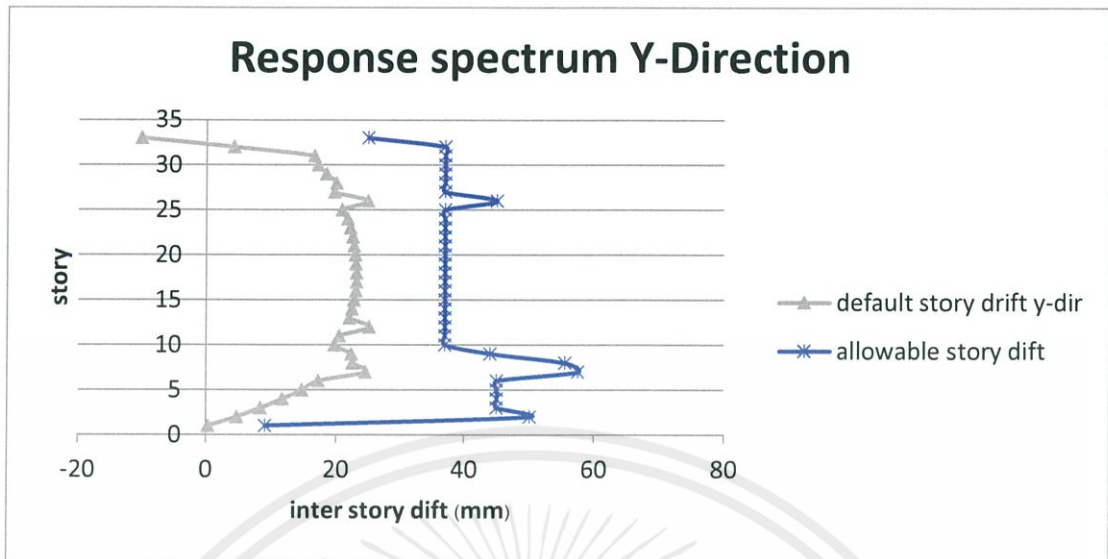
- 1.การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด
- 2.การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสถิตเทียบเท่า

4.1 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

จากขั้นตอนการวิเคราะห์โดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดจากหัวข้อที่ 3.6.2 จะสามารถนำข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างมาทำการคำนวณหาการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้ดังตารางที่ 4.1 จากนั้นนำข้อมูลมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงและการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชั้นและการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์(Inter-story drift) ของการวิเคราะห์แบบ RESPONSE SPECTRUM ในแนวแกน X



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชั้นและการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Inter-story drift) ของการวิเคราะห์แบบ RESPONSE SPECTRUM ในแนวแกน Y

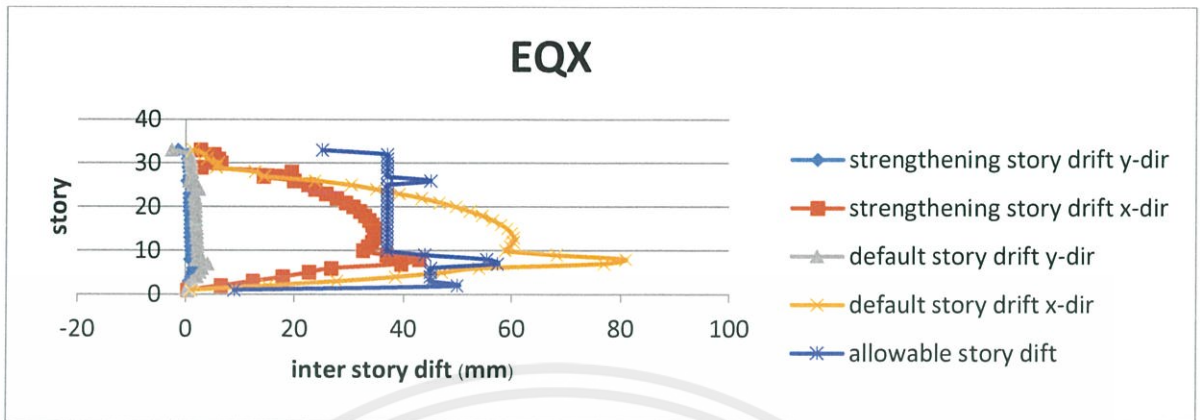
จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-story drift) จากการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Response Spectrum) ทั้งสองทิศทางคือ แกน X และแกน Y มีค่าต่ำกว่าค่าของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ยอมให้ ทำให้การวิเคราะห์แบบสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดจึงไม่ต้องมีการเสริมกำลังให้กับอาคาร ดังนั้นจึงเลือกใช้การวิเคราะห์แบบสถิตเทียบเท่า ดังหัวข้อถัดไป

4.2 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสถิตเทียบเท่า

4.2.1 พอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต (Concrete Jacketing)

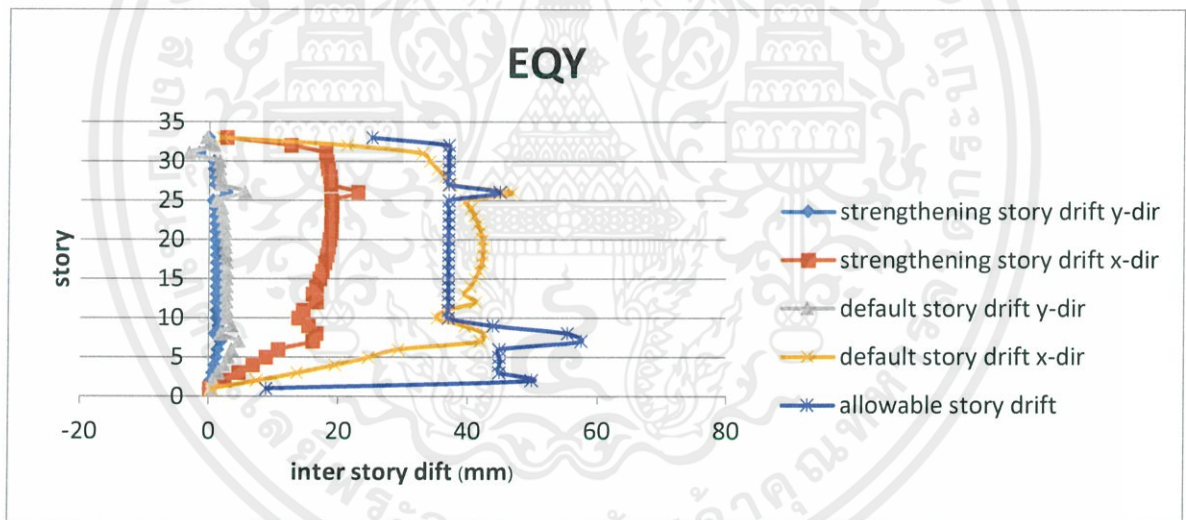
ในหัวข้อการเสริมกำลังด้วยการพอกคอนกรีตจะทำการเพิ่มความหนาของกำแพงรับแรงเฉือนตลอดแนวความสูงของอาคารจากการวิเคราะห์พบว่าความหนาของกำแพงรับแรงเฉือนที่ทำให้การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ลดลงน้อยกว่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ยอมให้ (Allowable Story Drift) นั้นเท่ากับ 73.5 cm โดยจะแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารเป็น 2 ทิศทางคือ แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารในแนวแกน X และ คือ แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารในแนวแกน Y ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

4.2.1.1 กรณีแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน X



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น กรณีแรงแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน X

4.2.1.2 กรณีแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน Y

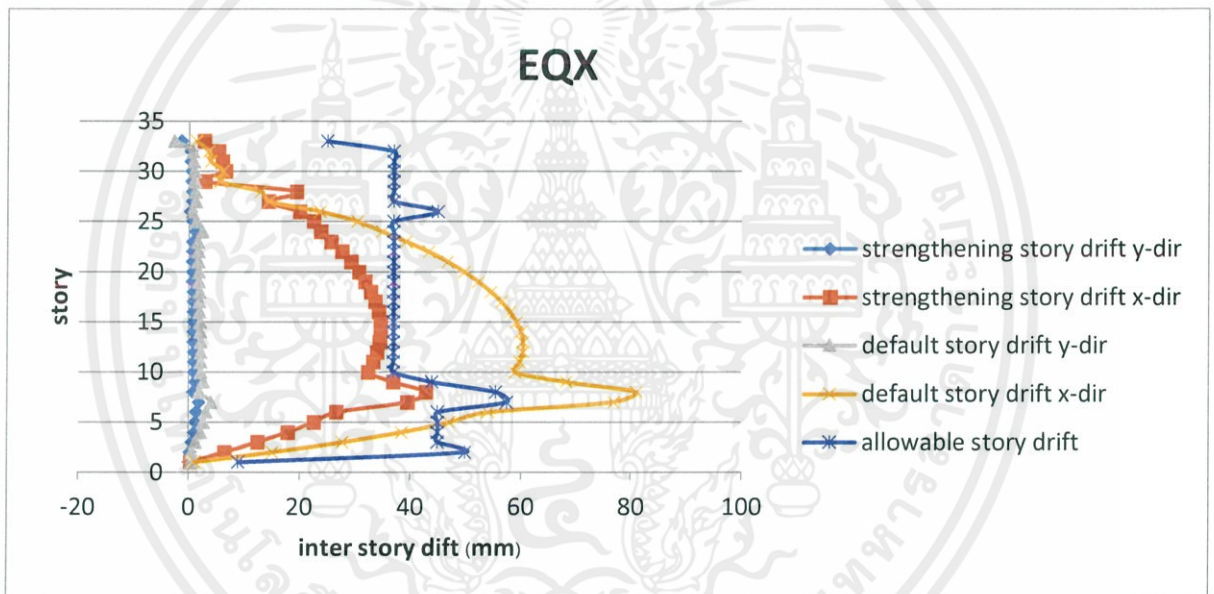


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น กรณีแรงแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน Y

4.2.2 ปอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก (Steel Jacketing)

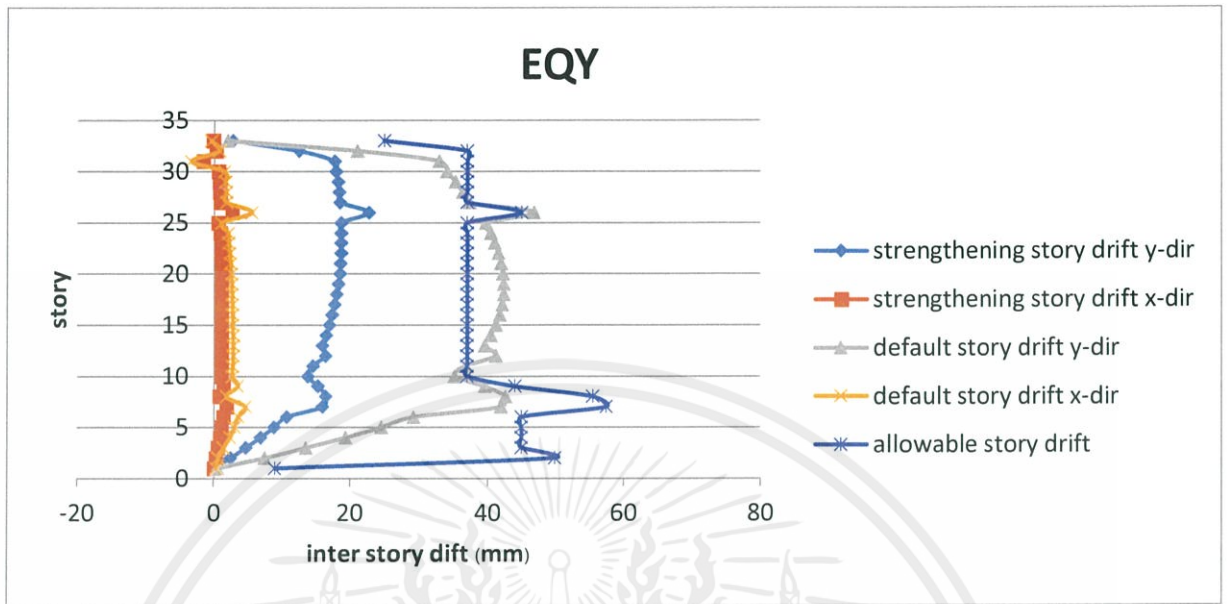
ในหัวข้อการเสริมกำลังโครงสร้างด้วยการพอกแผ่นเหล็กนี้จะทำการพอกที่ตำแหน่งกำแพงรับแรงเฉือนเช่นเดียวกับการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต โดยความหนาของแผ่นเหล็กที่ใช้นั้นจะได้อาจมาจากการแปลงหน้าตัด(Transform section) ดังหัวข้อที่ 3.7.1.3 ซึ่งความหนาของแผ่นเหล็กที่ได้จากการแปลงหน้าตัดเท่ากับ 100 mm โดยจะแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารเป็น 2 ทิศทางคือ แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารในแนวแกน X และ คือ แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารในแนวแกน Y ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

4.2.2.1. กรณีแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน X



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น กรณีแรงแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน X

4.2.2.2. กรณีแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน Y

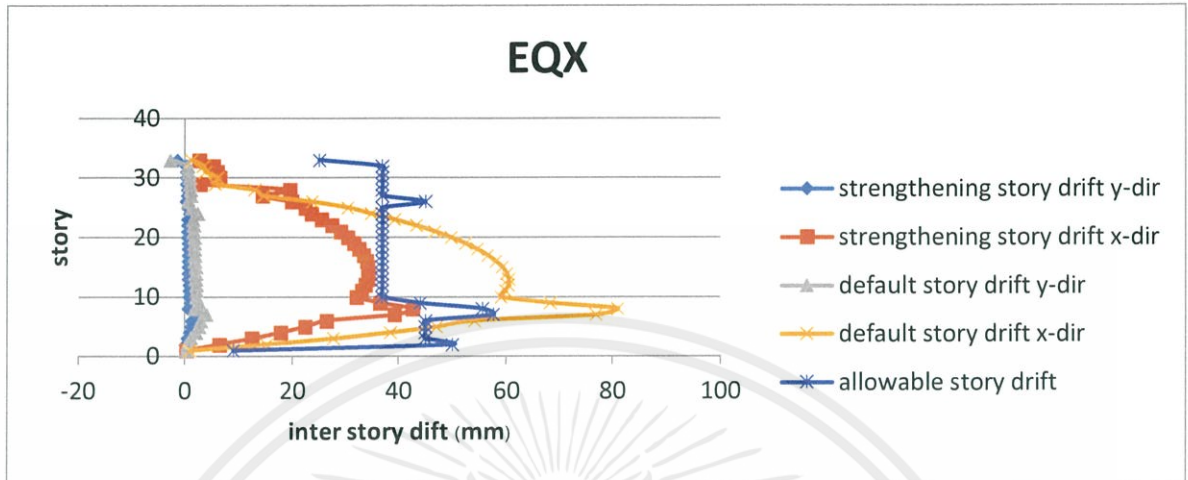


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น กรณีแรงแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน Y

4.2.3 พอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (Polymer Jacketing)

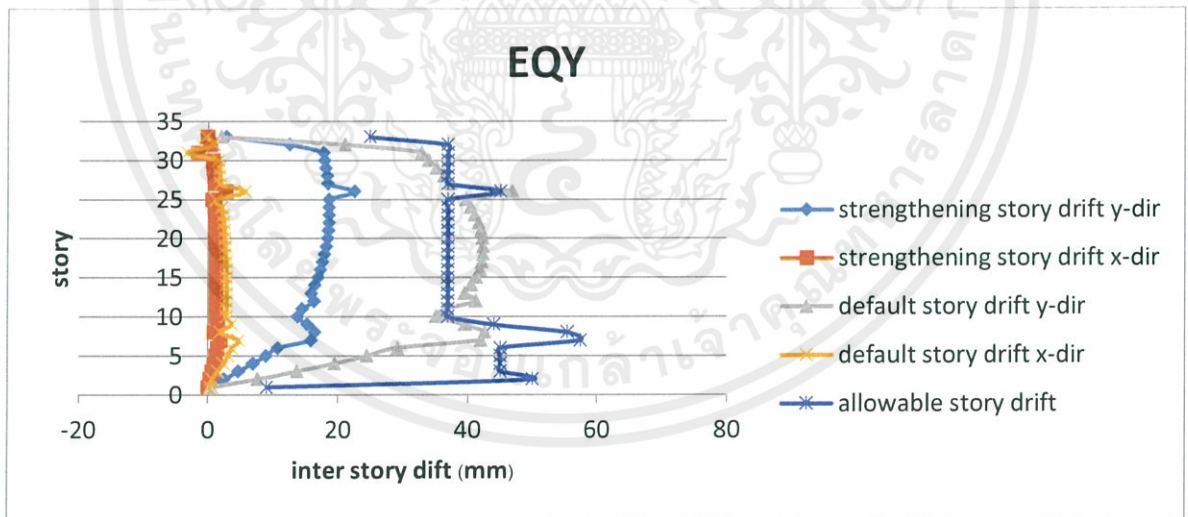
ในหัวข้อการเสริมกำลังโครงสร้างด้วยการพอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (Polymer Jacketing) โดยจะทำการพอกที่ตำแหน่งกำแพงรับแรงเฉือนเช่นเดียวกับการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต โดยความหนาของโพลีเมอร์เสริมเส้นใย ที่ใช้นั้นจะได้มาจากการแปลงหน้าตัด (Transform section) ดังหัวข้อที่ 3.7.1.3 จะได้ว่าความหนาของโพลีเมอร์เสริมเส้นใย ที่ได้จากการแปลงหน้าตัดเท่ากับ 86 mm ซึ่งตามความจริงโพลีเมอร์เสริมเส้นใยมีความหนาเท่ากับ 2 mm ดังนั้นต้องพัน 43 รอบ โดยจะแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารเป็น 2 ทิศทางคือ แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารในแนวแกน X และคือ แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารในแนวแกน Y ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

4.2.3.1. กรณีแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน X



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น กรณีแรงแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน X

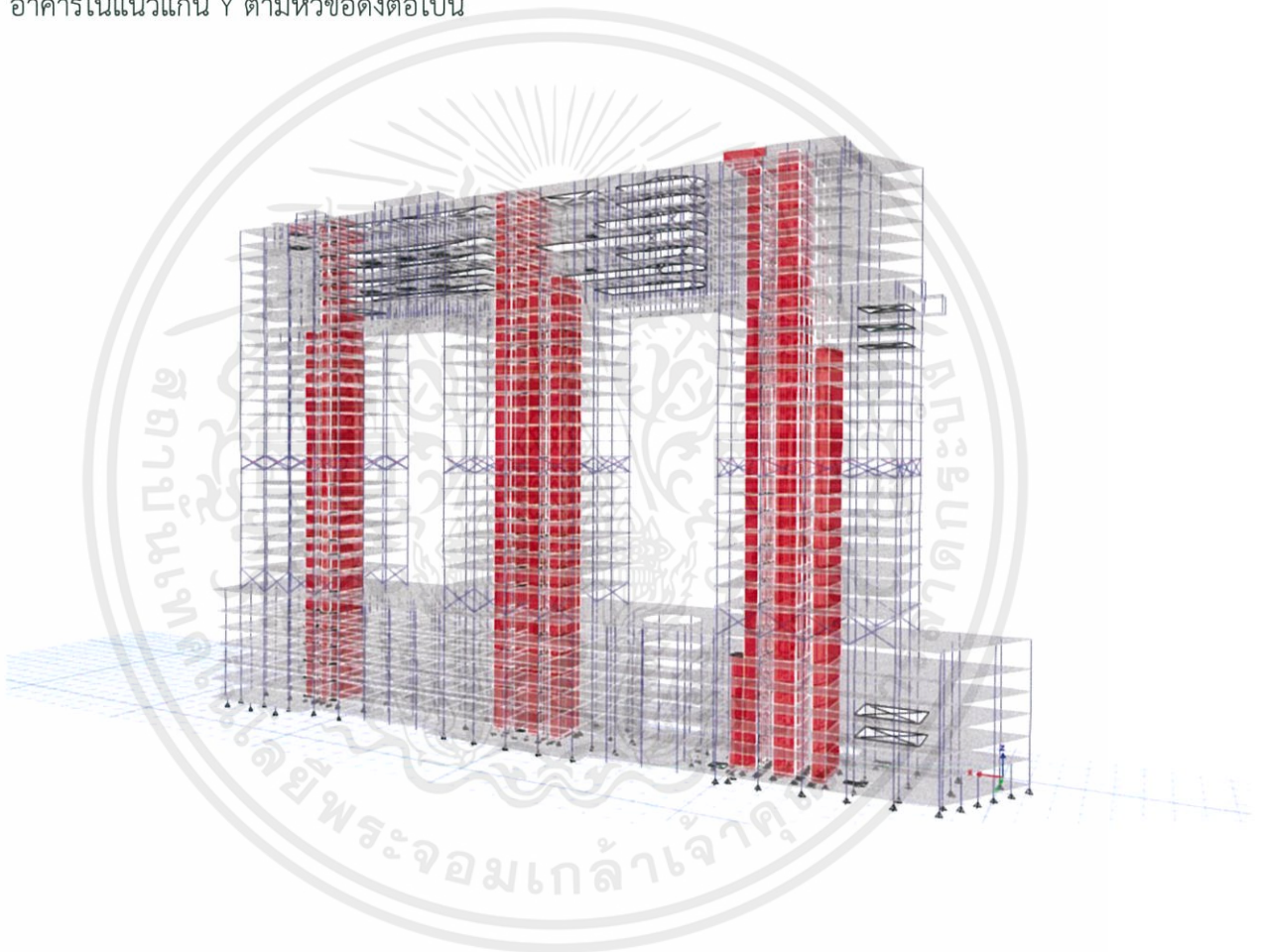
4.2.3.2. กรณีแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน Y



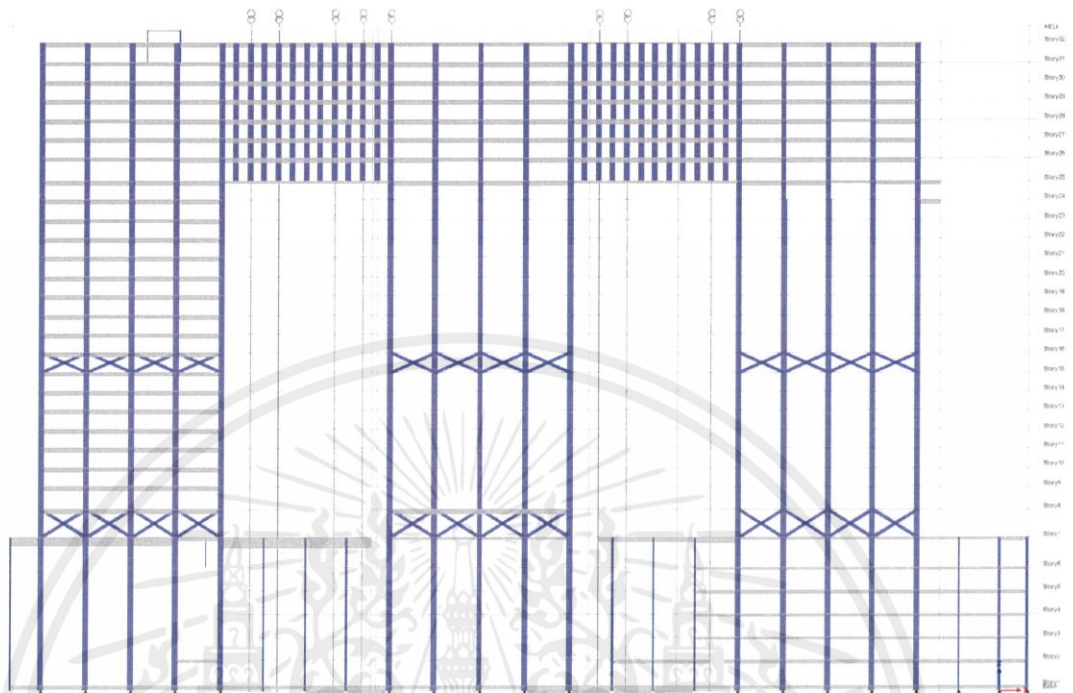
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น กรณีแรงแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน Y

4.2.4 โครงแกน (Bracing)

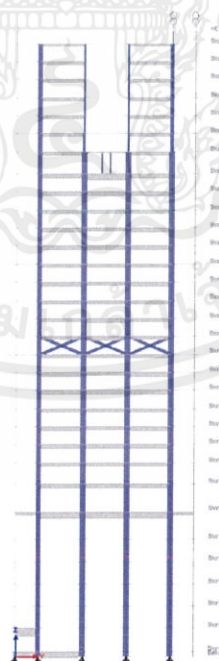
การเสริมกำลังโครงสร้างด้วยการเสริมโครงแกนเหล็ก โดยจะใช้เหล็ก wide flange ขนาด WF 500x300 (สามารถดูคุณสมบัติได้ที่ตาราง ง.3 ภาคผนวก ง) โดยจะเสริมเหล็ก wide flange ที่บริเวณระหว่างชั้นที่ 7-8 และระหว่างชั้นที่ 15-16 โดยทั้งสองชั้นจะทำการเสริมเหล็ก wide flange บริเวณภายนอกของตึกข้าง ดังรูปที่ 4.9 , 4.10 และ 4.11 โดยจะแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารเป็น 2 ทิศทางคือ แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารในแนวแกน X และ คือ แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารในแนวแกน Y ตามหัวข้อดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.9 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในห้องค้ำอาคาร



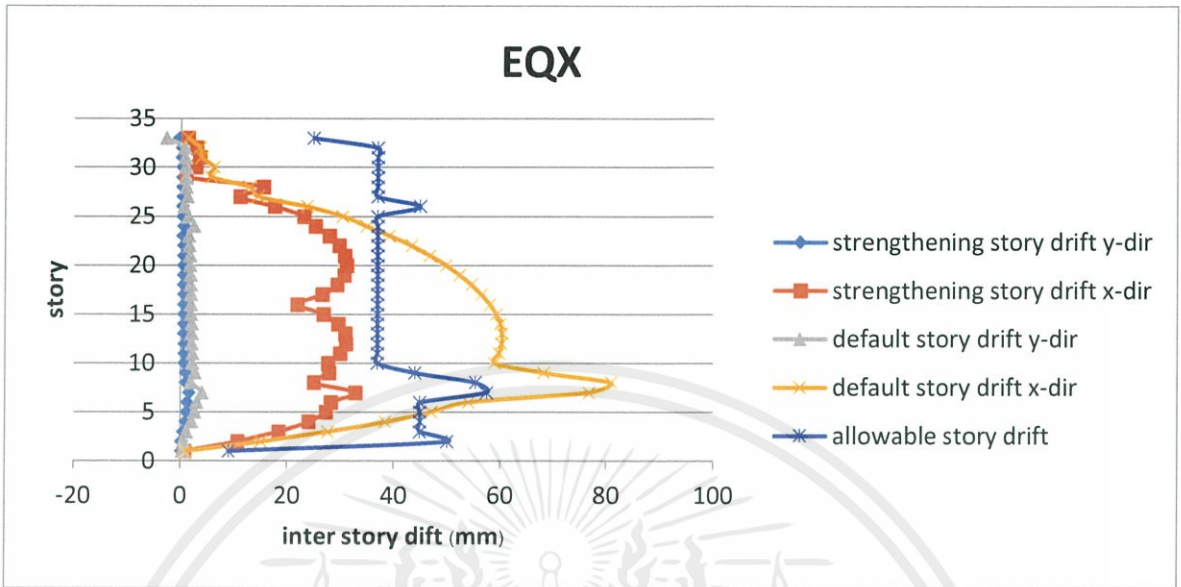
รูปที่ 4.10 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทิศทางแกน X



รูปที่ 4.11 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทิศทางแกน Y

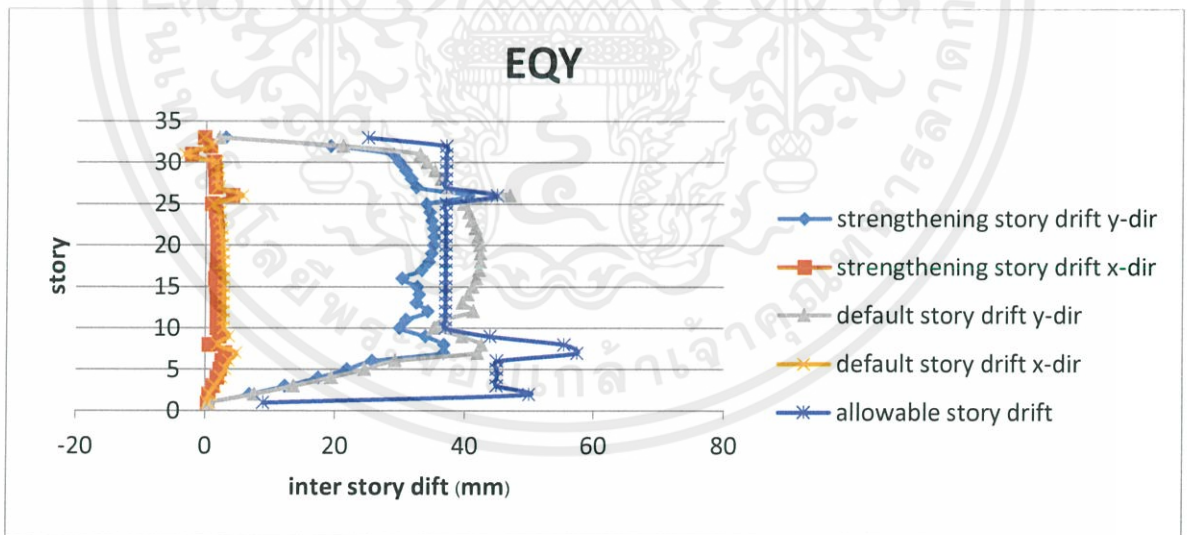
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4.1. กรณีแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน X



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น กรณีแรงแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน X

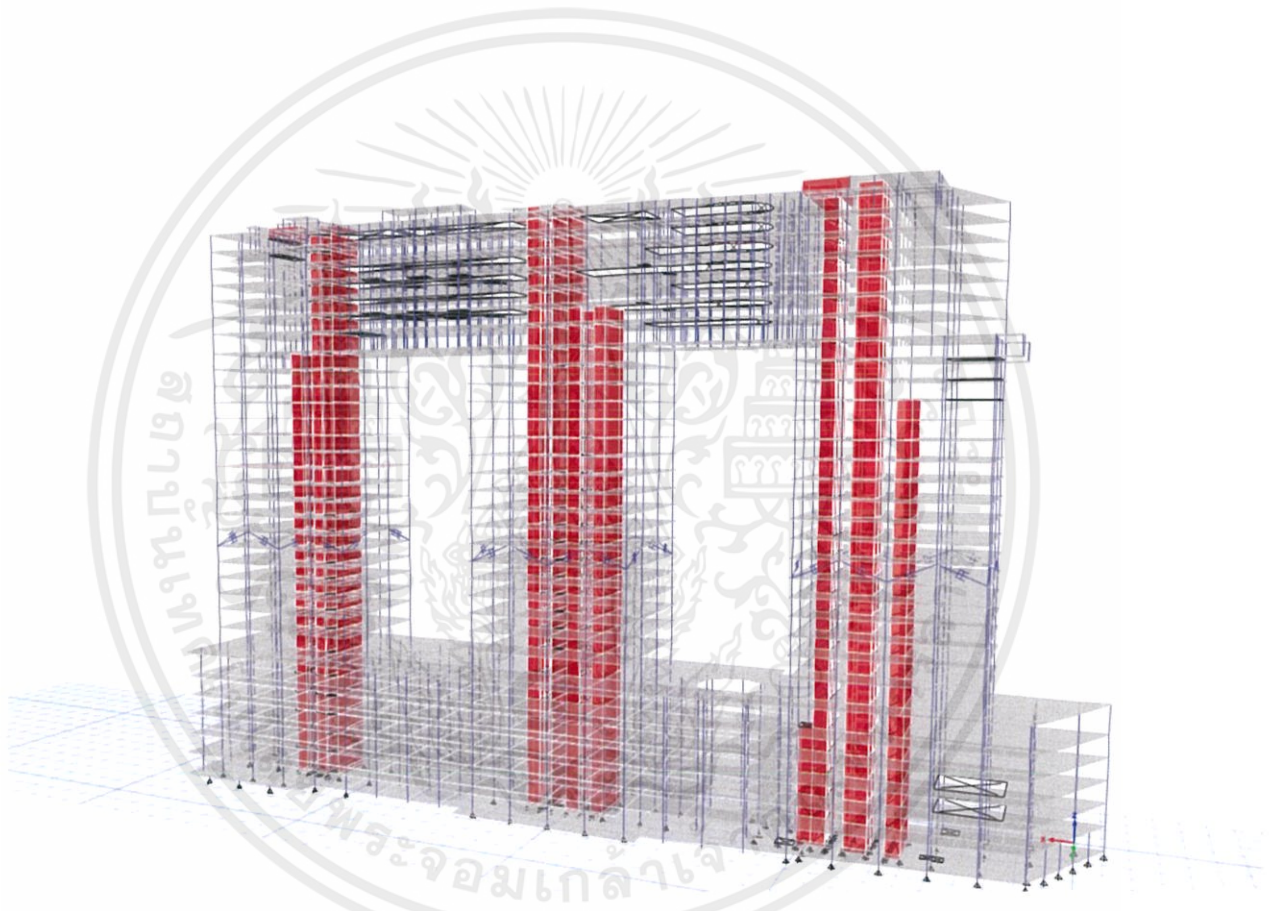
4.2.4.2. กรณีแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน Y



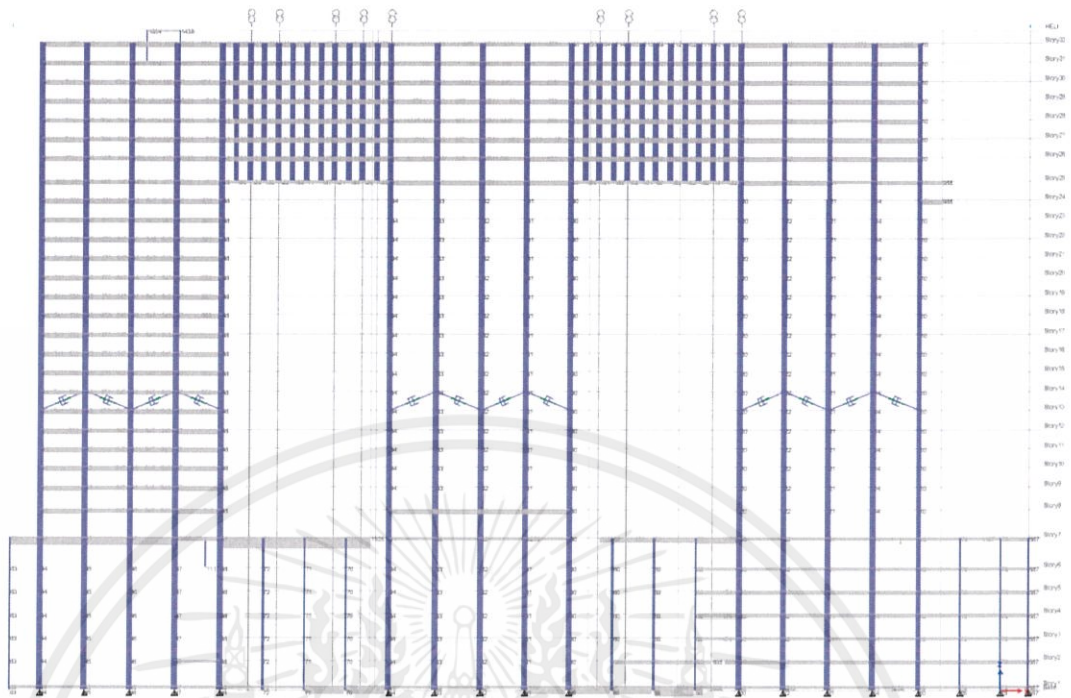
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น กรณีแรงแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน Y

4.2.5 อุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดของเหลว (Fluid viscous damper)

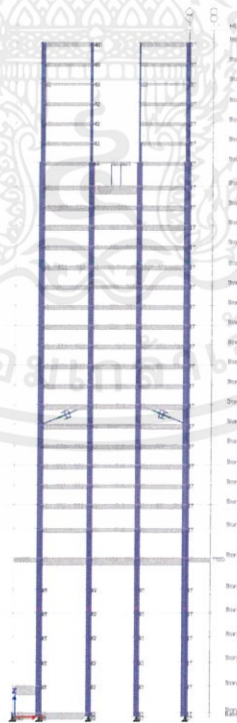
การเสริมกำลังโครงสร้างด้วยการเสริมอุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดของเหลว (Fluid viscous damper) โดยจะใช้อุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดของเหลว ขนาด 250 KN (สามารถดูคุณสมบัติได้ที่ตาราง ง-4 ภาคผนวก ง) โดยจะเสริมอุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดของเหลว ที่บริเวณระหว่างชั้นที่ 15-16 โดยทั้งสองชั้นจะทำการเสริมอุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดของเหลว บริเวณภายนอกของตึกข้าง ดังรูปที่ 4.14 , 4.15 และ 4.16 โดยจะแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารเป็น 2 ทิศทางคือ แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารในแนวแกน X และ คือ แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารในแนวแกน Y ตามหัวข้อดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.14 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทั้งองค์อาคาร



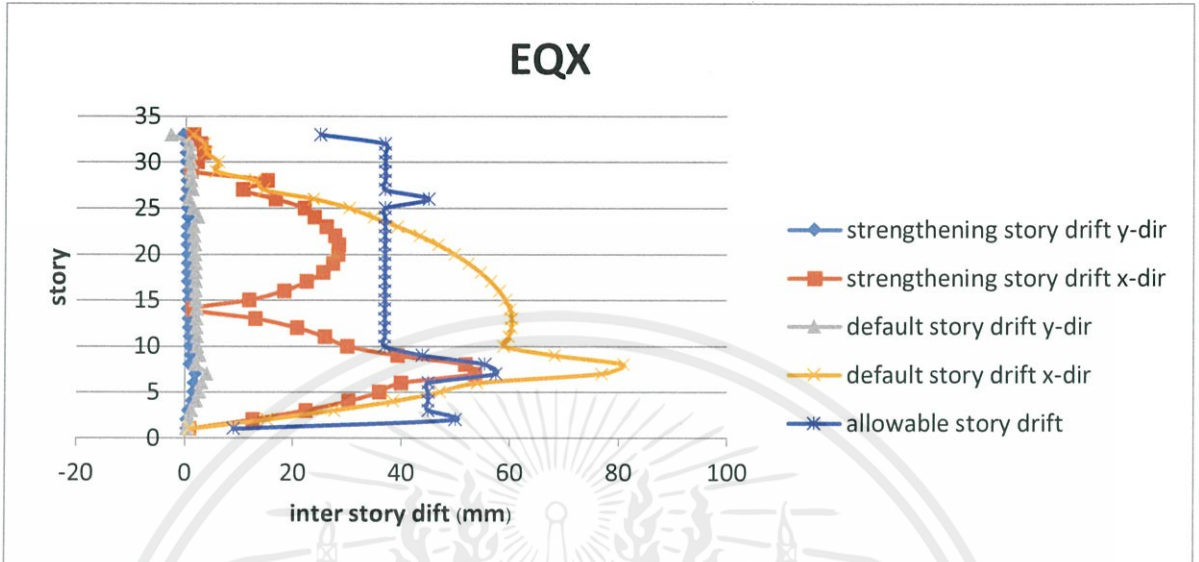
รูปที่ 4.15 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทิศทางแกน X



รูปที่ 4.16 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทิศทางแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

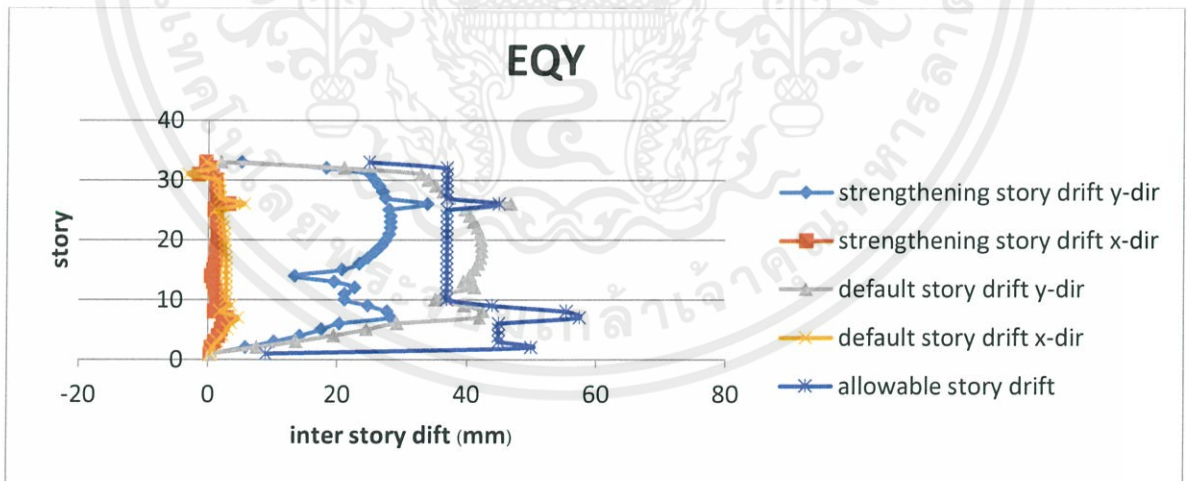
4.2.5.1. กรณีแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน X



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น กรณีแรงแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทาง

แกน X

4.2.5.2. กรณีแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน Y

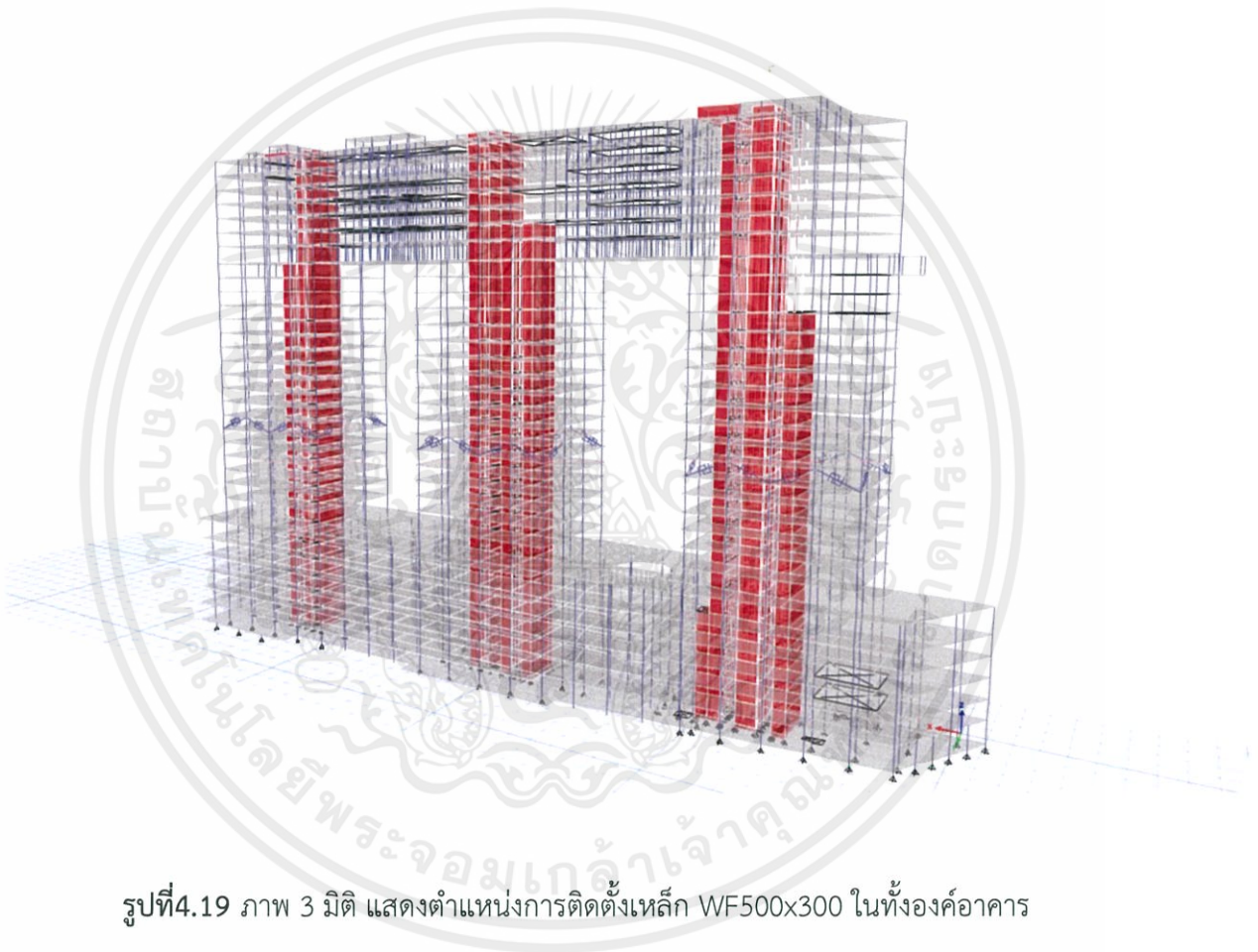


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น กรณีแรงแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทาง

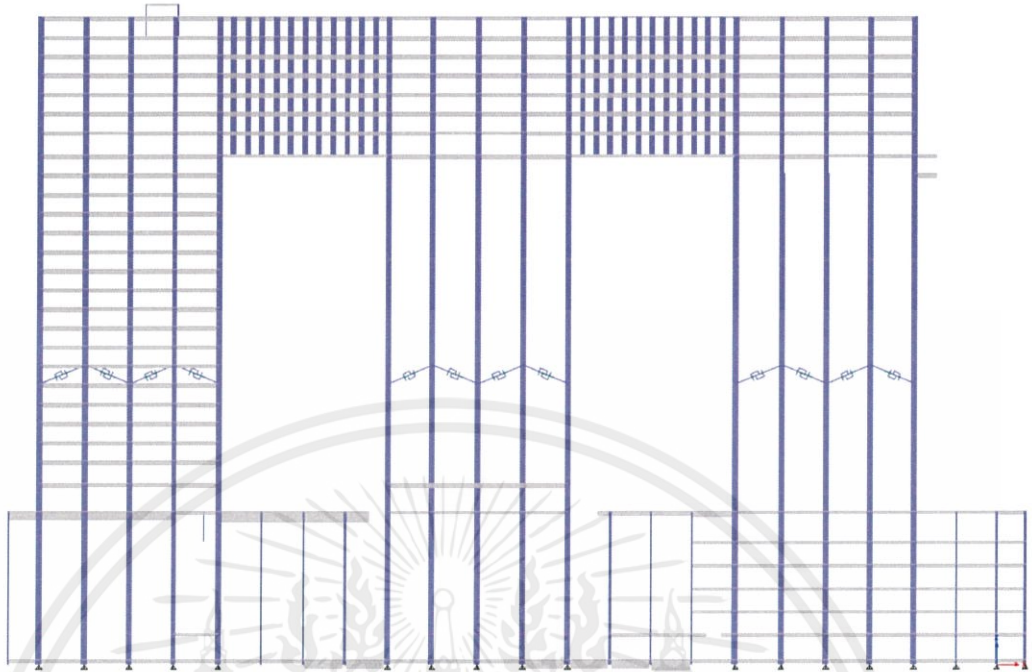
แกน Y

4.2.6. อุปกรณ์แบบยึดหยุ่นชนิดแข็ง (Friction damper)

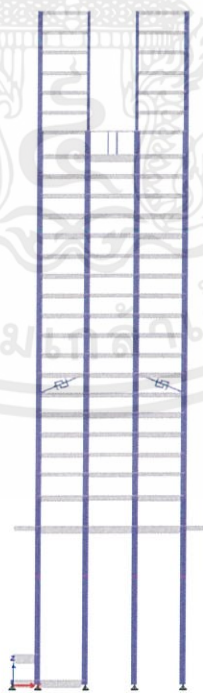
การเสริมกำลังโครงสร้างด้วยการเสริมอุปกรณ์แบบยึดหยุ่นชนิดแข็ง (Friction damper) โดยจะใช้อุปกรณ์แบบยึดหยุ่นชนิดแข็ง ขนาด 2.18 KN (สามารถดูดคุณสมบัติได้ที่ตาราง ง-5 ภาคผนวก ง) โดยจะเสริมอุปกรณ์แบบยึดหยุ่นชนิดแข็ง ที่บริเวณระหว่างชั้นที่ 15-16 โดยทั้งสองชั้นจะทำการเสริมอุปกรณ์แบบยึดหยุ่นชนิดของเหลว บริเวณภายนอกของตึกข้าง ดังรูปที่ 4.19 , 4.20 และ 4.21 โดยแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารเป็น 2 ทิศทางคือ แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารในแนวแกน X และคือ แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารในแนวแกน Y ตามหัวข้อดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.19 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทั้งองค์อาคาร



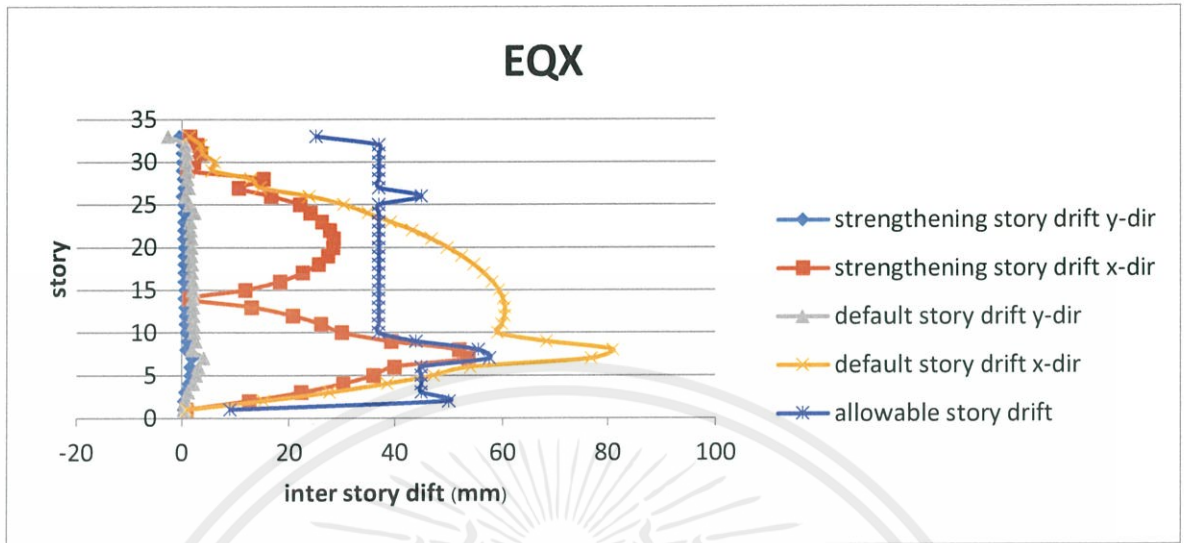
รูปที่ 4.20 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทิศทางแกน X



รูปที่ 4.21 ภาพ 3 มิติ แสดงตำแหน่งการติดตั้งเหล็ก WF500x300 ในทิศทางแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

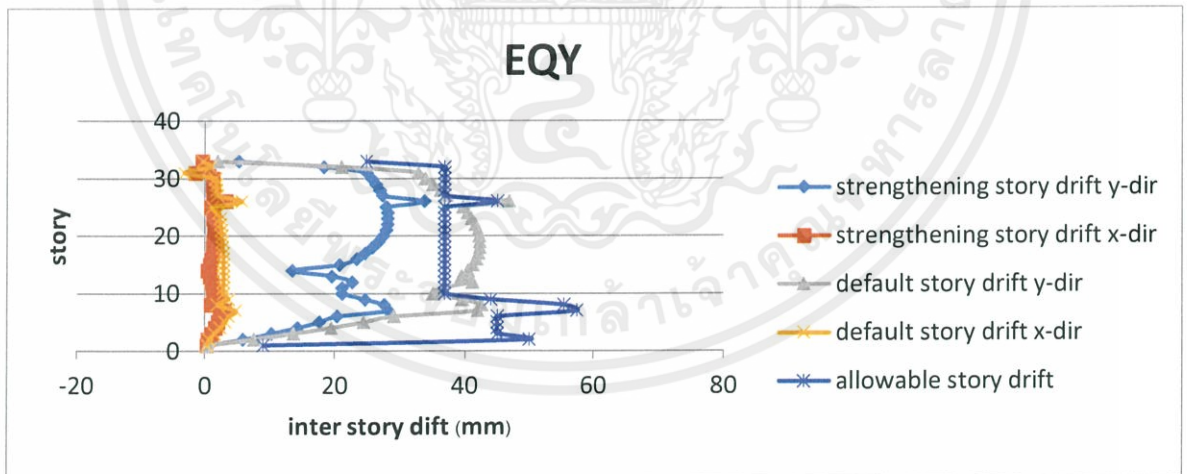
4.2.5.1. กรณีแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน X



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น กรณีแรงแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทาง

แกน X

4.2.5.2. กรณีแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทางแกน Y



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น กรณีแรงแผ่นดินไหวกระทำกับอาคารในทิศทาง

แกน Y

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยในบทที่ผ่านมาสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

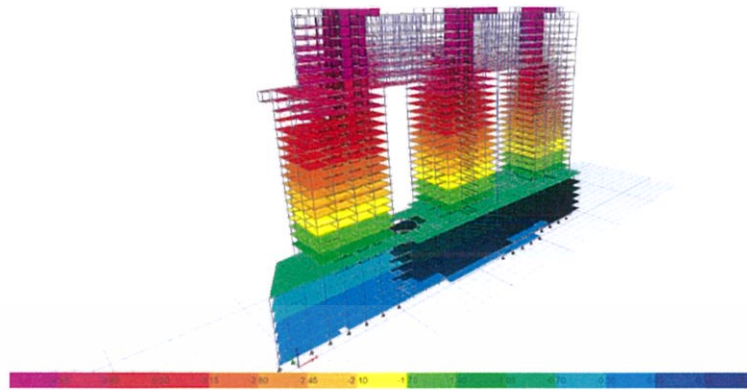
5.1.1) พฤติกรรมของโครงสร้างทั้งก่อนการเสริมกำลังและหลังการเสริมกำลังโดยจะแสดงค่าคาบของโครงสร้างจำนวน 12 โหมดดังนี้

5.1.1.1) ค่าของคาบโครงสร้างก่อนการเสริมกำลัง

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	Circular Frequency rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	7.105	0.141	0.8843	0.7821
Modal	2	5.118	0.195	1.2276	1.5071
Modal	3	4.757	0.21	1.321	1.7449
Modal	4	1.649	0.607	3.8108	14.5224
Modal	5	1.126	0.888	5.5788	31.1227
Modal	6	1.033	0.968	6.0824	36.9955
Modal	7	0.784	1.275	8.012	64.1917
Modal	8	0.525	1.905	11.972	143.3295
Modal	9	0.51	1.96	12.3172	151.7137
Modal	10	0.482	2.075	13.0386	170.0064
Modal	11	0.474	2.112	13.2675	176.0266
Modal	12	0.336	2.98	18.7239	350.5844

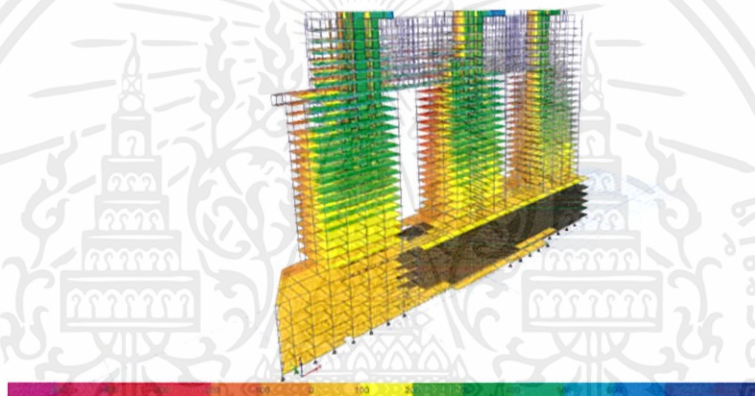
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างก่อนการเสริมกำลัง

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าของคาบในโหมดพื้นฐานมีค่าเท่ากับ 7.105 วินาที



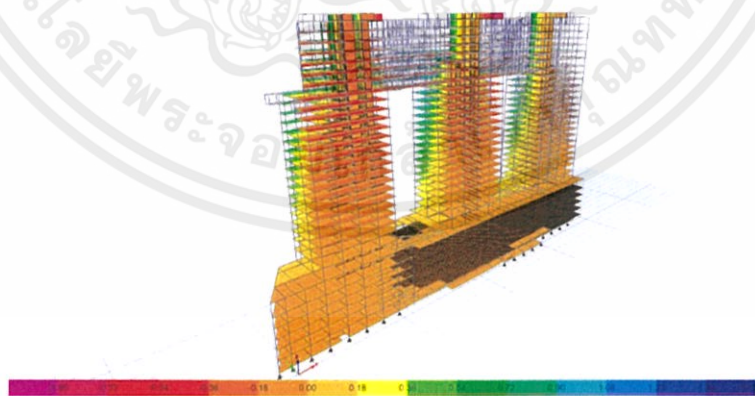
Mode 1

T=7.105 Sec



Mode 2

T=5.118 Sec



Mode 3

T=4.757 Sec

รูปที่ 5.1 แสดงภาพ 3 มิติของโครงสร้างใน Mode Shape ที่ 1-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.2) ค่าของคาบโครงสร้างหลังการเสริมกำลังด้วยวิธีดังต่อไปนี้

1) การเสริมกำลังด้วยวิธีการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต (Concrete Jacketing)

TABLE: Modal Periods and Frequencies						
Case	Mode	Period	Frequency	Circular Frequency	Eigenvalue	
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²	
Modal	1	6.202	0.161	1.0131	1.0263	
Modal	2	3.841	0.26	1.6359	2.6761	
Modal	3	3.49	0.286	1.8001	3.2403	
Modal	4	1.359	0.736	4.6237	21.3782	
Modal	5	0.768	1.303	8.1843	66.9828	
Modal	6	0.718	1.392	8.7458	76.4894	
Modal	7	0.623	1.605	10.0841	101.6887	
Modal	8	0.51	1.96	12.3172	151.7126	
Modal	9	0.376	2.658	16.6994	278.8694	
Modal	10	0.341	2.934	18.4358	339.8798	
Modal	11	0.311	3.215	20.201	408.0823	
Modal	12	0.25	4.001	25.1384	631.9391	

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างหลังการเสริมกำลังด้วยวิธีการพอกคอนกรีต

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าของคาบในโหมดพื้นฐานมีค่าเท่ากับ 6.202 วินาที

2) การเสริมกำลังด้วยวิธีการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก (Steel Plate Jacketing)

TABLE: Modal Periods and Frequencies						
Case	Mode	Period	Frequency	Circular Frequency	Eigenvalue	
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²	
Modal	1	6.202	0.161	1.0131	1.0263	
Modal	2	3.841	0.26	1.6359	2.6761	
Modal	3	3.49	0.286	1.8001	3.2403	
Modal	4	1.359	0.736	4.6237	21.3782	
Modal	5	0.768	1.303	8.1843	66.9828	
Modal	6	0.718	1.392	8.7458	76.4894	
Modal	7	0.623	1.605	10.0841	101.6887	
Modal	8	0.51	1.96	12.3172	151.7126	
Modal	9	0.376	2.658	16.6994	278.8694	
Modal	10	0.341	2.934	18.4358	339.8798	
Modal	11	0.311	3.215	20.201	408.0823	
Modal	12	0.25	4.001	25.1384	631.9391	

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างหลังการเสริมกำลังด้วยวิธีการพอกคอนกรีต

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าของคาบในโหมดพื้นฐานมีค่าเท่ากับ 6.202 วินาที

3) การเสริมกำลังด้วยวิธีการพอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (Polymer Jacketing)

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	Circular Frequency rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	6.194	0.161	1.0144	1.029
Modal	2	3.829	0.261	1.641	2.693
Modal	3	3.479	0.287	1.8058	3.261
Modal	4	1.356	0.737	4.6326	21.4612
Modal	5	0.765	1.308	8.217	67.5191
Modal	6	0.716	1.397	8.7766	77.0286
Modal	7	0.622	1.609	10.1086	102.1846
Modal	8	0.51	1.96	12.3172	151.7126
Modal	9	0.375	2.666	16.7484	280.5077
Modal	10	0.339	2.947	18.5171	342.8845
Modal	11	0.31	3.229	20.2854	411.4987
Modal	12	0.249	4.015	25.2275	636.4267

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างหลังการเสริมกำลังด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าของคาบในโหมดพื้นฐานมีค่าเท่ากับ 6.194 วินาที

4) การเสริมกำลังด้วยวิธีการเสริมกำลังโครงสร้างด้วยโครงแกนแนง (Bracing)

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	Circular Frequency rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	5.04	0.198	1.2467	1.5543
Modal	2	4.697	0.213	1.3377	1.7893
Modal	3	4.261	0.235	1.4747	2.1748
Modal	4	1.464	0.683	4.2924	18.4247
Modal	5	1.09	0.918	5.7648	33.2334
Modal	6	1.004	0.996	6.2564	39.143
Modal	7	0.741	1.349	8.4786	71.8861
Modal	8	0.51	1.96	12.3165	151.6959
Modal	9	0.496	2.015	12.6613	160.3093
Modal	10	0.456	2.191	13.7673	189.5372
Modal	11	0.451	2.215	13.9176	193.7008
Modal	12	0.305	3.28	20.6099	424.7674

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างหลังการเสริมกำลังด้วยโครงแกนแนง จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าของคาบในโหมดพื้นฐานมีค่าเท่ากับ 5.04 วินาที

5) การเสริมกำลังด้วยวิธีการพอกโครงสร้างด้วยอุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดของเหลว (Fluid viscous damper)

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	Circular Frequency rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	5.105	0.196	1.2308	1.5149
Modal	2	4.118	0.243	1.5258	2.3279
Modal	3	3.616	0.277	1.7377	3.0196
Modal	4	1.58	0.633	3.9764	15.812
Modal	5	1.089	0.918	5.7703	33.2967
Modal	6	0.999	1.001	6.2892	39.5544
Modal	7	0.641	1.559	9.7958	95.9586
Modal	8	0.51	1.96	12.3168	151.7029
Modal	9	0.48	2.084	13.0928	171.421
Modal	10	0.471	2.125	13.3514	178.2601
Modal	11	0.436	2.295	14.4177	207.8694
Modal	12	0.302	3.309	20.7932	432.3588

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างหลังการเสริมกำลังด้วยอุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดของเหลว

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าของคาบในโหมดพื้นฐานมีค่าเท่ากับ 5.105 วินาที

5) การเสริมกำลังด้วยวิธีการพอกโครงสร้างด้วยอุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดแข็ง (Friction damper)

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	Circular Frequency rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	5.105	0.196	1.2308	1.5148
Modal	2	4.118	0.243	1.5257	2.3279
Modal	3	3.616	0.277	1.7377	3.0195
Modal	4	1.58	0.633	3.9761	15.8097
Modal	5	1.089	0.918	5.7699	33.2918
Modal	6	0.999	1.001	6.2888	39.5491
Modal	7	0.641	1.559	9.7958	95.9581
Modal	8	0.51	1.96	12.3168	151.7029
Modal	9	0.48	2.084	13.092	171.4017
Modal	10	0.471	2.125	13.3513	178.2564
Modal	11	0.436	2.295	14.4175	207.8654
Modal	12	0.302	3.309	20.7929	432.3446

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าคาบของโครงสร้างตึกข้างหลังการเสริมกำลังด้วยอุปกรณ์แบบยืดหยุ่นชนิดของเหลว

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าของคาบในโหมดพื้นฐานมีค่าเท่ากับ 5.105 วินาที

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเสริมกำลังแบบอุปกรณ์ตัวห้วงและโครงแกนช่วยลดค่าของคาบโครงสร้างมากกว่าการเสริมกำลังแบบการพอกโครงสร้าง

5.1.2) การเปรียบเทียบวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารที่ศึกษา โดยบอกข้อดี ข้อเสียของแต่ละวิธี

5.1.1. ด้านสถาปัตยกรรม

ในด้านสถาปัตยกรรมวิธีที่เหมาะสมที่สุดคือ การเสริมกำลังด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (Polymer Jacketing) บริเวณกำแพงรับแรงเฉือนตลอดแนวความสูง เนื่องจากเป็นการเสริมภายในตัวอาคารทำให้ไม่บดบังทัศนียภาพภายนอก อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบากว่า การเสริมกำลังด้วยการพอกคอนกรีต (Concrete Jacketing) และ การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก (Steel Plate Jacketing) ซึ่งทั้งสองวิธีที่กล่าวมาเป็นการเสริมภายในอาคารเหมือนกันแต่เนื่องจากมีน้ำหนักของวัสดุมาก ดังนั้นอาจทำให้โครงสร้างของตึกข้างนั้นรับภาระน้ำหนักมากขึ้น ทำให้การเสริมกำลังด้วย โพลีเมอร์เสริมเส้นใย (Polymer Jacketing)

5.1.2. ด้านราคา

ในด้านของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเสริมกำลัง วิธีการใช้โครงแกนให้ราคาต่ำที่สุด กว่าวิธีอื่น ๆ

5.2. ข้อเสนอแนะ

1. วิธีการเสริมกำลังที่เหมาะสมดังที่กล่าวมาข้างต้นใช้สำหรับตึกข้างเท่านั้น ไม่สามารถนำไปอ้างอิงสำหรับการเสริมกำลังอาคารอื่น ๆ ได้เนื่องจากพฤติกรรมโครงสร้างของแต่ละอาคารมีความแตกต่างกัน

2. ราคาของวัสดุที่ใช้ในการเสริมกำลังอาจมีราคาแตกต่างกันไปตามผู้ผลิต และเวลา ดังนั้นก่อนทำการเสริมกำลังโครงสร้างควรตรวจสอบราคาของวัสดุ ณ ช่วงเวลานั้นเพื่อความถูกต้องในด้านของราคาคำนวนค่าใช้จ่าย

3. ปริมาณนิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้าง เนื่องจากการเสริมกำลังด้วยวิธีข้างต้น เท่านั้น มิได้รวมถึงรายละเอียดการออกแบบจุดต่อ การเชื่อมประสานระหว่างวัสดุ รายละเอียด

เหล็กเสริม และ ขั้นตอนการติดตั้ง ดังนั้นควรศึกษามาตรฐานการติดตั้งวัสดุที่ใช้ในการเสริมกำลังจาก กรมโยธาธิการ (มยผ.) หรือข้อมูลจากผู้ผลิตประกอบควบคู่กับ พฤติกรรมโครงสร้างจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

4.การแปลงหน้าตัดสำหรับวัสดุที่นำมาเสริมกำลังแปลงเฉพาะความหนาเท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

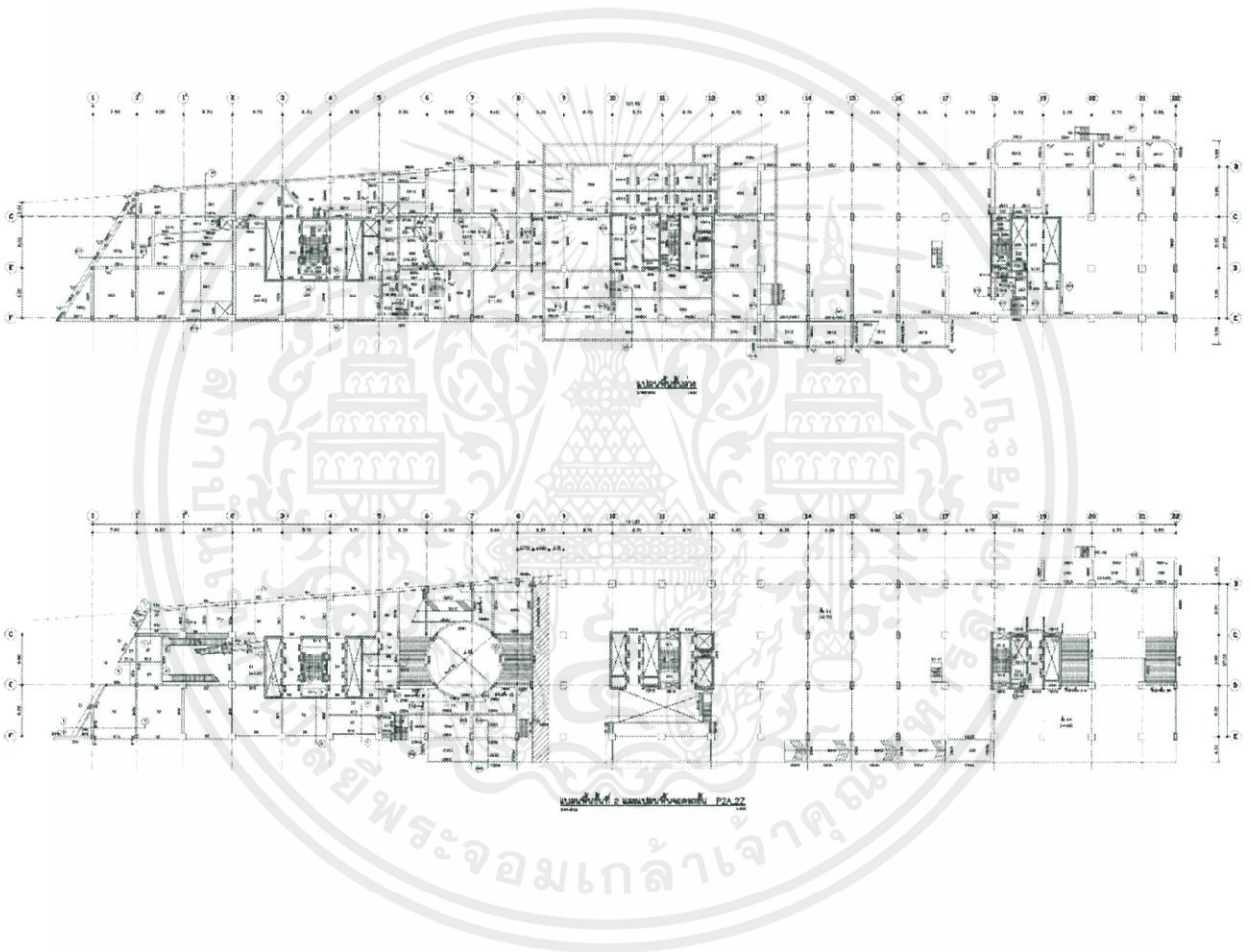
- [1] สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง. คู่มือการปฏิบัติประกอบมาตรฐานการประเมิน และการเสริมความมั่นคง แข็งแรงของโครงสร้างอาคาร ในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือน ของแผ่นดินไหว. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : บริษัท สหมิตรพรินต์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด, 2557
- [2] สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง. มยผ. 1302-52 มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท ดิจิตอล ออฟเซต เอเชีย แปซิฟิค จำกัด , 2552
- [3] สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย. “การเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว.” [Online].
เข้าถึงได้จาก : <http://www.thaiseismic.com/>
- [4] กรมโยธาธิการและผังเมือง. “มยผ.1301-54” [Online].
เข้าถึงได้จาก : http://subsites.dpt.go.th/edocument/images/pdf/sd_work/1301_54.pdf
- [5] บ.เอ็มอีเมเนจเม้นท์ จำกัด. “ขนาดเหล็กในท้องตลาด.” [Online].
เข้าถึงได้จาก : <http://www.me-metalsheet.com/index.php?page=home&language=th>
- [6] บ.สมาร์ทแอนดีโบริท จำกัด “CFRP” [Online].
เข้าถึงได้จาก : <http://www.smartcoating.com/>
- [7] บ.วีซีเอสเอเชีย จำกัด “เหล็ก wide flange” [Online].
เข้าถึงได้จาก : <http://www.vcsalltools.com/>
- [8] Dharmesh/Chandnani ,Riddhi/Joshi ,Kumarpal/Trivedi.//(2016).// Characteristics & Applications of Different Types of Dampers as Seismic Energy Disipater.// New Vallabh Vidyanagar , Gujarat , India:/A D Patel Institute of Technology.//
- [9] THARNTUSANA/ANANTARIYAKUL , THANAPOOM/SANGKHASILPIN, PHICHACHET /PHANPHOMMA.//(2017).//THE STUDY AND COMPARISION OF STRENGTHENING EARTHQUAKE RESISTANT HIGH RISE .// BANGKOK ,THAILAND :/ KING MONGKUT’S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
- [10] Miguel/Augusto , DIAZ/FIGUEROA , Taiki/Saito.//(2009).//Response Control by Damper Devices of High-Rise Building under Long-Period Ground Motion

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

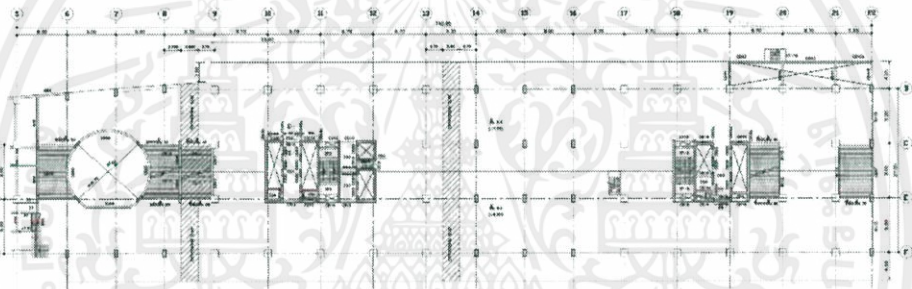
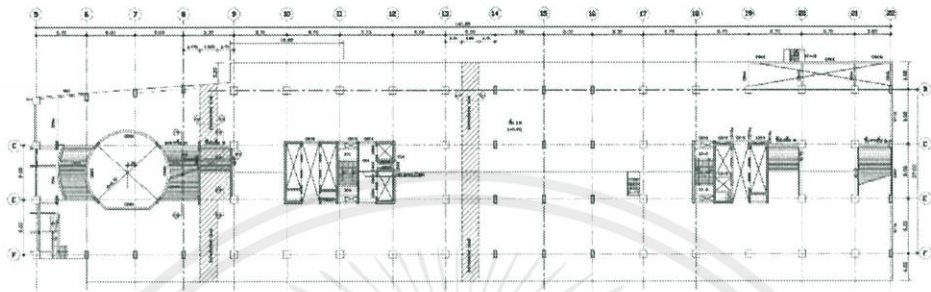
หน้าตัดตึกข้าง

รูปหน้าตัดของตึกข้าง



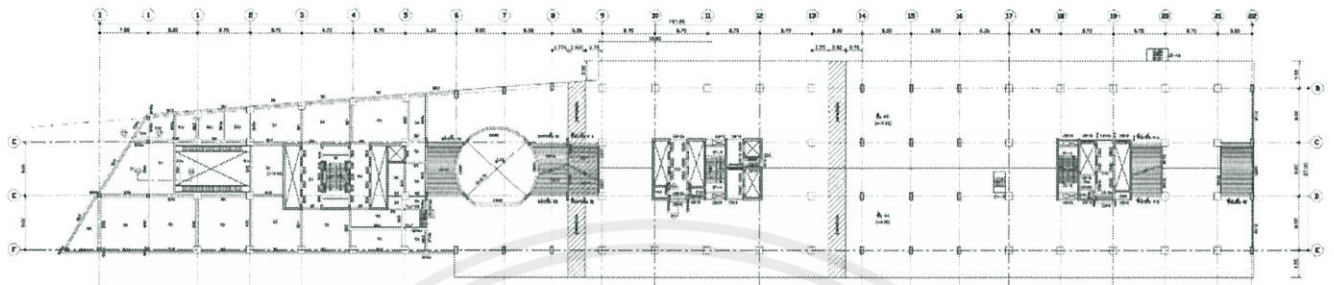
รูปที่ ก-1 ACS P1-2-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

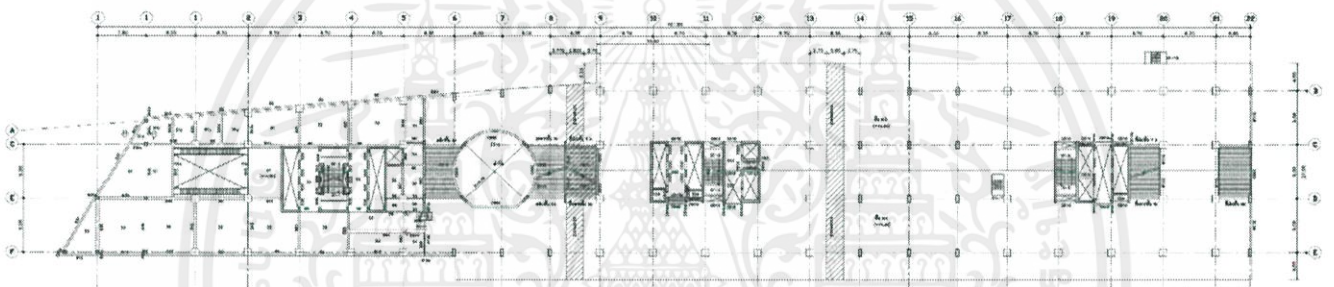


รูปที่ ก-2 ACS P2B-3B-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



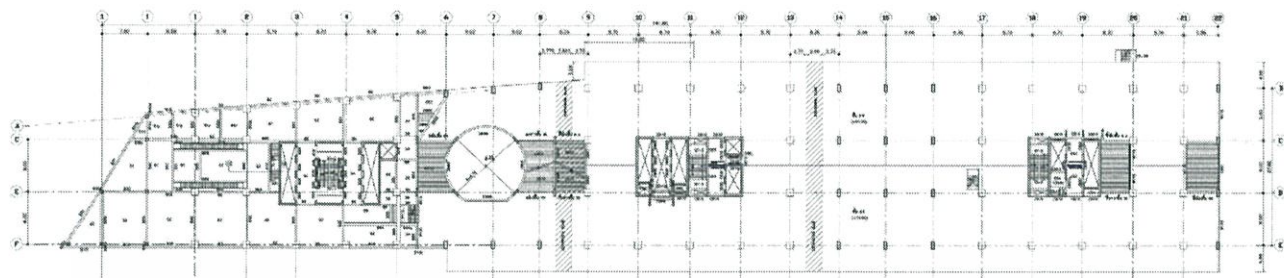
แบบแปลนที่ 3 แบบแปลน ACS P3-4-Model



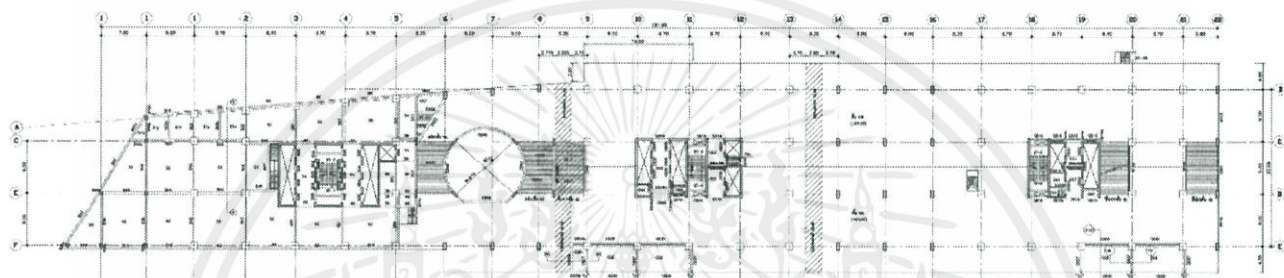
แบบแปลนที่ 4 แบบแปลน ACS P3-4-Model

รูปที่ ก-3 ACS P3-4-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



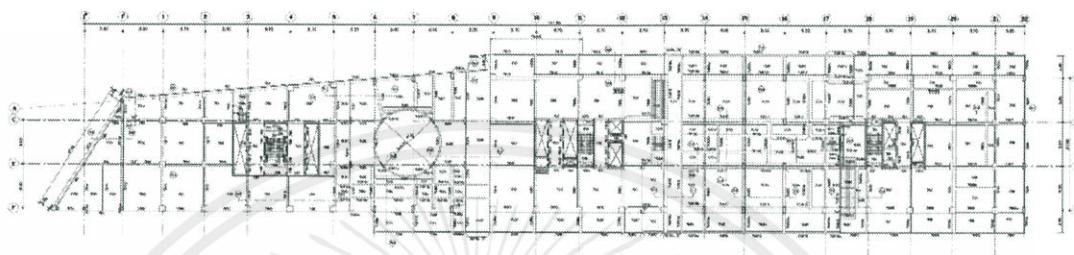
รูปที่ ก-4 ACS P5-6-Model



รูปที่ ก-4 ACS P5-6-Model

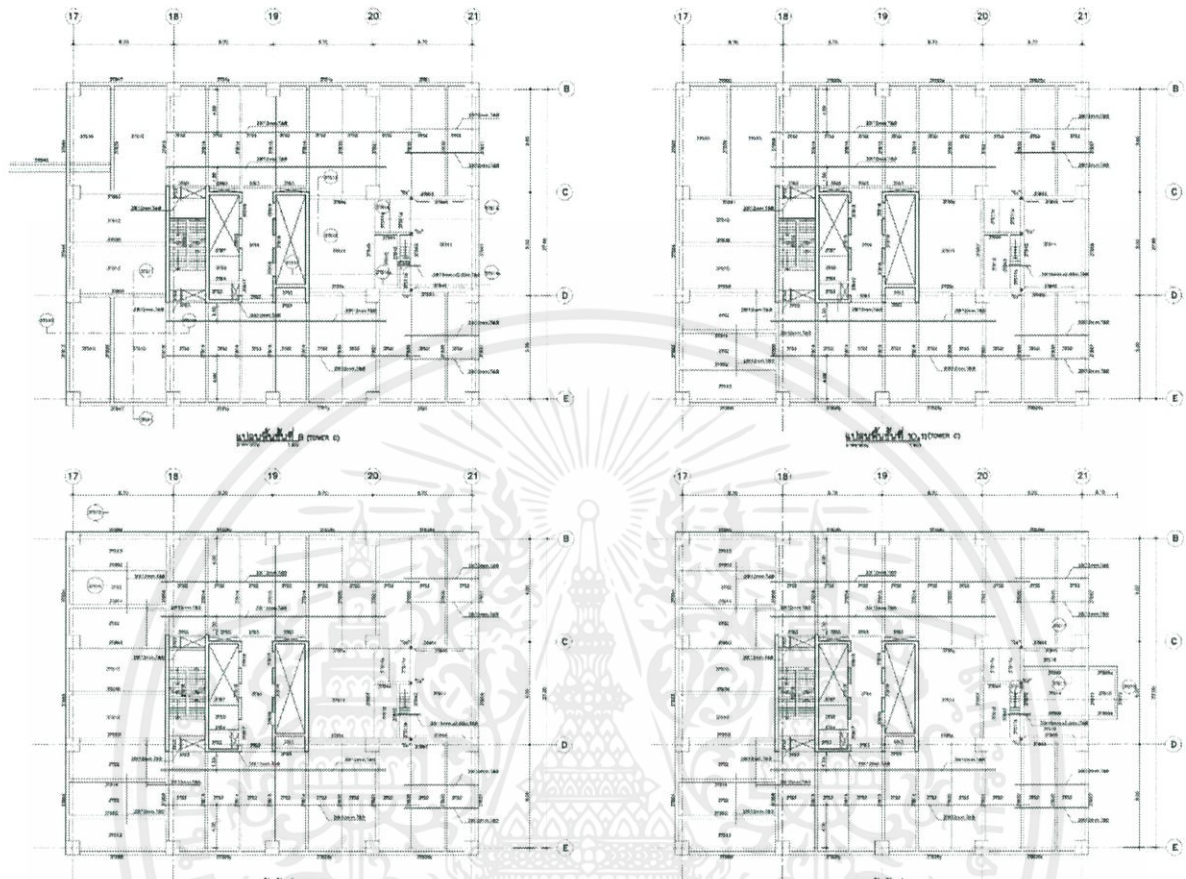
รูปที่ ก-4 ACS P5-6-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



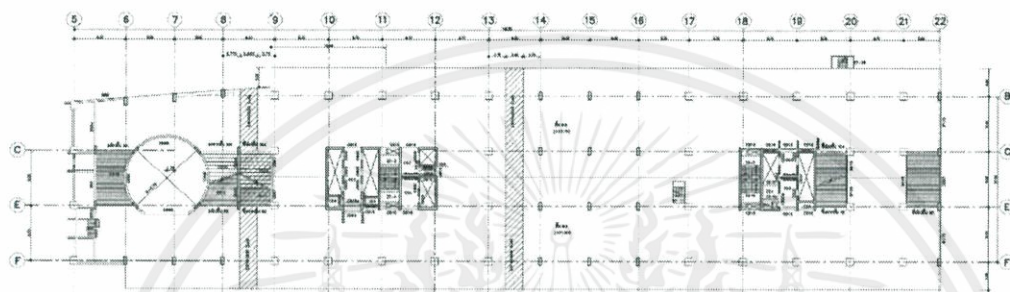
รูปที่ ก-5 ACS P7-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



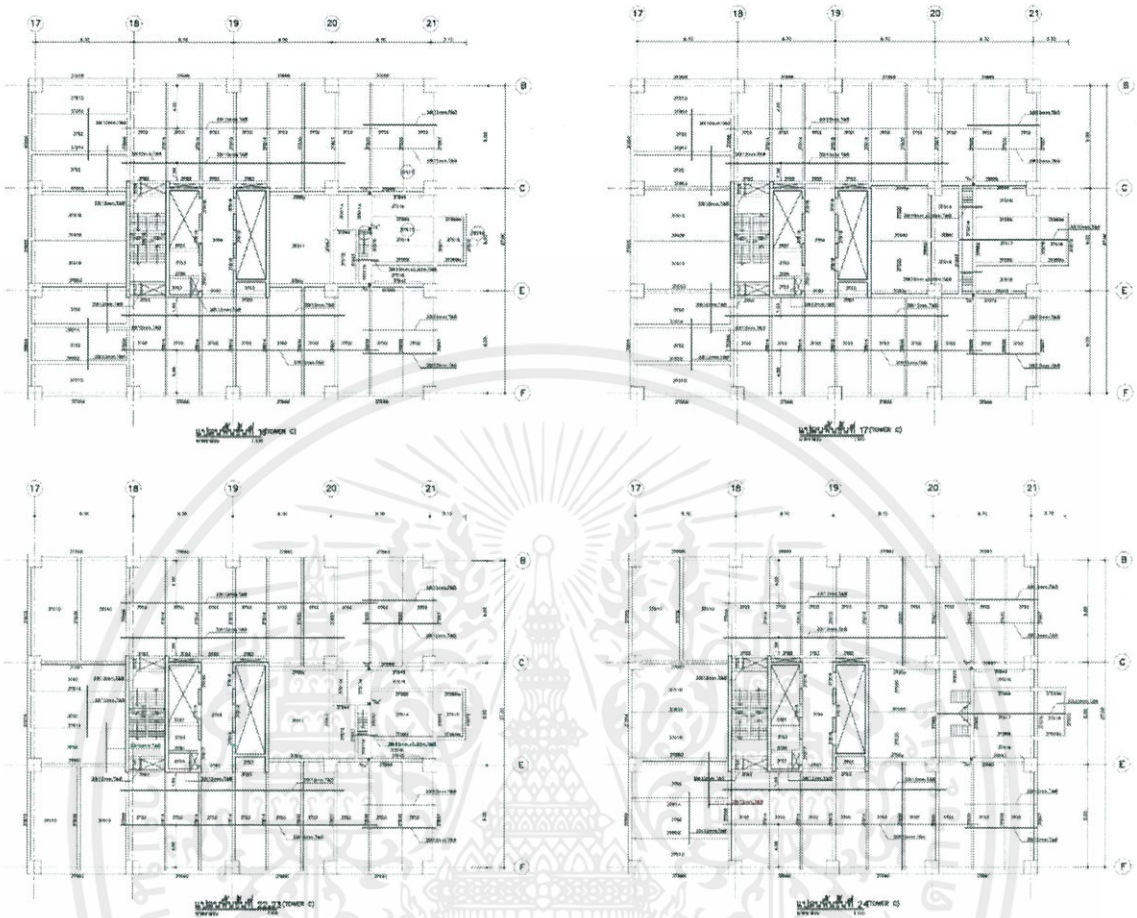
รูปที่ ก-6 ACS P8-12-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



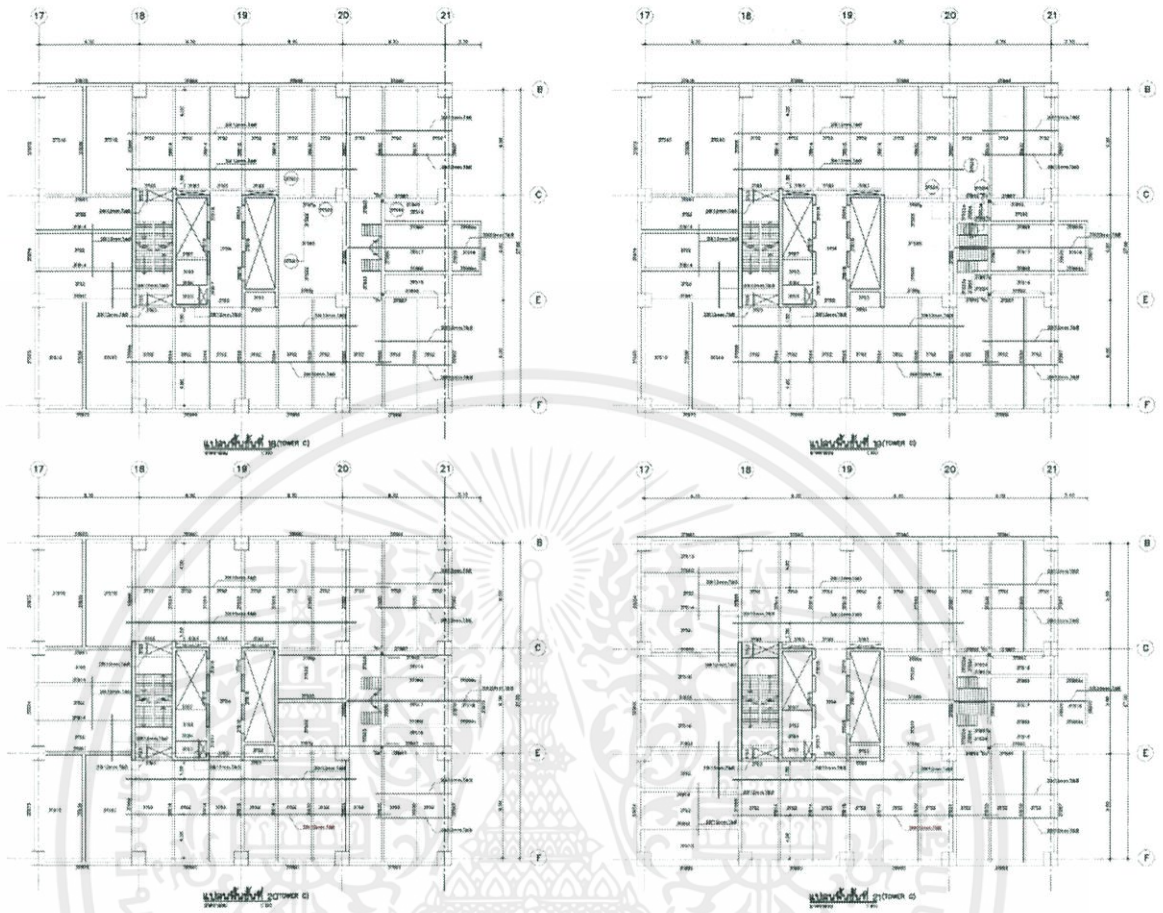
รูปที่ ก-7 ACS P9B-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



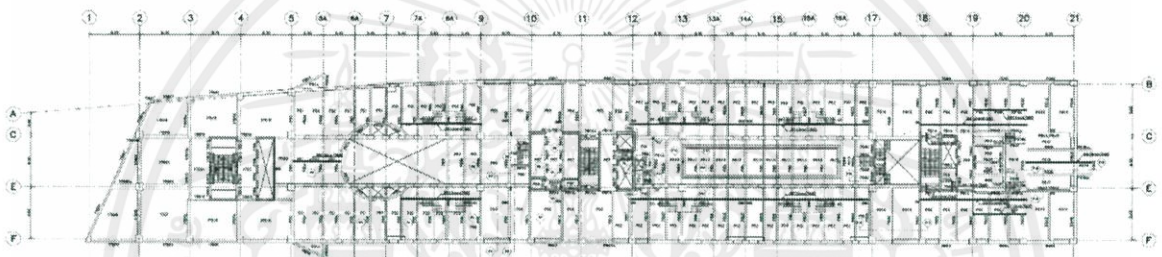
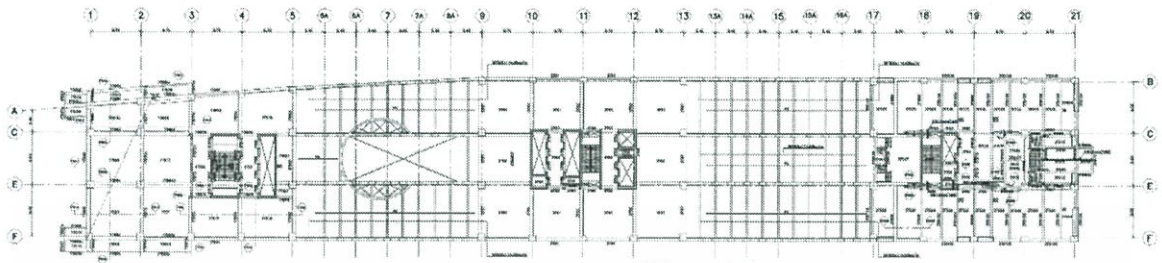
รูปที่ ก-8 ACS P16-24-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



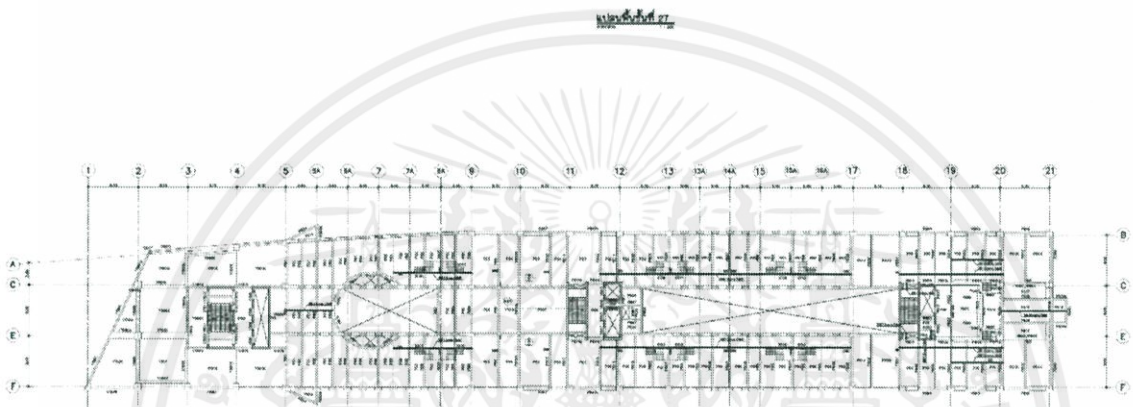
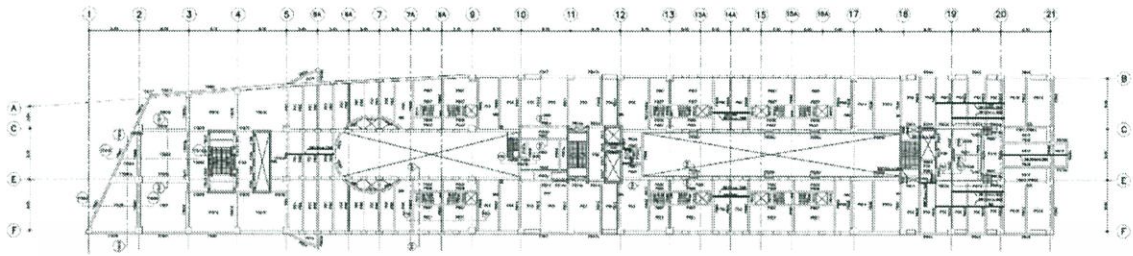
รูปที่ ก-9 ACS P18-21-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



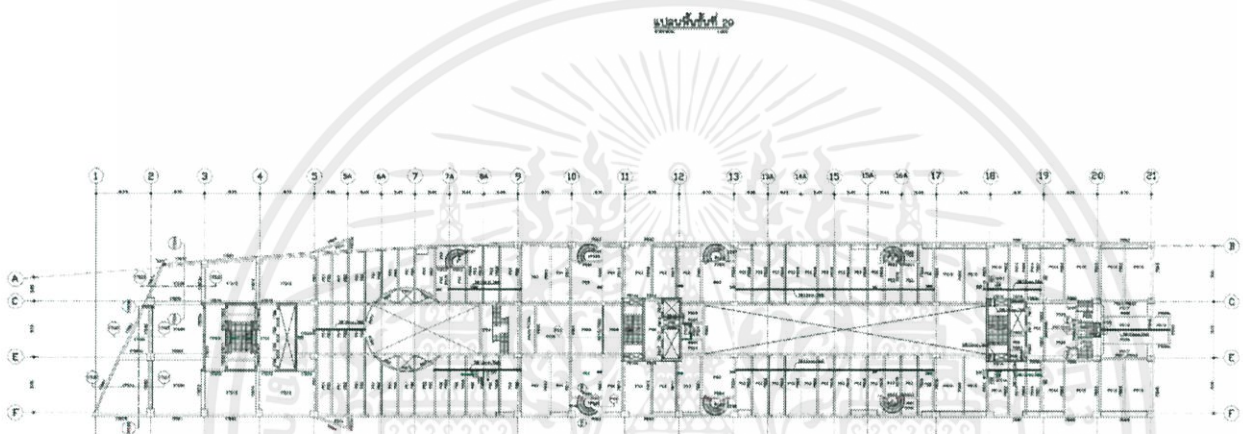
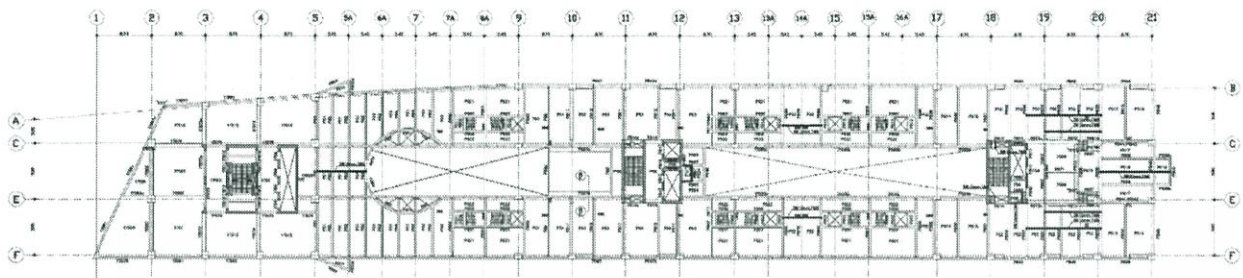
รูปที่ ก-10 ACS P25-26-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



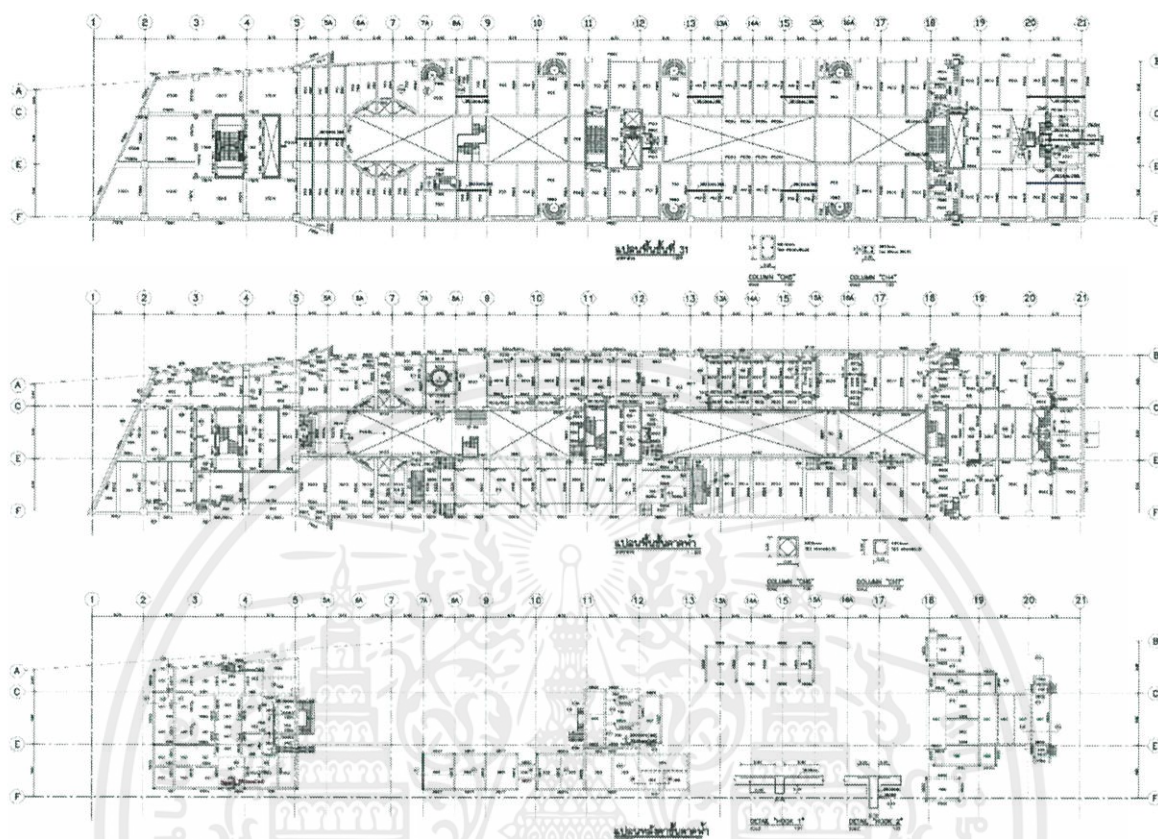
รูปที่ ก-11 ACS P27-28-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



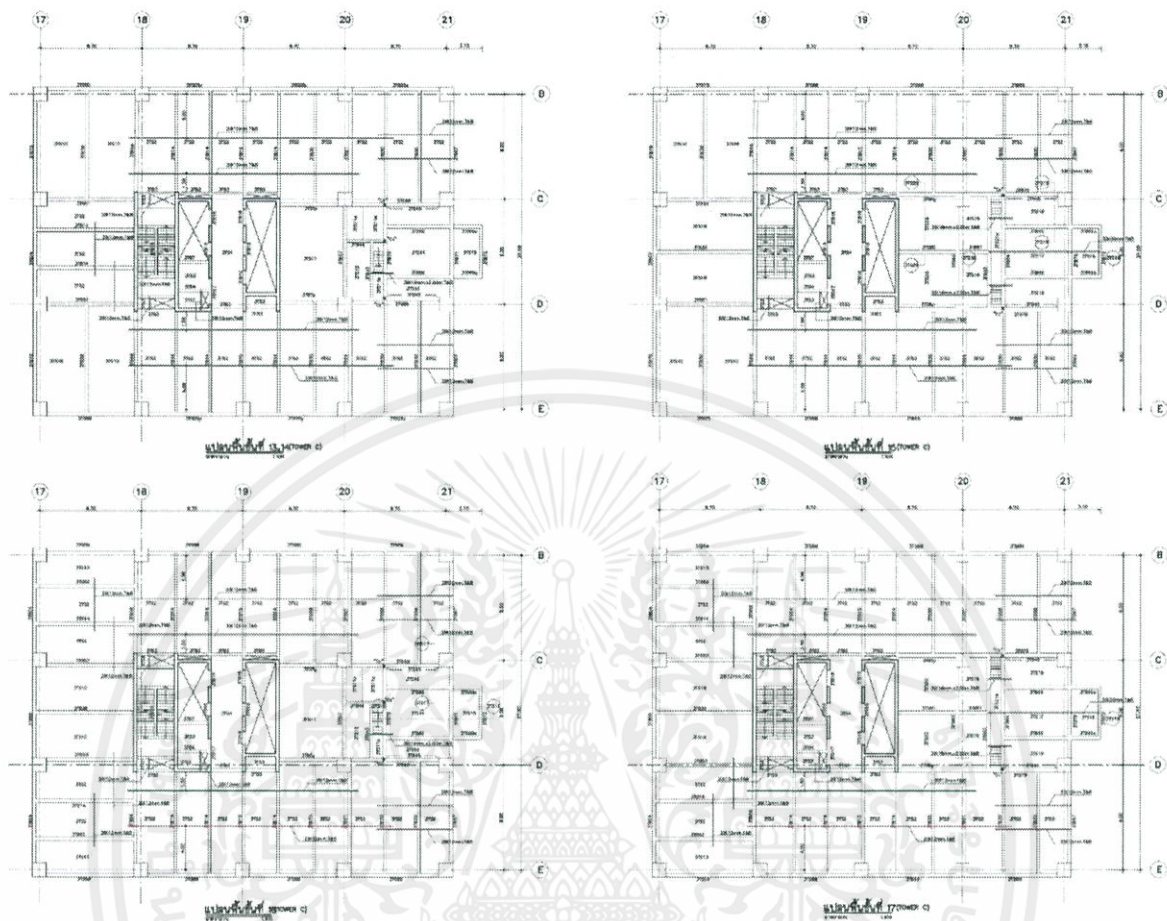
รูปที่ ก-12 ACS P29-30-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



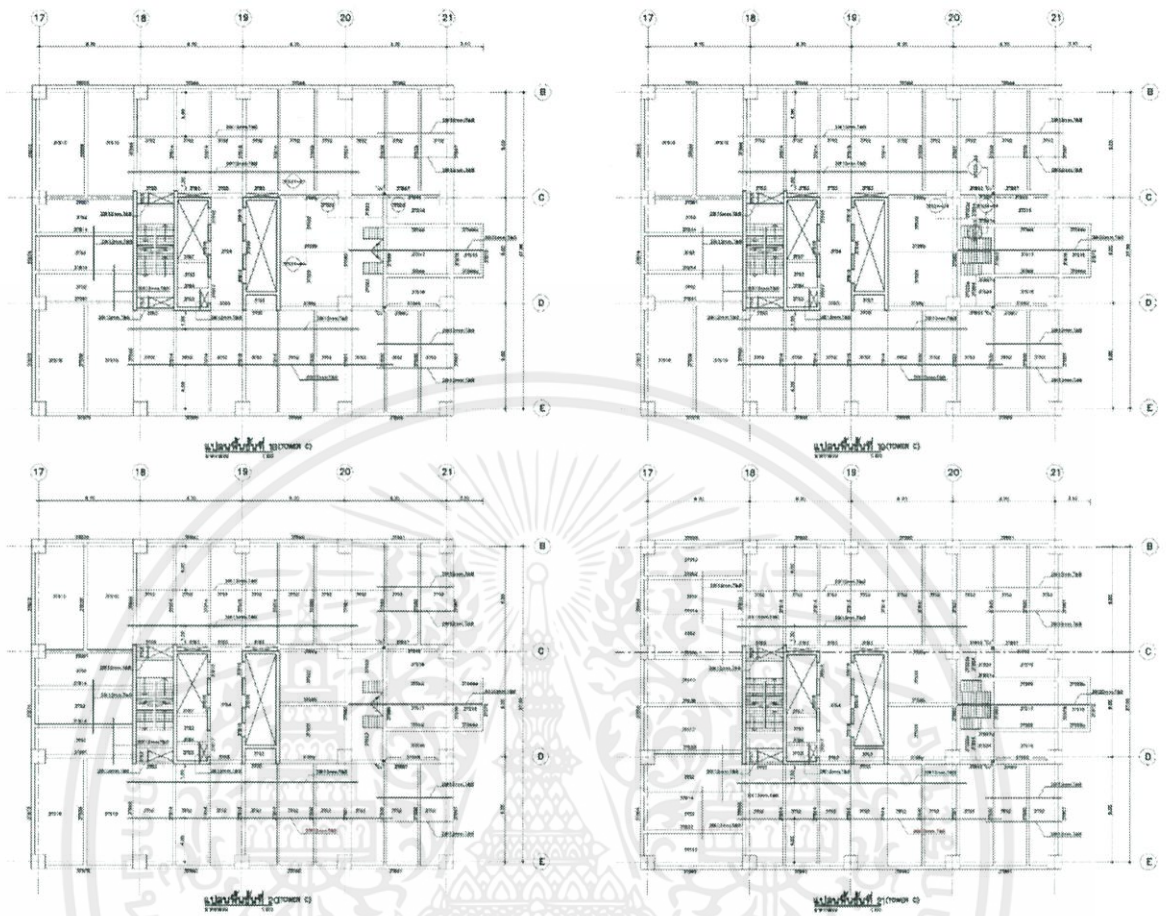
รูปที่ ก-13 ACS P31-PR-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



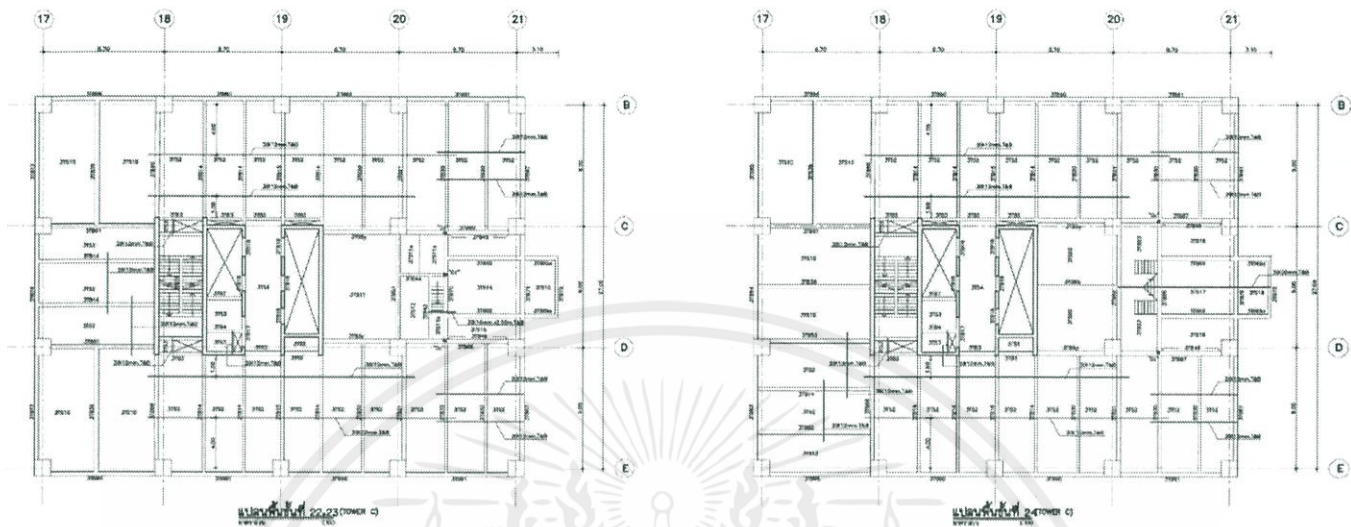
รูปที่ ก-14 ACS P13 and P17-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-15 ACS P18 and P21-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-16 ACS P22 and P24-Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตารางการคำนวณค่า Inter Story Drift ของแต่ละวิธี

ตารางที่ข-1 ก่อนการเสริมกำลัง EQX

ตารางที่ข-1.1 X-DIR

Story	Height(m)	Lx (mm)	$\delta x(mm)$	$\delta x_e (mm)$	$\Delta a (mm)$	Status
HELI	128	362.762	0.366	1.3176	25	ok
Story32	125.5	362.396	0.972	3.4992	37	ok
Story31	121.8	361.424	1.074	3.8664	37	ok
Story30	118.1	360.35	1.696	6.1056	37	ok
Story29	114.4	358.654	1.566	5.6376	37	ok
Story28	110.7	357.088	3.569	12.8484	37	ok
Story27	107	353.519	4.032	14.5152	37	ok
Story26	103.3	349.487	6.589	23.7204	45	ok
Story25	98.8	342.898	8.443	30.3948	37	ok
Story24	95.1	334.455	9.7	34.92	37	ok
Story23	91.4	324.755	10.895	39.222	37	Not ok
Story22	87.7	313.86	12.037	43.3332	37	Not ok
Story21	84	301.823	12.986	46.7496	37	Not ok
Story20	80.3	288.837	13.814	49.7304	37	Not ok
Story19	76.6	275.023	14.537	52.3332	37	Not ok
Story18	72.9	260.486	15.162	54.5832	37	Not ok
Story17	69.2	245.324	15.692	56.4912	37	Not ok
Story16	65.5	229.632	16.122	58.0392	37	Not ok
Story15	61.8	213.51	16.458	59.2488	37	Not ok
Story14	58.1	197.052	16.679	60.0444	37	Not ok
Story13	54.4	180.373	16.775	60.39	37	Not ok
Story12	50.7	163.598	16.756	60.3216	37	Not ok
Story11	47	146.842	16.619	59.8284	37	Not ok
Story10	43.3	130.223	16.376	58.9536	37	Not ok
Story9	39.6	113.847	18.974	68.3064	44	Not ok
Story8	35.2	94.873	22.497	80.9892	55.5	Not ok
Story7	29.65	72.376	21.36	76.896	57.5	Not ok
Story6	23.9	51.016	15.017	54.0612	45	Not ok
Story5	19.4	35.999	13.088	47.1168	45	Not ok
Story4	14.9	22.911	10.696	38.5056	45	ok
Story3	10.4	12.215	7.707	27.7452	45	ok
Story2	5.9	4.508	4.22	15.192	50	ok
Story1	0.9	0.288	0.288	1.0368	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-1.2 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	$\delta x(mm)$	$\delta xe (mm)$	$\Delta a (mm)$	Status
HELI	128	15.265	-0.735	-2.646	25	ok
Story32	125.5	16	0.187	0.6732	37	ok
Story31	121.8	15.813	0.227	0.8172	37	ok
Story30	118.1	15.586	0.253	0.9108	37	ok
Story29	114.4	15.333	0.277	0.9972	37	ok
Story28	110.7	15.056	0.315	1.134	37	ok
Story27	107	14.741	0.364	1.3104	37	ok
Story26	103.3	14.377	0.177	0.6372	45	ok
Story25	98.8	14.2	0.408	1.4688	37	ok
Story24	95.1	13.792	0.684	2.4624	37	ok
Story23	91.4	13.108	0.447	1.6092	37	ok
Story22	87.7	12.661	0.479	1.7244	37	ok
Story21	84	12.182	0.498	1.7928	37	ok
Story20	80.3	11.684	0.513	1.8468	37	ok
Story19	76.6	11.171	0.528	1.9008	37	ok
Story18	72.9	10.643	0.543	1.9548	37	ok
Story17	69.2	10.1	0.556	2.0016	37	ok
Story16	65.5	9.544	0.569	2.0484	37	ok
Story15	61.8	8.975	0.58	2.088	37	ok
Story14	58.1	8.395	0.59	2.124	37	ok
Story13	54.4	7.805	0.604	2.1744	37	ok
Story12	50.7	7.201	0.615	2.214	37	ok
Story11	47	6.586	0.621	2.2356	37	ok
Story10	43.3	5.965	0.631	2.2716	37	ok
Story9	39.6	5.334	0.76	2.736	44	ok
Story8	35.2	4.574	0.561	2.0196	55.5	ok
Story7	29.65	4.013	1.137	4.0932	57.5	ok
Story6	23.9	2.876	0.869	3.1284	45	ok
Story5	19.4	2.007	0.765	2.754	45	ok
Story4	14.9	1.242	0.609	2.1924	45	ok
Story3	10.4	0.633	0.347	1.2492	45	ok
Story2	5.9	0.286	0.162	0.5832	50	ok
Story1	0.9	0.124	0.124	0.4464	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-2 ก่อนการเสริมกำลัง EQY

ตารางที่ข-2.1 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	$\delta x(mm)$	$\delta x_e(mm)$	$\Delta a(mm)$	Status
HELI	128	20.208	-0.095	-0.342	25	ok
Story32	125.5	20.303	0.232	0.8352	37	ok
Story31	121.8	20.071	-0.891	-3.2076	37	ok
Story30	118.1	20.962	0.444	1.5984	37	ok
Story29	114.4	20.518	0.482	1.7352	37	ok
Story28	110.7	20.036	0.501	1.8036	37	ok
Story27	107	19.535	0.518	1.8648	37	ok
Story26	103.3	19.017	1.566	5.6376	45	ok
Story25	98.8	17.451	0.339	1.2204	37	ok
Story24	95.1	17.112	0.591	2.1276	37	ok
Story23	91.4	16.521	0.624	2.2464	37	ok
Story22	87.7	15.897	0.665	2.394	37	ok
Story21	84	15.232	0.697	2.5092	37	ok
Story20	80.3	14.535	0.72	2.592	37	ok
Story19	76.6	13.815	0.741	2.6676	37	ok
Story18	72.9	13.074	0.758	2.7288	37	ok
Story17	69.2	12.316	0.771	2.7756	37	ok
Story16	65.5	11.545	0.78	2.808	37	ok
Story15	61.8	10.765	0.784	2.8224	37	ok
Story14	58.1	9.981	0.788	2.8368	37	ok
Story13	54.4	9.193	0.79	2.844	37	ok
Story12	50.7	8.403	0.788	2.8368	37	ok
Story11	47	7.615	0.785	2.826	37	ok
Story10	43.3	6.83	0.778	2.8008	37	ok
Story9	39.6	6.052	0.989	3.5604	44	ok
Story8	35.2	5.063	0.529	1.9044	55.5	ok
Story7	29.65	4.534	1.303	4.6908	57.5	ok
Story6	23.9	3.231	1.005	3.618	45	ok
Story5	19.4	2.226	0.853	3.0708	45	ok
Story4	14.9	1.373	0.668	2.4048	45	ok
Story3	10.4	0.705	0.412	1.4832	45	ok
Story2	5.9	0.293	0.186	0.6696	50	ok
Story1	0.9	0.107	0.107	0.3852	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-2.2 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	309.872	0.55	1.98	25	ok
Story32	125.5	309.322	5.875	21.15	37	ok
Story31	121.8	303.447	9.158	32.9688	37	ok
Story30	118.1	294.289	9.459	34.0524	37	ok
Story29	114.4	284.83	9.791	35.2476	37	ok
Story28	110.7	275.039	10.104	36.3744	37	ok
Story27	107	264.935	10.37	37.332	37	Not ok
Story26	103.3	254.565	13.011	46.8396	45	Not ok
Story25	98.8	241.554	11.03	39.708	37	Not ok
Story24	95.1	230.524	11.238	40.4568	37	Not ok
Story23	91.4	219.286	11.394	41.0184	37	Not ok
Story22	87.7	207.892	11.552	41.5872	37	Not ok
Story21	84	196.34	11.669	42.0084	37	Not ok
Story20	80.3	184.671	11.741	42.2676	37	Not ok
Story19	76.6	172.93	11.772	42.3792	37	Not ok
Story18	72.9	161.158	11.766	42.3576	37	Not ok
Story17	69.2	149.392	11.715	42.174	37	Not ok
Story16	65.5	137.677	11.608	41.7888	37	Not ok
Story15	61.8	126.069	11.455	41.238	37	Not ok
Story14	58.1	114.614	11.248	40.4928	37	Not ok
Story13	54.4	103.366	10.992	39.5712	37	Not ok
Story12	50.7	92.374	11.459	41.2524	37	Not ok
Story11	47	80.915	10.215	36.774	37	ok
Story10	43.3	70.7	9.783	35.2188	37	ok
Story9	39.6	60.917	11.004	39.6144	44	ok
Story8	35.2	49.913	11.833	42.5988	55.5	ok
Story7	29.65	38.08	11.667	42.0012	57.5	ok
Story6	23.9	26.413	8.133	29.2788	45	ok
Story5	19.4	18.28	6.846	24.6456	45	ok
Story4	14.9	11.434	5.413	19.4868	45	ok
Story3	10.4	6.021	3.791	13.6476	45	ok
Story2	5.9	2.23	2.093	7.5348	50	ok
Story1	0.9	0.137	0.137	0.4932	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-3 ก่อนการเสริมกำลัง RESPONSE SPECTRUM

ตารางที่ข-3.1 X-DIR

Story	Height (m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELL	128	138.629	0.171	0.6156	25	ok
Story32	125.5	138.458	0.393	1.4148	37	ok
Story31	121.8	138.065	-0.26	-0.936	37	ok
Story30	118.1	138.325	0.669	2.4084	37	ok
Story29	114.4	137.656	0.856	3.0816	37	ok
Story28	110.7	136.8	1.1	3.96	37	ok
Story27	107	135.7	1.506	5.4216	37	ok
Story26	103.3	134.194	2.715	9.774	45	ok
Story25	98.8	131.479	2.914	10.4904	37	ok
Story24	95.1	128.565	3.819	13.7484	37	ok
Story23	91.4	124.746	3.924	14.1264	37	ok
Story22	87.7	120.822	4.327	15.5772	37	ok
Story21	84	116.495	4.658	16.7688	37	ok
Story20	80.3	111.837	4.952	17.8272	37	ok
Story19	76.6	106.885	5.214	18.7704	37	ok
Story18	72.9	101.671	5.45	19.62	37	ok
Story17	69.2	96.221	5.659	20.3724	37	ok
Story16	65.5	90.562	5.843	21.0348	37	ok
Story15	61.8	84.719	6.004	21.6144	37	ok
Story14	58.1	78.715	6.133	22.0788	37	ok
Story13	54.4	72.582	6.227	22.4172	37	ok
Story12	50.7	66.355	6.288	22.6368	37	ok
Story11	47	60.067	6.313	22.7268	37	ok
Story10	43.3	53.754	6.304	22.6944	37	ok
Story9	39.6	47.45	7.423	26.7228	44	ok
Story8	35.2	40.027	8.887	31.9932	55.5	ok
Story7	29.65	31.14	8.817	31.7412	57.5	ok
Story6	23.9	22.323	6.37	22.932	45	ok
Story5	19.4	15.953	5.67	20.412	45	ok
Story4	14.9	10.283	4.727	17.0172	45	ok
Story3	10.4	5.556	3.474	12.5064	45	ok
Story2	5.9	2.082	1.944	6.9984	50	ok
Story1	0.9	0.138	0.138	0.4968	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-3.2 Y-DIR

Story	Height (m)	Uy (mm)	δx (mm)	δxe (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	165.923	-2.8	-10.08	25	ok
Story32	125.5	168.723	1.169	4.2084	37	ok
Story31	121.8	167.554	4.602	16.5672	37	ok
Story30	118.1	162.952	4.776	17.1936	37	ok
Story29	114.4	158.176	5.127	18.4572	37	ok
Story28	110.7	153.049	5.563	20.0268	37	ok
Story27	107	147.486	5.481	19.7316	37	ok
Story26	103.3	142.005	6.938	24.9768	45	ok
Story25	98.8	135.067	5.811	20.9196	37	ok
Story24	95.1	129.256	6.077	21.8772	37	ok
Story23	91.4	123.179	6.181	22.2516	37	ok
Story22	87.7	116.998	6.273	22.5828	37	ok
Story21	84	110.725	6.347	22.8492	37	ok
Story20	80.3	104.378	6.402	23.0472	37	ok
Story19	76.6	97.976	6.437	23.1732	37	ok
Story18	72.9	91.539	6.453	23.2308	37	ok
Story17	69.2	85.086	6.447	23.2092	37	ok
Story16	65.5	78.639	6.413	23.0868	37	ok
Story15	61.8	72.226	6.355	22.878	37	ok
Story14	58.1	65.871	6.268	22.5648	37	ok
Story13	54.4	59.603	6.154	22.1544	37	ok
Story12	50.7	53.449	7.01	25.236	37	ok
Story11	47	46.439	5.711	20.5596	37	ok
Story10	43.3	40.728	5.499	19.7964	37	ok
Story9	39.6	35.229	6.224	22.4064	44	ok
Story8	35.2	29.005	6.295	22.662	55.5	ok
Story7	29.65	22.71	6.849	24.6564	57.5	ok
Story6	23.9	15.861	4.8	17.28	45	ok
Story5	19.4	11.061	4.076	14.6736	45	ok
Story4	14.9	6.985	3.257	11.7252	45	ok
Story3	10.4	3.728	2.315	8.334	45	ok
Story2	5.9	1.413	1.318	4.7448	50	ok
Story1	0.9	0.095	0.095	0.342	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-4 วิธี Bracing หลังการเสริมกำลัง EQX

ตารางที่ข-4.1 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	195.612	0.38	1.368	25	ok
Story32	125.5	195.232	0.786	2.8296	37	ok
Story31	121.8	194.446	0.962	3.4632	37	ok
Story30	118.1	193.484	0.769	2.7684	37	ok
Story29	114.4	192.715	0.269	0.9684	37	ok
Story28	110.7	192.446	4.282	15.4152	37	ok
Story27	107	188.164	3.09	11.124	37	ok
Story26	103.3	185.074	4.887	17.5932	45	ok
Story25	98.8	180.187	6.413	23.0868	37	ok
Story24	95.1	173.774	7.039	25.3404	37	ok
Story23	91.4	166.735	7.752	27.9072	37	ok
Story22	87.7	158.983	8.266	29.7576	37	ok
Story21	84	150.717	8.566	30.8376	37	ok
Story20	80.3	142.151	8.658	31.1688	37	ok
Story19	76.6	133.493	8.525	30.69	37	ok
Story18	72.9	124.968	8.161	29.3796	37	ok
Story17	69.2	116.807	7.409	26.6724	37	ok
Story16	65.5	109.398	6.094	21.9384	37	ok
Story15	61.8	103.304	7.467	26.8812	37	ok
Story14	58.1	95.837	8.249	29.6964	37	ok
Story13	54.4	87.588	8.587	30.9132	37	ok
Story12	50.7	79.001	8.621	31.0356	37	ok
Story11	47	70.38	8.323	29.9628	37	ok
Story10	43.3	62.057	7.715	27.774	37	ok
Story9	39.6	54.342	7.775	27.99	44	ok
Story8	35.2	46.567	6.964	25.0704	55.5	ok
Story7	29.65	39.603	9.143	32.9148	57.5	ok
Story6	23.9	30.46	7.866	28.3176	45	ok
Story5	19.4	22.594	7.593	27.3348	45	ok
Story4	14.9	15.001	6.699	24.1164	45	ok
Story3	10.4	8.302	5.121	18.4356	45	ok
Story2	5.9	3.181	2.963	10.6668	50	ok
Story1	0.9	0.218	0.218	0.7848	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-4.2 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	5.914	-0.078	-0.2808	25	ok
Story32	125.5	5.992	0.067	0.2412	37	ok
Story31	121.8	5.925	0.079	0.2844	37	ok
Story30	118.1	5.846	0.086	0.3096	37	ok
Story29	114.4	5.76	0.091	0.3276	37	ok
Story28	110.7	5.669	0.108	0.3888	37	ok
Story27	107	5.561	0.128	0.4608	37	ok
Story26	103.3	5.433	0.103	0.3708	45	ok
Story25	98.8	5.33	0.131	0.4716	37	ok
Story24	95.1	5.199	0.181	0.6516	37	ok
Story23	91.4	5.018	0.136	0.4896	37	ok
Story22	87.7	4.882	0.15	0.54	37	ok
Story21	84	4.732	0.158	0.5688	37	ok
Story20	80.3	4.574	0.163	0.5868	37	ok
Story19	76.6	4.411	0.171	0.6156	37	ok
Story18	72.9	4.24	0.178	0.6408	37	ok
Story17	69.2	4.062	0.189	0.6804	37	ok
Story16	65.5	3.873	0.205	0.738	37	ok
Story15	61.8	3.668	0.201	0.7236	37	ok
Story14	58.1	3.467	0.202	0.7272	37	ok
Story13	54.4	3.265	0.209	0.7524	37	ok
Story12	50.7	3.056	0.217	0.7812	37	ok
Story11	47	2.839	0.226	0.8136	37	ok
Story10	43.3	2.613	0.236	0.8496	37	ok
Story9	39.6	2.377	0.306	1.1016	44	ok
Story8	35.2	2.071	0.305	1.098	55.5	ok
Story7	29.65	1.766	0.462	1.6632	57.5	ok
Story6	23.9	1.304	0.351	1.2636	45	ok
Story5	19.4	0.953	0.338	1.2168	45	ok
Story4	14.9	0.615	0.292	1.0512	45	ok
Story3	10.4	0.323	0.167	0.6012	45	ok
Story2	5.9	0.156	0.078	0.2808	50	ok
Story1	0.9	0.078	0.078	0.2808	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการเสริมกำลัง EQY

ตารางที่ข-4.3 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	$\delta x(mm)$	$\delta x_e (mm)$	$\Delta a (mm)$	Status
HELI	128	13.18	-0.069	-0.2484	25	ok
Story32	125.5	13.249	0.184	0.6624	37	ok
Story31	121.8	13.065	-0.627	-2.2572	37	ok
Story30	118.1	13.692	0.345	1.242	37	ok
Story29	114.4	13.347	0.372	1.3392	37	ok
Story28	110.7	12.975	0.384	1.3824	37	ok
Story27	107	12.591	0.392	1.4112	37	ok
Story26	103.3	12.199	1.134	4.0824	45	ok
Story25	98.8	11.065	0.251	0.9036	37	ok
Story24	95.1	10.814	0.418	1.5048	37	ok
Story23	91.4	10.396	0.437	1.5732	37	ok
Story22	87.7	9.959	0.464	1.6704	37	ok
Story21	84	9.495	0.476	1.7136	37	ok
Story20	80.3	9.019	0.479	1.7244	37	ok
Story19	76.6	8.54	0.475	1.71	37	ok
Story18	72.9	8.065	0.467	1.6812	37	ok
Story17	69.2	7.598	0.448	1.6128	37	ok
Story16	65.5	7.15	0.389	1.4004	37	ok
Story15	61.8	6.761	0.447	1.6092	37	ok
Story14	58.1	6.314	0.467	1.6812	37	ok
Story13	54.4	5.847	0.476	1.7136	37	ok
Story12	50.7	5.371	0.48	1.728	37	ok
Story11	47	4.891	0.478	1.7208	37	ok
Story10	43.3	4.413	0.47	1.692	37	ok
Story9	39.6	3.943	0.592	2.1312	44	ok
Story8	35.2	3.351	0.139	0.5004	55.5	ok
Story7	29.65	3.212	0.846	3.0456	57.5	ok
Story6	23.9	2.366	0.709	2.5524	45	ok
Story5	19.4	1.657	0.621	2.2356	45	ok
Story4	14.9	1.036	0.498	1.7928	45	ok
Story3	10.4	0.538	0.308	1.1088	45	ok
Story2	5.9	0.23	0.14	0.504	50	ok
Story1	0.9	0.09	0.09	0.324	9	ok

ตารางที่ข-4.4 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	$\delta x(mm)$	$\delta xe (mm)$	$\Delta a (mm)$	Status
HELI	128	262.396	0.837	3.0132	25	ok
Story32	125.5	261.559	5.365	19.314	37	ok
Story31	121.8	256.194	8.019	28.8684	37	ok
Story30	118.1	248.175	8.279	29.8044	37	ok
Story29	114.4	239.896	8.557	30.8052	37	ok
Story28	110.7	231.339	8.809	31.7124	37	ok
Story27	107	222.53	9.01	32.436	37	ok
Story26	103.3	213.52	11.248	40.4928	45	ok
Story25	98.8	202.272	9.454	34.0344	37	ok
Story24	95.1	192.818	9.589	34.5204	37	ok
Story23	91.4	183.229	9.68	34.848	37	ok
Story22	87.7	173.549	9.771	35.1756	37	ok
Story21	84	163.778	9.797	35.2692	37	ok
Story20	80.3	153.981	9.773	35.1828	37	ok
Story19	76.6	144.208	9.693	34.8948	37	ok
Story18	72.9	134.515	9.577	34.4772	37	ok
Story17	69.2	124.938	9.272	33.3792	37	ok
Story16	65.5	115.666	8.436	30.3696	37	ok
Story15	61.8	107.23	9.062	32.6232	37	ok
Story14	58.1	98.168	9.156	32.9616	37	ok
Story13	54.4	89.012	9.057	32.6052	37	ok
Story12	50.7	79.955	9.556	34.4016	37	ok
Story11	47	70.399	8.61	30.996	37	ok
Story10	43.3	61.789	8.321	29.9556	37	ok
Story9	39.6	53.468	9.437	33.9732	44	ok
Story8	35.2	44.031	10.224	36.8064	55.5	ok
Story7	29.65	33.807	10.206	36.7416	57.5	ok
Story6	23.9	23.601	7.184	25.8624	45	ok
Story5	19.4	16.417	6.092	21.9312	45	ok
Story4	14.9	10.325	4.853	17.4708	45	ok
Story3	10.4	5.472	3.428	12.3408	45	ok
Story2	5.9	2.044	1.916	6.8976	50	ok
Story1	0.9	0.128	0.128	0.4608	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการเสริมกำลัง RESPONSE SPECTRUM

ตารางที่ข-4.5 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δxe (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	108.275	0.22	0.792	25	ok
Story32	125.5	108.055	0.421	1.5156	37	ok
Story31	121.8	107.634	-0.041	-0.1476	37	ok
Story30	118.1	107.675	0.703	2.5308	37	ok
Story29	114.4	106.972	0.914	3.2904	37	ok
Story28	110.7	106.058	1.177	4.2372	37	ok
Story27	107	104.881	1.617	5.8212	37	ok
Story26	103.3	103.264	2.877	10.3572	45	ok
Story25	98.8	100.387	3.099	11.1564	37	ok
Story24	95.1	97.288	3.897	14.0292	37	ok
Story23	91.4	93.391	3.987	14.3532	37	ok
Story22	87.7	89.404	4.239	15.2604	37	ok
Story21	84	85.165	4.376	15.7536	37	ok
Story20	80.3	80.789	4.413	15.8868	37	ok
Story19	76.6	76.376	4.342	15.6312	37	ok
Story18	72.9	72.034	4.17	15.012	37	ok
Story17	69.2	67.864	3.817	13.7412	37	ok
Story16	65.5	64.047	3.198	11.5128	37	ok
Story15	61.8	60.849	3.97	14.292	37	ok
Story14	58.1	56.879	4.428	15.9408	37	ok
Story13	54.4	52.451	4.653	16.7508	37	ok
Story12	50.7	47.798	4.714	16.9704	37	ok
Story11	47	43.084	4.598	16.5528	37	ok
Story10	43.3	38.486	4.314	15.5304	37	ok
Story9	39.6	34.172	4.426	15.9336	44	ok
Story8	35.2	29.746	4.044	14.5584	55.5	ok
Story7	29.65	25.702	5.717	20.5812	57.5	ok
Story6	23.9	19.985	5.041	18.1476	45	ok
Story5	19.4	14.944	4.946	17.8056	45	ok
Story4	14.9	9.998	4.422	15.9192	45	ok
Story3	10.4	5.576	3.421	12.3156	45	ok
Story2	5.9	2.155	2.005	7.218	50	ok
Story1	0.9	0.15	0.15	0.54	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-4.6 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	138.639	-0.264	-0.9504	25	ok
Story32	125.5	138.903	2.319	8.3484	37	ok
Story31	121.8	136.584	4.003	14.4108	37	ok
Story30	118.1	132.581	4.126	14.8536	37	ok
Story29	114.4	128.455	4.409	15.8724	37	ok
Story28	110.7	124.046	4.767	17.1612	37	ok
Story27	107	119.279	4.645	16.722	37	ok
Story26	103.3	114.634	5.818	20.9448	45	ok
Story25	98.8	108.816	4.808	17.3088	37	ok
Story24	95.1	104.008	4.999	17.9964	37	ok
Story23	91.4	99.009	5.05	18.18	37	ok
Story22	87.7	93.959	5.097	18.3492	37	ok
Story21	84	88.862	5.117	18.4212	37	ok
Story20	80.3	83.745	5.115	18.414	37	ok
Story19	76.6	78.63	5.085	18.306	37	ok
Story18	72.9	73.545	5.038	18.1368	37	ok
Story17	69.2	68.507	4.891	17.6076	37	ok
Story16	65.5	63.616	4.456	16.0416	37	ok
Story15	61.8	59.16	4.824	17.3664	37	ok
Story14	58.1	54.336	4.903	17.6508	37	ok
Story13	54.4	49.433	4.874	17.5464	37	ok
Story12	50.7	44.559	5.361	19.2996	37	ok
Story11	47	39.198	4.666	16.7976	37	ok
Story10	43.3	34.532	4.533	16.3188	37	ok
Story9	39.6	29.999	5.172	18.6192	44	ok
Story8	35.2	24.827	5.522	19.8792	55.5	ok
Story7	29.65	19.305	5.728	20.6208	57.5	ok
Story6	23.9	13.577	4.067	14.6412	45	ok
Story5	19.4	9.51	3.481	12.5316	45	ok
Story4	14.9	6.029	2.801	10.0836	45	ok
Story3	10.4	3.228	2.003	7.2108	45	ok
Story2	5.9	1.225	1.144	4.1184	50	ok
Story1	0.9	0.081	0.081	0.2916	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-5 วิธี FRD หลังการเสริมกำลัง EQX

ตารางที่ข-5.1 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	192.393	0.418	1.5048	25	ok
Story32	125.5	191.975	0.774	2.7864	37	ok
Story31	121.8	191.201	0.941	3.3876	37	ok
Story30	118.1	190.26	0.609	2.1924	37	ok
Story29	114.4	189.651	0.274	0.9864	37	ok
Story28	110.7	189.377	4.187	15.0732	37	ok
Story27	107	185.19	2.939	10.5804	37	ok
Story26	103.3	182.251	4.617	16.6212	45	ok
Story25	98.8	177.634	6.102	21.9672	37	ok
Story24	95.1	171.532	6.636	23.8896	37	ok
Story23	91.4	164.896	7.269	26.1684	37	ok
Story22	87.7	157.627	7.687	27.6732	37	ok
Story21	84	149.94	7.888	28.3968	37	ok
Story20	80.3	142.052	7.868	28.3248	37	ok
Story19	76.6	134.184	7.607	27.3852	37	ok
Story18	72.9	126.577	7.084	25.5024	37	ok
Story17	69.2	119.493	6.246	22.4856	37	ok
Story16	65.5	113.247	5.081	18.2916	37	ok
Story15	61.8	108.166	3.267	11.7612	37	ok
Story14	58.1	104.899	0.412	1.4832	37	ok
Story13	54.4	104.487	3.597	12.9492	37	ok
Story12	50.7	100.89	5.733	20.6388	37	ok
Story11	47	95.157	7.206	25.9416	37	ok
Story10	43.3	87.951	8.342	30.0312	37	ok
Story9	39.6	79.609	10.917	39.3012	44	ok
Story8	35.2	68.692	14.395	51.822	55.5	ok
Story7	29.65	54.297	14.889	53.6004	57.5	ok
Story6	23.9	39.408	11.09	39.924	45	ok
Story5	19.4	28.318	10.005	36.018	45	ok
Story4	14.9	18.313	8.403	30.2508	45	ok
Story3	10.4	9.91	6.195	22.302	45	ok
Story2	5.9	3.715	3.47	12.492	50	ok
Story1	0.9	0.245	0.245	0.882	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-5.2 Y-DIR

Story	Heigh(m)	Uy (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	5.509	-0.117	-0.4212	25	ok
Story32	125.5	5.626	0.027	0.0972	37	ok
Story31	121.8	5.599	0.039	0.1404	37	ok
Story30	118.1	5.56	0.048	0.1728	37	ok
Story29	114.4	5.512	0.054	0.1944	37	ok
Story28	110.7	5.458	0.073	0.2628	37	ok
Story27	107	5.385	0.092	0.3312	37	ok
Story26	103.3	5.293	0.054	0.1944	45	ok
Story25	98.8	5.239	0.095	0.342	37	ok
Story24	95.1	5.144	0.156	0.5616	37	ok
Story23	91.4	4.988	0.102	0.3672	37	ok
Story22	87.7	4.886	0.115	0.414	37	ok
Story21	84	4.771	0.123	0.4428	37	ok
Story20	80.3	4.648	0.129	0.4644	37	ok
Story19	76.6	4.519	0.134	0.4824	37	ok
Story18	72.9	4.385	0.142	0.5112	37	ok
Story17	69.2	4.243	0.15	0.54	37	ok
Story16	65.5	4.093	0.159	0.5724	37	ok
Story15	61.8	3.934	0.166	0.5976	37	ok
Story14	58.1	3.768	0.154	0.5544	37	ok
Story13	54.4	3.614	0.191	0.6876	37	ok
Story12	50.7	3.423	0.212	0.7632	37	ok
Story11	47	3.211	0.225	0.81	37	ok
Story10	43.3	2.986	0.245	0.882	37	ok
Story9	39.6	2.741	0.316	1.1376	44	ok
Story8	35.2	2.425	0.244	0.8784	55.5	ok
Story7	29.65	2.181	0.552	1.9872	57.5	ok
Story6	23.9	1.629	0.457	1.6452	45	ok
Story5	19.4	1.172	0.428	1.5408	45	ok
Story4	14.9	0.744	0.358	1.2888	45	ok
Story3	10.4	0.386	0.188	0.6768	45	ok
Story2	5.9	0.198	0.1	0.36	50	ok
Story1	0.9	0.098	0.098	0.3528	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการเสริมกำลัง EQY

ตารางที่ข-5.3 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	10.617	-0.103	-0.3708	25	ok
Story32	125.5	10.72	0.167	0.6012	37	ok
Story31	121.8	10.553	-0.415	-1.494	37	ok
Story30	118.1	10.968	0.32	1.152	37	ok
Story29	114.4	10.648	0.343	1.2348	37	ok
Story28	110.7	10.305	0.352	1.2672	37	ok
Story27	107	9.953	0.354	1.2744	37	ok
Story26	103.3	9.599	0.872	3.1392	45	ok
Story25	98.8	8.727	0.251	0.9036	37	ok
Story24	95.1	8.476	0.354	1.2744	37	ok
Story23	91.4	8.122	0.365	1.314	37	ok
Story22	87.7	7.757	0.383	1.3788	37	ok
Story21	84	7.374	0.387	1.3932	37	ok
Story20	80.3	6.987	0.379	1.3644	37	ok
Story19	76.6	6.608	0.367	1.3212	37	ok
Story18	72.9	6.241	0.346	1.2456	37	ok
Story17	69.2	5.895	0.32	1.152	37	ok
Story16	65.5	5.575	0.287	1.0332	37	ok
Story15	61.8	5.288	0.231	0.8316	37	ok
Story14	58.1	5.057	0.098	0.3528	37	ok
Story13	54.4	4.959	0.235	0.846	37	ok
Story12	50.7	4.724	0.297	1.0692	37	ok
Story11	47	4.427	0.334	1.2024	37	ok
Story10	43.3	4.093	0.368	1.3248	37	ok
Story9	39.6	3.725	0.518	1.8648	44	ok
Story8	35.2	3.207	0.26	0.936	55.5	ok
Story7	29.65	2.947	0.792	2.8512	57.5	ok
Story6	23.9	2.155	0.644	2.3184	45	ok
Story5	19.4	1.511	0.564	2.0304	45	ok
Story4	14.9	0.947	0.453	1.6308	45	ok
Story3	10.4	0.494	0.286	1.0296	45	ok
Story2	5.9	0.208	0.131	0.4716	50	ok
Story1	0.9	0.077	0.077	0.2772	9	ok

ตารางที่ข-5.4 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	202.245	1.427	5.1372	25	ok
Story32	125.5	200.818	5.099	18.3564	37	ok
Story31	121.8	195.719	6.959	25.0524	37	ok
Story30	118.1	188.76	7.158	25.7688	37	ok
Story29	114.4	181.602	7.362	26.5032	37	ok
Story28	110.7	174.24	7.535	27.126	37	ok
Story27	107	166.705	7.638	27.4968	37	ok
Story26	103.3	159.067	9.426	33.9336	45	ok
Story25	98.8	149.641	7.8	28.08	37	ok
Story24	95.1	141.841	7.85	28.26	37	ok
Story23	91.4	133.991	7.858	28.2888	37	ok
Story22	87.7	126.133	7.863	28.3068	37	ok
Story21	84	118.27	7.791	28.0476	37	ok
Story20	80.3	110.479	7.659	27.5724	37	ok
Story19	76.6	102.82	7.47	26.892	37	ok
Story18	72.9	95.35	7.226	26.0136	37	ok
Story17	69.2	88.124	6.9	24.84	37	ok
Story16	65.5	81.224	6.54	23.544	37	ok
Story15	61.8	74.684	5.772	20.7792	37	ok
Story14	58.1	68.912	3.744	13.4784	37	ok
Story13	54.4	65.168	5.456	19.6416	37	ok
Story12	50.7	59.712	6.344	22.8384	37	ok
Story11	47	53.368	5.906	21.2616	37	ok
Story10	43.3	47.462	5.896	21.2256	37	ok
Story9	39.6	41.566	6.879	24.7644	44	ok
Story8	35.2	34.687	7.711	27.7596	55.5	ok
Story7	29.65	26.976	7.877	28.3572	57.5	ok
Story6	23.9	19.099	5.66	20.376	45	ok
Story5	19.4	13.439	4.886	17.5896	45	ok
Story4	14.9	8.553	3.958	14.2488	45	ok
Story3	10.4	4.595	2.846	10.2456	45	ok
Story2	5.9	1.749	1.634	5.8824	50	ok
Story1	0.9	0.115	0.115	0.414	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการเสริมกำลัง RESPONSE SPECTRUM

ตารางที่ข-5.5 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	108.92	0.232	0.8352	25	ok
Story32	125.5	108.688	0.389	1.4004	37	ok
Story31	121.8	108.299	0.194	0.6984	37	ok
Story30	118.1	108.105	0.623	2.2428	37	ok
Story29	114.4	107.482	0.817	2.9412	37	ok
Story28	110.7	106.665	1.063	3.8268	37	ok
Story27	107	105.602	1.476	5.3136	37	ok
Story26	103.3	104.126	2.539	9.1404	45	ok
Story25	98.8	101.587	2.942	10.5912	37	ok
Story24	95.1	98.645	3.494	12.5784	37	ok
Story23	91.4	95.151	3.685	13.266	37	ok
Story22	87.7	91.466	3.891	14.0076	37	ok
Story21	84	87.575	3.979	14.3244	37	ok
Story20	80.3	83.596	3.958	14.2488	37	ok
Story19	76.6	79.638	3.818	13.7448	37	ok
Story18	72.9	75.82	3.551	12.7836	37	ok
Story17	69.2	72.269	3.137	11.2932	37	ok
Story16	65.5	69.132	2.572	9.2592	37	ok
Story15	61.8	66.56	1.681	6.0516	37	ok
Story14	58.1	64.879	0.243	0.8748	37	ok
Story13	54.4	64.636	2.097	7.5492	37	ok
Story12	50.7	62.539	3.374	12.1464	37	ok
Story11	47	59.165	4.283	15.4188	37	ok
Story10	43.3	54.882	5.003	18.0108	37	ok
Story9	39.6	49.879	6.61	23.796	44	ok
Story8	35.2	43.269	8.765	31.554	55.5	ok
Story7	29.65	34.504	9.273	33.3828	57.5	ok
Story6	23.9	25.231	6.997	25.1892	45	ok
Story5	19.4	18.234	6.376	22.9536	45	ok
Story4	14.9	11.858	5.403	19.4508	45	ok
Story3	10.4	6.455	4.019	14.4684	45	ok
Story2	5.9	2.436	2.273	8.1828	50	ok
Story1	0.9	0.163	0.163	0.5868	9	ok

ตารางที่ข-5.6 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	$\delta x(mm)$	$\delta x_e(mm)$	Δa (mm)	Status
HELI	128	118.249	0.911	3.2796	25	ok
Story32	125.5	117.338	2.968	10.6848	37	ok
Story31	121.8	114.37	3.853	13.8708	37	ok
Story30	118.1	110.517	3.944	14.1984	37	ok
Story29	114.4	106.573	4.203	15.1308	37	ok
Story28	110.7	102.37	4.534	16.3224	37	ok
Story27	107	97.836	4.336	15.6096	37	ok
Story26	103.3	93.5	5.348	19.2528	45	ok
Story25	98.8	88.152	4.327	15.5772	37	ok
Story24	95.1	83.825	4.47	16.092	37	ok
Story23	91.4	79.355	4.473	16.1028	37	ok
Story22	87.7	74.882	4.475	16.11	37	ok
Story21	84	70.407	4.434	15.9624	37	ok
Story20	80.3	65.973	4.363	15.7068	37	ok
Story19	76.6	61.61	4.26	15.336	37	ok
Story18	72.9	57.35	4.128	14.8608	37	ok
Story17	69.2	53.222	3.954	14.2344	37	ok
Story16	65.5	49.268	3.762	13.5432	37	ok
Story15	61.8	45.506	3.338	12.0168	37	ok
Story14	58.1	42.168	2.189	7.8804	37	ok
Story13	54.4	39.979	3.213	11.5668	37	ok
Story12	50.7	36.766	3.834	13.8024	37	ok
Story11	47	32.932	3.524	12.6864	37	ok
Story10	43.3	29.408	3.544	12.7584	37	ok
Story9	39.6	25.864	4.165	14.994	44	ok
Story8	35.2	21.699	4.705	16.938	55.5	ok
Story7	29.65	16.994	4.868	17.5248	57.5	ok
Story6	23.9	12.126	3.538	12.7368	45	ok
Story5	19.4	8.588	3.083	11.0988	45	ok
Story4	14.9	5.505	2.522	9.0792	45	ok
Story3	10.4	2.983	1.835	6.606	45	ok
Story2	5.9	1.148	1.065	3.834	50	ok
Story1	0.9	0.083	0.083	0.2988	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-6 วิธี FVD หลังการเสริม EQX

ตารางที่ข-6.1 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	192.392	0.418	1.5048	25	ok
Story32	125.5	191.974	0.774	2.7864	37	ok
Story31	121.8	191.2	0.941	3.3876	37	ok
Story30	118.1	190.259	0.609	2.1924	37	ok
Story29	114.4	189.65	0.274	0.9864	37	ok
Story28	110.7	189.376	4.187	15.0732	37	ok
Story27	107	185.189	2.939	10.5804	37	ok
Story26	103.3	182.25	4.617	16.6212	45	ok
Story25	98.8	177.633	6.102	21.9672	37	ok
Story24	95.1	171.531	6.635	23.886	37	ok
Story23	91.4	164.896	7.27	26.172	37	ok
Story22	87.7	157.626	7.687	27.6732	37	ok
Story21	84	149.939	7.888	28.3968	37	ok
Story20	80.3	142.051	7.868	28.3248	37	ok
Story19	76.6	134.183	7.607	27.3852	37	ok
Story18	72.9	126.576	7.084	25.5024	37	ok
Story17	69.2	119.492	6.245	22.482	37	ok
Story16	65.5	113.247	5.082	18.2952	37	ok
Story15	61.8	108.165	3.267	11.7612	37	ok
Story14	58.1	104.898	0.412	1.4832	37	ok
Story13	54.4	104.486	3.596	12.9456	37	ok
Story12	50.7	100.89	5.733	20.6388	37	ok
Story11	47	95.157	7.207	25.9452	37	ok
Story10	43.3	87.95	8.342	30.0312	37	ok
Story9	39.6	79.608	10.917	39.3012	44	ok
Story8	35.2	68.691	14.394	51.8184	55.5	ok
Story7	29.65	54.297	14.89	53.604	57.5	ok
Story6	23.9	39.407	11.089	39.9204	45	ok
Story5	19.4	28.318	10.005	36.018	45	ok
Story4	14.9	18.313	8.403	30.2508	45	ok
Story3	10.4	9.91	6.195	22.302	45	ok
Story2	5.9	3.715	3.47	12.492	50	ok
Story1	0.9	0.245	0.245	0.882	9	ok

ตารางที่ข-6.2 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	δx (mm)	δxe (mm)	Δa (mm)	Status
HELL	128	5.509	-0.117	-0.4212	25	ok
Story32	125.5	5.626	0.027	0.0972	37	ok
Story31	121.8	5.599	0.04	0.144	37	ok
Story30	118.1	5.559	0.047	0.1692	37	ok
Story29	114.4	5.512	0.054	0.1944	37	ok
Story28	110.7	5.458	0.073	0.2628	37	ok
Story27	107	5.385	0.092	0.3312	37	ok
Story26	103.3	5.293	0.054	0.1944	45	ok
Story25	98.8	5.239	0.095	0.342	37	ok
Story24	95.1	5.144	0.156	0.5616	37	ok
Story23	91.4	4.988	0.102	0.3672	37	ok
Story22	87.7	4.886	0.115	0.414	37	ok
Story21	84	4.771	0.123	0.4428	37	ok
Story20	80.3	4.648	0.129	0.4644	37	ok
Story19	76.6	4.519	0.134	0.4824	37	ok
Story18	72.9	4.385	0.142	0.5112	37	ok
Story17	69.2	4.243	0.15	0.54	37	ok
Story16	65.5	4.093	0.159	0.5724	37	ok
Story15	61.8	3.934	0.166	0.5976	37	ok
Story14	58.1	3.768	0.154	0.5544	37	ok
Story13	54.4	3.614	0.191	0.6876	37	ok
Story12	50.7	3.423	0.212	0.7632	37	ok
Story11	47	3.211	0.226	0.8136	37	ok
Story10	43.3	2.985	0.245	0.882	37	ok
Story9	39.6	2.74	0.315	1.134	44	ok
Story8	35.2	2.425	0.244	0.8784	55.5	ok
Story7	29.65	2.181	0.552	1.9872	57.5	ok
Story6	23.9	1.629	0.457	1.6452	45	ok
Story5	19.4	1.172	0.428	1.5408	45	ok
Story4	14.9	0.744	0.358	1.2888	45	ok
Story3	10.4	0.386	0.188	0.6768	45	ok
Story2	5.9	0.198	0.1	0.36	50	ok
Story1	0.9	0.098	0.098	0.3528	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการเสริมกำลัง EQY

ตารางที่ข-6.3 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	10.617	-0.103	-0.3708	25	ok
Story32	125.5	10.72	0.167	0.6012	37	ok
Story31	121.8	10.553	-0.415	-1.494	37	ok
Story30	118.1	10.968	0.32	1.152	37	ok
Story29	114.4	10.648	0.343	1.2348	37	ok
Story28	110.7	10.305	0.352	1.2672	37	ok
Story27	107	9.953	0.354	1.2744	37	ok
Story26	103.3	9.599	0.872	3.1392	45	ok
Story25	98.8	8.727	0.251	0.9036	37	ok
Story24	95.1	8.476	0.354	1.2744	37	ok
Story23	91.4	8.122	0.365	1.314	37	ok
Story22	87.7	7.757	0.383	1.3788	37	ok
Story21	84	7.374	0.387	1.3932	37	ok
Story20	80.3	6.987	0.379	1.3644	37	ok
Story19	76.6	6.608	0.367	1.3212	37	ok
Story18	72.9	6.241	0.346	1.2456	37	ok
Story17	69.2	5.895	0.32	1.152	37	ok
Story16	65.5	5.575	0.287	1.0332	37	ok
Story15	61.8	5.288	0.231	0.8316	37	ok
Story14	58.1	5.057	0.098	0.3528	37	ok
Story13	54.4	4.959	0.235	0.846	37	ok
Story12	50.7	4.724	0.297	1.0692	37	ok
Story11	47	4.427	0.334	1.2024	37	ok
Story10	43.3	4.093	0.368	1.3248	37	ok
Story9	39.6	3.725	0.518	1.8648	44	ok
Story8	35.2	3.207	0.26	0.936	55.5	ok
Story7	29.65	2.947	0.792	2.8512	57.5	ok
Story6	23.9	2.155	0.644	2.3184	45	ok
Story5	19.4	1.511	0.564	2.0304	45	ok
Story4	14.9	0.947	0.453	1.6308	45	ok
Story3	10.4	0.494	0.286	1.0296	45	ok
Story2	5.9	0.208	0.131	0.4716	50	ok
Story1	0.9	0.077	0.077	0.2772	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-6.4 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	202.245	1.427	5.1372	25	ok
Story32	125.5	200.818	5.1	18.36	37	ok
Story31	121.8	195.718	6.959	25.0524	37	ok
Story30	118.1	188.759	7.157	25.7652	37	ok
Story29	114.4	181.602	7.362	26.5032	37	ok
Story28	110.7	174.24	7.535	27.126	37	ok
Story27	107	166.705	7.638	27.4968	37	ok
Story26	103.3	159.067	9.426	33.9336	45	ok
Story25	98.8	149.641	7.8	28.08	37	ok
Story24	95.1	141.841	7.85	28.26	37	ok
Story23	91.4	133.991	7.858	28.2888	37	ok
Story22	87.7	126.133	7.863	28.3068	37	ok
Story21	84	118.27	7.791	28.0476	37	ok
Story20	80.3	110.479	7.659	27.5724	37	ok
Story19	76.6	102.82	7.47	26.892	37	ok
Story18	72.9	95.35	7.226	26.0136	37	ok
Story17	69.2	88.124	6.9	24.84	37	ok
Story16	65.5	81.224	6.541	23.5476	37	ok
Story15	61.8	74.683	5.771	20.7756	37	ok
Story14	58.1	68.912	3.744	13.4784	37	ok
Story13	54.4	65.168	5.456	19.6416	37	ok
Story12	50.7	59.712	6.344	22.8384	37	ok
Story11	47	53.368	5.906	21.2616	37	ok
Story10	43.3	47.462	5.896	21.2256	37	ok
Story9	39.6	41.566	6.88	24.768	44	ok
Story8	35.2	34.686	7.71	27.756	55.5	ok
Story7	29.65	26.976	7.877	28.3572	57.5	ok
Story6	23.9	19.099	5.66	20.376	45	ok
Story5	19.4	13.439	4.886	17.5896	45	ok
Story4	14.9	8.553	3.958	14.2488	45	ok
Story3	10.4	4.595	2.846	10.2456	45	ok
Story2	5.9	1.749	1.634	5.8824	50	ok
Story1	0.9	0.115	0.115	0.414	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการเสริมกำลัง RESPONSE SPECTRUM

ตารางที่ข-6.5 X-DIR

Story	Height(m)	Ux(mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	108.916	0.232	0.8352	25	ok
Story32	125.5	108.684	0.389	1.4004	37	ok
Story31	121.8	108.295	0.194	0.6984	37	ok
Story30	118.1	108.101	0.623	2.2428	37	ok
Story29	114.4	107.478	0.817	2.9412	37	ok
Story28	110.7	106.661	1.063	3.8268	37	ok
Story27	107	105.598	1.476	5.3136	37	ok
Story26	103.3	104.122	2.539	9.1404	45	ok
Story25	98.8	101.583	2.942	10.5912	37	ok
Story24	95.1	98.641	3.494	12.5784	37	ok
Story23	91.4	95.147	3.685	13.266	37	ok
Story22	87.7	91.462	3.891	14.0076	37	ok
Story21	84	87.571	3.979	14.3244	37	ok
Story20	80.3	83.592	3.958	14.2488	37	ok
Story19	76.6	79.634	3.818	13.7448	37	ok
Story18	72.9	75.816	3.551	12.7836	37	ok
Story17	69.2	72.265	3.136	11.2896	37	ok
Story16	65.5	69.129	2.572	9.2592	37	ok
Story15	61.8	66.557	1.682	6.0552	37	ok
Story14	58.1	64.875	0.243	0.8748	37	ok
Story13	54.4	64.632	2.097	7.5492	37	ok
Story12	50.7	62.535	3.373	12.1428	37	ok
Story11	47	59.162	4.283	15.4188	37	ok
Story10	43.3	54.879	5.003	18.0108	37	ok
Story9	39.6	49.876	6.61	23.796	44	ok
Story8	35.2	43.266	8.764	31.5504	55.5	ok
Story7	29.65	34.502	9.273	33.3828	57.5	ok
Story6	23.9	25.229	6.996	25.1856	45	ok
Story5	19.4	18.233	6.375	22.95	45	ok
Story4	14.9	11.858	5.404	19.4544	45	ok
Story3	10.4	6.454	4.019	14.4684	45	ok
Story2	5.9	2.435	2.272	8.1792	50	ok
Story1	0.9	0.163	0.163	0.5868	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-6.6 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	$\delta x(mm)$	$\delta x_e(mm)$	Δa (mm)	Status
HELI	128	118.245	0.911	3.2796	25	ok
Story32	125.5	117.334	2.967	10.6812	37	ok
Story31	121.8	114.367	3.854	13.8744	37	ok
Story30	118.1	110.513	3.944	14.1984	37	ok
Story29	114.4	106.569	4.203	15.1308	37	ok
Story28	110.7	102.366	4.534	16.3224	37	ok
Story27	107	97.832	4.336	15.6096	37	ok
Story26	103.3	93.496	5.348	19.2528	45	ok
Story25	98.8	88.148	4.326	15.5736	37	ok
Story24	95.1	83.822	4.47	16.092	37	ok
Story23	91.4	79.352	4.473	16.1028	37	ok
Story22	87.7	74.879	4.474	16.1064	37	ok
Story21	84	70.405	4.435	15.966	37	ok
Story20	80.3	65.97	4.362	15.7032	37	ok
Story19	76.6	61.608	4.26	15.336	37	ok
Story18	72.9	57.348	4.129	14.8644	37	ok
Story17	69.2	53.219	3.953	14.2308	37	ok
Story16	65.5	49.266	3.762	13.5432	37	ok
Story15	61.8	45.504	3.338	12.0168	37	ok
Story14	58.1	42.166	2.19	7.884	37	ok
Story13	54.4	39.976	3.211	11.5596	37	ok
Story12	50.7	36.765	3.834	13.8024	37	ok
Story11	47	32.931	3.525	12.69	37	ok
Story10	43.3	29.406	3.543	12.7548	37	ok
Story9	39.6	25.863	4.166	14.9976	44	ok
Story8	35.2	21.697	4.704	16.9344	55.5	ok
Story7	29.65	16.993	4.868	17.5248	57.5	ok
Story6	23.9	12.125	3.537	12.7332	45	ok
Story5	19.4	8.588	3.084	11.1024	45	ok
Story4	14.9	5.504	2.521	9.0756	45	ok
Story3	10.4	2.983	1.835	6.606	45	ok
Story2	5.9	1.148	1.065	3.834	50	ok
Story1	0.9	0.083	0.083	0.2988	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-7 วิธี CFRP JACK หลังเสริมกำลัง EQX

ตารางที่ข-7.1 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	214.9	0.761	2.7396	25	ok
Story32	125.5	214.139	1.464	5.2704	37	ok
Story31	121.8	212.675	1.672	6.0192	37	ok
Story30	118.1	211.003	1.803	6.4908	37	ok
Story29	114.4	209.2	0.789	2.8404	37	ok
Story28	110.7	208.411	5.403	19.4508	37	ok
Story27	107	203.008	3.973	14.3028	37	ok
Story26	103.3	199.035	5.519	19.8684	45	ok
Story25	98.8	193.516	6.212	22.3632	37	ok
Story24	95.1	187.304	6.562	23.6232	37	ok
Story23	91.4	180.742	7.099	25.5564	37	ok
Story22	87.7	173.643	7.635	27.486	37	ok
Story21	84	166.008	8.078	29.0808	37	ok
Story20	80.3	157.93	8.466	30.4776	37	ok
Story19	76.6	149.464	8.798	31.6728	37	ok
Story18	72.9	140.666	9.073	32.6628	37	ok
Story17	69.2	131.593	9.29	33.444	37	ok
Story16	65.5	122.303	9.445	34.002	37	ok
Story15	61.8	112.858	9.536	34.3296	37	ok
Story14	58.1	103.322	9.561	34.4196	37	ok
Story13	54.4	93.761	9.515	34.254	37	ok
Story12	50.7	84.246	9.397	33.8292	37	ok
Story11	47	74.849	9.204	33.1344	37	ok
Story10	43.3	65.645	8.938	32.1768	37	ok
Story9	39.6	56.707	10.17	36.612	44	ok
Story8	35.2	46.537	11.82	42.552	55.5	ok
Story7	29.65	34.717	10.89	39.204	57.5	ok
Story6	23.9	23.827	7.346	26.4456	45	ok
Story5	19.4	16.481	6.221	22.3956	45	ok
Story4	14.9	10.26	4.929	17.7444	45	ok
Story3	10.4	5.331	3.431	12.3516	45	ok
Story2	5.9	1.9	1.792	6.4512	50	ok
Story1	0.9	0.108	0.108	0.3888	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-7.2 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	δx (mm)	δxe (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	6.525	-0.377	-1.3572	25	ok
Story32	125.5	6.902	0.089	0.3204	37	ok
Story31	121.8	6.813	0.114	0.4104	37	ok
Story30	118.1	6.699	0.127	0.4572	37	ok
Story29	114.4	6.572	0.14	0.504	37	ok
Story28	110.7	6.432	0.155	0.558	37	ok
Story27	107	6.277	0.173	0.6228	37	ok
Story26	103.3	6.104	0.079	0.2844	45	ok
Story25	98.8	6.025	0.187	0.6732	37	ok
Story24	95.1	5.838	0.309	1.1124	37	ok
Story23	91.4	5.529	0.193	0.6948	37	ok
Story22	87.7	5.336	0.2	0.72	37	ok
Story21	84	5.136	0.205	0.738	37	ok
Story20	80.3	4.931	0.208	0.7488	37	ok
Story19	76.6	4.723	0.211	0.7596	37	ok
Story18	72.9	4.512	0.216	0.7776	37	ok
Story17	69.2	4.296	0.22	0.792	37	ok
Story16	65.5	4.076	0.225	0.81	37	ok
Story15	61.8	3.851	0.229	0.8244	37	ok
Story14	58.1	3.622	0.235	0.846	37	ok
Story13	54.4	3.387	0.242	0.8712	37	ok
Story12	50.7	3.145	0.248	0.8928	37	ok
Story11	47	2.897	0.254	0.9144	37	ok
Story10	43.3	2.643	0.262	0.9432	37	ok
Story9	39.6	2.381	0.322	1.1592	44	ok
Story8	35.2	2.059	0.218	0.7848	55.5	ok
Story7	29.65	1.841	0.518	1.8648	57.5	ok
Story6	23.9	1.323	0.404	1.4544	45	ok
Story5	19.4	0.919	0.355	1.278	45	ok
Story4	14.9	0.564	0.279	1.0044	45	ok
Story3	10.4	0.285	0.163	0.5868	45	ok
Story2	5.9	0.122	0.071	0.2556	50	ok
Story1	0.9	0.051	0.051	0.1836	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการเสริม EQY

ตารางที่ข-7.3 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	8.757	-0.016	-0.0576	25	ok
Story32	125.5	8.773	0.094	0.3384	37	ok
Story31	121.8	8.679	-0.434	-1.5624	37	ok
Story30	118.1	9.113	0.205	0.738	37	ok
Story29	114.4	8.908	0.231	0.8316	37	ok
Story28	110.7	8.677	0.252	0.9072	37	ok
Story27	107	8.425	0.269	0.9684	37	ok
Story26	103.3	8.156	0.736	2.6496	45	ok
Story25	98.8	7.42	0.176	0.6336	37	ok
Story24	95.1	7.244	0.282	1.0152	37	ok
Story23	91.4	6.962	0.292	1.0512	37	ok
Story22	87.7	6.67	0.304	1.0944	37	ok
Story21	84	6.366	0.311	1.1196	37	ok
Story20	80.3	6.055	0.318	1.1448	37	ok
Story19	76.6	5.737	0.322	1.1592	37	ok
Story18	72.9	5.415	0.327	1.1772	37	ok
Story17	69.2	5.088	0.33	1.188	37	ok
Story16	65.5	4.758	0.331	1.1916	37	ok
Story15	61.8	4.427	0.332	1.1952	37	ok
Story14	58.1	4.095	0.332	1.1952	37	ok
Story13	54.4	3.763	0.331	1.1916	37	ok
Story12	50.7	3.432	0.329	1.1844	37	ok
Story11	47	3.103	0.327	1.1772	37	ok
Story10	43.3	2.776	0.323	1.1628	37	ok
Story9	39.6	2.453	0.406	1.4616	44	ok
Story8	35.2	2.047	0.253	0.9108	55.5	ok
Story7	29.65	1.794	0.535	1.926	57.5	ok
Story6	23.9	1.259	0.399	1.4364	45	ok
Story5	19.4	0.86	0.335	1.206	45	ok
Story4	14.9	0.525	0.259	0.9324	45	ok
Story3	10.4	0.266	0.174	0.6264	45	ok
Story2	5.9	0.092	0.079	0.2844	50	ok
Story1	0.9	0.013	0.013	0.0468	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-7.4 Y-DIR

Story	Height(m)	U _y (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	134.95	0.764	2.7504	25	ok
Story32	125.5	134.186	3.455	12.438	37	ok
Story31	121.8	130.731	4.915	17.694	37	ok
Story30	118.1	125.816	4.976	17.9136	37	ok
Story29	114.4	120.84	5.041	18.1476	37	ok
Story28	110.7	115.799	5.099	18.3564	37	ok
Story27	107	110.7	5.127	18.4572	37	ok
Story26	103.3	105.573	6.275	22.59	45	ok
Story25	98.8	99.298	5.168	18.6048	37	ok
Story24	95.1	94.13	5.179	18.6444	37	ok
Story23	91.4	88.951	5.176	18.6336	37	ok
Story22	87.7	83.775	5.171	18.6156	37	ok
Story21	84	78.604	5.148	18.5328	37	ok
Story20	80.3	73.456	5.111	18.3996	37	ok
Story19	76.6	68.345	5.059	18.2124	37	ok
Story18	72.9	63.286	4.992	17.9712	37	ok
Story17	69.2	58.294	4.911	17.6796	37	ok
Story16	65.5	53.383	4.811	17.3196	37	ok
Story15	61.8	48.572	4.695	16.902	37	ok
Story14	58.1	43.877	4.561	16.4196	37	ok
Story13	54.4	39.316	4.41	15.876	37	ok
Story12	50.7	34.906	4.541	16.3476	37	ok
Story11	47	30.365	4.014	14.4504	37	ok
Story10	43.3	26.351	3.808	13.7088	37	ok
Story9	39.6	22.543	4.234	15.2424	44	ok
Story8	35.2	18.309	4.552	16.3872	55.5	ok
Story7	29.65	13.757	4.412	15.8832	57.5	ok
Story6	23.9	9.345	2.963	10.6668	45	ok
Story5	19.4	6.382	2.451	8.8236	45	ok
Story4	14.9	3.931	1.9	6.84	45	ok
Story3	10.4	2.031	1.301	4.6836	45	ok
Story2	5.9	0.73	0.69	2.484	50	ok
Story1	0.9	0.04	0.04	0.144	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการเสริมกำลัง RESPONSE SPECTRUM

ตารางที่ข-7.5 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELL	128	135.427	0.464	1.6704	25	ok
Story32	125.5	134.963	0.873	3.1428	37	ok
Story31	121.8	134.09	0.652	2.3472	37	ok
Story30	118.1	133.438	1.283	4.6188	37	ok
Story29	114.4	132.155	1.558	5.6088	37	ok
Story28	110.7	130.597	1.896	6.8256	37	ok
Story27	107	128.701	2.357	8.4852	37	ok
Story26	103.3	126.344	3.521	12.6756	45	ok
Story25	98.8	122.823	3.511	12.6396	37	ok
Story24	95.1	119.312	4.054	14.5944	37	ok
Story23	91.4	115.258	4.237	15.2532	37	ok
Story22	87.7	111.021	4.57	16.452	37	ok
Story21	84	106.451	4.85	17.46	37	ok
Story20	80.3	101.601	5.101	18.3636	37	ok
Story19	76.6	96.5	5.323	19.1628	37	ok
Story18	72.9	91.177	5.516	19.8576	37	ok
Story17	69.2	85.661	5.68	20.448	37	ok
Story16	65.5	79.981	5.809	20.9124	37	ok
Story15	61.8	74.172	5.908	21.2688	37	ok
Story14	58.1	68.264	5.968	21.4848	37	ok
Story13	54.4	62.296	5.988	21.5568	37	ok
Story12	50.7	56.308	5.968	21.4848	37	ok
Story11	47	50.34	5.901	21.2436	37	ok
Story10	43.3	44.439	5.789	20.8404	37	ok
Story9	39.6	38.65	6.663	23.9868	44	ok
Story8	35.2	31.987	7.818	28.1448	55.5	ok
Story7	29.65	24.169	7.392	26.6112	57.5	ok
Story6	23.9	16.777	5.075	18.27	45	ok
Story5	19.4	11.702	4.355	15.678	45	ok
Story4	14.9	7.347	3.496	12.5856	45	ok
Story3	10.4	3.851	2.464	8.8704	45	ok
Story2	5.9	1.387	1.306	4.7016	50	ok
Story1	0.9	0.081	0.081	0.2916	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-7.6 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	119.162	-0.536	-1.9296	25	ok
Story32	125.5	119.698	2.235	8.046	37	ok
Story31	121.8	117.463	4.083	14.6988	37	ok
Story30	118.1	113.38	4.131	14.8716	37	ok
Story29	114.4	109.249	4.376	15.7536	37	ok
Story28	110.7	104.873	4.721	16.9956	37	ok
Story27	107	100.152	4.467	16.0812	37	ok
Story26	103.3	95.685	5.494	19.7784	45	ok
Story25	98.8	90.191	4.423	15.9228	37	ok
Story24	95.1	85.768	4.586	16.5096	37	ok
Story23	91.4	81.182	4.593	16.5348	37	ok
Story22	87.7	76.589	4.594	16.5384	37	ok
Story21	84	71.995	4.585	16.506	37	ok
Story20	80.3	67.41	4.563	16.4268	37	ok
Story19	76.6	62.847	4.53	16.308	37	ok
Story18	72.9	58.317	4.484	16.1424	37	ok
Story17	69.2	53.833	4.424	15.9264	37	ok
Story16	65.5	49.409	4.349	15.6564	37	ok
Story15	61.8	45.06	4.258	15.3288	37	ok
Story14	58.1	40.802	4.152	14.9472	37	ok
Story13	54.4	36.65	4.029	14.5044	37	ok
Story12	50.7	32.621	4.4	15.84	37	ok
Story11	47	28.221	3.666	13.1976	37	ok
Story10	43.3	24.555	3.491	12.5676	37	ok
Story9	39.6	21.064	3.899	14.0364	44	ok
Story8	35.2	17.165	4.057	14.6052	55.5	ok
Story7	29.65	13.108	4.157	14.9652	57.5	ok
Story6	23.9	8.951	2.806	10.1016	45	ok
Story5	19.4	6.145	2.337	8.4132	45	ok
Story4	14.9	3.808	1.823	6.5628	45	ok
Story3	10.4	1.985	1.261	4.5396	45	ok
Story2	5.9	0.724	0.678	2.4408	50	ok
Story1	0.9	0.046	0.046	0.1656	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-8 วิธี concrete Jacketing หลังเสริมกำลัง EQX

ตารางที่ข-8.1 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δxe (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	216.325	0.755	2.718	25	ok
Story32	125.5	215.57	1.456	5.2416	37	ok
Story31	121.8	214.114	1.666	5.9976	37	ok
Story30	118.1	212.448	1.81	6.516	37	ok
Story29	114.4	210.638	0.786	2.8296	37	ok
Story28	110.7	209.852	5.391	19.4076	37	ok
Story27	107	204.461	3.979	14.3244	37	ok
Story26	103.3	200.482	5.535	19.926	45	ok
Story25	98.8	194.947	6.24	22.464	37	ok
Story24	95.1	188.707	6.596	23.7456	37	ok
Story23	91.4	182.111	7.139	25.7004	37	ok
Story22	87.7	174.972	7.68	27.648	37	ok
Story21	84	167.292	8.129	29.2644	37	ok
Story20	80.3	159.163	8.521	30.6756	37	ok
Story19	76.6	150.642	8.856	31.8816	37	ok
Story18	72.9	141.786	9.135	32.886	37	ok
Story17	69.2	132.651	9.355	33.678	37	ok
Story16	65.5	123.296	9.512	34.2432	37	ok
Story15	61.8	113.784	9.606	34.5816	37	ok
Story14	58.1	104.178	9.632	34.6752	37	ok
Story13	54.4	94.546	9.586	34.5096	37	ok
Story12	50.7	84.96	9.469	34.0884	37	ok
Story11	47	75.491	9.276	33.3936	37	ok
Story10	43.3	66.215	9.009	32.4324	37	ok
Story9	39.6	57.206	10.252	36.9072	44	ok
Story8	35.2	46.954	11.919	42.9084	55.5	ok
Story7	29.65	35.035	10.984	39.5424	57.5	ok
Story6	23.9	24.051	7.412	26.6832	45	ok
Story5	19.4	16.639	6.279	22.6044	45	ok
Story4	14.9	10.36	4.976	17.9136	45	ok
Story3	10.4	5.384	3.465	12.474	45	ok
Story2	5.9	1.919	1.81	6.516	50	ok
Story1	0.9	0.109	0.109	0.3924	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-8.2 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	6.595	-0.381	-1.3716	25	ok
Story32	125.5	6.976	0.09	0.324	37	ok
Story31	121.8	6.886	0.115	0.414	37	ok
Story30	118.1	6.771	0.128	0.4608	37	ok
Story29	114.4	6.643	0.141	0.5076	37	ok
Story28	110.7	6.502	0.157	0.5652	37	ok
Story27	107	6.345	0.174	0.6264	37	ok
Story26	103.3	6.171	0.08	0.288	45	ok
Story25	98.8	6.091	0.189	0.6804	37	ok
Story24	95.1	5.902	0.313	1.1268	37	ok
Story23	91.4	5.589	0.194	0.6984	37	ok
Story22	87.7	5.395	0.203	0.7308	37	ok
Story21	84	5.192	0.207	0.7452	37	ok
Story20	80.3	4.985	0.21	0.756	37	ok
Story19	76.6	4.775	0.214	0.7704	37	ok
Story18	72.9	4.561	0.218	0.7848	37	ok
Story17	69.2	4.343	0.223	0.8028	37	ok
Story16	65.5	4.12	0.227	0.8172	37	ok
Story15	61.8	3.893	0.233	0.8388	37	ok
Story14	58.1	3.66	0.237	0.8532	37	ok
Story13	54.4	3.423	0.245	0.882	37	ok
Story12	50.7	3.178	0.251	0.9036	37	ok
Story11	47	2.927	0.257	0.9252	37	ok
Story10	43.3	2.67	0.265	0.954	37	ok
Story9	39.6	2.405	0.325	1.17	44	ok
Story8	35.2	2.08	0.22	0.792	55.5	ok
Story7	29.65	1.86	0.524	1.8864	57.5	ok
Story6	23.9	1.336	0.408	1.4688	45	ok
Story5	19.4	0.928	0.358	1.2888	45	ok
Story4	14.9	0.57	0.282	1.0152	45	ok
Story3	10.4	0.288	0.164	0.5904	45	ok
Story2	5.9	0.124	0.073	0.2628	50	ok
Story1	0.9	0.051	0.051	0.1836	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการเสริมกำลัง EQY

ตารางที่ข-8.3 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	8.854	-0.018	-0.0648	25	ok
Story32	125.5	8.872	0.096	0.3456	37	ok
Story31	121.8	8.776	-0.438	-1.5768	37	ok
Story30	118.1	9.214	0.207	0.7452	37	ok
Story29	114.4	9.007	0.234	0.8424	37	ok
Story28	110.7	8.773	0.254	0.9144	37	ok
Story27	107	8.519	0.272	0.9792	37	ok
Story26	103.3	8.247	0.744	2.6784	45	ok
Story25	98.8	7.503	0.178	0.6408	37	ok
Story24	95.1	7.325	0.286	1.0296	37	ok
Story23	91.4	7.039	0.295	1.062	37	ok
Story22	87.7	6.744	0.307	1.1052	37	ok
Story21	84	6.437	0.315	1.134	37	ok
Story20	80.3	6.122	0.321	1.1556	37	ok
Story19	76.6	5.801	0.326	1.1736	37	ok
Story18	72.9	5.475	0.33	1.188	37	ok
Story17	69.2	5.145	0.334	1.2024	37	ok
Story16	65.5	4.811	0.335	1.206	37	ok
Story15	61.8	4.476	0.335	1.206	37	ok
Story14	58.1	4.141	0.336	1.2096	37	ok
Story13	54.4	3.805	0.335	1.206	37	ok
Story12	50.7	3.47	0.333	1.1988	37	ok
Story11	47	3.137	0.33	1.188	37	ok
Story10	43.3	2.807	0.327	1.1772	37	ok
Story9	39.6	2.48	0.411	1.4796	44	ok
Story8	35.2	2.069	0.255	0.918	55.5	ok
Story7	29.65	1.814	0.541	1.9476	57.5	ok
Story6	23.9	1.273	0.403	1.4508	45	ok
Story5	19.4	0.87	0.339	1.2204	45	ok
Story4	14.9	0.531	0.262	0.9432	45	ok
Story3	10.4	0.269	0.176	0.6336	45	ok
Story2	5.9	0.093	0.079	0.2844	50	ok
Story1	0.9	0.014	0.014	0.0504	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-8.4 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	136.364	0.764	2.7504	25	ok
Story32	125.5	135.6	3.482	12.5352	37	ok
Story31	121.8	132.118	4.959	17.8524	37	ok
Story30	118.1	127.159	5.02	18.072	37	ok
Story29	114.4	122.139	5.087	18.3132	37	ok
Story28	110.7	117.052	5.147	18.5292	37	ok
Story27	107	111.905	5.177	18.6372	37	ok
Story26	103.3	106.728	6.335	22.806	45	ok
Story25	98.8	100.393	5.22	18.792	37	ok
Story24	95.1	95.173	5.232	18.8352	37	ok
Story23	91.4	89.941	5.229	18.8244	37	ok
Story22	87.7	84.712	5.224	18.8064	37	ok
Story21	84	79.488	5.202	18.7272	37	ok
Story20	80.3	74.286	5.165	18.594	37	ok
Story19	76.6	69.121	5.113	18.4068	37	ok
Story18	72.9	64.008	5.046	18.1656	37	ok
Story17	69.2	58.962	4.964	17.8704	37	ok
Story16	65.5	53.998	4.864	17.5104	37	ok
Story15	61.8	49.134	4.747	17.0892	37	ok
Story14	58.1	44.387	4.612	16.6032	37	ok
Story13	54.4	39.775	4.46	16.056	37	ok
Story12	50.7	35.315	4.592	16.5312	37	ok
Story11	47	30.723	4.06	14.616	37	ok
Story10	43.3	26.663	3.851	13.8636	37	ok
Story9	39.6	22.812	4.284	15.4224	44	ok
Story8	35.2	18.528	4.605	16.578	55.5	ok
Story7	29.65	13.923	4.464	16.0704	57.5	ok
Story6	23.9	9.459	2.998	10.7928	45	ok
Story5	19.4	6.461	2.481	8.9316	45	ok
Story4	14.9	3.98	1.923	6.9228	45	ok
Story3	10.4	2.057	1.317	4.7412	45	ok
Story2	5.9	0.74	0.699	2.5164	50	ok
Story1	0.9	0.041	0.041	0.1476	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการเสริมกำลัง RESPONSE SPECTRUM

ตารางที่ข-8.5 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	$\delta x(mm)$	$\delta x_e(mm)$	Δa (mm)	Status
HELI	128	108.275	0.22	0.792	25	ok
Story32	125.5	108.055	0.421	1.5156	37	ok
Story31	121.8	107.634	-0.041	-0.1476	37	ok
Story30	118.1	107.675	0.703	2.5308	37	ok
Story29	114.4	106.972	0.914	3.2904	37	ok
Story28	110.7	106.058	1.177	4.2372	37	ok
Story27	107	104.881	1.617	5.8212	37	ok
Story26	103.3	103.264	2.877	10.3572	45	ok
Story25	98.8	100.387	3.099	11.1564	37	ok
Story24	95.1	97.288	3.897	14.0292	37	ok
Story23	91.4	93.391	3.987	14.3532	37	ok
Story22	87.7	89.404	4.239	15.2604	37	ok
Story21	84	85.165	4.376	15.7536	37	ok
Story20	80.3	80.789	4.413	15.8868	37	ok
Story19	76.6	76.376	4.342	15.6312	37	ok
Story18	72.9	72.034	4.17	15.012	37	ok
Story17	69.2	67.864	3.817	13.7412	37	ok
Story16	65.5	64.047	3.198	11.5128	37	ok
Story15	61.8	60.849	3.97	14.292	37	ok
Story14	58.1	56.879	4.428	15.9408	37	ok
Story13	54.4	52.451	4.653	16.7508	37	ok
Story12	50.7	47.798	4.714	16.9704	37	ok
Story11	47	43.084	4.598	16.5528	37	ok
Story10	43.3	38.486	4.314	15.5304	37	ok
Story9	39.6	34.172	4.426	15.9336	44	ok
Story8	35.2	29.746	4.044	14.5584	55.5	ok
Story7	29.65	25.702	5.717	20.5812	57.5	ok
Story6	23.9	19.985	5.041	18.1476	45	ok
Story5	19.4	14.944	4.946	17.8056	45	ok
Story4	14.9	9.998	4.422	15.9192	45	ok
Story3	10.4	5.576	3.421	12.3156	45	ok
Story2	5.9	2.155	2.005	7.218	50	ok
Story1	0.9	0.15	0.15	0.54	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-8.6 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	$\delta x(mm)$	$\delta x_e(mm)$	Δa (mm)	Status
HELI	128	138.639	-0.264	-0.9504	25	ok
Story32	125.5	138.903	2.319	8.3484	37	ok
Story31	121.8	136.584	4.003	14.4108	37	ok
Story30	118.1	132.581	4.126	14.8536	37	ok
Story29	114.4	128.455	4.409	15.8724	37	ok
Story28	110.7	124.046	4.767	17.1612	37	ok
Story27	107	119.279	4.645	16.722	37	ok
Story26	103.3	114.634	5.818	20.9448	45	ok
Story25	98.8	108.816	4.808	17.3088	37	ok
Story24	95.1	104.008	4.999	17.9964	37	ok
Story23	91.4	99.009	5.05	18.18	37	ok
Story22	87.7	93.959	5.097	18.3492	37	ok
Story21	84	88.862	5.117	18.4212	37	ok
Story20	80.3	83.745	5.115	18.414	37	ok
Story19	76.6	78.63	5.085	18.306	37	ok
Story18	72.9	73.545	5.038	18.1368	37	ok
Story17	69.2	68.507	4.891	17.6076	37	ok
Story16	65.5	63.616	4.456	16.0416	37	ok
Story15	61.8	59.16	4.824	17.3664	37	ok
Story14	58.1	54.336	4.903	17.6508	37	ok
Story13	54.4	49.433	4.874	17.5464	37	ok
Story12	50.7	44.559	5.361	19.2996	37	ok
Story11	47	39.198	4.666	16.7976	37	ok
Story10	43.3	34.532	4.533	16.3188	37	ok
Story9	39.6	29.999	5.172	18.6192	44	ok
Story8	35.2	24.827	5.522	19.8792	55.5	ok
Story7	29.65	19.305	5.728	20.6208	57.5	ok
Story6	23.9	13.577	4.067	14.6412	45	ok
Story5	19.4	9.51	3.481	12.5316	45	ok
Story4	14.9	6.029	2.801	10.0836	45	ok
Story3	10.4	3.228	2.003	7.2108	45	ok
Story2	5.9	1.225	1.144	4.1184	50	ok
Story1	0.9	0.081	0.081	0.2916	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-9 วิธี STEEL PLATE JACKETING หลังการเสริมกำลัง EQX

ตารางที่ข-9.1 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	216.325	0.755	2.718	25	ok
Story32	125.5	215.57	1.456	5.2416	37	ok
Story31	121.8	214.114	1.666	5.9976	37	ok
Story30	118.1	212.448	1.81	6.516	37	ok
Story29	114.4	210.638	0.786	2.8296	37	ok
Story28	110.7	209.852	5.391	19.4076	37	ok
Story27	107	204.461	3.979	14.3244	37	ok
Story26	103.3	200.482	5.535	19.926	45	ok
Story25	98.8	194.947	6.24	22.464	37	ok
Story24	95.1	188.707	6.596	23.7456	37	ok
Story23	91.4	182.111	7.139	25.7004	37	ok
Story22	87.7	174.972	7.68	27.648	37	ok
Story21	84	167.292	8.129	29.2644	37	ok
Story20	80.3	159.163	8.521	30.6756	37	ok
Story19	76.6	150.642	8.856	31.8816	37	ok
Story18	72.9	141.786	9.135	32.886	37	ok
Story17	69.2	132.651	9.355	33.678	37	ok
Story16	65.5	123.296	9.512	34.2432	37	ok
Story15	61.8	113.784	9.606	34.5816	37	ok
Story14	58.1	104.178	9.632	34.6752	37	ok
Story13	54.4	94.546	9.586	34.5096	37	ok
Story12	50.7	84.96	9.469	34.0884	37	ok
Story11	47	75.491	9.276	33.3936	37	ok
Story10	43.3	66.215	9.009	32.4324	37	ok
Story9	39.6	57.206	10.252	36.9072	44	ok
Story8	35.2	46.954	11.919	42.9084	55.5	ok
Story7	29.65	35.035	10.984	39.5424	57.5	ok
Story6	23.9	24.051	7.412	26.6832	45	ok
Story5	19.4	16.639	6.279	22.6044	45	ok
Story4	14.9	10.36	4.976	17.9136	45	ok
Story3	10.4	5.384	3.465	12.474	45	ok
Story2	5.9	1.919	1.81	6.516	50	ok
Story1	0.9	0.109	0.109	0.3924	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-9.2 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	6.595	-0.381	-1.3716	25	ok
Story32	125.5	6.976	0.09	0.324	37	ok
Story31	121.8	6.886	0.115	0.414	37	ok
Story30	118.1	6.771	0.128	0.4608	37	ok
Story29	114.4	6.643	0.141	0.5076	37	ok
Story28	110.7	6.502	0.157	0.5652	37	ok
Story27	107	6.345	0.174	0.6264	37	ok
Story26	103.3	6.171	0.08	0.288	45	ok
Story25	98.8	6.091	0.189	0.6804	37	ok
Story24	95.1	5.902	0.313	1.1268	37	ok
Story23	91.4	5.589	0.194	0.6984	37	ok
Story22	87.7	5.395	0.203	0.7308	37	ok
Story21	84	5.192	0.207	0.7452	37	ok
Story20	80.3	4.985	0.21	0.756	37	ok
Story19	76.6	4.775	0.214	0.7704	37	ok
Story18	72.9	4.561	0.218	0.7848	37	ok
Story17	69.2	4.343	0.223	0.8028	37	ok
Story16	65.5	4.12	0.227	0.8172	37	ok
Story15	61.8	3.893	0.233	0.8388	37	ok
Story14	58.1	3.66	0.237	0.8532	37	ok
Story13	54.4	3.423	0.245	0.882	37	ok
Story12	50.7	3.178	0.251	0.9036	37	ok
Story11	47	2.927	0.257	0.9252	37	ok
Story10	43.3	2.67	0.265	0.954	37	ok
Story9	39.6	2.405	0.325	1.17	44	ok
Story8	35.2	2.08	0.22	0.792	55.5	ok
Story7	29.65	1.86	0.524	1.8864	57.5	ok
Story6	23.9	1.336	0.408	1.4688	45	ok
Story5	19.4	0.928	0.358	1.2888	45	ok
Story4	14.9	0.57	0.282	1.0152	45	ok
Story3	10.4	0.288	0.164	0.5904	45	ok
Story2	5.9	0.124	0.073	0.2628	50	ok
Story1	0.9	0.051	0.051	0.1836	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการเสริมกำลัง EQY

ตารางที่ข-9.3 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	8.854	-0.018	-0.0648	25	ok
Story32	125.5	8.872	0.096	0.3456	37	ok
Story31	121.8	8.776	-0.438	-1.5768	37	ok
Story30	118.1	9.214	0.207	0.7452	37	ok
Story29	114.4	9.007	0.234	0.8424	37	ok
Story28	110.7	8.773	0.254	0.9144	37	ok
Story27	107	8.519	0.272	0.9792	37	ok
Story26	103.3	8.247	0.744	2.6784	45	ok
Story25	98.8	7.503	0.178	0.6408	37	ok
Story24	95.1	7.325	0.286	1.0296	37	ok
Story23	91.4	7.039	0.295	1.062	37	ok
Story22	87.7	6.744	0.307	1.1052	37	ok
Story21	84	6.437	0.315	1.134	37	ok
Story20	80.3	6.122	0.321	1.1556	37	ok
Story19	76.6	5.801	0.326	1.1736	37	ok
Story18	72.9	5.475	0.33	1.188	37	ok
Story17	69.2	5.145	0.334	1.2024	37	ok
Story16	65.5	4.811	0.335	1.206	37	ok
Story15	61.8	4.476	0.335	1.206	37	ok
Story14	58.1	4.141	0.336	1.2096	37	ok
Story13	54.4	3.805	0.335	1.206	37	ok
Story12	50.7	3.47	0.333	1.1988	37	ok
Story11	47	3.137	0.33	1.188	37	ok
Story10	43.3	2.807	0.327	1.1772	37	ok
Story9	39.6	2.48	0.411	1.4796	44	ok
Story8	35.2	2.069	0.255	0.918	55.5	ok
Story7	29.65	1.814	0.541	1.9476	57.5	ok
Story6	23.9	1.273	0.403	1.4508	45	ok
Story5	19.4	0.87	0.339	1.2204	45	ok
Story4	14.9	0.531	0.262	0.9432	45	ok
Story3	10.4	0.269	0.176	0.6336	45	ok
Story2	5.9	0.093	0.079	0.2844	50	ok
Story1	0.9	0.014	0.014	0.0504	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-9.4 Y-DIR

Story	Height(m)	U _y (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	136.364	0.764	2.7504	25	ok
Story32	125.5	135.6	3.482	12.5352	37	ok
Story31	121.8	132.118	4.959	17.8524	37	ok
Story30	118.1	127.159	5.02	18.072	37	ok
Story29	114.4	122.139	5.087	18.3132	37	ok
Story28	110.7	117.052	5.147	18.5292	37	ok
Story27	107	111.905	5.177	18.6372	37	ok
Story26	103.3	106.728	6.335	22.806	45	ok
Story25	98.8	100.393	5.22	18.792	37	ok
Story24	95.1	95.173	5.232	18.8352	37	ok
Story23	91.4	89.941	5.229	18.8244	37	ok
Story22	87.7	84.712	5.224	18.8064	37	ok
Story21	84	79.488	5.202	18.7272	37	ok
Story20	80.3	74.286	5.165	18.594	37	ok
Story19	76.6	69.121	5.113	18.4068	37	ok
Story18	72.9	64.008	5.046	18.1656	37	ok
Story17	69.2	58.962	4.964	17.8704	37	ok
Story16	65.5	53.998	4.864	17.5104	37	ok
Story15	61.8	49.134	4.747	17.0892	37	ok
Story14	58.1	44.387	4.612	16.6032	37	ok
Story13	54.4	39.775	4.46	16.056	37	ok
Story12	50.7	35.315	4.592	16.5312	37	ok
Story11	47	30.723	4.06	14.616	37	ok
Story10	43.3	26.663	3.851	13.8636	37	ok
Story9	39.6	22.812	4.284	15.4224	44	ok
Story8	35.2	18.528	4.605	16.578	55.5	ok
Story7	29.65	13.923	4.464	16.0704	57.5	ok
Story6	23.9	9.459	2.998	10.7928	45	ok
Story5	19.4	6.461	2.481	8.9316	45	ok
Story4	14.9	3.98	1.923	6.9228	45	ok
Story3	10.4	2.057	1.317	4.7412	45	ok
Story2	5.9	0.74	0.699	2.5164	50	ok
Story1	0.9	0.041	0.041	0.1476	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการเสริมกำลัง RESPONSE SPECTRUM
ตารางที่ข-9.5 X-DIR

Story	Height(m)	Ux (mm)	δx (mm)	δx_e (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	108.275	0.22	0.792	25	ok
Story32	125.5	108.055	0.421	1.5156	37	ok
Story31	121.8	107.634	-0.041	-0.1476	37	ok
Story30	118.1	107.675	0.703	2.5308	37	ok
Story29	114.4	106.972	0.914	3.2904	37	ok
Story28	110.7	106.058	1.177	4.2372	37	ok
Story27	107	104.881	1.617	5.8212	37	ok
Story26	103.3	103.264	2.877	10.3572	45	ok
Story25	98.8	100.387	3.099	11.1564	37	ok
Story24	95.1	97.288	3.897	14.0292	37	ok
Story23	91.4	93.391	3.987	14.3532	37	ok
Story22	87.7	89.404	4.239	15.2604	37	ok
Story21	84	85.165	4.376	15.7536	37	ok
Story20	80.3	80.789	4.413	15.8868	37	ok
Story19	76.6	76.376	4.342	15.6312	37	ok
Story18	72.9	72.034	4.17	15.012	37	ok
Story17	69.2	67.864	3.817	13.7412	37	ok
Story16	65.5	64.047	3.198	11.5128	37	ok
Story15	61.8	60.849	3.97	14.292	37	ok
Story14	58.1	56.879	4.428	15.9408	37	ok
Story13	54.4	52.451	4.653	16.7508	37	ok
Story12	50.7	47.798	4.714	16.9704	37	ok
Story11	47	43.084	4.598	16.5528	37	ok
Story10	43.3	38.486	4.314	15.5304	37	ok
Story9	39.6	34.172	4.426	15.9336	44	ok
Story8	35.2	29.746	4.044	14.5584	55.5	ok
Story7	29.65	25.702	5.717	20.5812	57.5	ok
Story6	23.9	19.985	5.041	18.1476	45	ok
Story5	19.4	14.944	4.946	17.8056	45	ok
Story4	14.9	9.998	4.422	15.9192	45	ok
Story3	10.4	5.576	3.421	12.3156	45	ok
Story2	5.9	2.155	2.005	7.218	50	ok
Story1	0.9	0.15	0.15	0.54	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-9.6 Y-DIR

Story	Height(m)	Uy (mm)	δx (mm)	δxe (mm)	Δa (mm)	Status
HELI	128	138.639	-0.264	-0.9504	25	ok
Story32	125.5	138.903	2.319	8.3484	37	ok
Story31	121.8	136.584	4.003	14.4108	37	ok
Story30	118.1	132.581	4.126	14.8536	37	ok
Story29	114.4	128.455	4.409	15.8724	37	ok
Story28	110.7	124.046	4.767	17.1612	37	ok
Story27	107	119.279	4.645	16.722	37	ok
Story26	103.3	114.634	5.818	20.9448	45	ok
Story25	98.8	108.816	4.808	17.3088	37	ok
Story24	95.1	104.008	4.999	17.9964	37	ok
Story23	91.4	99.009	5.05	18.18	37	ok
Story22	87.7	93.959	5.097	18.3492	37	ok
Story21	84	88.862	5.117	18.4212	37	ok
Story20	80.3	83.745	5.115	18.414	37	ok
Story19	76.6	78.63	5.085	18.306	37	ok
Story18	72.9	73.545	5.038	18.1368	37	ok
Story17	69.2	68.507	4.891	17.6076	37	ok
Story16	65.5	63.616	4.456	16.0416	37	ok
Story15	61.8	59.16	4.824	17.3664	37	ok
Story14	58.1	54.336	4.903	17.6508	37	ok
Story13	54.4	49.433	4.874	17.5464	37	ok
Story12	50.7	44.559	5.361	19.2996	37	ok
Story11	47	39.198	4.666	16.7976	37	ok
Story10	43.3	34.532	4.533	16.3188	37	ok
Story9	39.6	29.999	5.172	18.6192	44	ok
Story8	35.2	24.827	5.522	19.8792	55.5	ok
Story7	29.65	19.305	5.728	20.6208	57.5	ok
Story6	23.9	13.577	4.067	14.6412	45	ok
Story5	19.4	9.51	3.481	12.5316	45	ok
Story4	14.9	6.029	2.801	10.0836	45	ok
Story3	10.4	3.228	2.003	7.2108	45	ok
Story2	5.9	1.225	1.144	4.1184	50	ok
Story1	0.9	0.081	0.081	0.2916	9	ok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ตารางแปลงหน้าตัด

ตารางที่ค-1.ตารางการแปลงหน้าตัดของวัสดุ

E_{steel}	2,000,000	ksc
E_{polymer}	2,850,000	ksc
E_{concrete}	272,084.75	ksc
ความหนาของคอนกรีตที่เลือกใช้	73.5	cm
ความหนาของแผ่นเหล็กที่เลือกใช้	10.00	cm
ความหนาของพอลิเมอร์ที่เลือกใช้	8.6	cm

ภาคผนวก ง
รายละเอียดวัสดุ

ตารางรายละเอียดของวัสดุที่ใช้ในกรณีศึกษา

ตารางที่ ง-1 รายละเอียดของเหล็กแผ่นดำ HOT ROLLED STEEL PLATE AND SHEET grade :

SS400, SS490, SS540, SM400A, SM490YA, SPHC, SG295, A36, A572Gr50, A283C โดยผ่าน

มาตรฐาน มอก 528-2540, มอก 1479-2541, มอก 1499-2541 จาก บริษัท เอ็ม อี แมนเนจเม้นท์

จำกัด

ความหนา [mm.]	น้ำหนัก[kg.]				
	4" x 8" [1219x 2438mm.]	5" x 10" [1524x 3048mm.]	5" x 20" [2524x 6096mm.]	6" x 20" [1829x 6096mm.]	8" x 20" [2438 x 6096mm.]
1.2	28.03	43.80	87.60	105.12	140.16
1.4	32.70	51.10	102.20	122.64	163.52
1.5	35.04	54.75	109.50	131.40	175.20
1.6	37.38	58.40	116.80	140.16	186.88
1.8	42.05	65.70	131.40	157.68	210.24
2.0	46.72	73.00	146.00	175.20	233.60
2.3	53.73	83.95	167.90	201.48	268.64
2.5	58.40	91.25	182.50	219.00	292.00
2.8	65.41	102.20	204.40	245.28	327.04
3.0	70.08	109.50	219.00	262.80	350.04
3.2	74.75	116.80	233.60	280.00	373.76
3.5	81.76	127.75	255.50	306.60	408.80
4.0	93.44	146.00	292.00	350.40	467.20
4.5	105.12	164.25	328.50	394.20	525.60
5.0	116.80	182.50	365.00	438.00	584.00
5.5	128.48	200.75	401.50	481.80	642.40
6.0	140.16	219.00	438.00	525.60	700.80
7.0	163.52	255.50	511.00	613.20	817.60
8.0	186.88	292.00	584.00	700.80	934.40
9.0	210.24	328.50	657.00	788.40	1051.20
10.0	233.60	365.00	730.00	876.00	1168.00
11.0	256.96	401.50	803.00	963.60	1284.80
13	303.68	474.50	949.00	1138.80	1518.40
14	327.04	511.00	1022.00	1226.40	1635.20
15	350.40	547.50	1095.00	1314.00	1752.00
16	373.76	584.00	1168.00	1401.60	1868.80
19	443.84	693.50	1387.00	1664.40	2219.20
20	467.20	730.00	1460.00	1752.00	2336.00
22	513.92	803.00	1606.00	1927.20	2579.60
25	584.00	912.50	1825.00	2190.00	2920.00
28	654.08	1022.00	2044.00	2452.80	3270.40
30	700.80	1095.00	2190.00	2628.00	3504.00
32	747.52	1168.00	2336.00	2803.20	3737.60
34	794.24	1241.00	2482.00	2978.40	3971.20
35	817.60	1277.50	2555.00	3066.00	4088.00
36	840.96	1314.00	2628.00	3153.60	4204.08
38	887.68	1387.00	2774.00	3328.80	4438.40
40	934.40	1460.00	2920.00	3504.00	4672.00
45	1051.20	1642.50	3285.00	3942.00	5256.00
50	1168.00	1825.00	3650.00	4380.00	5840.00
60	1401.60	2190.00	4380.00	5256.00	7008.00
70	1635.20	2555.00	5110.00	6132.00	8176.00
80	1868.80	2920.00	5840.00	7008.00	9344.00
90	2102.40	3285.00	6570.00	7884.00	10512.00
100	2336.00	3650.00	7300.00	8760.00	11680.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-2 รายละเอียดข้อมูลคุณสมบัติของ Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) ชนิด sheet จากบริษัท บริษัท สมาร์ท แอนด์ โปर्थ จำกัด

Weight	300 g/m ²
Thickness	3.00 mm.
Tensile strength	590 kgf/cm ² (ASTM D3039)
Elongation	>1.5% (ASTM D3039)
Fiber Strength	>49,000 kgf/cm ² (JIS A 1191) 42,000 kgf/cm ² (ASTM D3039)
Modulus of Elasticity	2.55x10 ⁶ (ASTM D3039)
Design Tensile Strength	35,000 kgf/cm ² (ACI 440.2R-08)
Design Tensile Modulus	2.35x10 ⁶ (ACI 440.2R-08)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 รายละเอียดของเหล็ก Wide Flange แสดงขนาดหน้าตัดและ น้ำหนัก grade : SS400 และ

SS540 โดยผ่านมาตรฐาน TIS 1227-1996, JIS G 3129-1990 and JIS G 3101

Size(mm.)	Weight (kg)				Standard Sectional Dimension					
	HxB	1M.	6M.	9M.	12M.	H	B	t1	t2	r
	mm	kg/m	6kg/mm	9kg/mm	12kg/mm	mm	mm	mm	mm	mm
100x50		9.30	55.80	83.70	111.60	100	50	5	7	8
150x75		14.00	84.00	126.00	168.00	150	75	5	7	8
148x100		21.10	126.60	189.90	253.20	148	100	6	9	11
200x100		21.30	127.80	191.70	255.60	200	100	5.5	8	11
194x150		30.60	183.60	275.40	367.20	194	150	6	9	13
250x125		29.60	177.60	266.40	355.20	250	125	6	9	12
244x175		44.10	264.60	396.90	529.20	244	175	7	11	16
300x150		36.70	220.20	330.30	440.40	300	150	6.5	9	13
294x200		56.80	340.80	511.20	681.60	294	200	8	12	18
350x175		49.60	297.60	446.40	595.20	350	175	7	11	14
340x250		79.70	478.20	717.30	956.40	340	250	9	14	20
400x200		66.00	396.00	594.00	792.00	400	200	8	13	16
390x300		107.00	642.00	963.00	1,284.00	390	300	10	16	22
450x200		76.00	456.00	684.00	912.00	450	200	9	14	18
440x300		124.00	744.00	1,116.00	1,488.00	440	300	11	18	24
500x200		89.60	537.60	806.40	1,075.00	500	200	10	15	20
488x200		128.00	768.00	1,152.00	1,536.00	488	200	11	18	26
600x200		106.00	636.00	954.00	1,272.00	600	200	11	17	22
588x300		906.00	1,510.00	1,359.00	1,812.00	588	300	12	20	28
594x302		175.00	1,050.00	1,575.00	2,100.00	594	302	14	23	28
700x300		185.00	1,110.00	1,665.00	2,220.00	700	300	13	24	28
800x300		210.00	1,260.00	1,890.00	2,520.00	800	300	14	26	28
900x300		243.00	1,458.00	2,187.00	2,916.00	900	300	16	28	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-4 ตารางแสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์ตัวหน่วงยืดหยุ่นชนิดของเหลว (Fluid viscous damper)

FORCE (kN)	TAYLOR DEVICES MODEL NUMBER	SPHERICAL BEARING BORE DIAMETER (mm)	MID-STROKE LENGTH (mm)	STROKE (mm)	CLEVIS THICKNESS (mm)	MAXIMUM CLEVIS WIDTH (mm)	CLEVIS DEPTH (mm)	BEARING THICKNESS (mm)	MAXIMUM CYLINDER DIAMETER (mm)	WEIGHT (kg)
250	17120	38.10	787	±75	43	100	83	33	114	44
500	17130	50.80	997	±100	55	127	102	44	150	98
750	17140	57.15	1016	±100	59	155	129	50	184	168
1000	17150	69.85	1048	±100	71	185	150	61	210	254
1500	17160	76.20	1105	±100	77	205	162	67	241	306
2000	17170	88.90	1346	±125	91	230	191	78	286	500
3000	17180	101.60	1441	±125	117	290	203	89	350	800
4000	17190	127.00	1645	±125	142	325	273	111	425	1088
6500	17200	152.40	1752	±125	154	350	305	121	515	1930
8000	17210	177.80	1867	±125	178	415	317	135	565	2625

ตารางที่ ง-5 ตารางแสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์ตัวหน่วงแบบยืดหยุ่นชนิดแข็ง (Friction damper)

Name	Friction damper
Type	Plastic (Wen)
Mass(kg)	222.07
Weight(kN)	2.18
Direction	U1

ภาคผนวก จ
การจำแนกประเภทชั้นดิน

ตารางที่ จ-1 ตารางแสดงการจำแนกชั้นดิน

อ้างอิงจาก รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง อัตราการขยายคลื่นแผ่นดินไหวในพื้นที่เสี่ยงภัย
รศ.ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล และ ผศ.ดร. อาณัติ เรืองรัมย์

ความลึก (m)	$\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}$					
	จุฬาฯ	กรมอุตุฯ บางนา	A.I.T.	เชียงใหม่	ม. เชียงใหม่	วัดเจดีย์ หลวง
0-5				0.417	0.211	0.190
5-10				0.310	0.330	0.200
10-15	0.149		0.178	0.099	0.305	0.128
15-20	0.272	0.211	0.128		0.173	0.081
20-25	0.163	0.102	0.103			
25-30	0.117	0.167	0.262			
$\sum_{i=1}^n d_i$	17	14	18	13	19	19
\bar{N}	24	29	27	16	19	32
Class	D	D	D	D	C	D