



Journal of Thailand Concrete Association

วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

STRUCTURAL STRENGTHENING OF OLD BUILDING TO RESIST EARTHQUAKES

การเสริมกำลังอาคารเก่าเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว

สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์^{1*} ทินภัทร โรจนรักษ์²

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

² นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ARTICLE INFO:

Received January 4, 2022

Received Revised Form:

January 10, 2022

Accepted: January 18, 2022

ABSTRACT:

This research presents the seismic strengthening of a reinforced concrete structure which had not been designed for seismic resistance. The studying was focusing on analysis of an existing structure and selecting of a strengthening method which consider influencing factors with construction. An existing moment resisting frame system had been selected and analyzed by equivalent static method according to design specification for seismic resistance (DPT. 1302-52). Results of the analysis showed that over 60 percent of all columns were not satisfied and have to be strengthened. Steel Braced Frame has been selected for strengthening. As a result, the retrofitted structure can be safely used in comply with seismic specification.

KEYWORDS: Moment resisting frame system, Steel Braced Frame, Strengthening

บทคัดย่อ:

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้ออกแบบให้รับแรงแผ่นดินไหว โดยการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีอยู่เดิม และเลือกวิธีการเสริมกำลังโดยพิจารณาจากปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการก่อสร้าง งานวิจัยนี้ได้เลือกอาคารระบบโครงสร้างต้านแรงดัดที่มีอยู่เดิมมาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีเทียบเท่าสถิตตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1302-52) ผลการวิเคราะห์พบว่า ร้อยละ 60 ของเสาทั้งหมดไม่ปลอดภัยและจำเป็นต้องเสริมกำลัง และได้เสนอการเสริมกำลังด้วยโครงแกนเหล็ก ซึ่งทำให้ได้โครงสร้างที่มีความปลอดภัยเป็นไปตามมาตรฐาน

คำสำคัญ: โครงแกนรับแรงดัด, โครงแกนเหล็ก, การเสริมกำลัง

*Corresponding Author,
Email address:
somkiat.run@kmutt.ac.th

1. บทนำ

ในปัจจุบัน เป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยมีความเสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาดเล็กถึงปานกลาง การเกิดแผ่นดินไหวในแต่ครั้งทำให้เกิดความเสียหายและภัยพิบัติต่อบ้านเมือง ที่อยู่อาศัยและสิ่งมีชีวิต โดยภัยพิบัติดังกล่าวไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า โดยเฉพาะในพื้นที่ใกล้รอยเลื่อนที่มีพลังที่มีความเสี่ยงสูงในการเกิดแผ่นดินไหว เช่น ในเขตภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทย ถึงแม้ว่ากรุงเทพมหานครซึ่งเป็นเมืองหลวงของประเทศไทยไม่ได้ตั้งอยู่ใกล้แนวรอยเลื่อนที่มีพลัง แต่จากสภาพพื้นที่ตั้งของกรุงเทพมหานครที่เป็นชั้นดินอ่อน จึงมีโอกาที่คลื่นแผ่นดินไหวซึ่งเมื่อแผ่เข้าไปในพื้นที่ดินอ่อนแล้วจะขยายพลังงานเพิ่มมากขึ้นซึ่งอาจทำให้เกิดความรุนแรงในระดับที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารได้ [1]

อาคารที่ก่อสร้างก่อนปี 2550 ก่อนกฎกระทรวง พ.ศ. 2550 [2] มักไม่ได้ออกแบบให้ต้านแรงแผ่นดินไหว จึงเป็นอาคารที่มีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวได้ ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษาการเสริมกำลังให้กับอาคารเหล่านี้ให้สามารถต้านทานการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้

1.1 งานวิจัยที่ผ่านมา

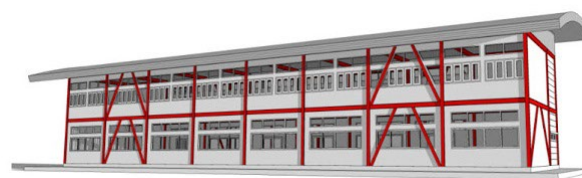
Lacobucci, R. D. [3] ทำการทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มี ปริมาณเหล็กเสริมตามขวางขั้นต่ำเพื่อจำลองพฤติกรรมของเสาที่ไม่ได้มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวหรือ Substandard Columns จำนวน 10 ต้น โดยทำการศึกษาเสาที่เสริมกำลังด้วย CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) ที่ได้ทำการแปรผันจำนวนชั้นของการพัน ซึ่งผลการทดสอบสรุปได้ว่าการเสริมกำลังด้วยการ พัน CFRP ทำให้ความเหนียวและกำลังของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้นได้เป็นอย่างดี คุณสมบัติของเสาที่ซ่อมแซมแล้วมีคุณภาพดี เทียบเท่ากับเสาที่ไม่ได้รับความเสียหายมาก่อน

Mohamed H. Harajli และ Ahmad A. Rteil [4] ได้ทำประเมินความสามารถของเสา คอนกรีตเสริมเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ถูกออกแบบให้รับเฉพาะแรงในแนวดิ่ง (Gravity Load-designed Column) ซึ่งมีการหาเหล็กที่บริเวณใกล้ฐานรองรับภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร จำนวน 12 ต้น โดยใช้ FRP และ Steel Fibers เป็นวัสดุในการเสริมกำลัง โดยแปรผันระยะเรียงของเหล็กเสริมตามขวาง ลักษณะการหุ้มของ FRP และปริมาตรของ Steel Fibers โดยผลการทดสอบพบว่า การเสริมกำลังโดยการหุ้มด้วย FRP ที่บริเวณจุดวิกฤติจะช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวและกำลังของเสาเป็นอย่างดี อีกทั้งยังช่วยลดรอยร้าวปริตามแนวเหล็กเสริม

เนื่องจากการครูด (Splitting Cracks) และสำหรับการเสริมกำลังด้วย Steel Fibers ก็มีช่วยในการเพิ่มความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวของเสา

Jiangdong Deng [5] ศึกษารายละเอียดการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก สำหรับเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก Plastic Hinge จะเกิดขึ้นบริเวณขอบด้านบนและด้านล่างของแผ่นเหล็กเสริมสามารถสลายพลังงานได้ดีขึ้น และสามารถรับกำลังได้มากกว่าเสาปกติ

เอนก ศิริพานิชกร [6] ศึกษาเกี่ยวกับการคำนวณออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหวในปัจจุบัน เมื่อเกิดแผ่นดินไหวอาคารจำเป็นต้องดำเนินการให้แข็งแรง การออกแบบโครงสร้างโดยยอมให้บางส่วนของโครงสร้างเกิดการคราก จนวิบัติเฉพาะส่วนจะทำให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างอาคารโดยรวมลดลงได้มาก แต่อาคารอาจเสียหายได้บางส่วนซึ่งขึ้นอยู่กับเกณฑ์การออกแบบ เช่น อาคารมีความเสียหายน้อยแต่ต้องสามารถใช้งานได้ทันที ลักษณะของการดำเนินการนี้เป็นการสลายพลังงานจากแรงสั่นสะเทือน เรียกว่าการออกแบบตามสมรรถนะ การออกแบบตามสมรรถนะนี้ จะเปิดโอกาสอิสระให้วิศวกรผู้ออกแบบในการบังคับพฤติกรรมของโครงสร้าง เพื่อให้โครงสร้างส่วนใหญ่ภายใต้แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวรุนแรงยังคงมีความมั่นคงแข็งแรงผ่านการยอมให้องค์อาคารส่วนน้อยที่กำหนดตำแหน่งไว้ก่อนเสียหายเพื่อสลายพลังงานแผ่นดินไหว ซึ่งจะแตกต่างไปจากแนวคิดการคำนวณออกแบบเดิมที่ออกแบบให้อาคารมีความแข็งแรงมาก เพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ตัวอย่างสำคัญของการออกแบบตามสมรรถนะ ได้แก่ โครงการอาคารเรียนพระราชทานจำนวน 2 หลัง ในโรงเรียนโป่งแพร่วิทยาคม และโรงเรียนธารทองวิทยาคม จังหวัดเชียงราย ที่เลือกใช้เป็นอาคารโครงเหล็กกรุปพรรณ และใช้โครงแกนแรงเยื้องศูนย์ (Eccentric Braced Frame) เป็นโครงสร้างหลักรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การใช้โครงแกนแรงรับแรงแผ่นดินไหว

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษารูปแบบการเสริมกำลังเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหววิธีต่าง ๆ และเปรียบเทียบรูปแบบการเสริมกำลังโครงสร้างต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวเพื่อเลือกในการวิเคราะห์และออกแบบให้กับโครงสร้างอาคารกรณีศึกษา

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้น ขนาด $11.5 \times 23.5 \times 17.15$ เมตร (กว้าง $\times$ ยาว $\times$ สูง) ซึ่งโครงสร้างเดิมถูกออกแบบให้รับน้ำหนักในแนวดิ่งเท่านั้น วิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาโดยวิธีทางสถิตยศาสตร์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบอาคารด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวสามารถทำได้หลายวิธี [3] วิธีแรงสถิตเทียบเท่าก็เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ออกแบบอาคารได้หลากหลายประเภทวิธีนี้เริ่มจากการคำนวณหาค่าแรงสถิตเทียบเท่าในรูปของแรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Seismic Base Shear, V) จากนั้นจึงกระจายแรงไปยังชั้นต่าง ๆ ของอาคาร แรงที่เกิดขึ้นภายในองค์อาคารต่าง ๆ เนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำร่วมกับน้ำหนักบรรทุกทุกในแนวดิ่งของอาคารจะเป็นแรงที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ออกแบบกำลังต้านทานขององค์อาคารเหล่านี้ และหาค่าการเคลื่อนตัว นอกจากนี้ค่าการเคลื่อนตัวของโครงสร้างเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า เมื่อถูกนำไปปรับแก้ด้วยตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว จะเป็นค่าการเคลื่อนตัวและการโก่งตัวสูงสุดที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ

แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Seismic Base Shear, V)

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

โดยที่ C_s Seismic response's coefficient

W Total weight of the building

Seismic response's coefficient (C_s)

$$C_s = S_a \left(\frac{I}{R} \right) \quad (2)$$

โดยที่ S_a ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ S_a ที่ค่าการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T)

R Response modification factor

I Importance factor of building

และ C_s จะต้องไม่ต่ำกว่า 0.01

Stability of building due to lateral forces (S.F.)

$$\text{Safety Factor against overturning (S.F.)} = \frac{M_{\text{react}}}{M_{\text{act}}} = \frac{W_t \times \frac{L}{2}}{\sum F_x h_x} \geq 1.5 \quad (3)$$

โดยที่ M_{react} Resisting moment against overturning

M_{act} Moment due to lateral load

W_t Total weight of the building

L Length from center of left column to center of right column in the direction parallel to lateral load

x Floor number ($x = 1, 2, \dots, n$)

n Number of floor

F_x Lateral load at the x^{th} floor

h_x Total height from ground to the x^{th} floor

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I} \quad (4)$$

โดยที่ C_d Deflection amplification factor

δ_{xe} Horizontal displacement at the x^{th} floor due to equivalent static load

I Importance factor of building

ค่าสัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (Stability Coefficient, θ)

$$\theta = \frac{P_x \Delta}{V_x h_{sx} C_d} \leq 0.1 \quad (5)$$

โดยที่ P_x น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร ที่ ระดับ ชั้น x และที่อยู่เหนือชั้น x ทั้งหมดรวมกัน

Δ ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ระดับชั้น x ที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ

V_x แรงเฉือนในระดับระหว่างชั้น x และชั้น $x-1$ ที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า

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

C_d Deflection amplification factor

สมการปฏิสัมพันธ์ของเสา

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.00 \quad (6)$$

3. วิธีการศึกษา

อาคารที่ศึกษา เป็นอาคารพักอาศัยอยู่ในกรุงเทพฯ ซึ่งมีรายละเอียดโครงสร้างตามตารางที่ 1

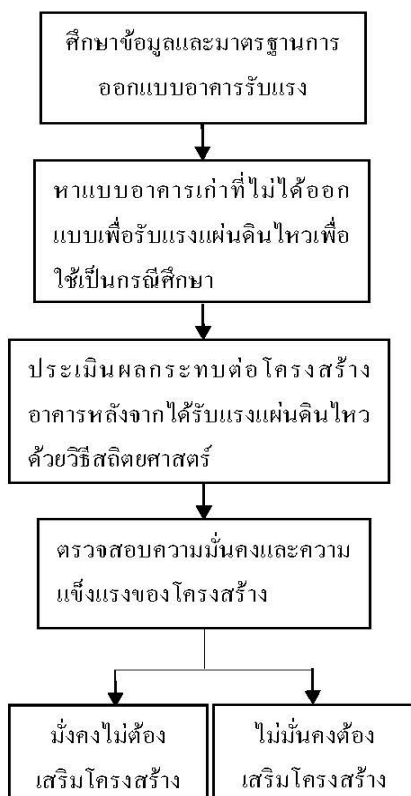
ตารางที่ 1 ข้อมูลรายละเอียดของโครงสร้าง

Details of the building	
Size, width x length x high (m)	11.5 x 23.5 x 17.15
Number of floor	6
Materials properties (ksc)	
Concrete, f'_c	210
Round bar, F_y	2,400
Deformed bar, F_y	3,000
Live load (kg/sq.m)	
General area	200
Corridors / stairs	300
Concrete roof	100

4. การดำเนินงาน

ขั้นตอนการศึกษาวิจัยเป็นไปตามรูปที่ 2

การศึกษาส่วนที่ 1



รูปที่ 2ก แผนผังการดำเนินงานส่วนที่ 1

การศึกษาส่วนที่ 2

ศึกษาระบบโครงสร้างในการเสริมกำลังและศึกษาวิธีการเสริมกำลังในแต่ละระบบโดยการเลือกวิธีจะดูจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อด้านต่าง ๆ ในการก่อสร้าง

ระบบโครงสร้าง

- (1) Moment Frame System
- (2) Braced Frame Interaction System
- (3) Building Frame System

วิธีการเสริมกำลัง

- (1) Steel Bracing
- (2) Bucking Restrained Bracing
- (3) Shear Wall
- (4) Steel Jacket
- (5) Ferrocement Jacket
- (6) Fiber Reinforced Polymer



รูปที่ 2ข แผนผังการดำเนินงานส่วนที่ 2

5. ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

5.1 การตรวจสอบความปลอดภัยต่อแรงแผ่นดินไหว

แรงเฉือนพื้นฐานของอาคาร

- อาคารสูง = 17.15 m

- คาบการสั่นพื้นฐาน

สำหรับ reinforced concrete building,

$$\begin{aligned} T &= 0.02H \\ &= 0.02 \times 17.15 \\ &= 0.343 \text{ s} \end{aligned}$$

- จาก มยพ.1302-52 [7] เมื่อ $T = 0.343 \text{ s}$

$$S_a = 0.131g$$

For ordinary reinforced concrete, moment resisting frame

- Response modification factor, $R = 3$

- Deflection amplification factor, $C_d = 2.5$

- อาคารมีความสำคัญระดับ 2

Importance factor of building, $I = 1$

- Type of soil = E (very soft soil)

- Seismic response's coefficient

$$= 0.131g \text{ (1/3)}$$

$$= 0.044g$$

$$= 4.4\% \text{ of building weight}$$

- Seismic Base Shear

$$= 0.044 (1,111.97)$$

$$= 48.9 \text{ tons}$$

ตรวจสอบโมเมนต์พลิกคว่ำของอาคาร

ตารางที่ 2 แรงและโมเมนต์ดัดที่ชั้น 1 ของอาคารจากโปรแกรม

ETAB ระบบโครงสร้าง moment frame

Load Case	P	VX	VY	MX	MY
	tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m
Dead load only	1,111.97	0	0	-	-
Eq. along x axis only	0	-48.9	0	0	-496.5
Eq. along y axis only	0	0	-48.9	496.5	0

$$M_{react} = \frac{1,111.97 \times 11.5}{2} = 6,393.83 \text{ ton-m}$$

- ส่วนปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำของอาคาร

$$S.F. = \frac{M_{react}}{M_{act}} = \frac{6,393.83}{496.5} = 12.88 > 1.5$$

ส่วนปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำของอาคารมีค่ามากกว่า 1.5 จึงไม่มีปัญหาในเรื่องการพลิกคว่ำของอาคาร

ตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคาร

ตารางที่ 3 ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคาร

Floor No.	δ_{xe} (mm)	δ_x (mm)	Δ_x (mm)	h_{sx} (mm)	Δ_x / h_{sx}
6	36.37	90.93	12.64	2,800	0.0045
5	31.32	78.29	18.74	2,800	0.0067
4	23.82	59.55	24.86	2,800	0.0089
3	13.88	34.70	18.82	2,800	0.0067
2	6.35	15.88	15.69	3,200	0.0049
1	0.07	0.18	0.18	300	0.0006
Base	0.00	0.00	0.00	0	0.00

สำหรับอาคารที่มีความสำคัญระดับ 2

Maximum relative story drift between floor

$$= 0.010 h_{sx}$$

$$\text{หรือ } \frac{\Delta_a}{h_{sx}} = 0.010$$

จากตารางจะเห็นว่า $\frac{\Delta_x}{h_{sx}}$ มีค่าไม่เกิน 0.010 แสดงว่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวไม่ก่อให้เกิดปัญหาการแตกร้าว

ตรวจสอบโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจากผลของการเคลื่อนที่ด้านข้าง

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (θ) ของระบบโครงสร้าง moment frame

Floor No.	Δ_x (mm)	h_{sx} (mm)	P_x (tonf)	V_x (tonf)	θ
6	12.64	2,800	123.94	10.43	0.021
5	18.74	2,800	336.00	25.15	0.036
4	24.86	2,800	547.16	36.37	0.053
3	18.82	2,800	761.25	44.19	0.046
2	15.69	3,200	981.24	48.64	0.040
1	0.18	300	1,111.97	48.9	0.005
Base	0.00	0	0	0	0

จากตารางจะเห็นว่า ค่า θ มีค่าน้อยกว่า 0.1 ทุกชั้น จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจากผลของการเคลื่อนที่ด้านข้าง

ตรวจสอบสมการปฏิสัมพันธ์ของเสา

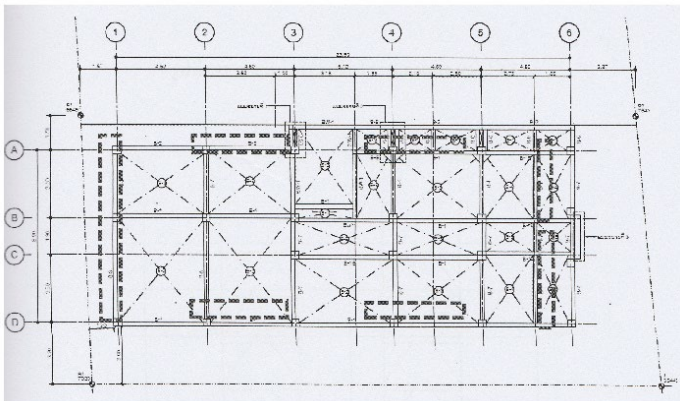
จากการตรวจสอบปฏิสัมพันธ์ ระหว่างแรงอัดตามแนวแกน และโมเมนต์ดัด โดยใช้โปรแกรม ETAB พบว่า มีเสาจำนวน 71 ต้น จาก 114 ต้น มีค่า Interaction ratio มากกว่า 1.0 แสดงให้เห็นว่า อาคารนี้ไม่ปลอดภัยต่อแรงแผ่นดินไหว จำเป็นต้องทำการเสริมกำลังเพื่อให้เกิดความปลอดภัย

5.2 การเสริมกำลังอาคารเดิมเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว

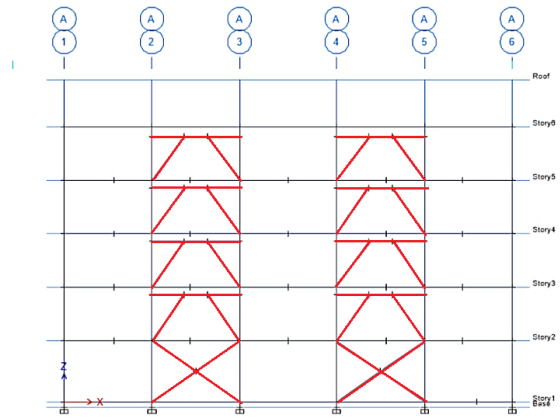
เนื่องจากอาคารที่จะทำการเสริมกำลังเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เจ้าของอาคารใช้อาคารดังกล่าวในการดำเนินธุรกิจ อพาร์ทเม้นท์ ปัจจุบันในการพิจารณาเลือกกระบวนโครงสร้างเพื่อเสริมกำลังนั้น ไม่เพียงแต่จะต้องพิจารณาปัจจัยด้านราคาก่อสร้าง ปัจจัยด้านขั้นตอนการก่อสร้าง ปัจจัยด้านระยะเวลาในการก่อสร้างเท่านั้น แต่ประการที่สำคัญก็คือผลกระทบของการก่อสร้างกระทบต่อเจ้าของอาคาร ผลกระทบต่อการดำเนินธุรกิจ และผู้ใช้อาคารอย่างไร

จากการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ แล้วจึงเลือกวิธีเสริมกำลังอาคารโดยใช้ Steel Braced Frame ซึ่งจะทำ Prefabricate ที่โรงงานก่อน แล้วจึงนำมาติดตั้งที่อาคารใช้เวลาในการติดตั้งน้อย เป็นระบบแห้งไม่ทำให้พื้นที่ก่อสร้างสกปรก จะปิดพื้นที่อาคารเพื่อการเสริมกำลังเพียงส่วนน้อย ในระยะเวลาสั้นๆ จึงกระทบกับการใช้อาคารไม่มาก พื้นที่อาคารที่ไม่ถูกกระทบจากการดำเนินการก่อสร้างยังสามารถใช้งานได้ตามปกติ

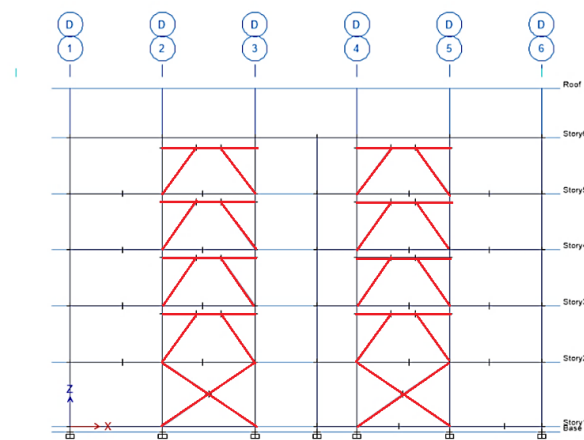
ในการเสริมกำลังอาคารเดิม จะใช้เหล็กขนาด 2C-100x50x5x7 โดยตำแหน่งที่เสริมกำลัง (รูปที่ 3) และรูปแบบการเสริมกำลัง (รูปที่ 4 – รูปที่ 7) จะพิจารณาตำแหน่งและรูปแบบที่ไม่มีผลกระทบ หรือมีผลกระทบต่อการใช้งานน้อยที่สุด



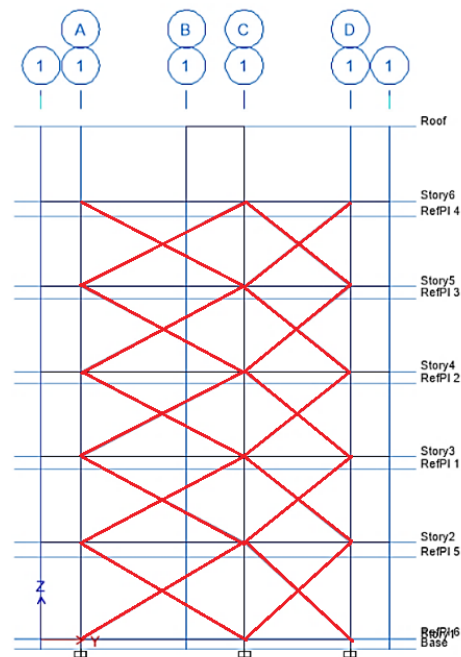
รูปที่ 3 ตำแหน่งการเสริมกำลังโครงสร้างด้วย Steel Braced เพื่อต้านแรงแผ่นดินไหว



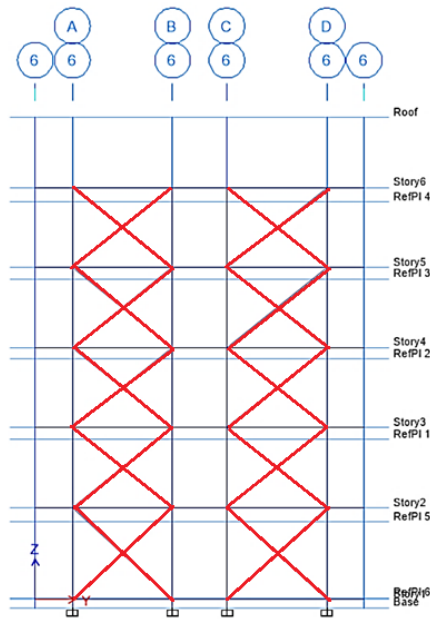
รูปที่ 4 ตำแหน่งการเสริมโครงแกนแนง (แนว A)



รูปที่ 5 ตำแหน่งการเสริมโครงแกนแนง (แนว D)



รูปที่ 6 ตำแหน่งการเสริมโครงแกนแนง (แนว 1)



รูปที่ 7 ตำแหน่งการเสริมโครงแกนแน (แนว 6)

5.3 การตรวจสอบความปลอดภัยต่อแรงแผ่นดินไหวของอาคาร ที่เสริมกำลังด้วย steel braced

ตรวจสอบโมเมนต์พลิกคว่ำของอาคาร

$$M_{react} = \frac{1,123.34 \times 11.5}{2} = 6,459.2 \text{ ton-m}$$

- ส่วนปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำของอาคาร

$$S.F. = \frac{M_{react}}{M_{act}} = \frac{6,459.2}{502.04} = 12.87 > 1.5$$

ส่วนปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำของอาคารมีค่ามากกว่า 1.5 จึง
ไม่มีปัญหาในเรื่องการพลิกคว่ำของอาคาร

ตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคาร

สำหรับอาคารที่มีความสำคัญระดับ 2

Maximum relative story drift between floor

$$= 0.010 h_{sx}$$

$$\text{หรือ } \frac{\Delta_a}{h_{sx}} = 0.010$$

ตารางที่ 5 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคาร

Floor No.	δ_{xe} (mm)	δ_x (mm)	Δ_x (mm)	h_{sx} (mm)	Δ_x / h_{sx}
6	6.15	15.39	2.94	2,800	0.0010
5	4.98	12.45	3.35	2,800	0.0012
4	3.64	9.10	3.43	2,800	0.0012
3	2.27	5.67	3.01	2,800	0.0011
2	1.06	2.65	2.38	3,200	0.0007

1	0.11	0.27	0.27	300	0.0009
Base	0.00	0.00	0.00	0	0

จากตารางจะเห็นว่า $\frac{\Delta_x}{h_{sx}}$ มีค่าไม่เกิน 0.010 แสดงว่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวไม่ก่อให้เกิดปัญหาการแตกร้าว

ตรวจสอบโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจากผลของการเคลื่อนที่ด้านข้าง

จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (θ) ของระบบโครงสร้าง moment frame พบว่า ค่า θ มีค่าน้อยกว่า 0.1 ทุกชั้น จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณา โมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจากผลของการเคลื่อนที่ด้านข้าง

ตรวจสอบสมการปฏิสัมพันธ์ของเสา

จากการตรวจสอบปฏิสัมพันธ์ ระหว่างแรงอัดตามแนวแกนและโมเมนต์ดัด โดยใช้โปรแกรม ETAB พบว่า จำนวนเสาที่มีค่า Interaction ratio มากกว่า 1.0 ลดลงเป็นจำนวนมาก แสดงว่ามีความปลอดภัยต่อแรงแผ่นดินไหวมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ยังมีเสาอีกจำนวน 22 ต้น ยังมีค่า Interaction ratio มากกว่า 1.0 ที่ยังไม่ปลอดภัยต่อแรงแผ่นดินไหว จำเป็นต้องหามาตรการเพิ่มเติมในการเสริมกำลังของเสาทั้ง 22 ต้น เช่นอาจเพิ่มขนาดของเสาให้ใหญ่ขึ้นจนรับแรงแผ่นดินไหวได้ เสริมกำลังด้วย CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) เสริมกำลังด้วย Steel Fibers หรือเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก ก็จะทำให้ได้อาคารที่มีความปลอดภัยต่อแรงแผ่นดินไหวต่อไป

6. สรุป

จากการศึกษาอาคารเดิมที่ไม่ได้ออกแบบให้รับแรงแผ่นดินไหว พบว่าถ้ามีแรงแผ่นดินไหวมากระทำจะทำให้อาคารไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำต่อโครงสร้างจะส่งผลให้เสามีค่าโมเมนต์ดัดสูงขึ้นเกินกว่าเกณฑ์ที่ยอมให้ จึงทำให้โครงสร้างไม่ปลอดภัย

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านราคาค่าก่อสร้าง ขั้นตอนการก่อสร้าง ระยะเวลาในการก่อสร้างผลกระทบของการก่อสร้างต่อผู้ใช้อาคาร วิธีการเสริมกำลังอาคารที่เหมาะสมที่สุดจะเป็นการเสริมกำลังโดยวิธี Steel Braced Frame

การเสริมกำลังอาคารโดยวิธี Steel Braced Frame สามารถเพิ่มกำลังความต้านทานต่อแรงแผ่นดินไหวได้ดี แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องผลกระทบต่อการใช้งานอาคาร จึงเสริมกำลังเฉพาะเสารอบนอกอาคารบางส่วนเท่านั้น จึง

ทำให้ยังมีเสาอาคารบางส่วนที่ยังอาจไม่ปลอดภัยต่อแรงแผ่นดินไหว ซึ่งจำเป็นต้องหามาตรการเพิ่มเติมในการเสริมกำลังของเสาต้นที่ยังไม่ปลอดภัย เช่นอาจเพิ่มขนาดของเสาให้ใหญ่ขึ้นจนรับแรงแผ่นดินไหวได้ เสริมกำลังด้วย CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) เสริมกำลังด้วย Steel Fibers หรือเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก ก็จะทำให้ได้อาคารที่มีความปลอดภัยต่อแรงแผ่นดินไหวต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] อมร พิมานมาศ, “การลดความเสียหายเนื่องจากแผ่นดินไหว” กองทุนสนับสนุนการวิจัย, หน้า 4, 2555.
- [2] กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร, กฎกระทรวง, 2550.
- [3] R. D. Lacobucci et. Al., “Retrofit of Square Concrete Columns with Carbon Fiber-Reinforced Polymer for Seismic Resistance,” ACI Structural Journal, pp. 785-794, 2003.
- [4] M. H. Harajli and A. A. Rteil, “Effect of Confinement Using Fiber-Reinforced Polymer of Fiber-Reinforced Concrete on Seismic Performance of Gravity LoadDesigned Columns” ACI Structural Journal, pp. 47-56, 2004.
- [5] J. Deng, “Seismic performance of composite column with double plastic hinges” Composite structure, pp. 435-446, 2017.
- [6] เอนก ศิริพานิชกร, “การออกแบบตามสมรรถนะสำหรับอาคารต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว” วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (1), หน้า 1-2, 2558.
- [7] มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1302-52). พิมพ์ครั้งที่ 1, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2552.