

เทคนิคการปรับปรุงโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมแบบเอียงศูนย์เพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว ตาม มยพ.1303-57 และกฎกระทรวงปี 2564

Seismic Retrofit Methods of Eccentric Existing Reinforced Concrete Buildings following DPT 1303-57 and Building Control Act, B.E.2564

ภาณุภัค วิมลสันติรังษี *

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.เชียงใหม่

*Corresponding author; E-mail address: panupak.v2555@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ เทคนิคการปรับปรุงโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมแบบเอียงศูนย์เพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวจากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวงปี 2564 โดยอาคารอยู่ในเขต อำเภอ เมือง จังหวัด เชียงใหม่ อาคารโครงสร้างเดิมที่ถูกออกแบบมาก่อนกฎกระทรวงประกาศใช้มีความไม่ปลอดภัยในส่วนของเสาและผนังรับแรงเฉือน จึงต้องทำการปรับปรุงโครงสร้างและเนื่องจากเงื่อนไขงานก่อสร้างจึงต้องทำการปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้เทคนิคในการก่อสร้างหลายวิธี อันได้แก่การเสริมเสาเข็มและฐานรากใหม่ การเสริมเสาเข็มใหม่ฐานรากเดิมด้วยวิธีต่อเหล็ก การเสริมผนังรับแรงเฉือนเดิมด้วยวิธีการ Fiber Reinforced Polymer, FRP การสร้างผนังรับแรงเฉือนใหม่

คำสำคัญ: การปรับปรุงโครงสร้างเดิม, โครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว, โครงสร้างต้านทานแรงแบบเอียงศูนย์

Abstract

This article presents the seismic retrofit methods of eccentric existing building structure. The study found that when using the seismic acceleration value according to Building Control Act, B.E.2564 to the building built before B.E.2564 and located in Muang District Chiang Mai Province, the results shown unsafe and inadequate column strength and shear wall strength. Seismic upgrading is required for the existing building. Various seismic retrofit methods were used in this study such as adding new piles and foundations, adding new piles to existing foundations with new reinforcement lapping method, strengthening shear wall by Fiber Reinforced Polymer, FRP method, and adding new shear walls.

Keywords: Retrofit Existing Buildings, Earthquake Resistant Structure, Eccentric Load Resistance Structure

1. บทนำ

อัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจในปัจจุบันสวนทางกับราคาวัสดุและค่าแรงในอุตสาหกรรมก่อสร้างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและการมีผังเมืองที่มีข้อจำกัดเพิ่มขึ้นต่างจากในอดีต ทำให้ไม่สามารถก่อสร้างอาคารได้ในพื้นที่ดังกล่าว ดังนั้นการปรับปรุงโครงสร้างเดิมเพื่อสามารถทำให้ก่อสร้างในพื้นที่เดิมได้อย่างถูกต้องตามกฎหมาย อีกทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในงานก่อสร้างและลดระยะเวลาในการก่อสร้าง

ในการปรับปรุงอาคารต้องคำนึงถึงประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องการออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ได้กำหนดหลักเกณฑ์การออกแบบและคำนวณอาคารต้านแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวระบุงรายละเอียดด้านเทคนิคและหลักวิชาการที่เข้มงวดขึ้น มีการเพิ่มค่าความเร่งการตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 0.2 วินาที และที่คาบ 1 วินาทีในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ในการคำนวณเพื่อออกแบบโครงสร้าง จึงมีผลกระทบต่อการใช้โครงสร้างเดิม อีกทั้งโครงสร้างโดยทั่วไปในการออกแบบมักมีการจัดเรียงเสาและผนังแบบไม่สมมาตรมีการเอียงศูนย์ในความสามารถการต้านทานแรงในแนวราบ

จึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยเพื่อให้ทราบถึงแนวทางการแก้ไขการปรับปรุงโครงสร้างอาคารเดิมแบบเอียงศูนย์เพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว โดยสอดคล้องกับ มยพ.1303-57 และกฎกระทรวงปี 2564

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

บทความนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 7 ชั้น ขนาดโดยประมาณกว้าง 22 เมตร ยาว 36.5 เมตร สูง 23.4 เมตร พื้นที่ก่อสร้างรวม 5,600 ตร.ม.โดยประมาณตั้งอยู่ในพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ก่อสร้างมาแล้วตั้งแต่ปี พ.ศ.2553 ใช้การออกแบบโดยกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2550 ศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารเดิมเมื่อรับแรงแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2564 และสอดคล้องกับ มยพ. 1303-57 จากนั้นศึกษาถึงพฤติกรรมและวิธีการเสริมกำลังของโครงสร้างเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับสภาพโดยรอบของอาคาร โดย

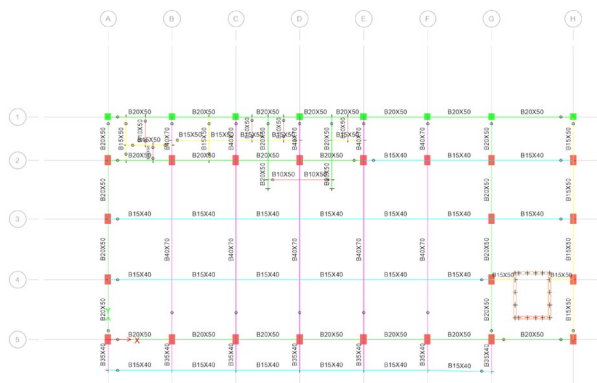
การออกแบบสอดคล้องกับมาตรฐาน ACI318 [1], มยพ.1301/1302-61 [3], มยพ.1303-57 [4]

3. ระเบียบวิธีวิจัย

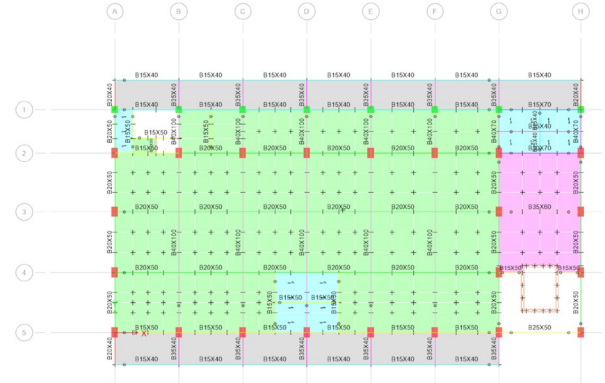
3.1 ทำการศึกษาและวิเคราะห์แบบโครงสร้างเดิม

ทำการศึกษาแบบแปลนและรายละเอียดของโครงสร้างเดิมเพื่อนำมาใช้วิเคราะห์โครงสร้าง จากโครงสร้างเดิมกำหนดให้เป็นอาคารสาธารณะประเภทสำนักงาน น้ำหนักบรรทุกจรมีค่าเท่ากับ 300 ksm และน้ำหนักบรรทุกคงที่อื่นเนื่องจากผนังก่อและวัสดุปูพื้นมีค่าเท่ากับ 150 ksm อาคารเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก วัสดุคอนกรีตใช้กำลังอัดประลัยที่ 28 วัน ของรูปทรงกระบอก มีค่าเท่ากับ 240 ksc และ วัสดุเหล็กใช้เหล็กเสริมรับแรงกด SD40 สำหรับเหล็กเสริมหลัก และเกรด SR24 สำหรับเหล็กปลอก สถานที่ตั้งอาคาร อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

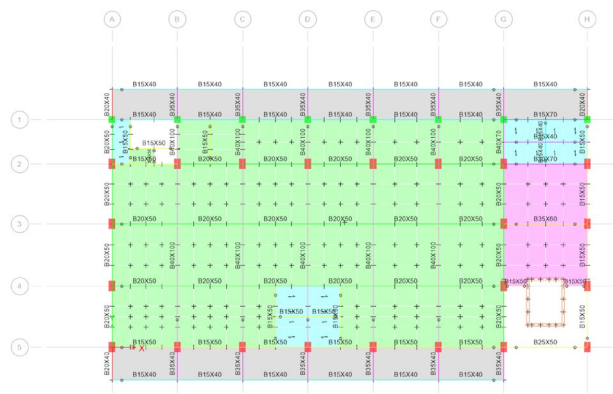
ในการวิเคราะห์โครงสร้างเดิมรับแรงแผ่นดินไหว กำหนดตามประกาศกระทรวงมหาดไทยปี 2564 [5] ซึ่งมี parameter สำหรับแรงแผ่นดินไหว ดังนี้ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม $S_s = 0.963$ (พิจารณาที่ 0.2 วินาที) และ $S_1 = 0.248$ (พิจารณาที่ 1 วินาที) ค่า $SDS = 0.7157$ และ $SD1 = 0.3148$ ตารางการแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวให้เป็นประเภท ง (เข้มงวดที่สุด) ประเภทของชั้นดินเป็นดินปกติ (D) และค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคารเท่ากับ 1.25 (อาคารจัดอยู่ในประเภทที่ 3 ความสำคัญมาก) จากนั้นทำการปรับแก้ความเร่งเนื่องจากแผ่นดินไหวสำหรับการวิเคราะห์อาคารเดิมตาม มยพ.130-57 [4] โดยใช้ค่า $SDSX = 0.368$ และ $SD1 = 0.157$ และจากระบบโครงสร้างตามรูปที่ (1) ถึง (9) กำหนดให้ $R = 2.5$, $\Omega = 3$ และ $C_d = 2.5$ ทั้งนี้ในการพิจารณาเพื่อรวมแรงต่างๆจะใช้ Load Combination ตาม มยพ.1303-57 [4]



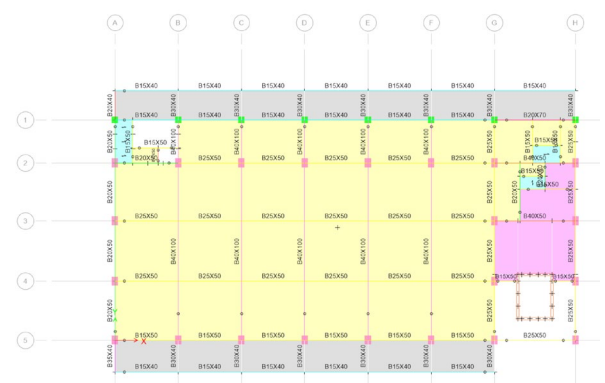
รูปที่ 1 ผังโครงสร้างพื้นชั้นที่ 1



รูปที่ 2 ผังโครงสร้างพื้นชั้นที่ 2



รูปที่ 3 ผังโครงสร้างพื้นชั้นที่ 3



รูปที่ 4 ผังโครงสร้างพื้นชั้นที่ 4



รูปที่ 5 ผังโครงสร้างพื้นชั้นที่ 5



รูปที่ 6 ผังโครงสร้างพื้นชั้นที่ 6



รูปที่ 7 ผังโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้า



รูปที่ 8 ผังโครงสร้างพื้นชั้นหลังคาและห้องลิฟท์



รูปที่ 9 ผังโครงสร้างพื้นชั้นหลังคาคลุมห้องลิฟท์

เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างเดิมดังกล่าวโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป 3 มิติ Etabs V19 จะพบว่าโครงสร้างมีการตอบสนองต่อแผ่นดินไหวใน Mode ที่ 1, 4, 6, 12, 16, 17, 19 และ 24 เป็นรูปแบบการเคลื่อนตัวไปทางแกน x Mode ที่ 2, 18 และ 25 เป็นรูปแบบการเคลื่อนตัวไปทางแกน y Mode 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 20, 21, 22 และ 23 เป็นรูปแบบการเคลื่อนตัวแบบบิโตรบอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Mode Direction Factors ที่ Mode และ Period ของโครงสร้างเดิม ก่อนการปรับปรุง

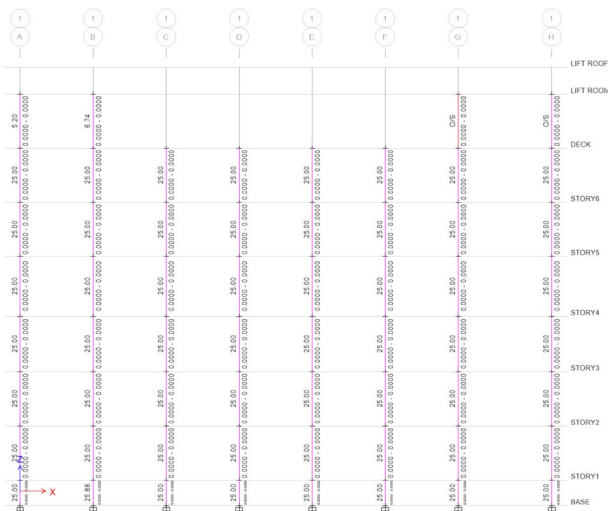
Mode	Period (Second)	Ux	Uy	Uz	Rz
1	0.837	0.802	0.109	0	0.089
2	0.706	0.187	0.627	0	0.186
3	0.461	0.02	0.485	0	0.495
4	0.405	0.843	0.031	0	0.126
5	0.370	0.020	0.430	0	0.550
6	0.251	0.521	0.186	0	0.294
7	0.243	0.002	0.014	0	0.984
8	0.236	0.026	0.164	0	0.811
9	0.196	0.124	0.008	0	0.868
10	0.191	0.007	0.011	0	0.983
11	0.122	0.045	0.263	0	0.692
12	0.101	0.823	0.061	0	0.116
13	0.094	0.007	0.479	0	0.515
14	0.078	0.000	0.001	0	0.999
15	0.075	0.021	0.053	0	0.926
16	0.069	0.786	0.117	0	0.097
17	0.057	0.937	0.038	0	0.025
18	0.051	0.314	0.452	0	0.234
19	0.046	0.727	0.186	0	0.086
20	0.041	0.001	0.484	0	0.515
21	0.025	0.005	0.411	0	0.584
22	0.024	0.043	0.034	0	0.923
23	0.018	0.010	0.432	0	0.558
24	0.01	0.933	0.017	0	0.050
25	0.008	0.038	0.625	0	0.338

เมื่อพิจารณาด้านแรงปฏิกิริยาของโครงสร้างสำหรับฐานรากที่ไม่ได้รองรับผนังรับแรงเฉือนยังมีความปลอดภัยต่อการใช้งาน (ที่ F.S.=2.5) แต่ในส่วนฐานรากที่รองรับผนังรับแรงเฉือนมีความเสี่ยงต่อความเสียหายเมื่อรับแรงแผ่นดินไหว เมื่อพิจารณาด้านการเคลื่อนที่ของชั้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว พบว่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของแต่ละชั้นมีค่าไม่เกิน 0.8 cm ซึ่งจาก มยพ.1301/1302-61 สำหรับโครงสร้างทั่วไป ที่ความสำคัญของอาคารประเภทที่ 4 มีค่าระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ยอมให้ไม่เกิน 0.01h = 3.7 cm มีค่าน้อยกว่าที่เกิดขึ้น 0.8 cm และเมื่อพิจารณาแผนภูมิที่ 3 ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ต่อความสูงมีค่าสูงสุดไม่เกิน 0.002 ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์คือ

0.01 ดังนั้นโครงสร้างดังกล่าวถือว่าปลอดภัยต่อการโยกตัวทางด้านข้างของโครงสร้างเมื่อถูกแรงแผ่นดินไหวกระทำ

เมื่อพิจารณาถึงเสาของโครงสร้างเดิม จากการวิเคราะห์โครงสร้างสอดคล้องกับ ACI318 [1] พบว่าโครงสร้างเสาทุกต้นมีความปลอดภัย ยกเว้นเสาที่ Grid Line ที่ 1 ตั้งแต่ดาดฟ้าถึงชั้นหลังคาคลุมห้องเครื่องลิฟท์ ไม่ปลอดภัยต่อการรับแรงแผ่นดินไหว และเสาที่ Grid Line ที่ 2 ตั้งแต่ที่ 6 ถึงชั้นดาดฟ้าเฉพาะ Gridline 2-B, 2-C, 2-D, 2-E และ 2-F ไม่ปลอดภัยต่อการรับแรงแผ่นดินไหว และเสาที่ Grid Line ที่ 2 ตั้งแต่ดาดฟ้าถึงชั้นหลังคาคลุมห้องเครื่องลิฟท์ไม่ปลอดภัยต่อการรับแรงแผ่นดินไหวดังแสดงในรูปที่ 10 และ 11

เมื่อพิจารณาถึงคานและพื้นของโครงสร้างเดิม จากการวิเคราะห์โครงสร้างสอดคล้องกับ ACI318 [1] พบว่าโครงสร้างคานทุกตัวมีความปลอดภัย



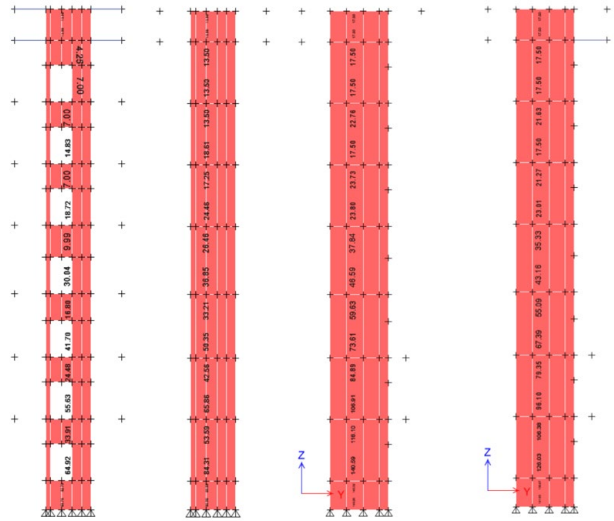
รูปที่ 10 ปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กปลอกที่ต้องการในเสา Grid Line 1



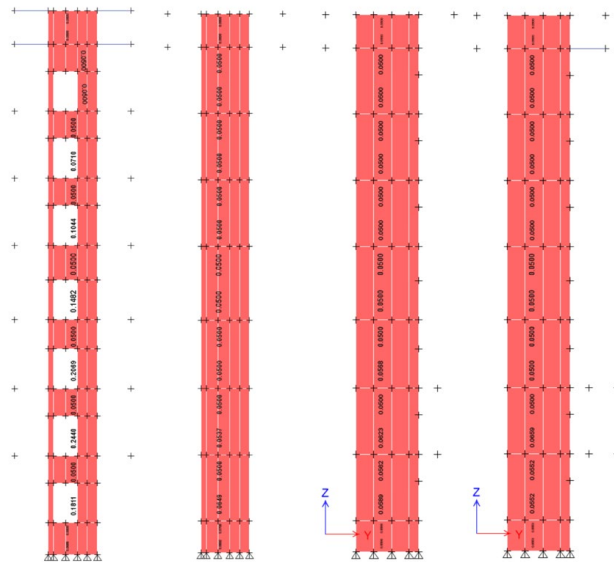
รูปที่ 11 ปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กปลอกที่ต้องการในเสา Grid Line 2

เมื่อพิจารณาถึงผนังรับแรงเฉือนของโครงสร้างเดิม จากการวิเคราะห์โครงสร้างสอดคล้องกับ ACI318 [1] พบว่าโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนไม่มี

ความปลอดภัยต่อการรับแรงแผ่นดินไหวตั้งแต่ดาดฟ้าถึงชั้นที่ 4 แต่ตั้งแต่ชั้นที่ 4 จนถึงชั้นบนสุดปลอดภัยต่อการรับแรงแผ่นดินไหวเพราะต้องการปริมาณเหล็กเสริมที่น้อยที่สุดดังแสดงในรูปที่ 12 และ 13



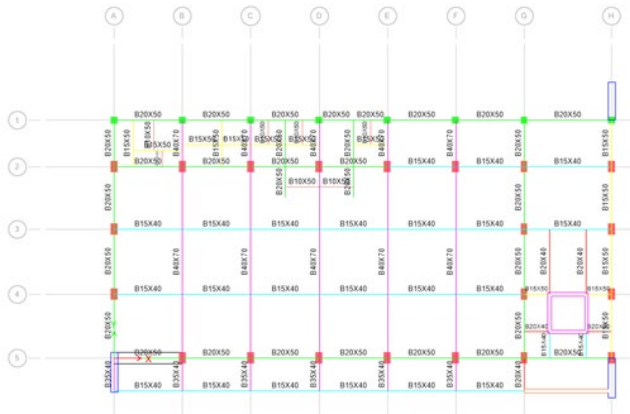
รูปที่ 12 ปริมาณเหล็กเสริมหลักของผนังรับแรงเฉือนทุกด้าน



รูปที่ 13 ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนของผนังรับแรงเฉือนทุกด้าน

3.2 ทำการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์โครงสร้างที่ทำการปรับปรุง

ทำการปรับปรุงโครงสร้างเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวงปี 2564 โดยเสริมผนังรับแรงเฉือนให้กับโครงสร้างซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขซึ่งกีดขวางโดยรอบอาคารตามรูปที่ (14) ถึง (20) ตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึงชั้นดาดฟ้า และกำหนดให้ $R = 2.5$, $\Omega = 3$ และ $C_d = 2.5$



รูปที่ 14 ผังโครงสร้างพื้นชั้นที่ 1 ที่ทำการปรับปรุง



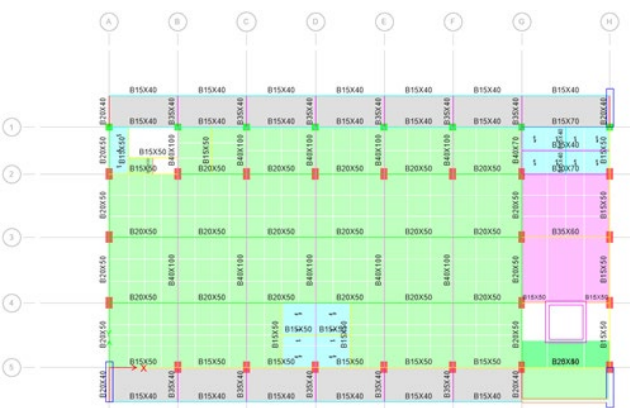
รูปที่ 17 ผังโครงสร้างพื้นชั้นที่ 4 ที่ทำการปรับปรุง



รูปที่ 15 ผังโครงสร้างพื้นชั้นที่ 2 ที่ทำการปรับปรุง



รูปที่ 18 ผังโครงสร้างพื้นชั้นที่ 5 ที่ทำการปรับปรุง



รูปที่ 16 ผังโครงสร้างพื้นชั้นที่ 3 ที่ทำการปรับปรุง



รูปที่ 19 ผังโครงสร้างพื้นชั้นที่ 6 ที่ทำการปรับปรุง



รูปที่ 20 ผังโครงสร้างพื้นดาดฟ้าที่ทำการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์เมื่อพิจารณาถึง Story Stiffness ของอาคารที่ถูกปรับปรุงแล้วมีค่าลงแบบปกติ ถือว่าเป็น Regular Story ไม่ใช่ Soft Story ถือว่าโครงสร้างมีเสถียรภาพในการต้านทานแรงอันเนื่องจากแผ่นดินไหว ดังในตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 5

ตารางที่ 2 การตรวจสอบ Soft-Story Irregularity ของโครงสร้างทางแกน X

Soft-Story Irregularity Check in X-Direction						
Story	Stiffness X-Direction	K_i / K_{i+1} (> 0.7)	Check	$K_n = \text{Avg}(K_{i+1,i+2,i+3})$	K_i / K_{i+1} (> 0.8)	Check
Deck	197.07	-	-	-	-	-
6	351.19	1.78	Regular	-	-	-
5	437.96	1.25	Regular	-	-	-
4	614.12	1.40	Regular	328.74	1.87	Regular
3	897.96	1.46	Regular	467.76	1.92	Regular
2	1148.65	1.61	Regular	650.01	2.23	Regular
1	5667.53	3.91	Regular	986.91	5.74	Regular

ตารางที่ 3 การตรวจสอบ Extreme Soft-Story Irregularity ของโครงสร้างทางแกน X

Extreme Soft-Story Irregularity Check in X-Direction						
Story	Stiffness X-Direction	K_i / K_{i+1} (> 0.6)	Check	$K_n = \text{Avg}(K_{i+1,i+2,i+3})$	K_i / K_{i+1} (> 0.7)	Check
Deck	197.07	-	-	-	-	-
6	351.19	1.78	Regular	-	-	-
5	437.96	1.25	Regular	-	-	-
4	614.12	1.40	Regular	328.74	1.87	Regular
3	897.96	1.46	Regular	467.76	1.92	Regular
2	1148.65	1.61	Regular	650.01	2.23	Regular
1	5667.53	3.91	Regular	986.91	5.74	Regular

ตารางที่ 4 การตรวจสอบ Soft-Story Irregularity ของโครงสร้างทางแกน Y

Soft-Story Irregularity Check in Y-Direction						
Story	Stiffness Y-Direction	K_i / K_{i+1} (> 0.7)	Check	$K_n = \text{Avg}(K_{i+1,i+2,i+3})$	K_i / K_{i+1} (> 0.8)	Check
Deck	184.46	-	-	-	-	-
6	329.05	1.78	Regular	-	-	-
5	407.32	1.24	Regular	-	-	-
4	569.94	1.40	Regular	306.94	1.86	Regular
3	862.31	1.51	Regular	435.44	1.98	Regular
2	1308.85	1.52	Regular	613.19	2.13	Regular
1	7448.03	5.69	Regular	913.70	8.15	Regular

ตารางที่ 5 การตรวจสอบ Extreme Soft-Story Irregularity ของโครงสร้างทางแกน Y

Extreme Soft-Story Irregularity Check in Y-Direction						
Story	Stiffness Y-Direction	K_i / K_{i+1} (> 0.6)	Check	$K_n = \text{Avg}(K_{i+1,i+2,i+3})$	K_i / K_{i+1} (> 0.7)	Check
Deck	184.46	-	-	-	-	-
6	329.05	1.78	Regular	-	-	-
5	407.32	1.24	Regular	-	-	-
4	569.94	1.40	Regular	306.94	1.86	Regular
3	862.31	1.51	Regular	435.44	1.98	Regular
2	1308.85	1.52	Regular	613.19	2.13	Regular
1	7448.03	5.69	Regular	913.70	8.15	Regular

แต่เมื่อพิจารณาถึงการเอียงศูนย์ของ Center of Resisting Force พบว่าโครงสร้างยังคงมีการเอียงศูนย์ทางแกน X ก่อนข้างสูง (Extreme) แต่อย่างไรก็ตามมีการเอียงศูนย์ลดลงจากเดิม ดังในตารางที่ 6 โดยค่าการเอียงศูนย์ของ Center of Resisting Force เมื่อเทียบกับ Center of Mass ตัวทางแกน X จะมีค่าเท่ากับ 0.076 จึงนำค่าดังกล่าวไปทำการปรับแก้ใหม่ตาม ASCE-16 [2] จากค่าการเอียงศูนย์ต่ำสุดซึ่งอยู่ที่ 0.05 ส่วนตารางที่ 7 พบว่าค่าการเอียงศูนย์ของ Center of Resisting Force เมื่อเทียบกับ Center of Mass ตัวทางแกน Y จะมีค่าเท่ากับ 0.040 ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าค่าการเอียงศูนย์ต่ำสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 จึงไม่ต้องทำการปรับแก้จากค่าการเอียงศูนย์ต่ำสุดให้ใช้ค่าเดิมแล้วทำการวิเคราะห์โครงสร้างซ้ำเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการออกแบบต่อไป

ตารางที่ 6 การตรวจสอบ Torsional Irregularity และค่าการเอียงศูนย์ปรับแก้ของโครงสร้างทางแกน X

Torsional Irregularity and Relative Eccentricity in X-Direction							
Story	DX (m)	Drift		Ratio	Check Regular	Ax	Relative Eccentricity
		Max Drift	Avg Drift				
Deck	36.40	0.000591	0.000401	1.474	Extreme	1.5084	0.075
6	36.40	0.000606	0.000412	1.471	Extreme	1.5024	0.075
5	36.40	0.000596	0.000403	1.479	Extreme	1.5189	0.076
4	36.40	0.000545	0.000367	1.485	Extreme	1.5314	0.077
3	36.40	0.000443	0.000297	1.492	Extreme	1.5450	0.077
2	36.40	0.000270	0.000182	1.484	Extreme	1.5283	0.076

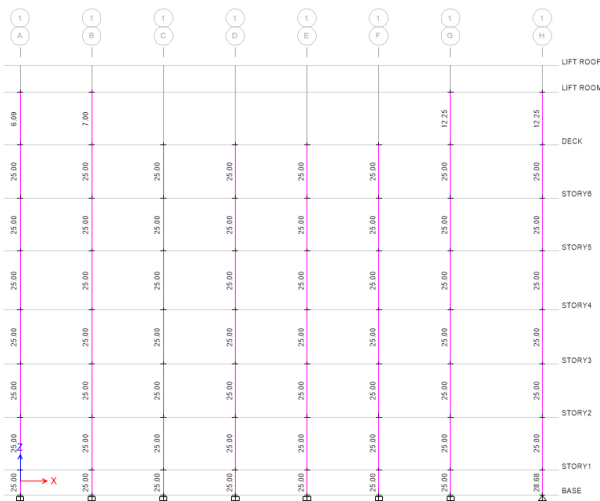
ตารางที่ 7 การตรวจสอบ Torsional Irregularity และค่าการเยื้องศูนย์กลางปรับแก้ของโครงสร้างทางแกน Y

Torsional Irregularity and Relative Eccentricity in X-Direction							
Story	DX (m)	Drift		Ratio	Check Regular	Ax	Relative Eccentricity
		Max Drift	Avg Drift				
Deck	20.00	0.000559	0.000429	1.067	Regular	0.7906	0.040
6	20.00	0.000580	0.000440	1.021	Regular	0.7239	0.036
5	20.00	0.000578	0.000434	1.017	Regular	0.7183	0.036
4	20.00	0.000534	0.000396	1.014	Regular	0.7140	0.036
3	20.00	0.000435	0.000319	1.017	Regular	0.7183	0.036
2	20.00	0.000283	0.000201	1.068	Regular	0.7921	0.040

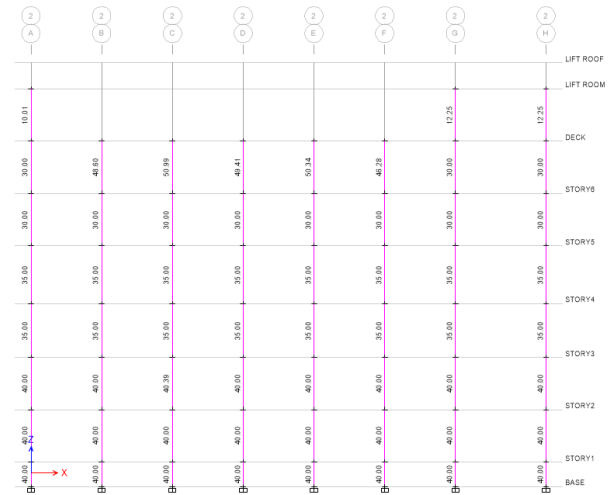
เมื่อพิจารณาถึงเสาของโครงสร้างปรับปรุง จากการวิเคราะห์โครงสร้าง สอดคล้องกับ ACI318 [1] พบว่าโครงสร้างเสาทุกต้นอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย ยกเว้นเสาที่ Grid Line ที่ 1 ตั้งแต่ดาดฟ้าถึงชั้นหลังคาคลุมห้องเครื่องลิฟท์ ยังคงไม่ปลอดภัยต่อการรับแรงแผ่นดินไหว และเสาที่ Grid Line ที่ 2 ตั้งแต่ที่ 6 ถึงชั้นดาดฟ้าเฉพาะ Gridline 2-B, 2-C, 2-D, 2-E และ 2-F ยังคงไม่ปลอดภัยต่อการรับแรงแผ่นดินไหว และเสาที่ Grid Line ที่ 2 ตั้งแต่ดาดฟ้าถึงชั้นหลังคาคลุมห้องเครื่องลิฟท์อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัยต่อการรับแรงแผ่นดินไหวดังแสดงในรูปที่ 21 และ 22 จึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงแก้ไข โดยวิธีการเสริมกำลังต่อไป

เมื่อพิจารณาถึงคานและพื้นของโครงสร้างปรับปรุง จากการวิเคราะห์ โครงสร้างสอดคล้องกับ ACI318 [1] พบว่าโครงสร้างคานทุกตัวมีความปลอดภัย

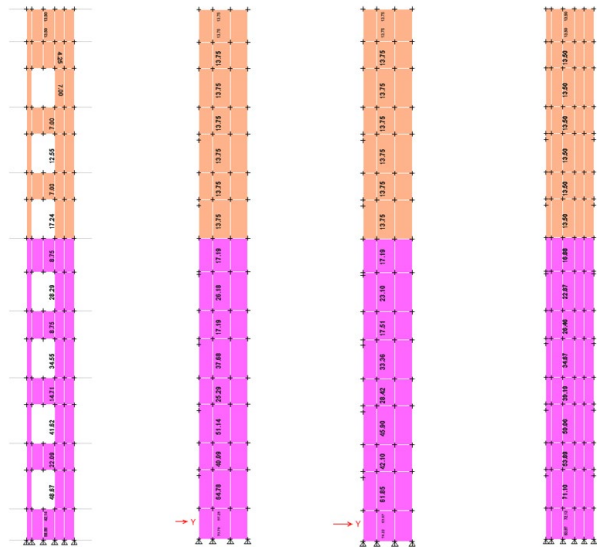
และเมื่อพิจารณาถึงผนังรับแรงเฉือนของโครงสร้างปรับปรุง จากการ วิเคราะห์โครงสร้างสอดคล้องกับ ACI318 [1] พบว่าโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการรับแรงแผ่นดินไหวตั้งแต่ตอม่อถึงชั้นที่ 4 จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงแก้ไขโดยวิธีการเสริมกำลังต่อไป แต่ตั้งชั้นที่ 4 จนถึงชั้นบนสุดปลอดภัยต่อการรับแรงแผ่นดินไหวเพราะต้องการปริมาณ เหล็กเสริมที่น้อยที่สุดดังแสดงในรูปที่ 23 และ 24



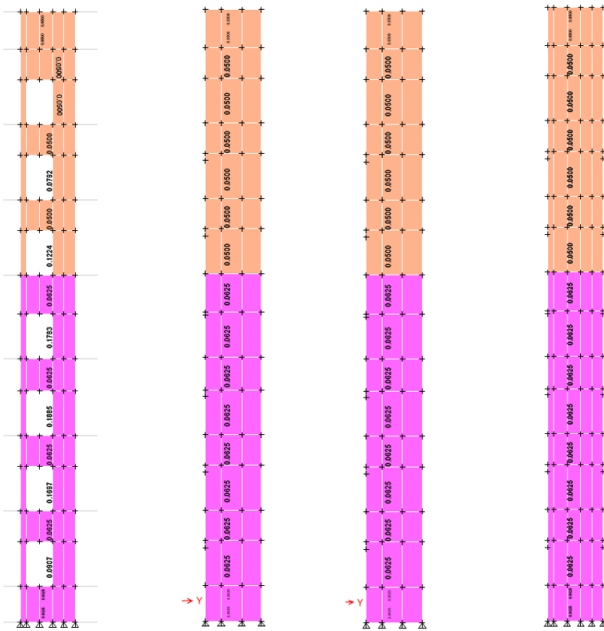
รูปที่ 21 ปริมาณเหล็กเสริมหลักที่ต้องการในเสาที่ Grid Line 1 เมื่อปรับปรุงโครงสร้าง



รูปที่ 22 ปริมาณเหล็กเสริมหลักที่ต้องการในเสาที่ Grid Line 2 เมื่อปรับปรุงโครงสร้าง



รูปที่ 23 ปริมาณเหล็กเสริมหลักผนังปล่องลิฟท์ทุกด้านเมื่อปรับปรุงโครงสร้าง

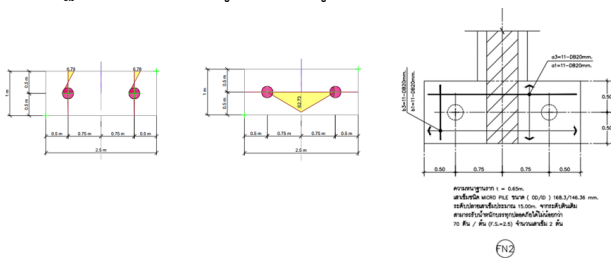


รูปที่ 24 ปริมาณเหล็กเสริมหลักผนังปล่องลิฟท์ทุกด้านเมื่อปรับปรุงโครงสร้าง

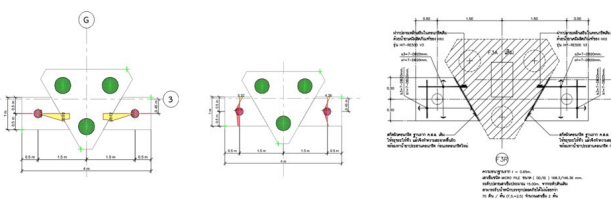
3.3 แนวทางการออกแบบแก้ไขโครงสร้างอาคารที่ปรับปรุง

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถสรุปแนวทางการเสริมโครงสร้างเพื่อความต้านทานแรงที่กระทำอันเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวตาม มยผ.1303-57 [4] และกฎกระทรวงปี 2564 [5] ดังนี้

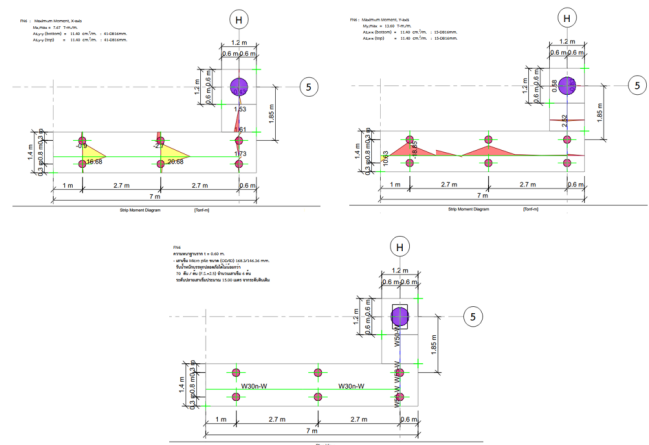
แนวทางการเสริมโครงสร้างฐานราก ในการเสริมโครงสร้างฐานราก เนื่องจากไม่มีพื้นที่ในการใช้เสาเข็มตอกหรือเจาะเพิ่มเติมดังนั้นจึงใช้ Micro-pile เพื่อรองรับผนังรับแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นและทำการเสริมกำลังโครงสร้างฐานรากดังแสดงในรูปที่ 25 ถึงรูปที่ 28



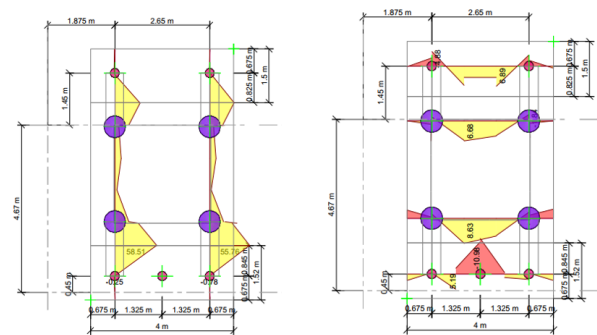
รูปที่ 25 การเสริมฐานรากโดยการเพิ่มเสาเข็มข้างเคียงจำนวน 1 ต้น



รูปที่ 26 การเสริมฐานรากโดยการเพิ่มเสาเข็มข้างเคียงจำนวน 2 ต้น



รูปที่ 27 การเสริมฐานรากโดยการเพิ่มเสาเข็มข้างเคียงจำนวน 6 ต้น



รูปที่ 28 การเสริมฐานรากโดยการเพิ่มเสาเข็มข้างเคียงจำนวน 5 ต้น

แนวทางการเสริมโครงสร้างเสา ในการเสริมโครงสร้างเสาที่ Grid Line 1 ขึ้นตาดฟ้าถึงชั้นหลังคาคลุมห้องเครื่อง และ Grid Line 2-A, 2-G และ 2-H ขึ้นตาดฟ้าถึงชั้นหลังคาคลุมห้องเครื่องเนื่องจากเป็นโครงสร้างรองรับทำการเสริมเสาโดยใช้การเสริมคอนกรีตและเหล็กหุ้มเสาเดิมกับโครงสร้างที่ต้องการดังแสดงในรูปที่ 29

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จสมบูรณ์ของการวิจัยฉบับนี้เนื่องจากความกรุณาของ อ. ปราโมทย์ ฤทธิปรีดานันท์ วุฒิวิศวกร ผู้ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์และความรู้ที่ถูกต้องในการดำเนินงานวิจัยนี้โดยสอดคล้องกับการก่อสร้างที่ถูกต้อง

ขอขอบพระคุณครอบครัวและเพื่อนและรุ่นน้องทุกท่านที่เป็นกำลังใจในการดำเนินงานวิจัยนี้จนเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] American Concrete Institute, Building Code Requirement of Structural Concrete (ACI318-08). 2008
- [2] American Society of Civil Engineers, Minimum Design Load and Associated Criteria of Buildings and Other Structures (ASCE7-16). 2017
- [3] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1301/1302-61). 2561
- [4] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, มาตรฐานการประเมินและการเสริมความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ.1303-57). 2557
- [5] ประกาศกระทรวงมหาดไทย, การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (เล่ม 138 ตอน พิเศษ 275 ง). 9 พฤศจิกายน 2564