การศึกษาและเปรียบเทียบการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว ของอาคารสูงที่ไม่ผ่านมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง

A COMPARATIVE STUDY OF STRENGTHENING HIGH-RISE BUILDINGS WITHOUT RESISTANCE EARTHQUAKE DESIGN

ฐานทัศน์ อนันตริยกุล
ธนภูมิ ศังขะศิลปิน
พิชาเชษฐ์ พันธุ์พรหมา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การศึกษาและเปรียบเทียบการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว ของอาคารสูงที่ไม่ผ่านมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง

A COMPARATIVE STUDY OF STRENGTHENING HIGH-RISE BUILDINGS WITHOUT RESISTANCE EARTHQUAKE DESIGN

ฐานทัศน์ อนันตริยกุล
ธนภูมิ ศังขะศิลปิน
พิชาเชษฐ์ พันธุ์พรหมา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A COMPARATIVE STUDY OF STRENGTHENING HIGH-RISE BUILDINGS WITHOUT RESISTANCE EARTHQUAKE DESIGN

THARNTUSANA ANANTARIYAKUL
THANAPOOM SANGKHASILPIN
PHICHACHET PHANPHOMMA

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงาน

หัวข้อโครงงาน	การศึกษาและเปรียบเทียบการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวของอาคารสูงที่ไม่ผ่านมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง			
นักศึกษา	ฐานทัศน์	อนันตริยกุล	รหัสประจำตัว	57010346
	ธนภูมิ	ศังขะศิลปิน	รหัสประจำตัว	57010561
	พิชาเชษฐ์	พันธุ์พรหมา	รหัสประจำตัว	57010897
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต			
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร			

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อาทิตย์	เพชรศศิธร	
รศ.สุวัฒน์	ถิรเศรษฐ์	
อ.ทรงกลด	แซ่อึ้ง	
ผศ.ดร.อำพน	จรัสจรุงเกียรติ	
ผศ.สมเกียรติ	ขวัญพฤกษ์	
ดร.อัฏฐวิทย์	สุจริตพงศ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 4/6/61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาและเปรียบเทียบการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว ของอาคารสูงที่ไม่ผ่านมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง

ฐานทัศน์ อนันตริยกุล รหัสประจำตัว 57010346
ธนภูมิ ศังขะศิลปิน รหัสประจำตัว 57010561
พิชาเชษฐ์ พันธุ์พรหมา รหัสประจำตัว 57010897

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเหตุการณ์แผ่นดินไหวเกิดขึ้นได้ทั้งในประเทศและนอกประเทศ ซึ่งมีผลกระทบต่อประเทศไทยทั้งทางตรงและทางอ้อม ทางกรมโยธาธิการและผังเมืองจึงได้มีมาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อป้องกันการการเกิดปัญหาแผ่นดินไหว หลังจากนั้นก็ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มเติมเป็น มาตรฐานการประเมินและเสริมความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

โครงการพิเศษนี้มีจุดมุ่งหมายให้ผู้อ่านได้เข้าใจถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ 1.การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก 2.การพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก 3.การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย และ4.โครงแกงแนง ซึ่งได้วิเคราะห์และศึกษาด้วยโปรแกรม ETABS จากนั้นนำมาเปรียบเทียบความเหมาะสมสำหรับอาคารที่นำมาศึกษา ซึ่งอาคารที่ได้นำมาเป็นตัวอย่างคืออาคารอื้อจื่อเหลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A COMPARATIVE STUDY OF STRENGTHENING HIGH-RISE BUILDINGS WITHOUT RESISTANCE EARTHQUAKE DESIGN

Tharntusana AnantariyakulStudent ID. 57010346
Thanapoom Sangkhasilpin Student ID. 57010561
Phichachet Phanphomma Student ID. 57010897

Advisor Asist.Prof.Dr.Arthit Phetchsasithon
Academic Year 2017

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 U Chu Liang Building.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับโครงงานนี้ พวกเราผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาท่านต่างๆที่ให้คำแนะนำอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการให้คำแนะนำในการทำโครงงาน รวมถึงการให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ ศึกษาในภาควิชาโยธานี้ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ฐานทัศน์ อนันตริยกุล รหัสประจำตัว 57010346
ธนภูมิ ศังขะศิลปิน รหัสประจำตัว 57010561
พิชาเชษฐ์ พันธุ์พรหมา รหัสประจำตัว 57010897

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หัวข้อ **หน้า**

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 1

1.1. ความเป็นมา 1

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3. ขอบเขตของโครงงานพิเศษ 1

1.4. ขั้นตอนการดำเนินงาน 2

1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 4

2.1. ประวัติการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย 4

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว 5

2.2.1. ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว 5

2.2.2. พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพมหานคร 5

2.2.3. ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร 7

2.2.4. การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัด 8

2.2.5. การเคลื่อนที่ตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นและการโก่งตัวของโครงสร้าง 12

2.3. อาคารที่นำมาศึกษา 13

2.3.1. อาคารอื่อจื้อเหลียง 13

2.4. คุณสมบัติของวัสดุและน้ำหนักบรรทุกกระทำต่อโครงสร้าง 18

2.5.การเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว 19

2.5.1.บทนำ 19

2.5.2. การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก 20

2.5.3.การพอกโครงสร้างเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ **หน้า**

2.5.4. การพอกโครงสร้างด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใย 24
2.5.5.โครงแกงแนง 27

บทที่ 3 29
3.1. รูปแบบการวิจัยหรือแบบแผนการวิจัย 29
3.2. การรวบรวมข้อมูล 29
3.3. เครื่องมือวิจัย 29
3.4. ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย 29
3.5. การสร้างแบบจำลองอาคาร 30
3.5.1. ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Etabs 30
..... 36
3.6.2. การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสถิตย์ 36
3.6.3. วิธีการเสริมกำลังของโครงสร้าง ในแบบจำลองในโปรแกรม 39
3.6.3.1 ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต 39
3.6.3.2 ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก 40
3.6.3.3 ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใย 40
3.6.3.4 ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานของโครงแกงแนง 41

บทที่ 4 44
4.1. พอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต 44
4.2. พอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก 46
4.3. พอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย 47
4.4. โครงแกงแนง 48

บทที่ 5 49
5.1.สรุปผลการทดลอง 49
5.1.1. ด้านสถาปัตยกรรม 49
5.1.2. ด้านราคา 49
5.2.ข้อเสนอแนะ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ **หน้า**

บรรณานุกรม.....51
ภาคผนวก ก.....53
ภาคผนวก ข.....67
ภาคผนวก ค.....88
ภาคผนวก ง.....90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หัวข้อ **หน้า**

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน....2
ตารางที่ 2.1 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ในโซนต่าง ๆ ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพฯ....6
ตารางที่ 2.2 การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคารและค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร 7
ตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง ตัวประกอบ, กำลังส่วนเกิน และตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว....9
ตารางที่ 2.4 รายละเอียดขนาดโครงสร้าง (เสา)....15
ตารางที่ 2.5 รายละเอียดขนาดโครงสร้าง (ผนังรับแรงเฉือน)....18
ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตประเภทโพลิเมอร์ชนิดแผ่นเสริมเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยแก้ว....24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หัวข้อ **หน้า**

รูปที่ 2.1 การแบ่งโซนพื้นที่แอ่งกรุงเทพเพื่อการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว 6
รูปที่ 2.2 อาคารอื้อจื่อเหลียง..... 13
รูปที่ 2.3 แสดงแผนที่ตั้งอาคารอื้อจื่อเหลียง..... 14
รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบของกำแพงรับแรงเฉือน ในส่วนของ ตึก tower..... 15
รูปที่ 2.5 แสดงขนาดเหล็กในกำแพงรับแรงเฉือน 16
รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบการจัดวางกำแพงรับแรงเฉือนในส่วนTower..... 16
รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบและขนาดเหล็กขนาดของกำแพงรับแรงเฉือนส่วนTower..... 17
รูปที่ 2.8 การหุ้มด้วยแผ่นเหล็ก (มยผ.1303-57,..... 20
รูปที่ 2.9 การหุ้มหน้าตัดด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก 22
รูปที่ 3.1วางแนว Grid line และจำนวนชั้นของแบบจำลอง..... 30
รูปที่ 3.2 กำหนดคุณสมบัติของคอนกรีต 400 KSC..... 31
รูปที่ 3.3 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติเสา 500×500mm..... 31
รูปที่ 3.4 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของผนังรับแรงเฉือน SW1 32
รูปที่ 3.5 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของแผ่นพื้นPost tension ความหนา250 มม. 32
รูปที่ 3.6 แปลนแบบจำลองของโครงสร้าง เสา ผนังรับแรงเฉือน และพื้น ชั้นที่ 2 33
รูปที่ 3.7 กำหนดจุดรองรับของแบบจำลองเป็นแบบยึดแน่น..... 33
รูปที่ 3.8 กำหนดน้ำหนักบรรทุกจร(LL) เท่ากับ 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร 34
รูปที่ 3.9 กำหนดให้พื้น D1 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid diaphragm) 34
รูปที่ 3.10 กำหนดให้พื้น D2 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid diaphragm) 35
รูปที่ 3.11 กำหนดค่าน้ำหนักสุทธิ (Mass source)..... 35
รูปที่ 3.12 กำหนดรูปแบบการสั่นพื้นฐานของอาคาร 36
รูปที่ 3.13 กำหนดกรณีและลักษณะของแรงแผ่นดินไหว..... 36
รูปที่ 3.14 กำหนดทิศทางของแรงแผ่นดินไหวเป็นทิศทาง Y 37
รูปที่ 3.15 กำหนดค่าสติฟเนสประสิทธิผลของเสา 37
รูปที่ 3.16 กำหนดค่าสติฟเนสประสิทธิผลของผนังรับแรงเฉือน 38
รูปที่ 3.17 กำหนดค่าสติฟเนสประสิทธิผลของแผ่นพื้นไร้คาน 38
รูปที่ 3.18 แสดงการเพิ่มความหนาชิ้นส่วนโครงสร้าง กำแพงรับแรงเฉือน 39
รูปที่ 3.19 แสดงวิธีการเพิ่มความหนาชิ้นส่วนโครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือน..... 39
รูปที่ 3.20 ชื่อชนิด และขนาดของโครงแกงแนงที่สามารถเลือกใช้..... 41
รูปที่ 3.21 กำหนดคุณสมบัติของโครงแกงแนง WF 700×300mm..... 42

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หัวข้อ **หน้า**

ปที่ 3.22 แบบสามมิติของแบบจำลองโครงสร้างหลังเสริมโครงแกงแนงบริเวณ ชั้นที่28.....42
รูปที่ 3.23 แบบสามมิติของแบบจำลองโครงสร้างหลังเสริมโครงแกงแนงบริเวณ ชั้นที่ 28 43
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและระยะการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ด้วยการพอกด้วยคอนกรีต.....45
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและระยะการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ด้วยการพอกด้วยแผ่นเหล็ก 46
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและระยะการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ด้วยการพอกด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย 47
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและระยะการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ด้วยโครงแกงแนง.....48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความเป็นมา

เนื่องจากปัจจุบันนั้นได้มีการเตรียมพร้อมเรื่องแผ่นดินไหวมากขึ้นทั้งภายในและภายนอกประเทศ ทางกรมโยธาธิการและผังเมืองจึงได้มีมาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาแผ่นดินไหวซึ่งเป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 49

ในที่นี้จึงได้มีการนำอาคารที่ได้ทำการสร้างก่อนกฎหมายรองรับแผ่นดินไหว มาวิเคราะห์โครงสร้างภายในอาคารและมาศึกษาหาวิธีการเสริมกำลังของโครงสร้างเพื่อสามารถรองรับแรงแผ่นดินไหวได้และเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบอาคาร

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารทั้งก่อนและหลังการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว

1.2.2. เพื่อศึกษาวิธีการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างอาคารศึกษา

1.2.3. เพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารที่ศึกษา โดยบอก ข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธี

1.3. ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1.3.1. ศึกษาเฉพาะแบบจำลองโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 38 ชั้น โครงการซื่ออื้อจื่อเหลียง สถานที่ตั้ง 968 ถนนพระราม4 แขวงสีลม เขตบางรัก กรุงเทพฯ ที่แบ่งตึกเป็น 2ส่วน ได้แก่ส่วนtowerสูง 38ชั้น ส่วนอาคารที่จอดรถสูง 11ชั้น โดยแต่ละส่วนมีผนังรับแรงเฉือนอาคารอยู่17ชิ้น และ6ชิ้น ตามลำดับ เสารอบนอก และระบบพื้นแบบ post tension, slab, และslab on groundด้วยโปรแกรม ETABS เท่านั้น

1.3.2. แรงกระทำด้านข้างเนื่องมาจากแผ่นดินไหวในการวิเคราะห์ใช้มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว เท่านั้น

1.3.3. ศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมการเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคาร (Lateral Displacement) และการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น (Inter-story Drift)

1.3.4. ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต เพื่อหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุด ในการเสริมกำลังแก่อาคารที่ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.5. ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก เพื่อหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุด โดยขนาดแผ่นเหล็กในตลาด ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มีความหนาตั้งแต่ 1.2-100 มม. เพื่อหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุด ในการเสริมกำลังแก่ตัวอาคารที่ศึกษา

1.3.6. ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานของการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย เพื่อหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุด ในการเสริมกำลังแก่อาคารที่ศึกษา

1.3.7. ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานของโครงแกงแนง โดยใช้เหล็กชนิดWide Flange มาตรฐาน ASTM ชนิดเหล็กแผ่นดำ เพื่อหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุด โดยศึกษาจากการเปรียบเทียบกัน

1.3.8. ศึกษาเปรียบเทียบวิธีเสริมโครงสร้างแต่ละวิธี เลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุด บอกข้อดี ข้อเสีย โดยคำนึงถึง ด้านสถาปัตยกรรมและด้านราคา เท่านั้น

1.3.9. ศึกษาโดยกำหนดแบบจำลองโครงสร้างอาคารเป็นรูปทรงไม่สมมาตรบนฐานรากยึดแน่นสูง 38 ชั้น

1.4. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

No.	Task Name	Duration	2017					2018			
			AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR
1	ศึกษาวิธีการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว	6 weeks									
2	หาข้อมูลของอาคารที่นำมาศึกษา	4 weeks									
3	สร้างโมเดลของอาคาร	10 weeks									
4	วิเคราะห์โครงสร้างอาคาร	2 weeks									
5	นำโมเดลอาคารมาเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว	12 weeks									
6	เปรียบเทียบวิธีการเสริมกำลังที่เหมาะสมแก่อาคาร	2 weeks									
7	สรุปผลการศึกษา	2 weeks									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1. ได้เรียนรู้วิธีการตรวจสอบอาคารด้วยโปรแกรม ETABS

1.5.2. .ได้ทราบพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

1.5.3. ได้เรียนรู้วิธีการประยุกต์ใช้โปรแกรม ETABS ในการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวของอาคาร

1.5.4. ได้ทราบถึงวิธีการเสริมการต้านแรงแผ่นดินไหวที่เหมาะสมที่สุด ของอาคารอื้อจื่อเหลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. ประวัติการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย

แผ่นดินไหว เป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของพื้นดิน อันเนื่องมาจากกรปลดปล่อยพลังงานเพื่อลดความเครียด ที่สะสมไว้ภายในโลกออกมาเพื่อปรับสมดุลของเปลือกโลกให้คงที่ ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ยังไม่สามารถทำนายเวลา สถานที่ และความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

ประเทศไทยไม่อาจจัดอยู่ในเขตที่ปลอดจากแผ่นดินไหวได้ เนื่องจากหลักฐานการบันทึกประวัติศาสตร์ (Historical Earthquake Data) จดหมายเหตุศิลาจารึกและพงศาวดารได้ ระบุว่าประเทศไทยเคยได้รับแผ่นดินไหวขนาดปลานกลางจนถึงขนาดใหญ่มาแล้วหลายครั้งและยังสร้างความเสียหายให้กับพื้นที่ในหลายภูมิภาคของประเทศโดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันตกมีแผ่นดินไหวครั้งสำคัญเมื่อ 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2478 ตรวจพบมีจุดเหนือศูนย์กลางอยู่ที่จังหวัดน่านมีขนาดถึง 6.5 ตามมาตราริกเตอร์ แผ่นดินไหวเช้าตรู่ของวันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2526 บริเวณเขื่อน วชิราลงกรณ์ จังหวัดกาญจนบุรี มีขนาด 5.9 ตามมาตรา ริกเตอร์ รู้สึกได้ทั่วทั้งภาคกลางและภาคเหนือ อาคารในกรุงเทพมหานครเสียหายเล็กน้อย และแผ่นดินไหวเกิดที่อำเภอพานจังหวัดเชียงราย เมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ.2537 มีขนาด 5.1 ตามมาตราริกเตอร์ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโรงพยาบาลอำเภอพาน จังหวัดเชียราย นอกจากนี้ ยังมีแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นแล้วมีจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณประเทศเพื่อนบ้านแล้วมีผลสะเทือนมาสู่ประเทศไทย โดยเฉพาะบริเวณภาคตะวันตกและภาคเหนือ ข้อมูลที่ได้การเกิดแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ (Instrumental Earthquake Data) โดยกรมอุตุนิยมวิทยาทำให้ทราบว่า จุดเหนือศูนย์แผนดินไหว (Epicenter) มีการกระจายตัวในแถบพรมแดนไทย-สหภาพพม่า ไทย-ลาว,จีน-สหภาพพม่าหรือในทะเลอันดามันซึ่งยังสามารถตรวจวัดได้เป็นประจำจึงแสดงให้เห็นชัดว่าเปลือกโลกในบริเวณแถบดังกล่าวยังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีมาตรการเตรียมพร้อมที่มีประสิทธิภาพสุดมาตรการหนึ่ง คือการออกแบบก่อสร้างอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวที่รุนแรงได้ ด้วยเหตุนี้ ในปี พ.ศ. 2540 จึงได้มีการออกกฎกระทรวงฉบับที่ 49 ภายใต้ พ.ร.บ. ควบคุมอาคารฯ มากำหนดให้มีการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวในพื้นที่จังหวัดภาคเหนือ และ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งในเวลาต่อมากฎกระทรวงดังกล่าวได้ถูกแทนที่โดยกฎกระทรวงโดยกฎกระทรวง พ.ศ. 2550 ซึ่งปรับปรุงขยายพื้นที่ควบคุมให้ครอบคลุมถึงกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลและจังหวัดในภาคใต้

กฎกระทรวงดังกล่าวนับได้ว่าเป็นก้าวสำคัญของการดำเนินการลดภัยพิบัติแผ่นดินไหวของประเทศไทย อย่างไรก็ดี ข้อกำหนดต่าง ๆ ในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว ที่ระบุไว้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎกระทรวงนั้น อ้างอิงมาจากมาตรฐานแม่แบบในต่างประเทศที่ค่อนข้างล้าสมัย ส่งผลให้การออกแบบมีข้อกำจำกัดหลายประการ และไม่สอดคล้องกับองค์ความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบันมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อให้มีความสมบูรณ์ทันสมัย และสอดคล้องกับหลักวิชาการในปัจจุบัน ทัดเทียมกับมาตรฐานในระดับสากล โดยคณะทำงานจัดทำมาตรฐาน ได้พิจารณาเลือกมาตรฐาน ASCE7-05 ของประเทศสหรัฐอเมริกา มาใช้เป็นมาตรฐานแม่แบบ และได้ดำเนินการปรับแก้ข้อกำหนด สัมประสิทธิ์ ค่าตัวประกอบ สูตรและสมการออกแบบบางส่วน เพื่อให้มาตรฐานฉบับนี้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับสภาวการณ์ของประเทศไทย

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว

มาตรฐานการออกแบบการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302 ของกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย

2.2.1. ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว

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

2.2.2. พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพมหานคร

พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพครอบคลุมกรุงเทพมหานครและจังหวัดปริมณฑลหลายจังหวัด พื้นที่นี้ได้ถูกแบ่งย่อยเป็น 7 โซน ดังรูปที่ 2.1 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ในพื้นที่ 7 โซนนี้ขึ้นกับวิธีการออกแบบดังนี้

สำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า ให้ใช้สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบที่กำหนดตามค่าที่แสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ในโซนต่าง ๆ ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพฯ หน่วยเป็น กรัม (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	0.297	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

รูปที่ 2.1 การแบ่งโซนพื้นที่แอ่งกรุงเทพเพื่อการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3. ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร

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

ตารางที่ 2.2 การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคารและค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ	ตัวประกอบความสำคัญ
อาคารและโครงสร้างอื่นๆ ที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้นๆ เช่น - อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร - อาคารชั่วคราว - อาคารเก็บของเล็กๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ	I (น้อย)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่นๆ ที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภท ความสำคัญ น้อย มาก และสูงมาก	II (ปกติ)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่นๆ ที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น - อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่งๆ มากกว่า 300 คน - โรงเรียนประถมหรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน - มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย ที่มีความจุมากกว่า 500 คน - สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ	III (มาก)	1.25
อาคารและโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน หรือ อาคารที่จำเป็นต่อการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุ เช่น - โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และโรงเก็บรถฉุกเฉินต่างๆ - โรงไฟฟ้า - โรงผลิตน้ำประปา ถังเก็บน้ำ และสถานีสูบจ่ายน้ำที่มีความดันสูงสำหรับการดับเพลิง - อาคารศูนย์สื่อสาร - อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย - ท่าอากาศยาน ศูนย์บังคับการบิน และโรงเก็บเครื่องบิน ที่ต้องใช้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน - อาคารศูนย์บัญชาการแห่งชาติ อาคารและโครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ การจัดเก็บ หรือการใช้สารพิษ เชื้อเพลิง หรือสารเคมี อันอาจก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นได้	IV (สูงมาก)	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4. การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัด

ระบบต้านแรงด้านข้างและระบบรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งของโครงสร้างอาคารอาจเป็นระบบใดระบบหนึ่งที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.3 หรือเป็นระบบผสมที่ได้จากการรวมระบบโครงสร้างหลายแบบ ระบบโครงสร้างที่สามารถเลือกใช้ได้จะขึ้นกับประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 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

ในกรณีที่วิศวกรผู้ออกแบบต้องการเลือกใช้ระบบโครงสร้างแบบอื่นที่มิได้มีระบุไว้ในตารางที่ 2.3 จะต้องดำเนินการพิสูจน์ด้วยการวิเคราะห์โครงสร้างและการทดสอบตัวอย่างโครงสร้างในห้องปฏิบัติการ เพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบโครงสร้างนั้น ๆ มีพฤติกรรมเชิงพลศาสตร์ ความสามารถในการต้านทานแรงทางด้านข้าง และความสามารถในการสลายพลังงานเทียบเท่าระบบโครงสร้างแบบใดแบบหนึ่งในตารางที่ 2.3 ที่มีค่าตัวประกอบ R , และ Cd เท่าเทียมกันกับระบบที่เลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Over strength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, Cd)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบค้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบด้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
1. ระบบค้ำแพงรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง (Bearing Wall System)	ค้ำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	4	2.5	4	√	√	x
	ค้ำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	5	√	√	√
	ค้ำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	3	2.5	3	√	x	x
	ค้ำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall)	4	2.5	4	√	√	x
2. ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	โครงเคนนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงดัดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	8	2	4	√	√	√
	โครงเคนนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment-Resisting Connections)	7	2	4	√	√	√
	โครงเคนนงเหล็กแบบครงศูนย์แบบให้รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5	√	√	√
	โครงเคนนงเหล็กแบบครงศูนย์แบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	3.5	2	3.5	√	√	x
	ค้ำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	√
	ค้ำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	4.5	√	√	x
	ค้ำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	4	2.5	4	√	x	x
	ค้ำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall)	5	2.5	4.5	√	√	x

หมายเหตุ √ = ใช้ได้ x = ห้ามใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบ กำลังส่วนเกิน (System Over strength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบ ขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, Cd) (ต่อ)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
3. ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียว(Ductile/Special Steel Moment-Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงถักต้านแรงดัดที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	7	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	4.5	3	4	√	√	x
	โครงต้านแรงดัดเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3	√	√	x
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียว (Ductile/Special Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวจำกัด (Ductile RC Moment-Resisting Frame with Limited Ductility/ Intermediate RC Moment-Resisting Frame)	5	3	4.5	√	√	x
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	3	3	2.5	√	x	x
4. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Ductile/Special Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับโครงแกงแนงเหล็กแบบอีริงศูนย์ (Steel Eccentrically Braced Frame)	8	2.5	4	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	x

หมายเหตุ √ = ใช้ได้ x = ห้ามใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบ กำลังส่วนเกิน (System Over strength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบ ขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, Cd) (ต่อ)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_o	C_d	ข	ค	ง
5. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Moment Resisting Frame with Limited Ductility/ Dual System with Intermediate Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกงแนงเหล็กแบบครงศูนย์แบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	6	2.5	5	√	√	x
	ร่วมกับคำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6.5	2.5	5	√	√	√
	ร่วมกับคำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5.5	2.5	4.5	√	√	x
6. ระบบปฏิสัมพันธ์ (Shear Wall Frame Interactive System)	ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างคำแพงรับแรงเฉือนและโครงต้านแรงดัดแบบธรรมดาที่ไม่มีการให้รายละเอียดความเหนียว (Shear Wall Frame Interactive System with Ordinary Reinforced Concrete Moment Frame and Ordinary Concrete Shear Wall)	4.5	2.5	4	√	x	x
7. ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว (Steel Systems Not Specifically Detailed for Seismic Resistance)	ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว	3	3	3	√	√	x

หมายเหตุ √ = ใช้ได้ x = ห้ามใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5. การเคลื่อนที่ตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นและการโก่งตัวของโครงสร้าง

2.2.5.1. การเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้

การเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (Design Story Drift, Δ) ที่คำนวณได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่าหรือวิธีพลศาสตร์จะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่ยอมให้ (Allowable Story Drift) ในกรณีที่อาคารมีการบิดตัวรอบแกนดิ่งอย่างชัดเจน เมื่อถูกแรงแผ่นดินไหวกระทำการคำนวณค่าการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น นี้จะต้องรวมผลของการบิดตัวของอาคารไปด้วย

ในกรณีที่อาคารมีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ค หรือ ง และมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวราบแบบ 1ก หรือ 1ข ค่า Δ จะเป็นค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้น ณ ขอบด้านใดด้านหนึ่งของอาคาร ณ ชั้นที่พิจารณาที่มีค่ามากที่สุด

องค์อาคารของระบบโครงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มิใช่ส่วนหนึ่งของระบบโครงสร้างต้านแรงแผ่นดินไหวจะต้องได้รับการออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนด ของมาตรฐาน ACI1318

หมายเหตุ

1. H_{sx} คือความสูงระหว่างชั้นที่อยู่ใต้พื้นชั้นที่ x
2. อาคารชั้นเดียวที่มีผนังภายใน ฉากกั้นห้อง ฝ้าเพดาน และผนังภายนอกที่ถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้มาก จะมีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเท่าใดก็ได้ไม่จำกัด แต่ยังคงต้องพิจารณาการเว้นระยะห่างระหว่างโครงสร้าง
3. โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบยื่นจากฐานรองรับ หมายถึง อาคารที่ถูกออกแบบให้ใช้กำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างในแนวดิ่งซึ่งยื่นขึ้นมาจากฐานรองรับ และถูกก่อสร้างในลักษณะที่มีถ่ายโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนระหว่างกำแพงข้างเคียง (แบบ Coupling Beam) น้อยมาก

2.2.5.2. การเคลื่อนตัวของอาคารเมื่อรับแรงแผ่นดินไหว

ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือความสามารถในการรับแรงของอาคาร โดยที่อาคารนั้นจะต้องมีการเคลื่อนตัวไม่น้อยกว่าค่าที่ยอมให้ มาตรฐาน มยผ.1302-52 ระบุว่าค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่แต่ละชั้นของอาคาร δ_x สามารถหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\delta_x = C_d \, \delta_{xe}/I \qquad \text{(สมการที่ 2.1)}$$

โดยที่ C_d คือ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัวดังแสดงในตารางที่ 2.3

δ_{xe} คือ ค่าการเคลื่อนตัวที่จุดศูนย์กลางมวลที่ชั้น x เนื่องจากแรงสถิตย์เทียบเท่าที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับระบบอิลาสติก

I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. อาคารที่นำมาศึกษา

2.3.1. อาคารอื่อจื้อเหลียง

ชื่ออาคาร: ตึกอื้อจื่อเหลียง หรือ U Chu Liang Building สำหรับภาษาอังกฤษ และอีกชื่อคือ HSBC Tower ที่ตั้ง: อาคารเลขที่ 968 พระราม 4 แขวงสีลม เขตบางรัก กรุงเทพฯ 10500 ความสูง: 160 เมตร มีจำนวนชั้นของอาคาร: อาคารสูงชั้น 41 ชั้น ความสูงของชั้น 2.70 เมตร พื้นที่อาคาร: 60,000 ตารางเมตร ประวัติการก่อสร้าง: ก่อสร้างเสร็จในปี พ.ศ.2541 มีความสูงเป็น อันดับที่ 87 ของสูงในประเทศไทย

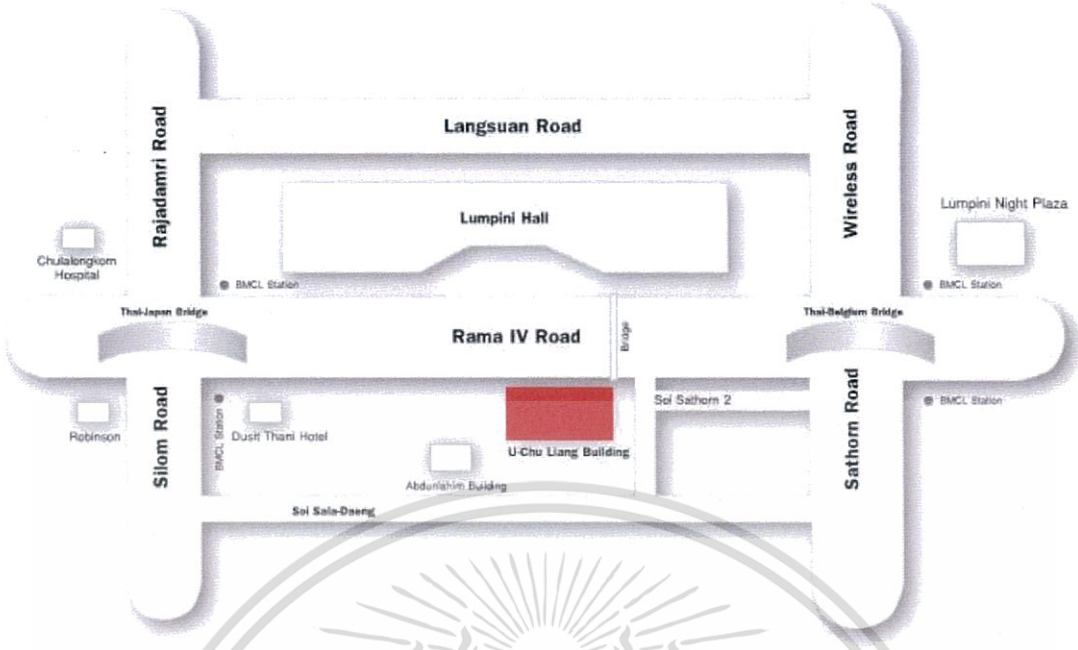
เพิ่มเติม:

อาคารสำนักงานให้เช่า มี ศูนย์อาหารภายในอาคาร, ร้านStarbucks, S&P, ร้าน FUJI, ร้านอาหารมากมาย TRUE SHOP, ธนาคาร HSBC, ธนาคารไทยพาณิชย์ เป็นต้น มีลิฟต์ 21 ตัว ลิฟต์ขนของ 2 ตัว ที่จอดรถประมาณ 1,600 คันการเดินทาง: รถไฟฟ้า BTS สถานีศาลาแดง และรถไฟฟ้าใต้ดิน MRT สถานีสีลม

รูปที่ 2.2 อาคารอื้อจื่อเหลียง

http://www.officebangkok.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



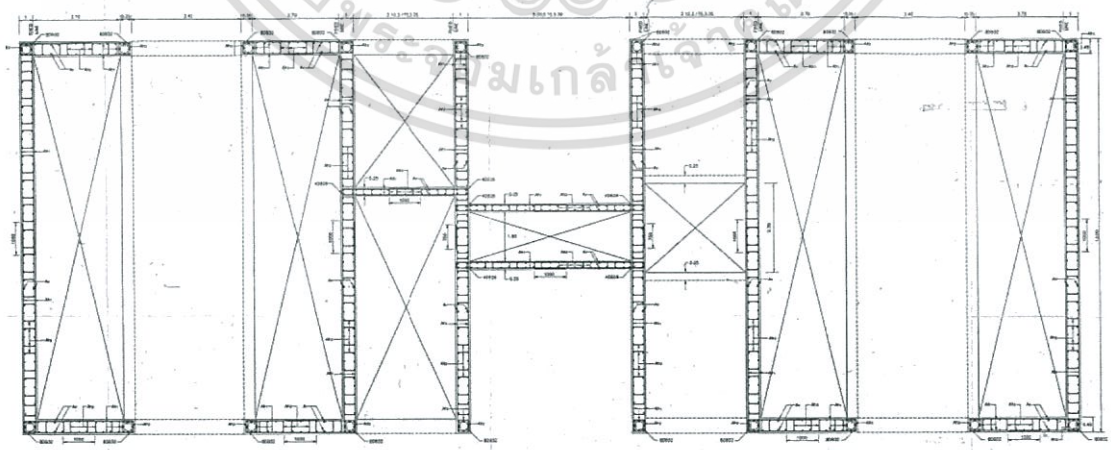
รูปที่ 2.3 แสดงแผนที่ตั้งอาคารอื้อจื่อเหลียง
http://www.saverclub.org/news_026.html

กำหนดให้แบบจำลองเป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 38 ชั้น และมีชั้นใต้ดินอีก 2 ชั้นสำหรับอาคารอื้อจื่อเหลียงถือเป็นอาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่ง ๆ มากกว่า 300 คนซึ่งจัดเป็นอาคารที่มีประเภทความสำคัญประเภท III ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งค่าตัวประกอบความสำคัญ, I, สำหรับอาคารประเภทดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 1.25 มีระบบโครงสร้าง ชนิด ระบบโครงการ ระบบต้านทานแรงด้านข้างด้วยระบบกำแพงรับแรงเฉือนธรรมดา (Ordinary Reinforcement Concrete Shear Wall) โดยมีค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง, R มีค่าเท่ากับ 5 ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยลักษณะโครงสร้างจัดอยู่ใน ลักษณะโครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด ซึ่งแต่ละชั้นมีการเคลื่อนตัวไม่เกิน 0.015h เมตร โดยความสูงระหว่างชั้นสูง 5 เมตรในชั้นที่ 2 ต่อมา 4 เมตรในชั้นที่ 29 กับชั้นที่ 33 และนอกเหนือจากนั้นที่เหลือมีความสูง 3.7 เมตร ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร และการรายละเอียดการจัดวางกำแพงรับแรงเฉือน ดังรูป ที่ 2.4, 2.5, 2.6 และ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดขนาดโครงสร้าง (เสา)

ID OF COLUMN	DIMENSION OF COLUMN
C1	500×500
C2	600×600
C3	650×650
C4	700×700
C5	750×750
C6	800×800
C7	850×800
C8	900×800
C9	900×900
C10	1000×800
C11	1000×1000
C12	1100×800
C13	1100×1100
C14	1200×1200
C15	1300×800
C16	1400×1400
C17	1500×800

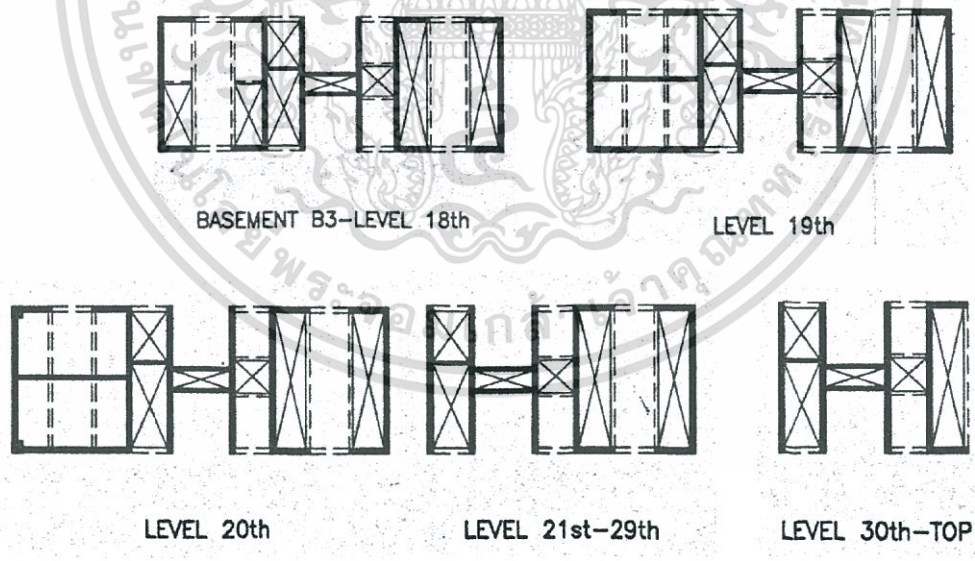


รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบของกำแพงรับแรงเฉือน ในส่วนของ ตึก tower

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

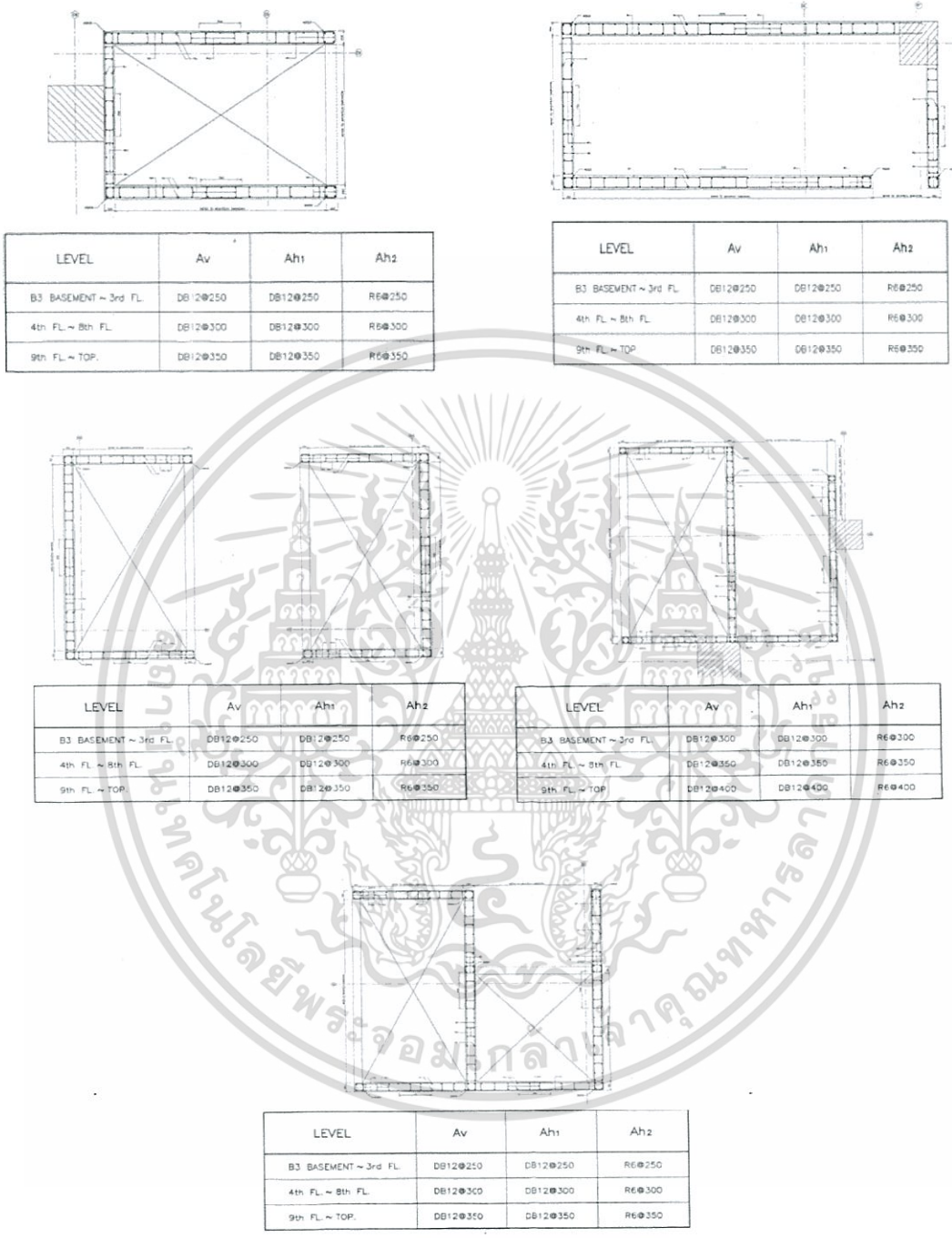
LEVEL	t (mm.)	Av	Ah1	Ah2	LEVEL	t (mm.)	Av	Ah1	Ah2
BASEMENT B3 - 1st FL.	450	DB20@150	DB16@125	R9@300	18th FL. - 21st FL.	375	DB20@275	DB16@250	R9@400
2nd FL. - 5th FL.	450	DB20@175	DB16@150	R9@300	22nd FL. - 25th FL.	375	DB20@275	DB16@275	R9@400
6th FL. - 9th FL.	450	DB20@200	DB16@175	R9@300	26th FL. - 29th FL.	300	DB20@300	DB16@275	R9@500
10th FL. - 13th FL.	375	DB20@225	DB16@200	R9@400	30th FL. - 33rd FL.	300	DB16@300	DB16@300	R9@500
14th FL. - 17th FL.	375	DB20@250	DB16@225	R9@400	34th FL. - TOP	300	DB16@300	DB16@300	R9@500

รูปที่ 2.5 แสดงขนาดเหล็กในกำแพงรับแรงเฉือน



รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบการจัดวางกำแพงรับแรงเฉือนในส่วนTower

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LEVEL	Av	Ah1	Ah2
B3 BASEMENT ~ 3rd FL.	DB12@250	DB12@250	R6@250
4th FL. ~ 8th FL.	DB12@300	DB12@300	R6@300
9th FL. ~ TOP.	DB12@350	DB12@350	R6@350

LEVEL	Av	Ah1	Ah2
B3 BASEMENT ~ 3rd FL.	DB12@250	DB12@250	R6@250
4th FL. ~ 8th FL.	DB12@300	DB12@300	R6@300
9th FL. ~ TOP.	DB12@350	DB12@350	R6@350

LEVEL	Av	Ah1	Ah2
B3 BASEMENT ~ 3rd FL.	DB12@250	DB12@250	R6@250
4th FL. ~ 8th FL.	DB12@300	DB12@300	R6@300
9th FL. ~ TOP.	DB12@350	DB12@350	R6@350

LEVEL	Av	Ah1	Ah2
B3 BASEMENT ~ 3rd FL.	DB12@300	DB12@300	R6@300
4th FL. ~ 8th FL.	DB12@350	DB12@350	R6@350
9th FL. ~ TOP.	DB12@400	DB12@400	R6@400

LEVEL	Av	Ah1	Ah2
B3 BASEMENT ~ 3rd FL.	DB12@250	DB12@250	R6@250
4th FL. ~ 8th FL.	DB12@300	DB12@300	R6@300
9th FL. ~ TOP.	DB12@350	DB12@350	R6@350

รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบและขนาดเหล็กขนาดของกำแพงรับแรงเฉือนส่วนTower

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดขนาดโครงสร้าง (ผนังรับแรงเฉือน)

ID OF WALL	Wall Thickness (mm)
RW-1	450
SW-1	150
SW-2	200
SW-3	250
SW-4	300
SW-5	375
SW-6	450

2.4. คุณสมบัติของวัสดุและน้ำหนักบรรทุกกระทำต่อโครงสร้าง

การตรวจสอบความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารอื้อจื่อเหลียงทำโดยอ้างอิงกับแบบวิศวกรรมโครงสร้างของอาคารและทำการจำลองแบบโครงสร้างอาคารด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนท์ โดยใช้คุณสมบัติของวัสดุและน้ำหนักบรรทุกตายตัวและน้ำหนักบรรทุกจรดังต่อไปนี้

คุณสมบัติของวัสดุ: คอนกรีตเสริมเหล็ก

<u>เหล็กเสริม</u>		เหล็กกลม	เหล็กข้ออ้อย
Grade (SR-24, SD-40 or SD-50)	:	SR-24	SD-40
กำลังรับแรงดึงที่จุดคราก, f_y (กก./ตร.ซม.)	:	2400	4000
modulus of elasticity, E_s (กก./ตร.ซม.)	:	2.04E+06	2.04×10^6

<u>คอนกรีต</u>

กำลังรับแรงอัดประลัยของเสาส่วน Tower, f_c' :

600 กก./ตร.ซม. (0.15x0.30m, cylinder)

กำลังรับแรงอัดประลัยของผนังคสล. และเสาอื่นๆ, f_c' :

400 กก./ตร.ซม. (0.15x0.30m, cylinder)

กำลังรับแรงอัดประลัยของพื้น คานคสล., f_c' :

350 กก./ตร.ซม. (0.15x0.30m, cylinder)

กำลังรับแรงอัดประลัยของพื้นชั้นใต้ดินและกำแพงกันดิน., f_c':

240 กก./ตร.ซม. (0.15x0.30m, cylinder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประกอบการออกแบบ

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

น้ำหนักบรรทุกคงที่	:	1.4
น้ำหนักบรรทุกจร	:	1.7

2) Reduction Factors

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

น้ำหนักบรรทุกที่ใช้

1) น้ำหนักบรรทุกคงที่

คอนกรีต	:	2,400	กก./ลบ.ม.
เหล็ก	:	7,850	กก./ลบ.ม.

2) น้ำหนักบรรทุกจร

ทางเดินและสำนักงาน	:	250	กก./ตร.ม.
ร้านค้าปลีกและร้านอาหาร	:	400	กก./ตร.ม.
โถงลิฟท์และบันได	:	300	กก./ตร.ม.
ที่จอดรถ	:	400	กก./ตร.ม.
ห้องเครื่อง	:	500	กก./ตร.ม.
หลังคา คสล.	:	200	กก./ตร.ม.

2.5.การเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว

2.5.1.บทนำ

หลักการสำคัญอันหนึ่งในการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารคือ การพยายามลดความไม่สม่ำเสมอที่มีอยู่ของโครงสร้างอาคาร (Reduction of existing irregularities) โดยการเสริมกำลังอาคารที่จะนำเสนอมีทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่

1. การพอกโครงสร้างด้วยเหล็ก (Steel plate jacketing)
2. การพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete jacketing)
3. การพอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (Polymer jacketing)
4. โครงแกงแนง (Bracing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสริมกำลังโดยวิธีพอกโครงสร้างจัดเป็นแนวทางการปรับปรุงชิ้นส่วนโครงสร้างเฉพาะที่ใช้ในกรณีที่ต้องการ โดยที่วัสดุที่นำมาพอกโครงสร้างได้แก่ คอนกรีต เหล็ก และพอลิเมอร์เสริมเส้นใย โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อเพิ่มกำลังของชิ้นส่วนให้เพียงพอกับแรงที่ต้องต้านทานจากผลแผ่นดินไหว อันได้แก่ กำลังรับแรงดัด แรงเฉือน การโอบรัดความสามารถในการเคลื่อนที่หรือความเหนียว และอื่นๆ การเสริมกำลังด้วยวิธีการดังกล่าวมานี้ ทั้งในการด้านการออกแบบและการก่อสร้างต้องทำให้เกิดพฤติกรรมร่วม (Composite action) ระหว่างหน้าตัดขององค์อาคารเดิมกับวัสดุเสริมกำลังที่นำมาติดตั้ง นอกจากนี้ ยังต้องคำนึงถึงกำลังรับน้ำหนักของชิ้นส่วนใดนั้น ต้องคำนึงถึงกำลังรับน้ำหนักของชิ้นส่วนเชื่อมต่อที่อยู่ข้างเคียงด้วยว่าสามารถต้านทานแรงที่ถ่ายมาจากชิ้นส่วนที่ส่วนเสริมกำลังแล้วหรือไม่ ทั้งนี้อาจต้องพิจารณาปรับปรุงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคารข้างเคียงด้วย สำหรับการคำนวณออกแบบเสริมกำลังชิ้นส่วนอาคารด้วยวิธีข้างต้นนั้น ให้ใช้สูตรหรือสมการตามมาตรฐานสากลหรืออ้างอิงจากผลการทดสอบที่เป็นที่น่าเชื่อถือ

2.5.2. การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก (Steel plate Jacketing)

การหุ้มด้วยแผ่นเหล็ก (Steel plate jacketing) เป็นวิธีการเสริมให้ชิ้นส่วนมีกำลังต้านทานแรงจากแผ่นดินไหวหรือมีความเหนียวของหน้าตัดที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวที่มากระทำต่อโครงสร้างได้ข้อดีคือมีราคาถูกและช่างก่อสร้างทั่วไปมีความคุ้นเคย แต่มีข้อเสียคืออาจเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่ให้แก่ชิ้นส่วน อีกทั้งการทำงานบางครั้งต้องรบกวนโครงสร้างเดิมมาก

การหุ้มด้วยแผ่นเหล็กจัดเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพิ่มกำลังรับโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และการทาบต่อเหล็กเสริม ดังแสดงในรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.8 การหุ้มด้วยแผ่นเหล็ก (มยผ.1303-57, กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหุ้มแผ่นเหล็กนั้น นอกจากสามารถเพิ่มกำลังต้านทานโมเมนต์ดัด กำลังต้านทานแรงเฉือน และกำลังที่รอยต่อทาบเหล็กเสริมแล้ว 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) ระหว่างการอัดฉีดประสานด้วยน้ำปูนซีเมนต์หรือมอร์ตาร์

2. การอัดฉีดประสานด้วยน้ำปูนซีเมนต์หรือมอร์ตาร์ (Grouting mortar)

ในการอัดฉีดน้ำปูนซีเมนต์หรือมอร์ตาร์ทำเพื่อให้เกิดการยึดเกาะประสานระหว่างแผ่นเหล็กและคอนกรีตเก่า ค่ากำลังรับแรงอัดของน้ำปูนซีเมนต์หรือมอร์ตาร์ที่นำมาอัดฉีดต้องไม่น้อยกว่า 21 เมกะปาสคาลและไม่น้อยกว่ากำลังอัดคอนกรีตเก่าของโครงสร้างเสาเดิม การเตรียมผิวก่อนการซ่อม การอัดฉีดประสานด้วยน้ำปูนซีเมนต์หรือมอร์ตาร์ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ต้องไม่ปรากฏช่องว่างระหว่างผิวคอนกรีตของโครงสร้างเดิมกับแผ่นเหล็ก และการฉีดประสาน ต้องเว้นระยะห่างบริเวณรอยต่อหัวเสากับโครงสร้างใกล้เคียงที่ยึดกับเสาเพื่อป้องกันการแตกร้าวเมื่อโครงสร้างให้ตัว

3. วิธีการยึดฝังกรณีใช้สายเหล็กรัดรอบ (Steel strap jacketing)

การใช้สายเหล็กรัดรอบแผ่นเหล็กรัดรอบแผ่นเหล็กเสาทำได้โดยการเชื่อมสายเหล็กรัดรอบเข้ากับเหล็กฉากที่ยึดแน่นเข้ากับมุมทั้งสี่ด้านของเสา สายเหล็กรัดรอบควรมีขนาดความกว้างไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร มีระยะเว้นระหว่างสายรัดรอบเสาตามแนวดิ่งไม่เกิน 300 มิลลิเมตร นอกจากนี้ควรจัดให้มีการเจาะยึดด้วยสลักเกลียว (bolt) ชนิดฝังแน่น เพื่อยึดสายเหล็กรัดรอบแนบติดเข้ากับเนื้อคอนกรีตเสาเดิม ปริมาณสลักเกลียว ระยะฝังและระยะห่างสลักเกลียวควรออกแบบให้มีการยึดฝังกระจายทั่วหน้าตัดเสาเดิมและเพียงพอที่ให้เกิดประสิทธิภาพของการโอบรัดเสาภายหลังการติดตั้ง หรือให้เป็นไปตามหลักการออกแบบเพื่อให้เสาสามารถต้านทานแผ่นดินไหว วิธีการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเก่า สลักเกลียวและวัสดุซ่อมให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.การพอกโครงสร้างเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced concrete jacketing)

การหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก(Concrete jacketing) ในส่วนหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น ประกอบด้วยเหล็กแกนเหล็กปลอก และคอนกรีตหุ้ม ซึ่งเพิ่มกำลังต้านทานแรงดัด แรงเฉือน และเสริมความเสริมความแข็งแรงที่บริเวณรอยต่อที่ทาบเหล็กด้วย ข้อพิจารณาที่สำคัญในการออกแบบและก่อสร้างส่วนหุ้มคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้องคำนึงการถ่ายเทแรงเฉือนที่ผิวสัมผัสระหว่างหน้าตัดคอนกรีตเดิมและส่วนหุ้ม ซึ่งอาจต้องออกแบบเหล็กเดือย (Dowel bars) เพื่อยึดวัสดุใหม่และวัสดุเดิมเข้าไว้ด้วยกันเป็นหน้าตัดเชิงประกอบ (Composite section)

เพื่อป้องกันการวิบัติเฉือนและดัดที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วน อาจใช้วิธีการเสริมกำลังด้วยการหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforcement concrete jacketing) ซึ่งวิธีนี้สามารถเพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนและกำลังต้านโมเมนต์ให้แก่ชิ้นส่วนได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างการหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กแสดงดังรูปที่ 2.9 ซึ่งแสดงให้เห็นหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเดิม

รูปที่ 2.9 การหุ้มหน้าตัดด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก
(มยผ.1303-57,กรมโยธาธิการและผังเมือง,
กระทรวงมหาดไทย, 2557)

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

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพอกโครงสร้างเสาที่มีอยู่เดิมด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กมีข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ดังนี้

1. คุณสมบัติของคอกรีตใหม่ที่นำมาพอก

ค่ากำลังอัดของคอนกรีตใหม่มาพอกดาดทับชั้นเหล็กเสริม ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หล่อเสาเดิม นอกจากนี้คอนใหม่ควรมีคุณสมบัติอื่นๆเช่นเดียวกับวัสดุซ่อมทั่วไปตามที่กำหนดในมาตรฐาน

2. ความหนาของคอนกรีตใหม่ที่นำมาพอก

ความหนาของคอนกรีตใหม่ที่นำมาพอกดาดทับชั้นเหล็กเสริมต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร สำหรับการพอกหล่อในที่และไม่น้อยกว่า 40 มิลลิเมตร สำหรับการพอกด้วยวิธีการพ่น การพอกด้วยคอนกรีตใหม่ให้ทำโดยรอบเสาทั้ง 4 ด้าน เพื่อให้เกิดพฤติกรรมร่วมระหว่างคอนกรีตเก่าและวัสดุที่พอกโดยการพอกควรเว้นระยะห่างเล็กน้อยช่วงจุดต่อระหว่างโครงสร้างข้างเคียงบริเวณเสาที่พอกเพื่อป้องกันการแตกร้าวเมื่อโครงสร้างให้ตัวขณะรับแรงดัด

3. พื้นที่หน้าตัดเหล็กยืนขั้นต่ำบริเวณที่ทำการพอก

การเพิ่มเหล็กเสริมเพิ่มเติมก่อนการดาดด้วยคอนกรีตใหม่ให้เป็นไปตามข้อกำหนดและให้เป็นไปตามหลักการออกแบบที่ให้เสาสามารถต้านทานแผ่นดินไหว โดยพื้นที่หน้าตัดเหล็กยืนของเหล็กเสริมควรอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.04 ของพื้นที่ทั้งหมดที่พอก ยกเว้นกรณีที่พอกคอนกรีตใหม่เพื่อการโอบรัดหรือเพื่อการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนเท่านั้น กำหนดให้ใช้เหล็กเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 12 มิลลิเมตรขึ้นไปบริเวณมุมเสา และควรเจาะเหล็กยืนให้ทะลุผ่านโครงสร้างข้างเคียง เช่น พื้น คาน ตลอดแนวความสูงของเสาทุกชั้นก่อนการดาดพอกด้วยคอนกรีตใหม่

4. พื้นที่หน้าตัดเหล็กปลอกขั้นต่ำบริเวณที่ทำการพอก

ในการเสริมเหล็กปลอกเพิ่มเติมบริเวณทีมีการดาดทับด้วยคอนกรีตใหม่ เหล็กปลอกที่ใช้ต้องมีขนาดผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตรขึ้นไป หรือ 1/3 ของส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กยืนที่ใหญ่ที่สุดของหน้าตัดเสา ยกเว้นกรณีใช้ลวดตาข่าย (wire mesh) ควรมีข้องอทำมุม 135 องศากรณีมีเหล็กลอกประกอบกันมากกว่า 1 ชั้น ทั้งนี้การออกแบบพื้นที่หน้าตัดเหล็กปลอกขั้นต่ำหรือลวดตาข่ายให้เป็นไปตามหลักการออกแบบเสา เพื่อให้มีความเหนียวเพียงพอ

5. วิธีการยึดฝัง

ชั้นเหล็กเสริมและเหล็กปลอกที่ติดตั้งเพิ่มเติมก่อนการดาดด้วยคอนกรีตใหม่ต้องยึดฝังเข้ากับคอนกรีตเก่าเพื่อทำให้เกิดกลไกการถ่ายแรงเฉือนที่สมบูรณ์ภายหลังการซ่อมโดยระยะฝังต้องออกแบบหะลุผ่านจากชั้นวัสดุซ่อมไปจนถึงเนื้อคอนกรีตเก่าและเพียงพอที่ให้เกดประสิทธิภาพของการโอบรัดเสาภายหลังการติดตั้ง วิธีการยึดฝังให้เป็นไปตามมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4. การพอกโครงสร้างด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Fiber Reinforced Polymer)

เส้นใย เรซิน วัสดุยึดประสาน สารเคลือบเส้นใย วัสดุฉาบ สารเคลือบป้องกันผิวและวัสดุอื่นใดที่ไม่ได้กล่าวถึงนี้ หากนำมาใช้เป็นองค์ประกอบของวัสดุเพื่อการซ่อมแซมและเสริมกำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการติดหรือหุ้มภายนอกโครงสร้างปกติด้วยวัสดุคอมโพสิตประเภทพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ก่อนและหลังการซ่อมแซมและเสริมกำลังต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบด้วยวิธีการทดสอบคุณสมบัติ อาทิ การประเมินกำลังรับแรงดึง โมดูลัสยืดหยุ่น ความเครียดประลัย การตรวจสอบการยึดเหนี่ยว การตรวจสอบความหนาและการทดสอบอื่นๆที่กำหนดใน มยผ.1508-51 และ มยผ.1901-51 หรือในเอกสารมาตรฐานอื่นใดที่เป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานสากล โดยค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าที่อ้างถึงในแบบเกินกว่าร้อยละ 5 และค่าต่ำสุดของคุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าที่อ้างถึงในแบบเกินกว่าร้อยละ 10 จึงถือว่าใช้ได้

คุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตประเภทโพลิเมอร์เสริมเส้นใย วัสดุรองพื้น วัสดุฉาบ วัสดุเรซินตลอดจนข้อปฏิบัติในการติดตั้งและการทดสอบให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ยอมรับตามมาตรฐานสากล

1. คุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตประเภทโพลิเมอร์ชนิดแผ่นเสริมเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยแก้ว

ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตประเภทโพลิเมอร์ชนิดแผ่นเสริมเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยแก้ว

คุณสมบัติ	เส้นใยคาร์บอนโมดูลัสสูงประเภทพอลิอะคริโลไนทริล		เส้นใยอะรามิด
	ชนิด 3400	ชนิด 2900	โมโนเมอร์ชนิดเดียว
กำลังรับแรงดึง (MPsc)	มากกว่า 3400	มากกว่า 2900	มากกว่า 2060
โมดูลัสยืดหยุ่น (MPsc)	230+45 หรือ 230-15		118±20
ความหนาแน่นเส้นใยเสริมกำลัง(g/cm^3)	1.80+-0.05		1.45+-0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัสดุรองพื้นและวัสดุฉาบ

การเลือกใช้ชนิดของวัสดุรองพื้นและวัสดุฉาบควรเลือกให้สัมพันธ์กับระบบการติดตั้งวัสดุคอมโพสิตประเภท โพลิเมอร์เสริมเส้นใย ทั้งนี้เพื่อให้การเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างในด้านกำลังรับแรงดัด แรงเฉือน การโอบรัด ความสามารถในการเคลื่อนที่หรือความเหนียวเป็นไปตามหลักการออกแบบให้ต้านทานแผ่นดินไหว วัสดุรองพื้นที่ต้องเป็นวัสดุที่เข้ากันได้กับวัสดุยึดประสาน สารเคลือบเส้นใย วัสดุฉาบ และสารเคลือบป้องกันผิว เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและการยึดเหนี่ยวที่ไม่สมบูรณ์ขึ้นได้ในระหว่างการติดตั้ง ชนิดของวัสดุรองพื้นหรือวัสดุฉาบที่นำมาใช้ซ่อมแซมและเสริมกำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการติดหรือการหุ้มภายนอกโครงสร้างปกติด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน มยผ.1508-51 และ มยผ.1901-51

3. คุณสมบัติความหนืดของวัสดุเรซิน

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

4. การติดตั้งวัสดุคอมโพสิต

เตรียมผิวก่อนการซ่อมพื้นผิวระหว่างบริเวณเนื้อคอนกรีตเก่าและใหม่ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐาน มยผ.1901-51 โดยสำหรับเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยม ให้ทำการลบมุมทั้งสี่มุมโดยควรให้มีรัศมีมุมโค้งไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร และค่าความหนาพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ต้องพับรอบเสาควรใช้เป็น 2 เท่าของค่าที่คำนวณได้จากสูตรเสากลมที่คำนวณด้วยค่าความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยว

การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเก่าและวัสดุซ่อมให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน มยผ.1901-51 เมื่ออาคารรับแรงแผ่นดินไหว 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติของหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก คุณสมบัติของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ใช้พอกเสา และแรงภายในที่เกิดขึ้นในเสา ซึ่งได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารประกอบด้วย แรงอัดตามแนวแกน แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นทั้งสองทาง ทำการตรวจสอบเกณฑ์การพอกโครงสร้างด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเพื่อออกแบบเสริมกำลังชิ้นส่วน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปดังนี้

1. ตรวจสอบเกณฑ์การพอกโครงสร้าง จากความต้องการกำลังรับแรงเฉือน เพื่อเพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือน เพื่อเพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนของชิ้นส่วน โดยพิจารณาผลต่างระหว่างแรงเฉือนประลัยที่ต้องต้านทาน *Vu* (แรงภายในที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร) และกำลังต้านทานแรงเฉือน *Vu* ตามสมการที่ (ข.3-12) ในภาคผนวก ข ของมยผ. 1303-57[1] ซึ่งพิจารณาตัวคูณลดกำลังแล้ว ความหนาของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ต้องใช้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ข.3-15) และ (ข.3-16) ในภาคผนวก ข ของมยผ. 1303-57[1] สำหรับเสาหน้าตัดกลมและเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมตามลำดับ และระยะการพันพอลิเมอร์ เสริมเส้นใยเพื่อเสริมกำลังรับแรงเฉือนเป็นไปตามข้อ ภาคผนวก ข ของมยผ. 1303-57 [1]

2. ตรวจสอบเกณฑ์การพอกโครงสร้าง จากการเพิ่มความสามารถในการเสียรูป โดยทำให้ชิ้นส่วนเกิดพฤติกรรมของการโอบรัดบริเวณจุดหมุนพลาสติก เพื่อป้องกันการวิบัติ ที่ตำแหน่งดังกล่าว ความหนาของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ต้องใช้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ข.3-17) ในภาคผนวก ข ของมยผ. 1303-57[1] และระยะการพันพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเพื่อการโอบรัดเป็นไปตามข้อ ข.3.5 ในภาคผนวก ข ของมยผ. 1303-57[1]

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

2.5.5.โครงแกงแนง (Bracing)

การเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนเป็นอีกวิธีหนึ่งที่เสริมความแข็งแรงโดยรวมให้กับอาคารโดยเหมือนเป็นการเพิ่มโครงสร้างใหม่ที่ช่วยต้านทานแรงด้านข้างภายใต้แผ่นดินไหวที่พิจารณา การเสริมโครงสร้างลักษณะนี้สามารถนำไปใช้กับโครงสร้างที่อ่อนแอซึ่งมีการเคลื่อนที่ไปมากภายใต้สภาวะแผ่นดินไหว

การเสริมโครงสร้างโดยการเพิ่มโครงแกงแนงสามารถลดความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงอาคารได้ และถ้าหากกรณีที่อาคารมีความไม่สม่ำเสมอในด้านการบิดการวางโครงแกงแนงในตำแหน่งที่เหมาะสมก็สามารถช่วยลดความไม่สม่ำเสมอดังกล่าวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ในการจัดทำแบบจำลองเพื่อประเมินโครงสร้างที่มีการเสริมโครงแกงแนงมีข้อพิจารณาคือส่วนของโครงสร้างที่เพิ่มใหม่อาจไม่ได้ช่วยรับแรงในแนวดิ่งที่กระทำกับอาคารเดิมอยู่ ในการจำลองโครงสร้างจึงต้องพิจารณาการกระจายแรงในแนวดิ่งให้เหมาะสม ตามขั้นต้อนวิธีการก่อสร้างและการเสริมกำลังในการเสริมกำลัง ต้องทำให้โครงสร้างสามารถถ่ายแรงไปสู่ส่วนของโครงสร้างใหม่ได้ตามที่สมมุติในแบบจำลองและในกรณีที่จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

3.1. รูปแบบการวิจัยหรือแบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการเสริมกำลังโดยวิธีการเสริมได้แก่ การพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต, การพอกโครงสร้างด้วยเหล็ก, การพอกโครงสร้างด้วยโพลิเมอร์เสริมเส้นใย (CFRP), และการเสริมโครงแกงแนง (Bracing) เพื่อที่จะให้ผ่านมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยศึกษาและเปรียบเทียบจาก พิจารณาระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคาร เนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง

เมื่อ EQ_X คือ แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

EQ_Y คือ แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน Y โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

3.2. การรวบรวมข้อมูล

ทำการรวบรวมข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ หนังสือ และเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องโดยได้ให้รายละเอียด ไว้แล้วในบทก่อนหน้านี้

3.3. เครื่องมือวิจัย

วิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างอาคารก่อนเสริมกำลัง และหลังเสริมกำลังด้วยวิธีแรงสถิตย์เทียบเท่า โดยวิธีการเสริมดังที่กล่าวไว้ เนื่องจากแรงแผ่นดินไหวด้วยโปรแกรม ETABS

3.4. ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกี่ยวกับการเสริมกำลัง ได้แก่ การพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต, การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก, การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย และ โครงแกงแนง
2. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1302)
3. ศึกษาข้อมูลวิธีการใช้งานโปรแกรม ETABS
4. สร้างแบบจำลองอาคารอื้อจือเหลียง สูง 38 ชั้น โดยใช้โปรแกรม ETABS
5. คำนวณหาแรงกระทำด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว โดยโปรแกรม ETABS
6. สร้างแบบจำลองระบบวิธีการเสริมกำลังต่างๆ ได้แก่ การพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต , การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก, การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย และ โครงแกงแนง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

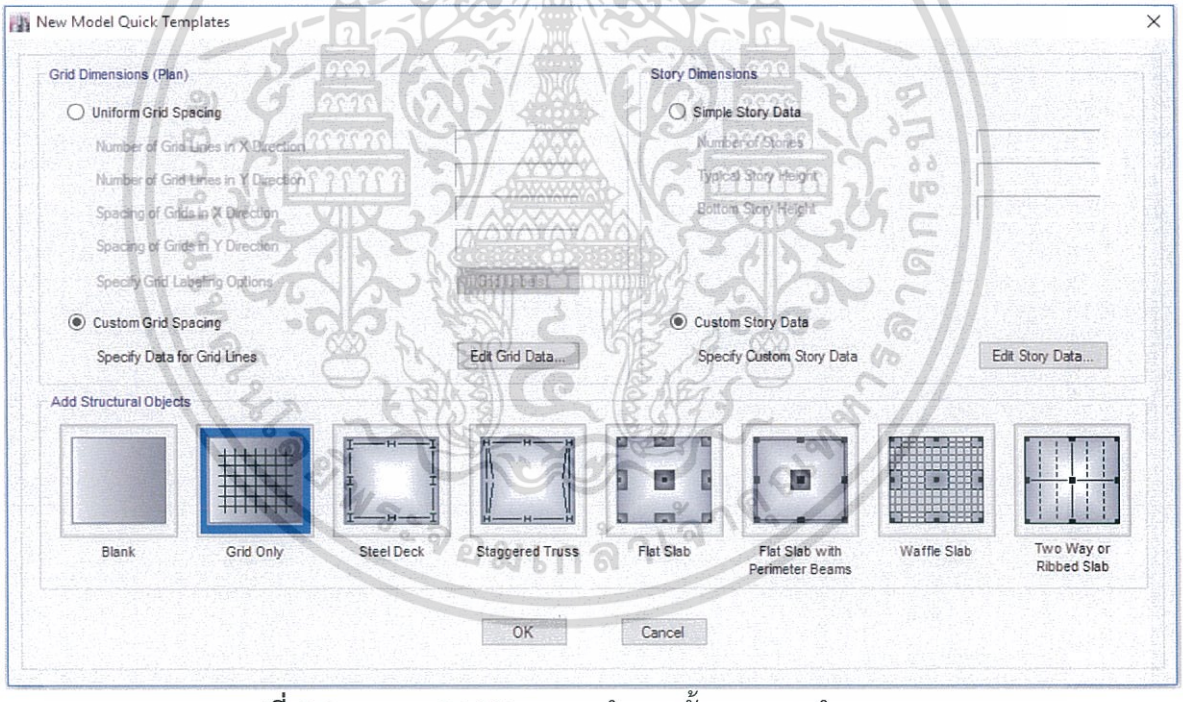
7. โดยเสริมกำลังที่แบบจำลองอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
8. ทำการวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบข้อมูลระบบวิธีการเสริมกำลัง
9. สรุปผลการวิจัยพร้อมทั้งจัดรูปเล่ม

3.5. การสร้างแบบจำลองอาคาร

3.5.1. ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Etabs

ในส่วนของการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Etabs จะทำการจำลองโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 38 ชั้น และชั้นใต้ดิน 3 ชั้น (ตึกอื้อจื่อเหลียง) ซึ่งรูปตัดของโครงสร้างอาคารแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก. การสร้างแบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Etabs วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานในการคำนวนแรงแผ่นดินไหวเพื่อดูค่าการโก่งตัวของอาคาร (Deflection Shape)

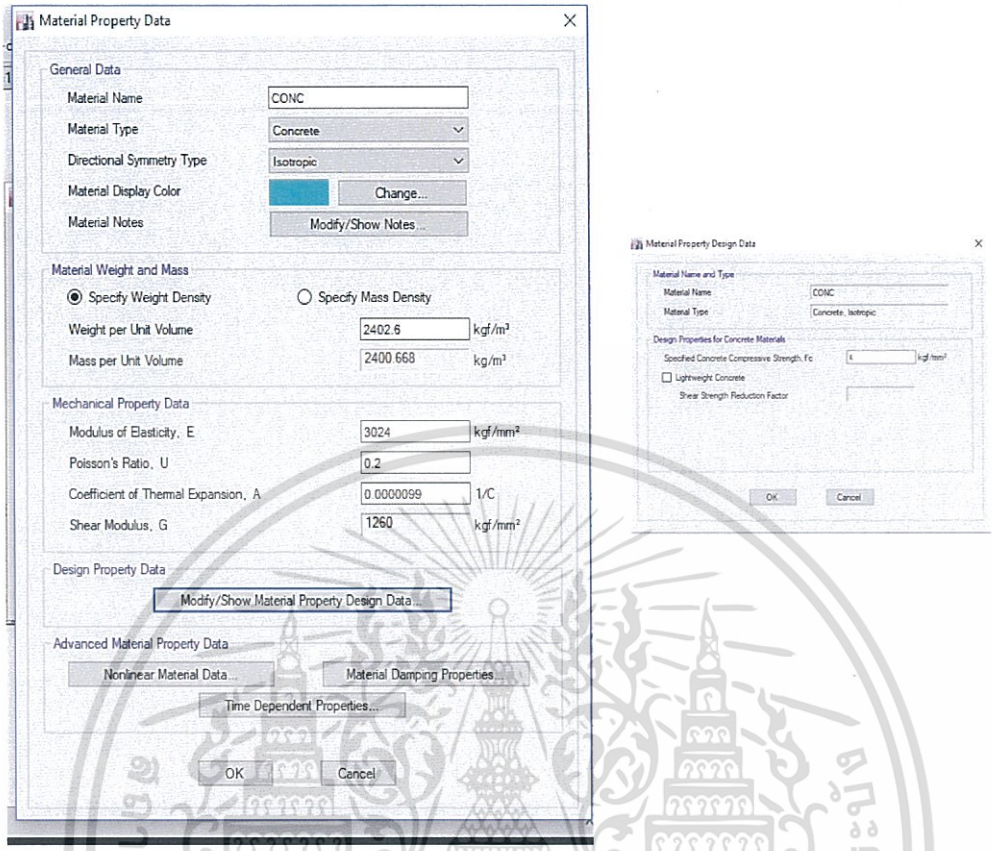
เริ่มต้นโปรแกรม Etabs ด้วยการวางแนว Grid line จำนวนชั้นและความสูงของแต่ละชั้นตามแบบ



รูปที่ 3.1วางแนว Grid line และจำนวนชั้นของแบบจำลอง

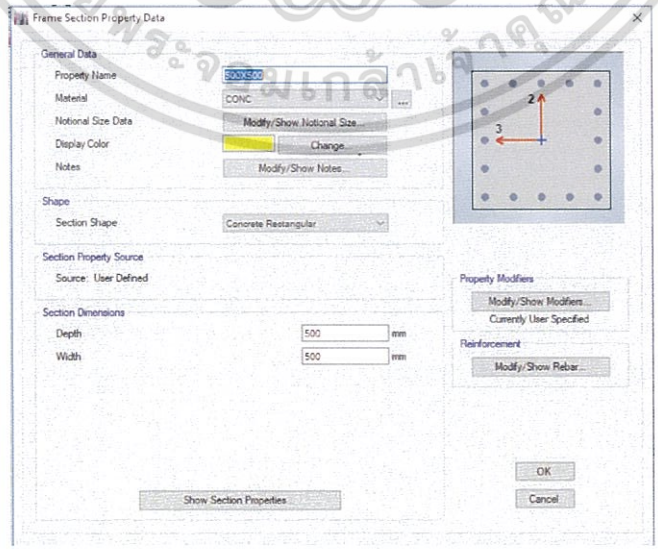
กำหนดคุณสมบัติของคอนกรีต 600, 400, 350, และ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ โดยใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัด (f_c') เท่ากับ 600, 400, 350, และ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (รูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน ขนาด 0.15×0.30 m. โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (E) เท่ากับ $15{,}200\sqrt{f_c'}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



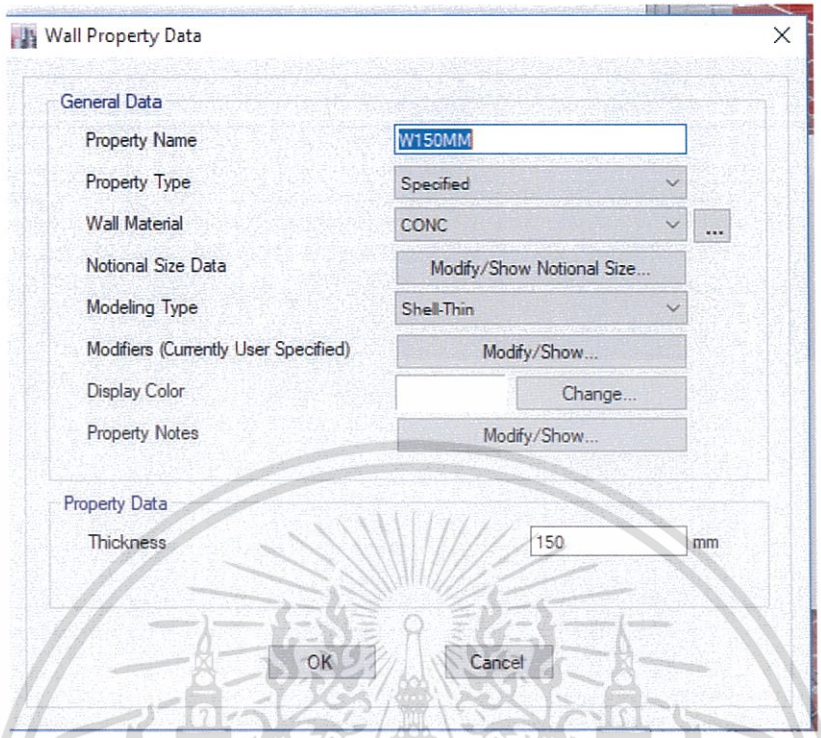
รูปที่ 3.2 กำหนดคุณสมบัติของคอนกรีต 400 KSC

กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของโครงสร้างต่างๆในอาคาร ได้แก่ เสา ผนังรับแรงเฉือน และพื้นPost tension เป็นต้น โดยมีตัวอย่างดังต่อไปนี้

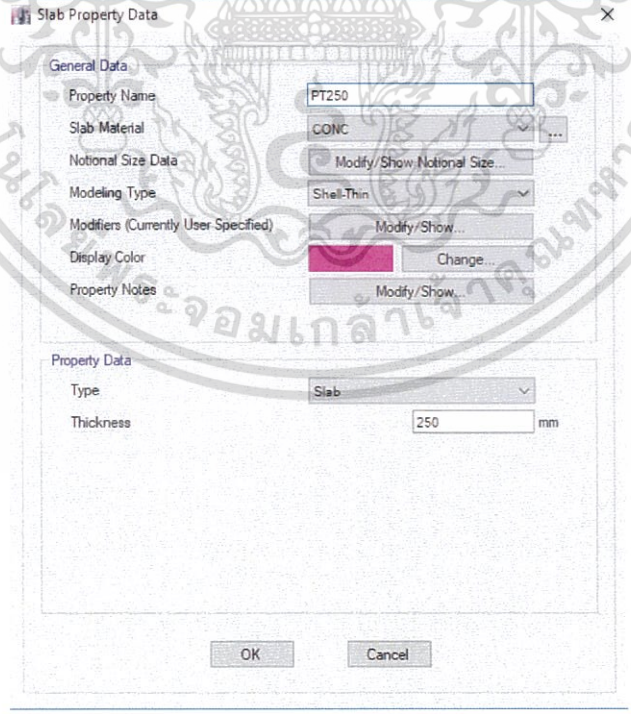


รูปที่ 3.3 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติเสา 500x500mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



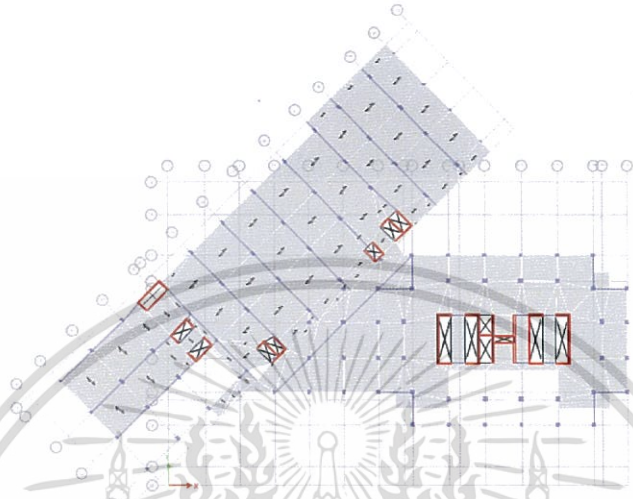
รูปที่ 3.4 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของผนังรับแรงเฉือน SW1



รูปที่ 3.5 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของแผ่นพื้นPost tension ความหนา250 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากตัวอย่างการกำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติต่างแล้ว จากนั้นทำการสร้างแบบจำลอง โดยจะกำหนดจุดรองรับของแบบจำลองเป็นแบบยึดแน่น เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณแรงแผ่นดินไหวต่อไป

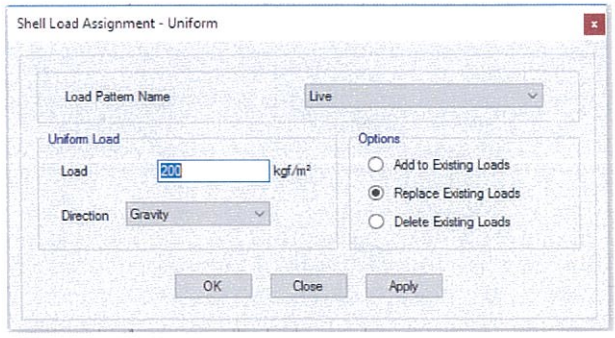


รูปที่ 3.6 แปลนแบบจำลองของโครงสร้าง เสา ผนังรับแรงเฉือน และพื้น ชั้นที่ 2

รูปที่ 3.7 กำหนดจุดรองรับของแบบจำลองเป็นแบบยึดแน่น

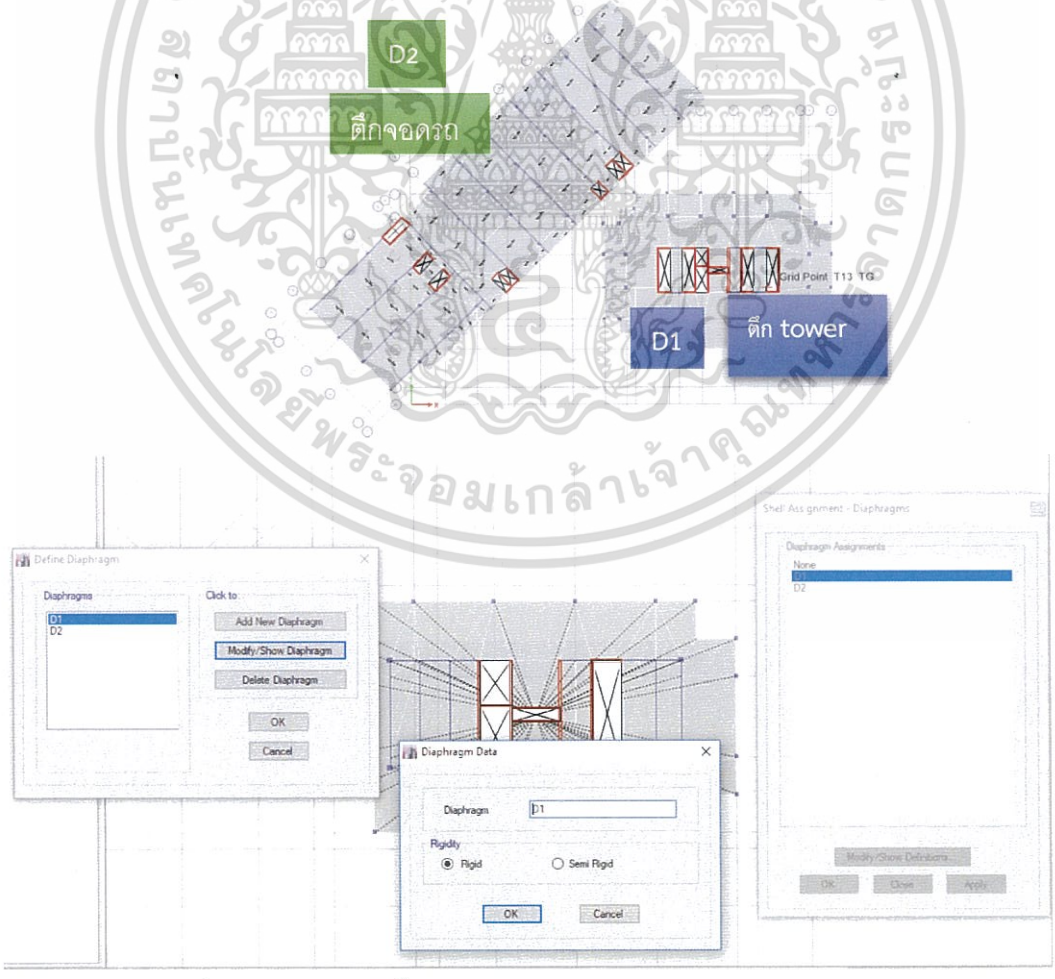
ทำการใส่น้ำหนักบรรทุก(Load) ที่พื้นของแต่ละชั้น โดยน้ำหนักบรรทุกคงที่เนื่องจากวัสดุตกแต่งและผนัง (SDL) เท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และน้ำหนักบรรทุกจร(LL) เท่ากับ 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



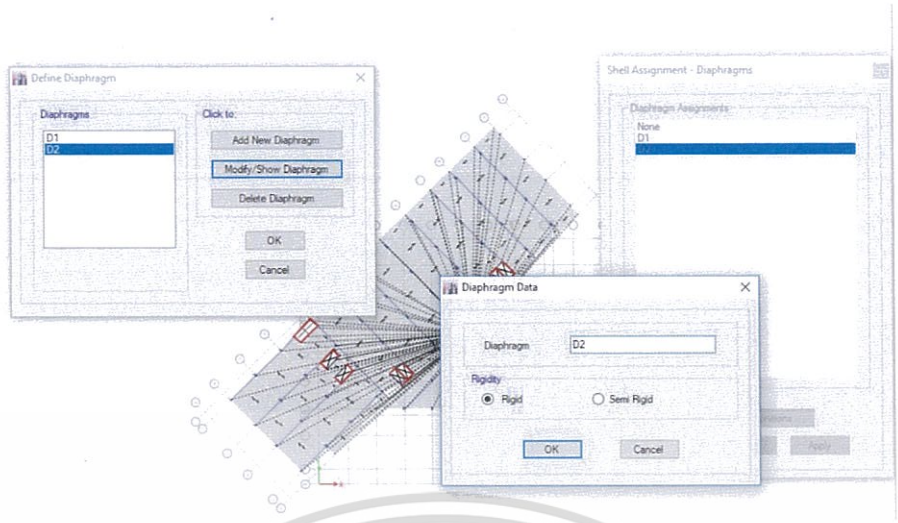
รูปที่ 3.8 กำหนดน้ำหนักบรรทุกจร(LL) เท่ากับ 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

กำหนดให้จุดศูนย์กลางของอาคารส่วนที่เป็น tower เป็นไดอะแฟรม (Diaphragm) D1 เพื่อส่งถ่ายแรงด้านข้างโดยเลือก D1 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid diaphragm) และกำหนดจุดศูนย์กลางของอาคารส่วนที่เป็น ลานจอดรถ เป็นไดอะแฟรม (Diaphragm) D2 เพื่อส่งถ่ายแรงด้านข้างโดยเลือก D2 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid diaphragm)



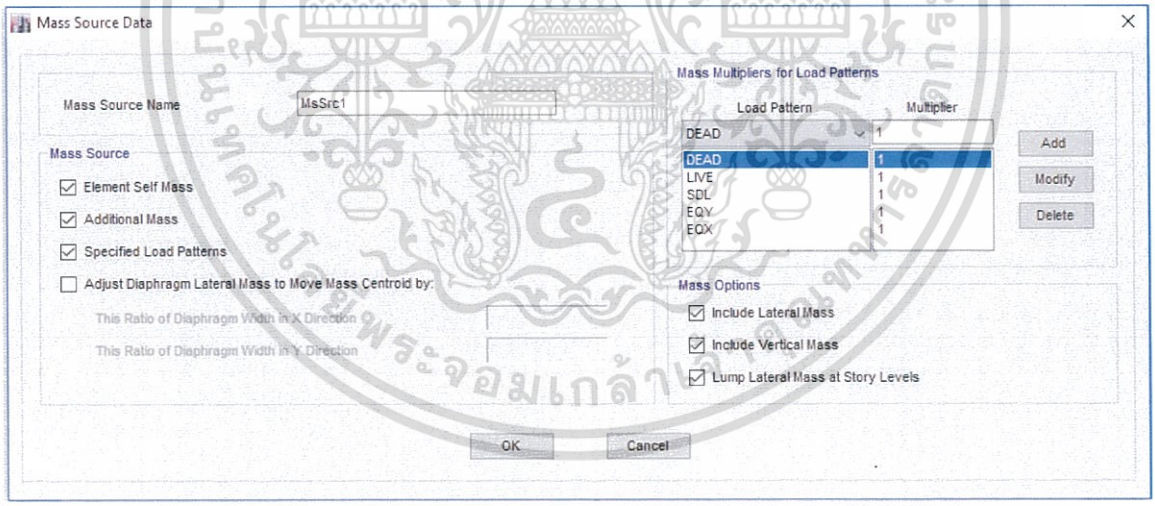
รูปที่ 3.9 กำหนดให้พื้น D1 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid diaphragm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 กำหนดให้พื้น D2 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid diaphragm)

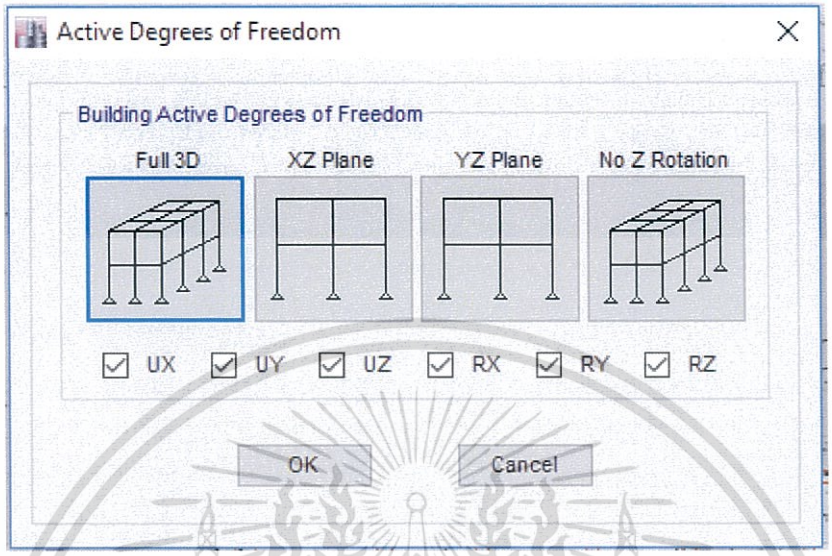
กำหนดค่าน้ำหนักสุทธิ Mass source โดยใช้น้ำหนักบรรทุกคงที่ (น้ำหนักโครงสร้าง) 100%น้ำหนักบรรทุกจร 100% น้ำหนักบรรทุกคงที่ (วัสดุตกแต่งและผนัง) 100% แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 100 % และ แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน Y โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 100%



รูปที่ 3.11 กำหนดค่าน้ำหนักสุทธิ (Mass source)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

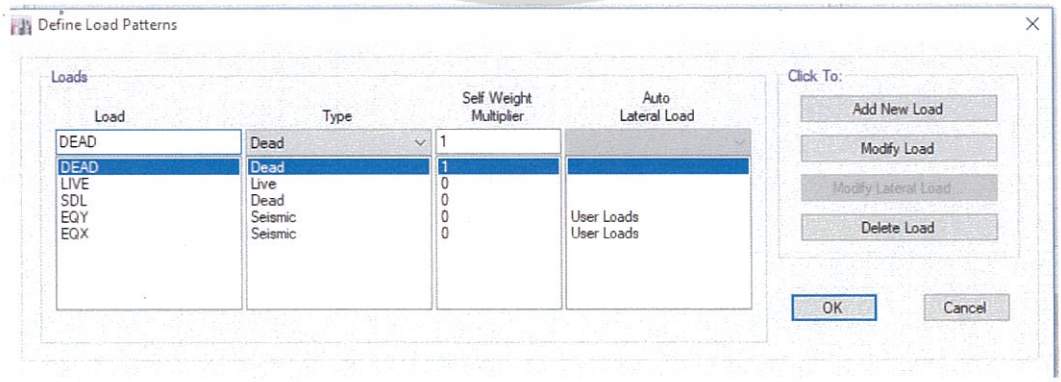
กำหนดรูปแบบการสั่นพื้นฐานของอาคารที่ 12 โหมดเมื่อกำหนดและป้อนข้อมูลทุกอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการสั่งวิเคราะห์แบบจำลอง



รูปที่ 3.12 กำหนดรูปแบบการสั่นพื้นฐานของอาคาร

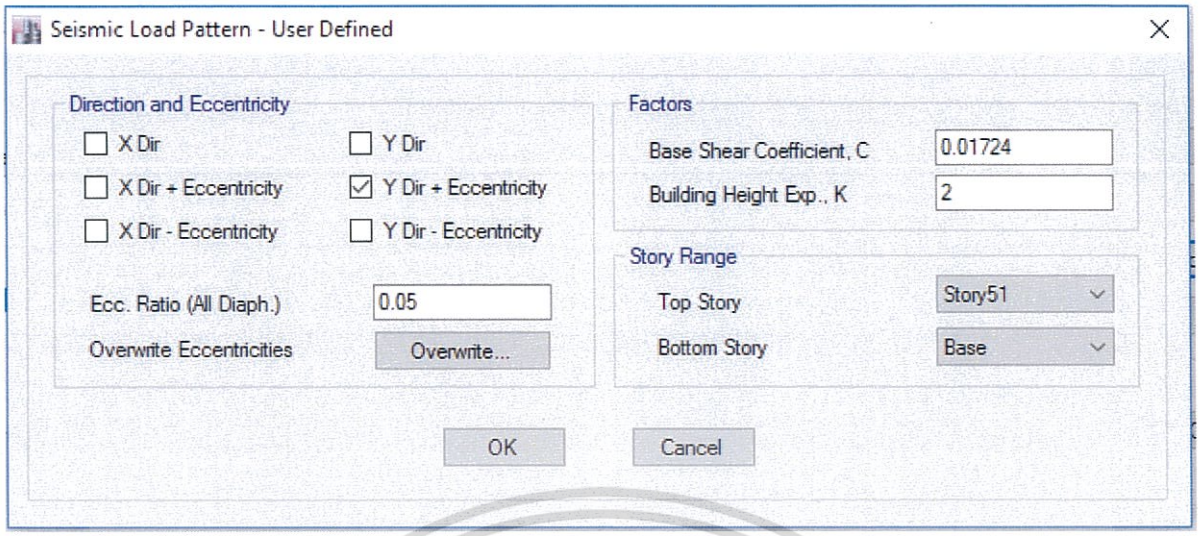
3.6.2. การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสถิตย์

ในส่วนของการวิเคราะห์โครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐานการออกแบบองค์อาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยพิจารณาจากโปรแกรม Etabs จากแบบจำลอง การคำนวณแรงแผ่นดินไหวเริ่มจากการสร้างสเปกตรัมฟังก์ชั่นสำหรับการออกแบบ สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีสถิตย์เทียบเท่า ให้อยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โซน 5 โดยกำหนดกรณีบรรทุกสเปกตรัมในทิศทาง Y (EQ_Y) โดยทำการเลือกชนิดแรงแผ่นดินไหวเป็น แบบกำหนดเอง (User Coefficient) และทำการเลือกทิศทาง Y Dir+EccenX และใส่ค่าสัมประสิทธิ์การเฉือนที่ฐาน ซึ่งเราได้คำนวณไว้แล้วคือ V=0.01724W (V=CW) และค่า k=2



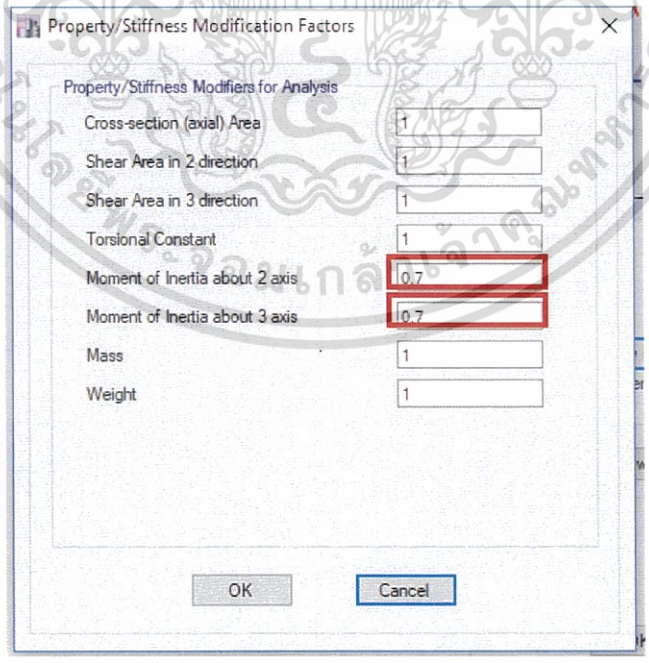
รูปที่ 3.13 กำหนดกรณีและลักษณะของแรงแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



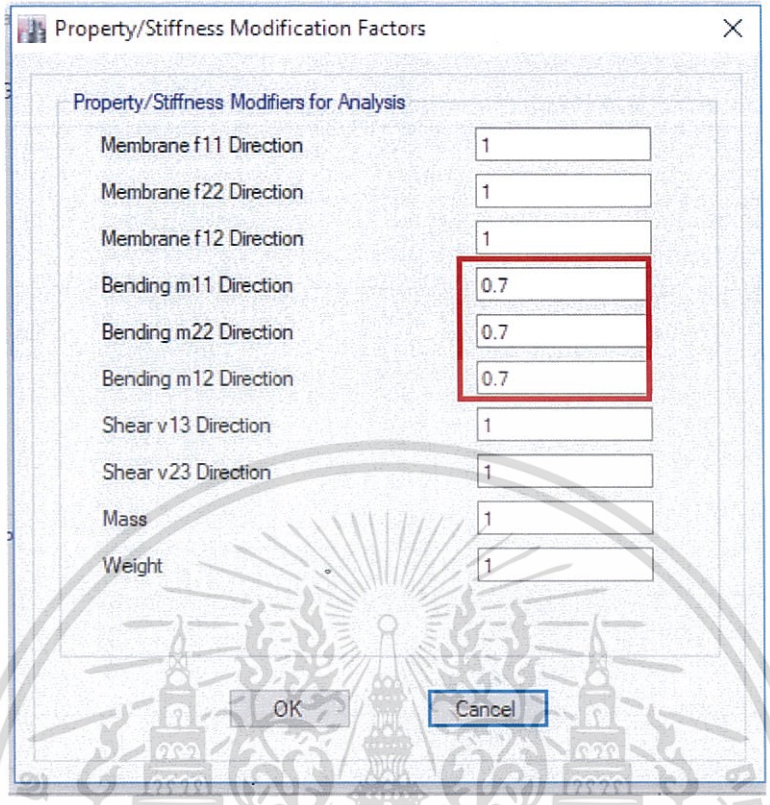
รูปที่ 3.14 กำหนดทิศทางของแรงแผ่นดินไหวเป็นทิศทาง Y

เมื่อสร้างสเปกตรัมฟังก์ชั่นสำหรับการออกแบบและกรณีบรรทุกสเปกตรัมในทิศทาง Y เสร็จแล้ว จากนั้นกำหนดค่าสติฟเนสที่สอดคล้องกับสภาพจริงจากคำสั่ง Analysis property Modification Factor โดยกำหนด Moment of inertia ของหน้าตัดเสา เท่ากับ 0.7 ผนังรับแรงเฉือน เท่ากับ(ที่ไม่แตกร้าว) 0.7 และแผ่นพื้นไร้คาน เท่ากับ 0.25 ดังแสดงในรูปที่ 3.14 รูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16

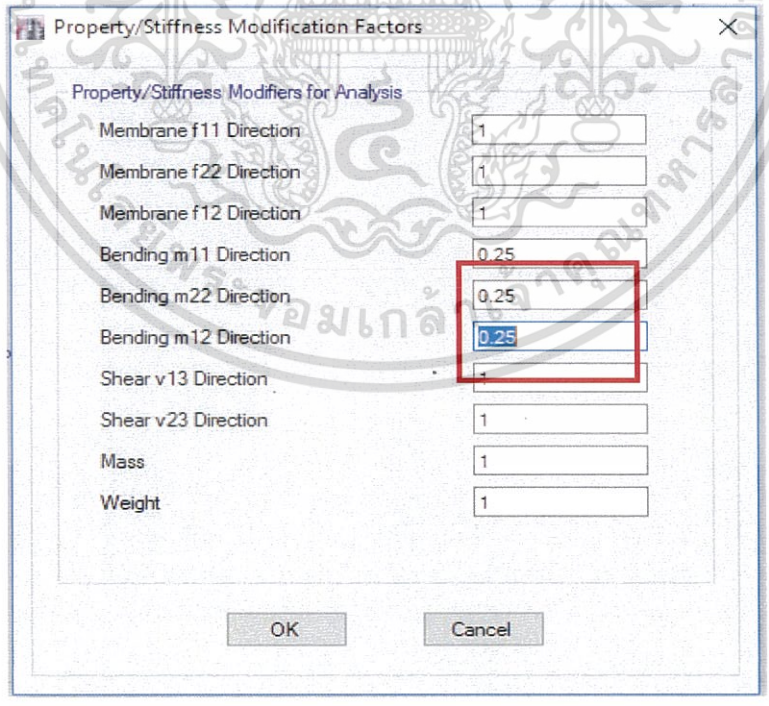


รูปที่ 3.15 กำหนดค่าสติฟเนสประสิทธิผลของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 กำหนดค่าสติฟเนสประสิทธิผลของผนังรับแรงเฉือน



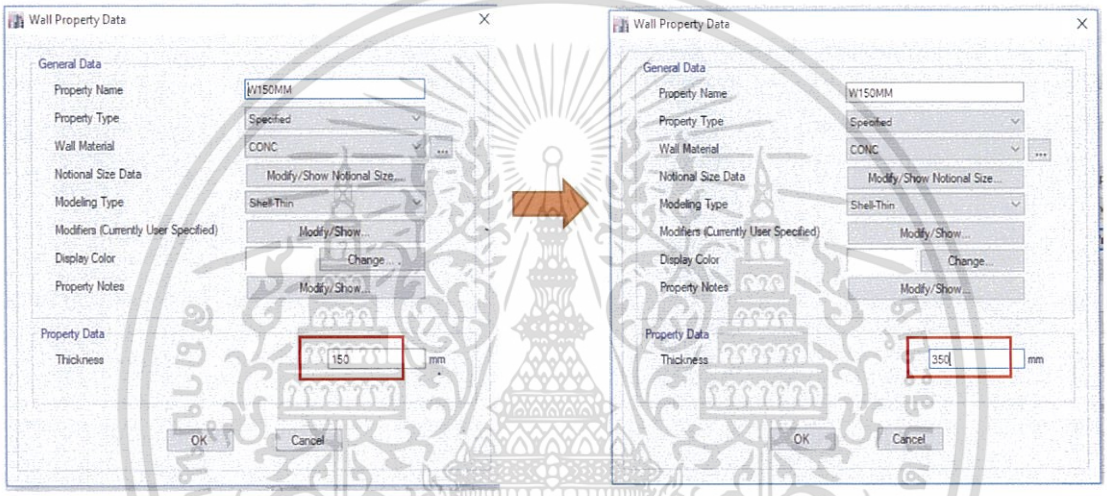
รูปที่ 3.17 กำหนดค่าสติฟเนสประสิทธิผลของแผ่นพื้นไร้คาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

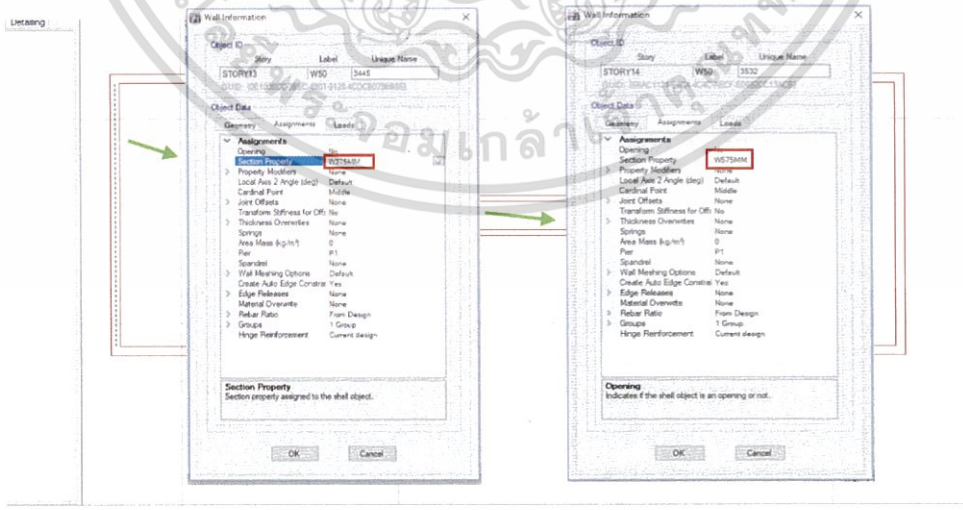
3.6.3. วิธีการเสริมกำลังของโครงสร้าง ในแบบจำลองในโปรแกรม

3.6.3.1 ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต

สร้างแบบจำลองสำหรับการเสริมกำลังระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต ในแบบจำลองอาคารสูง 38 ชั้น และมีชั้นใต้ดิน 3 ชั้น อาคารอื้อจื่อเหลียง โดยมีฐานรองรับเป็นแบบยึดแน่น (Fixed Support) โดยใช้โปรแกรม ETABS ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งได้กำหนดขนาดแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมืองที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.6.2 โดยการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีตในโปรแกรมนั้น ผู้ทดลองจะทำการเพิ่มการความหนาชิ้นส่วนโครงสร้างภายในอาคาร โดยผู้ทดลองทำการพอกคอนกรีตบริเวณ โครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือน



รูปที่ 3.18 แสดงการเพิ่มความหนาชิ้นส่วนโครงสร้าง กำแพงรับแรงเฉือน



รูปที่ 3.19 แสดงวิธีการเพิ่มความหนาชิ้นส่วนโครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือน ในบริเวณตึก tower ชั้นที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3.2 ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก

เนื่องจากตัวโปรแกรมไม่สามารถทำการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก บริเวณกำแพงรับแรงเฉือนได้ ผู้ทดลองเลยจึงทำการแปลงหน้าตัด หรือ ที่เรียกว่า transform section นั้นเอง หลังจากจำลองการเสริมกำลังระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีตเสร็จสิ้นแล้ว ก็ทำการแปลงค่าจากหน้าตัดจากคอนกรีตเป็นแผ่นเหล็ก จากสูตร

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

โดย โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต = 302400 ksc

โมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นเหล็ก = 2.04×10^6 ksc

หลังจากทำการแปลงหน้าตัดเรียบร้อย จากการคำนวณจะได้ค่าที่ไม่ตรงตามมาตรฐานที่มีตามท้องตลาด ผู้ทดลองจึงต้องปรับค่าให้ตรงตามมาตรฐานที่มีขายตามท้องตลาด โดยตารางแผ่นเหล็กดำตามมาตรฐานที่มีตามท้องตลาดสามารถดูได้ที่ตาราง 2.4 จากบทที่ผ่านมา

3.6.3.3 ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใย (Carbon Fiber reinforced Polymer หรือ CFRP)

เนื่องจากตัวโปรแกรมไม่สามารถทำการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใย บริเวณกำแพงรับแรงเฉือนได้ ผู้ทดลองเลยจึงทำการแปลงหน้าตัด หรือ ที่เรียกว่า Transform section นั้นเอง หลังจากจำลองการเสริมกำลังระบบทำงานการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีตเสร็จสิ้นแล้ว ก็ทำการแปลงค่าจากหน้าตัดจากคอนกรีตเป็นแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใย จากสูตร

$$\text{ความหนาของแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใย} = \text{ความหนาของแผ่นเหล็ก} \times \frac{\text{โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต}}{\text{โมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใย}}$$

โดย โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต = 302400 ksc

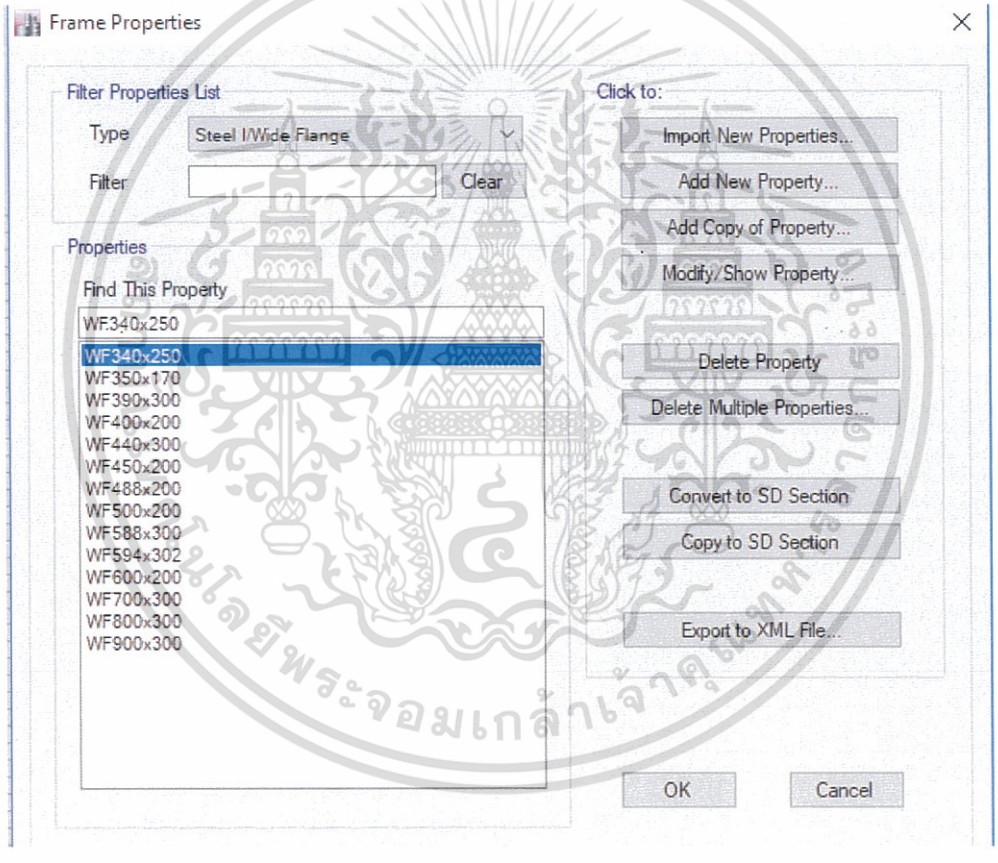
โมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใย = 2.55×10^6 ksc

หลังจากทำการแปลงหน้าตัดเรียบร้อย จากการคำนวณจะได้ค่าที่ไม่ตรงตามมาตรฐานที่มีตามท้องตลาด ผู้ทดลองจึงต้องปรับค่าให้ตรงตามมาตรฐานที่มีขายตามท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

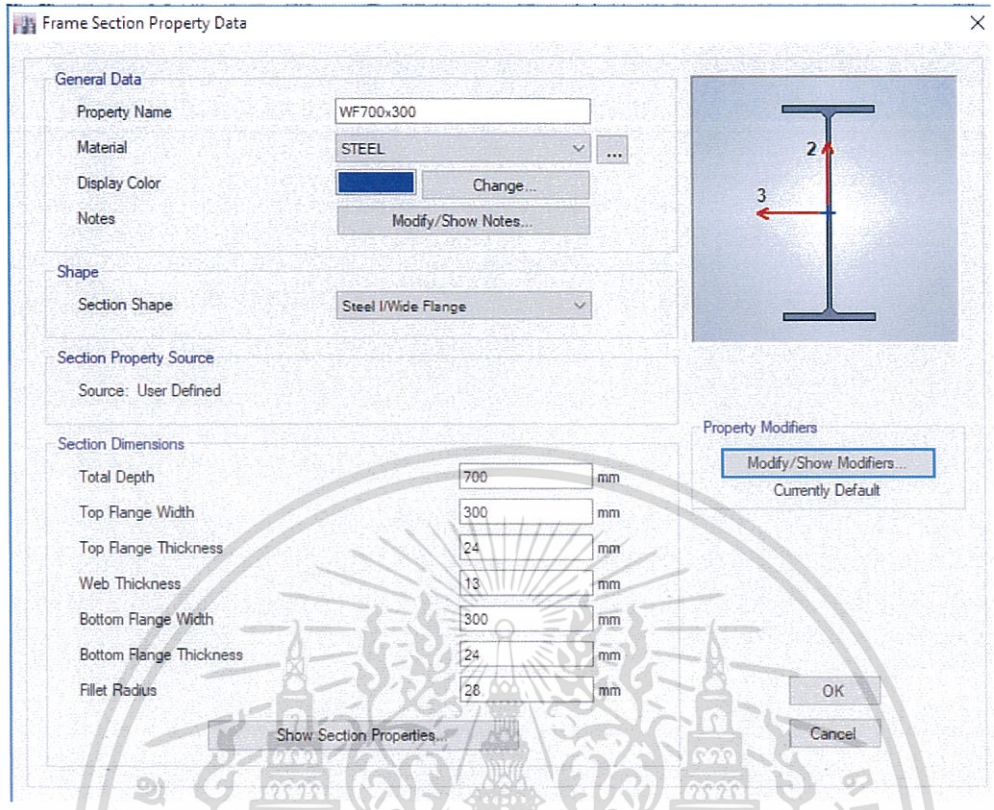
3.6.3.4 ศึกษาโครงสร้างระบบทำงานของโครงแกงแนง (Bracing)

สร้างแบบจำลองสำหรับการเสริมกำลังระบบทำงานของโครงแกงแนง(Bracing) ในแบบจำลองอาคารสูง 38 ชั้น และมีชั้นใต้ดิน 3 ชั้น อาคารอื้อจือเหลียง โดยมีฐานรองรับเป็นแบบยึดแน่น (Fixed Support) โดยใช้โปรแกรม ETABS ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งได้กำหนดขนาดแรงแผ่นดินไหว ตามมาตาฐานของกรมโยธาธิการและผังเมืองที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.6.2 จากนั้นกำหนดคุณสมบัติของโครงแกงแนง โดยผู้ทดลองเลือกใช้เหล็กชนิด Wide-Flange โดยใช้ชื่อ WF นำหน้าแล้วตามด้วย ขนาดหน้าตัดเหล็ก อาทิเช่น WF 700×300mm.ซึ่งเลือกใช้วัสดุ steel ค่า F_y = 4000ksc ดังแสดงในรูปที่ 3.20 ในส่วนของการติดตั้งระบบการทำงานนี้นั้นจะติดตั้งโดยการนำโครงแกงแนงมามัดรอบชั้นใดชั้นหนึ่งนั้นเอง ดังแสดงในรูปที่ 3.21

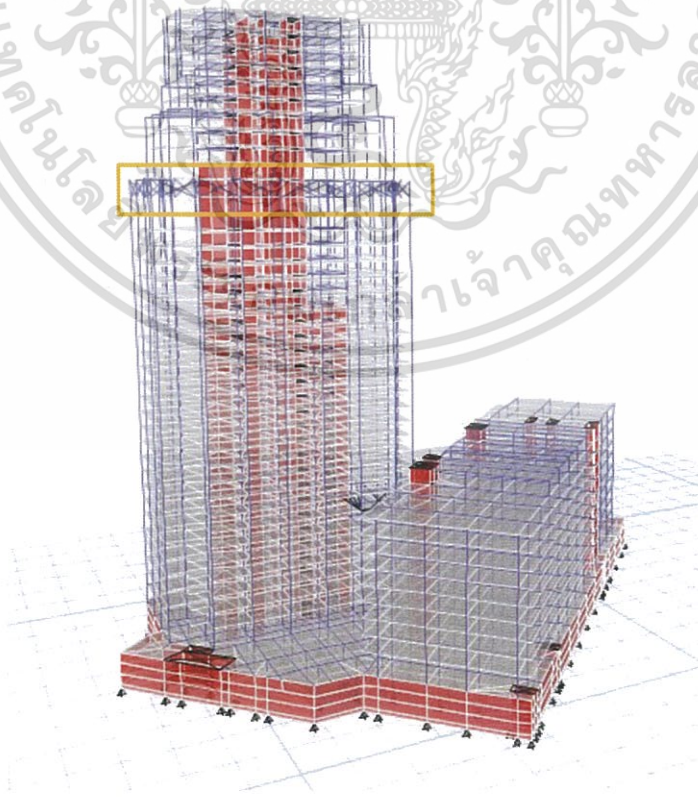


รูปที่ 3.20 ชื่อชนิด และขนาดของโครงแกงแนงที่สามารถเลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

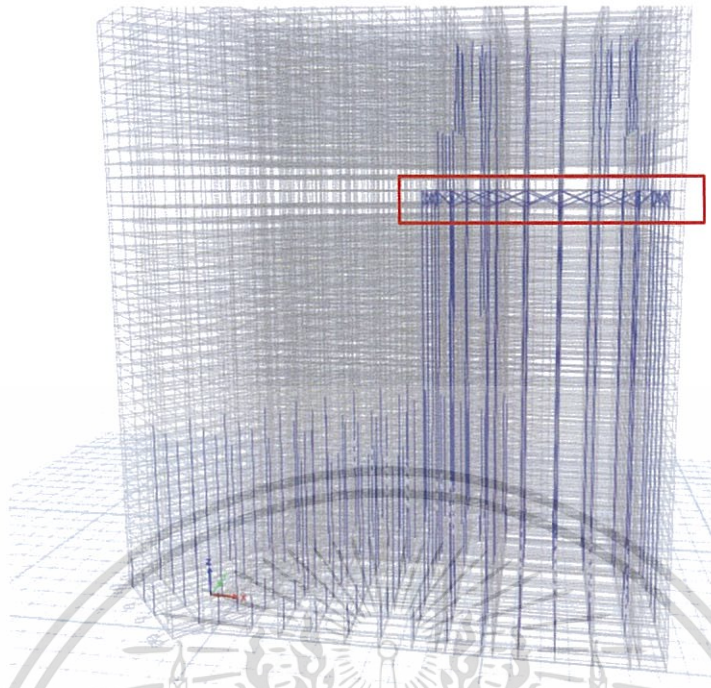


รูปที่ 3.21 กำหนดคุณสมบัติของโครงแกงแนง WF 700x300mm.



รูปที่ 3.22 แบบสามมิติของแบบจำลองโครงสร้างหลังเสริมโครงแกงแนงบริเวณ ชั้นที่28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แบบสามมิติของแบบจำลองโครงสร้างหลังเสริมโครงแกงแนงบริเวณ ชั้นที่ 28 โดยในภาพจะแสดงให้เห็นแค่เสากับโครงแกงแนง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

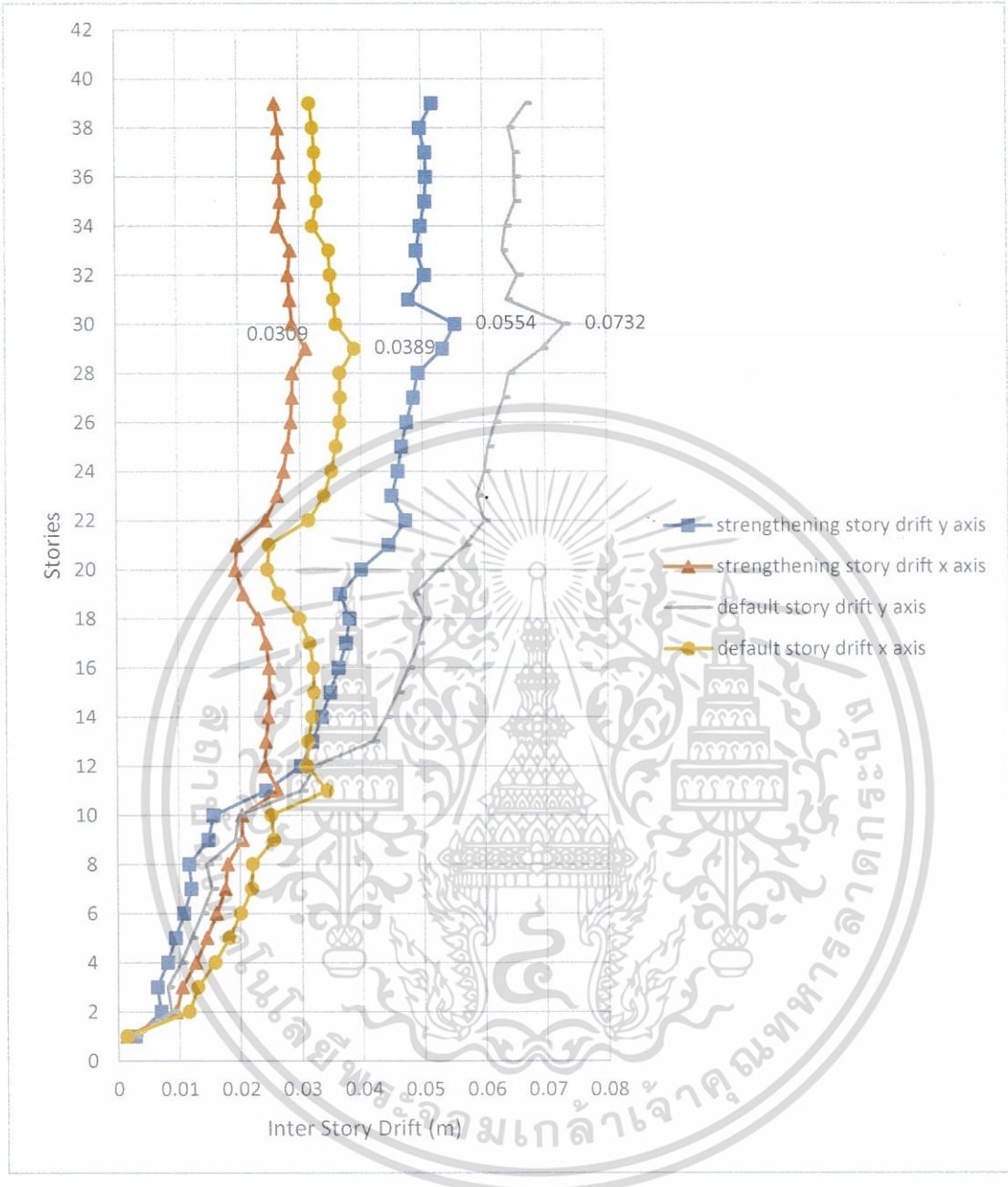
บทที่ 4
ผลการทดลอง

การวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสม ได้แก่ 1.พอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต (Concrete Jacketing) 2.พอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก (Steel Jacketing) 3.พอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (Polymer Jacketing) 4.โครงแกงแนง (Bracing) สำหรับการเสริมกำลังเพื่อต้านแรงแผ่นดินไหว สำหรับอาคารอื้อจื่อเหลียง ในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อรับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งพิจารณาค่า ระยะเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-story drift) ให้ผ่านเกณฑ์ของ มผย.

4.1. พอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต (Concrete Jacketing)

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างด้วยการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวด้วยการพอกคอนกรีตที่กำแพงรับแรงเฉือน (Shear wall) พบว่าความหนาที่เพิ่มขึ้นที่เหมาะสม คือ 20 เซนติเมตร ซึ่งเสริมตลอดความสูงของอาคาร มีค่าระยะเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-Story drift) สูงสุดในแกน y เท่ากับ 0.0554 เมตร ที่ชั้น 30 ของอาคาร (น้อยกว่า 0.0555 เมตร) ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

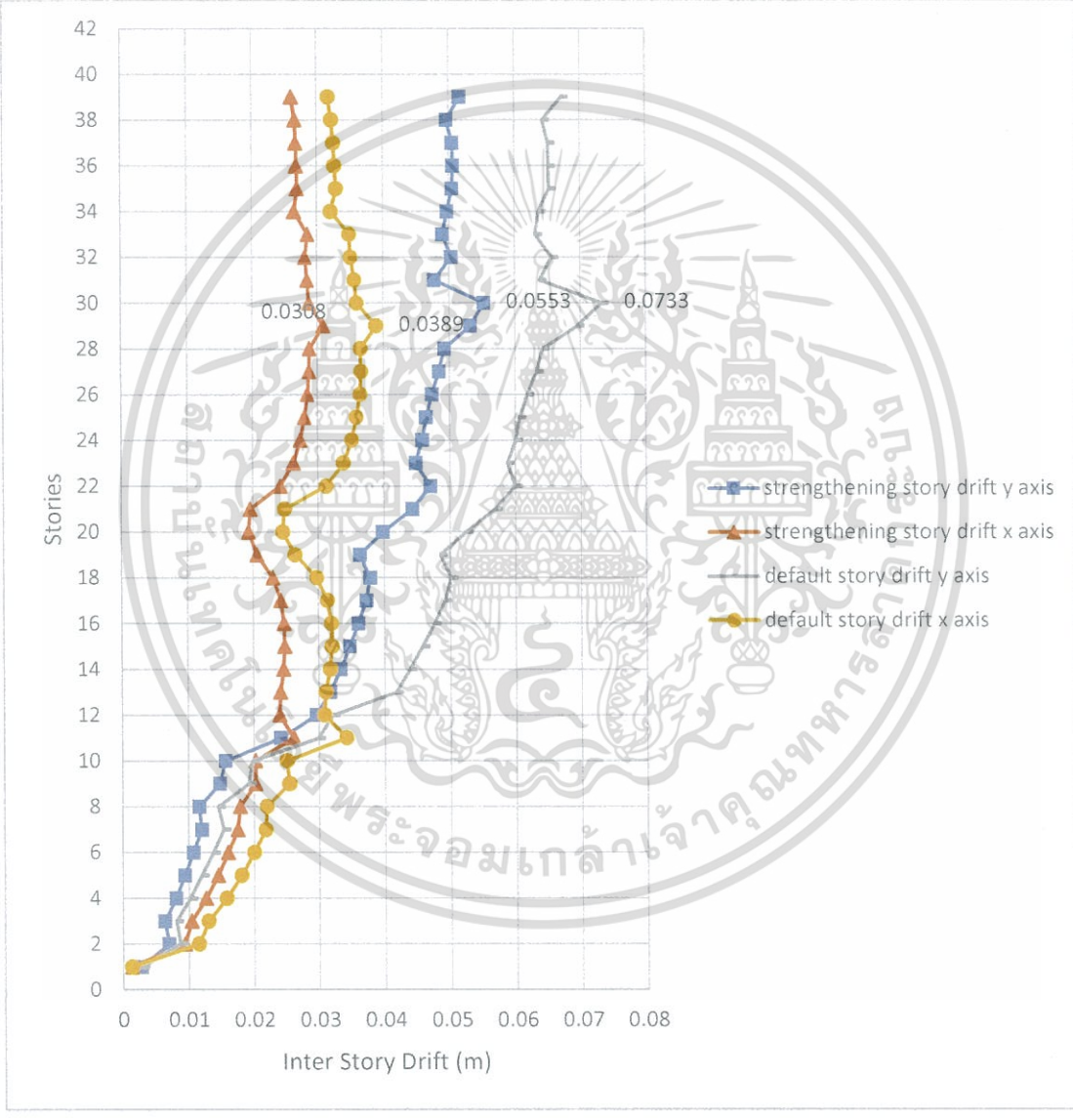


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและระยะการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ด้วยการพอกด้วยคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. พอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก (Steel Jacketing)

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างด้วยการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวด้วยการพอกแผ่นเหล็กที่กำแพงรับแรงเฉือน (Shear wall) พบว่าความหนาที่เพิ่มขึ้นที่เหมาะสม คือ 32 มิลลิเมตร (อ้างอิง บ.เอ็มอีเมเนจเม็นท์ จำกัด ดูค่าเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ง.) ซึ่งเสริมตลอดความสูงของอาคาร มีค่าระยะเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-Story drift) สูงสุดในแกน y เท่ากับ 0.0553 เมตร ที่ชั้น 30 ของอาคาร (น้อยกว่า 0.0555 เมตร) ดังรูปที่ 4.2

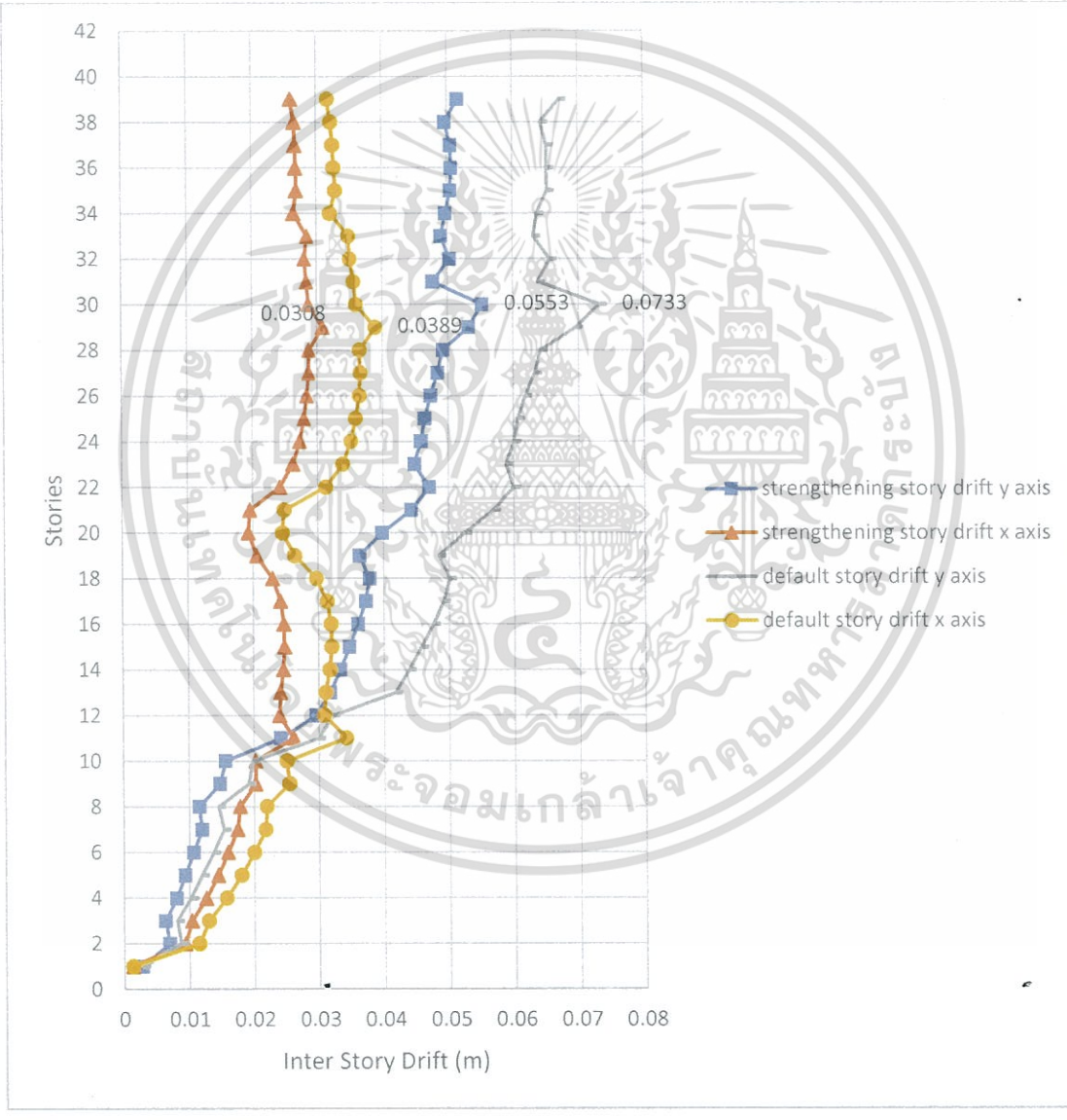


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและระยะการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ด้วยการพอกด้วยแผ่นเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. พอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (Polymer Jacketing)

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างด้วยการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวด้วยการพอกโพลีเมอร์ เสริมเส้นใยที่กำแพงรับแรงเฉือน (Shear wall) พบว่าความหนาที่เพิ่มขึ้นที่เหมาะสม คือ 24 มิลลิเมตร(อ้างอิง บ.สมาร์ทแอนด์ไบร์ท จำกัด ดูค่าเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ง.) (CFRP sheet ขนาด 3 มิลลิเมตร พัน 8 รอบ) ซึ่งเสริมตลอดความสูงของอาคาร มีค่าระยะเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-Story drift) สูงสุดในแกน y เท่ากับ 0.0553เมตร ที่ชั้น 30 ของอาคาร (น้อยกว่า 0.0555 เมตร) ดังรูปที่ 4.3

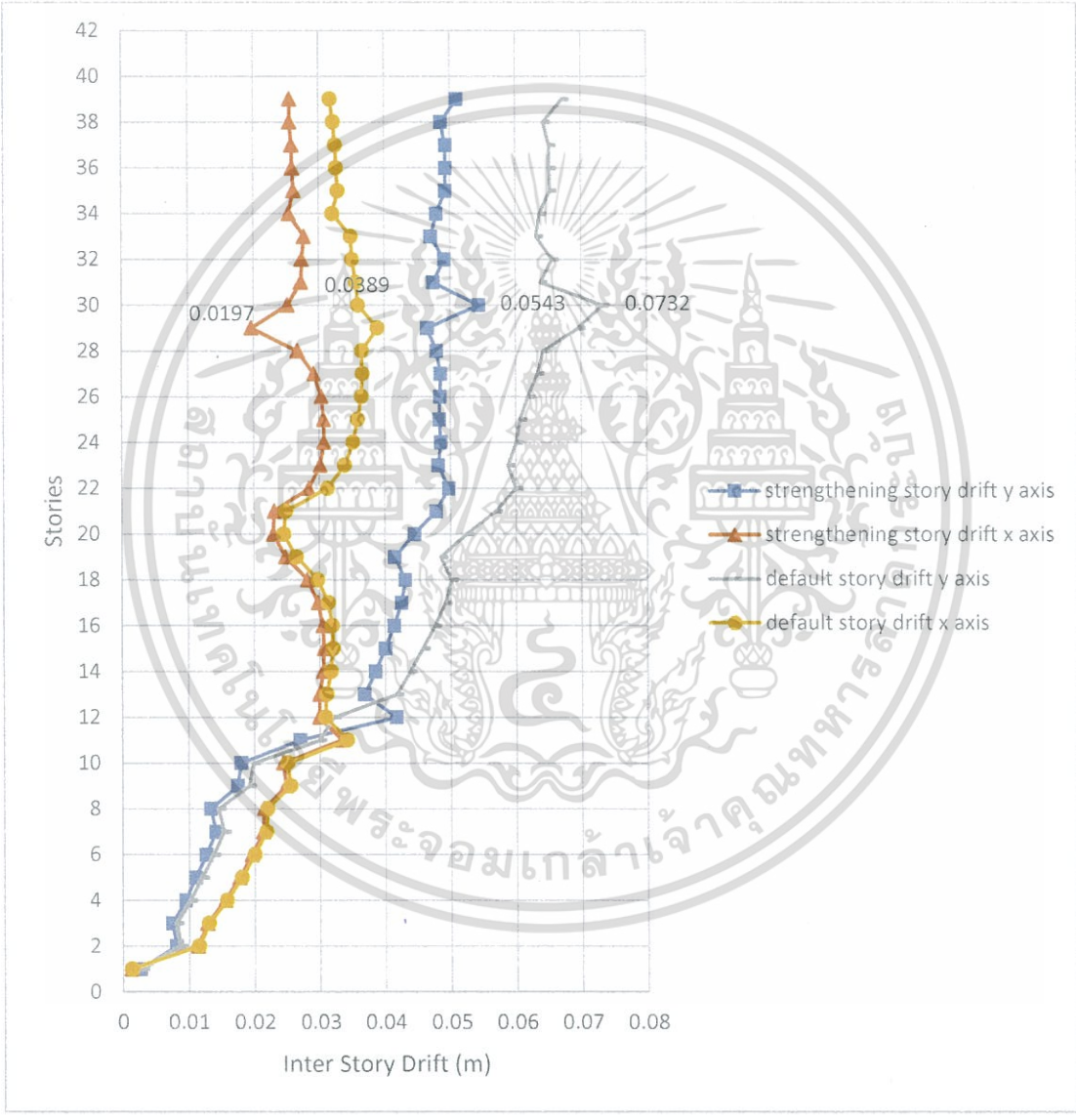


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและระยะการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ด้วยการพอกด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. โครงแกงแนง (Bracing)

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างด้วยการเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวด้วยการเสริมโครงแกงแนง พบว่าชั้นที่เหมาะสมได้แก่ชั้นที่ 28 ซึ่งใช้แผ่นเหล็ก Wide flange (อ้างอิง บ.วีซีเอสเอเชีย จำกัด ดูค่าเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ง.) มีค่าระยะเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-Story drift) สูงสุดในแกน y เท่ากับ 0.0543 เมตร ที่ชั้น 30 ของอาคาร (น้อยกว่า 0.0555 เมตร) ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและระยะการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ด้วยโครงแกงแนง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1.สรุปผลการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษา พฤติกรรมของโครงสร้างเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสม ได้แก่ 1.การพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต (Concrete Jacketing) 2.การพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก (Steel Jacketing) 3.การพอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (Polymer Jacketing) 4.โครงแกงแนง (Bracing) สำหรับการเสริมกำลังเพื่อต้านแรงแผ่นดินไหวของอาคารอื้อจื่อเหลียงในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อรับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งพิจารณาค่าระยะเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-story drift) ให้ผ่านเกณฑ์ของ มผย. สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1. ด้านสถาปัตยกรรม

เนื่องด้วยการเสริมกำลังด้วยโครงแกงแนง (Bracing) เป็นการติดตั้งภายนอกอาคารส่งผลให้บดบังตัวอาคาร ส่วนวิธีการเสริมกำลังด้วยการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต, การโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก และการพอกโครงสร้างด้วยโพลีเมอร์ เป็นการติดตั้งภายในบริเวณกำแพงรับแรงเฉือน (Shear wall) ซึ่งไม่มีผลต่อความสวยงามและยังคงรูปลักษณ์อาคารเหมือนเดิม ดังนั้น 3 วิธีการหลัง จึงเหมาะสมกว่า

5.1.2. ด้านราคา

การเสริมกำลังด้วยคอนกรีตเป็นวิธีที่มีต้นทุนของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด ส่วนวิธีการเสริมที่แพงที่สุดคือการพอกด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย ดังนั้นการเสริมกำลังด้วยวิธีการพอกด้วยคอนกรีต เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาและการเปรียบเทียบวิธีการเสริมกำลังในงานวิจัยนี้เป็นกรณีศึกษาเฉพาะอาคารอิ้อจื่อเหลียงเท่านั้น ถ้าสำหรับอาคารอื่นๆต้องนำโมเดลไปวิเคราะห์แล้วศึกษาเป็นแต่ละอาคารไป รวมทั้งในการปฏิบัติจริง วิศวกรผู้ออกแบบอาจเลือกใช้วิธีการต่างๆที่มีอยู่ในท้องตลาดนำมาประยุกต์ใช้ได้อีก

2. การเสริมกำลังด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใย เป็นการติดตั้งที่ต้องมีตัวเชื่อมประสานระหว่างโครงสร้างเก่าและโครงสร้างที่เสริมกำลังแล้ว ดังนั้นจุดที่ส่งผลกระทบต่อการติดตั้งคือตัวเชื่อมประสานที่จะเกิดการวิบัติก่อนโครงสร้าง

3. ด้านราคาในการก่อสร้าง อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ต้องขึ้นอยู่กับปริมาณและราคาวัสดุที่ใช้เสริมกำลังของแต่ละวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง. คู่มือการปฏิบัติประกอบมาตรฐานการประเมิน และการเสริมความมั่นคง แข็งแรงของโครงสร้างอาคาร ในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือน ของแผ่นดินไหว.พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : บริษัท สหมิตรพริ้นติ้งแอนด์พับลิสชิ่ง จำกัด,2557

[2] สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง. มยผ. 1302-52 มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว.พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท ดิจิตอล ออฟเซท เอเชีย แปซิฟิค จำกัด , 2552

[3] สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย. **“การเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว.”** [Online]. Avaiable : http://www.thaiseismic.com/. (24 กันยายน 2560)

[4] กรมโยธาธิการและผังเมือง.**“มยผ.1301-54.”** [Online]. Avaiable : http://subsites.dpt.go.th/edocument/images/pdf/sd_work/1301_54.pdf. (28 กันยายน 2560)

[5] บ.เอ็มอีเมเนจเม็นท์ จำกัด. **“ขนาดเหล็กในท้องตลาด.”** [Online]. Avaiable : http://www.me-metalsheet.com/index.php?page=home&language=th. (3 มีนาคม 2561)

[6] บ.สมาร์ทแอนด์ไบร์ท จำกัด **“CFRP.”** [Online]. Avaiable : http://www.smartcoating.com/. (3 มีนาคม 2561)

[7] บ.วีซีเอสเอเชีย จำกัด **“เหล็ก wide flange.”** [Online]. Avaiable : http://www.vcsalltools.com/. (3 มีนาคม 2561)

[8]อาทิตย์ เพชรศศิธร.**“รายงานตรวจสอบกำลังรับแรงแผ่นดินไหวอาคารอื้อจื่อเหลียง** (14 มีนาคม 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

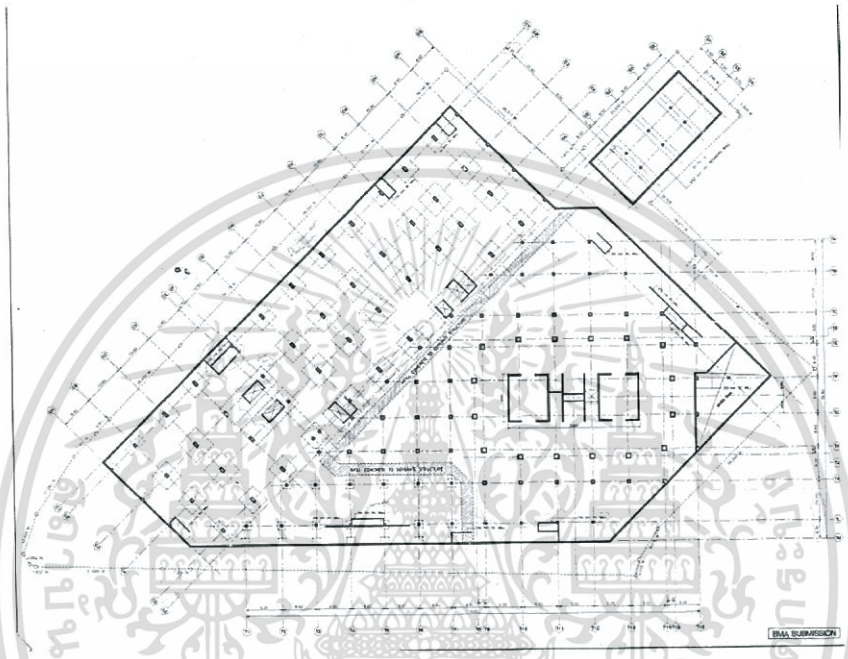
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
หน้าตัดอาคารอื้อจื่อเหลียง

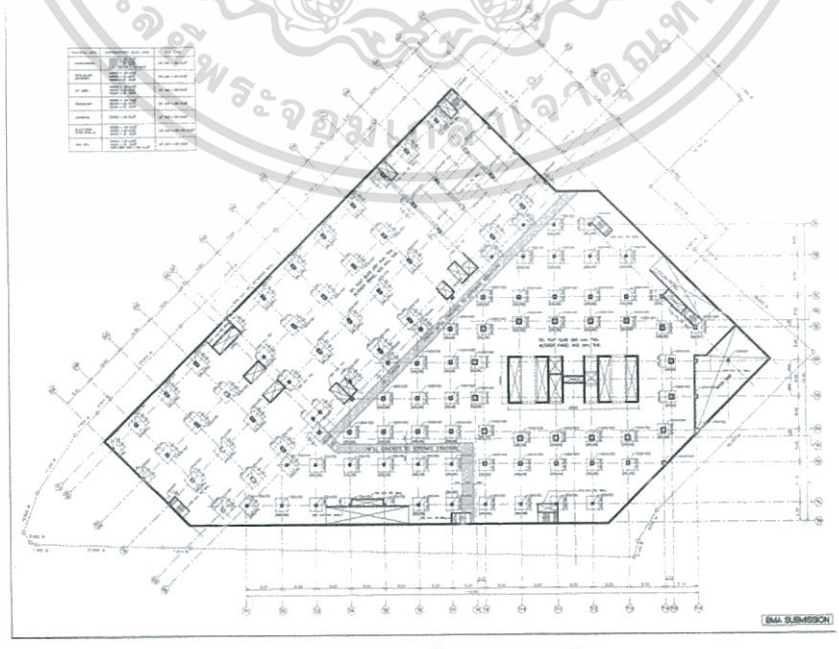
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
หน้าตัดอาคารอื้อจื่อเหลียง

รูปหน้าตัดของอาคารอื้อจื่อเหลียง

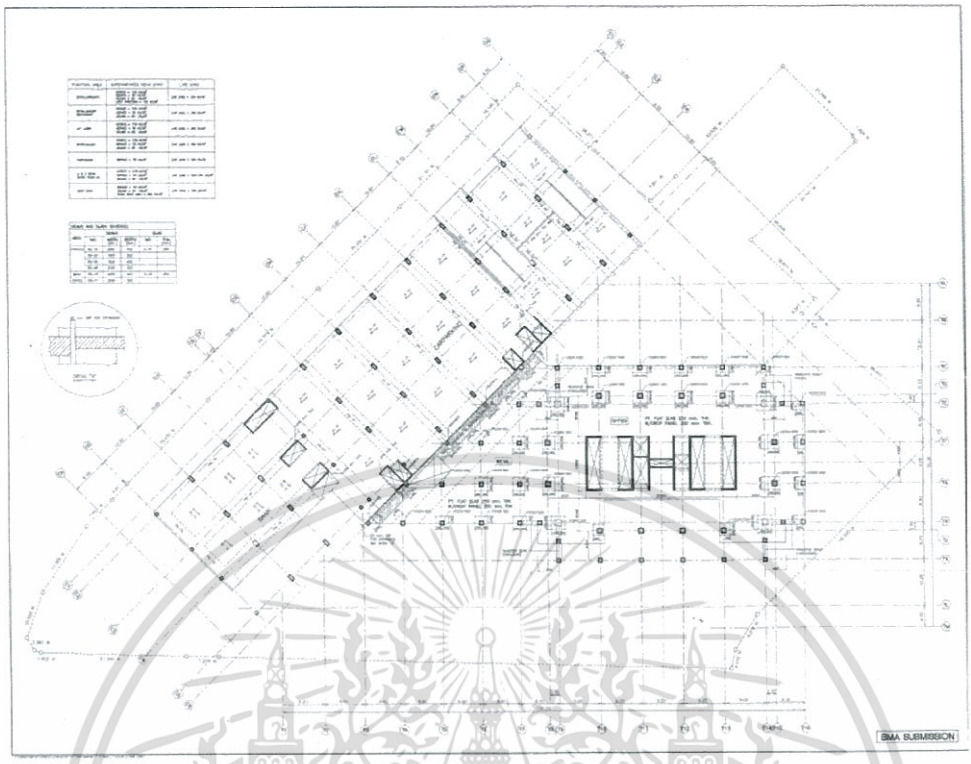


รูปที่ ก-1 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ B3

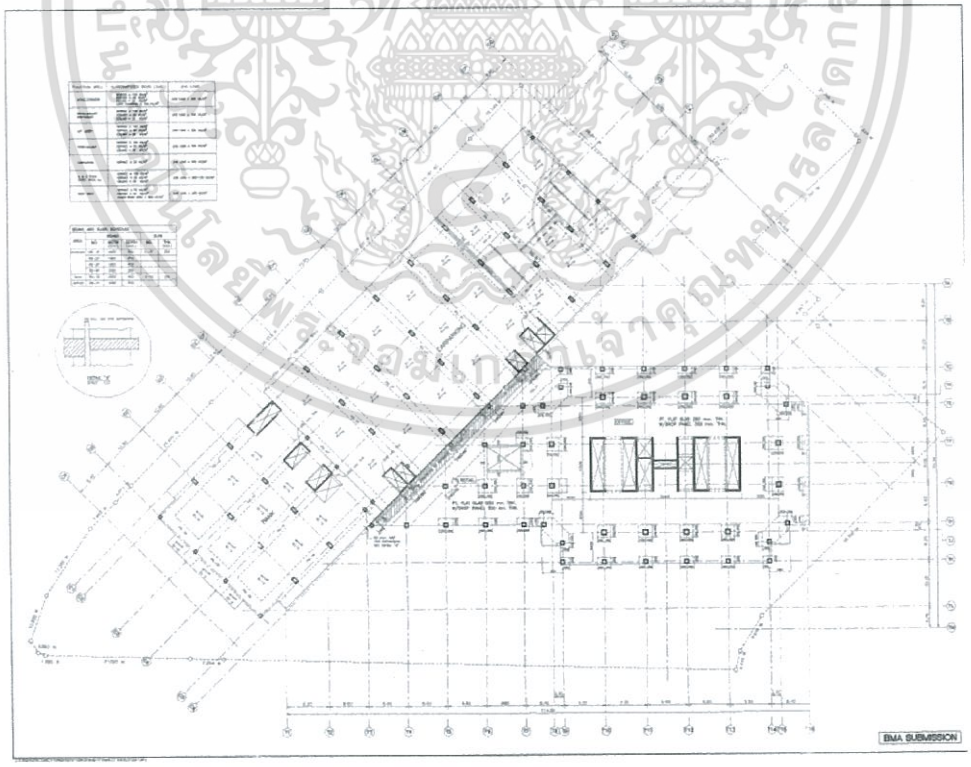


รูปที่ ก-2 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ B1-B2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

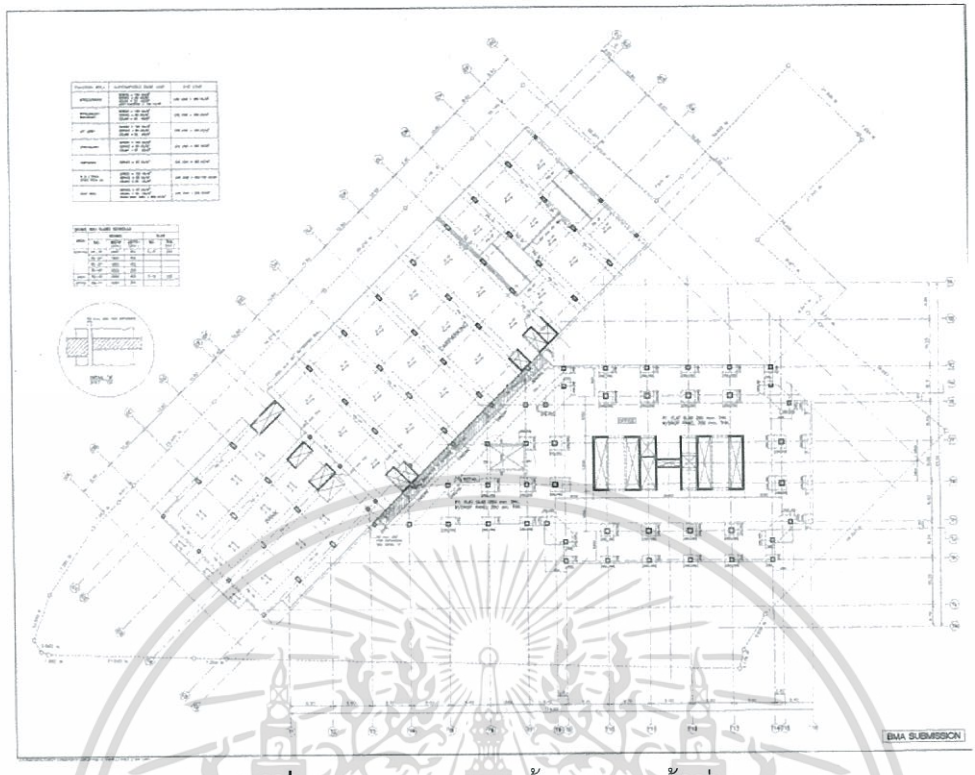


รูปที่ ก-3 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 1

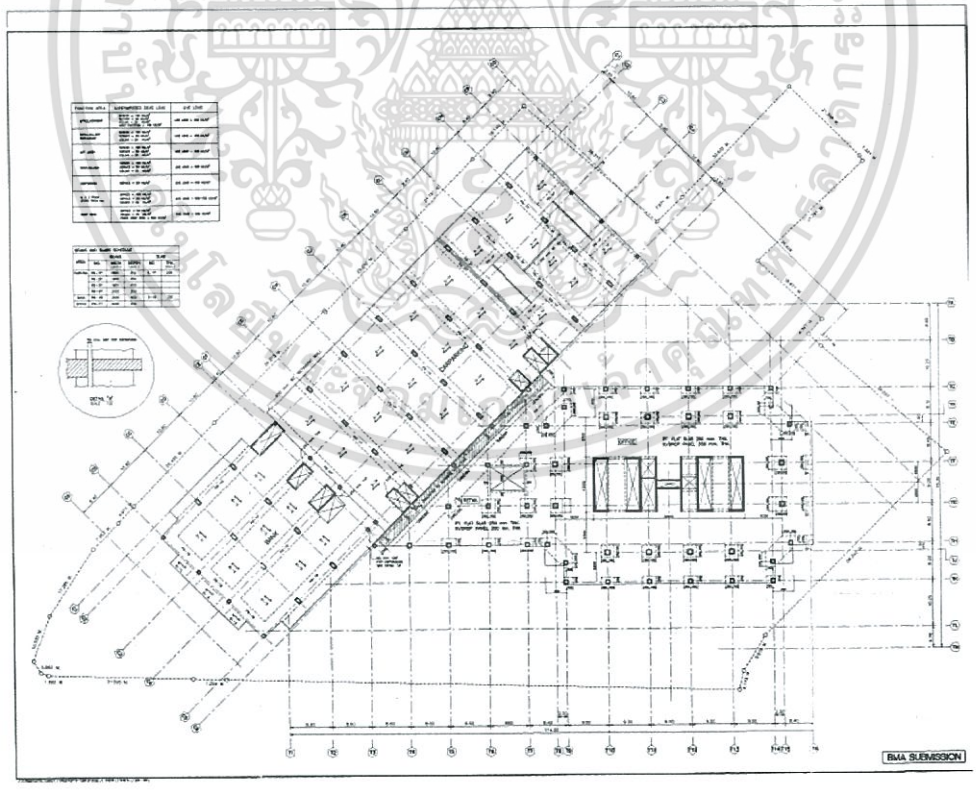


รูปที่ ก-4 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

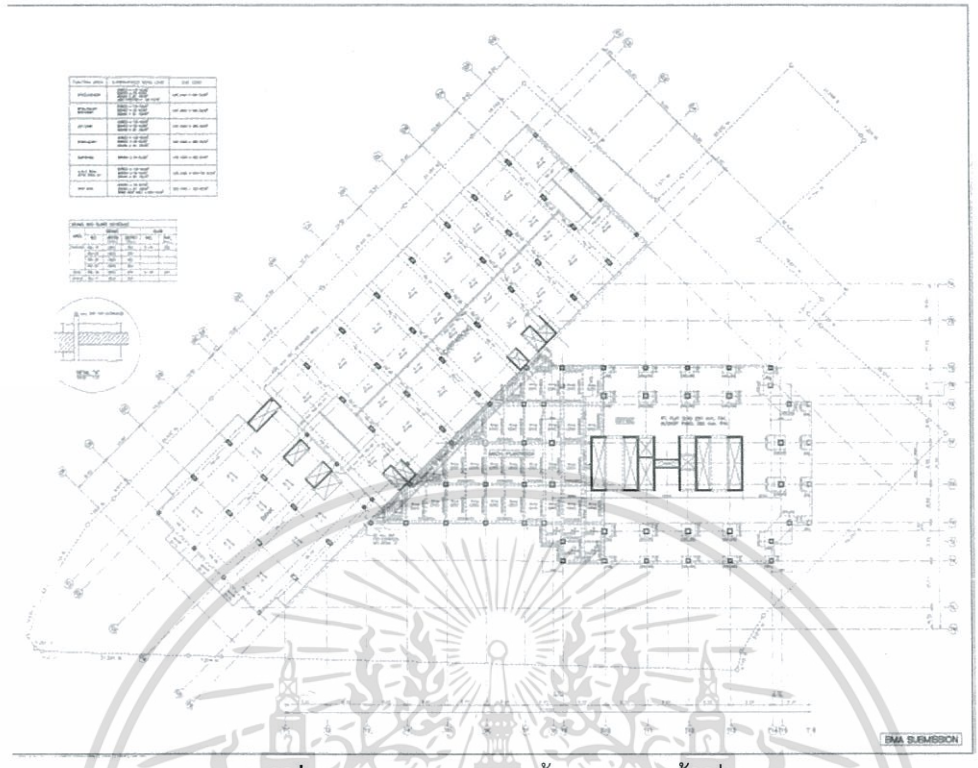


รูปที่ ก-5 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 3

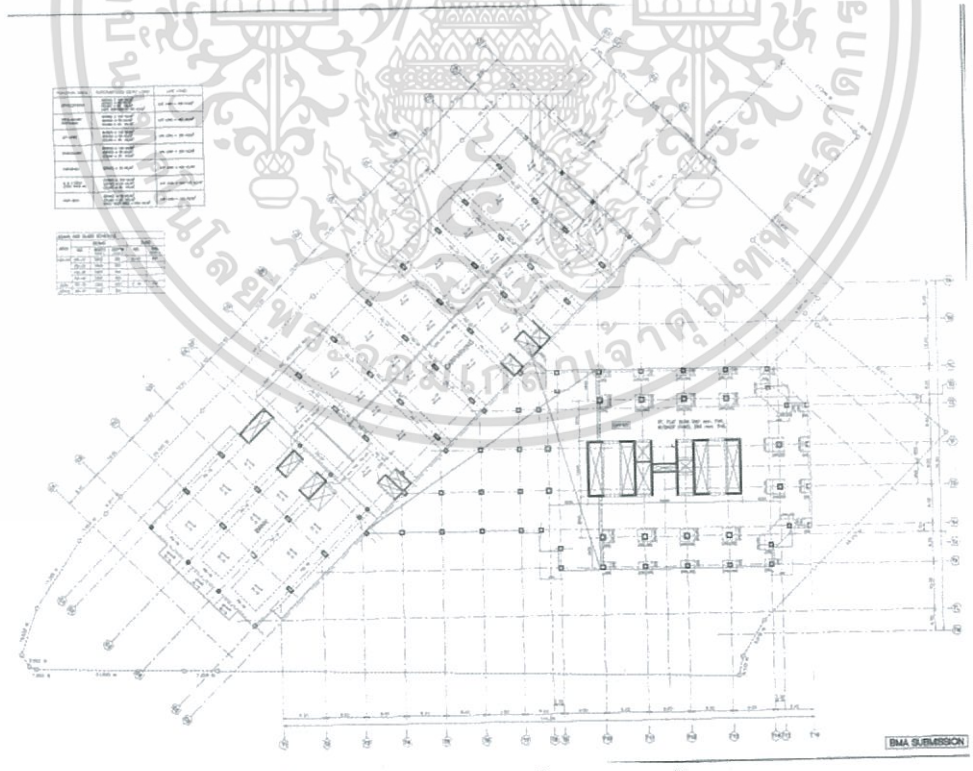


รูปที่ ก-6 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 4-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

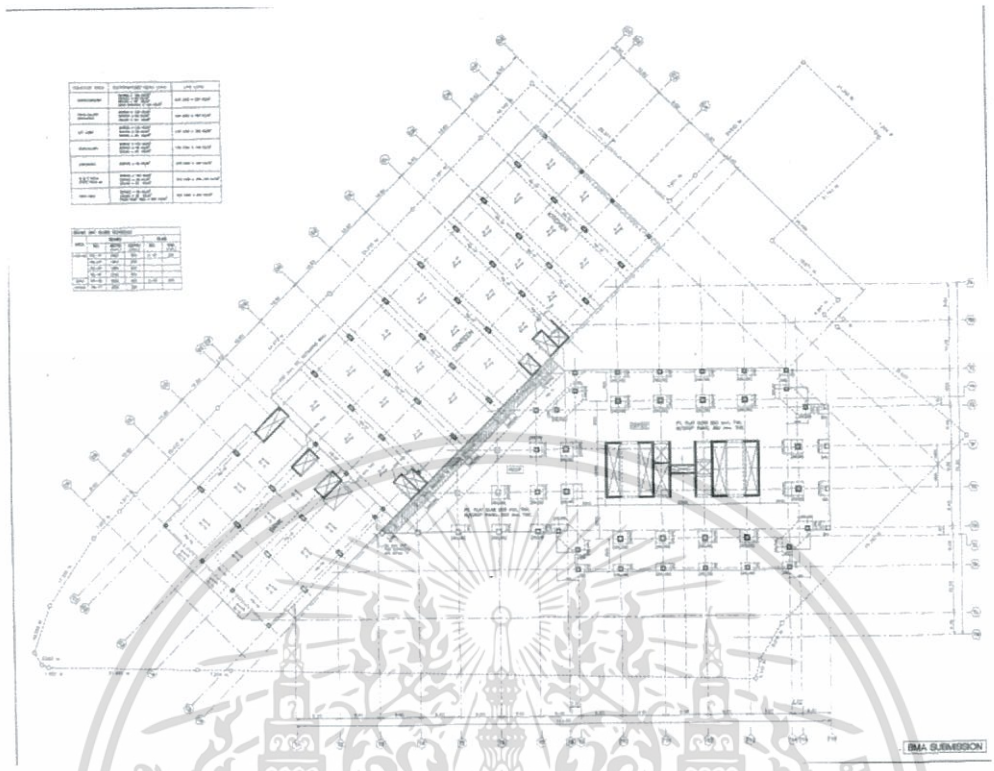


รูปที่ ก-7 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 7

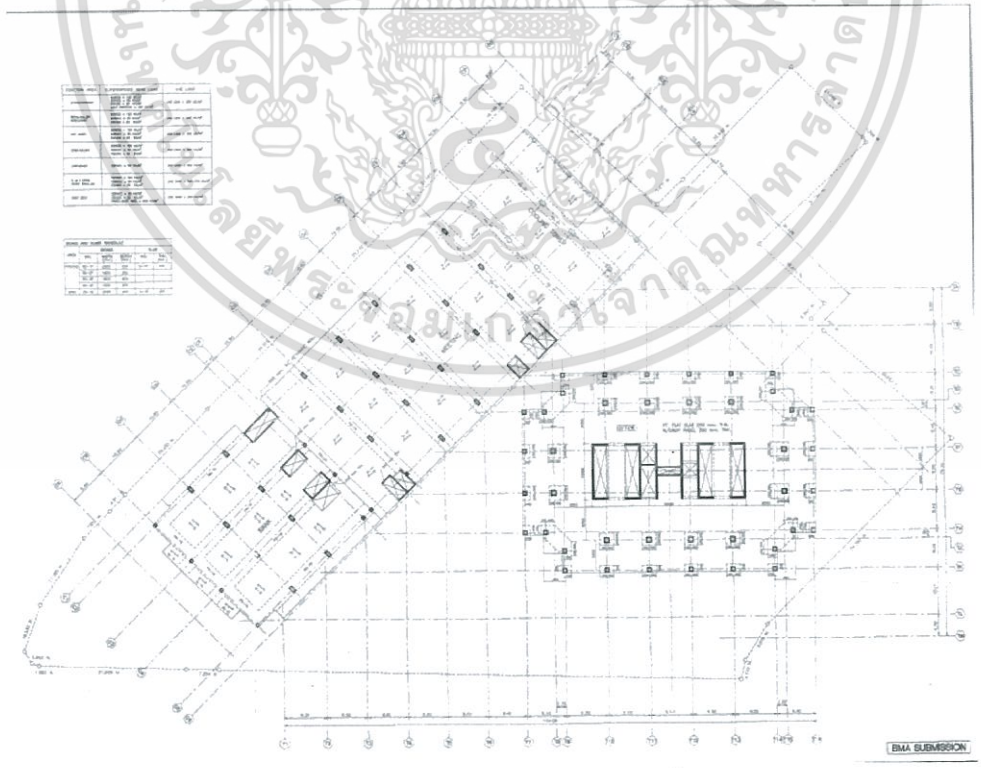


รูปที่ ก-8 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

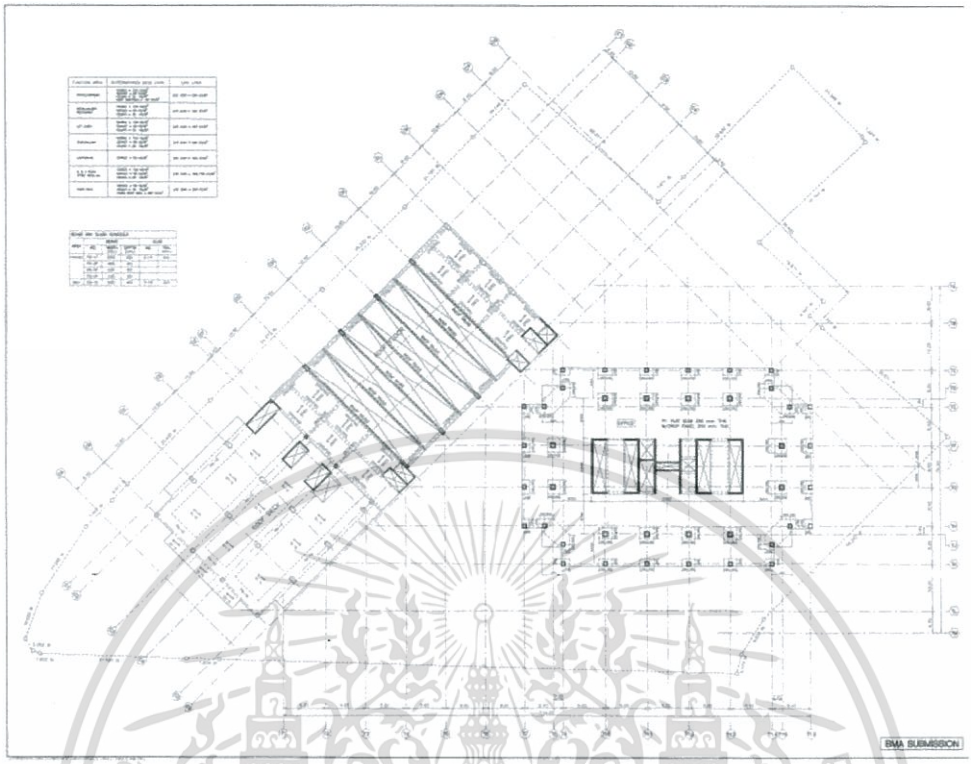


รูปที่ ก-9 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 9

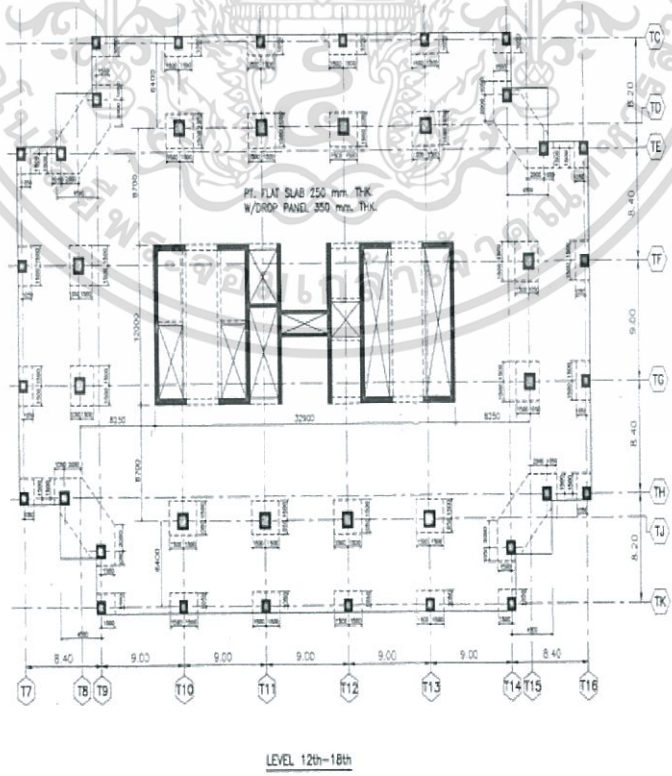


รูปที่ ก-10 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

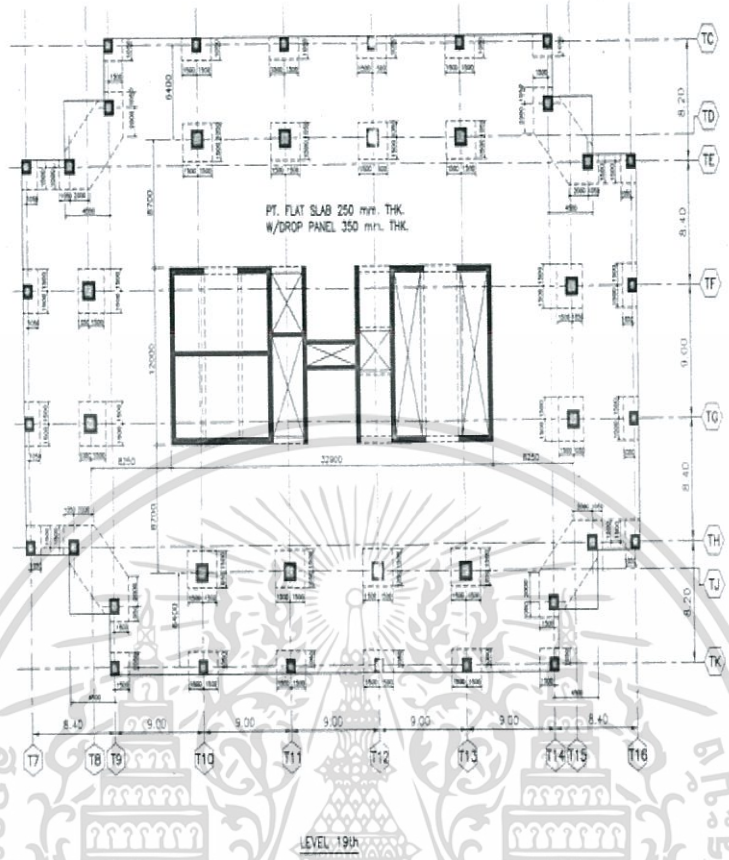


รูปที่ ก-11 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 11

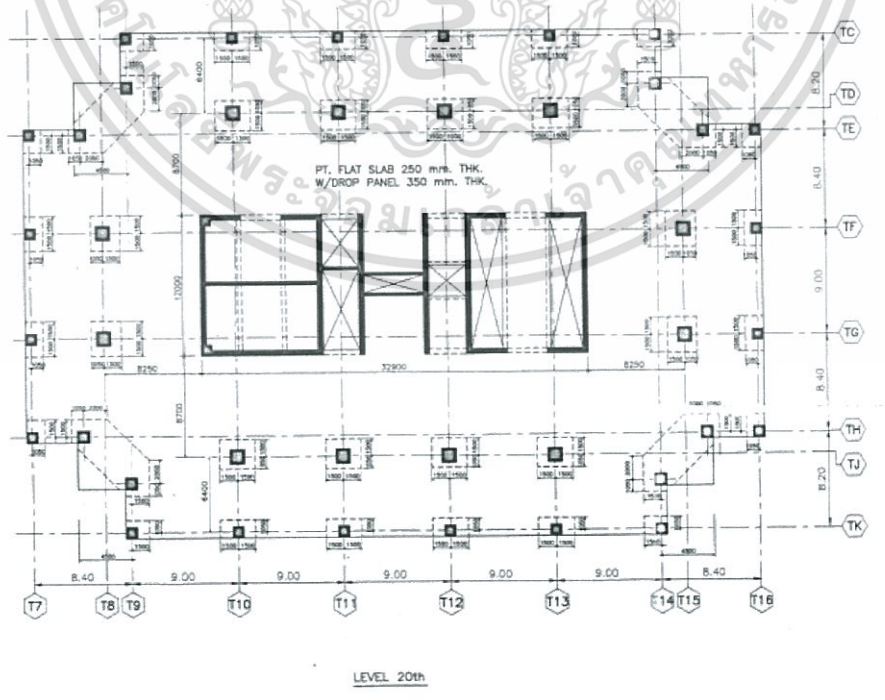


รูปที่ ก-12 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 12-18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

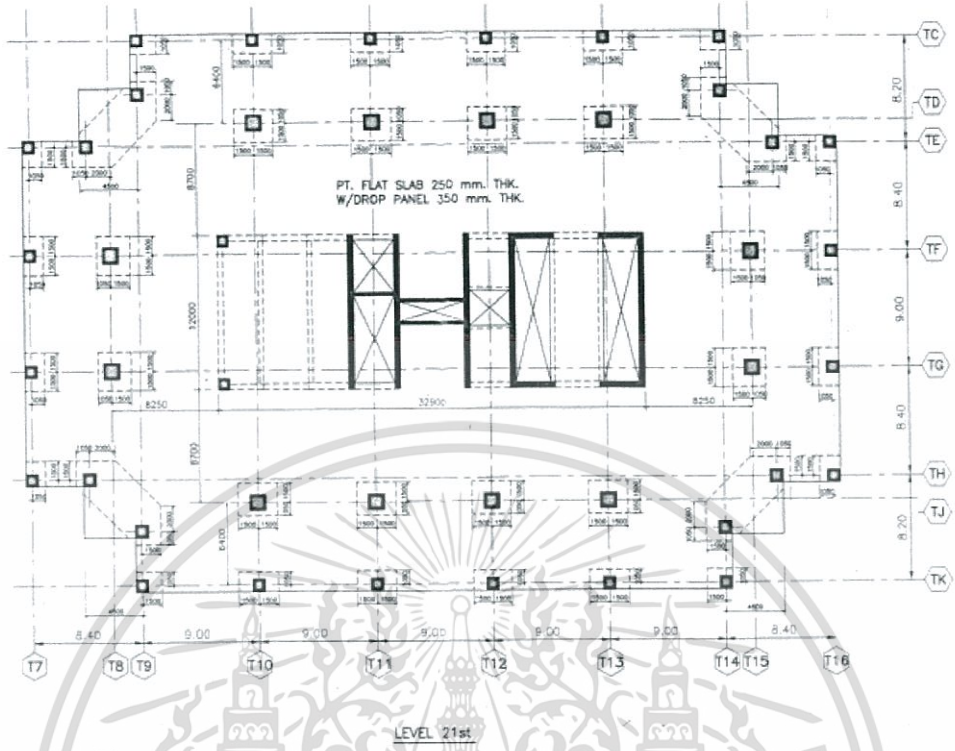


รูปที่ ก-13 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 19

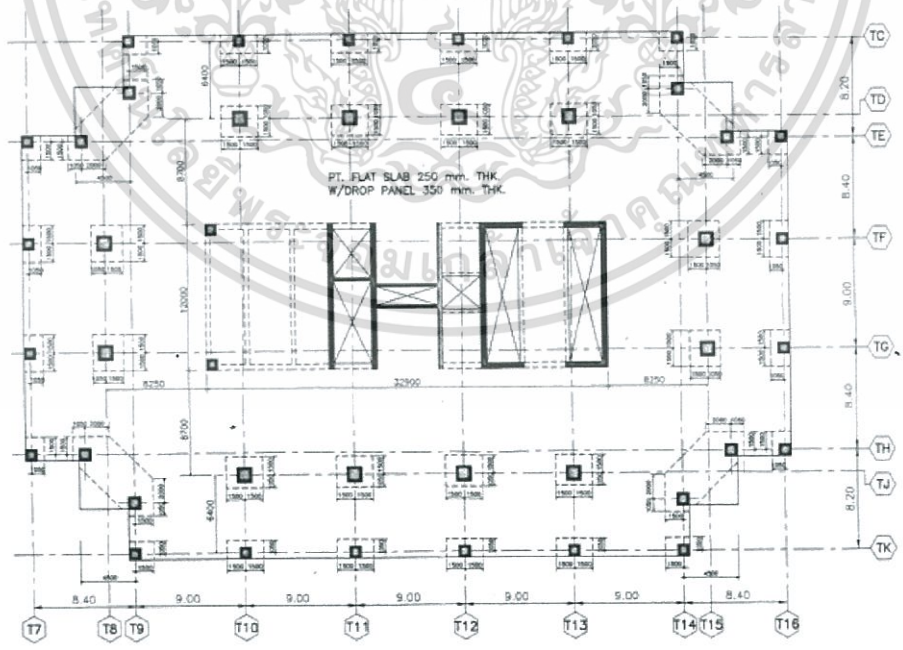


รูปที่ ก-14 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

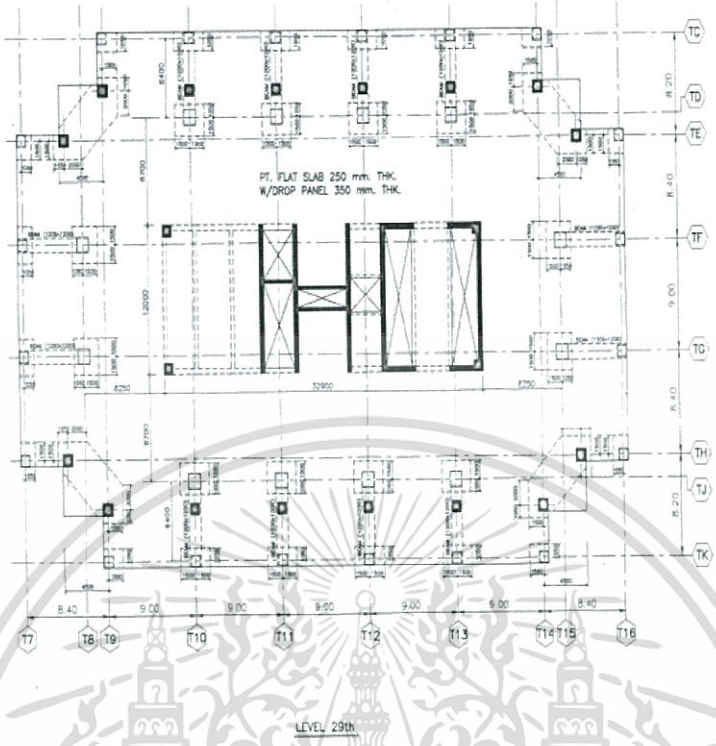


รูปที่ ก-15 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 21

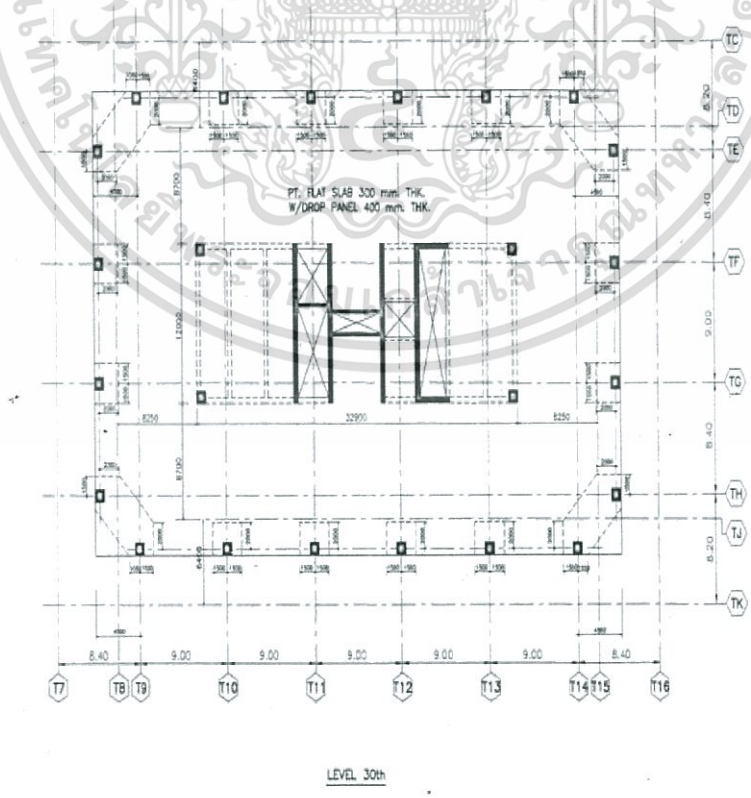


รูปที่ ก-16 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 22-28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

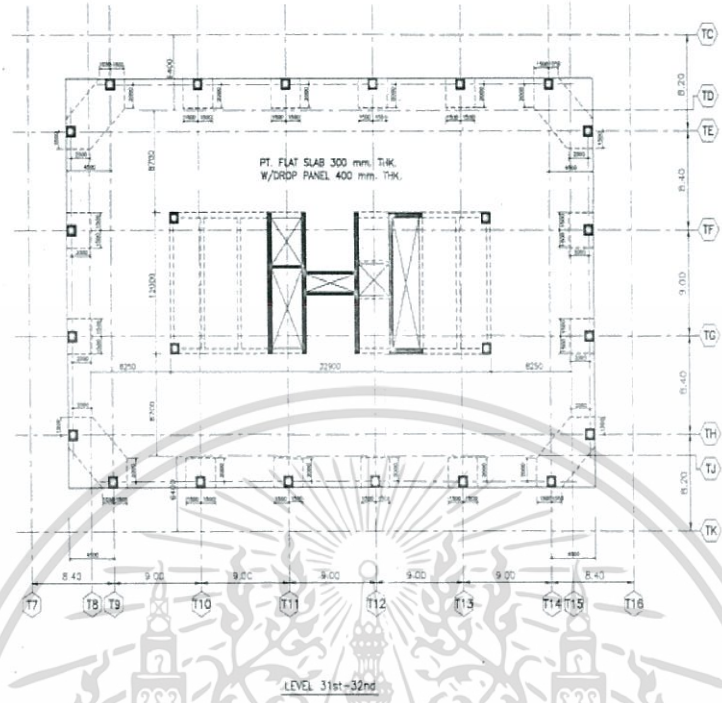


รูปที่ ก-17 หน้าตัดอาคารอื๊อจือเหลียงชั้นที่ 29

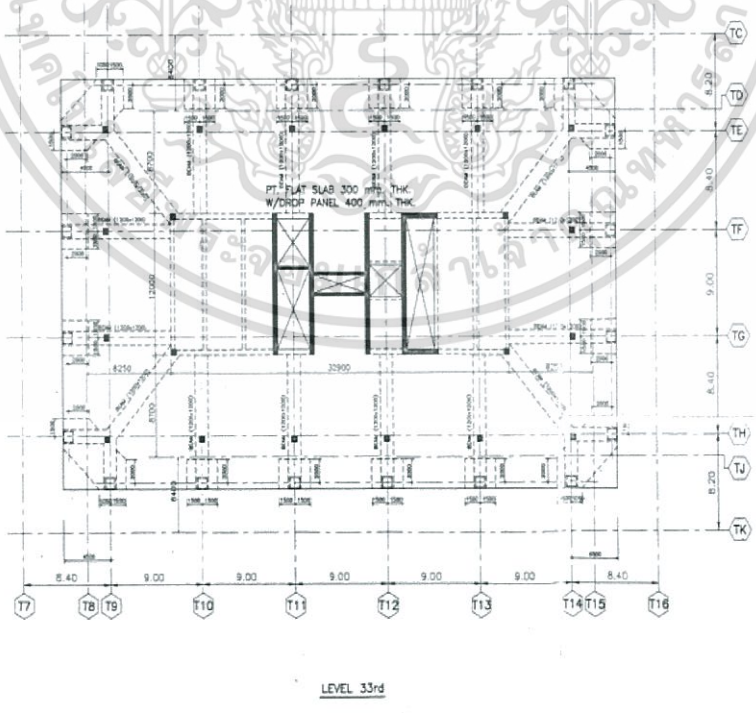


รูปที่ ก-18 หน้าตัดอาคารอื๊อจือเหลียงชั้นที่ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

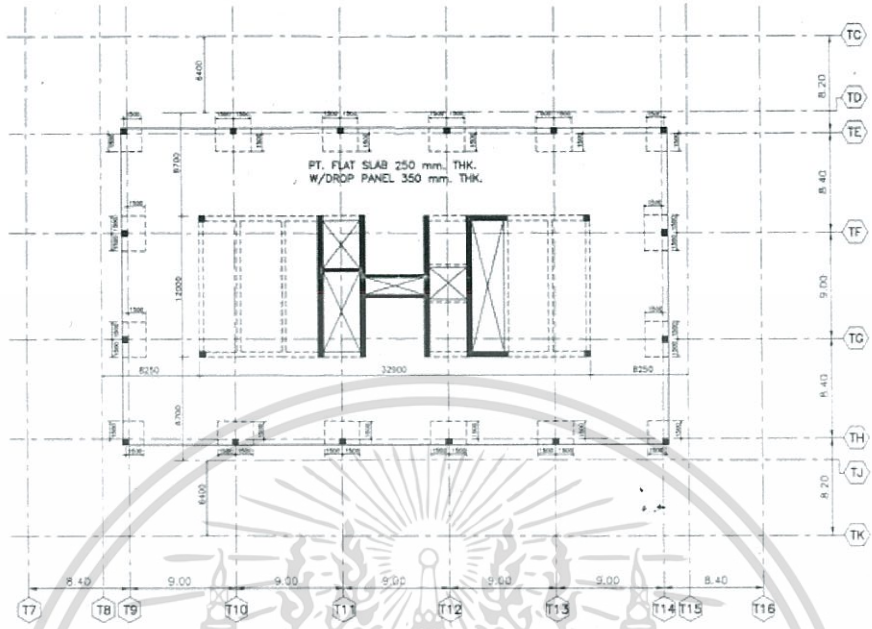


รูปที่ ก-19 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 31-32

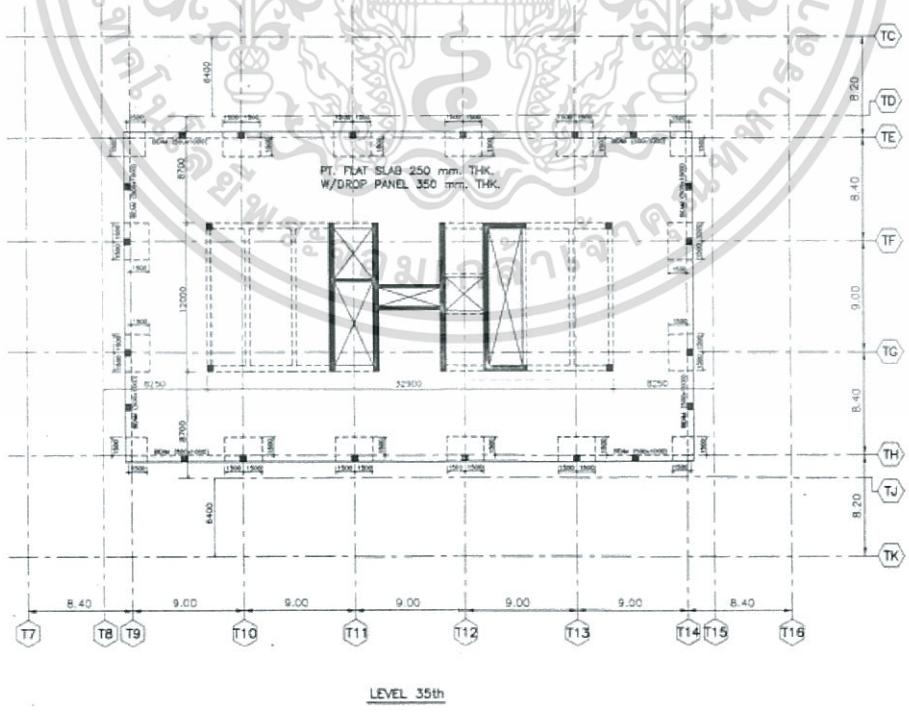


รูปที่ ก-20 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

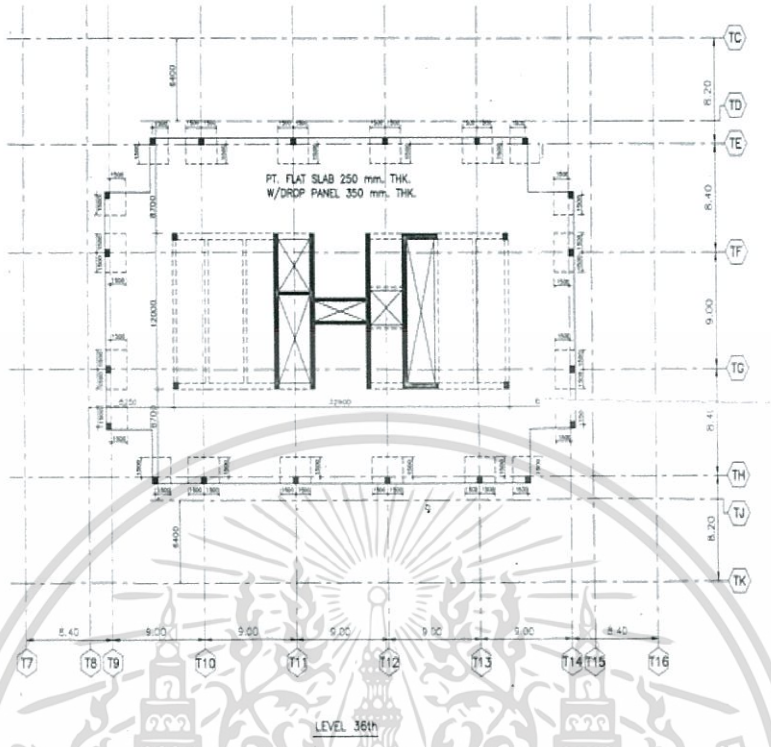


รูปที่ ก-21 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 34

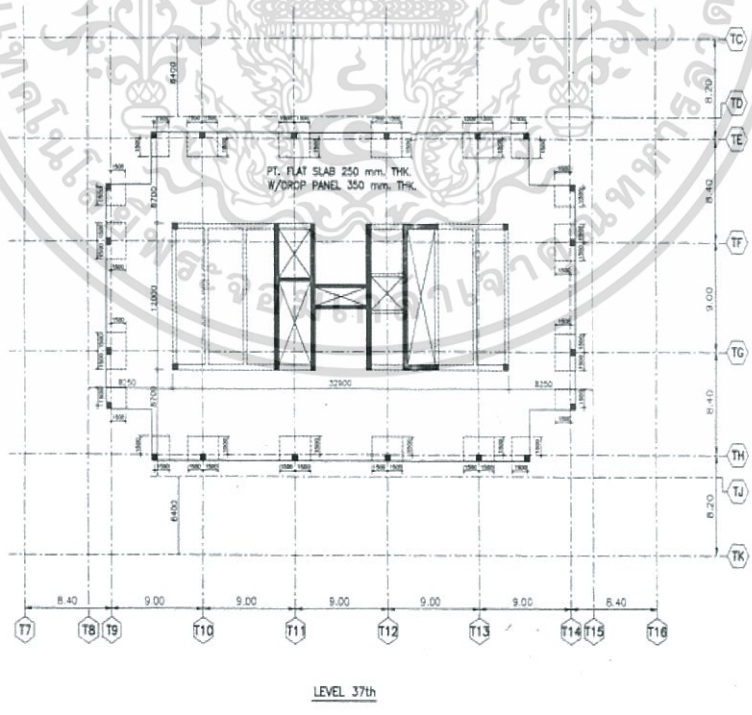


รูปที่ ก-22 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

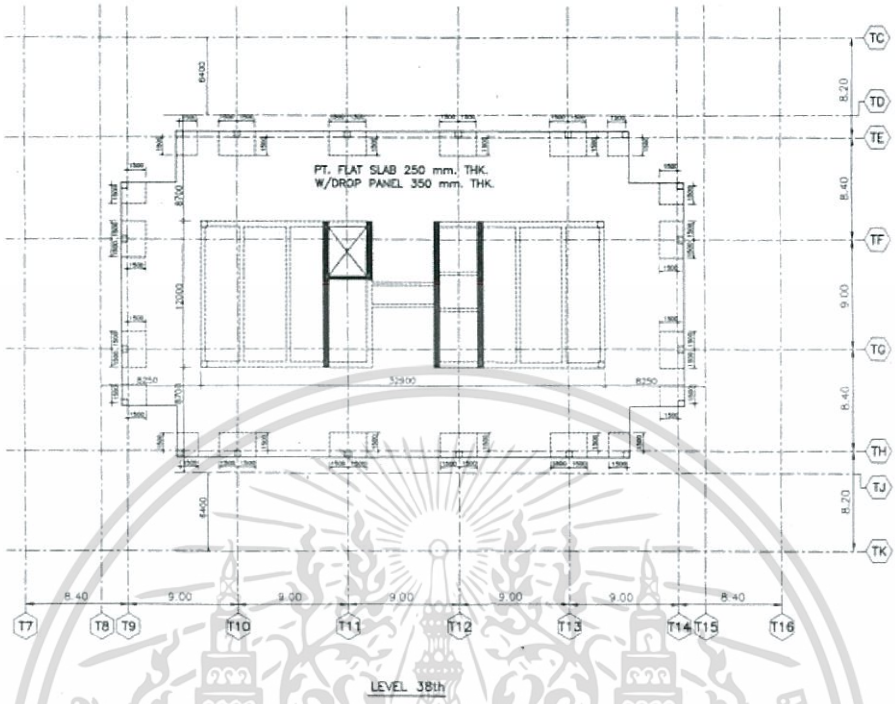


รูปที่ ก-23 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 36



รูปที่ ก-24 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-25 หน้าตัดอาคารอื้อจือเหลียงชั้นที่ 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางการคำนวณค่า Inter Story Drift ของแต่ละวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตารางการคำนวณค่า Inter Story Drift ของแต่ละวิธี

ตารางที่ ข-1 ตารางการคำนวณค่า Inter Story Drift ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในแนวแกน Y ก่อนการเสริมกำลัง

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
ROOF	4.5	1.25	493.975	0.018656	0.067162	140.4	
STORY38	4.5	1.25	475.319	0.017869	0.064328	136.7	3.7
STORY37	4.5	1.25	457.45	0.018111	0.0652	133	3.7
STORY36	4.5	1.25	439.339	0.018122	0.065239	129.3	3.7
STORY35	4.5	1.25	421.217	0.01814	0.065304	125.6	3.7
STORY34	4.5	1.25	403.077	0.017695	0.063702	121.9	3.7
STORY33	4.5	1.25	385.382	0.017552	0.063187	118.2	3.7
STORY32	4.5	1.25	367.83	0.018233	0.065639	114.2	4
STORY31	4.5	1.25	349.597	0.017729	0.063824	110.5	3.7
STORY30	4.5	1.25	331.868	0.020352	0.073267	106.8	3.7
STORY29	4.5	1.25	311.516	0.019329	0.069584	103.1	3.7
STORY28	4.5	1.25	292.187	0.017839	0.06422	99.1	4
STORY27	4.5	1.25	274.348	0.017588	0.063317	95.4	3.7
STORY26	4.5	1.25	256.76	0.01718	0.061848	91.7	3.7
STORY25	4.5	1.25	239.58	0.016854	0.060674	88	3.7
STORY24	4.5	1.25	222.726	0.016689	0.06008	84.3	3.7
STORY23	4.5	1.25	206.037	0.016334	0.058802	80.6	3.7
STORY22	4.5	1.25	189.703	0.016675	0.06003	76.9	3.7
STORY21	4.5	1.25	173.028	0.015812	0.056923	73.2	3.7
STORY20	4.5	1.25	157.216	0.014583	0.052499	69.5	3.7
STORY19	4.5	1.25	142.633	0.013471	0.048496	65.8	3.7
STORY18	4.5	1.25	129.162	0.013933	0.050159	62.1	3.7

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
STORY17	4.5	1.25	115.229	0.013664	0.04919	58.4	3.7
STORY16	4.5	1.25	101.565	0.013212	0.047563	54.7	3.7
STORY15	4.5	1.25	88.353	0.012718	0.045785	51	3.7
STORY14	4.5	1.25	75.635	0.012179	0.043844	47.3	3.7
STORY13	4.5	1.25	63.456	0.01159	0.041724	43.6	3.7
STORY12	4.5	1.25	51.866	0.008929	0.032144	39.9	3.7
STORY11	4.5	1.25	42.937	0.008313	0.029927	36.2	3.7
STORY10	4.5	1.25	34.624	0.005505	0.019818	32.5	3.7
STORY9	4.5	1.25	29.119	0.005331	0.019192	28.8	3.7
STORY8	4.5	1.25	23.788	0.004043	0.014555	25.1	3.7
STORY7	4.5	1.25	19.745	0.004273	0.015383	21.4	3.7
STORY6	4.5	1.25	15.472	0.003817	0.013741	17.7	3.7
STORY5	4.5	1.25	11.655	0.003332	0.011995	14	3.7
STORY4	4.5	1.25	8.323	0.002854	0.010274	10.3	3.7
STORY3	4.5	1.25	5.469	0.002245	0.008082	6.6	3.7
STORY2	4.5	1.25	3.224	0.00242	0.008712	2.9	3.7
STORY1	4.5	1.25	0.804	0.000804	0.002894	-2.1	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ตารางการคำนวณค่า Inter Story Drift ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในแนวแกน X ก่อนการเสริมกำลัง

Story	Cd	I	UX(mm)	$\delta xe(m)$	$\delta x(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
ROOF	4.5	1.25	311.871	0.008812	0.031723	140.4	
STORY38	4.5	1.25	303.059	0.008944	0.032198	136.7	3.7
STORY37	4.5	1.25	294.115	0.00903	0.032508	133	3.7
STORY36	4.5	1.25	285.085	0.009071	0.032656	129.3	3.7
STORY35	4.5	1.25	276.014	0.009138	0.032897	125.6	3.7
STORY34	4.5	1.25	266.876	0.00891	0.032076	121.9	3.7
STORY33	4.5	1.25	257.966	0.00968	0.034848	118.2	3.7
STORY32	4.5	1.25	248.286	0.009731	0.035032	114.2	4
STORY31	4.5	1.25	238.555	0.009892	0.035611	110.5	3.7
STORY30	4.5	1.25	228.663	0.009985	0.035946	106.8	3.7
STORY29	4.5	1.25	218.678	0.010811	0.03892	103.1	3.7
STORY28	4.5	1.25	207.867	0.010144	0.036518	99.1	4
STORY27	4.5	1.25	197.723	0.010166	0.036598	95.4	3.7
STORY26	4.5	1.25	187.557	0.01013	0.036468	91.7	3.7
STORY25	4.5	1.25	177.427	0.00996	0.035856	88	3.7
STORY24	4.5	1.25	167.467	0.009758	0.035129	84.3	3.7
STORY23	4.5	1.25	157.709	0.009405	0.033858	80.6	3.7
STORY22	4.5	1.25	148.304	0.008682	0.031255	76.9	3.7
STORY21	4.5	1.25	139.622	0.006902	0.024847	73.2	3.7
STORY20	4.5	1.25	132.72	0.006824	0.024566	69.5	3.7
STORY19	4.5	1.25	125.896	0.00733	0.026388	65.8	3.7
STORY18	4.5	1.25	118.566	0.008256	0.029722	62.1	3.7
STORY17	4.5	1.25	110.31	0.008704	0.031334	58.4	3.7
STORY16	4.5	1.25	101.606	0.00887	0.031932	54.7	3.7
STORY15	4.5	1.25	92.736	0.008894	0.032018	51	3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
STORY14	4.5	1.25	83.842	0.008813	0.031727	47.3	3.7
STORY13	4.5	1.25	75.029	0.008624	0.031046	43.6	3.7
STORY12	4.5	1.25	66.405	0.008573	0.030863	39.9	3.7
STORY11	4.5	1.25	57.832	0.009495	0.034182	36.2	3.7
STORY10	4.5	1.25	48.337	0.006955	0.025038	32.5	3.7
STORY9	4.5	1.25	41.382	0.007065	0.025434	28.8	3.7
STORY8	4.5	1.25	34.317	0.006105	0.021978	25.1	3.7
STORY7	4.5	1.25	28.212	0.006056	0.021802	21.4	3.7
STORY6	4.5	1.25	22.156	0.00556	0.020016	17.7	3.7
STORY5	4.5	1.25	16.596	0.005025	0.01809	14	3.7
STORY4	4.5	1.25	11.571	0.004388	0.015797	10.3	3.7
STORY3	4.5	1.25	7.183	0.003613	0.013007	6.6	3.7
STORY2	4.5	1.25	3.57	0.003204	0.011534	2.9	3.7
STORY1	4.5	1.25	0.366	0.000366	0.001318	-2.1	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ตารางการคำนวณค่า Inter Story Drift ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในแนวแกน Y หลังจากการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
ROOF	4.5	1.25	381.789	0.01438	0.051768	140.4	3.7
STORY38	4.5	1.25	367.409	0.013834	0.049802	136.7	3.7
STORY37	4.5	1.25	353.575	0.014074	0.050666	133	3.7
STORY36	4.5	1.25	339.501	0.0141	0.05076	129.3	3.7
STORY35	4.5	1.25	325.401	0.014059	0.050612	125.6	3.7
STORY34	4.5	1.25	311.342	0.013851	0.049864	121.9	3.7
STORY33	4.5	1.25	297.491	0.013652	0.049147	118.2	3.7
STORY32	4.5	1.25	283.839	0.014021	0.050476	114.2	4
STORY31	4.5	1.25	269.818	0.013294	0.047858	110.5	3.7
STORY30	4.5	1.25	256.524	0.015399	0.055436	106.8	3.7
STORY29	4.5	1.25	241.125	0.014813	0.053327	103.1	3.7
STORY28	4.5	1.25	226.312	0.013712	0.049363	99.1	4
STORY27	4.5	1.25	212.6	0.013484	0.048542	95.4	3.7
STORY26	4.5	1.25	199.116	0.013177	0.047437	91.7	3.7
STORY25	4.5	1.25	185.939	0.012928	0.046541	88	3.7
STORY24	4.5	1.25	173.011	0.012764	0.04595	84.3	3.7
STORY23	4.5	1.25	160.247	0.012485	0.044946	80.6	3.7
STORY22	4.5	1.25	147.762	0.013101	0.047164	76.9	3.7
STORY21	4.5	1.25	134.661	0.012341	0.044428	73.2	3.7
STORY20	4.5	1.25	122.32	0.011084	0.039902	69.5	3.7
STORY19	4.5	1.25	111.236	0.010126	0.036454	65.8	3.7
STORY18	4.5	1.25	101.11	0.010545	0.037962	62.1	3.7
STORY17	4.5	1.25	90.565	0.010384	0.037382	58.4	3.7
STORY16	4.5	1.25	80.181	0.010043	0.036155	54.7	3.7
STORY15	4.5	1.25	70.138	0.009671	0.034816	51	3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
STORY14	4.5	1.25	60.467	0.009268	0.033365	47.3	3.7
STORY13	4.5	1.25	51.199	0.00883	0.031788	43.6	3.7
STORY12	4.5	1.25	42.369	0.008306	0.029902	39.9	3.7
STORY11	4.5	1.25	34.063	0.006725	0.02421	36.2	3.7
STORY10	4.5	1.25	27.338	0.004356	0.015682	32.5	3.7
STORY9	4.5	1.25	22.982	0.004118	0.014825	28.8	3.7
STORY8	4.5	1.25	18.864	0.003232	0.011635	25.1	3.7
STORY7	4.5	1.25	15.632	0.003335	0.012006	21.4	3.7
STORY6	4.5	1.25	12.297	0.002988	0.010757	17.7	3.7
STORY5	4.5	1.25	9.309	0.002609	0.009392	14	3.7
STORY4	4.5	1.25	6.7	0.002238	0.008057	10.3	3.7
STORY3	4.5	1.25	4.462	0.001762	0.006343	6.6	3.7
STORY2	4.5	1.25	2.7	0.001932	0.006955	2.9	3.7
STORY1	4.5	1.25	0.768	0.000768	0.002765	-2.1	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ตารางการคำนวณค่า Inter Story Drift ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในแนวแกน X หลังจากการพอกโครงสร้างด้วยคอนกรีต

Story	Cd	I	UX(mm)	$\delta xe(m)$	$\delta x(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
ROOF	4.5	1.25	247.929	0.007246	0.026086	140.4	3.7
STORY38	4.5	1.25	240.683	0.007391	0.026608	136.7	3.7
STORY37	4.5	1.25	233.292	0.007427	0.026737	133	3.7
STORY36	4.5	1.25	225.865	0.007454	0.026834	129.3	3.7
STORY35	4.5	1.25	218.411	0.007484	0.026942	125.6	3.7
STORY34	4.5	1.25	210.927	0.007354	0.026474	121.9	3.7
STORY33	4.5	1.25	203.573	0.007928	0.028541	118.2	3.7
STORY32	4.5	1.25	195.645	0.007813	0.028127	114.2	4
STORY31	4.5	1.25	187.832	0.007905	0.028458	110.5	3.7
STORY30	4.5	1.25	179.927	0.007986	0.02875	106.8	3.7
STORY29	4.5	1.25	171.941	0.008598	0.030953	103.1	3.7
STORY28	4.5	1.25	163.343	0.008002	0.028807	99.1	4
STORY27	4.5	1.25	155.341	0.007981	0.028732	95.4	3.7
STORY26	4.5	1.25	147.36	0.007913	0.028487	91.7	3.7
STORY25	4.5	1.25	139.447	0.007768	0.027965	88	3.7
STORY24	4.5	1.25	131.679	0.007582	0.027295	84.3	3.7
STORY23	4.5	1.25	124.097	0.007292	0.026251	80.6	3.7
STORY22	4.5	1.25	116.805	0.006746	0.024286	76.9	3.7
STORY21	4.5	1.25	110.059	0.005451	0.019624	73.2	3.7
STORY20	4.5	1.25	104.608	0.005378	0.019361	69.5	3.7
STORY19	4.5	1.25	99.23	0.005733	0.020639	65.8	3.7
STORY18	4.5	1.25	93.497	0.006413	0.023087	62.1	3.7
STORY17	4.5	1.25	87.084	0.00675	0.0243	58.4	3.7
STORY16	4.5	1.25	80.334	0.006878	0.024761	54.7	3.7
STORY15	4.5	1.25	73.456	0.006902	0.024847	51	3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
STORY14	4.5	1.25	66.554	0.00685	0.02466	47.3	3.7
STORY13	4.5	1.25	59.704	0.006725	0.02421	43.6	3.7
STORY12	4.5	1.25	52.979	0.006683	0.024059	39.9	3.7
STORY11	4.5	1.25	46.296	0.007275	0.02619	36.2	3.7
STORY10	4.5	1.25	39.021	0.005638	0.020297	32.5	3.7
STORY9	4.5	1.25	33.383	0.005649	0.020336	28.8	3.7
STORY8	4.5	1.25	27.734	0.004972	0.017899	25.1	3.7
STORY7	4.5	1.25	22.762	0.004866	0.017518	21.4	3.7
STORY6	4.5	1.25	17.896	0.004463	0.016067	17.7	3.7
STORY5	4.5	1.25	13.433	0.004027	0.014497	14	3.7
STORY4	4.5	1.25	9.406	0.003515	0.012654	10.3	3.7
STORY3	4.5	1.25	5.891	0.002904	0.010454	6.6	3.7
STORY2	4.5	1.25	2.987	0.002616	0.009418	2.9	3.7
STORY1	4.5	1.25	0.371	0.000371	0.001336	-2.1	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ตารางการคำนวณค่า Inter Story Drift ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในแนวแกน Y หลังจากการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
ROOF	4.5	1.25	380.689	0.01434	0.051624	140.4	3.7
STORY38	4.5	1.25	366.349	0.013796	0.049666	136.7	3.7
STORY37	4.5	1.25	352.553	0.014038	0.050537	133	3.7
STORY36	4.5	1.25	338.515	0.014062	0.050623	129.3	3.7
STORY35	4.5	1.25	324.453	0.014022	0.050479	125.6	3.7
STORY34	4.5	1.25	310.431	0.013815	0.049734	121.9	3.7
STORY33	4.5	1.25	296.616	0.013616	0.049018	118.2	3.7
STORY32	4.5	1.25	283	0.013982	0.050335	114.2	4
STORY31	4.5	1.25	269.018	0.013254	0.047714	110.5	3.7
STORY30	4.5	1.25	255.764	0.015354	0.055274	106.8	3.7
STORY29	4.5	1.25	240.41	0.014772	0.053179	103.1	3.7
STORY28	4.5	1.25	225.638	0.013675	0.04923	99.1	4
STORY27	4.5	1.25	211.963	0.013447	0.048409	95.4	3.7
STORY26	4.5	1.25	198.516	0.01314	0.047304	91.7	3.7
STORY25	4.5	1.25	185.376	0.012893	0.046415	88	3.7
STORY24	4.5	1.25	172.483	0.012729	0.045824	84.3	3.7
STORY23	4.5	1.25	159.754	0.012451	0.044824	80.6	3.7
STORY22	4.5	1.25	147.303	0.013068	0.047045	76.9	3.7
STORY21	4.5	1.25	134.235	0.01231	0.044316	73.2	3.7
STORY20	4.5	1.25	121.925	0.011053	0.039791	69.5	3.7
STORY19	4.5	1.25	110.872	0.010096	0.036346	65.8	3.7
STORY18	4.5	1.25	100.776	0.010515	0.037854	62.1	3.7
STORY17	4.5	1.25	90.261	0.010355	0.037278	58.4	3.7
STORY16	4.5	1.25	79.906	0.010014	0.03605	54.7	3.7
STORY15	4.5	1.25	69.892	0.009644	0.034718	51	3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
STORY14	4.5	1.25	60.248	0.009242	0.033271	47.3	3.7
STORY13	4.5	1.25	51.006	0.008805	0.031698	43.6	3.7
STORY12	4.5	1.25	42.201	0.008219	0.029588	39.9	3.7
STORY11	4.5	1.25	33.982	0.006711	0.02416	36.2	3.7
STORY10	4.5	1.25	27.271	0.004346	0.015646	32.5	3.7
STORY9	4.5	1.25	22.925	0.004106	0.014782	28.8	3.7
STORY8	4.5	1.25	18.819	0.003225	0.01161	25.1	3.7
STORY7	4.5	1.25	15.594	0.003327	0.011977	21.4	3.7
STORY6	4.5	1.25	12.267	0.002979	0.010724	17.7	3.7
STORY5	4.5	1.25	9.288	0.002603	0.009371	14	3.7
STORY4	4.5	1.25	6.685	0.002232	0.008035	10.3	3.7
STORY3	4.5	1.25	4.453	0.001758	0.006329	6.6	3.7
STORY2	4.5	1.25	2.695	0.001927	0.006937	2.9	3.7
STORY1	4.5	1.25	0.768	0.000768	0.002765	-2.1	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 ตารางการคำนวณค่า Inter Story Drift ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในแนวแกน X หลังจากการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นเหล็ก

Story	Cd	I	UX(mm)	$\delta xe(m)$	$\delta x(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
ROOF	4.5	1.25	247.356	0.007231	0.026032	140.4	3.7
STORY38	4.5	1.25	240.125	0.007378	0.026561	136.7	3.7
STORY37	4.5	1.25	232.747	0.007411	0.02668	133	3.7
STORY36	4.5	1.25	225.336	0.00744	0.026784	129.3	3.7
STORY35	4.5	1.25	217.896	0.007468	0.026885	125.6	3.7
STORY34	4.5	1.25	210.428	0.00734	0.026424	121.9	3.7
STORY33	4.5	1.25	203.088	0.007913	0.028487	118.2	3.7
STORY32	4.5	1.25	195.175	0.007796	0.028066	114.2	4
STORY31	4.5	1.25	187.379	0.007887	0.028393	110.5	3.7
STORY30	4.5	1.25	179.492	0.007968	0.028685	106.8	3.7
STORY29	4.5	1.25	171.524	0.008578	0.030881	103.1	3.7
STORY28	4.5	1.25	162.946	0.007984	0.028742	99.1	4
STORY27	4.5	1.25	154.962	0.007962	0.028663	95.4	3.7
STORY26	4.5	1.25	147	0.007893	0.028415	91.7	3.7
STORY25	4.5	1.25	139.107	0.007749	0.027896	88	3.7
STORY24	4.5	1.25	131.358	0.007564	0.02723	84.3	3.7
STORY23	4.5	1.25	123.794	0.007273	0.026183	80.6	3.7
STORY22	4.5	1.25	116.521	0.006729	0.024224	76.9	3.7
STORY21	4.5	1.25	109.792	0.005438	0.019577	73.2	3.7
STORY20	4.5	1.25	104.354	0.005365	0.019314	69.5	3.7
STORY19	4.5	1.25	98.989	0.005719	0.020588	65.8	3.7
STORY18	4.5	1.25	93.27	0.006396	0.023026	62.1	3.7
STORY17	4.5	1.25	86.874	0.006733	0.024239	58.4	3.7
STORY16	4.5	1.25	80.141	0.00686	0.024696	54.7	3.7
STORY15	4.5	1.25	73.281	0.006885	0.024786	51	3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
STORY14	4.5	1.25	66.396	0.006833	0.024599	47.3	3.7
STORY13	4.5	1.25	59.563	0.006708	0.024149	43.6	3.7
STORY12	4.5	1.25	52.855	0.006665	0.023994	39.9	3.7
STORY11	4.5	1.25	46.19	0.007256	0.026122	36.2	3.7
STORY10	4.5	1.25	38.934	0.005625	0.02025	32.5	3.7
STORY9	4.5	1.25	33.309	0.005636	0.02029	28.8	3.7
STORY8	4.5	1.25	27.673	0.004962	0.017863	25.1	3.7
STORY7	4.5	1.25	22.711	0.004854	0.017474	21.4	3.7
STORY6	4.5	1.25	17.857	0.004453	0.016031	17.7	3.7
STORY5	4.5	1.25	13.404	0.004018	0.014465	14	3.7
STORY4	4.5	1.25	9.386	0.003507	0.012625	10.3	3.7
STORY3	4.5	1.25	5.879	0.002898	0.010433	6.6	3.7
STORY2	4.5	1.25	2.981	0.00261	0.009396	2.9	3.7
STORY1	4.5	1.25	0.371	0.000371	0.001336	-2.1	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 ตารางการคำนวณค่า Inter Story Drift ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในแนวแกน Y หลังจากการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใย

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
ROOF	4.5	1.25	380.689	0.01434	0.051624	140.4	3.7
STORY38	4.5	1.25	366.349	0.013796	0.049666	136.7	3.7
STORY37	4.5	1.25	352.553	0.014038	0.050537	133	3.7
STORY36	4.5	1.25	338.515	0.014062	0.050623	129.3	3.7
STORY35	4.5	1.25	324.453	0.014022	0.050479	125.6	3.7
STORY34	4.5	1.25	310.431	0.013815	0.049734	121.9	3.7
STORY33	4.5	1.25	296.616	0.013616	0.049018	118.2	3.7
STORY32	4.5	1.25	283	0.013982	0.050335	114.2	4
STORY31	4.5	1.25	269.018	0.013254	0.047714	110.5	3.7
STORY30	4.5	1.25	255.764	0.015354	0.055274	106.8	3.7
STORY29	4.5	1.25	240.41	0.014772	0.053179	103.1	3.7
STORY28	4.5	1.25	225.638	0.013675	0.04923	99.1	4
STORY27	4.5	1.25	211.963	0.013447	0.048409	95.4	3.7
STORY26	4.5	1.25	198.516	0.01314	0.047304	91.7	3.7
STORY25	4.5	1.25	185.376	0.012893	0.046415	88	3.7
STORY24	4.5	1.25	172.483	0.012729	0.045824	84.3	3.7
STORY23	4.5	1.25	159.754	0.012451	0.044824	80.6	3.7
STORY22	4.5	1.25	147.303	0.013068	0.047045	76.9	3.7
STORY21	4.5	1.25	134.235	0.01231	0.044316	73.2	3.7
STORY20	4.5	1.25	121.925	0.011053	0.039791	69.5	3.7
STORY19	4.5	1.25	110.872	0.010096	0.036346	65.8	3.7
STORY18	4.5	1.25	100.776	0.010515	0.037854	62.1	3.7
STORY17	4.5	1.25	90.261	0.010355	0.037278	58.4	3.7
STORY16	4.5	1.25	79.906	0.010014	0.03605	54.7	3.7
STORY15	4.5	1.25	69.892	0.009644	0.034718	51	3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
STORY14	4.5	1.25	60.248	0.009242	0.033271	47.3	3.7
STORY13	4.5	1.25	51.006	0.008805	0.031698	43.6	3.7
STORY12	4.5	1.25	42.201	0.008219	0.029588	39.9	3.7
STORY11	4.5	1.25	33.982	0.006711	0.02416	36.2	3.7
STORY10	4.5	1.25	27.271	0.004346	0.015646	32.5	3.7
STORY9	4.5	1.25	22.925	0.004106	0.014782	28.8	3.7
STORY8	4.5	1.25	18.819	0.003225	0.01161	25.1	3.7
STORY7	4.5	1.25	15.594	0.003327	0.011977	21.4	3.7
STORY6	4.5	1.25	12.267	0.002979	0.010724	17.7	3.7
STORY5	4.5	1.25	9.288	0.002603	0.009371	14	3.7
STORY4	4.5	1.25	6.685	0.002232	0.008035	10.3	3.7
STORY3	4.5	1.25	4.453	0.001758	0.006329	6.6	3.7
STORY2	4.5	1.25	2.695	0.001927	0.006937	2.9	3.7
STORY1	4.5	1.25	0.768	0.000768	0.002765	-2.1	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8 ตารางการคำนวณค่า Inter Story Drift ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในแนวแกน X หลังจากการพอกโครงสร้างด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใย

Story	Cd	I	UX(mm)	$\delta xe(m)$	$\delta x(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
ROOF	4.5	1.25	247.356	0.007231	0.026032	140.4	3.7
STORY38	4.5	1.25	240.125	0.007378	0.026561	136.7	3.7
STORY37	4.5	1.25	232.747	0.007411	0.02668	133	3.7
STORY36	4.5	1.25	225.336	0.00744	0.026784	129.3	3.7
STORY35	4.5	1.25	217.896	0.007468	0.026885	125.6	3.7
STORY34	4.5	1.25	210.428	0.00734	0.026424	121.9	3.7
STORY33	4.5	1.25	203.088	0.007913	0.028487	118.2	3.7
STORY32	4.5	1.25	195.175	0.007796	0.028066	114.2	4
STORY31	4.5	1.25	187.379	0.007887	0.028393	110.5	3.7
STORY30	4.5	1.25	179.492	0.007968	0.028685	106.8	3.7
STORY29	4.5	1.25	171.524	0.008578	0.030881	103.1	3.7
STORY28	4.5	1.25	162.946	0.007984	0.028742	99.1	4
STORY27	4.5	1.25	154.962	0.007962	0.028663	95.4	3.7
STORY26	4.5	1.25	147	0.007893	0.028415	91.7	3.7
STORY25	4.5	1.25	139.107	0.007749	0.027896	88	3.7
STORY24	4.5	1.25	131.358	0.007564	0.02723	84.3	3.7
STORY23	4.5	1.25	123.794	0.007273	0.026183	80.6	3.7
STORY22	4.5	1.25	116.521	0.006729	0.024224	76.9	3.7
STORY21	4.5	1.25	109.792	0.005438	0.019577	73.2	3.7
STORY20	4.5	1.25	104.354	0.005365	0.019314	69.5	3.7
STORY19	4.5	1.25	98.989	0.005719	0.020588	65.8	3.7
STORY18	4.5	1.25	93.27	0.006396	0.023026	62.1	3.7
STORY17	4.5	1.25	86.874	0.006733	0.024239	58.4	3.7
STORY16	4.5	1.25	80.141	0.00686	0.024696	54.7	3.7
STORY15	4.5	1.25	73.281	0.006885	0.024786	51	3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
STORY14	4.5	1.25	66.396	0.006833	0.024599	47.3	3.7
STORY13	4.5	1.25	59.563	0.006708	0.024149	43.6	3.7
STORY12	4.5	1.25	52.855	0.006665	0.023994	39.9	3.7
STORY11	4.5	1.25	46.19	0.007256	0.026122	36.2	3.7
STORY10	4.5	1.25	38.934	0.005625	0.02025	32.5	3.7
STORY9	4.5	1.25	33.309	0.005636	0.02029	28.8	3.7
STORY8	4.5	1.25	27.673	0.004962	0.017863	25.1	3.7
STORY7	4.5	1.25	22.711	0.004854	0.017474	21.4	3.7
STORY6	4.5	1.25	17.857	0.004453	0.016031	17.7	3.7
STORY5	4.5	1.25	13.404	0.004018	0.014465	14	3.7
STORY4	4.5	1.25	9.386	0.003507	0.012625	10.3	3.7
STORY3	4.5	1.25	5.879	0.002898	0.010433	6.6	3.7
STORY2	4.5	1.25	2.981	0.00261	0.009396	2.9	3.7
STORY1	4.5	1.25	0.371	0.000371	0.001336	-2.1	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 ตารางการคำนวณค่า Inter Story Drift ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในแนวแกน Y หลังจากการพอกโครงสร้างด้วยโครงแกงแนง

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
ROOF	4.5	1.25	399.559	0.014172	0.051019	140.4	3.7
STORY38	4.5	1.25	385.387	0.013507	0.048625	136.7	3.7
STORY37	4.5	1.25	371.88	0.013701	0.049324	133	3.7
STORY36	4.5	1.25	358.179	0.013702	0.049327	129.3	3.7
STORY35	4.5	1.25	344.477	0.013695	0.049302	125.6	3.7
STORY34	4.5	1.25	330.782	0.013308	0.047909	121.9	3.7
STORY33	4.5	1.25	317.474	0.013069	0.047048	118.2	3.7
STORY32	4.5	1.25	304.405	0.013646	0.049126	114.2	4
STORY31	4.5	1.25	290.759	0.013168	0.047405	110.5	3.7
STORY30	4.5	1.25	277.591	0.015093	0.054335	106.8	3.7
STORY29	4.5	1.25	262.498	0.012919	0.046508	103.1	3.7
STORY28	4.5	1.25	249.579	0.013301	0.047884	99.1	4
STORY27	4.5	1.25	236.278	0.013481	0.048532	95.4	3.7
STORY26	4.5	1.25	222.797	0.013446	0.048406	91.7	3.7
STORY25	4.5	1.25	209.351	0.01342	0.048312	88	3.7
STORY24	4.5	1.25	195.931	0.013481	0.048532	84.3	3.7
STORY23	4.5	1.25	182.45	0.013377	0.048157	80.6	3.7
STORY22	4.5	1.25	169.073	0.01382	0.049752	76.9	3.7
STORY21	4.5	1.25	155.253	0.013272	0.047779	73.2	3.7
STORY20	4.5	1.25	141.981	0.012361	0.0445	69.5	3.7
STORY19	4.5	1.25	129.62	0.011512	0.041443	65.8	3.7
STORY18	4.5	1.25	118.108	0.011964	0.04307	62.1	3.7
STORY17	4.5	1.25	106.144	0.011803	0.042491	58.4	3.7
STORY16	4.5	1.25	94.341	0.011479	0.041324	54.7	3.7
STORY15	4.5	1.25	82.862	0.011112	0.040003	51	3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
STORY14	4.5	1.25	71.75	0.010695	0.038502	47.3	3.7
STORY13	4.5	1.25	61.055	0.010228	0.036821	43.6	3.7
STORY12	4.5	1.25	50.827	0.01158	0.041688	39.9	3.7
STORY11	4.5	1.25	39.247	0.007472	0.026899	36.2	3.7
STORY10	4.5	1.25	31.775	0.004999	0.017996	32.5	3.7
STORY9	4.5	1.25	26.776	0.004853	0.017471	28.8	3.7
STORY8	4.5	1.25	21.923	0.003709	0.013352	25.1	3.7
STORY7	4.5	1.25	18.214	0.003916	0.014098	21.4	3.7
STORY6	4.5	1.25	14.298	0.003508	0.012629	17.7	3.7
STORY5	4.5	1.25	10.79	0.003072	0.011059	14	3.7
STORY4	4.5	1.25	7.718	0.002638	0.009497	10.3	3.7
STORY3	4.5	1.25	5.08	0.002083	0.007499	6.6	3.7
STORY2	4.5	1.25	2.997	0.002247	0.008089	2.9	3.7
STORY1	4.5	1.25	0.75	0.00075	0.0027	-2.1	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-10 ตารางการคำนวณค่า Inter Story Drift ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในแนวแกน X หลังจากการพอกโครงสร้างด้วยโครงแกงแนง

Story	Cd	I	UX(mm)	$\delta xe(m)$	$\delta x(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
ROOF	4.5	1.25	269.823	0.007097	0.025549	140.4	3.7
STORY38	4.5	1.25	262.726	0.007093	0.025535	136.7	3.7
STORY37	4.5	1.25	255.633	0.007171	0.025816	133	3.7
STORY36	4.5	1.25	248.462	0.007203	0.025931	129.3	3.7
STORY35	4.5	1.25	241.259	0.00725	0.0261	125.6	3.7
STORY34	4.5	1.25	234.009	0.007046	0.025366	121.9	3.7
STORY33	4.5	1.25	226.963	0.007678	0.027641	118.2	3.7
STORY32	4.5	1.25	219.285	0.007587	0.027313	114.2	4
STORY31	4.5	1.25	211.698	0.00755	0.02718	110.5	3.7
STORY30	4.5	1.25	204.148	0.007	0.0252	106.8	3.7
STORY29	4.5	1.25	197.148	0.005474	0.019706	103.1	3.7
STORY28	4.5	1.25	191.674	0.007391	0.026608	99.1	4
STORY27	4.5	1.25	184.283	0.008095	0.029142	95.4	3.7
STORY26	4.5	1.25	176.188	0.008427	0.030337	91.7	3.7
STORY25	4.5	1.25	167.761	0.008529	0.030704	88	3.7
STORY24	4.5	1.25	159.232	0.008533	0.030719	84.3	3.7
STORY23	4.5	1.25	150.699	0.008377	0.030157	80.6	3.7
STORY22	4.5	1.25	142.322	0.007875	0.02835	76.9	3.7
STORY21	4.5	1.25	134.447	0.006422	0.023119	73.2	3.7
STORY20	4.5	1.25	128.025	0.006384	0.022982	69.5	3.7
STORY19	4.5	1.25	121.641	0.006885	0.024786	65.8	3.7
STORY18	4.5	1.25	114.756	0.007799	0.028076	62.1	3.7
STORY17	4.5	1.25	106.957	0.008266	0.029758	58.4	3.7
STORY16	4.5	1.25	98.691	0.008465	0.030474	54.7	3.7
STORY15	4.5	1.25	90.226	0.008524	0.030686	51	3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Story	Cd	I	UY(mm)	$\delta ye(m)$	$\delta y(m)$	Elevation(m)	ระยะห่างระหว่างชั้น(m)
STORY14	4.5	1.25	81.702	0.008478	0.030521	47.3	3.7
STORY13	4.5	1.25	73.224	0.008326	0.029974	43.6	3.7
STORY12	4.5	1.25	64.898	0.00831	0.029916	39.9	3.7
STORY11	4.5	1.25	56.588	0.009263	0.033347	36.2	3.7
STORY10	4.5	1.25	47.325	0.00677	0.024372	32.5	3.7
STORY9	4.5	1.25	40.555	0.006895	0.024822	28.8	3.7
STORY8	4.5	1.25	33.66	0.005961	0.02146	25.1	3.7
STORY7	4.5	1.25	27.699	0.005926	0.021334	21.4	3.7
STORY6	4.5	1.25	21.773	0.005448	0.019613	17.7	3.7
STORY5	4.5	1.25	16.325	0.004932	0.017755	14	3.7
STORY4	4.5	1.25	11.393	0.004312	0.015523	10.3	3.7
STORY3	4.5	1.25	7.081	0.003557	0.012805	6.6	3.7
STORY2	4.5	1.25	3.524	0.003161	0.01138	2.9	3.7
STORY1	4.5	1.25	0.363	0.000363	0.001307	-2.1	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ตารางแปลงหน้าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
ตารางแปลงหน้าตัด

ตารางที่ ค-1 ตารางการแปลงหน้าตัดของวัสดุ

Material	E (ksc)	Tranform Section (mm)	Using Bcon (mm)	Remark
con	2040000	200	200	
steel	2550000	24	202.3809524	
polymer	302400	30	202.3809524	* 8th Wraping Layer 3 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

รายละเอียดวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
รายละเอียดวัสดุ

ตารางที่ ง-1 รายละเอียดของเหล็กแผ่นดำ HOT ROLLED STEEL PLATE AND SHEET จาก บริษัท เอ็ม อี แมนเนจเม็นท์ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 รายละเอียดของเหล็ก Wide Flange แสดงขนาดหน้าตัดและ น้ำหนัก grade : SS400 และSS540 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	16	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	151.00	906.00	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้