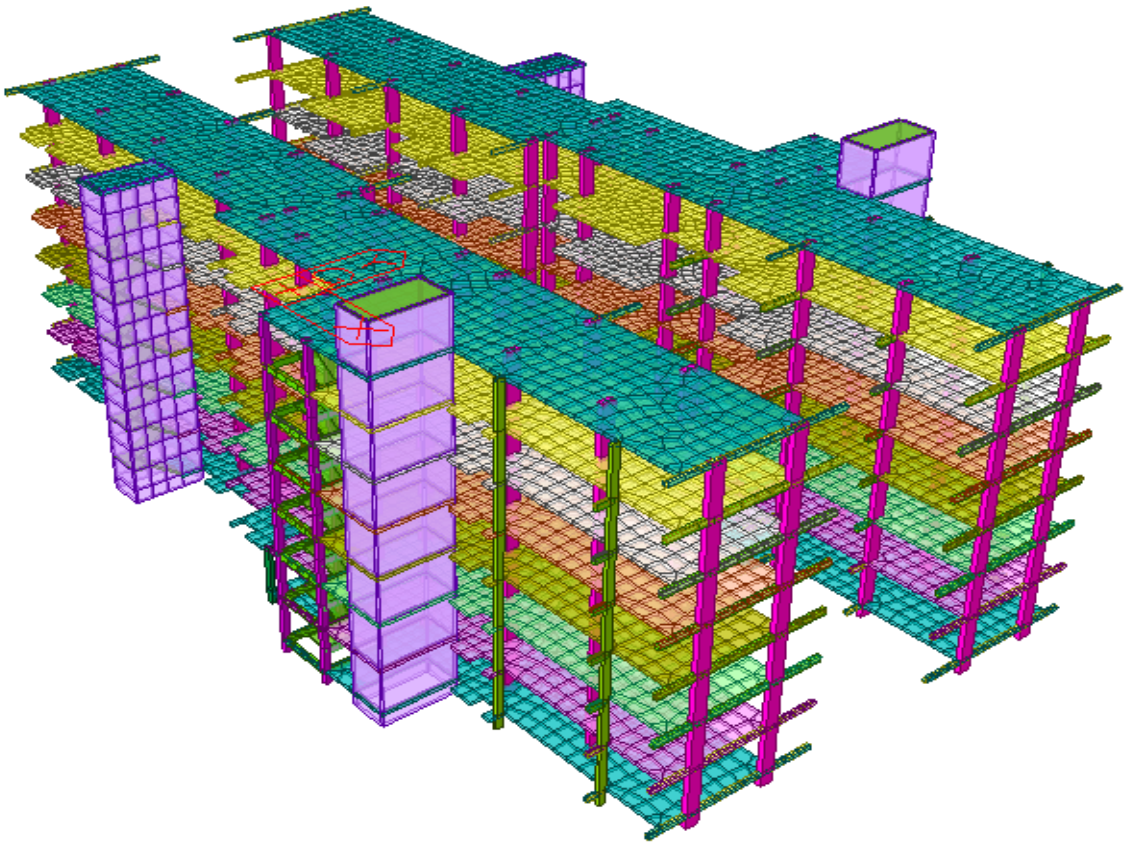
รายการ วิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว

อาคาร พักอาศัยรวม 7 ชั้น



สถานที่ก่อสร้าง : ถนนกุดคล้า – ผ่านศึก ต.หมูศรี อ. ปากช่อง นครราชสีมา

วิศวกรโครงสร้าง : **ผศ.ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี ส.ย.8303 นายชาย แสงไสว ส.ย.8611 นายวิโรจน์ ลิชนะเธียร ส.ย.10940**

สารบัญ

สรุปผลการตรวจสอบแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว	3
รายละเอียดโครงการ / มาตรฐานการออกแบบ	4
รายการน้ำหนักบรรทุก	5
Load Combination	6
แรงลมการทำต่ออาคาร	11
แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว	15
รายละเอียดการออกแบบ / เงื่อนไข	16
การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวง 2550 (สถิติเทียบเท่า)	19
การให้รายละเอียดพิเศษ	22
การจำลองโครงสร้างโดยโปรแกรม Finite Element Method	33
การแบ่งประเภทความรุนแรง ของแรงสั่นสะเทือน	36
การแบ่งประเภทการออกแบบของแรงสั่นสะเทือน	39
การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวตาม มยผ. 1302 (สถิติเทียบเท่า)	45
แรงแผ่นดินไหว (SEISMIC FORCE)	47
การลดค่าสติฟเนส	50
ตรวจสอบการเคลื่อนตัวของอาคาร	50
กรณีเพิ่มความเข้มข้นของแรงแผ่นดินไหว	55
อัตราส่วนปลอดภัย	57

สรุปผลการตรวจสอบแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

เนื่องจากอาคารที่ทำการก่อสร้างตั้งอยู่ที่ ตำบล หมูสี อำเภอ ปากช่อง นครราชสีมา

อยู่ในเขตพื้นที่ที่ ไม่มีความเสียหาย ถึงมีความเสียหายเล็กน้อย ระดับความรุนแรง III – V เมอร์คัลลี และได้ทำการจจำลอง MODEL เพื่อ วิเคราะห์ผลของแรงสั่ยสะเทือนจากแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิติเทียบเท่า

ตามกฎกระทรวง พศ. 2550

จัดเป็นบริเวณที่ไม่มีผลบังคับใช้ อนุโลมให้ใช้เป็นบริเวณที่ 1 ค่าแรงเฉือนที่ฐาน 78.181 ตัน

มยผ. 1302

ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว จัดเป็นประเภท ก (ไม่ต้องออกแบบ) ค่าแรงเฉือนที่ฐาน 60.387 ตัน การเคลื่อนตัวในแนว DY = 11.83 มม. DX = 20.98 มม. น้อยกว่า การเคลื่อนที่ยอมให้ H / 200 ผ่านเกณฑ์

เพิ่มความเข้มของแผ่นดินไหว เป็นประเภท ความสำคัญ III (มาก) และ ตัวประกอบความสำคัญ I = 1.25 (โดยทำการวิเคราะห์อาคาร A และ B)

การเคลื่อนตัวในแนว DY = 19.71 มม. DX = 34.97 มม. ยังน้อยกว่า H / 200 (0.005 x 22,700 มม. = 113.50 มม.) ผ่านเกณฑ์ อัตราส่วนความปลอดภัย S.F. มากกว่า 1.5 ...ผ่านเกณฑ์

กรณีคิดแรงบิดโดยบังเอิญ 5% เนื่องจากแรงแผ่นดินไหว (Accidental Torsion)

การเคลื่อนตัวในแนว DY 27.59 มม. DX 46.99 มม. ยังน้อยกว่า H / 200 (0.005 x 22,700 มม. = 113.50 มม.) ผ่านเกณฑ์

สรุปได้ว่า อาคารที่ทำการวิเคราะห์ปลอดภัยตามข้อกฎหมาย

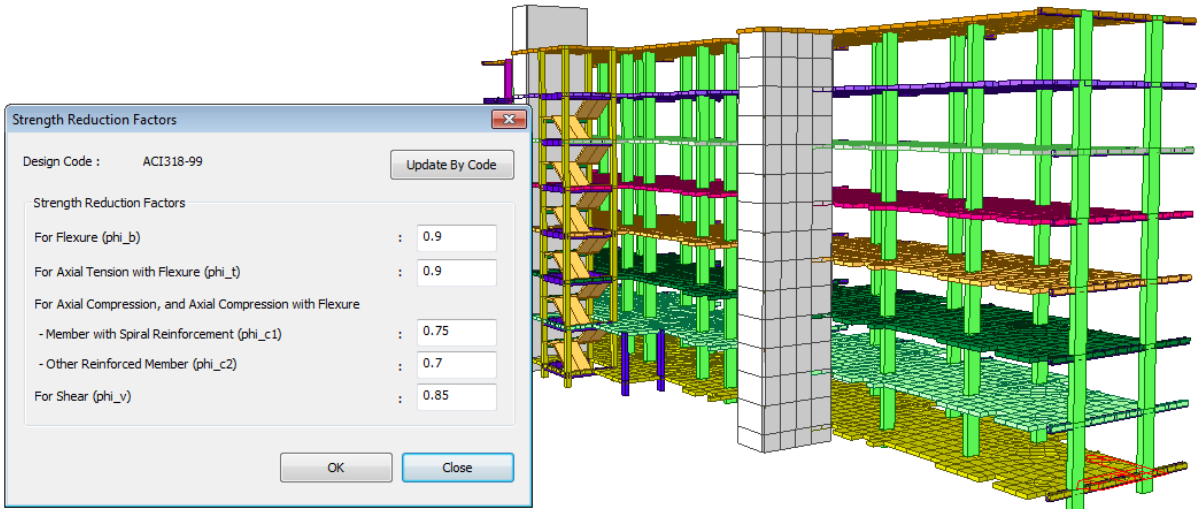
<u>รายละเอียดโครงการ</u>

ประเภทขององค์อาคาร : อาคารพักอาศัยรวม คอนกรีตเสริมเหล็ก

โครงสร้างหลักองค์อาคาร : ค.ส.ล. 7 ชั้น จำนวน 2 หลัง เพื่อเป็นที่พักอาศัยรวม

วิธีการออกแบบ : คอนกรีตเสริมเหล็กวิธีกำลัง (Strength Design Method)

: เหล็กรูปพรรณวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stess)



<u>มาตรฐานในการออกแบบ</u>

1) กฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความตานทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว 2550
2) การออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือน และแผ่นดินไหว (มยผ. 1301 – 50)
3) การออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือน และแผ่นดินไหว (มยผ. 1302)
4) มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร (มยผ. 1311 – 50)
5) มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง (วสท. 1008-38)
6) Building Code Requirements for Structure Concrete (ACI 318-99)

<u>วัสดุโครงสร้างหลัก</u> : : คอนกรีตกำลังอัดรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน f'c = 240 ksc

: เหล็กเสริมหลัก เกรด SD – 40, เหล็กเสริมรอง เกรด SR-24

: เหล็กรูปพรรณ มาตรฐาน มอก.

<u>รายการน้ำหนักบรรทุก</u>

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) DL.

- น้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก 2,400 กก./ลบ.ม.
- น้ำหนักเหล็กเสริม 7,850 กก./ลบ.ม.
- น้ำหนักเหล็กรูปพรรณ 7,850 กก./ลบ.ม.
- น้ำหนักดิน 1,800 กก./ลบ.ม.

น้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติม (Super Dead Load) SDL.

-	ปูนทรายปรับระดับหนา 5 ซม.	150	กก./ตร.ม.
-	วัสดุปูพื้นผิว	150	กก /ตร.ม.
-	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นรวมฉาบสองด้าน(10ซม)	180	กก./ตร.ม.
-	ผนังก่ออิฐมอญเต็มแผ่นรวมฉาบสองด้าน(20ซม)	360	กก./ตร.ม.
-	ผนังก่ออิฐมวลเบา 7.5 ซม .รวมฉาบสองด้าน(10ซม)	100	กก./ตร.ม.
-	ผนังก่ออิฐ(20ซม) 20 ซม. รวมฉาบสองด้าน(23ซม)	220	กก./ตร.ม.
-	ฝ้าเพดาน และงานระบบ	30	กก./ตร.ม.
-	เครื่องจักรงานระบบประกอบอาคาร	1000	กก./ตร.ม.

น้ำหนักบรรทุกจร (LIVE LOAD) LL

ประเภทและส่วนต่างๆ ของอาคาร	หน่วยน้ำหนักบรรทุกจรเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร
(1) หลังคา	30
(2) กันสาดหรือหลังคาคอนกรีต	100
(3) ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
(4) ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรมและห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล	200
(5) สำนักงาน ธนาคาร	250
(6) (ก) อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน โรงพยาบาล	300
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงานและธนาคาร	300
(7) (ก) ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุดหรือหอสมุด ที่จอดหรือเก็บรถยนต์นั่ง หรือรถจักรยานยนต์	400
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคาร พาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัยและโรงเรียน	400
(8) (ก) คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด อาคารสรรพสินค้า ห้องประชุม หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องสมุดและหอสมุด	500
(9) ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุดหรือหอสมุด	600
(10) ที่จอดหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่า	800

Load Combination

1	gLCB1	Active	Add	1.4D + 1.7(L)
2	gLCB2	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) + 1.7WXN)
3	gLCB3	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) + 1.7WXP)
4	gLCB4	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) + 1.7WYN)
5	gLCB5	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) + 1.7WYP)

6	gLCB6	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) - 1.7WXN)
7	gLCB7	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) - 1.7WXP)
8	gLCB8	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) - 1.7WYN)
9	gLCB9	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) - 1.7WYP)
10	gLCB10	Active	Add	0.9D + 1.3WXN
11	gLCB11	Active	Add	0.9D + 1.3WXP
12	gLCB12	Active	Add	0.9D + 1.3WYN
13	gLCB13	Active	Add	0.9D + 1.3WYP
14	gLCB14	Active	Add	0.9D - 1.3WXN
15	gLCB15	Active	Add	0.9D - 1.3WXP
16	gLCB16	Active	Add	0.9D - 1.3WYN
17	gLCB17	Active	Add	0.9D - 1.3WYP
18	gLCB18	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) + 1.7(1.1EQXN))
19	gLCB19	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) + 1.7(1.1EQXP))
20	gLCB20	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) + 1.7(1.1EQYN))
21	gLCB21	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) + 1.7(1.1EQYP))
22	gLCB22	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) - 1.7(1.1EQXN))
23	gLCB23	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) - 1.7(1.1EQXP))
24	gLCB24	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) - 1.7(1.1EQYN))
25	gLCB25	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) - 1.7(1.1EQYP))
26	gLCB26	Active	Add	0.9D + 1.3(1.1EQXN)
27	gLCB27	Active	Add	0.9D + 1.3(1.1EQXP)
28	gLCB28	Active	Add	0.9D + 1.3(1.1EQYN)
29	gLCB29	Active	Add	0.9D + 1.3(1.1EQYP)

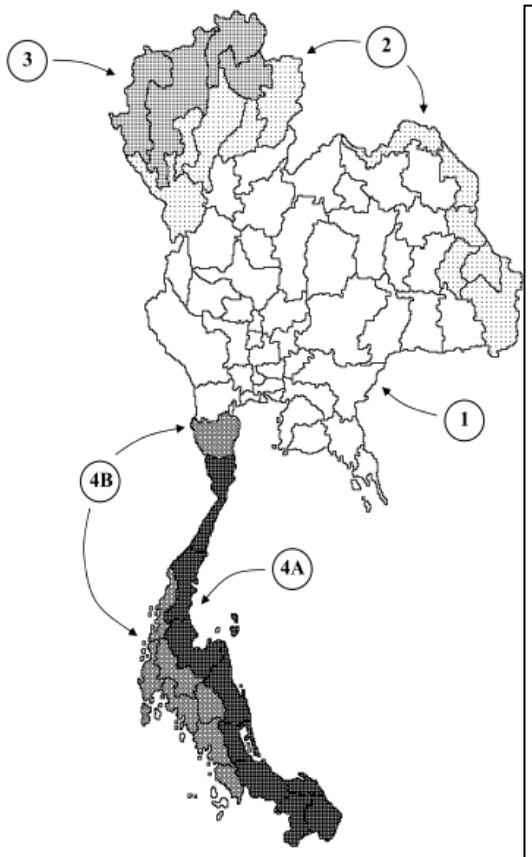
30	gLCB30	Active	Add	0.9D - 1.3(1.1EQXN)
31	gLCB31	Active	Add	0.9D - 1.3(1.1EQXP)
32	gLCB32	Active	Add	0.9D - 1.3(1.1EQYN)
33	gLCB33	Active	Add	0.9D - 1.3(1.1EQYP)
34	gLCB34	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) + 1.7(2.719)(1.1(RX(RS)+RX(ES))))
35	gLCB35	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) + 1.7(2.719)(1.1(RX(RS)-RX(ES))))
36	gLCB36	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) + 1.7(2.504)(1.1(RY(RS)+RY(ES))))
37	gLCB37	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) + 1.7(2.504)(1.1(RY(RS)-RY(ES))))
38	gLCB38	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) - 1.7(2.719)(1.1(RX(RS)+RX(ES))))
39	gLCB39	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) - 1.7(2.719)(1.1(RX(RS)-RX(ES))))
40	gLCB40	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) - 1.7(2.504)(1.1(RY(RS)+RY(ES))))
41	gLCB41	Active	Add	0.75(1.4D + 1.7(L) - 1.7(2.504)(1.1(RY(RS)-RY(ES))))
42	gLCB42	Active	Add	0.9D + 1.3(2.719)(1.1(RX(RS)+RX(ES)))
43	gLCB43	Active	Add	0.9D + 1.3(2.719)(1.1(RX(RS)-RX(ES)))
44	gLCB44	Active	Add	0.9D + 1.3(2.504)(1.1(RY(RS)+RY(ES)))
45	gLCB45	Active	Add	0.9D + 1.3(2.504)(1.1(RY(RS)-RY(ES)))
46	gLCB46	Active	Add	0.9D - 1.3(2.719)(1.1(RX(RS)+RX(ES)))
47	gLCB47	Active	Add	0.9D - 1.3(2.719)(1.1(RX(RS)-RX(ES)))
48	gLCB48	Active	Add	0.9D - 1.3(2.504)(1.1(RY(RS)+RY(ES)))
49	gLCB49	Active	Add	0.9D - 1.3(2.504)(1.1(RY(RS)-RY(ES)))
50	gLCB50	Active	Add	D + (L)
51	gLCB51	Active	Add	D + (L) + WXN
52	gLCB52	Active	Add	D + (L) + WXP
53	gLCB53	Active	Add	D + (L) + WYN

54	gLCB54	Active	Add	D + (L) + WYP
55	gLCB55	Active	Add	D + (L) - WXN
56	gLCB56	Active	Add	D + (L) - WXP
57	gLCB57	Active	Add	D + (L) - WYN
58	gLCB58	Active	Add	D + (L) - WYP
59	gLCB59	Active	Add	D + WXN
60	gLCB60	Active	Add	D + WXP
61	gLCB61	Active	Add	D + WYN
62	gLCB62	Active	Add	D + WYP
63	gLCB63	Active	Add	D - WXN
64	gLCB64	Active	Add	D - WXP
65	gLCB65	Active	Add	D - WYN
66	gLCB66	Active	Add	D - WYP
67	gLCB67	Active	Add	D + (L) + EQXN
68	gLCB68	Active	Add	D + (L) + EQXP
69	gLCB69	Active	Add	D + (L) + EQYN
70	gLCB70	Active	Add	D + (L) + EQYP
71	gLCB71	Active	Add	D + (L) - EQXN
72	gLCB72	Active	Add	D + (L) - EQXP
73	gLCB73	Active	Add	D + (L) - EQYN
74	gLCB74	Active	Add	D + (L) - EQYP
75	gLCB75	Active	Add	D + EQXN
76	gLCB76	Active	Add	D + EQXP
77	gLCB77	Active	Add	D + EQYN

78	gLCB78	Active	Add	D + EQYP
79	gLCB79	Active	Add	D - EQXN
80	gLCB80	Active	Add	D - EQXP
81	gLCB81	Active	Add	D - EQYN
82	gLCB82	Active	Add	D - EQYP
83	gLCB83	Active	Add	D + (L) + (2.719)(RX(RS)+RX(ES))
84	gLCB84	Active	Add	D + (L) + (2.719)(RX(RS)-RX(ES))
85	gLCB85	Active	Add	D + (L) + (2.504)(RY(RS)+RY(ES))
86	gLCB86	Active	Add	D + (L) + (2.504)(RY(RS)-RY(ES))
87	gLCB87	Active	Add	D + (L) - (2.719)(RX(RS)+RX(ES))
88	gLCB88	Active	Add	D + (L) - (2.719)(RX(RS)-RX(ES))
89	gLCB89	Active	Add	D + (L) - (2.504)(RY(RS)+RY(ES))
90	gLCB90	Active	Add	D + (L) - (2.504)(RY(RS)-RY(ES))
91	gLCB91	Active	Add	D + (2.719)(RX(RS)+RX(ES))
92	gLCB92	Active	Add	D + (2.719)(RX(RS)-RX(ES))
93	gLCB93	Active	Add	D + (2.504)(RY(RS)+RY(ES))
94	gLCB94	Active	Add	D + (2.504)(RY(RS)-RY(ES))
95	gLCB95	Active	Add	D - (2.719)(RX(RS)+RX(ES))
96	gLCB96	Active	Add	D - (2.719)(RX(RS)-RX(ES))
97	gLCB97	Active	Add	D - (2.504)(RY(RS)+RY(ES))
98	gLCB98	Active	Add	D - (2.504)(RY(RS)-RY(ES))
99	RC ENV_STR	Active	EnvelopeConcrete Strength Envelope	
100	RC ENV_SER	Active	EnvelopeConcrete Serviceability Envelope	

แรงลมกระทำต่ออาคาร (WIND LOAD)

การวิเคราะห์แรงลม ใช้มาตรฐานการคำนวณแรงลม และการตอบสนองของอาคาร (มยผ 1311 – 50) ในการคำนวณค่าแรงลมสถิตเทียบเท่าโดยวิธีการอย่างง่าย เนื่องจากการพิจารณาแล้วว่าโครงสร้างมีความสมมาตรเพียงพอ โดยเมื่อใช้โปรแกรม MIDAS GEN ช่วยในการประมวลผลจะเลือกใช้มาตราฐาน IBC 2009 : ซึ่งใกล้เคียงกับมาตราฐาน มยผ. 1311 – 50 การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารแต่ละชิ้นส่วน **ให้ใช้ค่าหน่วยแรงของผลจากแผ่นดินไหวหรือผลจากแรงลม ที่มีต่อชิ้นส่วนโครงสร้างนั้น ค่าใดค่าหนึ่งที่มากกว่า** ตามที่ได้กำหนดในกฎกระทรวง ฉบับที่ 6



พื้นที่ก่อสร้างอยู่ที่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

จัดเป็น กลุ่ม 1 V50 = 25 m/s

พื้นที่โล่งชายเขา มีต้นไม้ใหญ่และภูเขา Class : B

จากโปรแกรม FEM ที่ใช้เป็นมาตรฐาน ASCE จึงต้องแปลงค่าความเร็วแรงลมอ้างอิงให้เท่ากับ มยผ. เนื่องด้วย ASCE เก็บค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยที่ 3 วินาที แต่ประเทศไทยเก็บที่ 1 ชั่วโมง

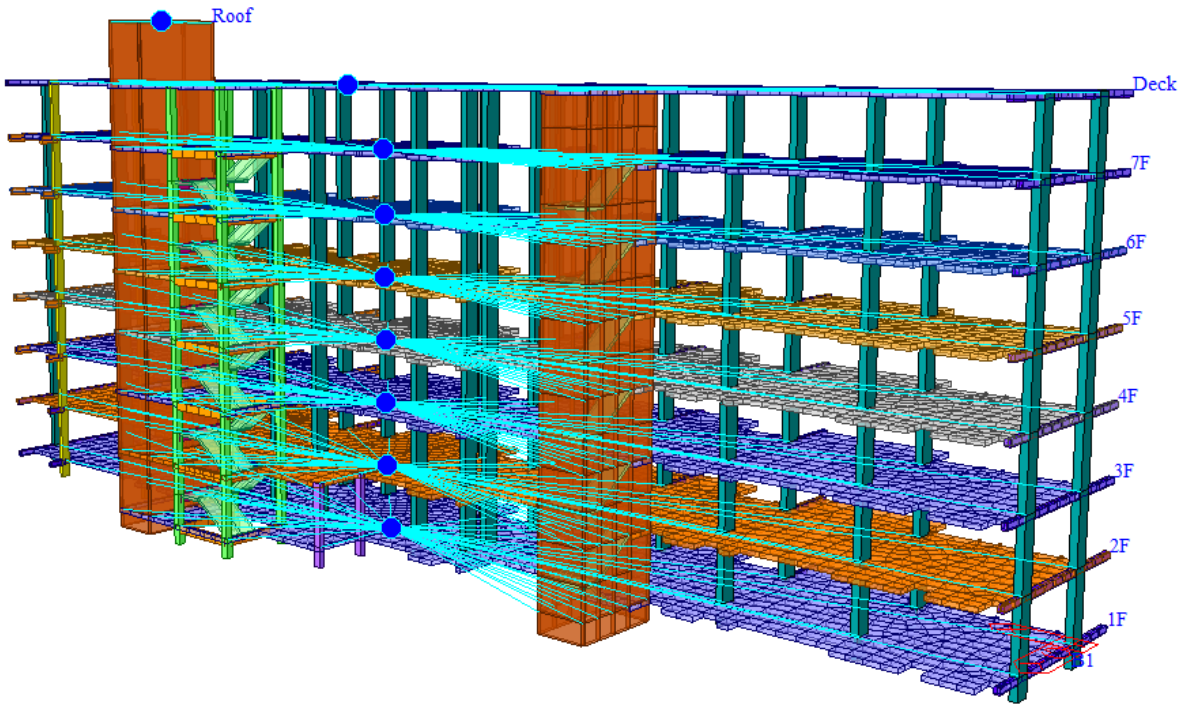
V3/V3600 = 1.52 ; ความเร็วลมอ้างอิง 25 m/s

25 x 1.52 = 38 m/s

38 x 2.23 = 85 Mph

<u>การกำหนดไดอะแฟรม</u>

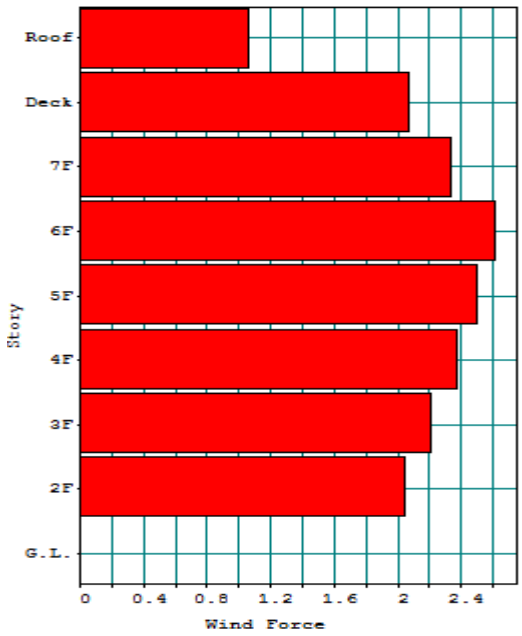
การกำหนด ไดอะแฟรมของโครงสร้างจะกำหนดให้เข้าที่เสา และคานหลักเท่านั้น จะไม่นำพื้นมาพิจารณา ซึ่งทั้งอาคาร A และอาคาร B ในการวิเคราะห์จะมีขนาดเท่ากันเพียงแต่ MIRROR

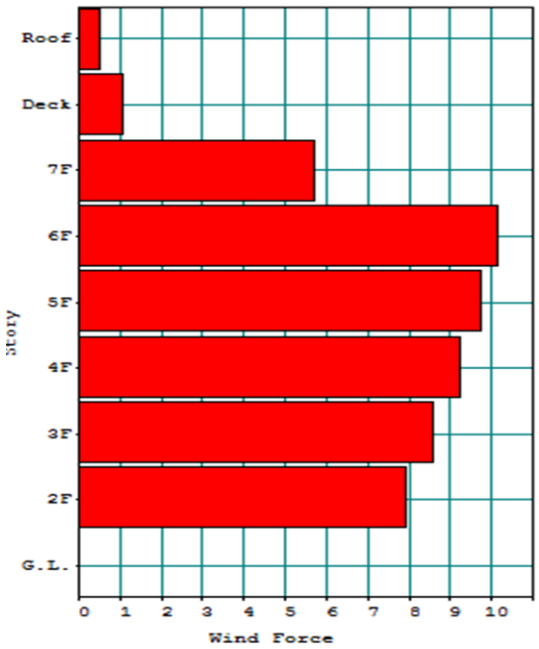


	Name	Floor Width X-Dir(m)	Floor Width Y-Dir(m)	Floor Center Xc(m)	Floor Center Yc(m)	Eccentricity X-Dir(m)	Eccentricity Y-Dir(m)
▶	Roof	2.40	4.75	44.83	10.98	0.36	0.71
	Deck	2.40	4.75	30.75	5.28	9.27	2.48
	7F	2.40	4.61	30.75	5.22	9.27	2.50
	6F	24.90	6.31	30.75	5.22	9.27	2.50
	5F	24.90	6.31	30.75	5.22	9.27	2.50
	4F	24.90	6.31	30.75	5.22	9.27	2.50
	3F	24.90	6.31	30.75	5.22	9.27	2.50
	2F	24.90	6.31	30.75	5.22	9.27	2.50
	1F	24.90	6.31	30.75	5.22	9.27	2.50
	B1	61.50	13.40	30.75	6.70	9.23	2.01

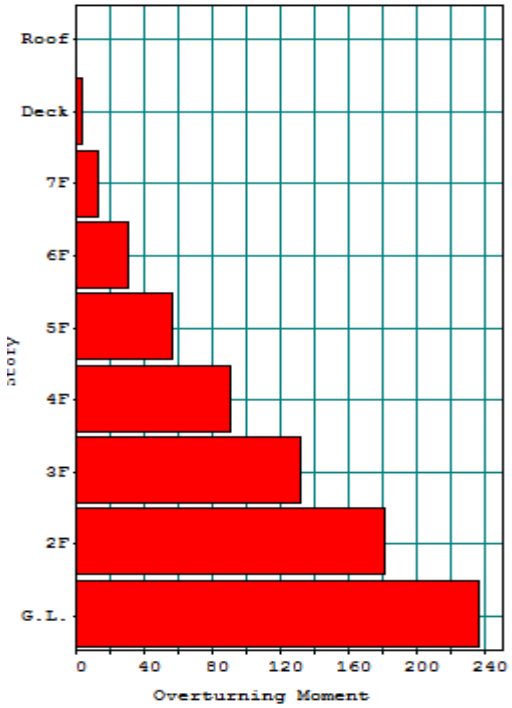
<u>แรงลมกระทำต่ออาคารพิจารณาทั้ง 2 แกน WX ,WY</u>

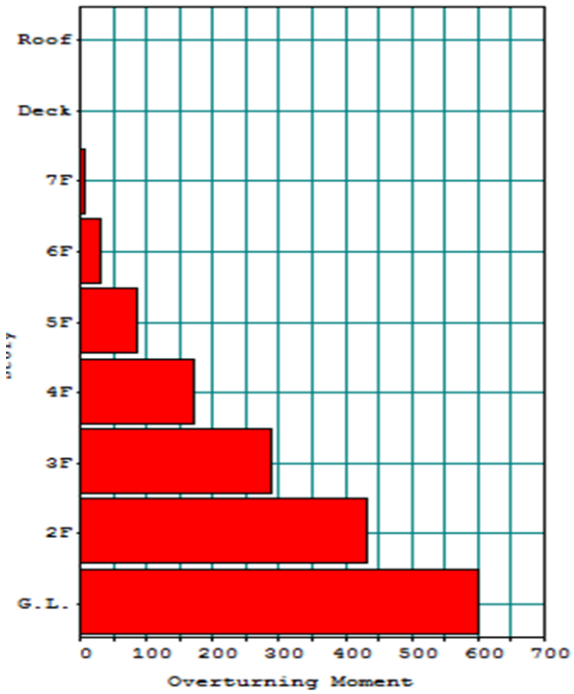
ทิศทาง X และ Y (wind Story Force)



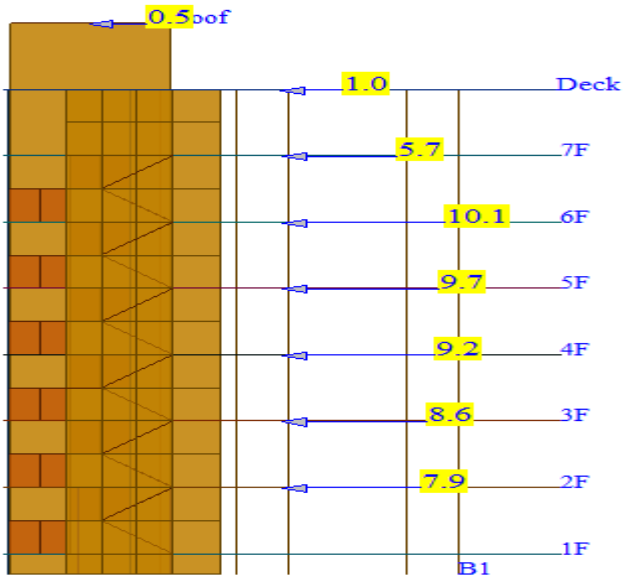


ทิศทาง X และ Y (Overturning Moment)

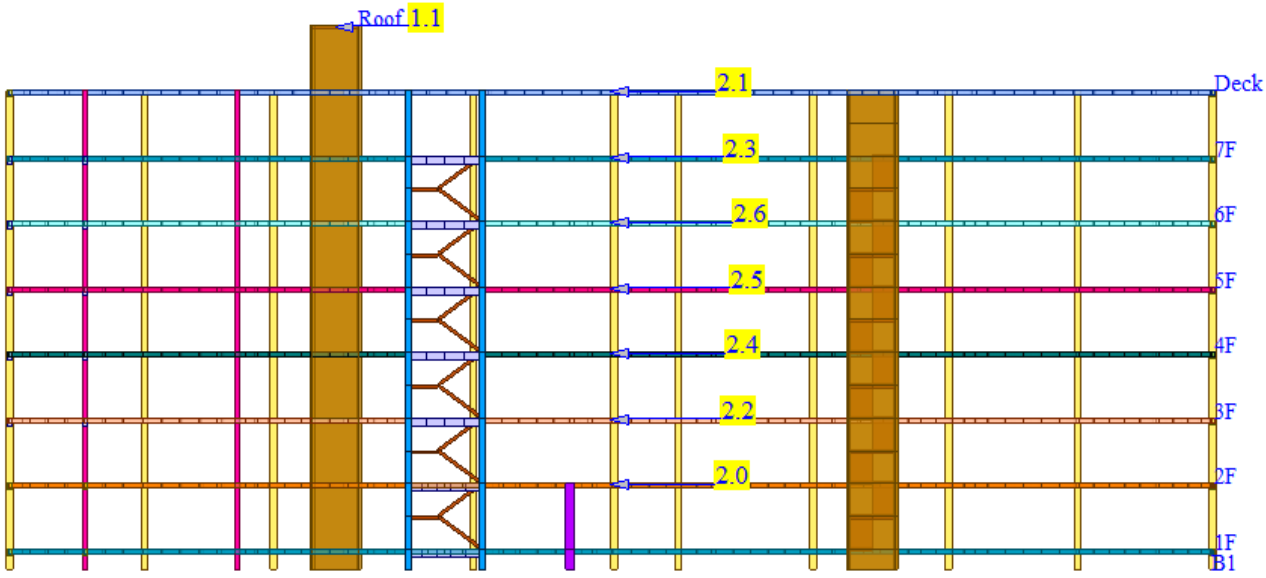




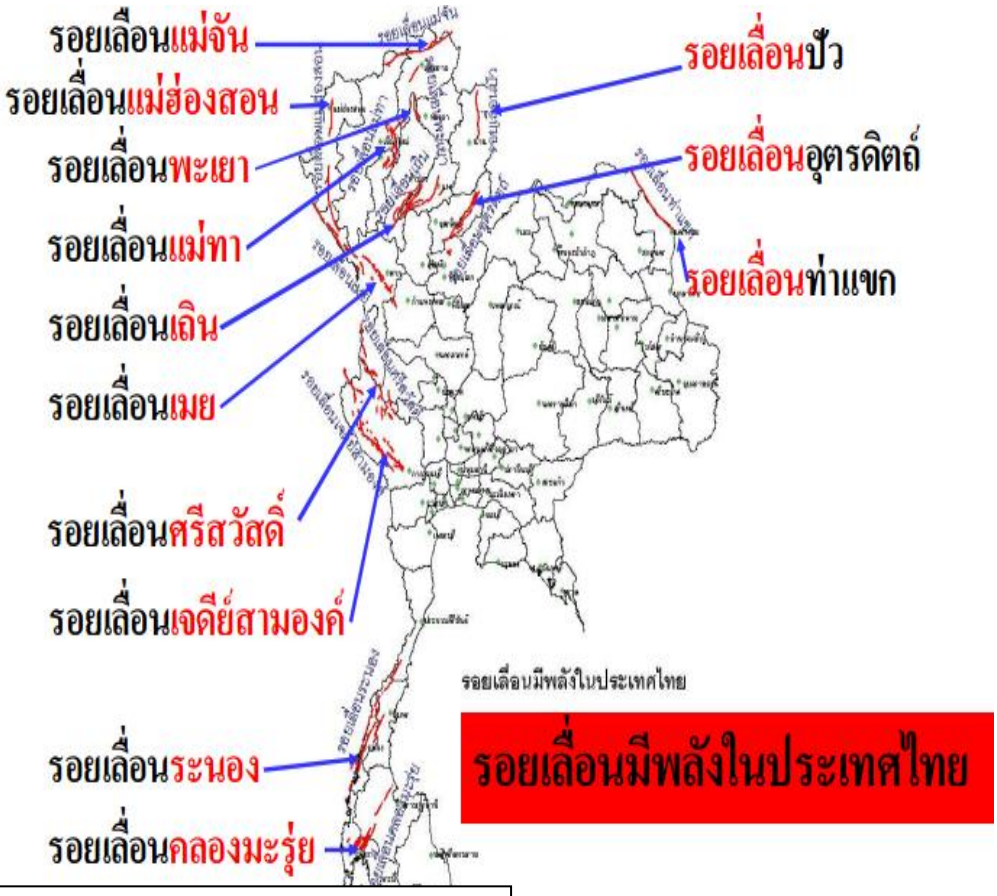
Wind Load : Wy (tons)

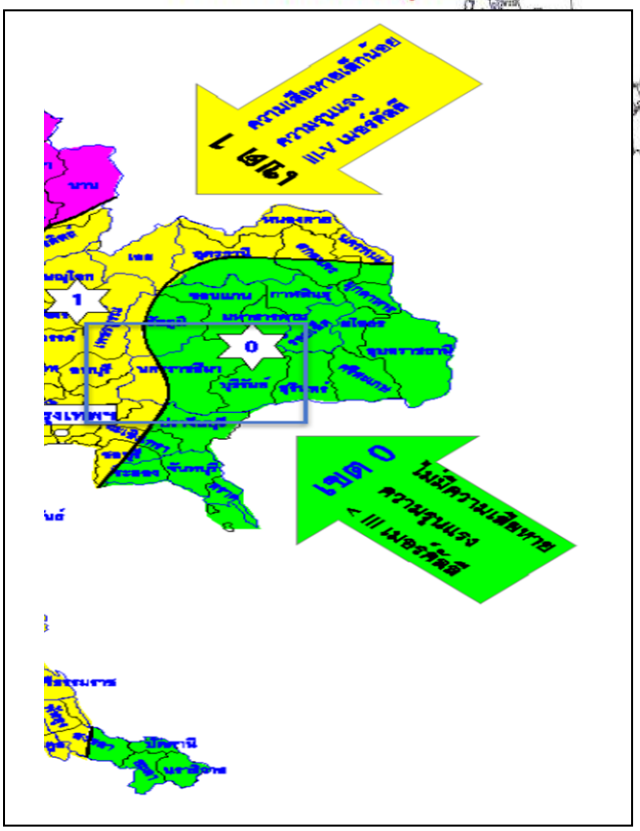


Wind Load : Wx Z (tons)



แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (SEISMIC FORCE)





จากแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว อาคารที่ก่อสร้างตั้งอยู่ที่ ตำบลหมูสี อำเภอ ปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา **จัดอยู่ในเขตที่ 0 และ 1 ไม่มีความเสียหาย ถึงมีความเสียหายเล็กน้อย ระดับความรุนแรง III - V เมอร์คัลลี**

<u>รายละเอียดการออกแบบ</u> / เงื่อนไข

ระบบโครงสร้างภายใน เป็นระบบโครงข้อแข็ง คอนกรีตเสริมเหล็ก โดยชั้นที่ 1 – ชั้นดาดฟ้าเลือกใช้โครงสร้างระบบพื้นไร้คาน POSTTENSION ทั้งหมด ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว การออกแบบให้โครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ทั้งหมด โดยไม่ยอมให้เกิดความเสียหายใดๆ เลย เป็นวิธีที่ไม่ประหยัด และเนื่องจาก **“ การเสียรูปแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic deformations) “** มีส่วนช่วยลดแรงจากแผ่นดินไหวลงได้

ดังนั้นการยอมให้โครงสร้างเกิดการเสียรูปในระดับหนึ่ง (ซึ่งซ่อมแซมได้ภายหลัง) จึงเป็นที่นิยมสำหรับการออกแบบโครงสร้างทั่วไป ทั้งนี้โครงสร้างจะมีการเสียรูปแบบไม่ยืดหยุ่นมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ รูปแบบของโครงสร้าง (Structure systems) ที่พิจารณา

การออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นก็เพื่อให้เป็นไปตามหลักการพื้นฐานสามประการคือ

1. โครงสร้างจะต้องมีสติฟเนสเพียงพอที่จะควบคุมการเคลื่อนที่ด้านข้างไม่ให้เกินระดับที่ยอมรับได้ (H/200 = 0.005 H x Cd) ; Cd = 3/K ตามกฎกระทรวง
2. โครงสร้างจะต้องมีกำลังเพียงพอที่จะต้านทานแรงเฉือยที่เกิดจากการสั่นไหวของพื้นดิน
3. รายละเอียดการเสริมเหล็กในโครงสร้างจะต้องเพียงพอที่จะทำให้โครงสร้างมีความเหนียวที่พอในช่วงพลาสติก

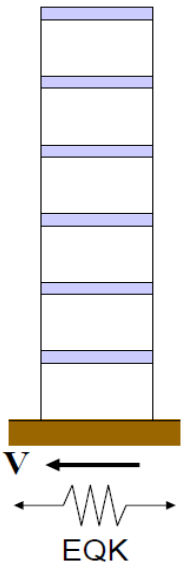
จากรูปแบบ และสถานที่ตั้งขององค์อาคารที่พิจารณา จัดอยู่ใน**พื้นที่ ZONE 0 และ ZONE 1 ตามกฎกระทรวง พศ. 2550 เป็นอาคารที่พักสาธารณะสูงเกิน 15 เมตร ข้อ 3 (1)/(ช)** โครงดัด (Frame) ออกแบบให้เป็น Ordinary Moment Resisting Frame (OMRF) โดยที่กำแพงรับแรงเฉือนไม่ต้องออกแบบให้มีความเหนียว / ไม่มีรายละเอียดการเสริมเหล็กพิเศษ (Ordinary Design Shearwall) ซึ่งจะต้องจัดให้มีเหล็กเสริมหลักต้านทานโมเมนต์ดัด อย่างน้อย 2 เส้นทั้งเหล็กบน และล่างตลอดความยาวคาน โดยต้องจัดให้มีระยะฝังยึดเหล็กเพียงพอที่จะทำให้เหล็กเสริมสามารถพัฒนากำลังรับแรงดึงถึงจุดครากได้

จากข้อกำหนดทำให้ใน Zone 0 และ Zone 1 โครงสร้างแบบ Dual system จะไม่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากโครงดัดไม่มีความสามารถที่จะช่วยรับแรงทางด้านข้างที่เกิดขึ้นได้ ทำให้พื้นที่ๆ มีความรุนแรงของแผ่นดินไหวต่ำโครงสร้างที่มีโครงดัดร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนจะเรียกว่า Shearwall – frame interactive systems ซึ่ง UBC 91 ได้กำหนด ตัวลดกำลัง (Rw) ไว้เท่ากับ 8

ส่วนอาคารที่พิจารณานี้ ตามมาตรฐาน มยผ.ต้องให้ความสำคัญในส่วนของแรงเฉือนทะลุที่แผ่นพื้นบริเวณหัวเสาเป็นสำคัญ ซึ่งได้กำหนดไว้หากองค์อาคารเป็นระบบแผ่นพื้นแบบไร้คานจะต้องเสริมเหล็กเพื่อป้องกันการพังทลายอย่างต่อเนื่อง (Progressive Collapse) ด้วยโดยจะต้องมีเหล็กเสริมล่างวางผ่านหรือฝังเข้าไปในแกนเสา ในแต่ละทิศทางป็นปริมาณไม่น้อยกว่า

$$Asm = 0.5\ Wu\ L1\ L2 / 0.9fy$$

แรงแผ่นดินไหว (Earthquake Loads)



แผ่นดินไหวเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่สามรถก่อให้เกิดความเสียหายอย่างร้ายแรงต่อโครงสร้าง ในหลายพื้นที่ซึ่งอยู่ในโซนที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวจะต้องคำนึงถึงแรงแผ่นดินไหวในการออกแบบโครงสร้าง สำหรับประเทศไทยแม้ว่าจะไม่เคยเกิดแผ่นดินไหวรุนแรง แต่ก็มีแผ่นดินไหวขนาดเล็กเกิดขึ้นบ่อยครั้งทางภาคเหนือและตะวันตก

กฎกระทรวง พ.ศ. 2550 กำหนดให้พิจารณาแรงสั่นสะเทือนแผ่นดิน โดยคำนวณเป็นแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) ดังนี้

$$V = ZIKCSW$$

เมื่อ V = แรงเฉือนที่ฐานอาคาร

Z = สัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว

I = สัมประสิทธิ์ความสำคัญของอาคาร

K = สัมประสิทธิ์โครงสร้าง

C = สัมประสิทธิ์คุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้าง

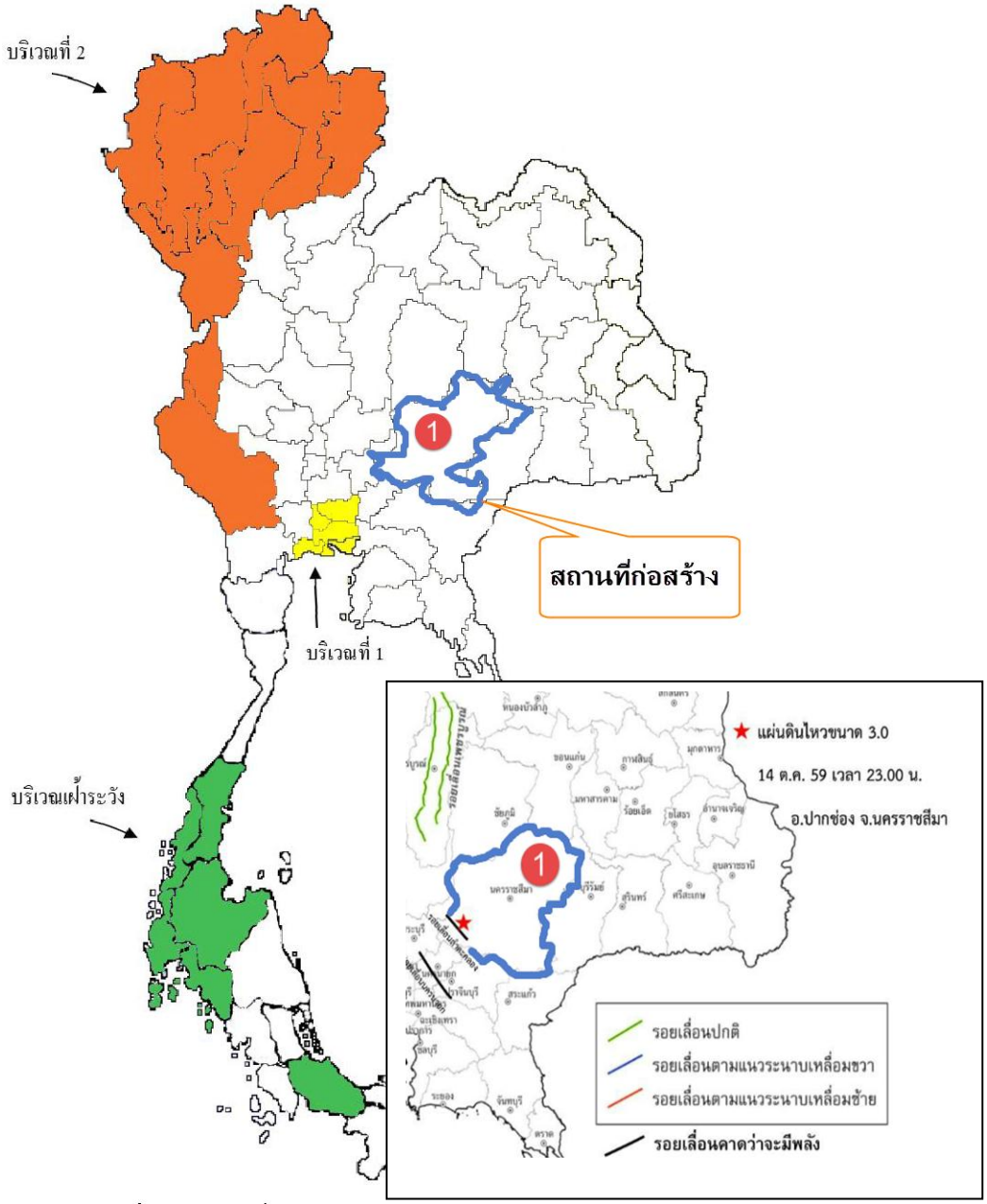
S = สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างชั้นดินและโครงสร้าง

W = น้ำหนักโครงสร้าง

วิศวกรโครงสร้าง : **ผศ.ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี ส.ย.8303 นายชาย แสงไสว ส.ย.8611 นายวิโรจน์ ลิชนะเธียร ส.ย.10940**

สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว (Z)

แบ่งเป็น 2 บริเวณ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บริเวณที่มีผลบังคับใช้กฎกระทรวง พ.ศ. 2550

บริเวณที่ 1 (กรุงเทพฯ, นนทบุรี, ปทุมธานี, สมุทรปราการ, สมุทรสาคร)

ใช้ค่า $Z \geq 0.19$

บริเวณที่ 2 (กาญจนบุรี, เชียงราย, เชียงใหม่, ตาก, น่าน, พะเยา, แพร่, แม่ฮ่องสอน, ลำปาง,

ใช้ค่า $Z \geq 0.38$

การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว ตามกฎกระทรวงฉบับ พ.ศ. 2550 อาคาร **A** และ อาคาร **B**
วิธีแรงสถิตเทียบเท่า

หาแรงเฉือนที่ฐานอาคาร , V = ZIKCSW

ประเภทของอาคาร : อาคารทั่วไป

ความสูงของอาคาร, H	=	22.7	เมตร
ความกว้างของอาคารในทิศขนานแรงแผ่นดินไหว, D	=	7.35	เมตร
จำนวนชั้น, N	=	7	ชั้น
คาบการสั่น, T	=	0.754	

C = 1/15*sqr(T) = 0.077

จังหวัดที่ตั้งของอาคาร : นครราชสีมา

บริเวณที่ไม่มีผลบังคับใช้ อนุโลมให้ใช้เป็นบริเวณที่ 1

Z = 0.19

ชนิดของอาคาร :อาคารที่เป็นที่ชุมนุมคนครั้งหนึ่งๆ ได้มากกว่าสามร้อยคน

I = 1.25

ระบบและชนิดโครงสร้างรับแรงในแนวราบ :

โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดและโครงอาคารระบบอื่นๆ

K = 1.00

ลักษณะชั้นดิน : ชั้นดินแข็ง

S = 1.2

CS = 0.092

หมายเหตุ : สำหรับชั้นดินแข็ง CS <= 0.14

ดังนั้น ZIKCS	=	0.022	
น้ำหนักอาคาร, W	=	3572	ตัน
ดังนั้น แรงเฉือนที่ฐานอาคาร, V	**=**	**78.181**	**ตัน**

ระบบเสา

- โดยทั่วไปแล้วอาคารที่มีความสูง 7 ชั้น สูงเฉลี่ยชั้นละ 3.20 ม. และต้องพิจารณาแรงด้านข้างมากระทำ คือ แรงลม และแรงจากแผ่นดินไหว รวมถึงการผิดพลาดจากการเยื้องศูนย์ที่หน้างานก็เป็นปัจจัยที่ทำให้เสาเกิดโมเมนต์ใน การคำนวณเสาจึงเผื่อค่าโมเมนต์ 5 % ของแรงแนวดิ่งของเสา และจัดให้มีรายละเอียดการเสริมเหล็กตามมาตรฐานดังนี้

ระบบพื้น

จะเป็นโครงสร้างระบบพื้นไร้คาน คอนกรีตอัดแรง ซึ่งตามมาตรฐาน มยผ. 1302 ได้กำหนดไว้หากองค์อาคารเป็นระบบแผ่นพื้นแบบไร้คานจะต้องเสริมเหล็กเพื่อป้องกันการพังทลายอย่างต่อเนื่อง (Progressive Collapse) ด้วย

- **การวิบัติอย่างต่อเนื่อง (Progressive Collapse)** : เพื่อป้องกันการวิบัติอย่างต่อเนื่องจุดรองรับในแต่ละทิศทางต้องมีเหล็กเสริมอย่างน้อย

$$A_{sm} = \frac{0.5 w_u L_1 L_2}{0.9 f_y}$$

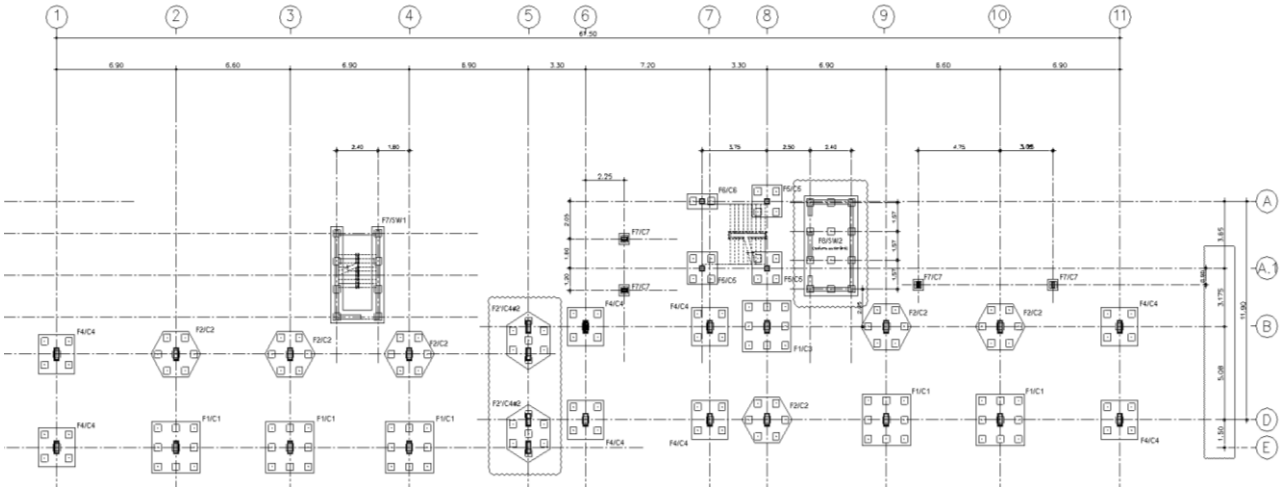
Pancake Collapse

1. เมื่อ w_u เป็นน้ำหนักบรรทุกปรับค่า แต่ทั้งนี้จะต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกใช้งาน
2. จุดรองรับที่ขอบหรือที่มุม เหล็กเสริมล่างที่จัดวางผ่านหรือฝังเข้าไปในแกนเสาจะต้องมากกว่า 1 ใน 2 ของปริมาณ ที่กำหนดไว้ข้างต้น
3. เหล็กเสริมดังกล่าวจะต้องวางผ่านเข้าไปในเสา ทั้งนี้สามารถนำเหล็กเสริมตามข้อ 5 (*การออกแบบเหล็กเสริมในแผ่นพื้นไร้คาน*) มาเป็นส่วนหนึ่งของ A_{sm} ได้

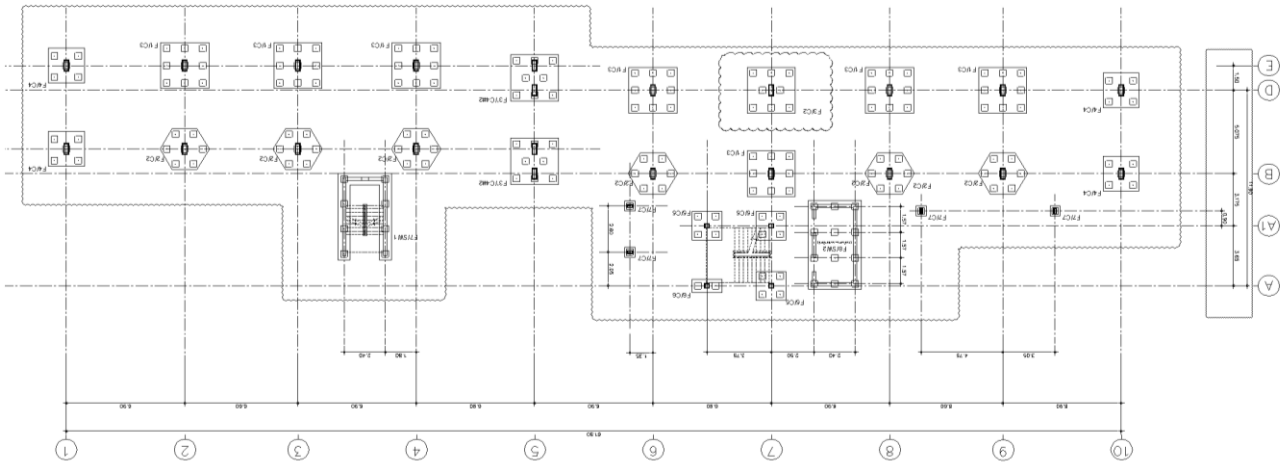
ระบบฐานราก

- ด้วยพื้นที่ที่ทำการก่อสร้างอยู่ในจังหวัด นครราชสีมา ซึ่งการก่อสร้างนี้มีการเจาะสำรวจดิน ในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบเสาเข็มให้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวด้วย โดยพิจารณาเลือกเป็นเข็มตอก ขนาดเส้นผ่าศูยน์กลาง 0.40 เมตร จำนวน 176 ต้น/อาคาร

อาคาร A



อาคาร B



การให้รายละเอียดเหล็กเสริม

ส่วนที่ 4 รายละเอียดการเสริมเหล็กโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.1 คานและเสา คานในมาตรฐานนี้หมายความถึง องค์อาคารของโครงต้านแรงดัดที่มีแรงตามแนวแกนปรับค่า (Factored Axial Load) ไม่มากกว่า $0.10 A_g f_c'$ และเสาในมาตรฐานนี้หมายถึงองค์อาคารของโครงต้านแรงดัดที่มีแรงตามแนวแกนปรับค่ามากกว่าค่าดังกล่าว

4.2 กำลังต้านแรงเฉือน กำลังต้านแรงเฉือนที่ใช้ออกแบบ คาน เสา และแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน สำหรับต้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวจะต้องไม่น้อยกว่าค่าแรงเฉือนในข้อ 4.2.1 หรือข้อ 4.2.2

4.2.1 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อแรงดัดที่ปลายขององค์อาคารทั้งสองถึงค่าโมเมนต์กำลังระบุรวมกับแรงเฉือนจากน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (ถ้ามี) (รูปที่ 3)

4.2.2 แรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากการรวมน้ำหนักบรรทุกออกแบบ (Design Load Combinations) ที่พิจารณาแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวเป็น 2 เท่าของแรงที่กำหนดในกฎหมายควบคุมอาคารว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

4.3 การเสริมเหล็กในคาน ข้อกำหนดการเสริมเหล็กในคานของโครงต้านแรงดัดมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 4)

4.3.1 กำลังต้านโมเมนต์บวกที่ขอบของข้อต่อจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของกำลังต้านโมเมนต์ลบที่ขอบของข้อต่อเดียวกัน นอกจากนี้กำลังต้านโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบที่หน้าตัดใดๆ ตลอดความยาวคานจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในห้าของกำลังต้านโมเมนต์สูงสุดที่ขอบของข้อต่อที่ปลายทั้งสองของคาน

4.3.2 ภายในบริเวณปลายคานที่ห่างจากขอบของจุดรองรับเป็นระยะ 2 เท่าของความลึกคานจะต้องเสริมเหล็กปลอกที่มีระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่มากกว่าค่าดังต่อไปนี้

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

และเหล็กปลอกแรกจะอยู่ห่างจากขอบของจุดรองรับเป็นระยะไม่มากกว่า 50 มิลลิเมตร

4.3.3 ระยะเรียงของเหล็กปลอกในบริเวณอื่นที่นอกเหนือจากข้อ 4.3.2 จะต้องไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิผล

4.3.4 ควรหลีกเลี่ยงการทาบเหล็กเสริมตามยาวทั้งบนและล่างภายในระยะ 2 เท่าของความลึกคาน เมื่อวัดจากขอบของจุดรองรับ

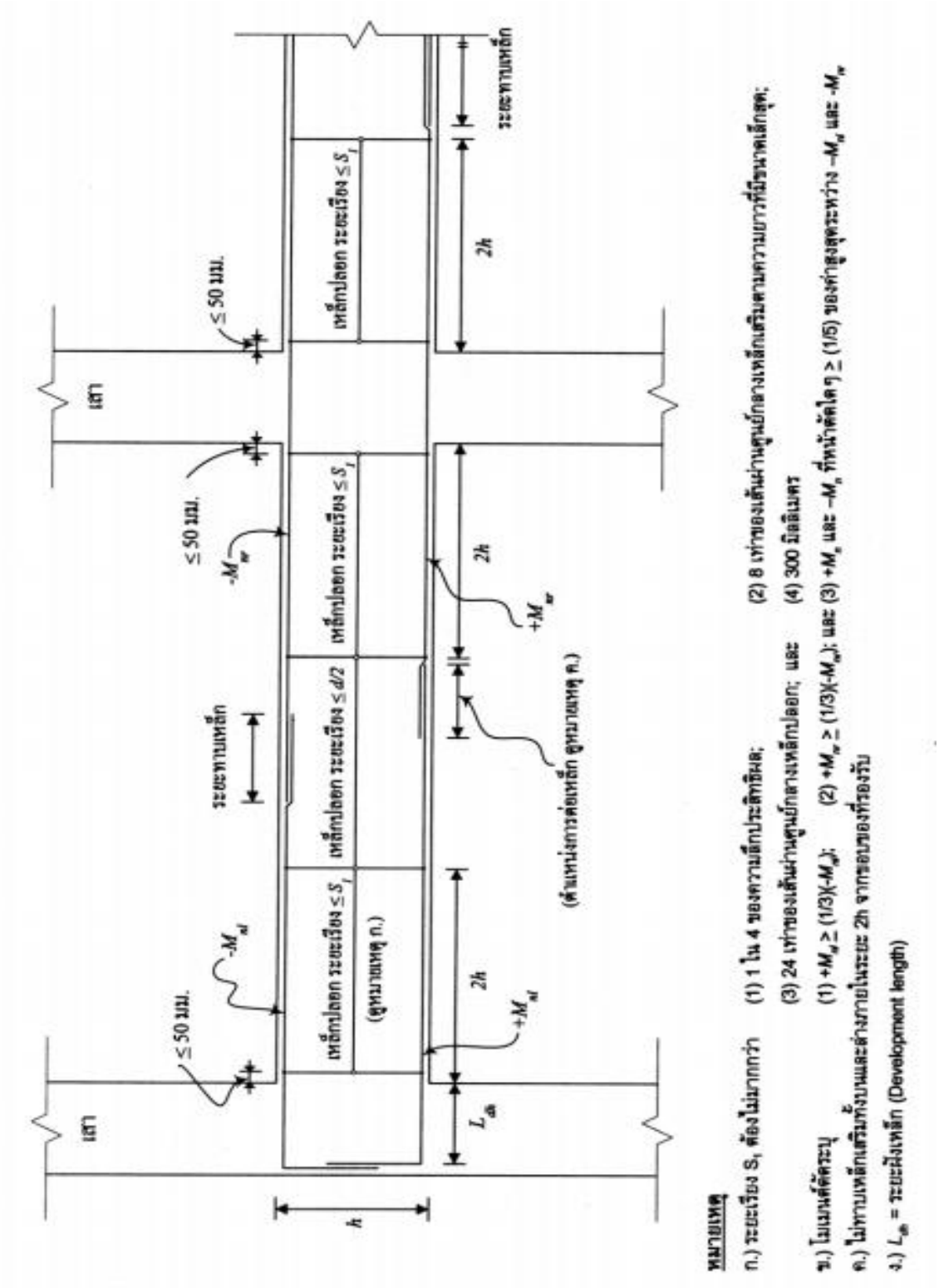
4.4 การเสริมเหล็กในเสา ข้อกำหนดการเสริมเหล็กในเสาของโครงต้านแรงดัดมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 5)

4.4.1 ในกรณีเหล็กปลอกเดี่ยว จะต้องเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวที่มีระยะไม่มากกว่าระยะ s_0 ตลอดความยาว l_0 ที่วัดจากขอบของข้อต่อเสา โดยที่ระยะ s_0 จะต้องไม่มากกว่าระยะดังต่อไปนี้

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

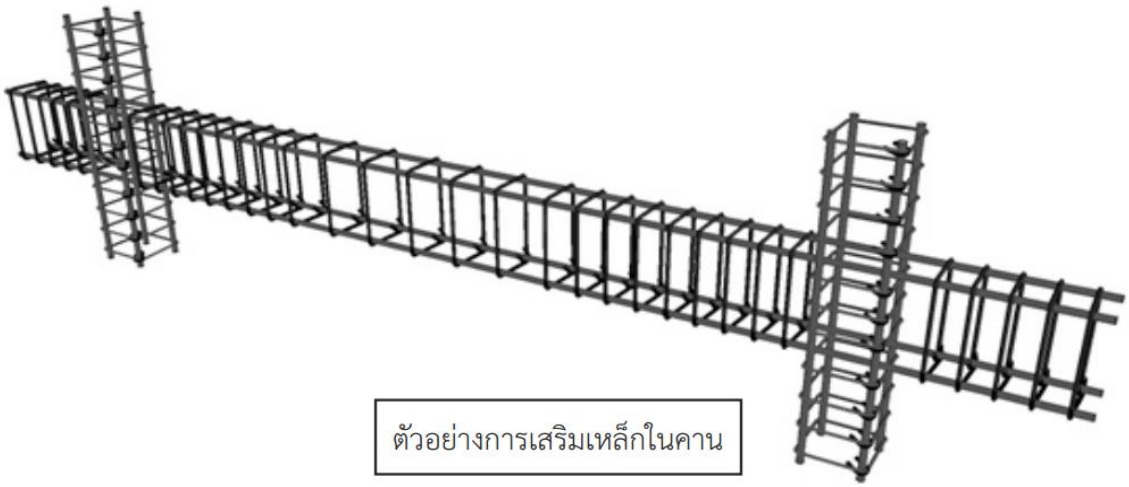
และเหล็กปลอกแรกจะต้องอยู่ห่างจากขอบของข้อต่อเป็นระยะไม่มากกว่า $0.5 s_0$

การให้รายละเอียดพิเศษบริเวณรอยต่อระหว่าง คานและเสาเพื่อให้โครงสร้างทั้งระบบอย่างน้อยให้มีความเหนียวเทียบเท่าความเหนียวจำกัด (Limited Ductility)

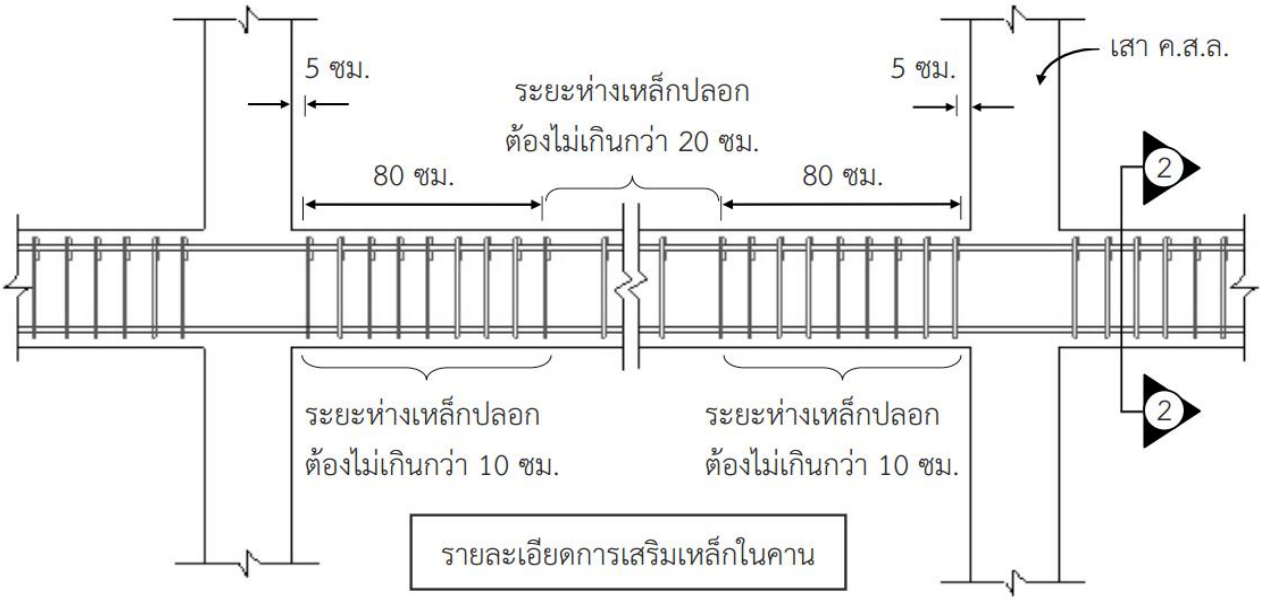


รูปที่ 4 การเสริมเหล็กในคานสำหรับโครงต้านทานการดัดเหนียวสูง

คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

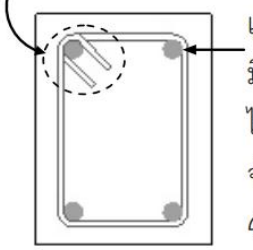


ตัวอย่างการเสริมเหล็กในคาน



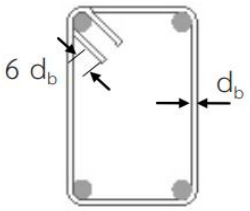
รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน

ของอเหล็กปลอก (ดูรายละเอียด ข)



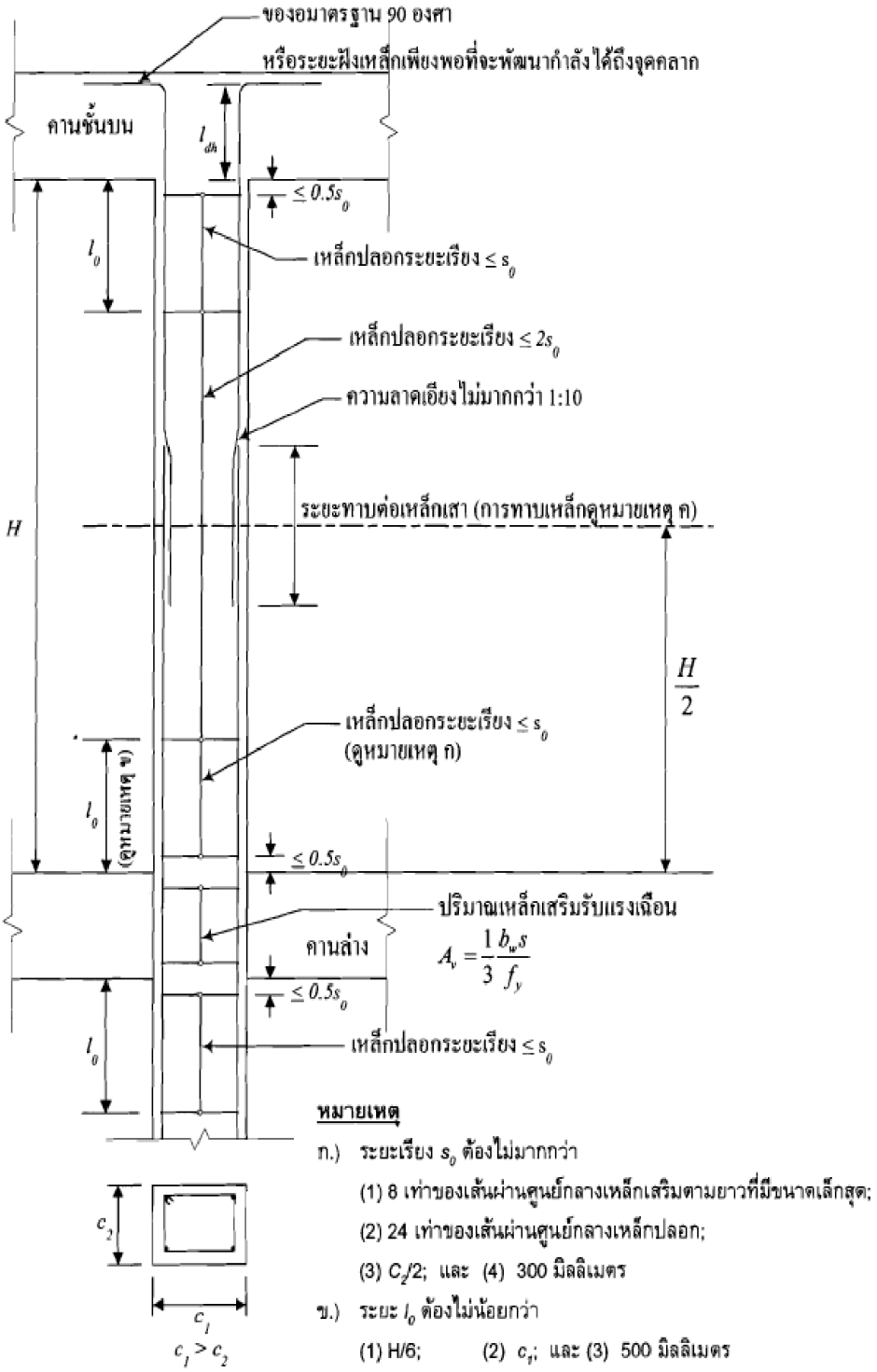
รูปตัด ②-②

เหล็กปลอกในคาน (รายละเอียด ข)



ของอของเหล็กปลอกคานให้มีส่วนปลายยื่นไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก แต่ทั้งนี้ต้อง ไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอกในคานไม่ควรน้อยกว่า 6 มม.

วิศวกรโครงสร้าง : **ผศ.ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี ส.ย.8303 นายชาย แสงไสว ส.ย.8611 นายวิโรจน์ ลิชนะเธียร ส.ย.10940**



หมายเหตุ

ก.) ระยะเรียง s_0 ต้องไม่มากกว่า
(1) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กสุด;
(2) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก;
(3) $C_2/2$; และ (4) 300 มิลลิเมตร

ข.) ระยะ l_0 ต้องไม่น้อยกว่า
(1) H/6; (2) c_1; และ (3) 500 มิลลิเมตร

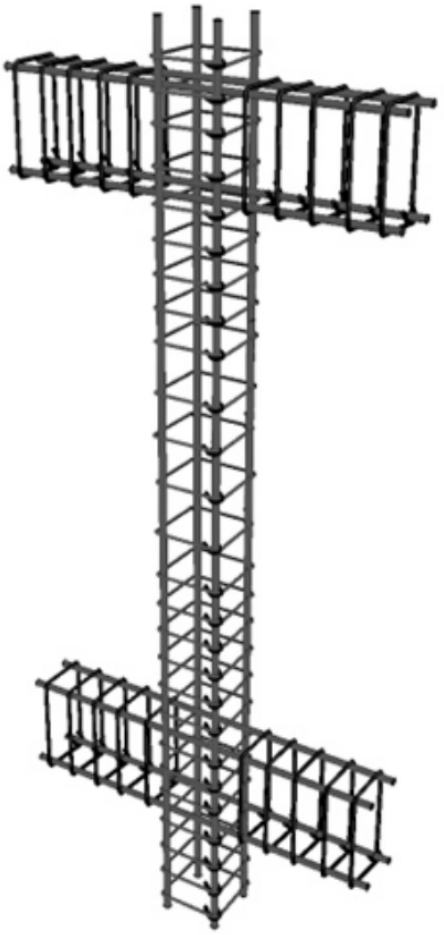
ค.) การต่อเหล็กเสา ให้ต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา

ง.) l_{dh} = ระยะฝังเหล็ก (Development length)

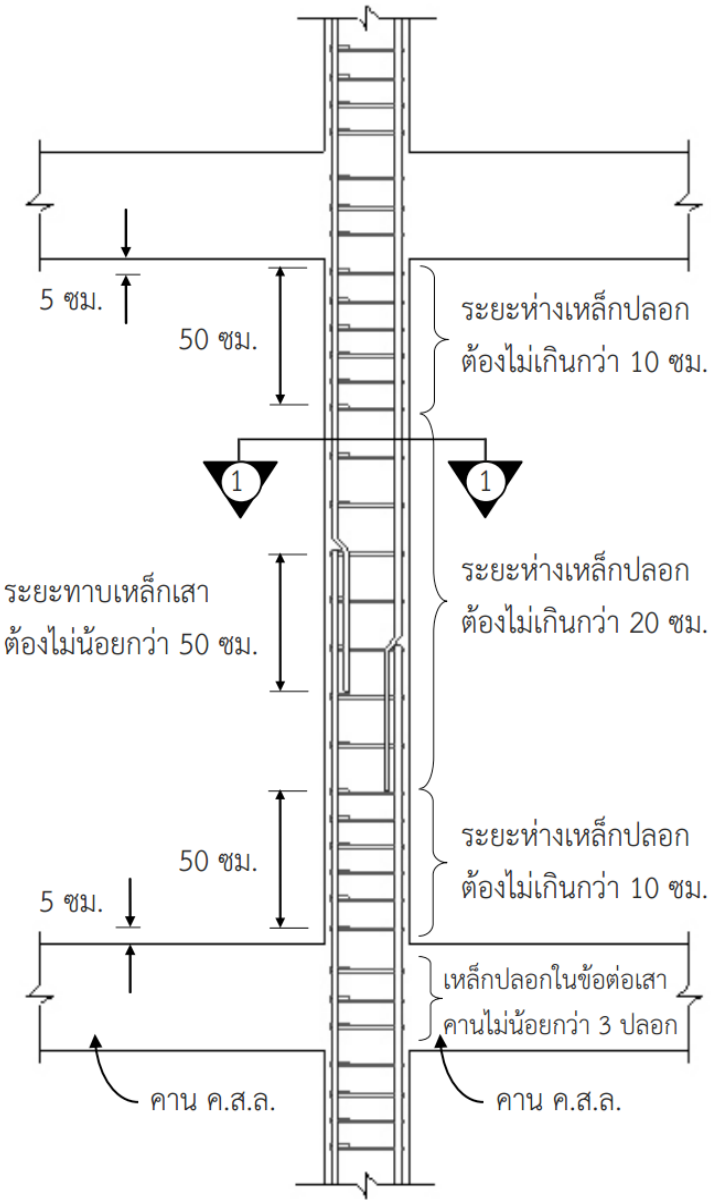
จ.) อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด A_s/A_g ของเสา ต้องไม่น้อยกว่า

รูปที่ 5 รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสาสำหรับโครงต้านทานการดัดเหนียวสูง

เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

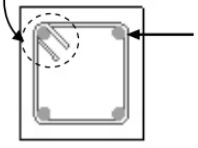


ตัวอย่างการเสริมเหล็กในเสา



รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสา

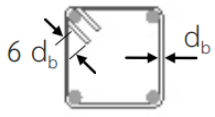
ของอเหล็กปลอก (ดูรายละเอียด ก)



เหล็กเสริมตามยาว
มีเส้นผ่านศูนย์กลาง
ไม่น้อยกว่า 12 มม.
จำนวนไม่น้อยกว่า
4 เส้น

รูปตัด ① - ①

เหล็กปลอกในเสา (รายละเอียด ก)



ของอของเหล็กปลอกเสาให้มีส่วนปลายยื่นไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก แต่ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอกในเสาไม่ควรน้อยกว่า 6 มม.

วิศวกรโครงสร้าง : **ผศ.ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี ส.ย.8303 นายชาย แสงไสว ส.ย.8611 นายวิโรจน์ ลิชนะเธียร ส.ย.10940**

4.4.2 สำหรับความยาว l_0 ในข้อ 4.4.1 จะต้องไม่น้อยกว่าความยาวดังนี้

(1) 1 ใน 6 ของความสูงจากขอบถึงขอบของเสา

(2) มิติที่มากที่สุดของหน้าตัดเสา

(3) 500 มิลลิเมตร

4.4.3 ในกรณีเหล็กปลอกเกลียว การเสริมเหล็กให้เป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับการเสริมเหล็กองค์อาคารรับแรงอัดในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

4.4.4 ยกเว้นข้อต่อระหว่างเสาและคานที่ไม่ได้เป็นส่วนหลักของระบบรับแรงแผ่นดินไหวและมีการยึดโคนเสาทั้ง 4 ด้านด้วยแผ่นพื้นหรือคานที่มีความลึกเท่ากันโดยประมาณ ข้อต่อต้องมีการเสริมเหล็กปลอกเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า

$$A_v = \frac{1}{3}\frac{b_w s}{f_y} \qquad (4.4.4)$$

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

โดยที่เหล็กเสริมนี้จะต้องเสริมภายในเสาเป็นความลึกไม่น้อยกว่าความลึกของคานที่ลึกที่สุดที่ข้อต่อนั้น

4.4.5 ระยะเรียงของเหล็กปลอกเดี่ยวในส่วนที่นอกเหนือจากข้อ 4.4.1 จะต้องไม่มากกว่า 2 เท่าของระยะ s_0

4.4.6 พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามยาวของเสาต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และไม่มากกว่า 0.06 ของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

4.4.7 การต่อเหล็กเสริมในเสาให้ต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา

4.5 การออกแบบข้อต่อระหว่างคานและเสา

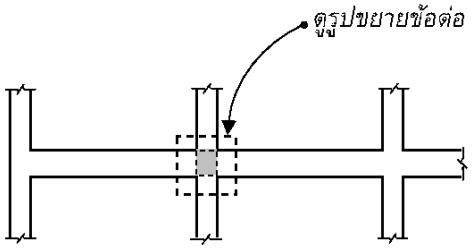
ข้อต่อระหว่างคานและเสาต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อมิให้แรงภายในข้อต่อมีค่าเกินกว่ากำลังของข้อต่อ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.5.1 แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ (V_j) จะต้องไม่มากกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนออกแบบ (ϕV_n) หรือ

$$V_j \le \phi V_n \qquad (4.5.1)$$

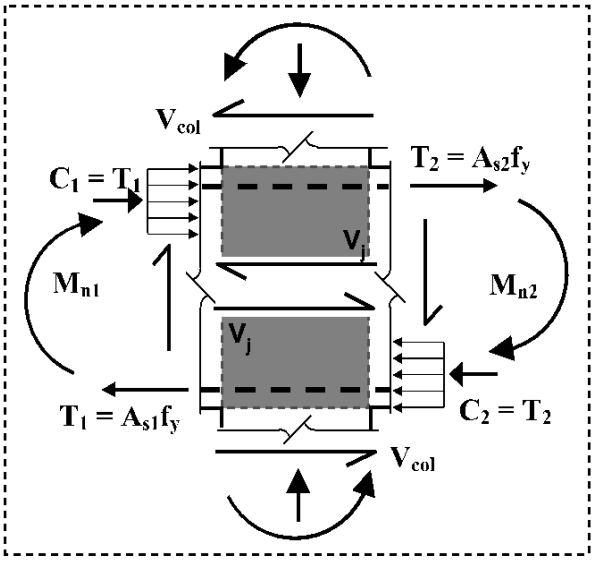
โดยที่ตัวคูณลดกำลังของข้อต่อ (ϕ) ให้ใช้เท่ากับ 0.85

4.5.2 แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อเป็นแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อหน้าตัดคานที่ปลายคานทั้งสองด้านของข้อต่อมีกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดระบุในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 6



(ก) โครงต้านแรงดัด

$$\begin{aligned} V_j &= C_1 + T_2 - V_{col} \\ &= T_1 + T_2 - V_{col} \\ &= (A_{s1}f_y + A_{s2}f_y) - V_{col} \end{aligned}$$



(ข) รูปขยายข้อต่อ

รูปที่ 6 การคำนวณแรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ

4.5.3 กำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n) ของข้อต่อมีค่าดังต่อไปนี้

(1) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคานทั้ง 4 ด้าน [(รูปที่ 7 (ก)]

$$V_n = 1.7\sqrt{f_c'}A_j \qquad (4.5.3\text{-ก})$$

($V_n = 5.4\sqrt{f_c'}A_j$ ในหน่วยเมตริก)

(2) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคาน 3 ด้าน หรือคาน 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน [(รูปที่ 7 (ข)]

$$V_n = 1.25\sqrt{f_c'}A_j \qquad (4.5.3\text{-ข})$$

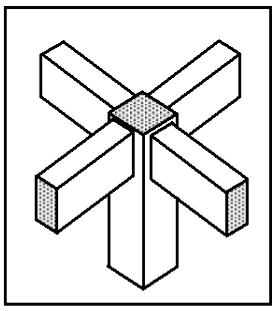
($V_n = 3.9\sqrt{f_c'}A_j$ ในหน่วยเมตริก)

(3) ข้อต่ออื่นๆ [(รูปที่ 7 (ค)]

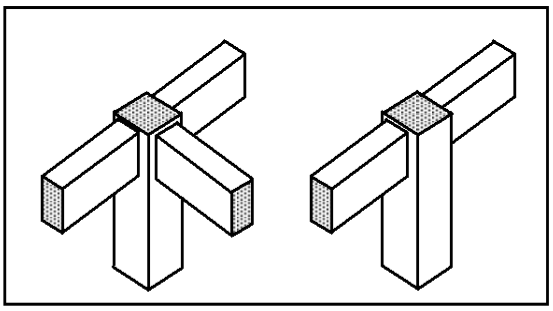
$$V_n = 1.0\sqrt{f_c'}A_j \qquad (4.5.3\text{-ค})$$

($V_n = 3.2\sqrt{f_c'}A_j$ ในหน่วยเมตริก)

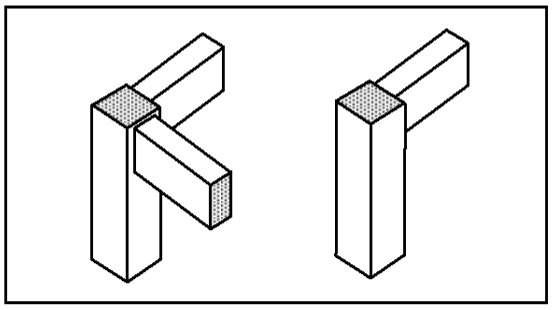
โดยที่ A_j เป็นพื้นที่ด้านแรงเฉือนในแนวนอนประสิทธิผลของข้อต่อ ดังแสดงในรูปที่ 8 และจะถือว่าข้อต่อได้รับการยึ
รัดจากคานก็ต่อเมื่อคานที่เข้ามายึดรัดนั้นมีความกว้างไม่น้อยกว่าสามในสี่ของความกว้างเสาด้านที่คานเข้ามาบรรจบ
และมีความลึกไม่น้อยกว่าสามในสี่ของความลึกคานตัวที่ลึกที่สุดที่เข้ามาบรรจบกันที่ข้อต่อ



(ก) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคานทั้ง 4 ด้าน

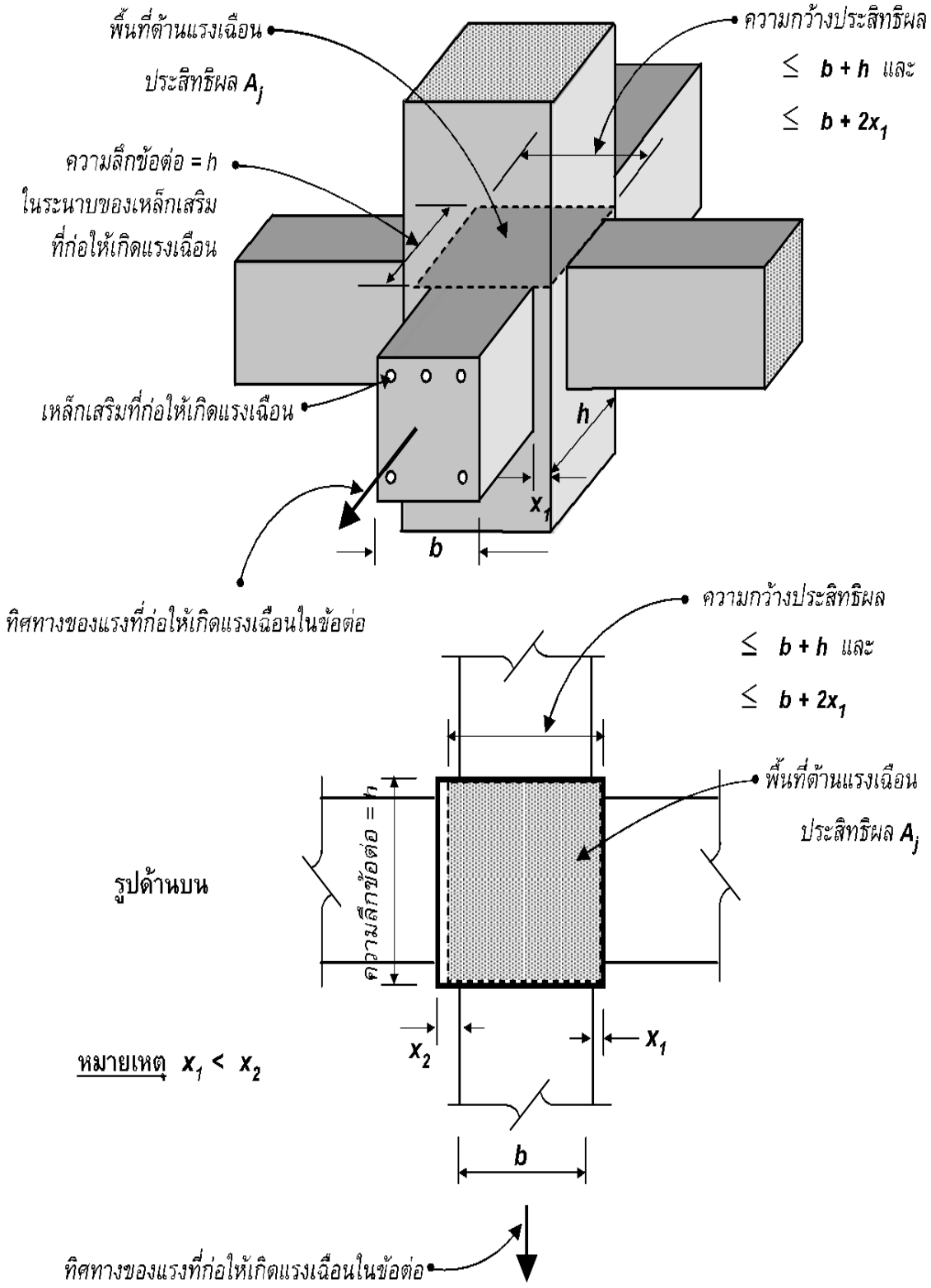


(ข) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคาน 3 ด้าน หรือคาน 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน



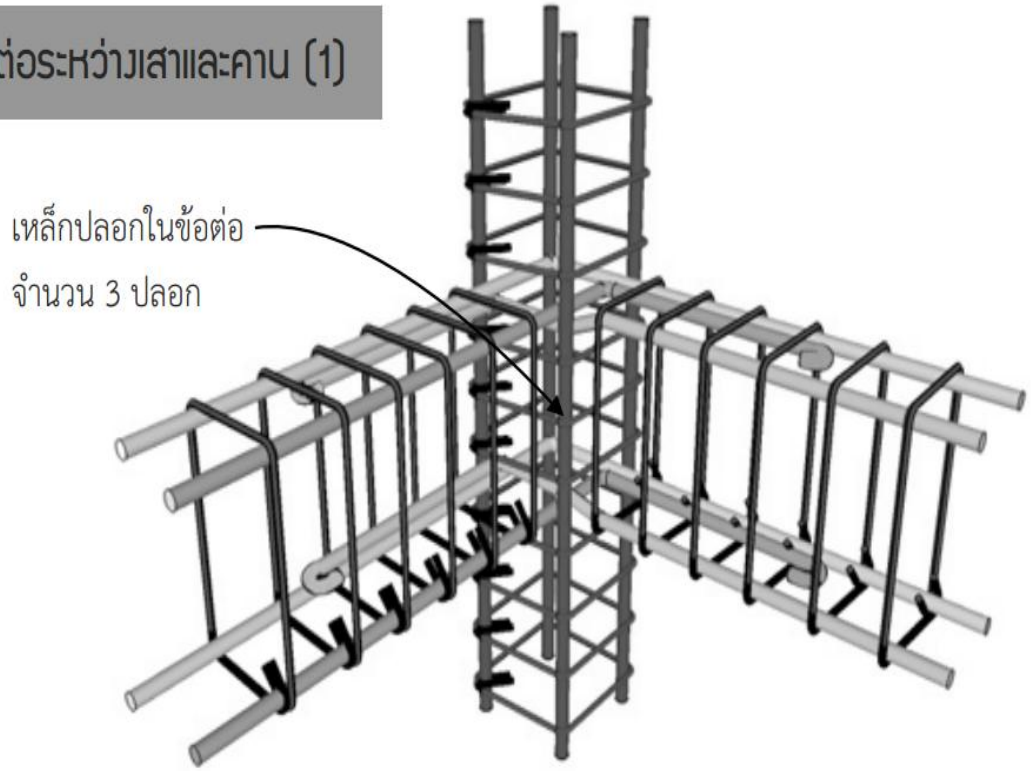
(ค) ข้อต่ออื่นๆ

รูปที่ 7 ประเภทข้อต่อต่าง ๆ สำหรับการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n)

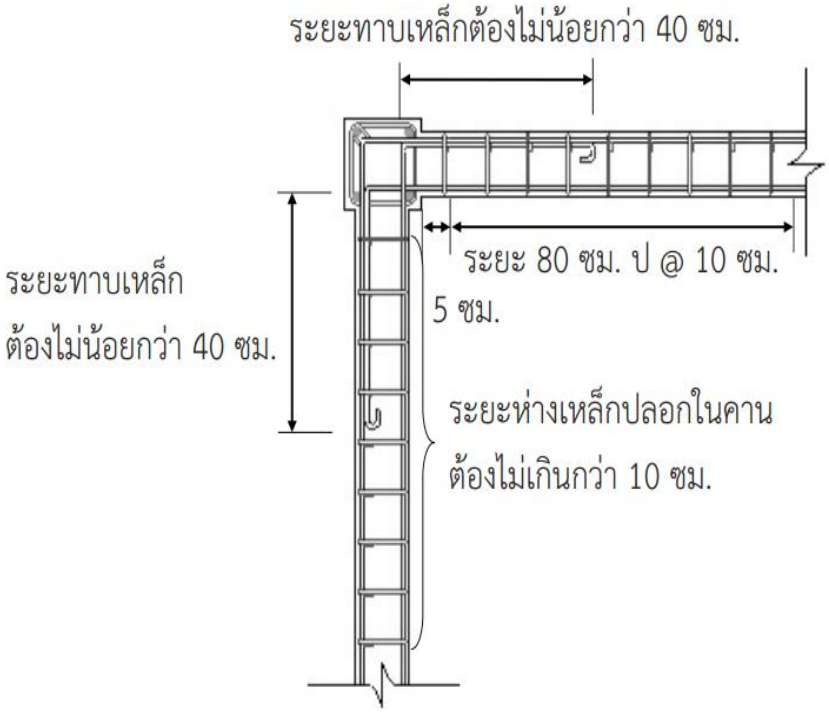


รูปที่ 8 พื้นที่ด้านแรงเฉือนประสิทธิผลของข้อต่อระหว่างคานและเสา

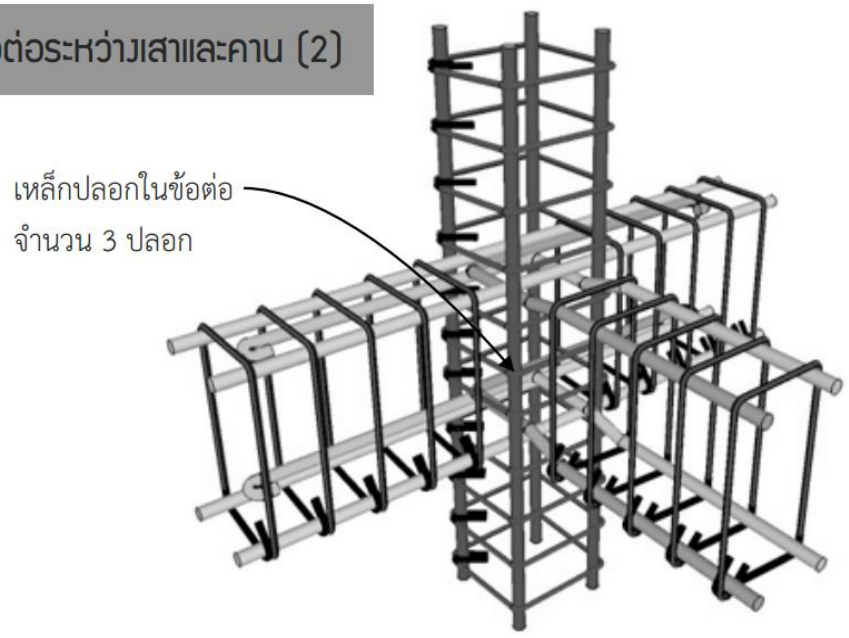
ข้อต่อระหว่างเสาและคาน (1)



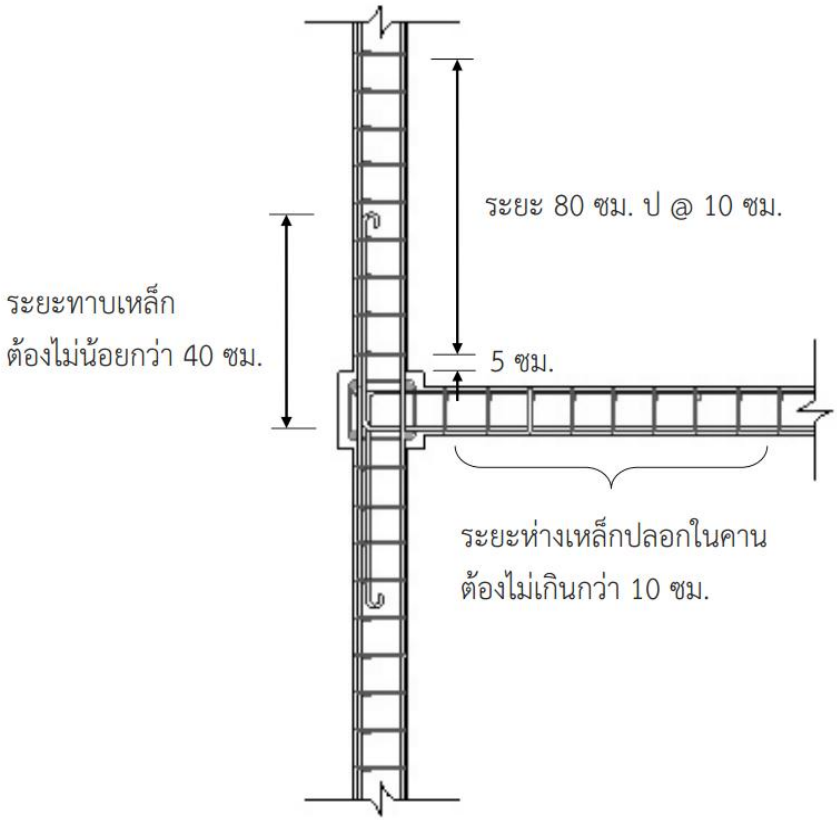
ตัวอย่างการเสริมเหล็กข้อต่อระหว่างเสาและคาน



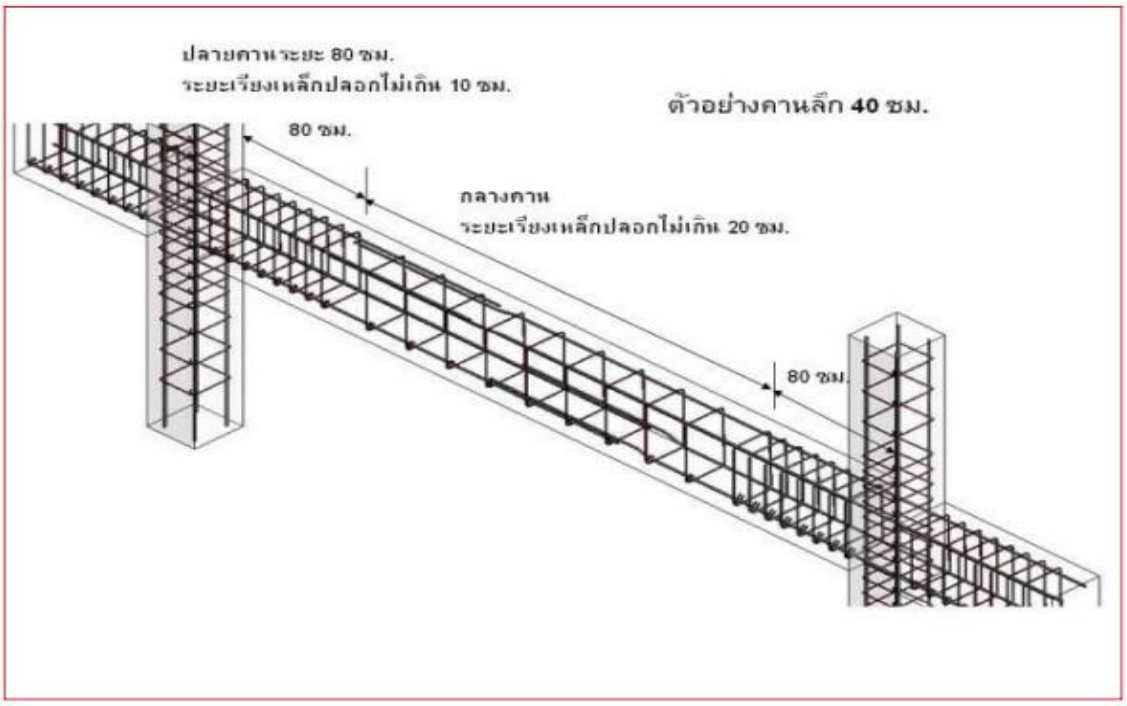
ข้อต่อระหว่างเสาและคาน (2)



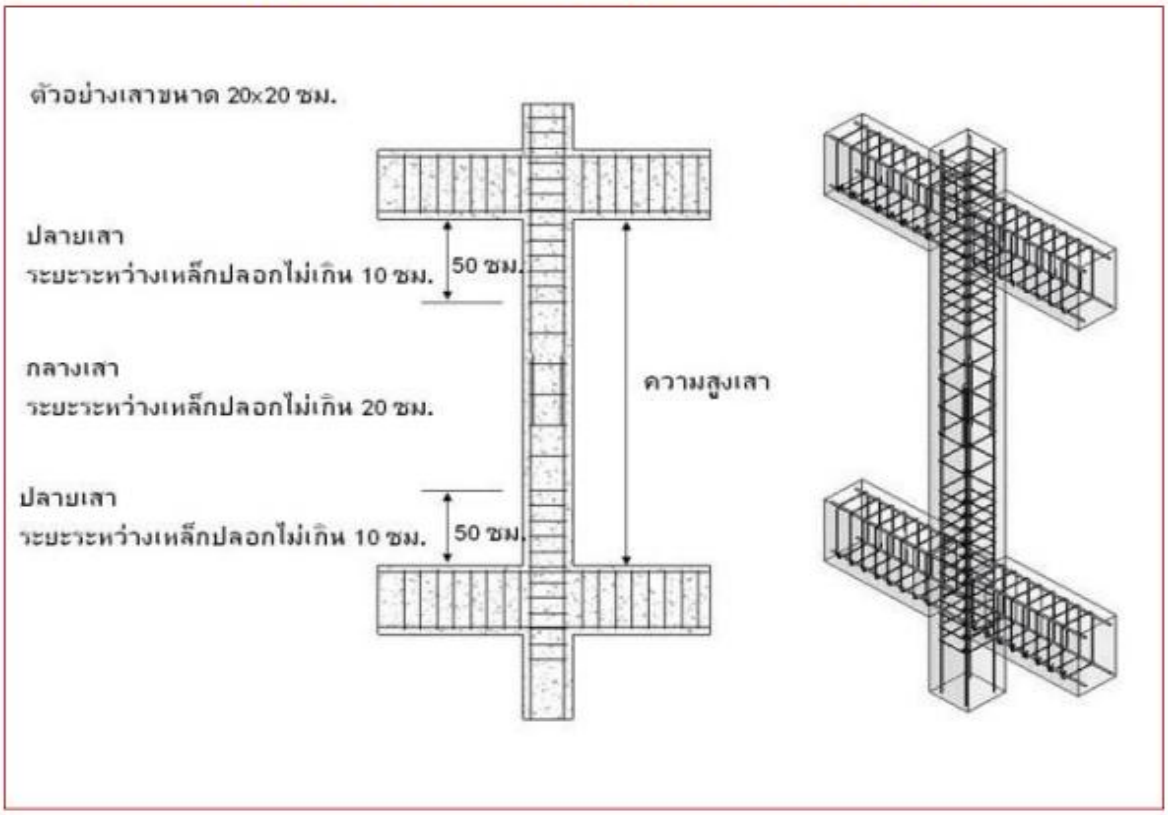
ตัวอย่างการเสริมเหล็กข้อต่อระหว่างเสาและคาน



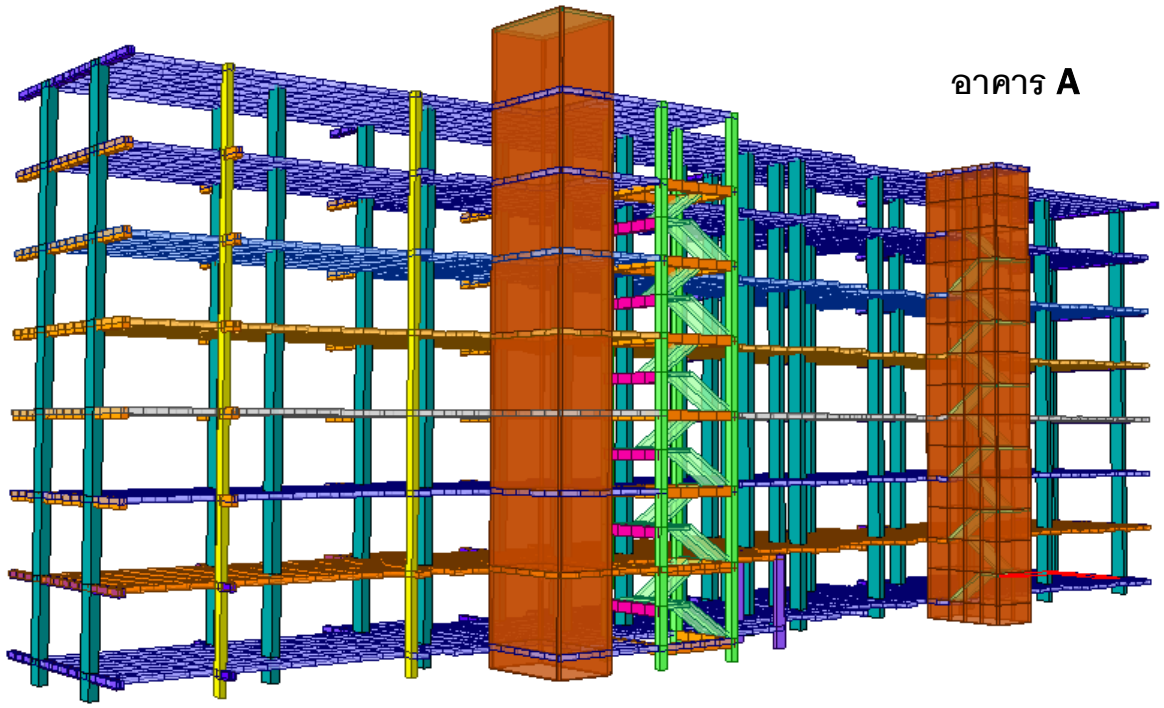
แสดงแบบขยายเหล็กเสริมโครงสร้าง



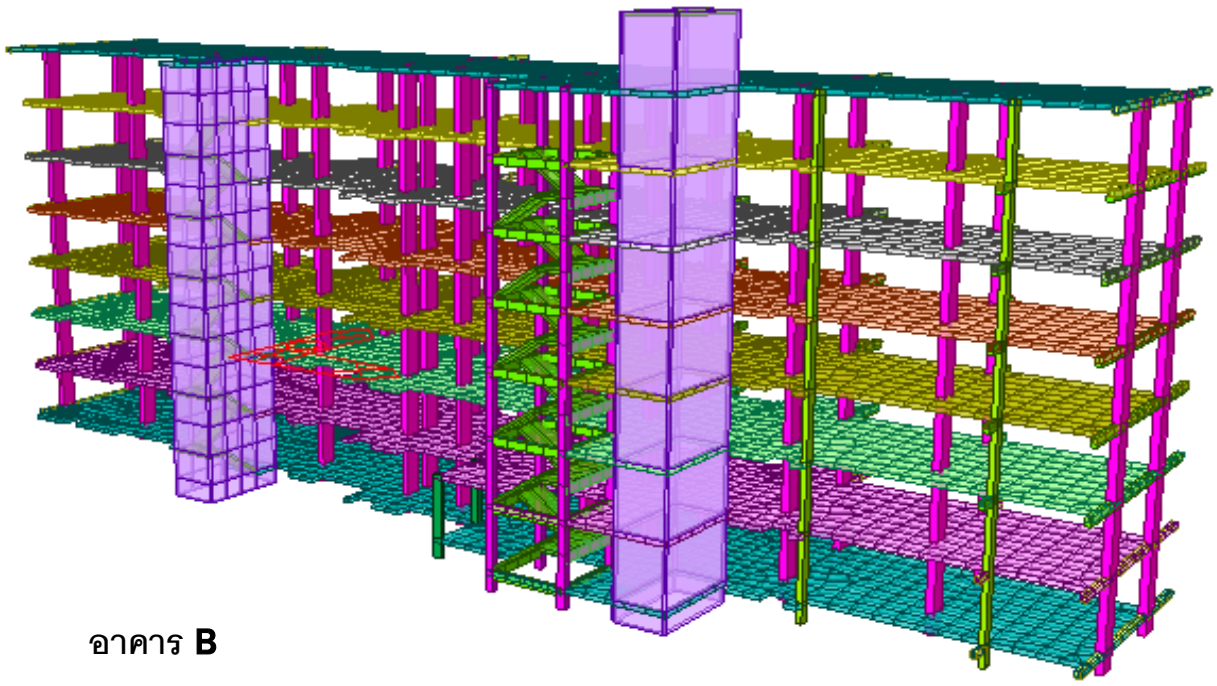
แสดงแบบขยายเหล็กเสริมโครงสร้าง



การจำลองโครงสร้างองค์อาคารด้วยโปรแกรม Finite Element เพื่อตรวจสอบโครงสร้าง

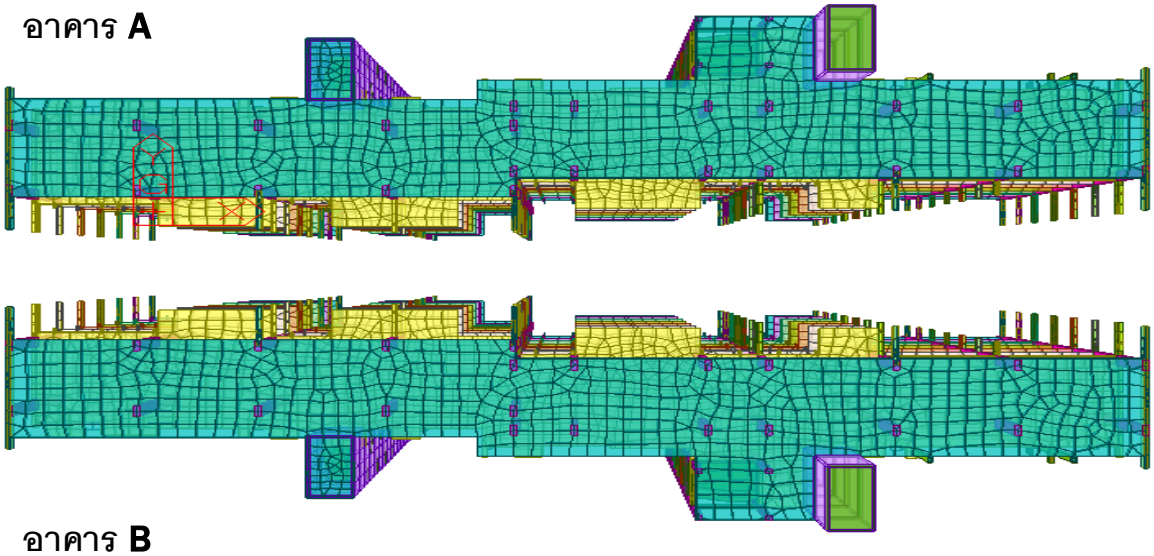


อาคาร **A**



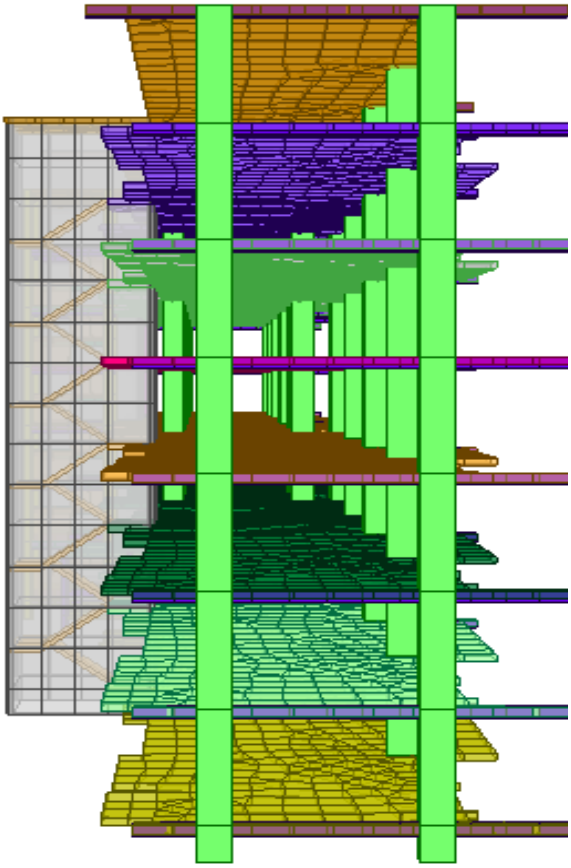
อาคาร **B**

อาคาร **A**

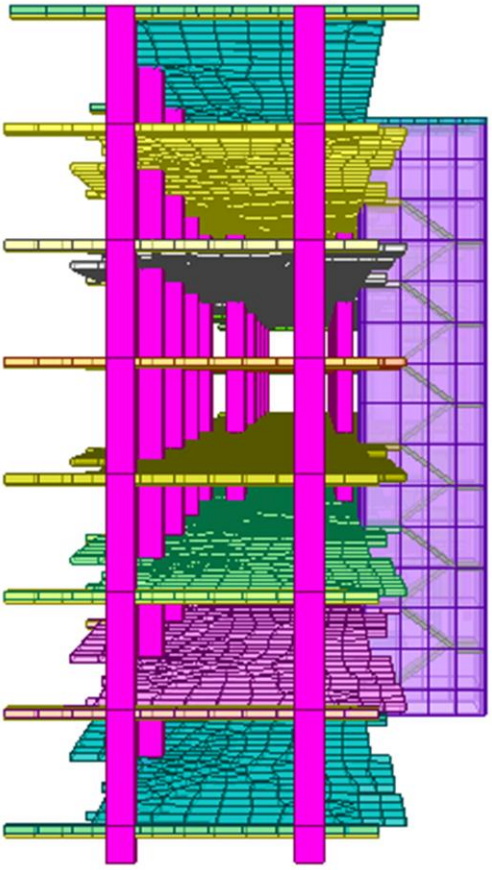


อาคาร **B**

อาคาร **A**

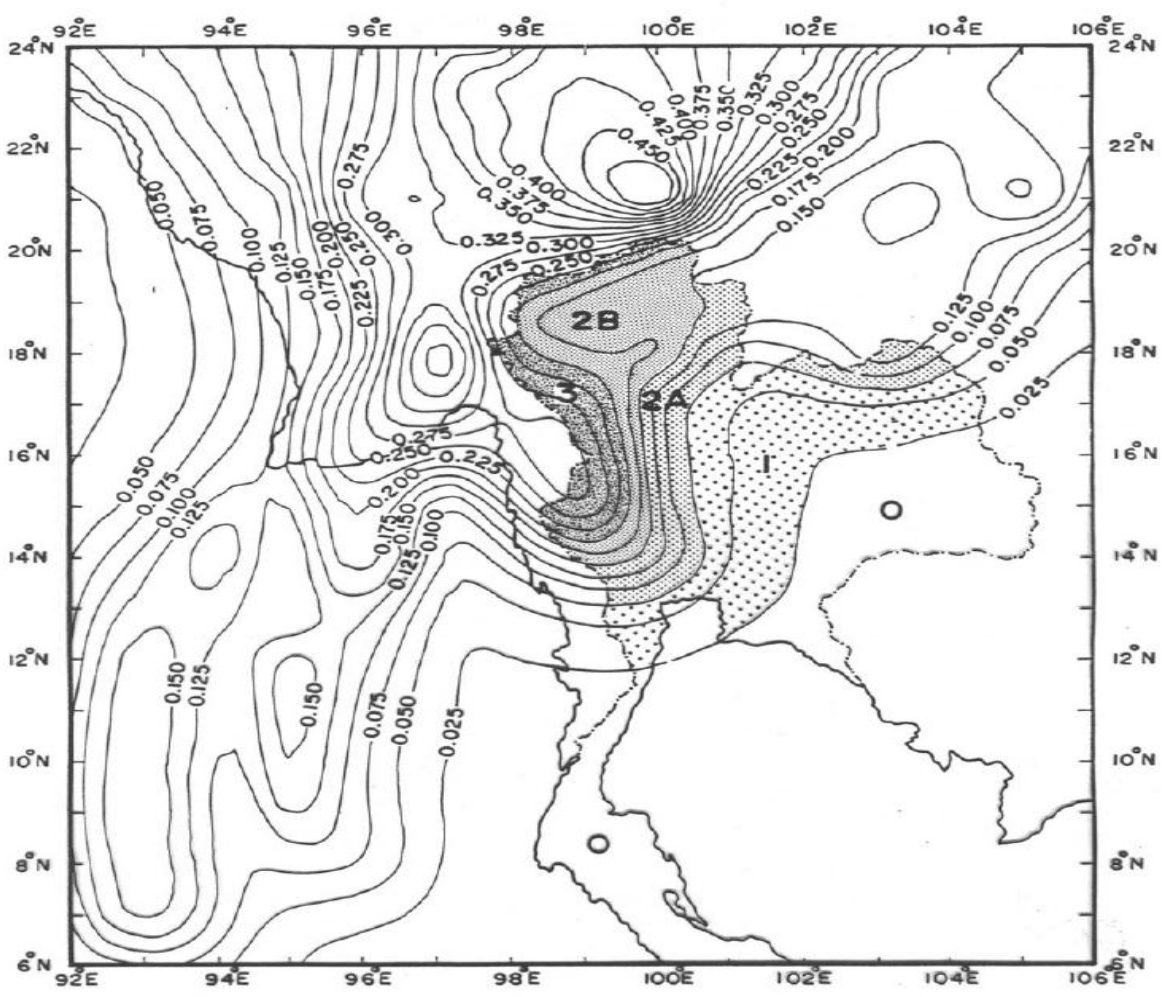


อาคาร **B**



การแบ่งประเภทความรุนแรงของแรงสั่นสะเทือน

การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว ใช้มาตรฐานการออกแบบอาคาร ต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ตามมาตรฐาน มยผ.1302 โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า ซึ่งเลือกใช้มาตรฐาน ASCE 7 – 05 เป็นแม่แบบ



แผนที่แสดงระดับความรุนแรงสูงสุดของแผ่นดินไหวเพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้าง

ตาราง แสดงความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ที่คาบสั้น (Ss) และที่คาบ 1 วินาที (S1) ของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา ได้มาจากการสมมุติให้สภาพชั้นดินในทุกๆ พื้นที่เป็นแบบดินแข็งหรือหิน ที่มีความเร็วคลื่นเฉือน Vs โดยเฉลี่ยในช่วงจากผิวดินถึงความลึก 30 เมตร เท่ากับ 760 เมตรต่อวินาที

เมื่อทำการตรวจสอบพบว่า อาคารที่ทำการก่อสร้างอยู่ในเขต 0 ไม่จำเป็นต้องออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว : PGA / g <= 0.025 และคาบเกี่ยวกับพื้นที่เขต 1 ไม่รุนแรง : 0.025 < PGA / g <= 0.075 : Z = 0.075

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่ง (g)	
		S_S	S_1
นครราชสีมา	เฉลิมพระเกียรติ	0.040	0.029
	ชุมพวง	0.039	0.027
	โชคชัย	0.040	0.029
	ด่านขุนทด	0.045	0.033
	โนนแดง	0.041	0.028
	โนนไทย	0.043	0.031
	โนนสูง	0.041	0.029
	บัวใหญ่	0.043	0.029
	บ้านเหลื่อม	0.045	0.031
	ประทาย	0.041	0.028
	ปักธงชัย	0.042	0.032
	ปากช่อง	0.047	0.036
	พิมาย	0.040	0.028
	เมืองนครราชสีมา	0.041	0.030
	วังน้ำเขียว	0.043	0.032
	สีคิ้ว	0.043	0.033
	สูงเนิน	0.043	0.032
	เสิงสาง	0.038	0.027
	หนองบุนนาก	0.039	0.028
	ห้วยแถลง	0.039	0.027

อาคารที่ทำการก่อสร้างตั้งอยู่ที่ ตำบล หมูสี อำเภอ ปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้น (Ss) และที่คาบ 1 วินาที (S1) ของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา

ความเร่ง (g) ; Ss = 0.047g , S1 = 0.036g

พิจารณาปรับแก้ตามสภาพชั้นดินประเภท C (ดินแข็ง)

สำหรับพื้นที่ SDS SD1 มีค่าเท่ากับความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม สำหรับการออกแบบ Sa ที่คาบการสั่น 0.2 และ 1 วินาที ตามลำดับ

ตารางที่ 1.4-2 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดินที่ ณ ที่ตั้งอาคาร F_a

ประเภทของชั้นดิน	ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาที่คาบ 0.2 วินาที (g)				
	$S_s \le 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \ge 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของดินเป็นกรณีๆไป				

ตารางที่ 1.4-3 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร F_v

ประเภทของชั้นดิน	ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาที่คาบ 1.0 วินาที (g)				
	$S_1 \le 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \ge 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของดินเป็นกรณีๆไป				

พิจารณาพื้นที่ อ.ปากช่อง SDS = 2/3 (Fa x Ss) = 2/3 (1.2 x 0.047)

SD1 = 2/3 (Fv x S1) = 2/3 (1.7 x 0.036)

จะได้ SDS = 0.039g , SD1 = 0.041g และ SD1 > SDS

เมื่อ Ss = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม จากแผนที่ความเสี่ยงภัยที่คาบการสั่น 0.2 วินาที หน่วยเป็น g

เมื่อ Sa = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม จากแผนที่ความเสี่ยงภัยที่คาบการสั่น 1 วินาที หน่วยเป็น g

เมื่อ SDs = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม สำหรับออกแบบที่คาบการสั่น 0.2 วินาที หน่วยเป็น g

เมื่อ SD1 = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม สำหรับออกแบบที่คาบการสั่น 1 วินาที หน่วยเป็น g

ใช้สมการคาบการสั่นพื้นฐานสำหรับอาคาร คสล. **T = 0.02 H = 0.02 x 23m = 0.46 sec**

Ts = 1 sec : (T = 0.46 < 0.8 Ts) พิจารณาตามตารางที่ 1. เท่านั้น

ดังนั้นจะได้ว่า Sa อ่านค่าจากกราฟรูปที่ 1.4-2 = 0.0397g

การแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว มยผ 1302

ตรวจสอบว่าอาคารเข้าข่ายแรงแผ่นดินไหวประเภทใด ซึ่งต้องทำการออกแบบตามประเภทแรงนั้นอาทิ ก (น้อยไม่ต้องพิจารณา) ข (ปกติ ควรเลือกโครงสร้างแบบ Ordinary RC.) ค (ปานกลาง ควรเลือกโครงสร้างแบบ Intermediate RC) (รุนแรง ควรเลือกโครงสร้างแบบ Special RC.)

ตารางที่ 1 การแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า SDS

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

SDS < 0.167 = 0.039 < 0.167 **จัดเป็นประเภท ก (ไม่ต้องออกแบบ)**

ตารางที่ 2 การแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า SD1

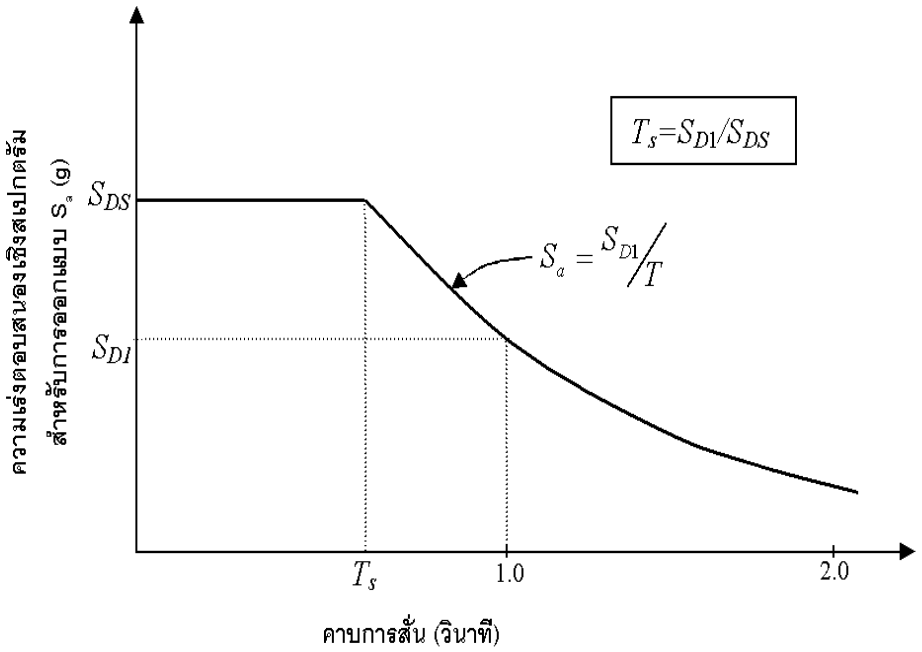
ค่า S_{D1}	ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว		
	ประเภทความสำคัญ I หรือ II	ประเภทความสำคัญ III	ประเภทความสำคัญ IV
$S_{D1} < 0.067$	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	ข	ข	ค
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	ค	ค	ง
$0.20 \leq S_{D1}$	ง	ง	ง

SD1 < 0.067 = 0.041 < 0.067 **จัดเป็นประเภท ก (ไม่ต้องออกแบบ)**

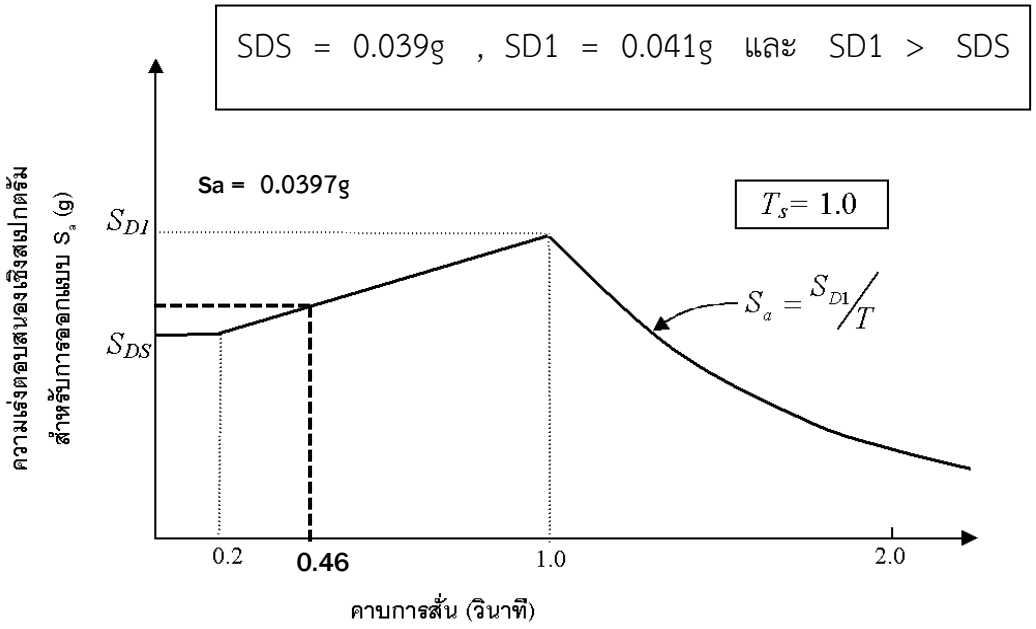
พื้นที่ทั่วประเทศไทยยกเว้นแอ่งกรุงเทพ

ก) ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ สำหรับวิธีแรงสถิตเทียบเท่าตามบทที่ 3 ให้ใช้ตามรูปที่ 1.4-1 สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} \le S_{DS}$ และให้ใช้ตามรูปที่ **1.4**-2 สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$ โดยที่ S_{DS} และ S_{D1} คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบตามหัวข้อ 1.4.4

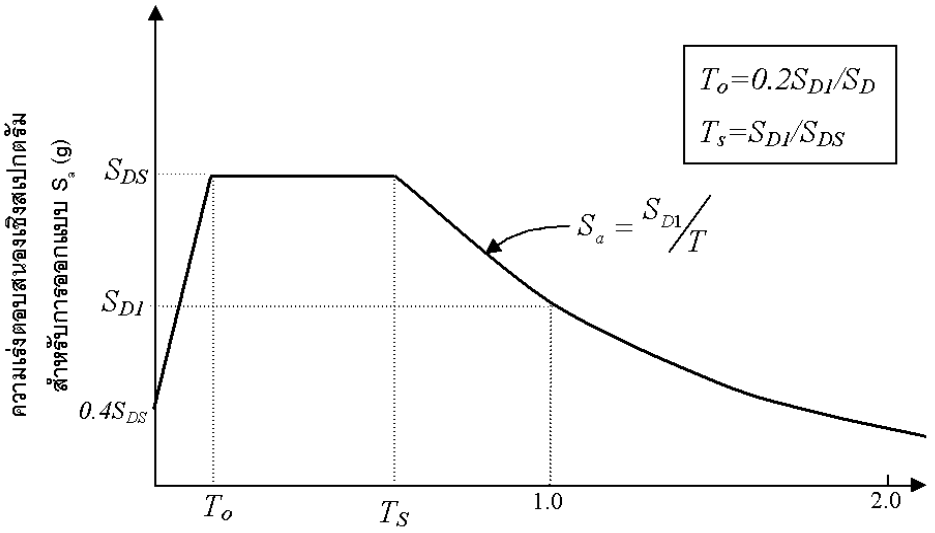
ข) ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ตามบทที่ 4 ให้ใช้ตามรูปที่ **1.4-3** สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} \le S_{DS}$ และให้ใช้ตามรูปที่ **1**.4-4 สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$ โดยที่ S_{DS} และ S_{D1} คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบตามหัวข้อ **1**.4.4



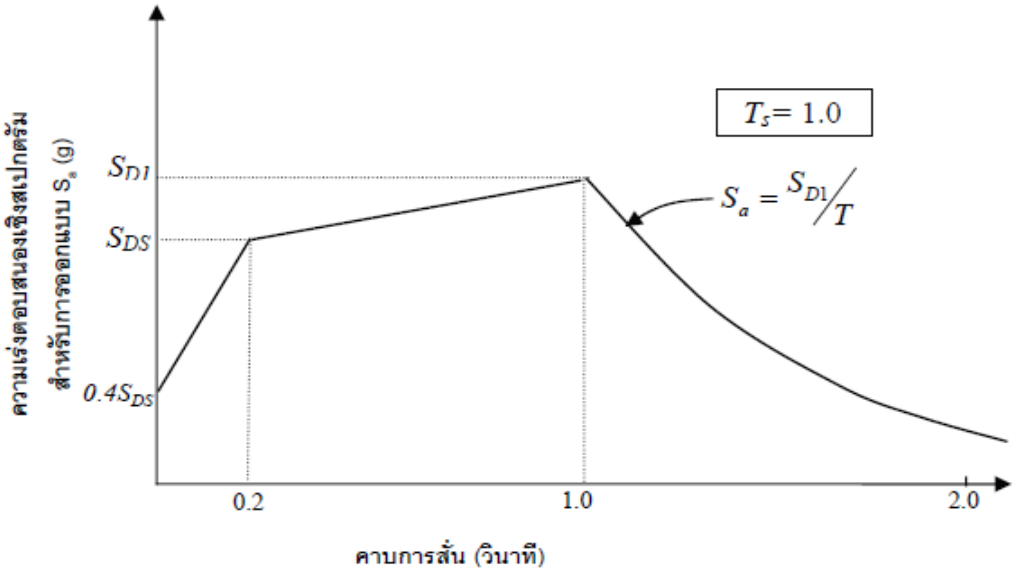
รูปที่ 1.4-1 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศไทย (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} \le S_{DS}$



รูปที่ 1.4-2 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าสำหรับ สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศไทย (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$



รูปที่ 1.4-3 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศไทย (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} \le S_{DS}$



รูปที่ 1.4-4 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศไทย (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$

ในกรณีที่ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวที่กำหนดตามเกณฑ์ ตารางที่ 1 แตกต่างจากตารางที่ 2 ให้ใช้ค่าที่รุนแรงกว่าเป็นเกณฑ์พิจารณา และกรณีที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T)

ในทั้งสองทิศทางที่ตั้งฉากกันที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า 0.8 Ts = 0.8 x 1.0 = 0.80 วินาที : (T = 0.460 < 0.8 Ts) มีค่าเป็นไปตามที่กำหนด อนุญาตให้กำหนดประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยใช้ ตารางที่ 1 เท่านั้น

ดังนั้นโครงสร้างอาคารนี้จัดเป็นประเภท ก (ไม่ต้องออกแบบ)

ประเภทความสำคัญอาคาร มาก ค่าตัวประกอบความสำคัญ

(กรณีอาคารที่พักอาศัยรวม หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ และสาธารณชน จัดอยู่ประเภทความสำคัญ (III) “มาก” = 1.25)

อาคารและโครงสร้างอื่นๆ ที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น - อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่งๆมากกว่า 300 คน - โรงเรียนประถมหรือมัธยมที่มีความจุมากกว่า 250 คน - มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัยที่มีความจุมากกว่า 500 คน - สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุมากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถรักษากรณีฉุกเฉิน - เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ	III (มาก)	1.25

เลือกใช้โครงสร้างแบบ Ordinary Moment Resisting Frame (OMRF) โดยที่กำแพงรับแรงเฉือนไม่ต้องออกแบบให้มีความเหนียว / ไม่มีรายละเอียดการเสริมเหล็กพิเศษ (Ordinary Design Shearwall)

โดยมี ค่า R (Response Modification Factors หรือตัวประกอบปรับผลตอบสนอง) 3

ค่า Ω 0 (System Overstrength Factor หรือตัวประกอบกำลังส่วนเกิน) 3

ค่า Cd (Deflection Amplification Factor หรือตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว) 2.5

ค่า I (ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร) III (มาก) = 1.25

Scale Factor = I / R = 1.25 / 3 = 0.417

ซึ่งในกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ร.บ. 2522) ได้กำหนดไว้ว่าในการออกแบบให้ใช้ค่าหน่วยแรงที่มากกว่าระหว่างแรงจากแผ่นดินไหว และแรงลม รวมถึงรายละเอียดปลีกย่อยชิ้นส่วนโครงสร้าง รวมทั้งบริเวณรอยต่อระหว่างปลายชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ ต้องมีความเหนียวเทียบเท่าความเหนียวจำกัด (Limited Ductility)

การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐาน มยผ.1302 อาคาร **A c**และ อาคาร **B**
วิธีแรงสถิตเทียบเท่า

หาแรงเฉือนที่ฐานอาคาร , V

ประเภทโครงสร้าง : อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

ความสูงของอาคาร, H = 22.7 เมตร

คาบการสั่น, T = 0.02H

= 0.454 วินาที

ที่ตั้งของอาคาร : จังหวัด นครราชสีมา

อำเภอ ปากช่อง

Ss = 0.047 S1 = 0.036

ประเภทชั้นดิน : C

Fa = 1.27 Fv = 1.76

Sds = 2FaSs/3 Sd1 = 2FvS1/3

= 0.040 = 0.042

เพราะว่า Sd1 > Sds

ดังนั้น Ts = 1

ดังนั้น Sa = 0.041 (ไม่ใช่แอ่งกรุงเทพ)

ประเภทของอาคาร : สถานศึกษา

ประเภทความสำคัญ : III (มาก)

ดังนั้น I = 1.25

0.8Ts = 0.800

T = 0.454 < 0.8Ts

หาประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว โดยพิจารณาจากค่า Sds เท่านั้น

ดังนั้น ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว = ก (ไม่ต้องออกแบบ)

ระบบโครงสร้าง : ระบบต้านแรงดัด

ระบบต้านแรงด้านข้าง : โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา

หมายเหตุ : ใช้ได้

ดังนั้น R = 3

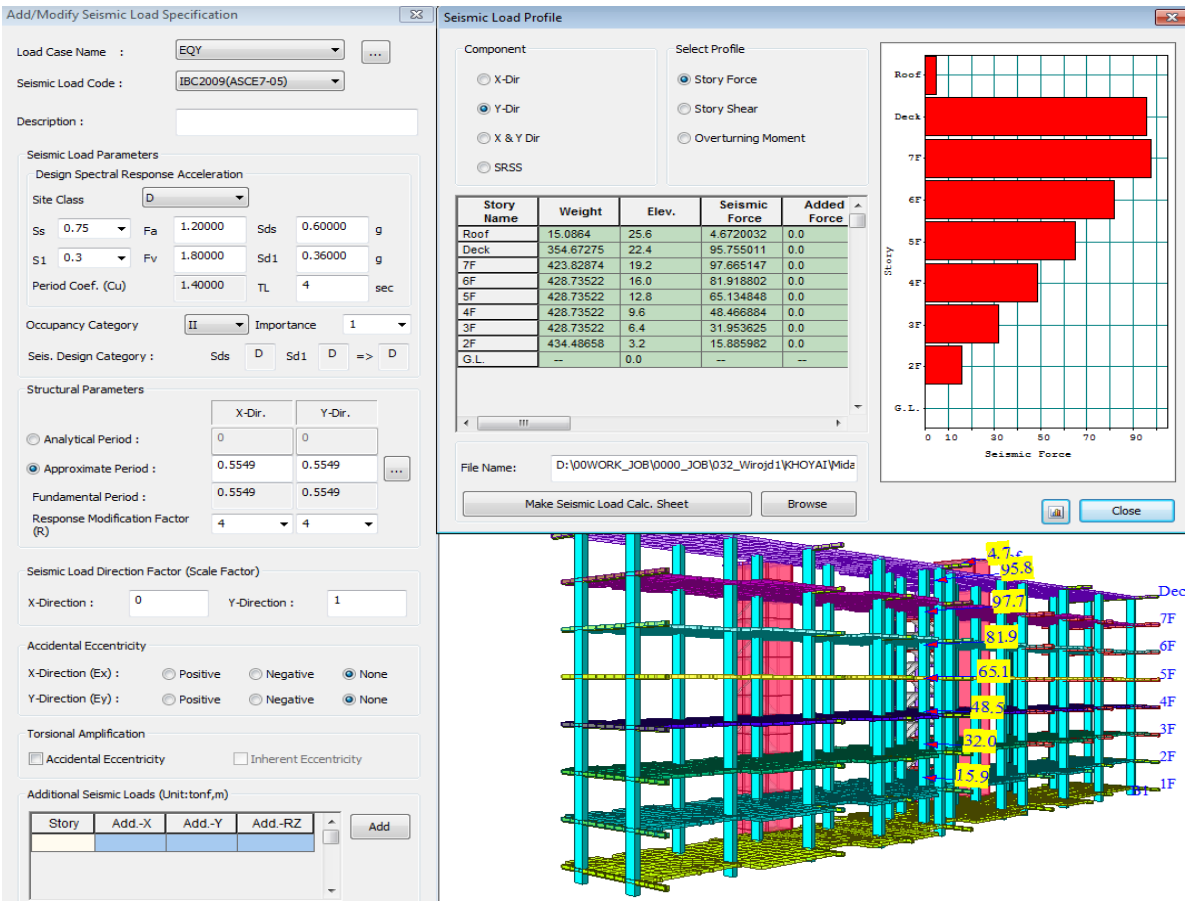
สรุป

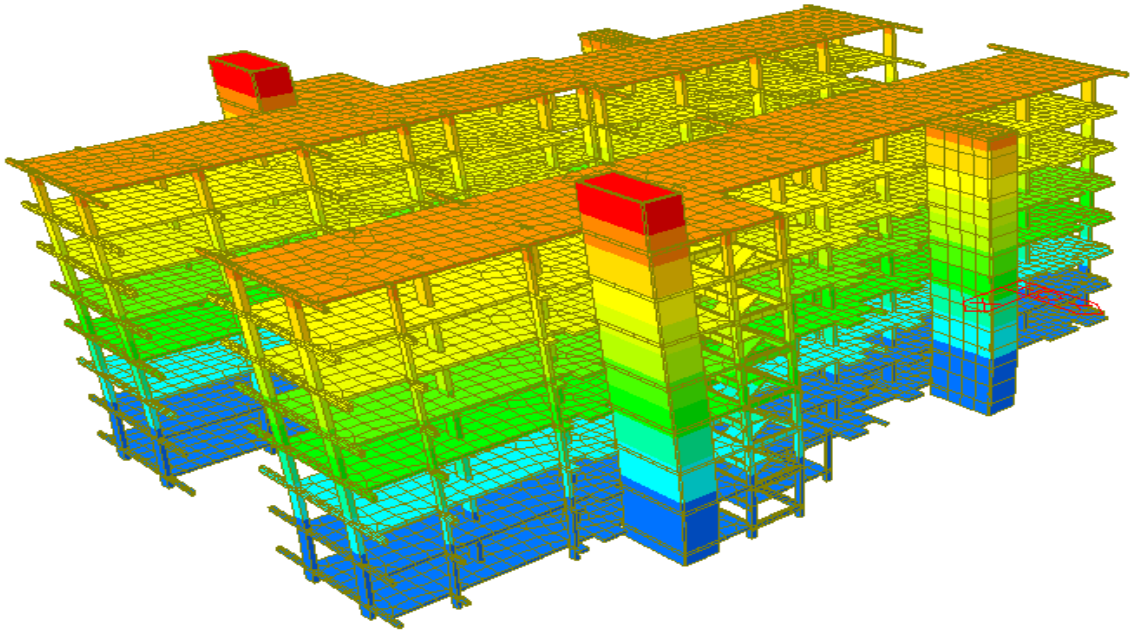
Cs = Sa(I/R) = 0.041(1.25/3) = 0.017

W = 3572 ตัน

ดังนั้น V = 60.387 ตัน

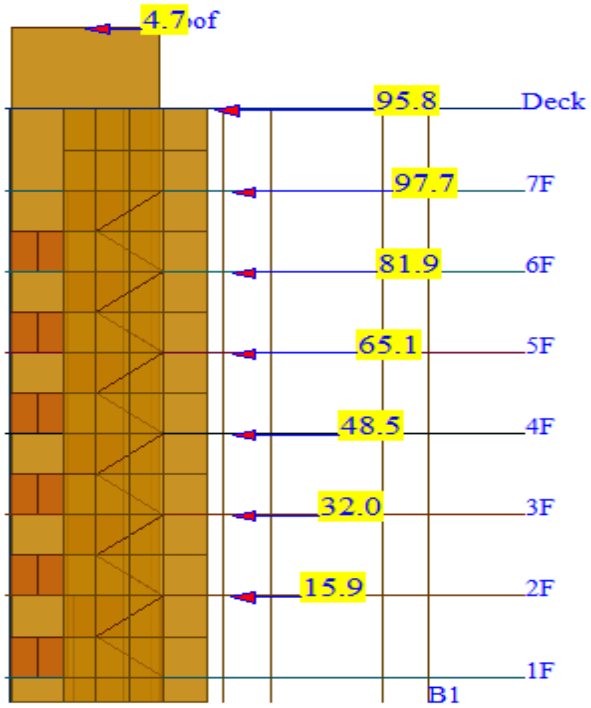
EQUIVALENT SEISMIC LOAD IN ACCORDANCE WITH IBC 2009 (ASCE7-05)



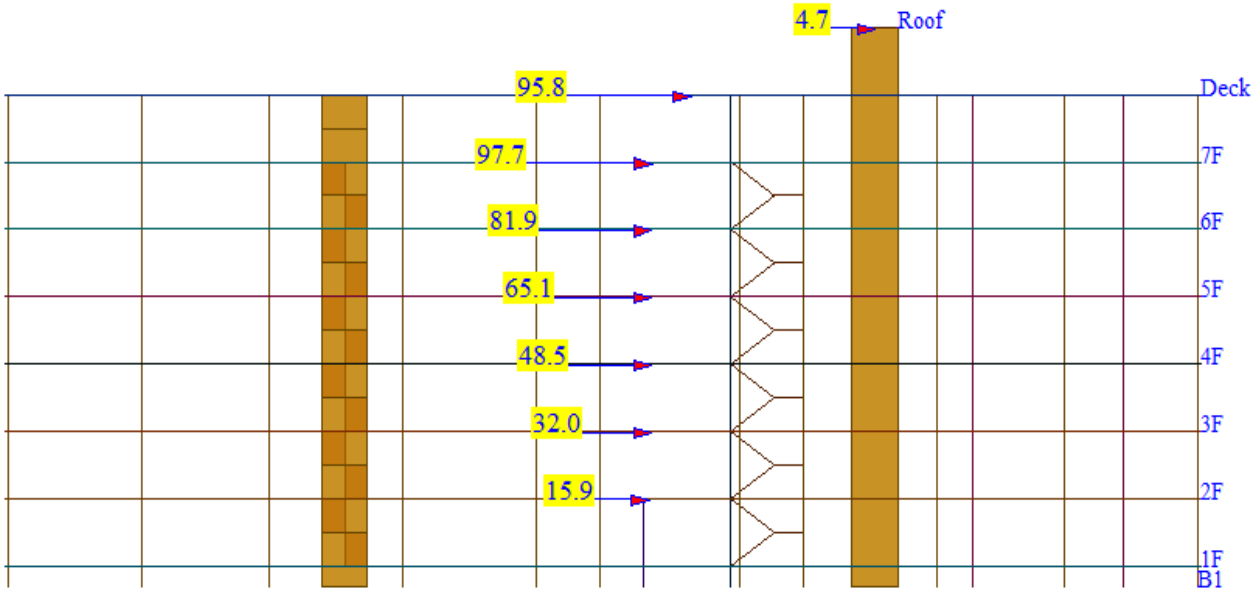


<u>แรงแผ่นดินไหว SEISMIC LOAD กระทำต่ออาคารพิจารณาทั้ง 2 แกน EQX , EQY</u>

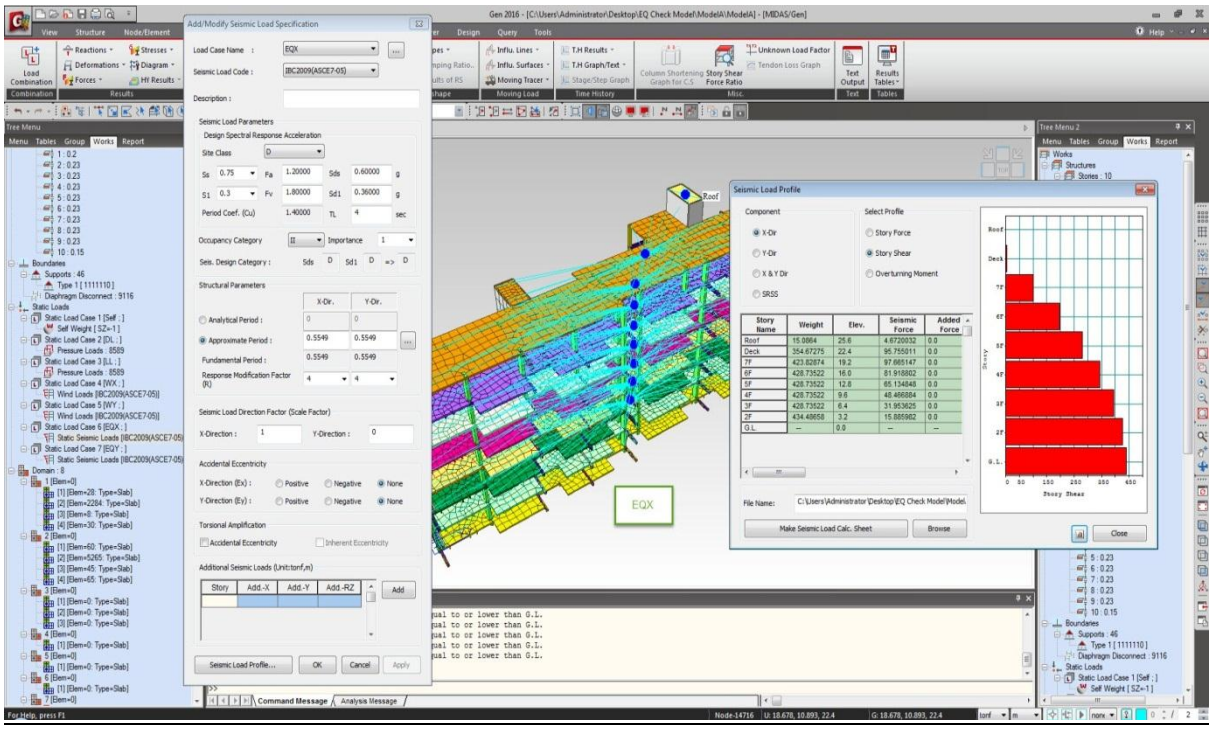
SEISAMIC FORCE : EQY



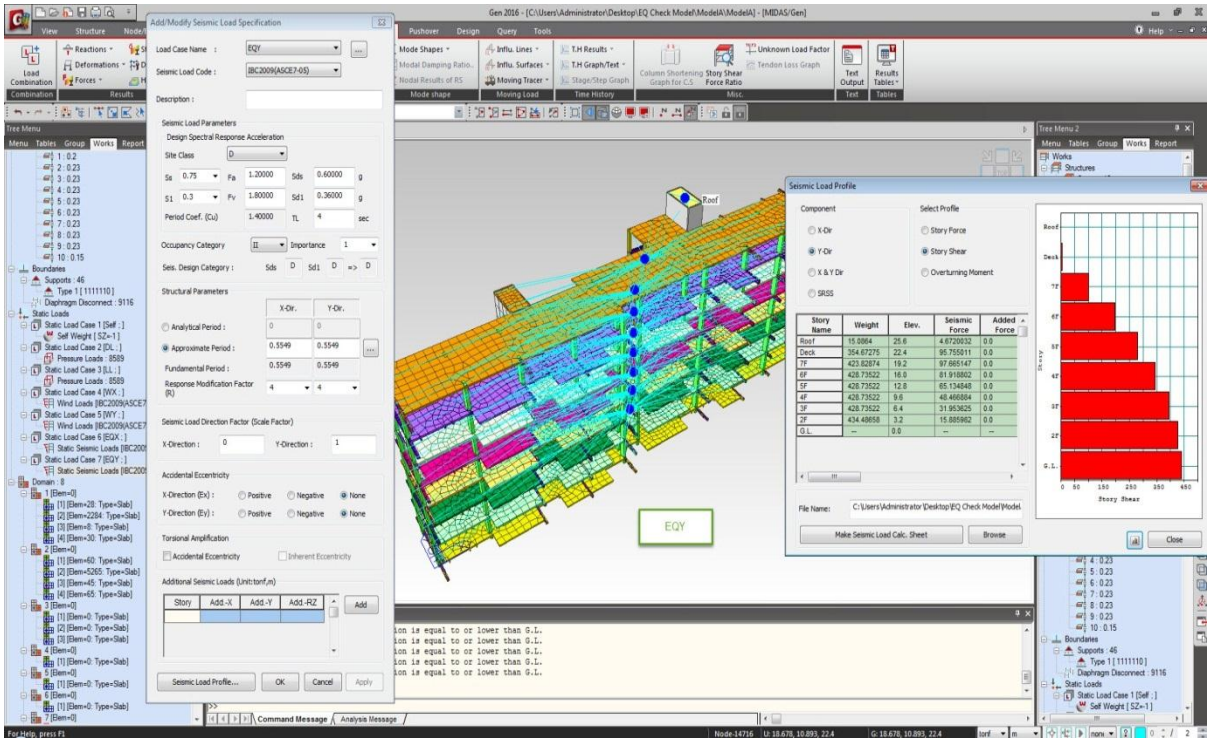
SEISAMIC FORCE : EQX



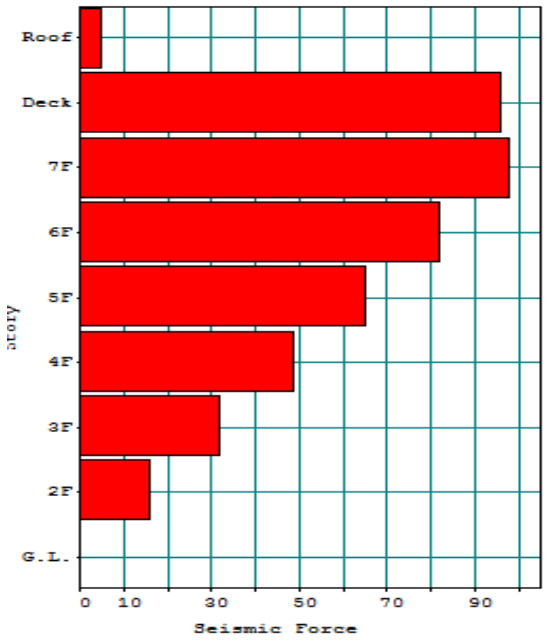
EQX

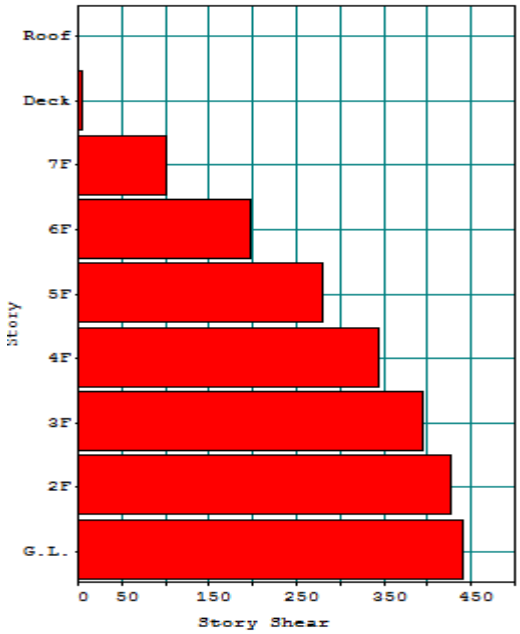

Add/Modify Seismic Load Specification
Load Case Name : EQX
Seismic Load Code : IBC2009(ASCE7-05)
Description :
Seismic Load Parameters
Design Spectral Response Acceleration
Site Class D
Ss 0.75 Fa 1.20000 Sds 0.60000 g
S1 0.3 Fv 1.80000 Sd1 0.36000 g
Period Coef. (Cu) 1.40000 TL 4 sec
Occupancy Category II Importance 1
Seis. Design Category : Sds D Sd1 D => D
Structural Parameters
X-Dir. Y-Dir.
Analytical Period : 0 0
Approximate Period : 0.5549 0.5549
Fundamental Period : 0.5549 0.5549
Response Modification Factor (R) 4 4
Seismic Load Direction Factor (Scale Factor)
X-Direction : 1 Y-Direction : 0
Accidental Eccentricity
X-Direction (Ex) : Positive Negative None
Y-Direction (Ey) : Positive Negative None
Torsional Amplification
Accidental Eccentricity Inherent Eccentricity
Additional Seismic Loads (Unit:tonf,m)
Story Add-X Add-Y Add-RZ Add
Seismic Load Profile... OK Cancel Apply
Seismic Load Profile
Component
X-Dir
Y-Dir
X & Y Dir
SRSS
Select Profile
Story Force
Story Shear
Overturning Moment
Story Name Weight Elev. Seismic Force Added Force
Roof 15.0864 25.6 4.6720032 0.0
Deck 354.67275 22.4 95.755011 0.0
7F 423.82674 19.2 97.665147 0.0
6F 428.73522 16.0 81.918802 0.0
5F 428.73522 12.8 65.134848 0.0
4F 428.73522 9.6 48.466884 0.0
3F 428.73522 6.4 31.953625 0.0
2F 434.48658 3.2 15.885962 0.0
G.L. -- 0.0 -- --
File Name: C:\Users\Administrator\Desktop\EQ Check Model\Model
Make Seismic Load Calc. Sheet Browse Close
Story Shear
EQX
Command Message Analysis Message

EQY

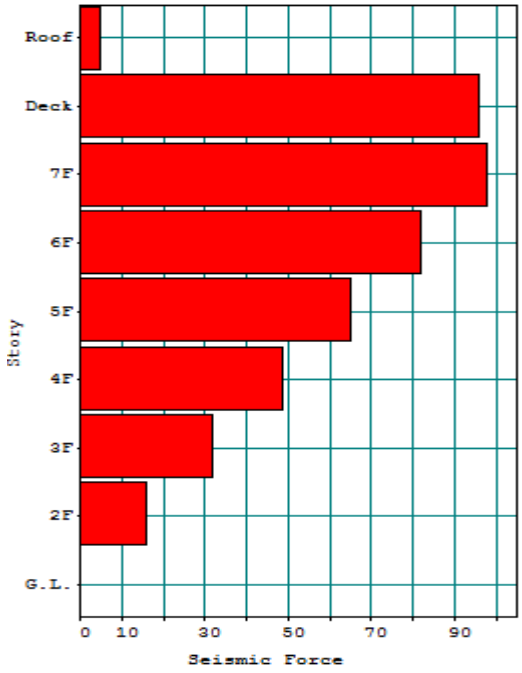

Add/Modify Seismic Load Specification
Load Case Name : EQY
Seismic Load Code : IBC2009(ASCE7-05)
Description :
Seismic Load Parameters
Design Spectral Response Acceleration
Site Class D
Ss 0.75 Fa 1.20000 Sds 0.60000 g
S1 0.3 Fv 1.80000 Sd1 0.36000 g
Period Coef. (Cu) 1.40000 TL 4 sec
Occupancy Category II Importance 1
Seis. Design Category : Sds D Sd1 D => D
Structural Parameters
X-Dir. Y-Dir.
Analytical Period : 0 0
Approximate Period : 0.5549 0.5549
Fundamental Period : 0.5549 0.5549
Response Modification Factor (R) 4 4
Seismic Load Direction Factor (Scale Factor)
X-Direction : 0 Y-Direction : 1
Accidental Eccentricity
X-Direction (Ex) : Positive Negative None
Y-Direction (Ey) : Positive Negative None
Torsional Amplification
Accidental Eccentricity Inherent Eccentricity
Additional Seismic Loads (Unit:tonf,m)
Story Add-X Add-Y Add-RZ Add
Seismic Load Profile... OK Cancel Apply
Seismic Load Profile
Component
X-Dir
Y-Dir
X & Y Dir
SRSS
Select Profile
Story Force
Story Shear
Overturning Moment
Story Name Weight Elev. Seismic Force Added Force
Roof 15.0864 25.6 4.6720032 0.0
Deck 354.67275 22.4 95.755011 0.0
7F 423.82674 19.2 97.665147 0.0
6F 428.73522 16.0 81.918802 0.0
5F 428.73522 12.8 65.134848 0.0
4F 428.73522 9.6 48.466884 0.0
3F 428.73522 6.4 31.953625 0.0
2F 434.48658 3.2 15.885962 0.0
G.L. -- 0.0 -- --
File Name: C:\Users\Administrator\Desktop\EQ Check Model\Model
Make Seismic Load Calc. Sheet Browse Close
Story Shear
EQY
Command Message Analysis Message

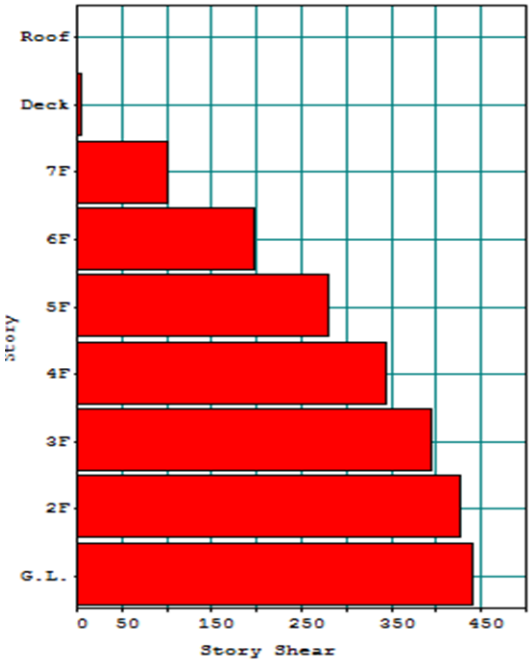
ทิศทาง EQX (Seismic Force & Story Shear)





ทิศทาง EQY (Seismic Force & Story Shear)





<u>การลดค่าสติฟเนสของเสา, คานและพื้นไร้คานดังนี้ (พิจารณาใช้กับการเคลื่อนตัวเท่านั้น)</u>

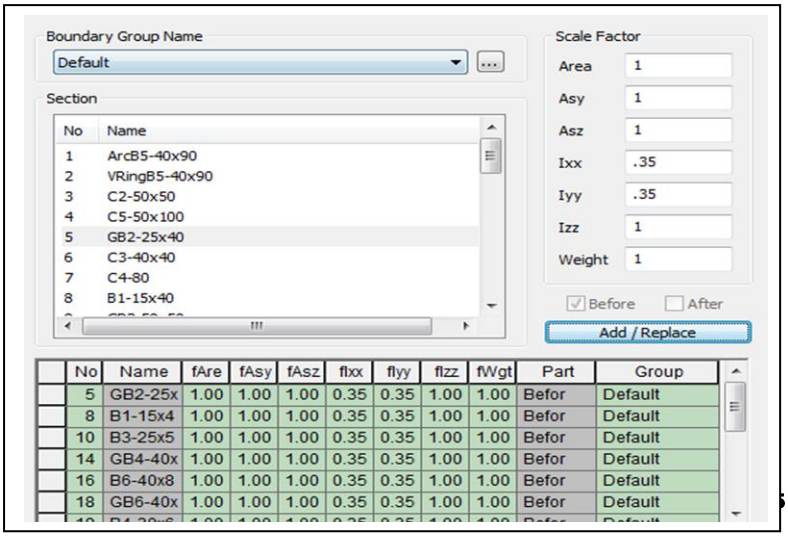
คาน 0.35 Ig.

เสา 0.70 Ig

ผนังไม่แตกร้าว 0.70 Ig

ผนังแตกร้าว 0.35 Ig

พื้นไร้คาน 0.25 Ig



<u>ตรวจสอบการเคลื่อนตัวของอาคารในแนวแกน X และ Y (ปรับค่าการออกแบบตามพื้นที่)</u>

เลือกใช้โครงสร้างแบบ Ordinary Moment Resisting Frame (OMRF) โดยที่กำแพงรับแรงเฉือนไม่ต้องออกแบบให้มีความเหนียว / ไม่มีรายละเอียดการเสริมเหล็กพิเศษ (Ordinary Design Shearwall)

โดยมี ค่า R (Response Modification Factors หรือตัวประกอบปรับผลตอบสนอง) 3

ค่า Ω 0 (System Overstrength Factor หรือตัวประกอบกำลังส่วนเกิน) 3

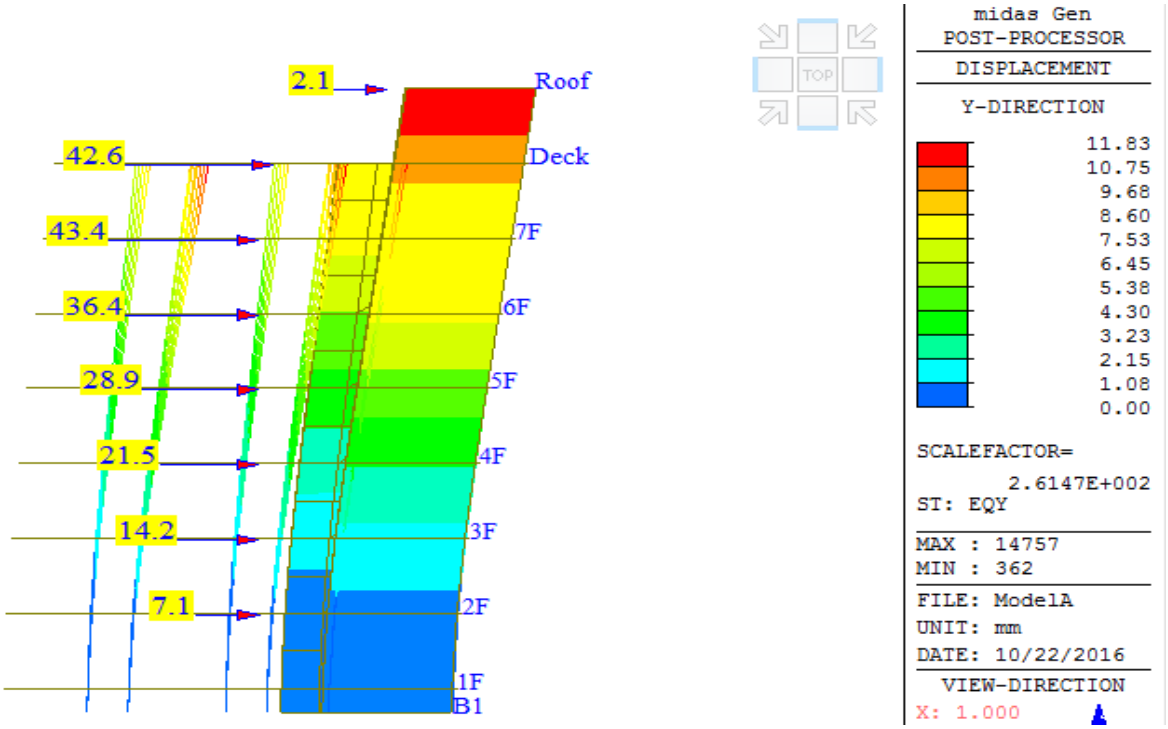
ค่า Cd (Deflection Amplification Factor หรือตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว) 2.5

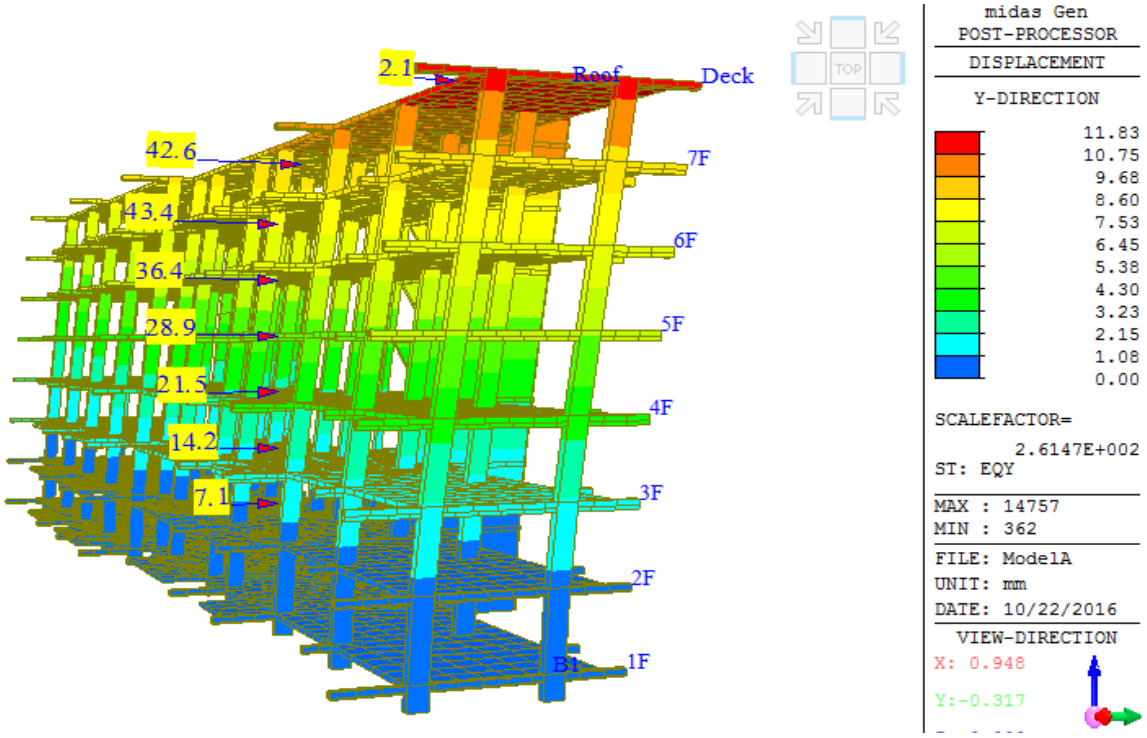
ค่า I (ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร) II (ปกติ) = 1.00

Scale Factor = I / R = 1.00 / 3 = 0.333

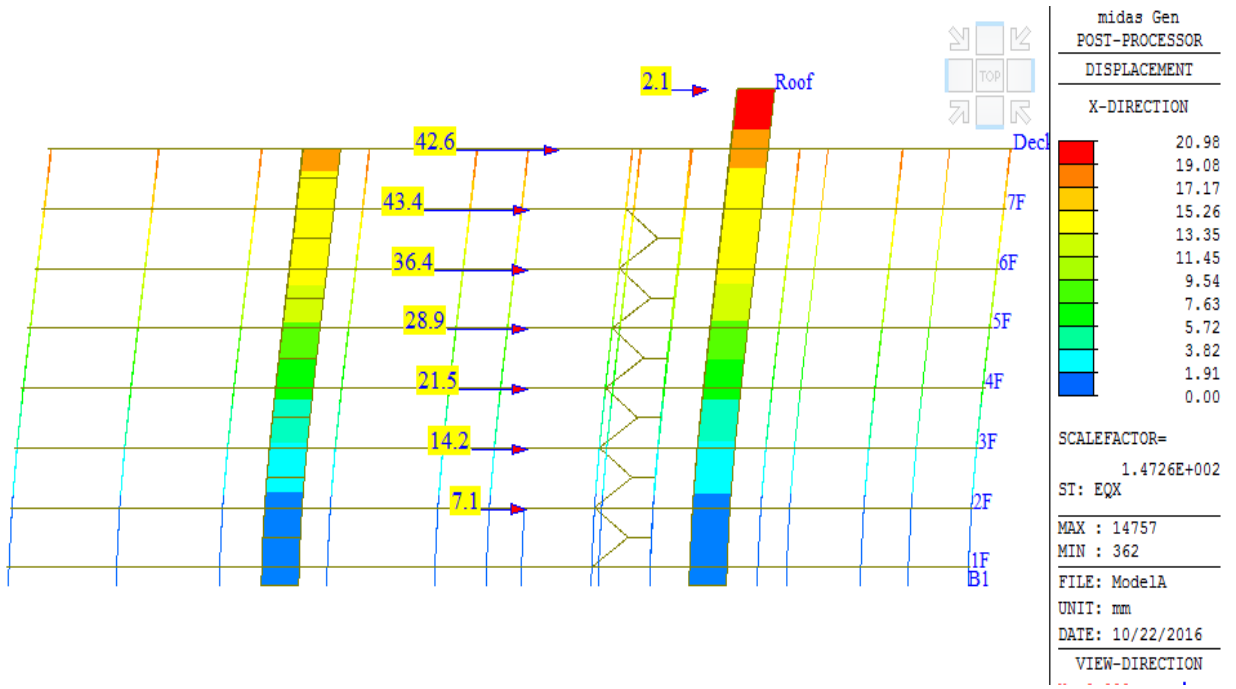
STORY DRIFT CHECK

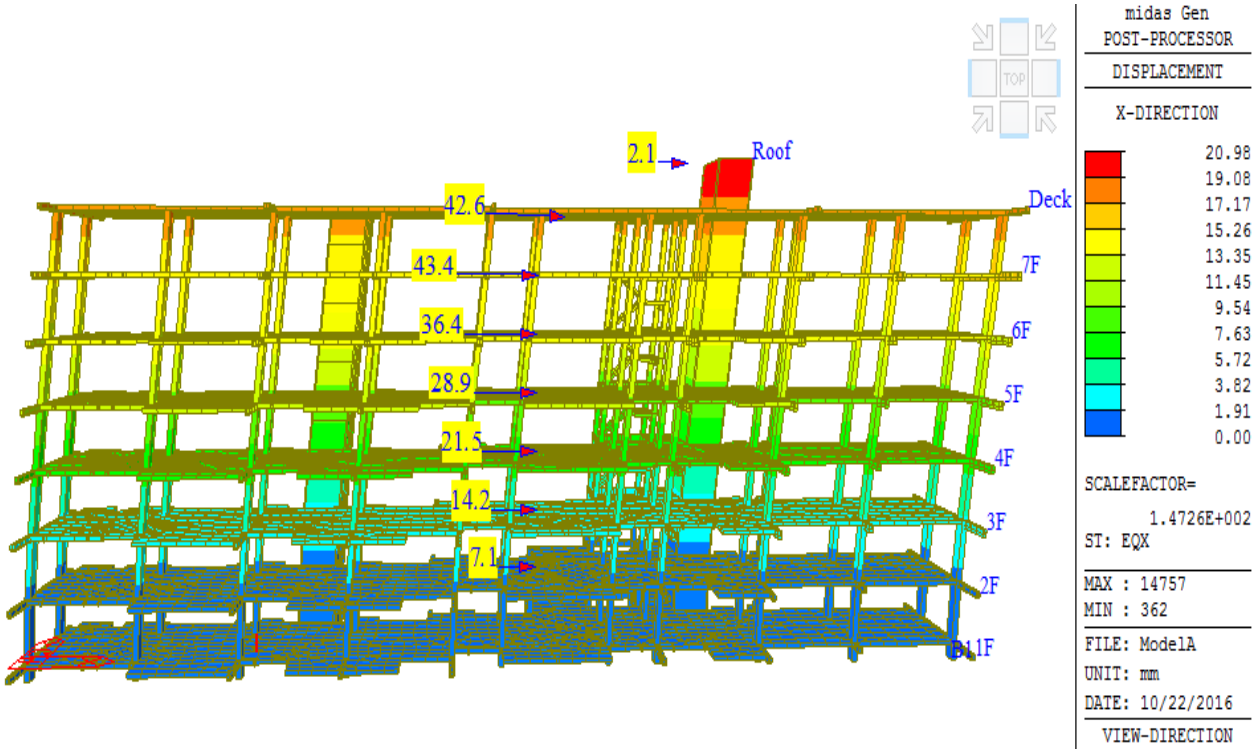
EQY : อาคาร A Displacement DY 11.83 mm (พิจารณาตามข้อกำหนด มยผ. 1302)



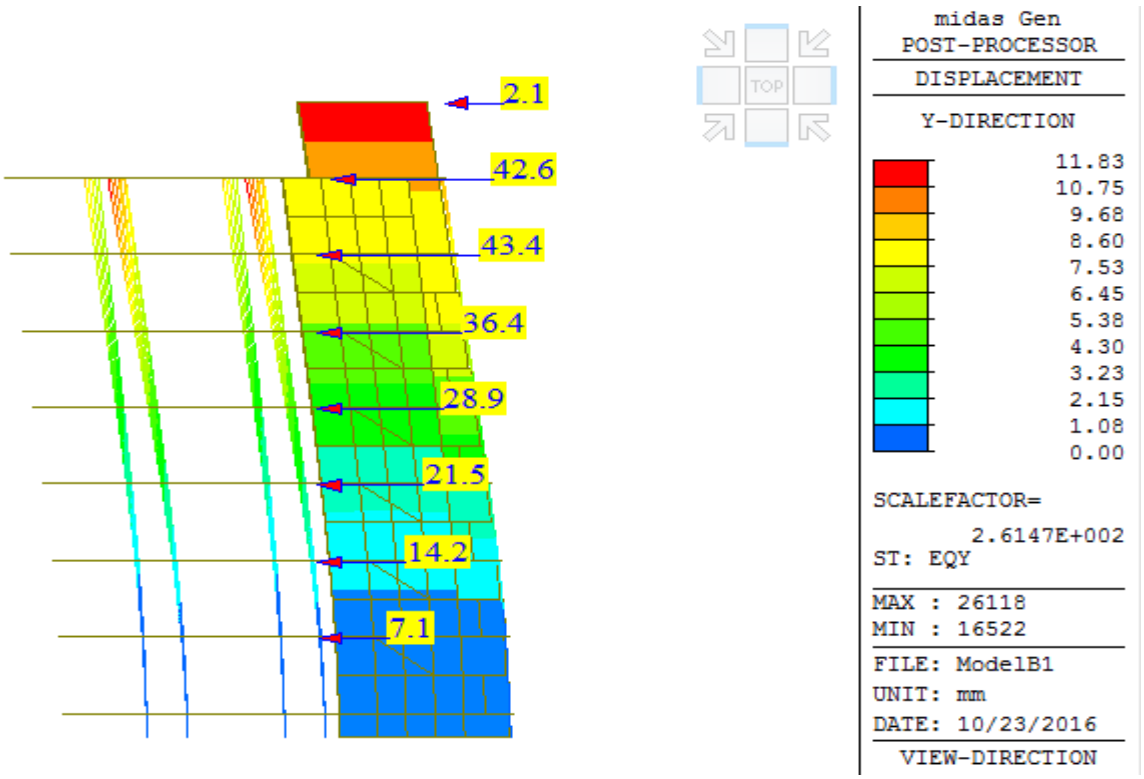


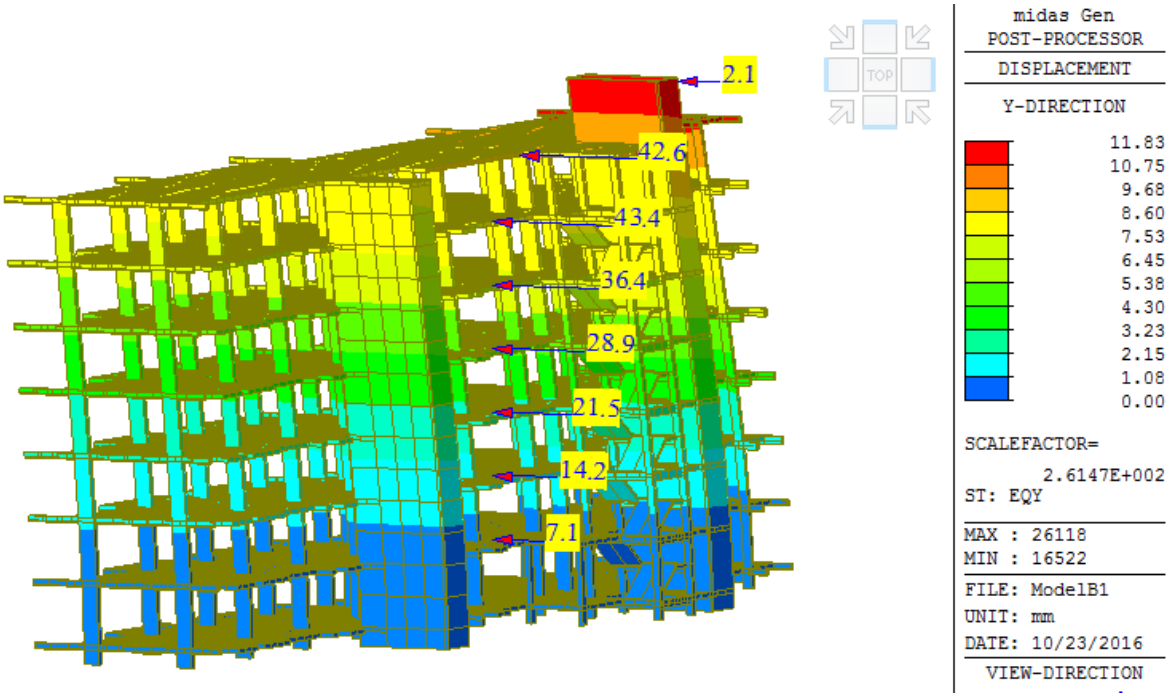
EQX : อาคาร A Displacement DX 20.98 mm (พิจารณาตามข้อกำหนด มยผ. 1302)



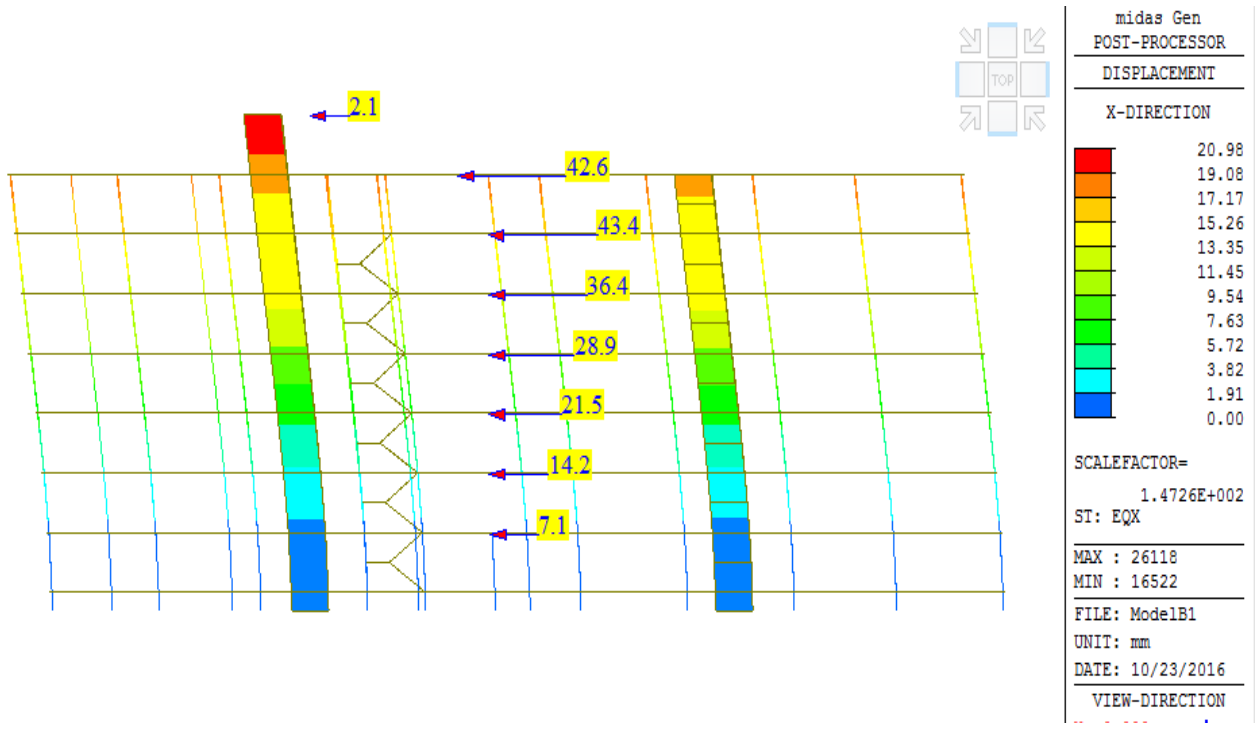


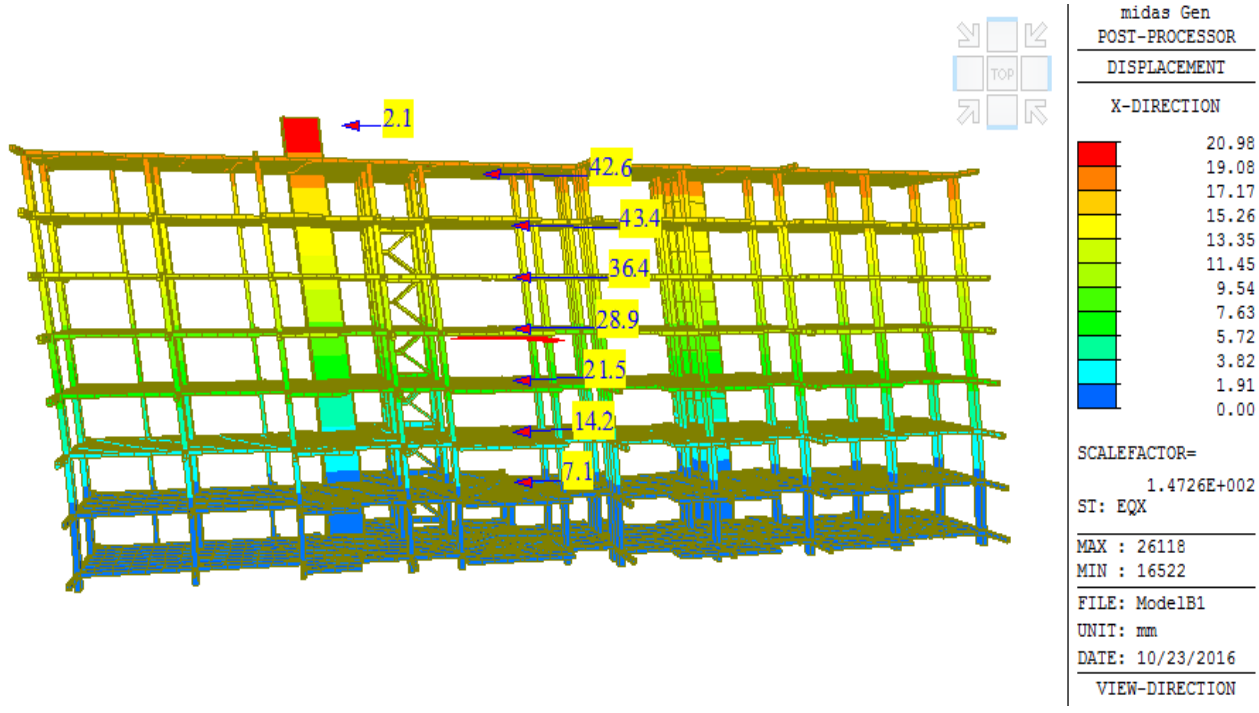
EQY : อาคาร B Displacement DY 11.83 mm (พิจารณาตามข้อกำหนด มยผ. 1302)





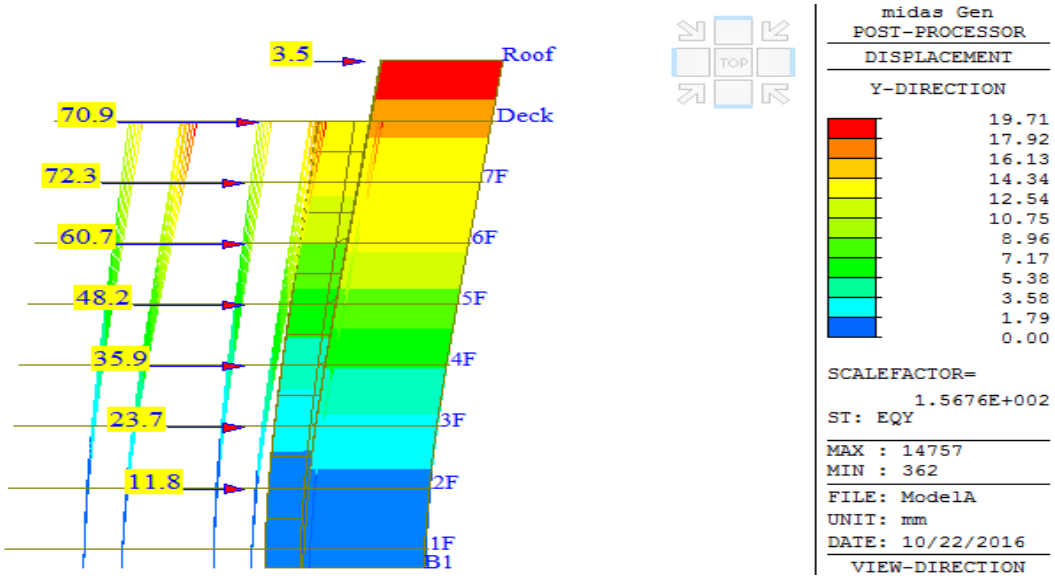
EQX : อาคาร B Displacement DX 20.98 mm (พิจารณาตามข้อกำหนด มยผ. 1302)

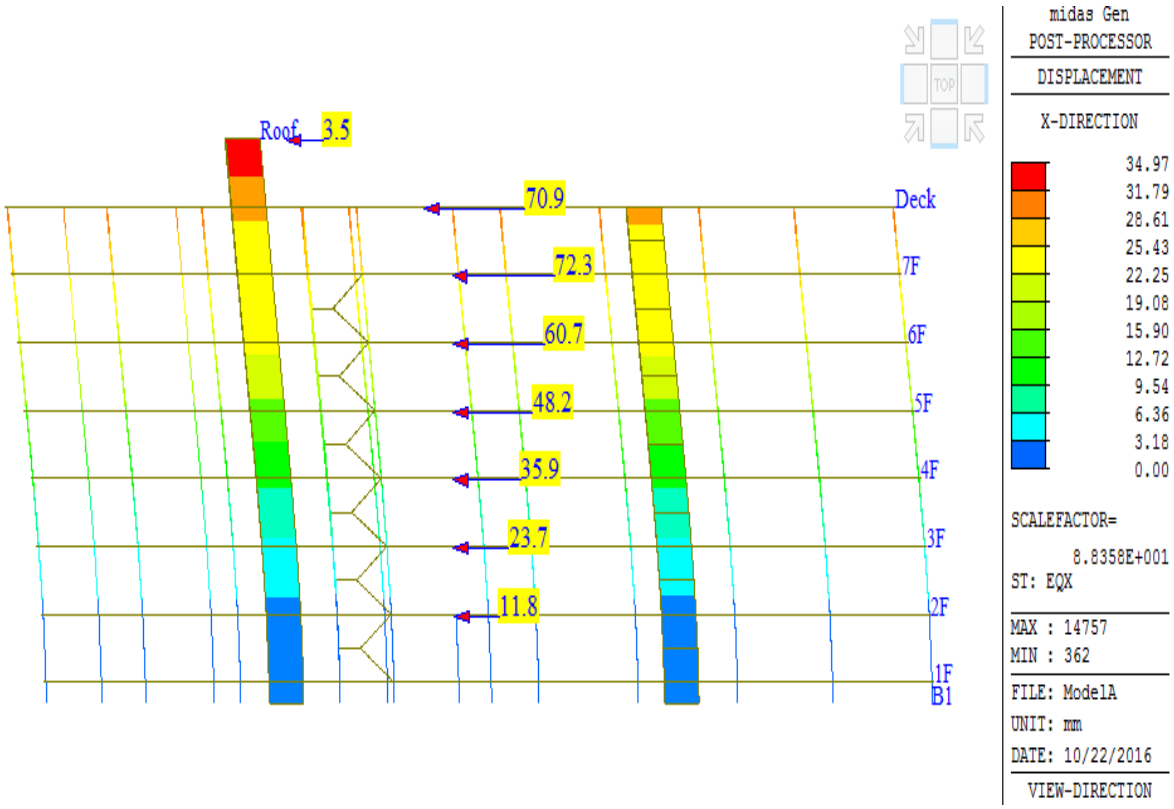




<u>กรณีเพิ่มความเข้มของแผ่นดินไหว เป็นประเภท ความสำคัญ III (มาก) และ ตัวประกอบความสำคัญ I = 1.25</u> (โดยทำการวิเคราะห์อาคาร A และ B)

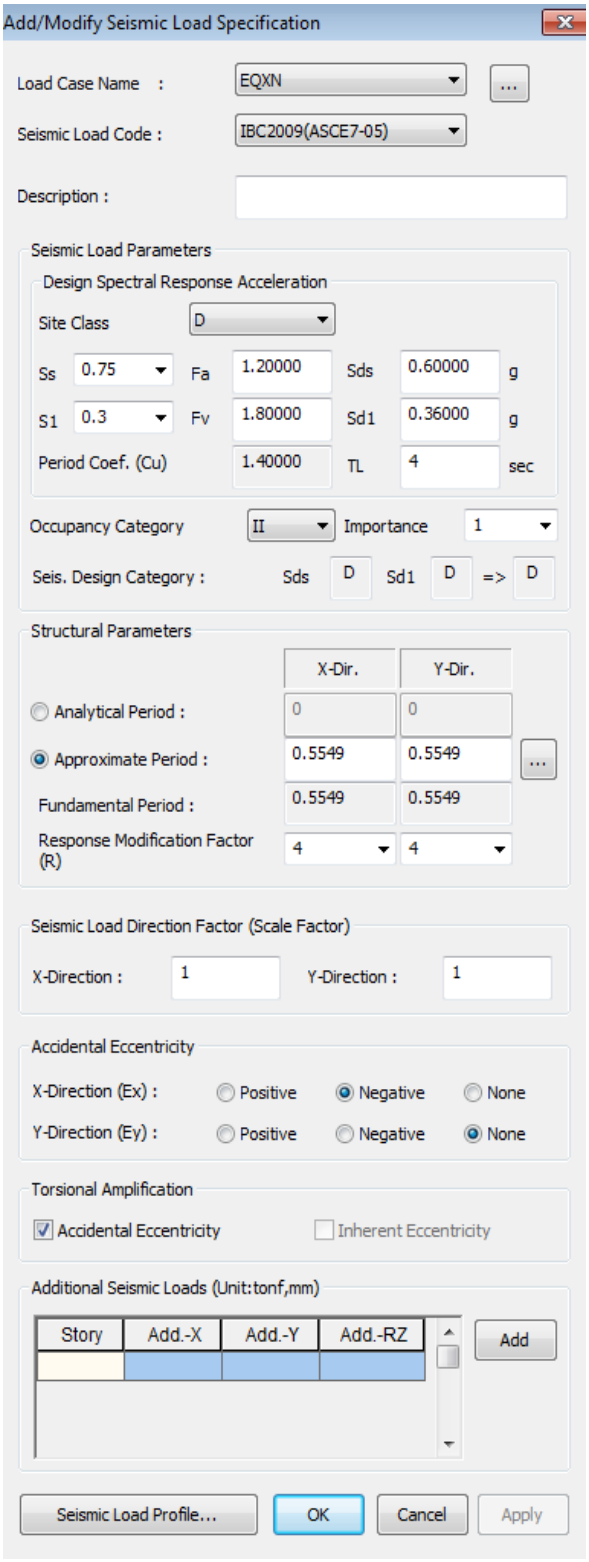
EQY : Displacement DY 19.71 mm และ EQX : Displacement DX 34.97 mm

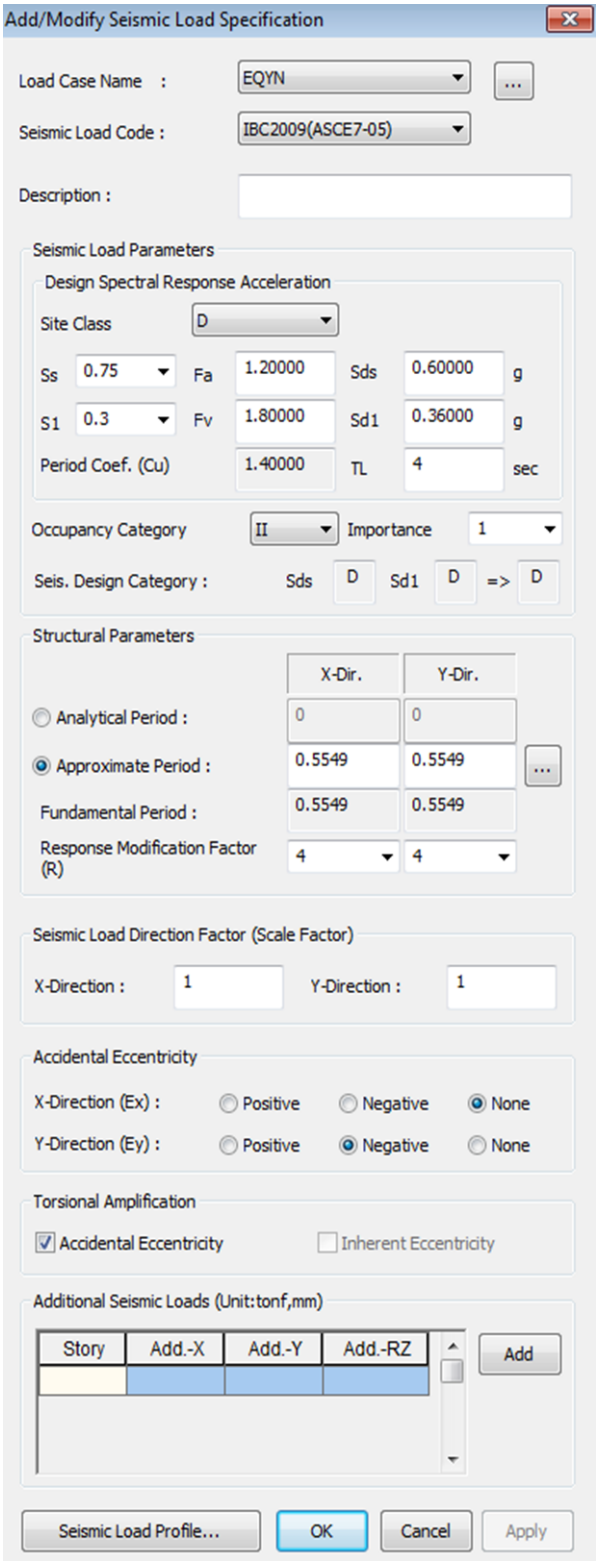




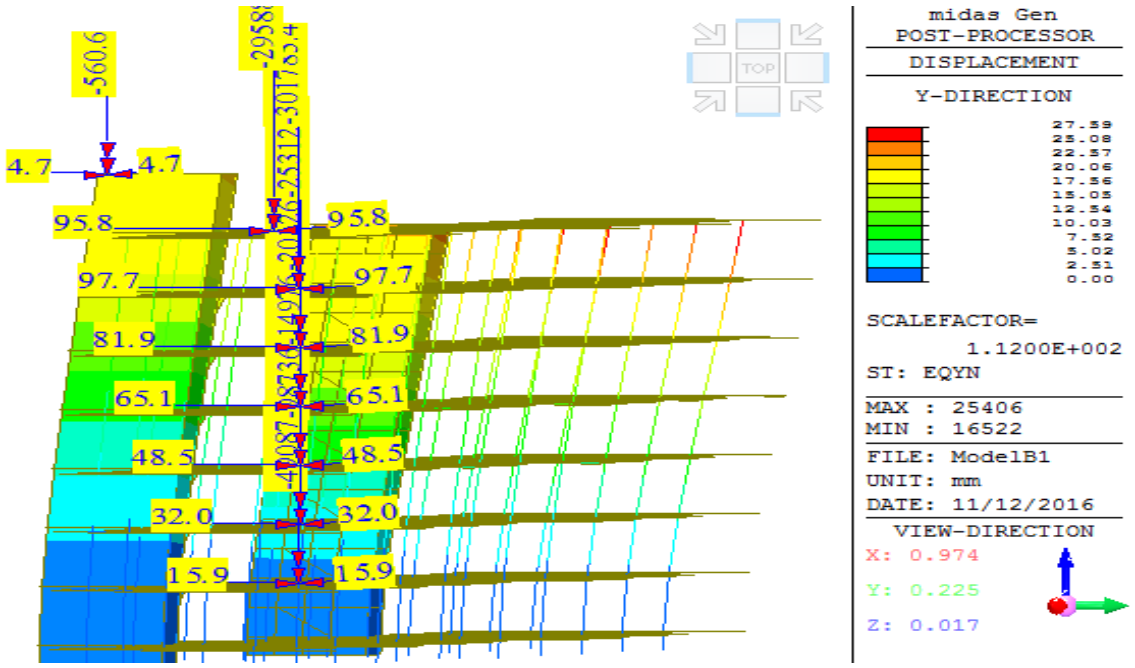
กรณีคิดแรงบิดโดยบังเอิญ 5% เนื่องจากแรงแผ่นดินไหว (Accidental Torsion)

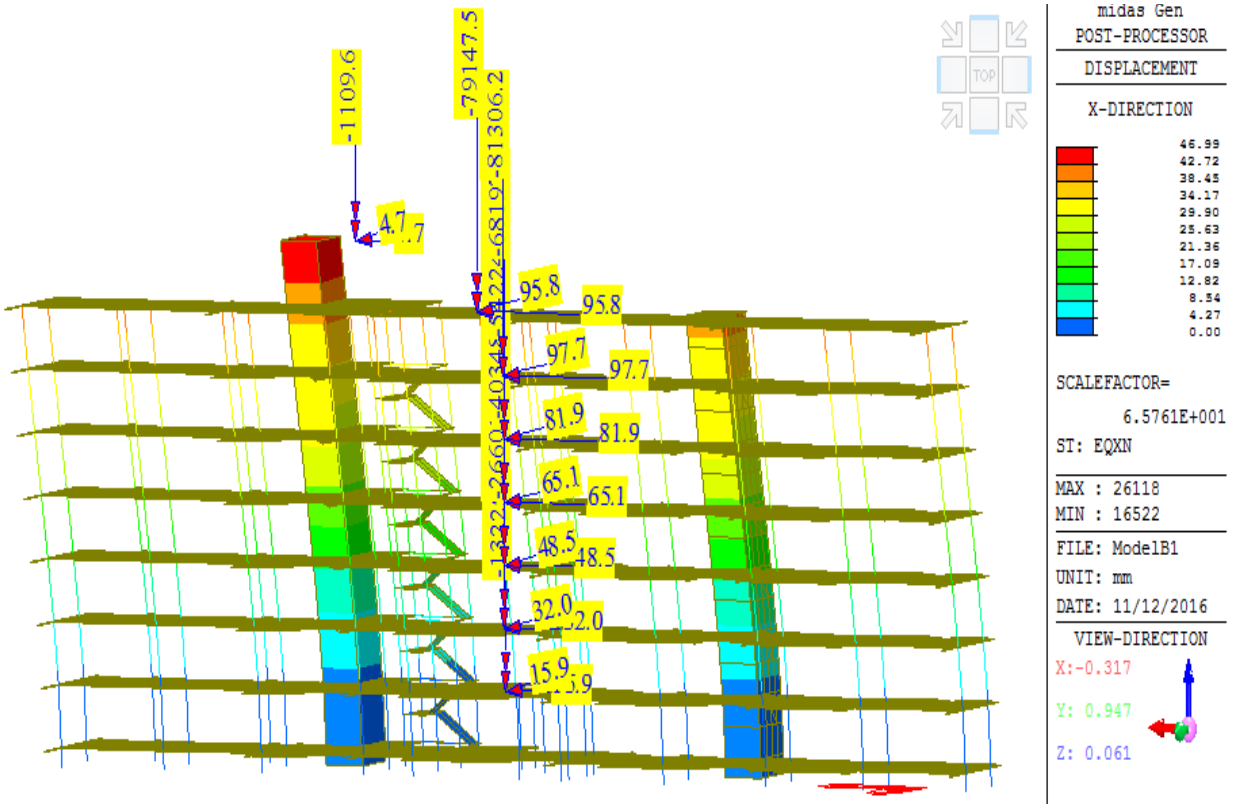
EQXN & EQYN : **IBC2009(ASCE-05)**





EQYN : Displacement DY 27.59 mm และ EQXN : Displacement DX 46.99 mm





SIDE WAY AND DEFLECTION CHECK

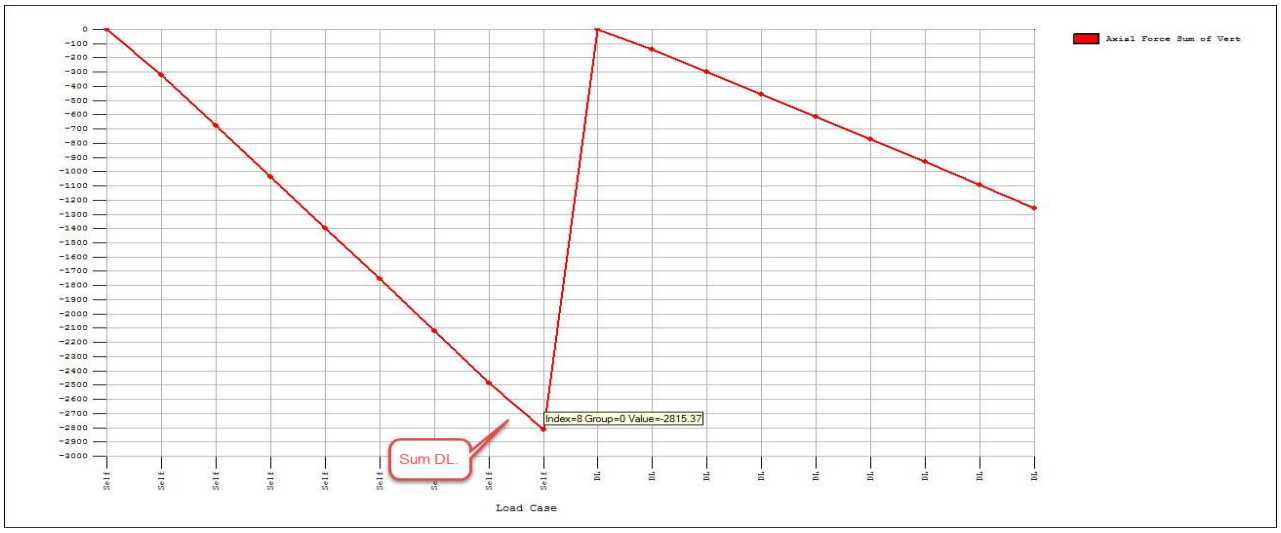
H/500 = 22700 / 500 = 45.40 mm. มากกว่า Dx = 34.97 mm & Dy = 19.71 mm

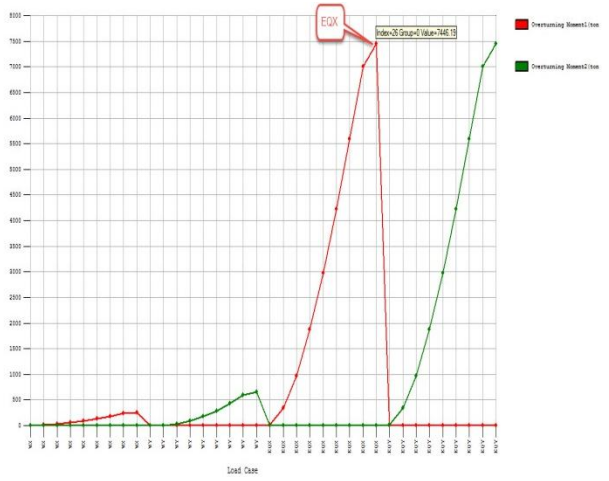
OVERTURNING STABILITY CHECK

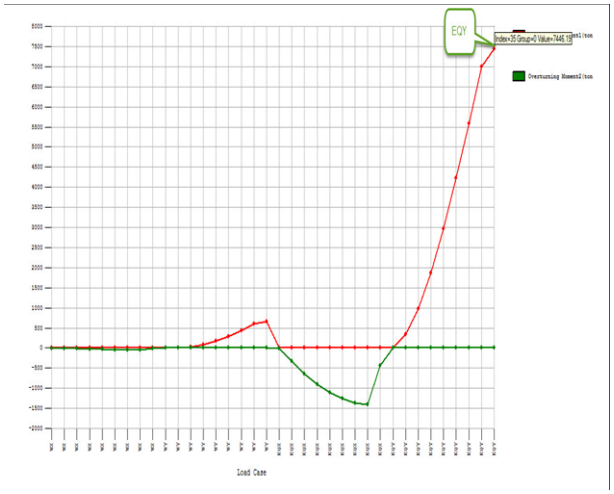
Cs = Sa { I / R } = 0.0397 (1.25/ 3) = 0.0165 , มากกว่า 0.01 g

W = 3,572 + 0.25(0) tons ; (Self Weight + SDL + 25%LL กรณีนี้ไม่เข้าข่ายไม่ต้องคิด)

V = 0.0165 W (3.69% ของน้ำหนักอาคารประสิทธิผล) = 59.09 Tons (Base Shear)







<u>อัตราส่วนความปลอดภัย S.F</u>

S.F. = M Reaction / M Action

Rx = 7446 / (59.09 x (61.5 /2) = 4.10 < 1.5

Ry = 7446 / (59.09 x (7.35 /2) = 34.29 < 1.5

สรุป : โครงสร้างที่วิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย