

การศึกษารูปแบบเสริมกำลัง เพื่อต้านทานแผ่นดินไหวของโครงสร้าง
อาคารเรียน โรงเรียนสันกลางวิทยา จังหวัดเชียงราย

นายชาญณรงค์ แฉนดีแสง

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2558

การศึกษารูปแบบเสริมกำลัง เพื่อต้านทานแผ่นดินไหวของโครงสร้าง
อาคารเรียน โรงเรียนสันกลางวิทยา จังหวัดเชียงราย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

(รศ. ดร.ขวัญกมล ดอนขวา)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.มงคล จิรวรรณเดช)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

(ผศ. ดร.ปรีชาพร โกษา)

กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ชาณุณรงค์ แถนสีแสง : การศึกษารูปแบบเสริมกำลัง เพื่อด้านทานแผ่นดินไหวของ
โครงสร้างอาคารเรียน โรงเรียนสันกลางวิทยา จังหวัดเชียงราย (THE STUDY
OF THE REINFORCED EARTHQUAKE RESISTANCE OF THE BUILDING
STRUCTURE IN SANKLANGVITTAYA SCHOOL, CHIANGRAI THAILAND)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จิรวรรณเดช

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเสียหายของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่เกิดจากภัยพิบัติแผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 เป็นอาคารเรียนแบบมาตรฐานในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน(สพฐ.) อาคารลักษณะเดียวกันนี้ถูกสร้างก่อนกฎกระทรวงบังคับและยังตั้งอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยต่างๆของประเทศไทย ซึ่งเป็นอาคารสาธารณะเพื่อป้องกันและลดทอนภัยพิบัติแผ่นดินไหวหากเกิดขึ้นภายในอนาคต ได้ศึกษารูปแบบเสริมกำลังเพื่อด้านทานแผ่นดินไหวตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2552 (มยผ. 1302-52) จำนวน 3 รูปแบบด้วยโครงแกนเหล็กรูปพรรณ ก.) แบบ Braced ข.) แบบ Inverted V ค.) แบบ Knee Braced ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ETABS 2013 บริเวณตำแหน่งที่ตั้งแรงเฉือนที่ฐานอาคารที่กระทำกับตัวอาคารเรียนมีค่าร้อยละ 23.20 ของน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร ตำแหน่งที่ได้รับความเสียหายขั้นรุนแรงทั้งจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมและจากการสำรวจสภาพอาคารจริง พบว่ามีตำแหน่งตรงกัน ผลของการศึกษารูปแบบเสริมกำลังได้พิจารณาเลือก “แบบ Inverted V” ที่ให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีและงบประมาณค่าใช้จ่ายน้อยกว่ารูปแบบอื่น หลังจากการเสริมกำลังได้ค่าการเคลื่อนตัวที่อยู่ภายในข้อกำหนดในทิศทาง X และทิศทาง Y ที่ลดลง ร้อยละ 5.50 และ 93.23 (ตามลำดับ) ภายหลังจากการเสริมกำลังเพื่อด้านทานแผ่นดินไหวอาคารโครงสร้างยังมีความปลอดภัย เสาโครงสร้างอาคารเรียนถึงแม้จะมีค่าการเคลื่อนตัวที่ลดน้อยลง แต่ก็ยังไม่ปลอดภัยควรมีการเสริมกำลังของเสาโครงสร้างร่วมกับการเสริมกำลังด้วยโครงแกนเหล็กรูปพรรณ เพื่อประสิทธิภาพการเสริมกำลังสูงสุด

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

CHANNARONG TAENSISANG : THE STUDY OF THE REINFORCED
EARTHQUAKE RESISTANCE OF THE BUILDING STRUCTURE
IN SANKLANGVITTAYA SCHOOL, CHIANGRAI THAILAND.
ADVISOR : ASST. PROF. MONGKOL JIRAVACHARADET, Ph.D.

This study aims to investigate the damage of reinforced concrete building brought by the earthquake on 5th of May 2014. This building was basically built following the school building standard of the Office of the Basic Education Commission. There are many buildings like this one built in hazardous area of Thailand before the recent announcement of ministerial orders. To reduce the damage from earthquake, this study investigates how to resist and prevent the severe damage following the standard of Department of Public Works and Town & Country Planning, Ministry of Interior B.E.2552. The study uses 3 steel frames to strengthen the building and these are as follows: a) Braced b) Inverted c) Knee Braced. ETABS 2013 program is used to analyze the building. The shear force is 23.20% of the total weight. The most damage point from the analysis and the real observation has got the same location. The result of this study shows that “Inverted V” is the best frame both in effectiveness and practicality. After the movement, X direction and Y direction were reduced 5.50% and 93.33% respectively. After the counter balance enhancement to resist the earthquake, the beam structure is still safe. The column structure gets the lower movement but not safe the building should enhance the steel frame for the better effectiveness.

School of Civil Engineering
Academic Year 2015

Student's Signature _____
Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการงานการศึกษานี้ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการมหัณัติ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จิรวรรณเดช ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของเนื้อหา แนะนำแนวทางการทำงานเพิ่มเติม คอยให้ความรู้ตลอดจนช่วยแก้ปัญหาต่างๆ จนสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการฉบับนี้ได้ ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข (หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ผู้บริหารหลักสูตร) ที่กรุณาข้าพเจ้าเปิดสอนในรายวิชา กลศาสตร์ประยุกต์สำหรับวิศวกรโยธา ซึ่งเป็นที่มาของเนื้อหาโครงการฉบับนี้เป็นหลัก

ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาให้แก่ข้าพเจ้า อันได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก ดร.วรพจน์ จำพิศ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญกมล ดอนขวัญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชาพร โกษากรรมกรสอบโครงการฉบับนี้ รวมถึงท่านอาจารย์พิเศษที่ไม่ได้เอ่ยนาม ไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่มหาวิทยาลัยที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการศึกษาและการทำโครงการมหัณัติของข้าพเจ้า ขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้นเรียนที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และเป็นกำลังใจให้กันและกันตลอดมา

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการกลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สฟฐ. กระทรวงศึกษาธิการ ที่ให้ความอนุเคราะห์นำข้อมูลมาศึกษาในโครงการฉบับนี้ และอนุโลมเวลาราชการบางส่วนของข้าพเจ้า ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานที่เข้าใจและเป็นกำลังใจให้ตลอดทั้งการศึกษานี้

ท้ายนี้ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณนายทรงศักดิ์ แถนสีแสง ผู้เป็นบิดาและนางดวงจันทร์ แถนสีแสง ผู้เป็นมารดา ที่ให้การเลี้ยงดู อบรม สั่งสอน สนับสนุนด้านการศึกษาอันเป็นทุกสิ่งทุกอย่าง ขอขอบพระคุณนางลัดดา เข็มจูงไร ผู้มีพระคุณสำคัญ ขอขอบพระคุณพี่น้องครอบครัวเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

ชาญณรงค์ แถนสีแสง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	4
1.5 คำนิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
2 ปรัชญ์นัวรรณกรรม.....	5
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแผ่นดินไหว.....	5
2.1.1 แผ่นดินไหวและรอยเลื่อนที่มีพลังในประเทศไทย.....	5
2.1.2 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว.....	9
2.1.3 ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหว.....	11
2.1.4 ปริมาณสำหรับการวัดแผ่นดินไหว.....	14
2.1.5 ค่าอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน (Peak Ground Acceleration).....	16
2.1.6 สถิติแผ่นดินไหวในประเทศไทย.....	18
2.1.7 อันตรายและความเสียหายจากการเกิดแผ่นดินไหว.....	19
2.1.8 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายจากแผ่นดินไหว.....	19
2.2 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทย.....	21
2.2.1 ความเป็นมาของ กฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรง สั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550.....	21

2.2.2	เนื้อหาโดยสรุปของกฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550	23
2.3	ความรู้ทั่วไปในการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว	26
2.3.1	การคำนวณแรงเฉือนที่กระทำต่ออาคาร จากแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวงกฎกระทรวงฉบับใหม่ พ.ศ.2550 โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า	26
2.3.2	การคำนวณตรวจสอบการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้าง	30
2.3.3	การคำนวณตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้างเนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง	30
2.4	มาตรฐานในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวสำหรับงานวิจัย	31
ก.	มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1301-54	31
ข.	มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302	37
2.4.1	นิยาม	37
2.4.2	สัญลักษณ์	39
2.4.3	ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว	41
2.4.4	ประเภทของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร	42
2.4.5	การปรับแก้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม	46
2.4.6	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ	48
2.4.7	สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบ	48
2.4.8	ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร	50
2.4.9	ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว	51
2.4.10	การเลือกระบบโครงสร้าง	53
2.4.11	การรวมผลของแรงแผ่นดินไหว กับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง	59
2.4.11.1	กรณีที่ต้องพิจารณาการรวมผลของแรง	59
2.4.11.2	วิธีรวมผลของแรง	59
2.4.12	ทิศทางของแรงแผ่นดินไหว	59
2.4.13	วิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง	59

2.4.14	ข้อกำหนดในการสร้างแบบจำลองโครงสร้าง.....	60
2.4.14.1	น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล.....	60
2.4.14.2	แบบจำลองโครงสร้าง.....	61
2.4.15	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นและการโก่งตัวของโครงสร้าง.....	61
2.4.15.1	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้.....	61
2.4.15.2	ความสอดคล้องของการเคลื่อนตัวด้านข้าง.....	61
2.4.16	แรงเฉือนที่ฐานอาคาร.....	63
2.4.16.1	การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว.....	63
2.4.17	การคำนวณค่าคาบการสั่นพื้นฐาน.....	63
2.4.18	การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำทางด้านข้าง ต่ออาคารในชั้นต่างๆ.....	63
2.4.19	การกระจายแรงเฉือนในแนวราบ.....	64
2.4.20	การพลิกคว่ำ.....	64
2.4.21	การคำนวณค่าเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น.....	64
2.4.22	ผลของ P-Delta.....	65
ค.	มาตรฐานการการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร มยศ.1311-52.....	66
2.4.23	หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (q).....	66
2.4.23.1	ความเร็วลมอ้างอิง.....	67
2.4.24	ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม (C_g).....	68
2.4.25	ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e).....	69
2.4.26	ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม (C_p).....	69
3	วิธีดำเนินการทำโครงงาน.....	70
3.1	บทนำ.....	70
3.2	การแบ่งกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา.....	70
3.3	เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....	71
3.4	การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	72
3.5	วิธีการวิเคราะห์.....	78
4	ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล.....	80
4.1	ข้อมูลทั่วไปของอาคาร.....	80

4.2	คุณสมบัติของวัสดุ.....	80
4.3	ข้อกำหนดในการออกแบบ.....	81
4.4	มาตรฐานการวิเคราะห์แรงดัด.....	81
4.5	การคำนวณแรงเฉือนที่ฐาน (นอกเขต กทม.และ $S_{D1} < S_{DS}$).....	82
4.6	การสร้างแบบจำลองตามแบบรูปการจริง.....	83
4.6.1	เริ่มการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารเรียน.....	83
4.6.2	กำหนดคุณสมบัติวัสดุ.....	84
4.6.3	กำหนดคุณสมบัติหน้าตัด (Section Properties).....	90
4.6.4	โมเดลโครงสร้างอาคารเรียน.....	93
4.6.5	การวาดเสา คาน พื้น ตามแบบรูปการและคุณสมบัติที่กำหนด.....	96
4.6.6	การใส่หน้าทับบรรทุกผนัง.....	97
4.6.7	การใส่หน้าทับบรรทุกพื้น.....	98
4.6.8	แรงดัดที่กระทำกับโครงสร้างอาคาร.....	100
4.7	การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเรียนโดยตำแหน่งที่ตั้งอาคารเรียน.....	102
4.7.1	โปรแกรมทำการตรวจสอบโมเดล.....	102
4.7.2	การแสดงผลการเสียรูปทรง.....	103
4.7.3	การแสดงผลแรงภายใน.....	106
4.7.4	การนำผลมาทำการวิเคราะห์หาค่าต่างๆ และตรวจสอบ.....	110
4.7.4.1	ตรวจสอบโมเมนต์พลิกคว่ำ.....	110
4.7.4.2	ตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น.....	112
4.7.4.3	ตรวจสอบผลของ P-Delta.....	113
4.7.4.4	ตรวจสอบเสารับแรงอัดและแรงดัดสองทิศทางพร้อมกัน (Rectangular columns in biaxial bending).....	114
4.8	ทดสอบการออกแบบอาคารเรียน ที่มีแรงแผ่นดินไหว.....	116
4.8.1	ออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	116
4.9	การวิเคราะห์รูปแบบเสริมกำลัง เพื่อด้านแผ่นดินไหว.....	122
ก.	ระบบโครงแกนตรงศูนย์ แบบ Braced.....	122
4.9.1	ทำการวิเคราะห์ซ้ำเมื่อเสริมกำลังด้วยโครงแกนตรงศูนย์ แบบ Braced.....	123
4.9.1.1	ตรวจสอบโมเมนต์พลิกคว่ำ แบบ Braced.....	124

4.9.1.2	ตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น	
	แบบ Braced	125
4.9.1.3	ตรวจสอบผลของ P-Delta แบบ Braced	126
4.9.1.4	การแสดงผลแรงภายใน แบบ Braced	126
4.9.1.5	การออกแบบอาคารที่มีการเสริมกำลัง แบบ Braced	130
ข.	ระบบโครงแกนแข็งเอียงศูนย์ แบบ Inverted V	133
4.9.2	ทำการวิเคราะห์ซ้ำเมื่อเสริมกำลังด้วยโครงแกนแข็งเอียงศูนย์	
	แบบ Inverted V	134
4.9.2.1	ตรวจสอบโมเมนต์พลิกคว่ำ แบบ Inverted V	135
4.9.2.2	ตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น	
	แบบ Inverted V	136
4.9.2.3	ตรวจสอบผลของ P-Delta แบบ Inverted V	137
4.9.2.4	การแสดงผลแรงภายใน แบบ Inverted V	137
4.9.2.5	การออกแบบอาคารที่มีการเสริมกำลัง แบบ Inverted V	140
ค.	ระบบโครงแกนแข็งเอียงศูนย์ แบบ Knee Braced	146
4.9.3	การวิเคราะห์ซ้ำเมื่อเสริมกำลังด้วยโครงแกนแข็งเอียงศูนย์	
	แบบ Knee Braced	147
4.9.3.1	ตรวจสอบโมเมนต์พลิกคว่ำ แบบ Knee Braced	148
4.9.3.2	ตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น	
	แบบ Knee Braced	149
4.9.3.3	ตรวจสอบผลของ P-Delta แบบ Knee Braced	149
4.9.3.4	การแสดงผลแรงภายใน แบบ Knee Braced	150
4.9.3.5	การออกแบบอาคารที่มีการเสริมกำลัง แบบ Knee Braced	153
4.10	แรงเฉือนที่ฐานอาคารเรือน (Seismic Base Shear)	158
4.11	เปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น	
	และโมเมนต์คดในเสา	159
4.12	ตรวจสอบโครงสร้างเดิมภายหลังการเสริมกำลัง	
	รูปแบบที่เลือก (แบบ Inverted V)	166
4.12.1	ตรวจสอบคานภายหลังการเสริมกำลัง แบบ Inverted V	
	เทียบกับหน้าตัดคานเดิม	166

4.12.2 ตรวจสอบเสถียรภาพหลังการเสริมกำลัง แบบ Inverted V	
เทียบกับหน้าตัดเสาเดิม.....	167
4.13 การศึกษาเพิ่มเติม.....	169
5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	171
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	171
5.2 อภิปรายผล.....	176
5.3 ข้อเสนอแนะตามผลการศึกษา.....	177
เอกสารอ้างอิง.....	178
ภาคผนวก ก ประมาณราคาในการเสริมกำลัง/หลัง.....	180
ภาคผนวก ข ภาพประกอบอาคารเรียนสปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว)	
จากภัยพิบัติแผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 จ.เชียงราย.....	182
ภาคผนวก ค บันทึกข้อความขออนุญาตนำแบบรูปารายการอาคารเรียนมาศึกษา.....	185
ประวัติผู้เขียน.....	187

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว.....	9
2.2 การคำนวณขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆ.....	15
2.3 อันดับความรุนแรงแผ่นดินไหวตามมาตราเมอร์แคลลี(MM).....	15
2.4 สัมประสิทธิ์ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร(I).....	26
2.5 สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวนอน(K).....	27
2.6 สัมประสิทธิ์การประสานความถี่ธรรมชาติของอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร(S).....	28
2.7 ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง.....	32
2.8 ความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง (Plan Structure Irregularities).....	35
2.9 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้น (S_s) และที่คาบ 1 วินาที (S_1) ของแผ่นดินไหว รุนแรงสูงสุดที่พิจารณา.....	42
2.10 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร F_a	47
2.11 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร F_v	48
2.12 การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร และค่าตัวประกอบ ความสำคัญของอาคาร.....	50
2.13 การแบ่งประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{DS}	52
2.14 การแบ่งประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{D1}	52
2.15 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_o) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d).....	53
2.16 วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อคำนวณผลของแรงแผ่นดินไหวที่อนุญาตให้ใช้ได้.....	60
2.17 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a).....	62
2.18 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e) สำหรับวิธีการอย่างง่าย.....	69
4.1 ค่าแรงน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่และแรงแผ่นดินไหวจากโปรแกรม.....	110
4.2 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x.....	112
4.3 สัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (θ).....	113
4.4 ค่าแรงน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่และแรงแผ่นดินไหว จากโปรแกรม แบบ Braced.....	124

4.5	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Braced	125
4.6	สัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (θ) แบบ Braced	126
4.7	ค่าแรงน้ำหนักรรทุกคงที่และแรงแผ่นดินไหว จากโปรแกรม แบบ Inverted V	135
4.8	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Inverted V	136
4.9	สัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (θ) แบบ Inverted V	137
4.10	ค่าแรงน้ำหนักรรทุกคงที่และแรงแผ่นดินไหว จากโปรแกรม แบบ Knee Braced	148
4.11	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Knee Braced	149
4.12	สัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (θ) แบบ Knee Braced	149
4.13	รวมค่าแรงน้ำหนักรรทุกคงที่ (Dead Load) หรือน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล	158
4.14	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x โดยตำแหน่งที่ตั้งอาคาร (ปกติ) ทิศทาง X	159
4.15	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Braced ในทิศทาง X	159
4.16	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Inverted V ในทิศทาง X	159
4.17	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Knee Braced ในทิศทาง X	160
4.18	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x โดยตำแหน่งที่ตั้งอาคาร (ปกติ) ทิศทาง Y	161
4.19	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Braced ในทิศทาง Y	161
4.20	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Inverted V ในทิศทาง Y	161
4.21	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Knee Braced ในทิศทาง Y	162
4.22	เปรียบเทียบรูปแบบเสริมกำลังและเหล็กรูปพรรณ เพื่อด้านแผ่นดินไหว	164

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 อาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว) ที่ได้รับความเสียหายจากภัยพิบัติแผ่นดินไหว จังหวัดเชียงราย.....	2
1.2 ความเสียหายบริเวณคอเสารับคานชั้น 2 ของอาคารเรียน.....	3
2.1 แผนที่รอยเลื่อนที่มีพลังในประเทศไทย.....	7
2.2 รอยเลื่อนชนิดต่าง ๆ.....	8
2.3 การเคลื่อนตัวของหินหลอมละลายได้เปลือกโลก.....	10
2.4 แนวแผ่นดินไหวของโลก.....	11
2.5 จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว.....	11
2.6 ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหวชนิดต่างๆ.....	12
2.7 ตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวใกล้และไกลจากการตรวจวัด.....	13
2.8 แผนที่แสดงระดับความรุนแรงในประเทศไทย (ตามตารางที่ 2.3).....	17
2.9 ตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวในประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง.....	18
2.10 บริเวณที่มีผลบังคับใช้ตามกฎหมายกระทรวงฯ พ.ศ. 2550.....	25
2.11 การกระจายค่า V เป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่างๆ.....	29
2.12 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของอาคาร (Δ_x).....	30
2.13 การพิจารณาความมั่นคงของโครงสร้างเนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง.....	31
2.14 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง.....	34
2.15 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง.....	36
2.16 แผนที่แสดงแนวสำรวจวัดค่าสภาพด้านทานไฟฟ้า L1, L2, L3 และแบบหยั่งลึก VES1, 2.....	44
2.17 ภาพแนวสำรวจ บริเวณโรงเรียนสันกลางวิทยา.....	44
2.18 แปลความหมายชั้นหินแนวสำรวจพื้นที่โรงเรียน.....	45
2.19 การแปลความหมายจุดวัดค่าสภาพด้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก.....	46
2.20 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศ (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} \leq S_{DS}$	49
2.21 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศ (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$	49

2.22	การพิจารณาค่าการเคลื่อนที่ด้านข้างของชั้นอาคาร	65
2.23	แผนที่การแบ่งกลุ่มความเร็วลมอ้างอิง ($\bar{V}$)	68
3.1	แบบการเสริมกำลังด้วยโครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์	71
3.2	ขั้นตอนดำเนินการศึกษา	72
3.3	แบบแปลนพื้นชั้นล่าง-ชั้นบน อาคารเรียน สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น(บันไดด้านเดียว)	73
3.4	แบบรูปด้าน 1 และ 2 อาคารเรียน สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น(บันไดด้านเดียว)	74
3.5	แบบรูปด้าน 3 และ 4 อาคารเรียน สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น(บันไดด้านเดียว)	75
3.6	แบบแปลนฐานราก – คาน คอ ดินชั้นล่าง ของอาคารเรียน	76
3.7	แบบแปลนคานชั้นบน – โครงหลังคา อาคารเรียน	77
4.1	กำหนดกริดและชั้นของอาคารเรียนเบื้องต้น	83
4.2	แก้ไขกำหนดกริดและชั้นของอาคารเรียนอื่นๆ	84
4.3	เปลี่ยนหน่วยให้ตรงกับกำลังของวัสดุ kgf,cm	84
4.4	การใส่ค่าคุณสมบัติวัสดุของคอนกรีต	85
4.5	การใส่ค่าคุณสมบัติวัสดุของเหล็กรูปพรรณ	86
4.6	การใส่ค่าคุณสมบัติวัสดุของเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SR 24	88
4.7	การใส่ค่าคุณสมบัติวัสดุของเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD 40	89
4.8	ตัวอย่างการใส่คุณสมบัติของเสา C1	90
4.9	หน้าตัดเสา C1 ตามแบบรูปรายการที่นำมาศึกษา	91
4.10	ตัวอย่างการใส่คุณสมบัติของคาน B4	92
4.11	การใส่ค่าพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม SR 24 และ SD30	93
4.12	การจำลองโครงสร้างอาคารเรียน	94
4.13	การวาดโครงสร้างอาคาร	96
4.14	ตัวอย่างการใส่น้ำหนักบรรทุกคงที่ของผนัง (Dead Load)	98
4.15	ตัวอย่างการใส่น้ำหนักบรรทุกจรของพื้น (Live Load)	99
4.16	กำหนดค่าแรงลมและสร้าง Diaphragm รับแรงด้านข้าง	100
4.17	กำหนดค่าแรงแผ่นดินไหวตามตำแหน่งที่ตั้งอาคารและมาตรฐาน มยผ.1302	101
4.18	ตรวจสอบโมเดลอาคารเรียน	102
4.19	การเลือกรูปทรงจากโปรแกรม ETABS 2013	103
4.20	ตัวอย่างเลือกกรณีบรรทุกการเลือกรูปทรง	104

4.21	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift) ทิศทาง Y และ X	105
4.22	โมเมนต์ดัดในคานจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)	106
4.23	แผนภูมิแรงเฉือนในคาน (Dead Load)	107
4.24	โมเมนต์ดัดในเสาจากแรงแผ่นดินไหว ทิศทาง Y (EQK Y)	108
4.25	กราฟตอบสนองของชั้นในทิศทาง Y	109
4.26	การพิจารณาค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น	113
4.27	การตรวจสอบเสารับแรงอัดและแรงดัดสองทิศทางพร้อมกัน	114
4.28	การเลือก Design Code และกำหนดกรณีบรรทุก	116
4.29	การจัดน้ำหนักบรรทุกเพื่อการออกแบบ	117
4.30	ประเภทการออกแบบและการรวมแรงเพื่อการออกแบบ	118
4.31	ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมและตำแหน่งวิบัติของเฟรมโครงสร้าง	119
4.32	ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมและพื้นที่เหล็กรับแรงเฉือน ชั้นล่าง	120
4.33	ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมและพื้นที่เหล็กรับแรงเฉือน ชั้นบน	120
4.34	ตำแหน่งเสาวิบัติจากการออกแบบของโปรแกรม	121
4.35	แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา	121
4.36	ตำแหน่งเสริมกำลัง เพื่อด้านแผ่นดินไหว	122
4.37	ตำแหน่งเสริมกำลัง แบบ Braced	122
4.38	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift) ทิศทาง Y (แบบ Braced)	123
4.39	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift) ทิศทาง X (แบบ Braced)	124
4.40	โมเมนต์ดัดในคานจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แบบ Braced	126
4.41	แผนภูมิแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคาน จากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แบบ Braced	127
4.42	โมเมนต์ดัดในเสาจากแรงแผ่นดินไหว (EQK) ทิศทาง X และ Y แบบ Braced	128
4.43	กราฟการตอบสนองของชั้นในทิศทาง X แบบ Braced	129
4.44	ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมและตำแหน่งวิบัติ ของเฟรมโครงสร้าง แบบ Braced	130
4.45	ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม ชั้นล่าง จากการออกแบบเสริมกำลังแบบ Braced	131
4.46	ตำแหน่งเสาวิบัติ ชั้นบน จากการออกแบบเสริมกำลัง แบบ Braced	132

4.47	ออกแบบการเสริมกำลัง แบบ Braced ด้วยเหล็กรูปพรรณ	132
4.48	ตำแหน่งเสริมกำลัง แบบ Inverted V	133
4.49	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift) ทิศทาง Y (แบบ Inverted)	134
4.50	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift) ทิศทาง X (แบบ Inverted V)	135
4.51	โมเมนต์ดัดในคานจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แบบ Inverted V	137
4.52	แผนภูมิแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคาน จากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แบบ Inverted V	138
4.53	โมเมนต์ดัดในเสาจากแรงแผ่นดินไหว (EQK) ทิศทาง X และ Y แบบ Inverted V	139
4.54	กราฟการตอบสนองของชั้นในทิศทาง X แบบ Inverted V	140
4.55	ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมและตำแหน่งวิบัติ ของเฟรมโครงสร้าง แบบ Inverted V	141
4.56	ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม ชั้นล่าง จากการออกแบบเสริมกำลัง แบบ Inverted V	142
4.57	ตำแหน่งเสาวิบัติ ชั้นบน จากการออกแบบเสริมกำลัง แบบ Inverted V	142
4.58	แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา แบบ Inverted V	143
4.59	ออกแบบการเสริมกำลังแบบ Inverted V ด้วยเหล็กรูปพรรณ	144
4.60	ตำแหน่งเสริมกำลังแบบ Knee Braced	146
4.61	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift) ทิศทาง Y แบบ Knee Braced	147
4.62	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift) ทิศทาง X แบบ Knee Braced	147
4.63	โมเมนต์ดัดในคานจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แบบ Knee Braced	150
4.64	แผนภูมิแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคาน จากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แบบ Knee Braced	151
4.65	โมเมนต์ดัดในเสาจากแรงแผ่นดินไหว (EQK) ทิศทาง X และ Y แบบ Knee Braced	152
4.66	กราฟการตอบสนองของชั้นในทิศทาง Y แบบ Knee Braced	153
4.67	ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมและตำแหน่งวิบัติ ของเฟรมโครงสร้าง แบบ Knee Braced	154
4.68	ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม ชั้นล่าง จากการออกแบบเสริมกำลังแบบ Knee Braced	155

4.69 ตำแหน่งเสาวิบัติ ชั้นบน จากการออกแบบเสริมกำลัง แบบ Knee Braced	155
4.70 เสาวิบัติจากแรงตามแนวแกนเหล็กรูปพรรณเสริมกำลัง (Axial Force) แบบ Knee Braced	156
4.71 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา แบบ Knee Braced	156
4.72 ออกแบบการเสริมกำลังแบบ Knee Braced ด้วยเหล็กรูปพรรณ	157
4.73 น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล	158
4.74 กราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ในทิศทาง X	160
4.75 กราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ในทิศทาง Y	162
4.76 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดในเสาในทิศทาง Y ตำแหน่ง Line 9-ก ช่วงชั้น Story1-2	165
4.77 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม (Maximum) ชั้นบน ตำแหน่งเสริมกำลัง	166
4.78 ปริมาณเหล็กเสริมและหน้าตัดของคานเดิม จากแบบรูปายการ	166
4.79 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมของเสา ภายหลังการเสริมกำลัง แบบ Inverted V	167
4.80 ปริมาณเหล็กเสริมและหน้าตัดของเสาเดิม จากแบบรูปายการ	168
4.81 การตรวจสอบเสารับแรงอัดและแรงดัดสองทิศทางพร้อมกัน (รูปซ้าย) และแสดง ปริมาณ พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมจากแบบรูปายการอาคารเรียน(รูปขวา)	168
4.82 การตรวจสอบเสารับแรงอัดและแรงดัดสองทิศทางพร้อมกัน กรณีเสริมกำลังด้วยขนาดหน้าตัดเหล็กรูปพรรณแตกต่างกัน	169

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

หลังจากประเทศไทยประสบภัยพิบัติแผ่นดินไหวที่จังหวัดเชียงราย เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ได้เกิดความเสียหายขึ้นกับโครงสร้าง อาคารขนาดเล็ก และอาคารขนาดกลาง เป็นจำนวนมาก อาทิ เช่น บ้านพักอาศัย ตึกแถว โรงเรียน หอพัก สำนักงานขนาดเล็ก ศาสนสถาน เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ของอาคารสิ่งปลูกสร้างเหล่านี้ มีลักษณะโครงสร้างที่ออกแบบเพื่อรับแรงในแนวดิ่งเท่านั้น และการให้รายละเอียดเหล็กเสริมที่เป็นแบบไร้ความเหนียว ในปัจจุบันเป็นที่ตระหนักกันดีแล้วว่า แผ่นดินไหวรุนแรงในระดับที่สร้าง ความเสียหายให้กับชีวิตและทรัพย์สินนั้น ไม่ใช่เรื่องไกลตัวอีกต่อไป

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) มีโรงเรียนในสังกัดที่ได้รับ ความเสียหาย จำนวน 16 แห่ง อาคารเรียน 19 หลัง จากหนังสือที่ ศธ 04006/1039 ลงวันที่ 27 พฤษภาคม 2557 อาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว) (รูปที่ 1.1) ได้รับความเสียหายและรื้อถอนมากที่สุด ดังนั้น ด้วยความอนุเคราะห์แบบรูปอาคารดังกล่าว จากหน่วยงาน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ หาสาเหตุในเชิงวิชาการ ภายใต้กฎกระทรวง พ.ศ.2550 (ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522) ที่ทำให้อาคารเรียนได้รับความเสียหาย จากภัยพิบัติแผ่นดินไหว โดยการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรม ETABS 2013 หรือ โปรแกรมอื่นที่เป็นที่ยอมรับในทางวิศวกรรม เพื่อจัดทำตารางการวิเคราะห์และรูปแบบแนะนำ สำหรับวิศวกรทั่วไปสามารถนำไปเป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ด้านแผ่นดินไหว ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของความเสียหายของอาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว) (รูปที่ 1.2) จากภัยพิบัติแผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ของโรงเรียนสันกลางวิทยา อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย
- 1.2.2 เพื่อศึกษารูปแบบเสริมกำลังด้วยโครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์และเฉียงศูนย์ ให้กับโครงสร้างอาคารเรียน ที่จะลดความเสียหายจากภัยพิบัติแผ่นดินไหวใน ลักษณะต่างๆและเปรียบเทียบความเหมาะสม หากเกิดในพื้นที่จังหวัดอื่นตาม กฎกระทรวง
- 1.2.3 เพื่อตรวจสอบโครงสร้างเดิม ภายหลังจากการเสริมกำลังเมื่อมีแรงกระทำเพิ่มกับ โครงสร้าง อาคารยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้โดยปลอดภัยหรือไม่

1.2.4 เพื่อจัดทำตารางการวิเคราะห์และรูปแบบแนะนำสำหรับวิศวกรทั่วไปสามารถนำไปเป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านแผ่นดินไหว



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 1.1 อาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว) ที่ได้รับความเสียหายจากภัยพิบัติแผ่นดินไหว จังหวัดเชียงราย



รูปที่ 1.2 ความเสียหายบริเวณคอเสารับคานชั้น 2 ของอาคารเรียน

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาเฉพาะงานโครงสร้างของอาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น มีขนาด 9.00 x 36.00 x 8.70 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ซึ่งเป็นแบบอาคารเรียนแบบมาตรฐาน ในสังกัด สพฐ. ลักษณะเป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ พื้นสำเร็จรูปหรือหล่อในที่ ที่โครงหลังคาเหล็กรูปพรรณ มุงหลังคากระเบื้องลอนคู่ ฐานรากแผ่หรือฐานรากเสาเข็ม
- 1.3.2 วิเคราะห์โครงสร้างอาคารเรียนโดยใช้โปรแกรม ETABS 2013 และโปรแกรม MS Excel หรือโปรแกรมอื่นที่เป็นที่ยอมรับในทางวิศวกรรม
- 1.3.3 พิจารณาแรงแผ่นดินไหวโดยอ้างอิงกฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทาน

แรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 (ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522)

- 1.3.4 ศึกษาผลของความเสียหายของโครงสร้างอาคารเรียน จากภัยพิบัติแผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 โดยอ้างอิงมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยพ.1301-54, มยพ.1302 และมยพ.1311-50) หรือ ACI-318 ออกแบบโดยวิธีกำลัง (STRENGTH DESIGN) ซึ่งค่าตัวแปรระดับความรุนแรงต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจะเน้นไปที่จังหวัดเชียงราย
- 1.3.5 กำหนดการรับน้ำหนักบรรทุกทุกตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 6 เป็นไปตามข้อกำหนดในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ตามมาตรฐานของ ASCE 7-05 และ AISC 7-05

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

- 1.4.1 ได้ทราบถึงผลของความเสียหายของอาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว) จากภัยพิบัติแผ่นดินไหว
- 1.4.2 ได้ทราบถึงรูปแบบเสริมกำลังให้กับตัวอาคารเรียนที่เหมาะสมเพื่อลดความเสียหายจากภัยพิบัติแผ่นดินไหว หากเกิดในพื้นที่จังหวัดอื่นตามกฎกระทรวง
- 1.4.3 ได้ตารางการวิเคราะห์และรูปแบบแนะนำสำหรับวิศวกรทั่วไปสามารถนำไปเป็นแนวทาง ในการออกแบบโครงสร้างอาคารด้านแผ่นดินไหว
- 1.4.4 ได้ทราบถึงงบประมาณโดยสังเขปภายหลังการเสริมกำลังให้กับโครงสร้างอาคารเรียน

1.5 คำนิยามศัพท์เฉพาะ

อาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น คือ อาคารเรียนแบบสำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติจำนวน 4 ห้องเรียน ปี พ.ศ.2529 เป็นอาคารเรียน 2 ชั้น ของโรงเรียนสันกลางวิทยา อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรม

ในการศึกษาและสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย เรื่องปัญหาผลความเสียหายของอาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น(บันไดด้านเดียว)จากภัยพิบัติแผ่นดินไหว วันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ที่จังหวัดเชียงราย กรณีอาคารเรียน โรงเรียนสันกลางวิทยา ในสังกัด สพฐ. กระทรวงศึกษาธิการ ครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้รวบรวมเอกสาร ข้อมูล ระเบียบกฎหมาย และทฤษฎีเฉพาะที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแผ่นดินไหว

2.1.1 แผ่นดินไหวและรอยเลื่อนที่มีพลังในประเทศไทย

แผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติที่เกิดจากเคลื่อนตัวโดยฉับพลันของเปลือกโลกบริเวณขอบของแผ่นเปลือกโลกที่แนวแผ่นดินไหว เพราะหินในชั้นหลอมละลายที่อยู่ใต้เปลือกโลกได้รับความร้อนจากแกนโลกและลอยตัวผลักดันให้เปลือกโลกแต่ละชั้นมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ โดยมีการสะสมพลังงานไว้ เมื่อพลังงานมีมากจึงชนและเสียดสีกันหรือแยกออกจากกัน โดยการสะสมของพลังงานที่เปลือกโลกจะถูกส่งผ่านไปยังเปลือกพื้นโลกของทวีป รอยร้าวของหินใต้พื้นโลกเรียกว่า “รอยเลื่อน” และหากรอยเลื่อนที่มีอยู่ได้รับแรงอัดมาก ๆ ก็จะทำให้เกิดแผ่นดินไหวได้เช่นเดียวกัน โดยรอยเลื่อนที่จะส่งผลให้เกิดผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย ได้แก่ แนวในมหาสมุทรอินเดีย สุมাত্রา พม่า และรอยเลื่อนในประเทศพม่า จีนตอนใต้ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว รอยเลื่อนภายในประเทศส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันตก โดยรอยเลื่อนที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินไหวในอดีตประเทศไทยจำแนกออกเป็น 9 รอยเลื่อน ได้แก่

1. รอยเลื่อนเชียงแสน วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนบนสุดของประเทศ มีความยาวประมาณ 130 กิโลเมตร โดยเริ่มต้นจากแนวร่องน้ำแม่จันไปทางทิศตะวันออก ผ่านอำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย แล้วข้ามด้านใต้ของอำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงรายไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือตามแนวลำน้ำเงิน ทางด้านเหนือของอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2521 มีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่กว่า 3 ริกเตอร์ เกิดตามแนว รอยเลื่อนนี้ 10 ครั้ง และ 3 ครั้งมีขนาดใหญ่กว่า 4.5 ริกเตอร์ และเป็นแผ่นดินไหวที่เกิดในระดับตื้นกว่า 10 กิโลเมตร
2. รอยเลื่อนแพร่ อยู่ทางด้านตะวันออกของแอ่งแพร่ และวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเริ่มต้นจากด้านตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอเด่นชัย ผ่านไปทางด้านตะวันออกของ

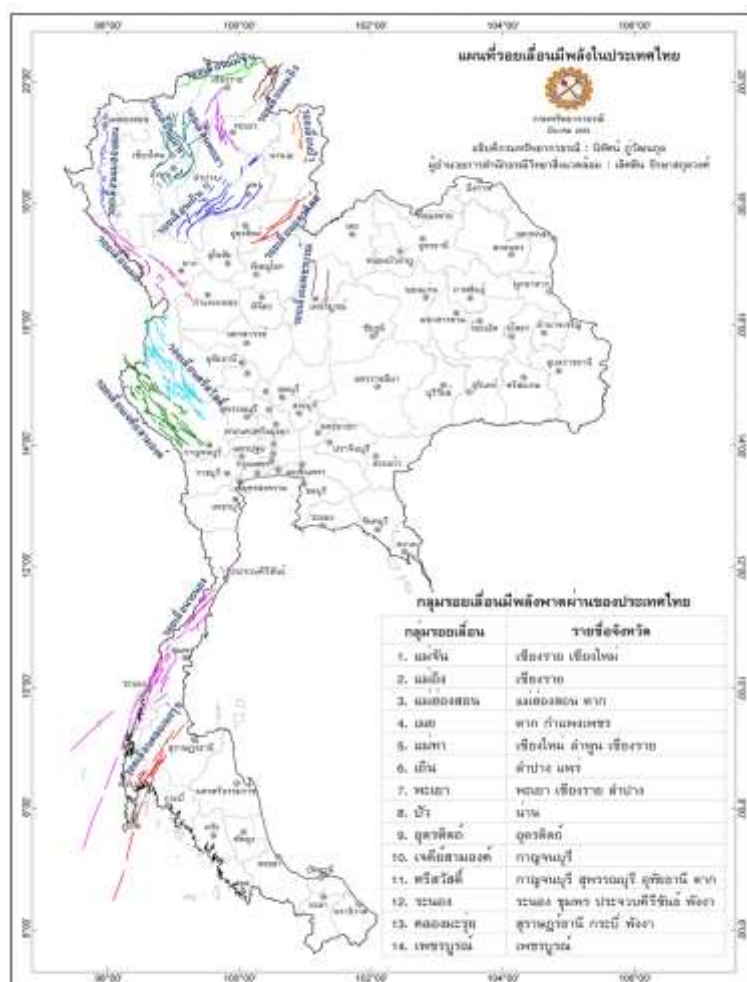
อำเภอสูงเม่น และจังหวัดแพร่ ไปจนถึงด้านตะวันออกเฉียงเหนือของอำเภอร้องกวาง รวมความยาวทั้งสิ้นประมาณ 115 กิโลเมตร มีแผ่นดินไหวขนาด 3-4 ริกเตอร์ เกิดตามแนวรอยเลื่อนนี้กว่า 20 ครั้ง ในรอบ 10 ปี ที่ผ่านมามีแผ่นดินไหวขนาด 3 ริกเตอร์ ซึ่งเกิดเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2533 ที่ผ่านมามีเกิดตามแนวรอยเลื่อนซึ่งแยกจากรอยเลื่อนแพร่ไปทางทิศเหนือ

3. รอยเลื่อนแม่ทา มีแนวเป็นรูปโค้งตามแนวลำน้ำแม่ว่อง และแนวลำน้ำแม่ทา ในเขตจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน มีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 55 กิโลเมตร
4. รอยเลื่อนเถิน อยู่ทางทิศตะวันตกของรอยเลื่อนแพร่ โดยตั้งต้นจากด้านตะวันตกของ อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง ไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ ขนานกับรอยเลื่อนแพร่ไปทางด้านเหนือของอำเภอเถิน ไปทางตะวันออกเฉียงเหนือขนานกับรอยเลื่อนแพร่ ไปทางด้านเหนือของอำเภอวังชิ้น และอำเภอลอง จังหวัดแพร่ รวมความยาวทั้งหมดประมาณ 90 กิโลเมตร เคยมีรายงานการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 3.7 ริกเตอร์ บนรอยเลื่อนนี้ เมื่อวันที่ 23 ธันวาคม 2521
5. รอยเลื่อนเมย-อุทัยธานี วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ ตั้งต้นจากลำน้ำเมย ชายแดนไทยพม่า ด้านจังหวัดตาก บริเวณห้วยแม่ท้อ และลำน้ำปิงได้ ผ่านจังหวัดกำแพงเพชร และจังหวัดนครสวรรค์ จนถึงเขตจังหวัดอุทัยธานี รวม 250 กิโลเมตร มีรายงานแผ่นดินไหวเกิดตามรอยเลื่อนนี้ 2 ครั้ง คือ เมื่อวันที่ 23 กันยายน 2476 ที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก และเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2518 ที่ อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก แผ่นดินไหวครั้งหลังนี้มีขนาด 5.6 ริกเตอร์
6. รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ อยู่ทางด้านตะวันตกของรอยเลื่อนเมย-อุทัยธานี โดยมีทิศทางเกือบขนานกับแนวของรอยเลื่อน อยู่ในร่องน้ำแม่กลองและแควใหญ่ ตลอดขึ้นไปจนถึงเขตแดนพม่า รวมความยาวกว่า 500 กิโลเมตร บริเวณนี้มีรายงานแผ่นดินไหวขนาดเล็กหลายร้อยครั้ง ตามแนวรอยเลื่อนนี้ เคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่สุด ขนาด 5.9 ริกเตอร์ เมื่อปี 2526
7. รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ อยู่ในลำน้ำแควน้อยตลอดสาย และต่อไปจนถึงรอยเลื่อนสะแกง (Sakaing Fault) ในประเทศพม่า ความยาวของรอยเลื่อนช่วงที่อยู่ในประเทศไทยยาวกว่า 250 กิโลเมตร มีรายงานแผ่นดินไหวจากรอยเลื่อนนี้หลายพันครั้ง
8. รอยเลื่อนระนอง วางตัวตามแนวร่องน้ำของแม่น้ำกระบุรี มีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 270 กิโลเมตร มีรายงานแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2521 มีขนาด 5.6 ริกเตอร์

9. รอยเลื่อนคลองมะรุ่ยตัดผ่านด้านตะวันออกของเกาะภูเก็ต เข้าไปในอ่าวพังงา และตามแนวคลองมะรุ่ย คลองชะอุ่น และคลองพุมดวงทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ จนถึงอ่าวบ้านดอน ระหว่างอำเภอพุนพินกับอำเภอลำปาง จังหวัดสุราษฎร์ธานี รวม 150 กิโลเมตร บริเวณนี้เคย เกิดแผ่นดินไหวในปี 2476 ที่จังหวัดพังงา และทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ นอกฝั่งภูเก็ต เมื่อ ปี พ.ศ.2519 และ พ.ศ. 2542 (ปริญา นุตาลัย, 2533)

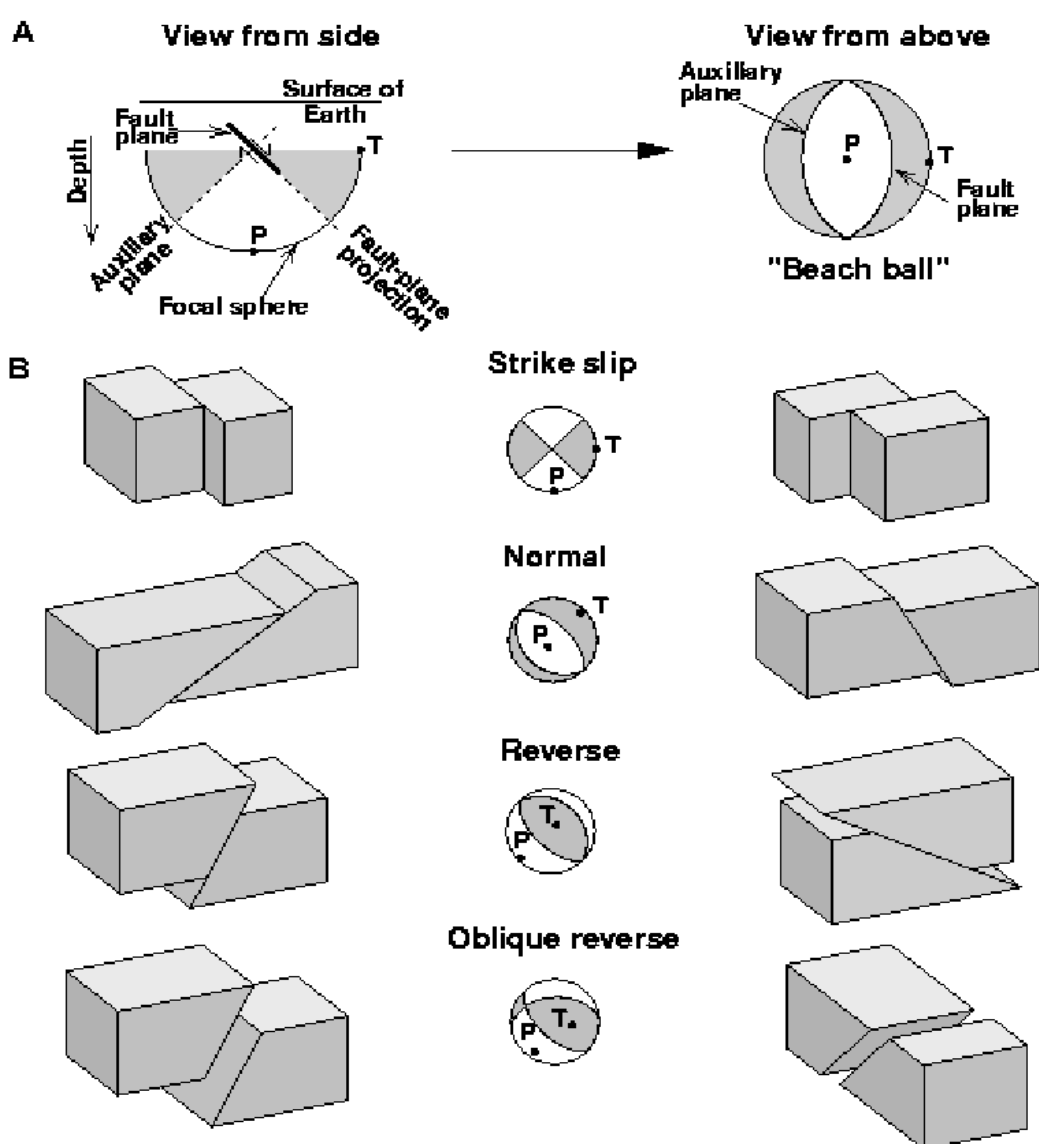
แผ่นดินไหวถือเป็นภัยพิบัติที่มนุษย์ไม่สามารถพยากรณ์ได้อย่างถูกต้อง แต่สิ่งที่จำเป็นในการเผชิญหน้ากับแผ่นดินไหว คือการเตรียมความพร้อมรับการเกิดแผ่นดินไหว การให้ความรู้แก่ประชาชน พร้อมกับการออกกฎหมายควบคุมสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ให้สามารถรองรับแรงแผ่นดินไหวตามสภาพพื้นที่ และต้องมีการวางแผนการจัดการที่ดีหากเกิดความเสียหายร้ายแรงหลังจากเกิดเหตุแผ่นดินไหวเพื่อลดความสูญเสียที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้

แผนที่รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย ฉบับล่าสุด จัดทำโดย กรมทรัพยากรธรณี (2555) แสดงการกระจายตัวของรอยเลื่อนมีพลัง ซึ่งพบมากในบริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันตก และภาคใต้ของประเทศไทย แบ่งได้เป็น 14 กลุ่มรอยเลื่อน (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 แผนที่รอยเลื่อนที่มีพลังในประเทศไทย

ปัจจุบันความรู้ความเข้าใจในเรื่องของลักษณะรอยเลื่อนเพิ่มขึ้น รอยเลื่อนสามารถแบ่งออกตามลักษณะการเคลื่อนตัวในทิศทางต่างๆ (ดังแสดงในรูปที่ 2.2) เนื่องจากรอยเลื่อนในประเทศไทยมีด้วยกันหลายแนว แต่รอยเลื่อนทุกแนวนั้นมีใช้เป็นที่เกิดแผ่นดินไหว มีเพียงบางแนวที่ยังเคลื่อนตัวได้ ถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ขนาดของแผ่นดินไหวที่เกิดจากรอยเลื่อนจะมากหรือน้อยขึ้นกับความยาวของแนวรอยเลื่อน และระยะทางที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัว หรือระยะจัด (Displacement) หากเคลื่อนตัวได้มากก็จะเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ เช่น แผ่นดินไหวขนาด 7 ริกเตอร์ อาจมีระยะจัดประมาณใกล้เคียง 1 เมตรหรือมากกว่า



รูปที่ 2.2 รอยเลื่อนชนิดต่างๆ

2.1.2 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว

การเกิดแผ่นดินไหวอาจมีด้วยกันหลายสาเหตุดังนี้

ตารางที่ 2.1 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว

เกิดภายในโลก	เกิดภายนอกโลก	ทั้งภายในและภายนอกโลก
- แผ่นดินไหวจากกลอยเลื่อน - ระเบิดใต้ดิน - การไหลหมุนเวียนของน้ำใต้ดิน - การเคลื่อนตัวของหินหลอมละลาย - การเปลี่ยนแปลงสถานะใต้ดิน - การทำเหมือง - การยุบตัวใต้ดิน	- ลม ความดันบรรยากาศ - คลื่นในทะเล - ความสั่นสะเทือนจากกิจกรรมของมนุษย์ ระเบิด เชื้อขนาดใหญ - การชนของอุกกาบาต	- การระเบิดของภูเขาไฟ - แผ่นดินถล่ม

ตัวอย่างการเกิดแผ่นดินไหวโดยธรรมชาติ

- แผ่นดินไหวเกิดจากแรงภายในเปลือกโลก (Tectonic Earthquake)
- แผ่นดินไหวเกิดจากภูเขาไฟระเบิด (Volcano Eruption)
- แผ่นดินไหวเกิดจากการยุบตัวหรือพังทลายของโพรงใต้ดิน (Implosion)
- ความสั่นสะเทือนจากคลื่นมหาสมุทร (Oceanic Microseism)

ตัวอย่างการเกิดแผ่นดินไหวโดยการกระทำของมนุษย์

- เหตุการณ์ที่ควบคุมได้ เช่น การระเบิด หรือจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ เช่น การจราจร เครื่องจักร เครื่องยนต์ การระเบิดบนพื้นผิวหรือใต้ดิน เป็นต้น
- แผ่นดินไหวจากการกระตุ้น (Induced or Triggered Events) เช่น การสร้างอ่างเก็บน้ำ การทำเหมือง การฉีดของเหลวลงใต้ดิน เป็นต้น

โดยทั่วไปแผ่นดินไหวที่ทำความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์เป็นจำนวนมาก ได้แก่แผ่นดินไหวซึ่งเกิดจากแรงเทคโทนิกในเปลือกโลก ปัจจัยที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวเนื่องจากแรงเทคโทนิกนี้ ได้แก่

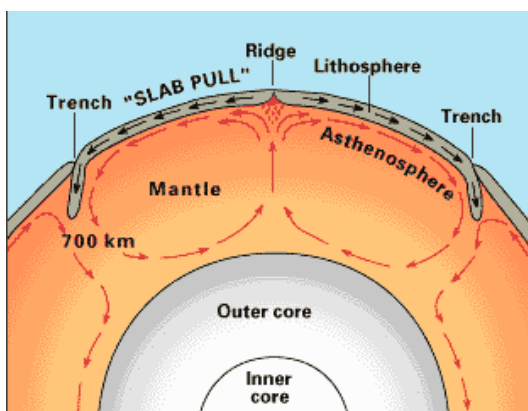
ก. ลักษณะโครงสร้างของโลก ซึ่งสามารถแบ่งได้คร่าว ๆ เป็น 3 ส่วน คือ

- ส่วนที่เป็นแกนโลกอยู่ลึกที่สุดและมีอุณหภูมิสูงมากซึ่งเป็นต้นกำเนิดทำให้ชั้นหินหลอมละลายมีการเคลื่อนตัว

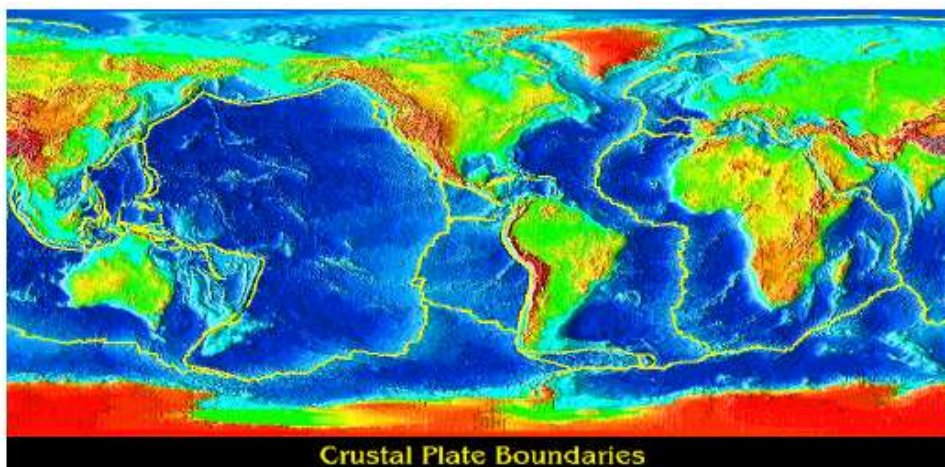
- ส่วนที่เป็นชั้นหินหลอมละลาย เป็นของแข็งแต่มีคุณสมบัติของการเคลื่อนตัวคล้ายของเหลว แต่มีความเร็วช้ามากอยู่ในระดับหลายเซนติเมตรต่อปี
- ส่วนที่เป็นเปลือกโลก เปลือกโลกที่ห่อหุ้มโลกอยู่มีความหนาน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของโลก และไม่ได้เป็นชั้นเดียวกัน แบ่งออกเป็นชั้นใหญ่ๆ ได้ประมาณ 10 ชั้น

ข. การเคลื่อนตัวของเปลือกโลกชั้นต่างๆ

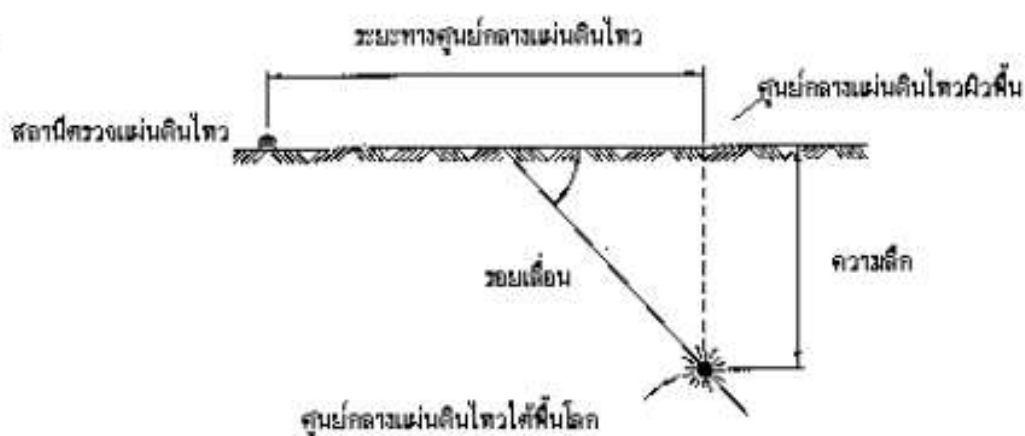
เนื่องจาก ชั้นหินหลอมละลายได้รับพลังงานความร้อนจากแกนโลกและลอยตัวขึ้น ผลักดันเปลือกโลกอยู่ตลอดเวลา ดังรูปที่ 2.3 เปลือกโลกแต่ละชั้นจะมีทิศทางการเคลื่อนตัวต่างๆ กัน พร้อมกับสะสมพลังงาน ไว้ภายในบริเวณตรงขอบของเปลือกโลกจึงเป็นส่วนที่มีการชนกันหรือเสียดสีกัน หรือแยกจากกัน หากบริเวณขอบของชั้นเปลือกโลกใดๆ ที่ไม่สามารถทนแรงอัดได้ก็จะแตกหักและมีการเคลื่อนตัวโดยฉับพลัน หรือบางครั้งผลักดันให้เปลือกโลกอีกชั้นคดโค้งต้อจากนั้นเมื่อสะสมพลังงานมากก็จะดีดตัวกลับเพื่อรักษาสสมดุล กระตุ้นให้เกิดความสั่นสะเทือนแผ่กระจายไปทุกทิศทาง บริเวณนี้จะเป็นบริเวณที่มีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ โดยบริเวณขอบของแผ่นเปลือกโลกเป็นบริเวณแนวแผ่นดินไหวของโลกดังรูปที่ 2.3 หากพาดผ่านหรืออยู่ใกล้กับประเทศใด ประเทศนั้นจะมีความเสี่ยงต่อภัยแผ่นดินไหวค่อนข้างสูง เช่น ประเทศญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ ชิลี สหรัฐอเมริกา เป็นต้น นอกจากนั้นแรงที่สะสมในเปลือกโลกยังถูกส่งผ่านเข้าไปในพื้นที่ปตรงบริเวณรอยร้าวของหินใต้พื้นโลกหรือที่เรียกว่า รอยเลื่อน (Fault) ในกรณีที่รอยเลื่อนใดๆ ไม่สามารถทนแรง ที่บีบอัดได้ก็จะมี การเคลื่อนตัวอย่างฉับพลันเช่นกัน เพื่อปรับความสมดุลของแรง กระตุ้นให้เกิดแผ่นดินไหว กระจายคลื่นความสั่นสะเทือนไปทุกทิศทาง เรียกบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวภายในเปลือกโลกใต้พื้นดินว่า ศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่แท้จริง (Hypocenter) และเรียกบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวตรงผิวพื้นข้างบนซึ่งสามารถกำหนดพิกัดเป็นค่าบลที่ ละติจูดและลองจิจูดว่าศูนย์กลางแผ่นดินไหวบนผิวพื้น



รูปที่ 2.3 การเคลื่อนตัวของหินหลอมละลายใต้เปลือกโลก



รูปที่ 2.4 แนวแผ่นดินไหวของโลก



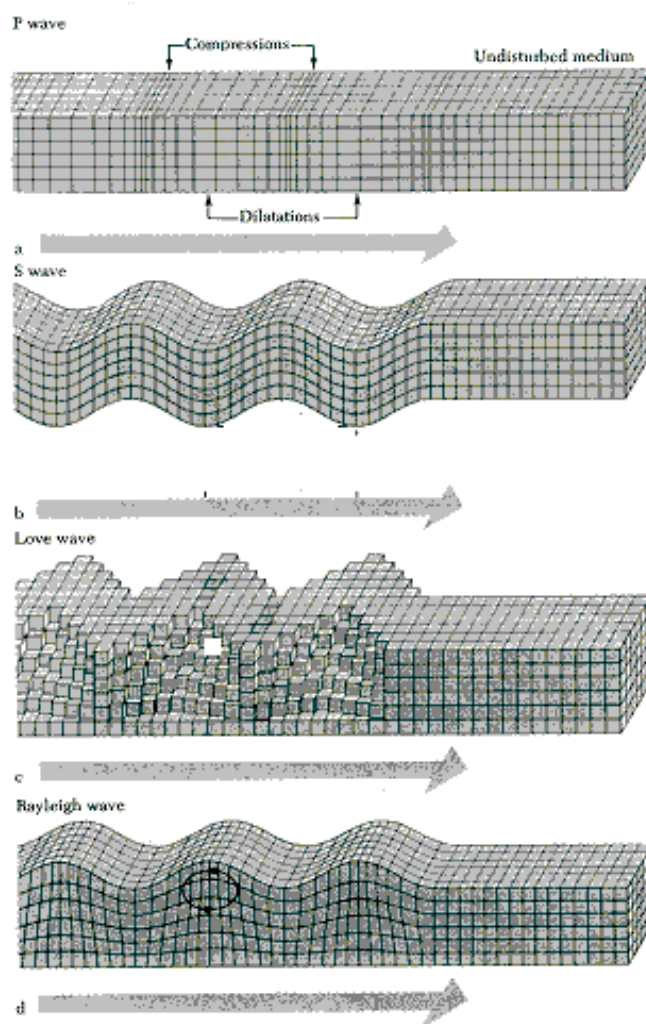
รูปที่ 2.5 จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว

2.1.3 ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหว

ความสั่นสะเทือนของพื้นดินนั้นมีลักษณะการเคลื่อนตัวของอนุภาคหินหรือดินแบบ 3 มิติ คือสามารถวัดการเคลื่อนตัวในแนวระนาบของทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก ตะวันตก และแนวตั้ง ทั้งนี้ คลื่นแผ่นดินไหวสามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน 2 แบบได้แก่ แบบวัดความเร็วของอนุภาคดินหรือหิน (Seismograph) ซึ่งสามารถวิเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหวเพื่อกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว ขนาด เวลาเกิด ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของโลก ลักษณะของแนวรอยเลื่อน กลไกการเกิดแผ่นดินไหว และแบบวัดอัตราเร่งของพื้นดิน ได้แก่ เครื่องวัดอัตราเร่งของพื้นดิน (Accelerograph) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับงานด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหว ในบริเวณพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

คลื่นแผ่นดินไหวแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

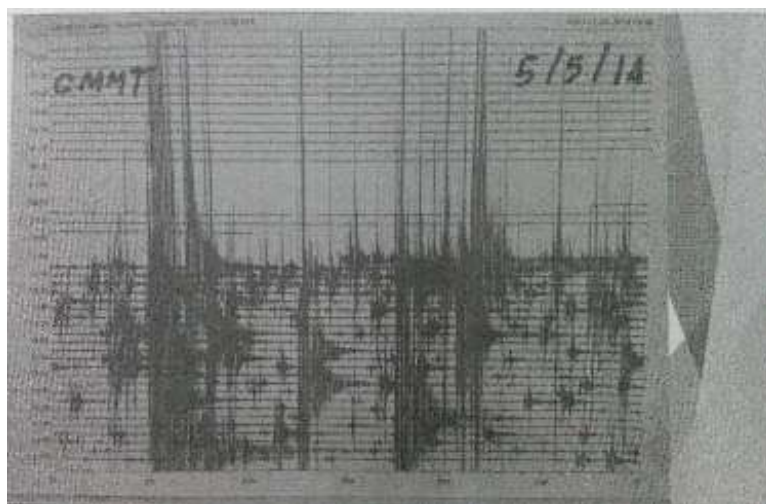
- คลื่นหลัก (Body Wave) เป็นคลื่นที่เดินทางอยู่ภายในโลก ได้แก่ คลื่น P อนุภาคของดินเคลื่อนที่ไปตามแนวแรง และคลื่น S อนุภาคดินเคลื่อนที่ไปตามแนวระนาบ ทิศเหนือใต้ และตะวันออกตะวันตก ความยาวช่วงคลื่นหลักอยู่ระหว่าง 0.01-50 วินาที
- คลื่นผิวพื้น (Surface Wave) ได้แก่คลื่นเลฟ (Love :LQ) อนุภาคดินเคลื่อนที่ในแนวระนาบเหมือนการเคลื่อนที่ของงูเลื้อย และคลื่น เรย์เลห์ (Rayleigh :LR) อนุภาคของดินเคลื่อนที่เหมือนคลื่น P แต่ขณะเดียวกันมีการเคลื่อนตัวแบบย้อนกลับ ความยาวช่วงคลื่นผิวพื้นประมาณ 10-350 วินาที (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.6 ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหวชนิดต่างๆ

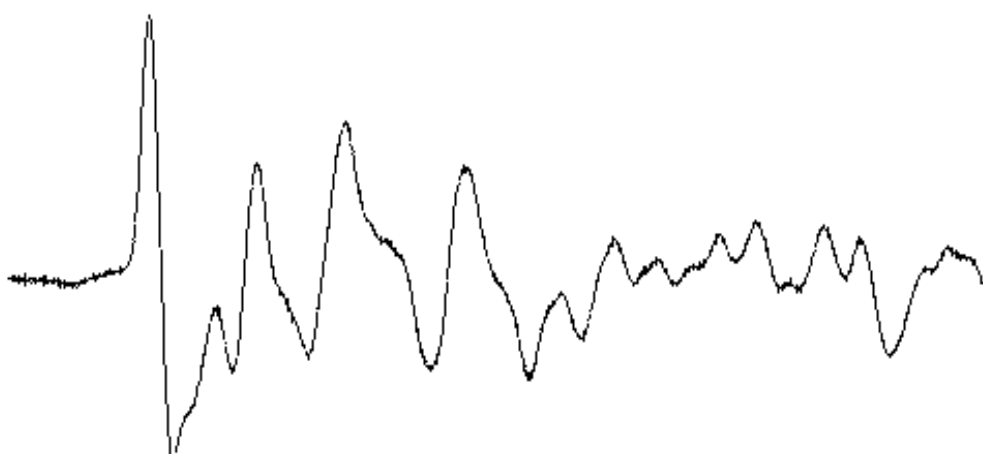
ตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวจากการตรวจวัด

ตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวใกล้และคลื่นแผ่นดินไหวไกล ตามลำดับ (รูปที่ 2.7)



บุรินทร์ เวชบรรเทิง (2557) ฐานข้อมูลสารสนเทศด้านแผ่นดินไหว. **ลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย**. 11. ณ ห้องกมลทิพย์ โรงแรมสุโกศล. 4 มิถุนายน 2557

แผ่นดินไหวในวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 เวลา 18.08 น. บริเวณตำบลดงมะดะ อำเภอมะลาว จังหวัดเชียงราย ขนาด 6.3 ริกเตอร์ (www.seismology.tmd.go.th, รายงานการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณจังหวัดเชียงราย)



คลื่นแผ่นดินไหว ใกล้ บริเวณ ประเทศจีน เมื่อ 3 กันยายน 2541 ขนาด 6.5 ริกเตอร์

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวใกล้และไกลจากการตรวจวัด

2.1.4 ปริมาณสำหรับการวัดแผ่นดินไหว

ขนาด (Magnitude)

เป็นปริมาณที่มีความสัมพันธ์กับพลังงานที่พื้นโลกปลดปล่อยออกมาในรูปของการสั่นสะเทือน คำนวณได้จากการตรวจวัดค่าความสูงของคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหว เป็นปริมาณที่บ่งชี้ขนาด ณ บริเวณจุดศูนย์กลาง ผู้เสนอแนวความคิดเรื่องขนาดของแผ่นดินไหวคนแรกคือ “ริคเตอร์” (C.F.Richter) ชาวอเมริกัน เมื่อ พ.ศ. 2473 เราจึงนิยมเรียกว่า “ขนาดแผ่นดินไหวตามมาตราริคเตอร์” ขนาดในการวัดแผ่นดินไหวมีหลายมาตรา ได้แก่

มาตราท้องถิ่น (Local Magnitude : ML) ใช้แสดงขนาดของแผ่นดินไหวในท้องถิ่นที่มีระยะทางไม่เกิน 10 องศา ละติจูด (1200 กิโลเมตร)

มาตราคลื่นหลัก (Body-wave Magnitude : MB) ใช้แสดงขนาดของแผ่นดินไหวที่คำนวณจากคลื่นหลัก (คลื่นแรก) โดยทั่วไปใช้กับแผ่นดินไหวไกลที่มีระยะทางมากกว่า 1,200 กม.

มาตราคลื่นผิวพื้น (Surface-wave Magnitude : MS) ใช้แสดงขนาดของแผ่นดินไหวที่คำนวณจากคลื่นที่ผิวพื้น (คลื่นเลิฟหรือคลื่นเรย์เลห์) โดยทั่วไปใช้กับแผ่นดินไหวจากทางไกลที่มีความลึกไม่เกิน 50 กิโลเมตร

มาตราขนาดโมเมนต์ (Moment magnitude : Mw) แสดงถึงปริมาณพลังงานของคลื่นแผ่นดินไหวได้ดีกว่าขนาดอื่น สามารถวิเคราะห์ได้จาก โมเมนต์แผ่นดินไหว (Mo.Seismic Moment) โดยที่ Mo สามารถคำนวณได้หลายวิธี เช่น จากการวิเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหวซึ่งค่อนข้างซับซ้อนหรือจากการสำรวจทางธรณีวิทยา เพื่อหาผลคูณของการขจัดของรอยเลื่อนเมื่อเกิดแผ่นดินไหว (Fault displacement) และปริมาณพื้นที่ของรอยเลื่อน (Fault surface area) ส่วนใหญ่ขนาดของ Mw ใช้สำหรับกรณีแผ่นดินไหวระยะไกล ที่มีขนาดใหญ่

ซึ่งขนาดของ **ML MB** และ **MS** สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยสูตรคำนวณซึ่ง Gutenberg และ Richter เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1956 ดังนี้

$$MS - MB = 0.40 \quad (MS - 7.0)$$

$$MS - ML = 0.32 \quad (ML - 6.6)$$

$$ML - MB = 0.40 \quad (MB - 6.0)$$

$$MS - ML = 0.47 \quad (MS - 6.7)$$

ตารางที่ 2.2 การคำนวณขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆ

ขนาด	สูตรคำนวณ	คลื่นแผ่นดินไหว	ความยาวช่วงคลื่น (วินาที)	การตรวจวัด
ML	Log A-Log Ao	S	0.1-1.0	displacement
MB,mb	Log(A/T)+Q(h,D)	P	1.0-5.0	velocity
Ms	Log A+1.66LogD+2.0	Surface	20	velocity
Mw	(2/3logMo)-10.7	Surface	>200	velocity

มาตราวัดความรุนแรง (Intensity)

วัดจากความรู้สึกของคนและสัตว์หรือผลกระทบที่เกิดขึ้นกับอาคารสิ่งก่อสร้างสภาพภูมิประเทศที่เปลี่ยนไปเนื่องจากแผ่นดินไหว โดยเทียบหาอันดับความรุนแรงได้จากตารางสำเร็จที่บอกรายละเอียดของผลกระทบไว้เรียบร้อยแล้ว ความรุนแรงมีหลายมาตรา ได้แก่

- มาตราโรสซี – ฟอเรล (Rossi – Forel : Rf Scale) แบ่งออกเป็น 10 อันดับ
- มาตราเจเอ็มเอ (Japan Meteorological Agency : JMA Scale) แบ่งออกเป็น 8 อันดับ (0 - 7)
- มาตราเมอร์แคลลีที่ปรับปรุงแล้ว (Modified Mercalli : MM Scale) แบ่งออกเป็น 12 อันดับ (I – XII) ตั้งแต่อันดับ I เป็นแผ่นดินไหวที่ไม่สามารถรู้สึกได้นอกจากตรวจวัดได้ด้วยเครื่องตรวจแผ่นดินไหวเท่านั้น ไปจนถึงอันดับ XII เป็นแผ่นดินไหวที่ทำลายทุกสิ่งทุกอย่าง สำหรับประเทศไทยใช้มาตราวัดอันดับความรุนแรงตามมาตราเมอร์แคลลี (ตารางที่ 2.3)

มาตราวัดอันดับความรุนแรงของความสั่นสะเทือนโดยเมอร์แคลลี (ปรับปรุงใหม่)

Modified Mercalli Scale of 1931 Adapted from Seiberg' s Mercalli – Cancani scale,modified and condensed)

ตารางที่ 2.3 อันดับความรุนแรงแผ่นดินไหวตามมาตราเมอร์แคลลี (MM)

อันดับ	เหตุการณ์แผ่นดินไหว
I	เป็นอันดับที่อ่อนมาก ตรวจวัดได้โดยเครื่องมือเท่านั้น
II	พอรู้สึกได้สำหรับผู้ที่อยู่นิ่ง ๆ ในอาคารสูง ๆ
III	พอรู้สึกได้สำหรับผู้ในบ้าน แต่คนส่วนใหญ่ยังไม่รู้สึก
IV	ผู้ในบ้านรู้สึกว่ของในบ้านสั่นไหว
V	รู้สึกเกือบทุกคนของในบ้านเริ่มแกว่งไกว
VI	รู้สึกได้กับทุกคนของหนักในบ้านเริ่มเคลื่อนไหว

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

อันดับ	เหตุการณ์แผ่นดินไหว
VII	ทุกคนต่างตกใจ สิ่งก่อสร้างเริ่มปรากฏความเสียหาย
VIII	เสียหายค่อนข้างมากในอาคารธรรมดา
IX	สิ่งก่อสร้างที่ออกแบบไว้อย่างดี เสียหายมาก
X	อาคารพัง รางรถไฟบิดงอ
XI	อาคารสิ่งก่อสร้างพังทลายเกือบทั้งหมด ผิวโลกปูถนนและเลื่อนเป็นคลื่นพื้นดินอ่อน
XII	ทำลายหมดทุกอย่าง มองเห็นเป็นคลื่นบนแผ่นดิน

2.1.5 ค่าอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน (Peak Ground Acceleration)

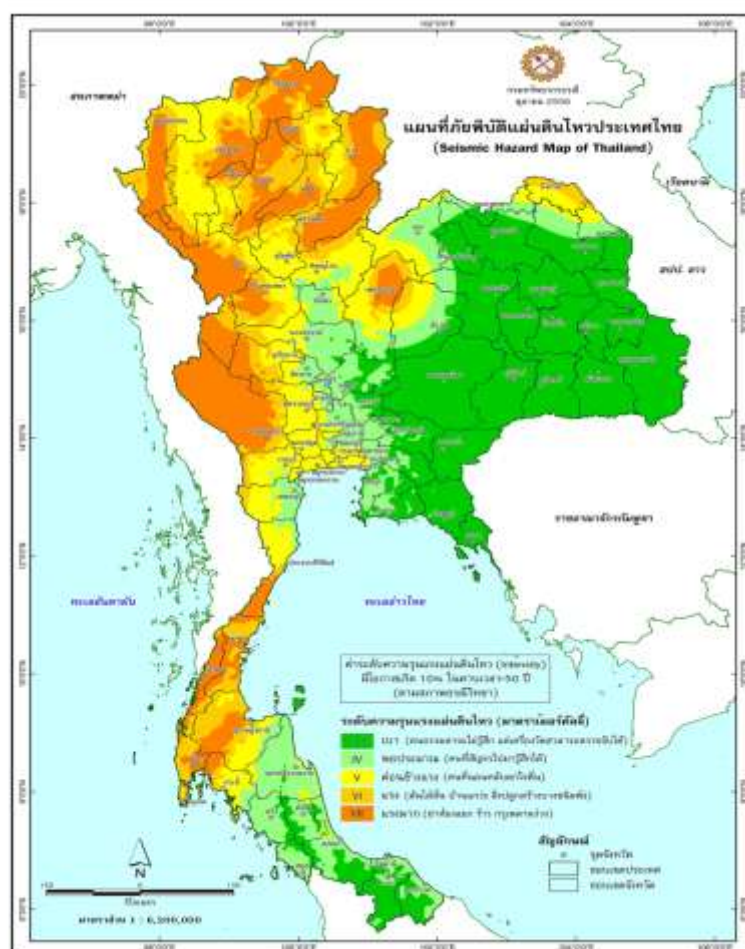
ค่าอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน (Peak Ground Acceleration : PGA) เป็นค่าที่มีความสำคัญในการออกแบบเชิงวิศวกรรมของอาคารในบริเวณที่มีความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวมีหน่วยเป็นค่าอัตราเร่งฟุต/วินาที² หรือ เซนติเมตร/วินาที² หรือ เป็นสัดส่วนของค่าอัตราเร่งหรือแรงโน้มถ่วงของโลก (% ของค่า g) หรือหน่วยเป็น gal (ประมาณ 980 gal เท่ากับ 1 g) ค่า PGA สามารถหาได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือจากการวิเคราะห์จากคลื่นความสั่นสะเทือนที่ตรวจวัด แผนที่ความรุนแรงแผ่นดินไหวสูงสุดในประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง (Maximum Intensity Map)

ผลของการศึกษาข้อมูลในประวัติศาสตร์ซึ่งรวบรวม นับย้อนหลังไปถึง 624 ปี ก่อนคริสตกาล ถึงปี พ.ศ. 2527 จากแหล่งข้อมูลต่างๆ อาทิเช่น จาก ศิลาจารึก พงศาวดาร ปุ้ม บันทึกลับจดหมายเหตุ หนังสือพิมพ์ เอกสารต่างๆ และข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปัจจุบันซึ่งตรวจวัดด้วยเครื่องมือ และรายงานความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในบริเวณต่างๆ ของประเทศไทย ทำให้สามารถจัดทำแผนที่แสดงความรุนแรงแผ่นดินไหวสูงสุดในประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง (แสดงดังรูปที่ 2.8) ซึ่งแสดงถึงเหตุการณ์ความรู้สึก ลักษณะของการสั่นไหวของวัตถุ ความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้าง ต่างๆ เขียนเป็นเส้นแสดงความรุนแรงสูงสุดที่ได้คัดเลือกจากข้อมูลดังกล่าว ทั้งหมด ข้อมูลนี้สามารถเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานด้านวิศวกรรม การก่อสร้างในอนาคต ให้สามารถรับแรงที่เคยเกิดขึ้นจากแผ่นดินไหวในอดีต ณ บริเวณที่สนใจ เพราะมีแนวคิดทางด้านแผ่นดินไหวว่า ในบริเวณที่เป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว จะมีปรากฏการณ์ที่เรียกว่าการเวียนเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว (Return Period) โดยแผ่นดินไหวขนาดใหญ่จะมีการเวียนเกิดซ้ำยาวนาน

พลังงานแผ่นดินไหว (Seismic Energy) สามารถประมาณค่าได้จากขนาด mb และ Ms ด้วยสูตรง่ายๆ ของ Gutenberg และ Richter ดังนี้

$$\text{Log } E = 5.8 + 2.4 \text{ mb หรือ } \text{Log } E = 11.8 + 1.5 \text{ Ms}$$

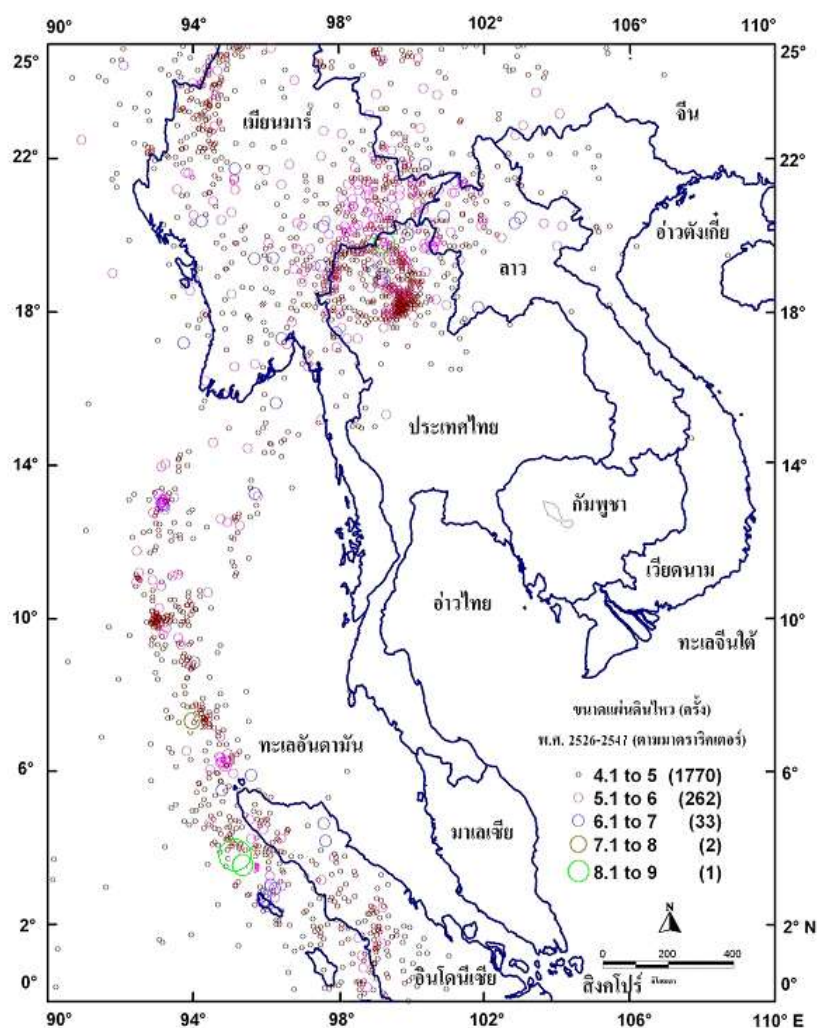
โดยทั่วไป เมื่อเกิดแผ่นดินไหว ณ ที่แห่งใดแห่งหนึ่งและ ส่งพลังงานออกไปรอบทิศ ค่าพลังงานของความสั่นสะเทือนจะลดทอนลงตามระยะทาง (Attenuation of Ground motion) ปัจจัยที่ทำให้เกิดการลดทอน ของพลังงาน ได้แก่ เส้นทางเดินของคลื่นความสั่นสะเทือน ความลึกของแผ่นดินไหว ทิศทางการวางตัวของรอยเลื่อน และ สภาพธรณีวิทยา เช่น ในกรณีที่เดินทางในชั้นหิน พลังงานจะถูกลดทอนลงมากตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น แต่บางครั้งพลังงานอาจขยายมากขึ้นเมื่อเดินทางผ่านบริเวณที่เป็นดินอ่อน เนื่องจากมีความไวต่อการเคลื่อนที่ได้ดีกว่า ดังนั้นจึงมีปรากฏการณ์ของความเสียหายไม่เท่าเทียมกันของบริเวณต่างๆ แม้ว่าเกิดแผ่นดินไหวเหตุการณ์เดียวกัน บางครั้งสำหรับบริเวณที่ห่างจากศูนย์กลางแผ่นดินไหวมากกว่าอาจได้รับความเสียหายมากกว่า บริเวณที่ใกล้ศูนย์กลางแผ่นดินไหว



รูปที่ 2.8 แผนที่แสดงระดับความรุนแรงในประเทศไทย (ตามตารางที่ 2.3)

2.1.6 สถิติแผ่นดินไหวในประเทศไทย

แผ่นดินไหวในประเทศไทยนั้นมีการรวบรวมสถิติข้อมูลในอดีตจากหลายแหล่งข้อมูล เช่น ศิลาจารึกพงศาวดาร ปฐม จดหมายเหตุ สิ่งพิมพ์อื่นๆ พบว่าเริ่มต้นบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวในลักษณะของความรุนแรงแผ่นดินไหว (Intensity) ส่วนใหญ่บรรยายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นของแผ่นดินไหว และความเสียหายที่เกิดในช่วงตั้งแต่ 624 ปีก่อนคริสต์ศักราช จนถึงราวปี พ.ศ. 2443 เป็นต้นมา จึงเริ่มมีข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือของเครือข่ายสถานีตรวจแผ่นดินไหวต่างประเทศ แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นแผ่นดินไหวจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวภายในประเทศตรงบริเวณแนวรอยเลื่อนของภาคตะวันตกและภาคเหนือ กับจากแหล่งกำเนิดรอยเลื่อนบริเวณตอนใต้ของประเทศจีน ประเทศพม่า สาธารณรัฐประชาชนจีน ทะเลอันดามัน และบริเวณเกาะสุมาตรา โดยเฉลี่ยเกิดแผ่นดินไหวรู้สึกได้ประมาณปีละ 5-6 ครั้ง



รูปที่ 2.9 ตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวในประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง

2.1.7 อันตรายและความเสียหายจากการเกิดแผ่นดินไหว

การเกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดและความรุนแรงมาก ย่อมก่อให้เกิดอันตรายและผลเสียหาย ดังนี้

1. ประชาชนที่อยู่ในบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหว จะเกิดความตื่นตระหนกตกใจ เสียขวัญ อาจมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน หรือได้รับบาดเจ็บอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ เนื่องจากสิ่งของสิ่งปลูกสร้าง หรืออาคารบ้านเรือนหล่นทับ หรือจากอัคคีภัย อุทกภัย
2. อาคารบ้านเรือน เครื่องใช้ อุปกรณ์ สิ่งก่อสร้างต่างๆ สั่นไหวโยกคลอนเปลี่ยนรูปร่างหักพังทลายลงมา ถนนหนทางถูกทำลาย แผ่นดินแตกแยกมีการทรุดตัวหรือเลื่อนไหลถล่มทางรถไฟบิด โค้งงอ ใช้การไม่ได้ อุปกรณ์บริการสาธารณูปโภคต่างๆ ถูกทำลาย เช่น เสาไฟฟ้า โทรศัพท ท่อน้ำประปา ฯลฯ
3. ผลเสียหายจากการเกิดอัคคีภัยและอุทกภัย เมื่อเกิดแผ่นดินไหว เครื่องใช้และอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะไฟในครัวมักล้ม หล่น ตกแตก ทำให้เชื้อเพลิงถูกตามกระจายไปไหม้สิ่งของ และบ้านเรือนได้อย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดอันตรายและความสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินได้ สำหรับแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรง และเกิดขึ้นบริเวณใกล้ฝั่งหรือในท้องทะเลมักทำให้เกิดคลื่นใต้น้ำที่มี ความเร็วและพลังรุนแรง ซัดโถมเข้าสู่ฝั่งกวาดบ้านเรือน และผู้คนจมหายไปใต้นทะเลได้เป็นจำนวนมาก
4. ผลกระทบต่อเศรษฐกิจหลังจากเกิดแผ่นดินไหวแล้ว ทางราชการหรือหน่วยงานต่างๆ ต้องเสียค่าใช้จ่าย เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยเป็นเงินจำนวนมาก นอกจากนี้ ปัญหาการชะงักหรือความล่าช้าในการติดต่อสื่อสาร ย่อมมีผลกระทบต่อธุรกิจการค้าต่าง ๆ เป็นอย่างมากอีกด้วย

2.1.8 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายจากแผ่นดินไหว

มีปัจจัยหลายประเภทซึ่งเป็นองค์ประกอบสำหรับพิจารณาในเรื่องของความเสียหายมากหรือน้อยจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว ได้แก่

ขนาดและแหล่งกำเนิด

แผ่นดินไหวที่อยู่ในแนวแผ่นดินไหวโลก และเกิดจากแรงเทคโทนิคภายในเปลือกโลก โดยเฉพาะบริเวณที่มีการชนกันของเปลือกโลก มักทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ แผ่นดินไหวที่เกิดจากแนวรอยเลื่อนที่มีความยาวมากๆ จะมีศักยภาพทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ แผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระตุ้นของมนุษย์ มักมีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กถึงปานกลาง เช่น การทำเหมือง การสร้างเขื่อน เป็นต้น แผ่นดินไหวที่อยู่ในแนวแผ่นดินไหวโลก และเกิดจากแรงเทคโทนิคภายในเปลือกโลก โดยเฉพาะบริเวณที่มีการชนกันของเปลือกโลก มักทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่

แผ่นดินไหวที่เกิดจากแนวรอยเลื่อน ที่มีความยาวมากๆ จะมีศักยภาพทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ แผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระตุ้นของมนุษย์มักมีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กถึงปานกลาง เช่น การทำเหมือง การสร้างเขื่อน เป็นต้น

ระยะทาง

โดยปกติแผ่นดินไหวที่มีขนาดเท่ากันแต่ระยะทางต่างกัน ระยะทางใกล้กว่าย่อมมีความสั่นสะเทือนของพื้นดินมากกว่ามีศักยภาพของภัยมาก ยกเว้นในกรณีคลื่นยักษ์ได้นำมาเกิดจากศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่อยู่ไกล

ความลึกของแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหวซึ่งมีความลึกไม่มากหรือแผ่นดินไหวผิวพื้นจะก่อความเสียหายได้มากกว่าแผ่นดินไหวซึ่งมีความลึกหลายร้อยกิโลเมตร ตัวอย่างเช่น แผ่นดินไหวผิวพื้นที่เกิดจากการกระตุ้นของการทำเหมืองในประเทศแอฟริกาใต้มีขนาดประมาณ 5 ริคเตอร์ แต่เนื่องจากมีความลึกไม่ถึง 1 กิโลเมตร ก่อความเสียหายทำให้สิ่งก่อสร้างบริเวณใกล้เคียงพังทลายลง

ทิศทางการเคลื่อนตัวของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว

ทิศทางของการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว มีผลต่อค่า Amplitude ของความสั่นสะเทือนและ การขจัด (Displacement) ของคลื่น P คลื่น S และคลื่นผิวพื้น หากสิ่งก่อสร้าง อาคารบ้านเรือน สร้างบนตำแหน่งที่มีผลกระทบสูง อาจทำให้เกิดความเสียหายมากกว่าตำแหน่งอื่น

เวลาเกิด

เวลาเกิดของแผ่นดินไหวมีผลกระทบต่อความเสียหาย เนื่องจากกิจกรรมบางอย่างที่มนุษย์กระทำหรืออยู่ร่วมกัน มีทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ดังนั้นหากเกิดแผ่นดินไหวในช่วงที่มีกิจกรรมดังกล่าวโอกาสหรือความเสี่ยงที่จะมีความเสียหายรุนแรงเพิ่มขึ้น

ความยาวนานของแผ่นดินไหว

เมื่อเกิดแผ่นดินไหวที่มีความสั่นสะเทือนกินเวลาหลายวินาที ความเสียหายจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวประกอบด้วยคลื่นความสั่นสะเทือนหลายความยาวช่วงคลื่นหรือหลายความถี่ ในกรณีที่แผ่นดินไหวมีความสั่นสะเทือนยาวนาน ณ ความถี่ที่ตรงกับค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารสิ่งก่อสร้างจะช่วยเสริมให้เกิดความเสียหายรุนแรงต่อโครงสร้างได้

ตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว

ตำแหน่งของศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่อยู่ในบริเวณ รกร้าง ในป่าเขา ในทะเล มหาสมุทร ไกลจากชุมชนมาก ความสั่นสะเทือนที่เกิดย่อมมีอันตรายน้อยกว่าแผ่นดินไหวที่มีจุดศูนย์กลางใกล้ชุมชน

สภาพทางธรณีวิทยา

สภาพทางธรณีวิทยามีส่วนอย่างมากในการก่อความเสียหายจากความสั่นสะเทือน บริเวณที่มีการดูดซับพลังงานจากความสั่นสะเทือนได้มากหรือมีค่าการลดทอนพลังงานมาก (High Attenuation) จะได้รับความเสียหายน้อย เช่น ในบริเวณที่เป็นหินแข็ง แต่ในบริเวณที่เป็นดินอ่อนจะช่วยขยายการสั่นสะเทือนของพื้นดินได้มากกว่าเดิมหลายเท่า และความเสียหายจะเพิ่มขึ้นมาก เช่น ในกรณีของแผ่นดินไหว ที่ประเทศเม็กซิโก เมื่อปี ค.ศ. 1985 และในกรณีของประเทศไทย พื้นดินใต้กรุงเทพมหานคร เป็นดินอ่อน มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับพื้นดินใต้เม็กซิโกซิตี ซึ่งสามารถขยายความรุนแรงของการสั่นไหวได้ จากการศึกษาวิจัยพบว่า พื้นดินกรุงเทพมหานครขยายความสั่นสะเทือนได้ดีที่ ความถี่ประมาณ 1 Hz

ความแข็งแรงของอาคาร

อาคารที่สร้างได้มาตรฐานมั่นคงแข็งแรง มีการออกแบบและก่อสร้างให้ต้านแผ่นดินไหวจะสามารถทนต่อแรงสั่นสะเทือนได้ดี เมื่อเกิดแผ่นดินไหวจะเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้อยู่อาศัยได้ในระดับหนึ่ง

การเตรียมพร้อม

บริเวณใดหรือประเทศใดที่มีการเตรียมพร้อมรับมือกับภัยแผ่นดินไหวได้ดี ก่อนที่จะเกิดภัยย่อมสามารถลดหรือบรรเทาภัยแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นได้ ตัวอย่างของ การเตรียมพร้อมรับมือภัยแผ่นดินไหว ได้แก่ การมีมาตรการและระบบจัดการที่เหมาะสมในอนาคตสำหรับเผชิญภัยแผ่นดินไหว การออกกฎหมายควบคุมอาคารให้ต้านรับแผ่นดินไหวตามความเหมาะสมกับความเสี่ยง การจัดผังเมือง กำหนดย่านชุมชนให้ห่างจากบริเวณที่มีความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวสูง การประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนทราบถึง ภัยแผ่นดินไหว วิธีปฏิบัติก่อนเกิด ขณะเกิด และหลังเกิดแผ่นดินไหว การศึกษา วิเคราะห์ วิจัยในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินไหวและวิศวกรรมแผ่นดินไหว การพัฒนา ดัดตั้งเครื่องมือตรวจวัดให้ทันสมัยเพื่อ การศึกษาและการพยากรณ์ (บุรินทร์ เวชบรรเทิง, 2554)

2.2 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทย

2.2.1 ความเป็นมาของ กฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550

ก่อนที่กฎกระทรวงแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 จะประกาศบังคับใช้นั้น ได้มีกฎกระทรวงเกี่ยวกับ การควบคุมการก่อสร้างอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวแล้ว คือ กฎกระทรวงฉบับที่

49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 อันถือได้ว่าเป็นกฎหมายเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวฉบับแรกของประเทศไทย จุดเริ่มต้นของการออกกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) มาจากเหตุแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 22 เมษายน 2526 ที่มีศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่บริเวณเหนือเขื่อนศรีนครินทร์ ในจังหวัดกาญจนบุรี เหตุครั้งนั้นทำให้อาคารหลายหลังในกรุงเทพมหานคร ต้นสะพาน สะพาน ประชาชนจำนวนมากรับรู้ถึงแรงสั่นสะเทือนครั้งนั้นได้ และตื่นตระหนกกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัย กรมโยธาธิการ โดยคณะกรรมการควบคุมอาคาร (ซึ่งเป็นคณะกรรมการที่รับผิดชอบในการให้คำแนะนำรัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยในการออกกฎระเบียบและข้อบังคับเกี่ยวกับการควบคุมอาคารให้มีความปลอดภัย) ตัดสินใจร่างกฎกระทรวงวางข้อกำหนดเกี่ยวกับความมั่นคงแข็งแรงของอาคารใน การต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวขึ้น การยกร่างกฎกระทรวงแล้วเสร็จเมื่อต้นปี 2529 การยกร่างได้อาศัยข้อมูลเชิงเทคนิคจากประมวลข้อบังคับอาคาร Uniform Building Code ของประเทศสหรัฐอเมริกา ปี 2528 ซึ่งในร่างได้กำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวรวมทั้งสิ้น 53 จังหวัด แต่ปรากฏว่า ร่างดังกล่าวไม่ผ่านการพิจารณาของคณะรัฐมนตรี และได้ส่งร่างกลับให้กรมโยธาธิการพิจารณาทบทวนและแก้ไข โดยเฉพาะการพิจารณาเกี่ยวกับผลกระทบเชิงเศรษฐกิจที่ทำให้ราคาก่อสร้างต้องสูงขึ้น รวมทั้งในขณะนั้นหลายฝ่ายต่างมีความเห็นว่าประเทศไทยไม่น่าจะมีความเสี่ยงต่อภัยแผ่นดินไหว และหลังจากที่ได้มีการศึกษาและทบทวนในเรื่องต่างๆ แล้ว คณะกรรมการควบคุมอาคารได้แก้ไขร่างโดยลดพื้นที่เสี่ยงภัยลงเหลือเพียง 10 จังหวัด (เฉพาะพื้นที่ตามแนวรอยเลื่อนต่างๆภายในประเทศ ได้แก่ พื้นที่ในภาคเหนือ 9 จังหวัด และจังหวัดกาญจนบุรี) และลดรายละเอียดเชิงเทคนิคลง เพื่อให้ข้อกำหนดในร่างสามารถนำไปใช้ปฏิบัติ ได้อย่างแท้จริง รวมทั้งเมื่อวันที่ 11 กันยายน 2537 ได้เกิดเหตุแผ่นดินไหวขนาด 5.1 ริคเตอร์ มีศูนย์กลาง อยู่ห่างจากอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ประมาณ 20 กิโลเมตร เหตุการณ์ครั้งนั้นทำให้อาคารหลายหลัง ในอำเภอพานได้รับความเสียหาย อันเป็นส่วนผลักดันให้ร่างผ่านการพิจารณาของคณะรัฐมนตรีและเข้าสู่กระบวนการในการออกกฎกระทรวง จนได้ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2540 และมีผลบังคับใช้ในวันนั้น รวมระยะเวลาในการออกกฎกระทรวงที่ยาวนานกว่า 14 ปี

หลังจากกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ประกาศใช้บังคับได้ระยะเวลาหนึ่ง ในปี 2545 คณะกรรมการแผ่นดินไหวแห่งชาติได้เสนอคณะกรรมการควบคุมอาคารให้พิจารณาปรับปรุงกฎกระทรวงฉบับดังกล่าว โดยขอให้ขยายพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวให้ครอบคลุมถึงพื้นที่กรุงเทพมหานคร และเขตปริมณฑล เนื่องจากชั้นดินฐานรากในพื้นที่ดังกล่าวเป็นดินเหนียวอ่อนที่สามารถขยายแรงสั่นสะเทือนให้รุนแรงขึ้นได้หลายเท่า ทำให้อาคารและสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่ดังกล่าวมีความเสี่ยงในลักษณะที่เรียกว่า “ความเสี่ยงต่อแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ระยะไกล”

ซึ่งคณะกรรมการแผ่นดินไหวแห่งชาติได้ยกรณิเหตุแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2528 ที่มีขนาด 8.1 ริคเตอร์ และมีศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่ห่างจากกรุงเม็กซิโกถึง 350 กิโลเมตร แต่แผ่นดินไหวครั้งนั้นได้สร้างความเสียหายกับกรุงเม็กซิโกอย่างรุนแรง มีผู้เสียชีวิตกว่าหนึ่งหมื่นคน มูลค่าทรัพย์สินเสียหายกว่า 5 พันล้านเหรียญสหรัฐ โดยผลการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญแผ่นดินไหวสรุปได้ว่า ความเสียหายอย่างรุนแรงเกิดขึ้นเพราะสภาพดินฐานรากของกรุงเม็กซิโกเป็นดินเหนียวอ่อน ซึ่งมีคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ที่สามารถขยายคลื่นสั่นสะเทือนให้รุนแรงขึ้น นอกจากนี้การที่กรุงเทพมหานครเป็นศูนย์กลางความเจริญของประเทศและมีชุมชนอยู่อย่างหนาแน่น หากมีความเสียหายเกิดขึ้นจากแผ่นดินไหวจะส่งผลกระทบต่อสภาพสังคมและเศรษฐกิจของประเทศอย่างรุนแรง คณะกรรมการควบคุมอาคารจึงได้พิจารณาแก้ไขปรับปรุงข้อกำหนดในกฎกระทรวง 49 (พ.ศ. 2540) ให้มีความเหมาะสมมากขึ้น ซึ่งใช้เวลาในการร่างประมาณ 2 ปี และใช้เวลาตามกระบวนการในการออกกฎกระทรวงอีกประมาณ 2 ปี จนกระทั่งได้ออกเป็นกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 โดยกฎกระทรวงฉบับนี้ได้ยกเลิกกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ทั้งฉบับ และมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 30 พฤศจิกายน 2550 (เสถียร เจริญเหรียญ, 2557)

2.2.2 เนื้อหาโดยสรุปของกฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550

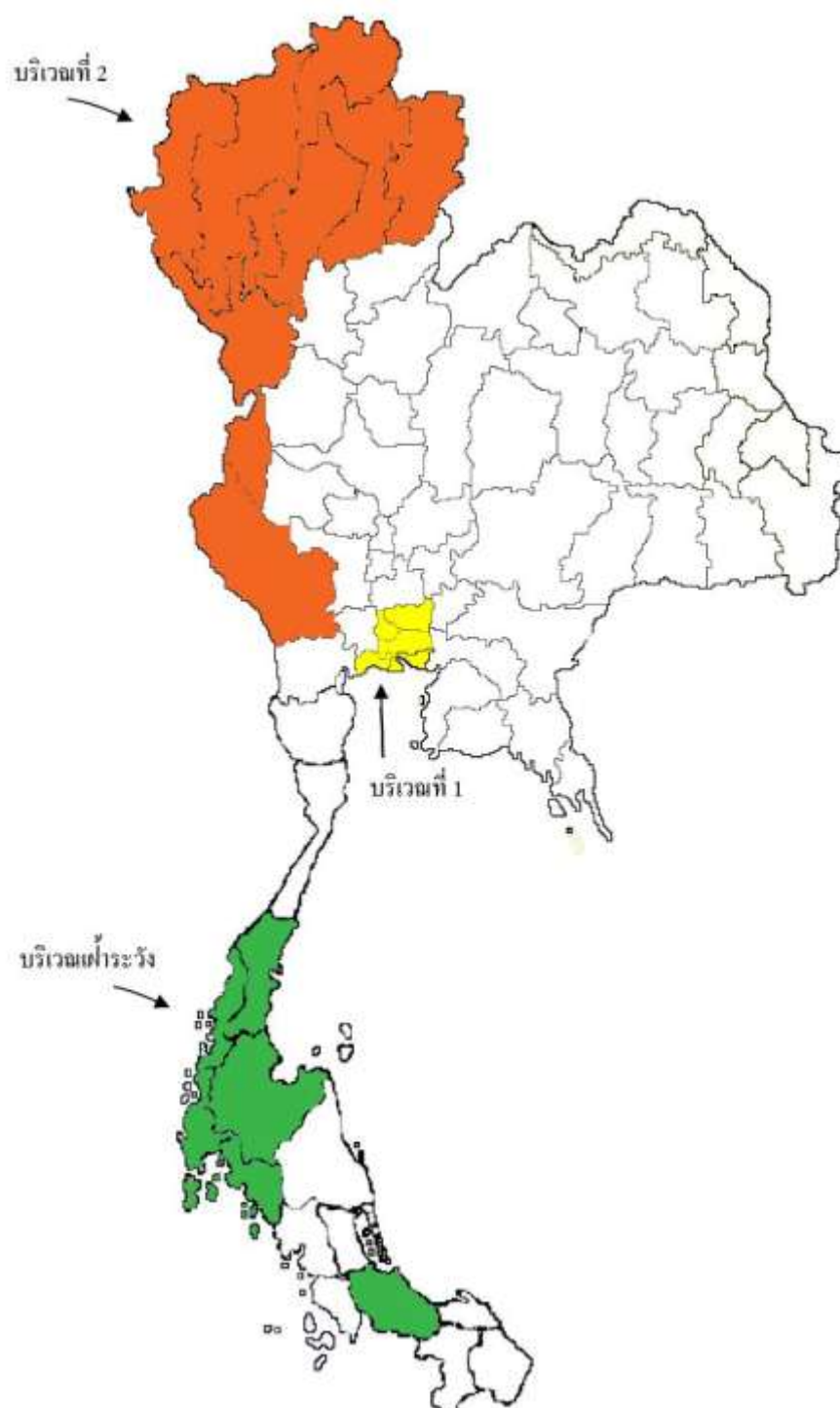
กฎกระทรวงแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 กำหนดให้อาคารบางประเภทในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวจะต้องมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้ในระดับที่เหมาะสม โดยพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่กำหนดในกฎกระทรวงสามารถแยกออกได้เป็น 3 บริเวณ ตามระดับความเสี่ยงจากน้อยไปมาก ดังนี้

- (1) บริเวณเฝ้าระวัง เป็นพื้นที่หรือบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวตามแนวรอยเลื่อนระนองและคลองมะรุ่ยในภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดกระบี่ จังหวัดชุมพรจังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดระนอง จังหวัดสงขลา และจังหวัดสุราษฎร์ธานี รวม 7 จังหวัด
- (2) บริเวณที่ 1 เป็นพื้นที่หรือบริเวณที่เป็นดินอ่อนมาก และได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวระยะไกล ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร รวม 5 จังหวัด

- (3) บริเวณที่ 2 เป็นพื้นที่หรือบริเวณที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนในภาคเหนือและด้านตะวันตก ได้แก่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดตาก จังหวัดน่าน จังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน และจังหวัดกาญจนบุรี รวม 10 จังหวัด โดยการเปรียบเทียบพื้นที่เสี่ยงภัยและตำแหน่งรอยเลื่อนมีพลังของกรมทรัพยากรธรณีแสดงในรูปที่ 2.10

สำหรับประเภทของอาคารที่กฎหมายกำหนดให้ต้องมีความมั่นคงแข็งแรง และสามารถต้านทานการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้เป็นการเฉพาะ ได้แก่ อาคารที่มีบุคคลเข้าไปใช้สอยเป็นจำนวนมาก เช่น อาคารสาธารณะ อาคารชุมนุมคน รวมถึงอาคารที่มีความสูงเกิน 15 เมตร หรืออาคารที่หากเกิดความเสียหายแล้วอาจก่อให้เกิดอันตรายกับสาธารณะ เช่น อาคารเก็บวัตถุอันตราย รวมถึงเขื่อนและสะพาน โดยการกำหนดประเภทอาคารควบคุมจะแยกตามพื้นที่เสี่ยงภัยต่าง ๆ เนื่องจากผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่มีต่ออาคารประเภทต่าง ๆ ในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน

ในการคำนวณแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคาร กฎกระทรวงได้กำหนดวิธีการคำนวณตามลักษณะและรูปทรงอาคาร เช่น อาคารที่เป็นตึกและมีรูปทรงที่เรียบง่าย มีความสมมาตร ไม่มีส่วนหักหรือส่วนเว้า ผู้คำนวณและออกแบบโครงสร้างสามารถใช้สูตรการคำนวณอย่างง่ายที่กำหนดใน กฎกระทรวงได้ แต่หากอาคารมีรูปทรงที่ซับซ้อน ผู้คำนวณและออกแบบต้องใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ (Structural Dynamic) และผู้คำนวณออกแบบต้องได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมตั้งแต่ระดับสามัญวิศวกรขึ้นไป และนอกจากวิธีการคำนวณแล้วกฎกระทรวงยังกำหนดให้ผู้คำนวณและออกแบบโครงสร้าง ต้องพิจารณาและปฏิบัติในบางเรื่อง เช่นการให้รายละเอียดชิ้นส่วน โครงสร้างเพื่อให้โครงสร้างสามารถโยกตัวได้มากขึ้นเมื่อเกิดแผ่นดินไหว (ชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีความเหนียว) โดยรายละเอียดเชิงเทคนิคในเรื่องดังกล่าวให้ เป็นไปตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง



รูปที่ 2.10 บริเวณที่มีผลบังคับใช้ตามกฎหมายฯ พ.ศ. 2550

2.3 ความรู้ทั่วไปในการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว

2.3.1 การคำนวณแรงเฉือนที่กระทำต่ออาคาร จากแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว ตามกฎกระทรวงฉบับใหม่ พ.ศ. 2550 โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

สำหรับโครงสร้างอาคารที่มีรูปทรงสม่ำเสมอ สามารถคำนวณหาแรงแผ่นดินไหวได้โดยใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่า โดยกฎกระทรวงฉบับพ.ศ. 2550 จะอ้างอิงมาจากมาตรฐาน Uniform Building Code (UBC) 1985 ซึ่งค่าของแรงเฉือนทั้งหมดในแนวนอนที่ระดับพื้นดิน (V) หาได้จาก

$$V = ZIKCSW$$

โดย

Z คือ สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว

I ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร

K สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวนอน

C สัมประสิทธิ์ของการสั่นไหวของโครงสร้าง

S สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร

W น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุอุปกรณ์ซึ่งยึดตรึงกับที่ โดยไม่รวมน้ำหนักบรรทุกจร (กรณีอาคารทั่วไป) หรือน้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมกับ 25% ของน้ำหนักบรรทุกจร (กรณีโกดัง หรือ คลังสินค้า)

สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว (Z)

แบ่งเป็น 2 บริเวณ ได้แก่

บริเวณที่ 1 (กรุงเทพฯ, นนทบุรี, ปทุมธานี, สมุทรปราการ, สมุทรสาคร) ใช้ค่า $Z \geq 0.19$

บริเวณที่ 2 (กาญจนบุรี, เชียงราย, เชียงใหม่, ตาก, น่าน, พะเยา, แพร่, แม่ฮ่องสอน, ลำปาง, ลำพูน) ใช้ค่า $Z \geq 0.38$

ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร (I)

ตารางที่ 2.4 สัมประสิทธิ์ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร (I)

ชนิดของอาคาร	ค่าของ I
1. อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชนตามข้อ 3	1.5
2. อาคารที่เป็นที่ชุมนุมคนครั้งหนึ่งๆ ได้มากกว่าสามร้อยคน	1.25
3. อาคารอื่นๆ	1.00

สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวนอน (K)

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวนอน (K)

ระบบและชนิดโครงสร้างรับแรงในแนวนอน	ค่าของ K
(1) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้กำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall) หรือ โครงสร้างแกน (Braced Frame) ด้านแรงทั้งหมดในแนวนอน (2) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงสร้างดัดที่มีความเหนียว (Ductile Moment-Resisting Frame) ด้านแรงทั้งหมดในแนวนอน (3) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงสร้างดัดที่มีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือ โครงสร้างแกนด้านแรงในแนวนอน โดยมีข้อกำหนดในการคำนวณออกแบบ ดังนี้ (ก) โครงสร้างดัดที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวนอนได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงในแนวนอนทั้งหมด (ข) กำแพงรับแรงเฉือนหรือ โครงสร้างแกนเมื่อแยกเป็นอิสระจากโครงสร้างดัดที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวนอนได้ทั้งหมด (ค) โครงสร้างดัดที่มีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือ โครงสร้างแกนต้องสามารถต้านแรงในแนวนอนได้ทั้งหมด โดยสัดส่วนของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างแต่ละระบบ ให้เป็นไปตามสัดส่วนความคงตัว (Rigidity) โดยคำนึงการถ่ายเทของแรงระหว่างโครงสร้างทั้งสอง (4) หอถังน้ำ รองรับด้วยเสาไม่น้อยกว่า 4 ชั้น และมีแกนแข็งและไม่ได้ตั้งอยู่บนอาคาร หมายเหตุ ผลคูณระหว่างค่า K กับค่า C ให้ใช้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.12 และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.29	1.33 0.67 0.80 2.5
(5) โครงสร้างดัดที่มีความเหนียวจำกัดและโครงสร้างระบบอื่นนอกจากโครงสร้างตาม (1) (2) (3) และ (4)	1.0

สัมประสิทธิ์ของการสั่นไหวของโครงสร้าง (C)

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}} \leq 0.12$$

โดย

T คือ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร, วินาที สำหรับอาคารทั่วไป

$$T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{D}} \quad (\text{ก})$$

สำหรับอาคารที่มีโครงสร้างแรงดัดที่มีความเหนียว

$$T = 0.10 \text{ N} \quad (\text{ข})$$

h_n = ความสูงของพื้นอาคารชั้นสูงสุดวัดจากระดับพื้นดิน, m

D = ความกว้างของโครงสร้างของอาคารในทิศทางขนานกับแรงแผ่นดินไหว, m

N = จำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S)

ตารางที่ 2.6 สัมประสิทธิ์การประสานความถี่ธรรมชาติของอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S)

ลักษณะของชั้นดิน	ค่าของ S
(1) หิน	1.0
(2) ดินแข็ง	1.2
(3) ดินอ่อน	1.4
(4) ดินอ่อนมาก	2.5

“หิน” หมายถึง หินทุกลักษณะไม่ว่าจะเป็นหินคล้ายหินเชล (Shale) หรือเป็นผลึกตามธรรมชาติ หรือดินลักษณะแข็งซึ่งความลึกของชั้นดินไม่เกิน 60 เมตร ที่ทับอยู่เหนือชั้นหิน และต้องเป็นดินที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือดินเหนียวแข็ง

“ดินแข็ง” หมายถึง ดินลักษณะแข็งซึ่งความลึกของชั้นดินมากกว่า 60 เมตร ที่ทับอยู่เหนือชั้นหิน และต้องเป็นดินที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือดินเหนียวแข็ง

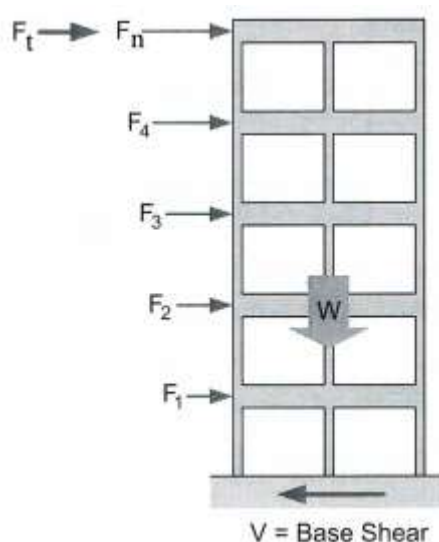
“ดินอ่อน” หมายถึง ดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลางที่หนามากกว่า 9 เมตร อาจจะมีชั้นทรายคั่นอยู่หรือไม่ก็ได้

“ดินอ่อนมาก” หมายถึง ดินเหนียวอ่อนที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินในสภาวะไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ไม่มากกว่า 24 กิโลปาสกาล (2,400 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร) และมีความหนาชั้นดินมากกว่า 9 เมตร เช่น สภาพดินในที่ถมที่กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร

หมายเหตุ

สำหรับชั้นดินแบบหิน หรือ ดินแข็ง หรือ ดินอ่อน ผลคูณของ C และ $S \leq 0.14$

สำหรับชั้นดินแบบดินอ่อนมาก ผลคูณของ C และ $S \leq 0.26$
 เมื่อได้ค่าแรงเฉือนทั้งหมดในแนวนราบที่ระดับพื้นดิน (V) แล้ว ให้กระจายออกเป็นแรงในแนวนราบ
 ที่กระทำต่อพื้นชั้นต่างๆ ดังภาพที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การกระจายค่า V เป็นแรงในแนวนราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่างๆ

โดยที่

F_t คือ แรงในแนวนราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร

ถ้า คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร ($T \leq 0.7$ วินาที)

$$F_t = 0$$

ถ้า คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร ($T > 0.7$ วินาที)

$$F_t = 0.07TV \leq 0.25V$$

F_x คือ แรงในแนวนราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่างๆ ของอาคาร

$$F = \frac{(V - F_t)w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i}$$

F_t คือ แรงในแนวนราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร

F_x คือ แรงในแนวนราบที่กระทำต่อพื้นชั้นที่ x ของอาคาร

T คือ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร มีหน่วยเป็นวินาทีหาค่าได้ตามสูตร (ก) และ (ข)

V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวนราบที่ระดับพื้นดิน

w_x, w_i คือ น้ำหนักของพื้นอาคารชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ

h_x, h_i คือ ความสูงจากระดับพื้นดินถึงพื้นชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ

$i = 1$ คือ สำหรับพื้นชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างอาคาร

$x = 1$ คือ สำหรับพื้นชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างอาคาร

$\sum_{i=1}^n w_i h_i$ คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างน้ำหนักกับความสูงจากพื้นชั้นที่ 1 ถึงพื้นชั้นที่

n คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคารที่อยู่เหนือระดับพื้นชั้นล่างของอาคาร

2.3.2 การคำนวณตรวจสอบการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้าง

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของอาคาร (story drift, Δ_x) คำนวณได้จาก $\Delta_x = V_x / K_x$ ซึ่งต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 0.5 ของความสูงระหว่างชั้น โดยที่

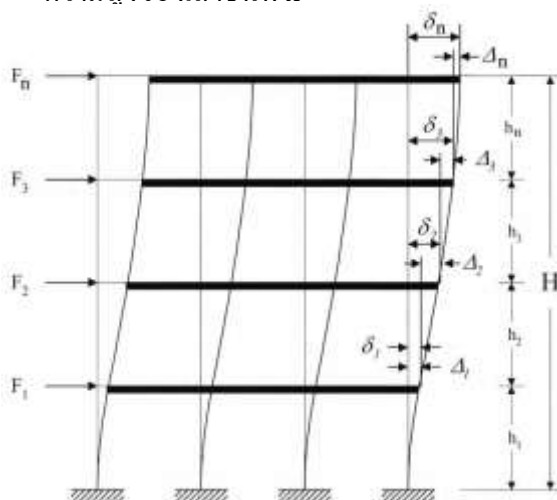
V_x = แรงเฉือนที่เสาชั้นที่ x เนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง คำนวณจากผลรวมของแรงกระทำด้านข้างจากชั้นนั้นและชั้นที่สูงกว่า

K_x = สติฟเนสของเสาชั้นที่ x เท่ากับ $12EI_x/h_x^3$

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของเสา

I_x = โมเมนต์ความเฉื่อยของเสาชั้นที่ x

h_x = ความสูงของเสาชั้นที่ x



รูปที่ 2.12 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของอาคาร (Δ_x)

2.3.3 การคำนวณตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้างเนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง

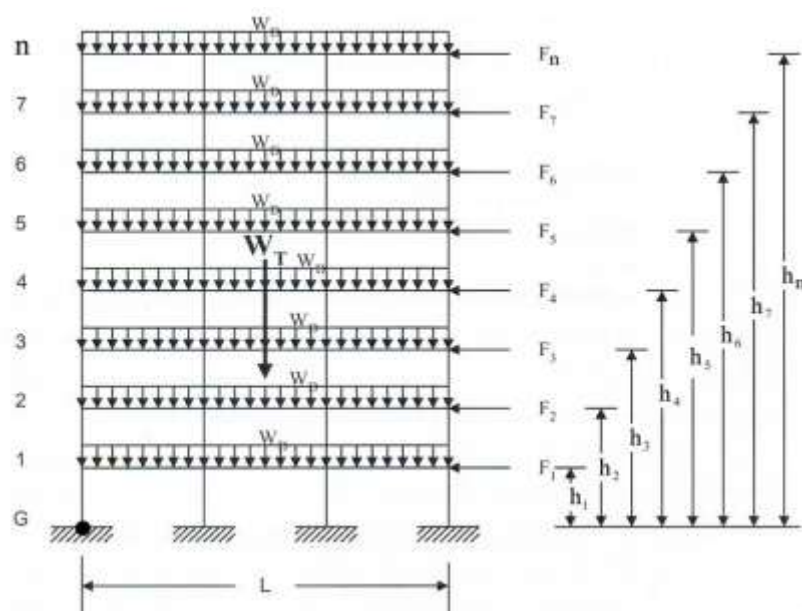
โครงสร้างอาคารจะต้องไม่พลิกคว่ำเนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง โดยให้มีค่าความปลอดภัย มากกว่าหรือเท่ากับ 1.5 ($S.F. \geq 1.5$) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\text{Safety Factor against overturning (S.F.)} = \frac{M_{\text{react}}}{M_{\text{act}}} = \frac{W_T L/2}{\sum_x F_x h_x} \geq 1.5$$

โดย

M_{react} = โมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำ

- M_{act} = โมเมนต์เนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง
 W_T = น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมด
 L = ความยาวจากศูนย์กลางเสาด้านริมซ้ายถึงศูนย์กลางเสาด้านริมขวาในแนวนอนกับแรงกระทำด้านข้าง
 x = ชั้นของอาคาร ($x = 1, 2, \dots, n$)
 n = จำนวนชั้นของอาคาร
 F_x = แรงกระทำด้านข้างของชั้นที่ x
 h_x = ความสูงจากฐานของอาคารไปยังชั้นที่ x



(สรกานต์ ศรีทองอ่อน, 2556)

รูปที่ 2.13 การพิจารณาความมั่นคงของโครงสร้างเนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง

2.4 มาตรฐานในการออกแบบอาคารด้านทานแผ่นดินไหวสำหรับงานวิจัย

ก. มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยศ. 1301-54

กระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในพื้นที่ที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ให้ข้อกำหนดเกี่ยวกับหลักการกว้างๆ และการคำนวณแรงจากแผ่นดินไหวแต่ไม่มีรายละเอียดบางอย่างที่จำเป็น เช่น ลักษณะของอาคารที่จัดว่ามีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ การให้รายละเอียดการเสริมเหล็กเพื่อให้อาคารมีความเหนียวเป็นต้น ดังที่ทราบกันดี การออกแบบอาคารให้มีความต้านทานผล

จากแผ่นดินไหวจะพิจารณาเฉพาะแรงอย่างเดียวไม่ได้ หากอาคารไม่ได้รับการออกแบบรายละเอียดให้มีความเหนียวที่เหมาะสม จะไม่สามารถมีพฤติกรรมที่ดีได้เมื่อถูกสั่นไหวกลับไปกลับมาจากแผ่นดินไหว

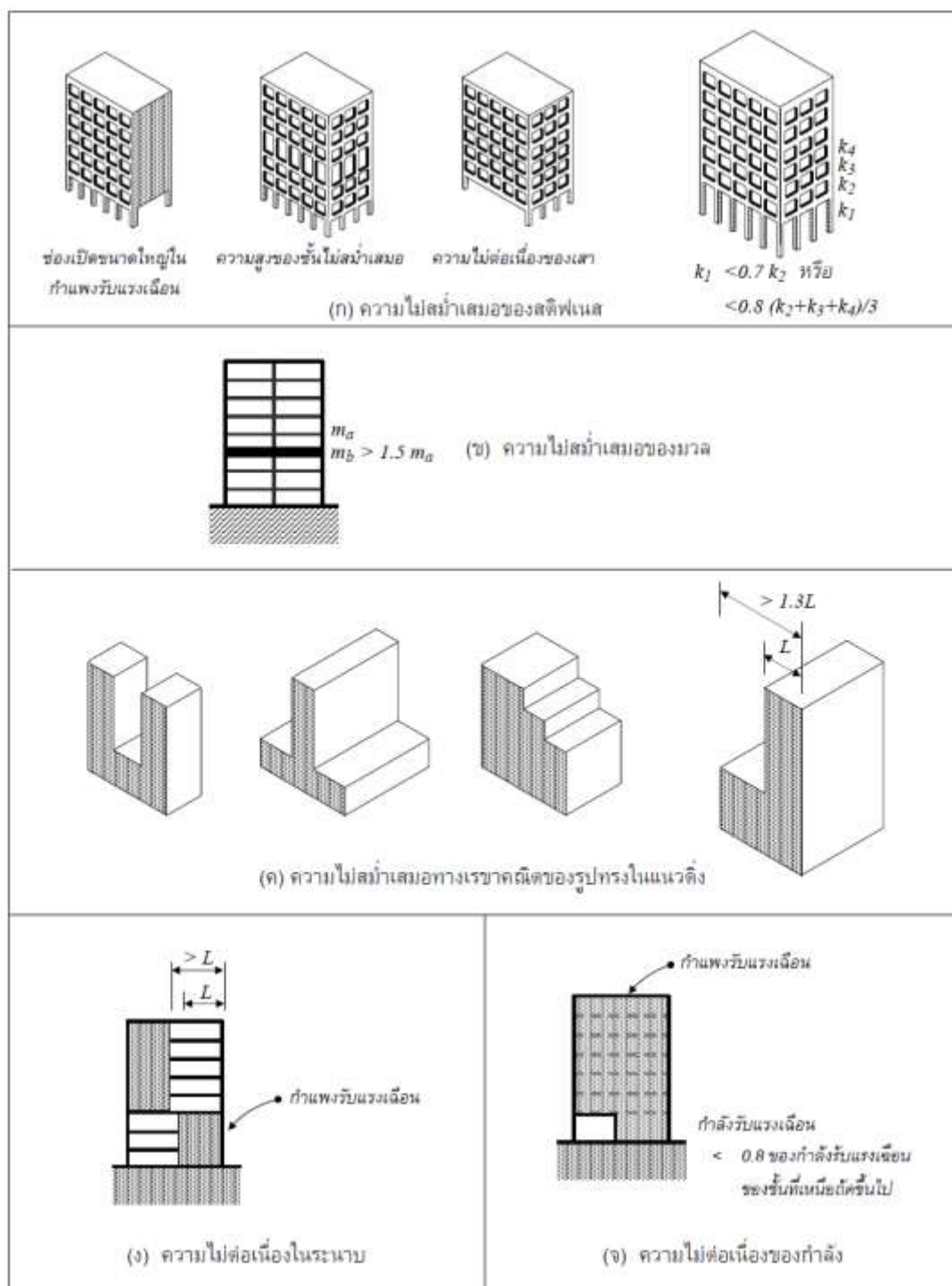
มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อกำหนดเป็นข้อพึงปฏิบัติสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้ผลของแผ่นดินไหวที่กำหนดในกฎกระทรวงฉบับที่ 49๙ (พ.ศ. 2540) โดยอิงข้อกำหนดใน Uniform Building Code 1997 (UBC 1997) เป็นหลัก โดยทั่วไปข้อกำหนดที่ให้เป็นการกำหนดขั้นต่ำ ในกรณีที่มาตรฐานระบุว่า ควรกระทำสิ่งใด หมายความว่าสิ่งที่กล่าวนั้นเป็นข้อแนะนำจากคณะผู้ทำงานจัดทำมาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว ซึ่งจะเป็นการปฏิบัติที่ให้ระดับพฤติกรรมอาคารที่ดีกว่าที่กำหนดใน UBC 1997 จึงเป็นวิจารณ์ของวิศวกรที่จะเลือกปฏิบัติได้ตามความเหมาะสม

ตารางที่ 2.7 ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง

รูปแบบความไม่สม่ำเสมอและคำจำกัดความ	หมายเหตุ
1. ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส (Stiffness irregularity) หรือชั้นที่อ่อน (Soft Story) ชั้นที่อ่อน หมายถึง ชั้นที่มีสติฟเนสทางด้านข้าง (Lateral Stiffness) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 70 ของชั้นที่เหนือถัดขึ้นไปหรือน้อยกว่าร้อยละ 80 ของสติฟเนสเฉลี่ยของสามชั้นที่เหนือขึ้นไป	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1(ก)
2. ความไม่สม่ำเสมอของมวล (Mass Irregularity) ความไม่สม่ำเสมอของมวล หมายถึง มวลประสิทธิผล (Effective Mass) ของชั้นใด ๆ มีค่ามากกว่าร้อยละ 150 ของชั้นที่ติดกัน (หลังคาที่มีมวลน้อยกว่าพื้นชั้นถัดลงมาไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา)	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1(ข)
3. ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวดิ่ง (Vertical Geometrical Irregularity) ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวดิ่ง หมายถึง มิติในแนวราบของระบบต้านแรงทางด้านข้างของชั้นใด ๆ มีค่ามากกว่าร้อยละ 130 ของชั้นที่ติดกัน ยกเว้น Penthouse ที่สูง 1 ชั้น ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1(ค)

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

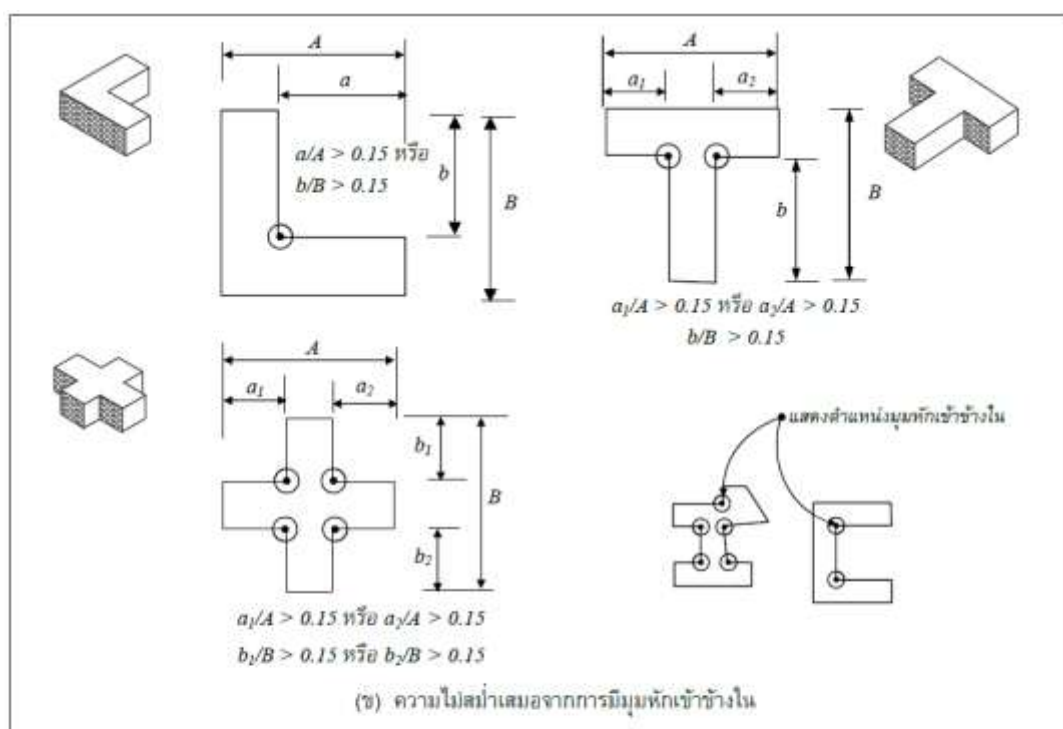
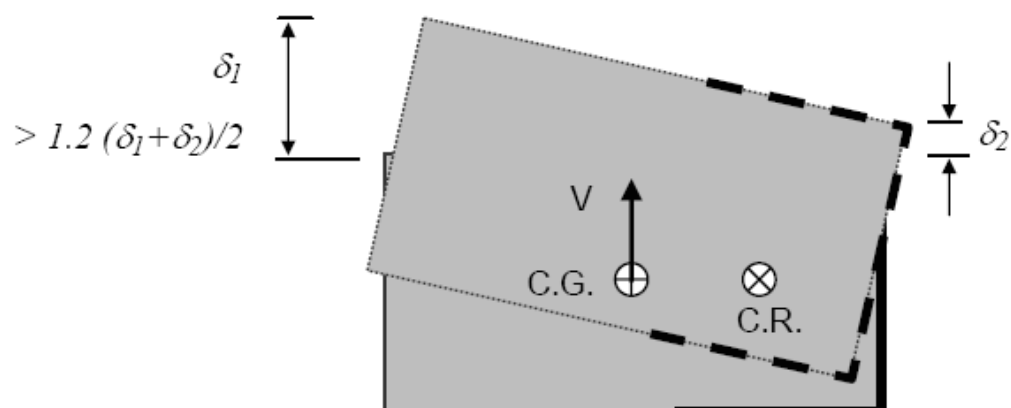
รูปแบบความไม่สม่ำเสมอและคำจำกัดความ	หมายเหตุ
4. ความไม่ต่อเนื่องในระนาบขององค์อาคารต้านแรงด้านข้างในแนวดิ่ง (In-Plane Discontinuity in Vertical Lateral-Force-Resisting Element) ความไม่ต่อเนื่องในระนาบขององค์อาคารในแนวดิ่งจะพิจารณาเมื่อระยะเยื้องในระนาบขององค์อาคารต้านแรงด้านข้างมีค่ามากกว่าความยาวขององค์อาคารนั้น	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1(ค)
5. ความไม่ต่อเนื่องของกำลัง (Discontinuity in Capacity) หรือชั้นที่อ่อนแอ (Weak Story) ความไม่ต่อเนื่องในระนาบขององค์อาคารในแนวดิ่งจะพิจารณาเมื่อระยะเยื้องในระนาบขององค์อาคารต้านแรงด้านข้างมีค่ามากกว่าความยาวขององค์อาคารนั้น	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1(จ)



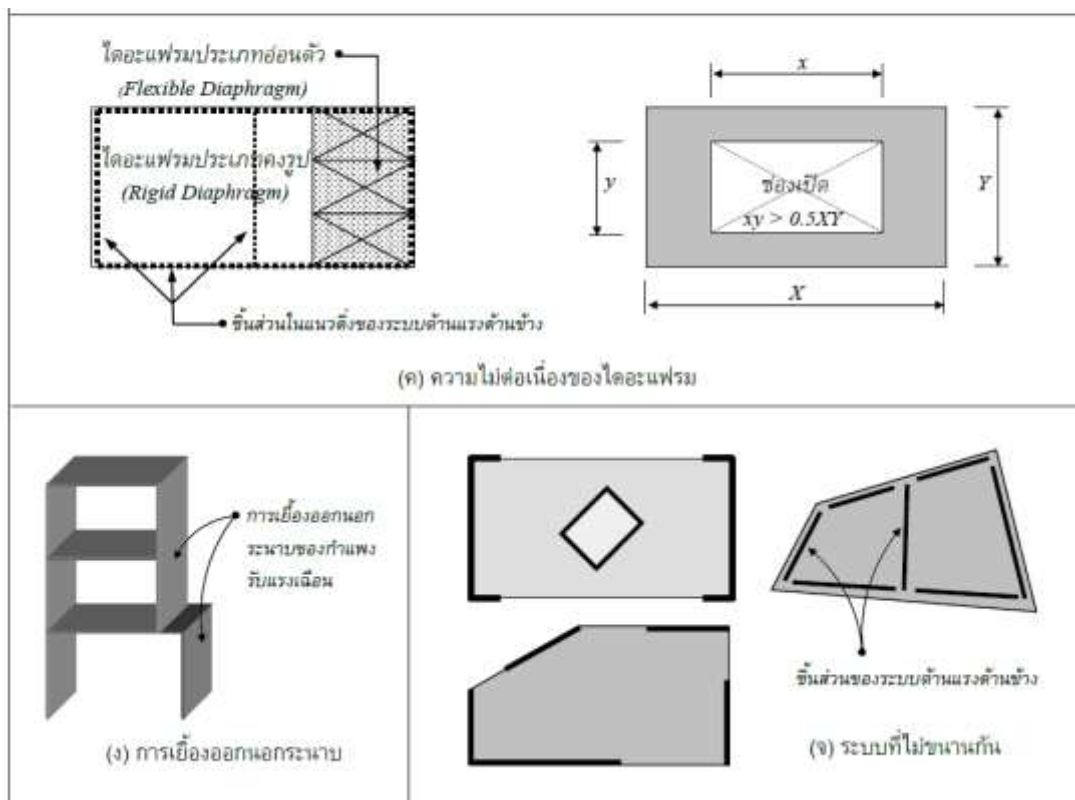
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง

ตารางที่ 2.8 ความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง (Plan Structure Irregularities)

รูปแบบความไม่สม่ำเสมอและคำจำกัดความ	หมายเหตุ
1. ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด (Torsional Irregularity) พิจารณากรณีที่ไดอะแฟรมเป็นประเภทไม่อ่อนตัว(Not Flexible) โครงสร้างจะถือว่าไม่สม่ำเสมอเชิงการบิดเมื่อค่าสูงสุดของการเคลื่อนตัวด้านข้างระหว่างชั้นในแนวตั้งฉากกับแนวแกน[คำนวณจากแรงด้านข้างที่ผลรวมของแรงบิดโดยบังเอิญ(Accidental Torsion)]ที่ปลายด้านหนึ่งของโครงสร้างที่มีค่ามากกว่า 1.2 เท่าของค่าเฉลี่ยที่ปลายทั้งสองด้าน	ดูรูปตัวอย่างในรูปที่ 2.11(ก)
2. ความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน (Re-Entrant Corners) โครงสร้างจะถือว่ามีความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน เมื่อผังโครงสร้างและระบบต้านแรงด้านข้างมีลักษณะหักเข้าข้างใน ทำให้เกิดส่วนยื่น โดยที่ส่วนยื่นนั้นมีระยะภายในแต่ละทิศทางมากกว่าร้อยละ 15 ของมิติของผังในทิศทางนั้น	ดูรูปตัวอย่างในรูปที่ 2.11(ข)
3. ความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม (Diaphragm Discontinuity) โครงสร้างจะถือว่าไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม เมื่อไดอะแฟรมมีความไม่ต่อเนื่องหรือมีค่าสถิติในสองอย่างทันทีทันใด รวมถึงการเจาะช่องหรือมีช่องเปิดมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ไดอะแฟรมหรือสถิติประสิทธิภาพของไดอะแฟรมของชั้นใดชั้นหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับชั้นถัดไป	ดูรูปตัวอย่างในรูปที่ 2.11(ค)
4. การเยื้องนอกระนาบ (Out-of-Plane Offsets) โครงสร้างจะถือว่ามีความไม่สม่ำเสมอจากการเยื้องออกนอกระนาบเมื่อเส้นทาง การถ่ายแรงของแรงด้านข้างมีความไม่ต่อเนื่อง เช่น กรณีมีการเยื้องระหว่างระนาบของกำแพงรับแรงด้านข้าง	ดูรูปตัวอย่างในรูปที่ 2.11(ง)
5. ระนาบไม่ขนานกัน (Nonparallel Systems) ระบบไม่ขนานกัน ได้แก่ ระบบที่มีชิ้นส่วนแนวดิ่งที่ต้านแรงด้านข้างวางตัวในแนวที่ไม่ขนานกัน หรือไม่สมมาตรกัน เมื่อเทียบกับแกนหลักของระบบต้านแรงด้านข้าง	ดูรูปตัวอย่างในรูปที่ 2.11(จ)



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง (ต่อ)

ข. มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1302

ส่วนที่ 1 หลักเกณฑ์การออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหว

2.4.1 นิยาม

“ระบบต้านแรงด้านข้าง” (Lateral Load Resisting System) หมายถึง องค์อาคารหรือกลุ่มขององค์อาคารที่ออกแบบมาเพื่อให้ต้านทานแรงด้านข้างเป็นหลัก

“ระบบรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง” (Gravity Load Resisting System) หมายถึง องค์อาคารหรือกลุ่มขององค์อาคารที่ออกแบบมาเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งเป็นหลัก

“ไดอะแฟรม” (Diaphragm) หมายถึง แผ่นพื้น แผ่นหลังคา หรือ ระบบการรังยัด ที่ทำหน้าที่ถ่ายแรงด้านข้างไปยังระบบต้านแรงด้านข้าง

“องค์อาคารเชื่อม” (Collector) หมายถึง องค์อาคารซึ่งทำหน้าที่ถ่ายแรงกระทำทางด้านข้างจากไดอะแฟรมเข้าสู่ระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้าง

“สมอยึด” (Anchorage) หมายถึง ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมยึดระหว่างกำแพงโครงสร้างและไดอะแฟรม

“กำแพง” (Wall) หมายถึง องค์อาคารที่แบ่งกั้นพื้นที่และทำมุมกับระนาบในแนวราบมากกว่า 60 องศา

“กำแพงโครงสร้าง” (Structural Wall) หมายถึง กำแพงซึ่งออกแบบให้ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งหรือกำแพงรับแรงเฉือนซึ่งถูกออกแบบให้ต้านทานแรงด้านข้าง

“กำแพงรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง” (Bearing Wall) หมายถึง กำแพงโครงเหล็กหรือไม้ที่รับน้ำหนักบรรทุกเกินกว่า 1500 นิวตันต่อเมตร นอกเหนือจากน้ำหนักตัวเอง หรือ กำแพงคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุกเกินกว่า 3000 นิวตันต่อเมตร นอกเหนือจากน้ำหนักตัวเอง

“กำแพงรับแรงเฉือน” (Shear Wall) หมายถึง กำแพงรับน้ำหนักแนวตั้ง หรือ ไม่รับน้ำหนักแนวตั้ง ที่ออกแบบให้ต้านทานแรงด้านข้าง

“ระบบโครงอาคาร” (Building Frame System) หมายถึง ระบบโครงสร้างที่มีโครงอาคารรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งส่วนใหญ่ และมีกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกนแนงทำหน้าที่ต้านแรงด้านข้าง

“โครงแกนแนงเหล็ก” (Steel Braced Frame) หมายถึง โครงเหล็กถักในแนวตั้งในระบบโครงอาคาร ที่ทำหน้าที่ต้านแรงด้านข้าง

“โครงแกนแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์กลาง” (Steel Eccentrically Braced Frame) หมายถึง โครงแกนแนงเหล็กที่มีจุดต่อขององค์อาคารยึดตั้งอยู่เยื้องจากจุดต่อกานและเสา

“โครงแกนแนงเหล็กแบบตรงศูนย์กลาง” (Steel Concentrically Braced Frame) หมายถึง โครงแกนแนงเหล็กที่มีจุดต่อขององค์อาคารแกนแนงตรงกับจุดต่อกานและเสาและองค์อาคารแกนแนงเหล็กรับแรงในแนวแกนเป็นหลัก

“โครงต้านแรงดัด” (Moment Frame) หมายถึง โครงอาคารที่ต้านแรงด้านข้างโดยการดัดและการรับแรงในแนวแกนขององค์อาคารในโครงอาคาร

“โครงถักต้านแรงดัด” (Truss Moment Frame) หมายถึง โครงอาคารที่ใช้โครงเหล็กถักเป็นส่วนหนึ่งของโครงต้านแรงดัด

“ระบบโครงสร้างแบบผสม” (Dual System) หมายถึง ระบบโครงสร้างที่มีโครงอาคารรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งเป็นส่วนใหญ่และมีโครงต้านแรงดัดและกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกนแนงทำหน้าที่ต้านแรงด้านข้าง

“ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำแพงรับแรงเฉือนและโครงต้านแรงดัด” (Shear Wall-Frame Interaction System) หมายถึง ระบบโครงสร้างที่อาศัยโครงต้านแรงดัดและกำแพงรับแรงเฉือนที่ไม่มีการให้รายละเอียดเกี่ยวกับความเหนียวในการต้านแรงด้านข้าง โดยการกระจายแรงระหว่างโครงต้านแรงดัดและกำแพงรับแรงเฉือนเป็นไปตามสัดส่วนของสติเฟนส

“ฐานอาคาร/ฐานโครงสร้าง” (Base) หมายถึง ระดับที่ถือว่าเป็นตำแหน่งที่เคลื่อนแผ่นดินไหวกระทำต่ออาคาร/โครงสร้าง

“แผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา” (Maximum Considered Earthquake) หมายถึง แผ่นดินไหวที่มีระดับความรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาในมาตรฐานฉบับนี้ ซึ่งความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงกว่าระดับที่พิจารณา (Probability of Exceedance) เท่ากับร้อยละ 2 ในช่วงเวลา 50 ปี

“แผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ” (Design Earthquake) หมายถึง แผ่นดินไหวที่มีระดับความรุนแรงเป็น 2 ใน 3 ของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา

“ผลของ P-Delta” หมายถึง แรงเฉือนและแรงดัดเพิ่มเติมในองค์อาคารที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งย้ายตำแหน่งเยื้องออกจากแนวเดิมเนื่องจากโยกตัวทางด้านข้างของโครงสร้างอาคาร

“การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น” (Story Drift) หมายถึง การเคลื่อนตัวด้านข้างสัมพัทธ์ระหว่างพื้นของชั้นถัดไปที่อยู่เหนือชั้นที่พิจารณาและชั้นที่พิจารณา

2.4.2 สัญลักษณ์

C_d	=	ตัวประกอบขยายค่าการ โกงตัว
C_s	=	สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว
C_{vx}	=	ตัวประกอบการกระจายในแนวดิ่ง
D	=	น้ำหนักบรรทุกคงที่
E	=	แรงแผ่นดินไหว
δ_{xc}	=	ค่าการ โกงตัวที่คำนวณจากวิธีวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับระบบพลาสติก หน่วยเป็นเมตร
F_a	=	สัมประสิทธิ์ชั้นดินที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่น 0.2 วินาที
F_v	=	สัมประสิทธิ์ชั้นดินที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่น 1 วินาที
H	=	ความสูงอาคารวัดจากพื้นดิน หน่วยเป็น เมตร
h_i, h_x	=	ความสูงจากฐานอาคารไปยังระดับชั้นที่ i และ x ตามลำดับ หน่วยเป็น เมตร
h_{sx}	=	ความสูงระหว่างชั้นที่อยู่ใต้พื้นชั้นที่ x หน่วยเป็น เมตร
I	=	ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร
k	=	ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง
L	=	น้ำหนักบรรทุกจร
P_x	=	น้ำหนักอาคารในแนวดิ่งทั้งหมดที่ระดับชั้น x และเหนือขึ้นไป หน่วยเป็น นิวตัน

R	=	ตัวประกอบปรับผลตอบแทน
S_a	=	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น พื้นฐานของอาคารหน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g
S_{Ds}	=	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 0.2 วินาที หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g
S_{D1}	=	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 1.0 วินาที หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g
S_{Ms}	=	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 0.2 วินาที ปรับแก้ เนื่องจากผลของชั้นดินที่ตั้ง หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g
S_{M1}	=	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 1.0 วินาที ปรับแก้ เนื่องจากผลของชั้นดินที่ตั้ง หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g
S_1	=	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมจากแผนที่ความเสี่ยงภัยที่คาบการสั่น 1.0 วินาที หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g
S_s	=	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมจากแผนที่ความเสี่ยงภัยที่คาบการสั่น 0.2 วินาที หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g
T	=	คาบการสั่นพื้นฐาน หน่วย เป็นวินาที
T_s	=	S_{D1}/S_{Ds}
V	=	แรงเฉือนที่ฐานอาคาร หน่วยเป็น นิวตัน
V_x	=	แรงเฉือนที่กระทำกับชั้นที่ x หน่วยเป็น นิวตัน
$\bar{v}_s$	=	ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยของชั้นดินในช่วง 30 เมตรแรก หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที
w_i, w_x	=	น้ำหนักอาคารประสิทธิผลสำหรับชั้นที่ i และ x ตามลำดับ หน่วยเป็น นิวตัน
W	=	น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล หน่วยเป็น นิวตัน
Δ	=	การเคลื่อนตัวพัทธ์ระหว่างชั้น หน่วยเป็น เมตร
Δ_a	=	การเคลื่อนตัวพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ หน่วยเป็น เมตร

Δ_i	=	การเคลื่อนตัวพัทธ์ระหว่างชั้น จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่ i หน่วยเป็น เมตร
θ	=	สัมประสิทธิ์เสถียรภาพ
$\theta_{\max}$	=	สัมประสิทธิ์เสถียรภาพสูงสุดที่ยอมให้
β	=	อัตราส่วนของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นต่อกำลังแรงเฉือนระหว่างระดับชั้น x และ $x-1$
δ_i	=	การเคลื่อนที่ในแนวราบของจุดศูนย์กลางมวลที่ระดับ i หน่วยเป็น เมตร
δ_x	=	การเคลื่อนที่ในแนวราบของจุดศูนย์กลางมวลที่ระดับ x หน่วยเป็น เมตร
δ_{xc}	=	การเคลื่อนที่ที่คำนวณจากการวิเคราะห์โครงสร้างแบบอีลาสติก หน่วยเป็น เมตร
Ω_0	=	ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน

2.4.3 ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว

ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม

เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว อาคารต่างๆ จะมีการตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือ คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร และปัจจัยประกอบอื่นๆ ดังนั้น ผลตอบสนองของอาคาร จึงแสดงในรูปของ “ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม” ซึ่งมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามคาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา (Maximum Considered Earthquake) ที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_s) และ คาบการสั่น 1 วินาที (S_1) ณ อำเภอและ จังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศไทย ยกเว้นในพื้นที่แอ่งกรุงเทพที่มีลักษณะดินอ่อนเป็นพิเศษ ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2.9 (ยกมาเฉพาะที่ศึกษาในงานวิจัยนี้) ค่าความเร่งตอบสนองที่แสดงในตารางนี้ได้มาจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว โดย สมมุติให้สภาพชั้นดินในทุกๆพื้นที่เป็นแบบ ดินแข็งหรือหิน ที่มีความเร็วคลื่นเฉือน $\bar{v}_s$ โดยเฉลี่ยในช่วงจากผิวดินถึงความลึก 30 เมตร เท่ากับ 760 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 2.9 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้น (S_s) และ ที่คาบ 1 วินาที (S_1) ของ
แผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
เชียงราย	กิ่งอำเภอคอยหลวง	0.924	0.20
	กิ่งอำเภอเวียงเชียงรุ้ง	0.833	0.241
	ขุนตาล	0.650	0.169
	เชียงของ	0.706	0.191
	เชียงแสน	0.935	0.273
	เทิง	0.619	0.157
	ป่าแดด	0.618	0.154
	พญาเม็งราย	0.672	0.180
	พาน	0.656	0.173
	เมืองเชียงราย	0.798	0.232
	แม่จัน	0.940	0.278
	แม่ฟ้าหลวง	0.929	0.275
	แม่ลาว	0.735	0.211
	แม่สรวย	0.749	0.209
	แม่สาย	0.933	0.273
	เวียงแก่น	0.683	0.175
	เวียงชัย	0.753	0.215

2.4.4 ประเภทของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร

สภาพของชั้นดิน ณ บริเวณที่ตั้งของอาคาร สามารถเปลี่ยนแปลงระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้ ดังนั้นการนำค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมในตารางที่ 2.9 มาใช้ในการออกแบบ จึงจำเป็นต้องปรับแก้ค่าให้เหมาะสมกับสภาพดิน ณ บริเวณที่ตั้งของอาคาร นั้นๆประเภทของชั้นดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภท คือ A (หินแข็ง) B (หิน) C (ดินแข็ง) D (ดินปกติ) E (ดินอ่อน) หรือ F (ดินที่มีลักษณะพิเศษ)

ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลดิน และไม่สามารถทำการสำรวจดินได้ ให้สมมุติว่าประเภทของชั้นดินเป็นแบบประเภท D

จากรายงานการสำรวจ ฉบับที่ สทช. 17/2557 รายงานผลการตรวจสอบทางธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่ ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวขนาด 6.3 ริคเตอร์ จังหวัดเชียงราย เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 สำนักเทคโนโลยีธรณี กรมทรัพยากรธรณี (ยกมาเฉพาะที่ตั้งอาคารกรณีศึกษาวิจัยนี้)

รายงานผลการตรวจสอบธรณีวิทยาใต้ผิวดินโรงเรียนสันกลางวิทยา อ.พาน จ.เชียงราย

วิธีการสำรวจ

สำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบภาพตัดขวางตามแนว 2 มิติ รูปแบบไดโพล-ไดโพล ระยะห่างระหว่างขั้ว 5, 10, 15 เมตร ความยาวแนวละ 115 เมตรจำนวน 3 แนวเพื่อตรวจสอบลักษณะชั้นหินและความต่อเนื่องลึก 0-25 เมตร (รูปที่ 2.18) แบบหยั่งลึก เป็นจุดรูปแบบซัลมเบอร์เจอร์ จำนวน 2 จุด เพื่อตรวจสอบความลึกของหินฐาน (Basement) (รูปที่ 2.19) อาคารเรียนหมายเลข 3 ในงานวิจัย (รูปที่ 2.16)

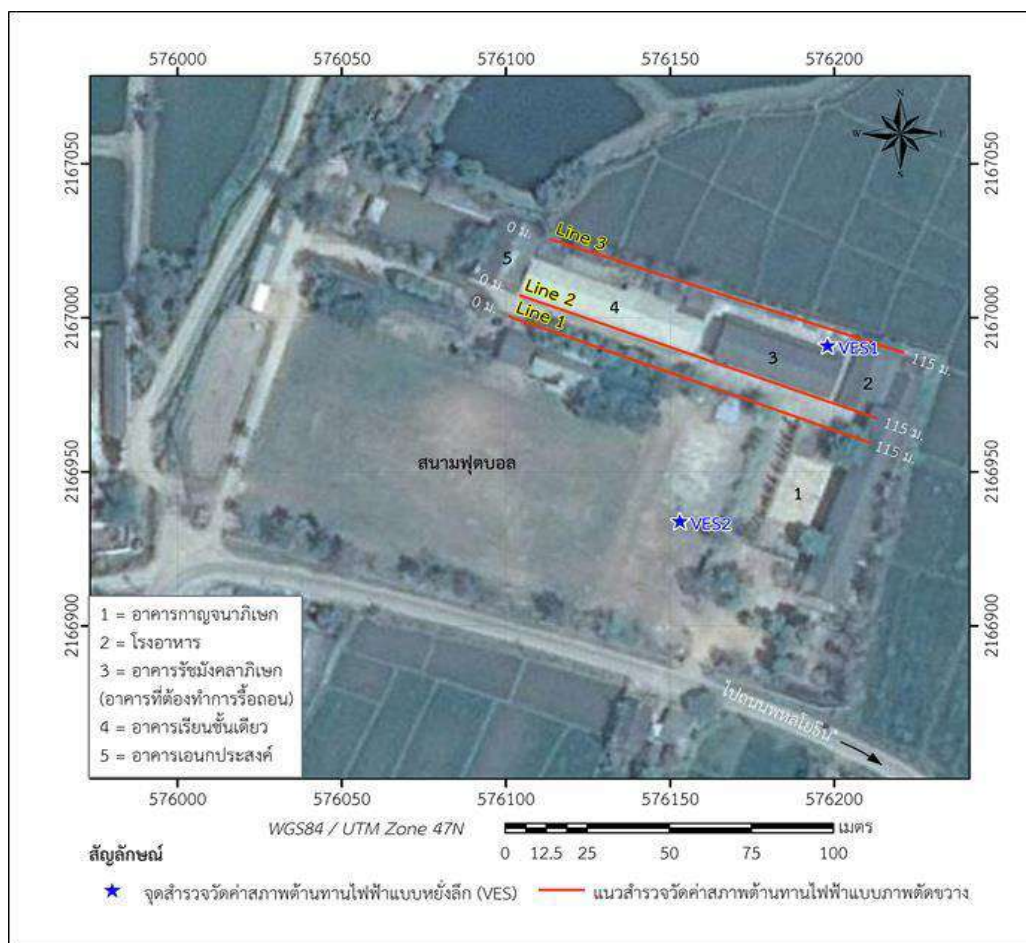
ผลการสำรวจ

การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบภาพตัดขวาง L1-L3 พบว่าพื้นที่ที่จะสร้างอาคารรองรับด้วยชั้นตะกอนหนามากกว่า 30 เมตร ประกอบด้วย ชั้นบนส่วนใหญ่เป็นดิน มีกรวด ทรายกระจาย สลับอยู่เป็นช่วงๆ หนาประมาณ 5 เมตร ลึกลงไปเป็นดินเหนียวมีทรายเป็นชั้นหนาแทรก ไม่พบหินฐาน (Basement) ที่ความลึก 0-30 เมตร (รูปที่ 2.18)

การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก VES1, VES2 แสดงให้เห็นว่า บริเวณพื้นที่ที่จะสร้างอาคารเรียนมีหินฐาน (Basement) เป็นหินดินดานที่ความลึก 50 เมตร (รูปที่ 2.19)

สรุปผลการสำรวจ

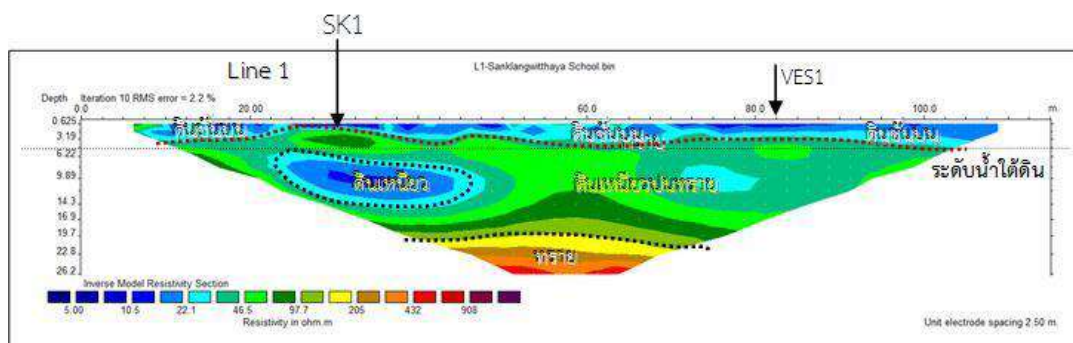
พื้นที่ที่จะทำการก่อสร้างอาคารเรียนทดแทนโรงเรียนสันกลางวิทยา รองรับด้วยชั้นตะกอนประกอบด้วยทรายและดินเหนียวหนามากกว่า 30 เมตร วางตัวเป็นชั้นต่อเนื่องไม่มีรอยแตกพาดผ่านในพื้นที่ และมีหินฐานเป็นหินดินดานรองรับอยู่ที่ความลึกประมาณ 50 เมตร พื้นที่นี้ควรมีค่าอัตราการขยายตัวของคลื่นแผ่นดินไหว ประมาณ 1.6 สรุปได้ว่าสามารถสร้างอาคารเรียนทดแทนในบริเวณที่ตั้งอาคารเดิมได้



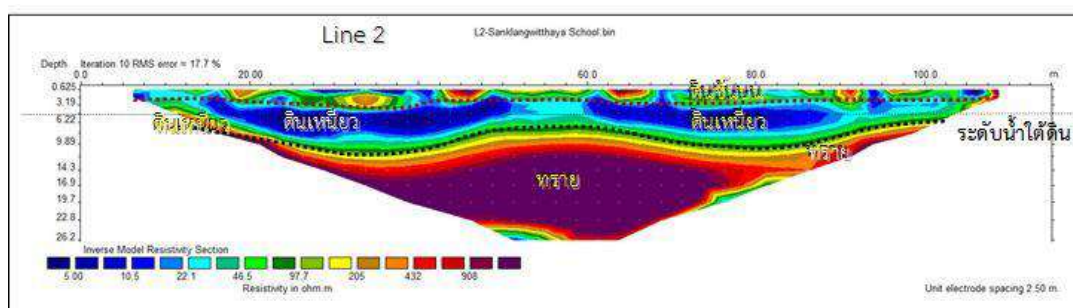
รูปที่ 2.16 แผนที่แสดงแนวสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า L1, L2, L3 และแบบหยั่งลึก VES1, 2



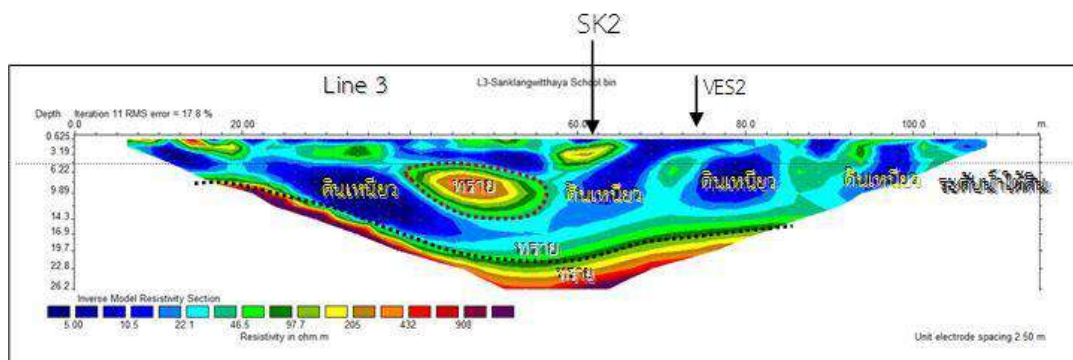
รูปที่ 2.17 แนวสำรวจ บริเวณโรงเรียนสันกลางวิทยา



แปลความหมายชั้นหินแนวสำรวจ L1 และจุดเจาะมือหมุน SK1

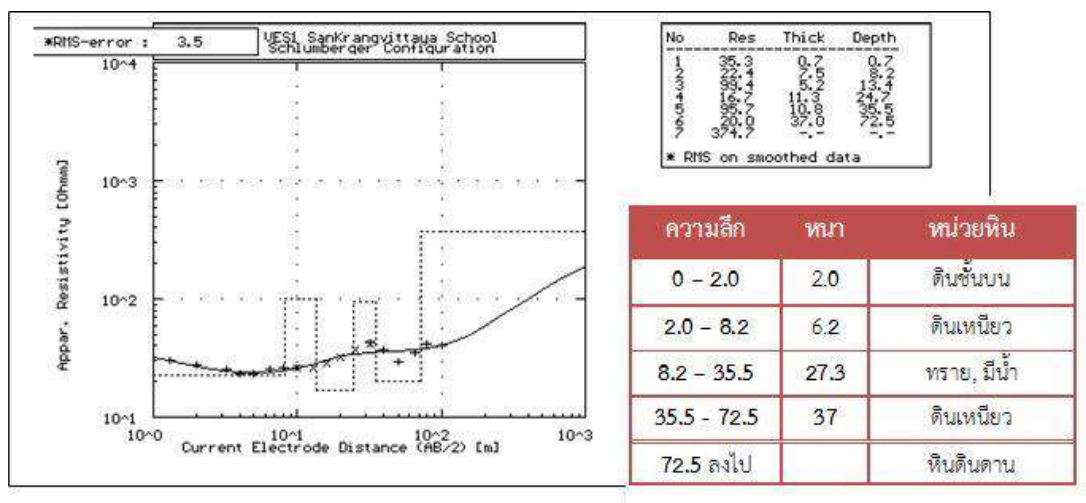


แปลความหมายชั้นหินแนวสำรวจ L2

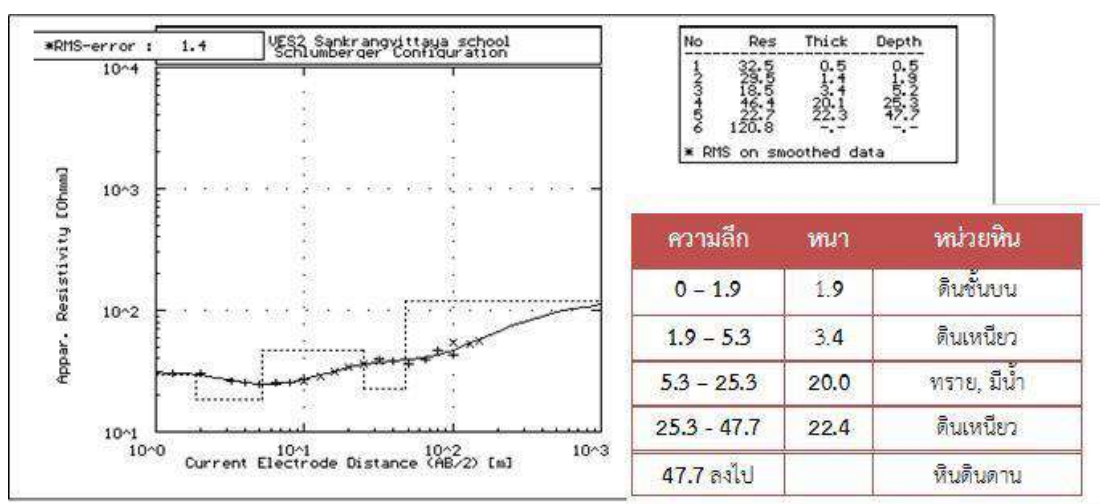


แปลความหมายชั้นหินแนวสำรวจ L3 และจุดเจาะมือหมุน SK2

รูปที่ 2.18 แปลความหมายชั้นหินแนวสำรวจพื้นที่โรงเรียน



การแปลความหมายจุดวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก VES1 โรงเรียนสันกลางวิทยา



การแปลความหมายจุดวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก VES2 โรงเรียนสันกลางวิทยา (กรมทรัพยากรธรณี, 2557)

รูปที่ 2.19 การแปลความหมายจุดวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก

2.4.5 การปรับแก้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา ณ บริเวณที่ตั้งของอาคาร สามารถปรับแก้ค่าให้เหมาะสมกับประเภทของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร ได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.2)$$

โดยที่

S_{MS} = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 0.2 วินาที ที่ถูกปรับแก้เนื่องจากผลของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก (g)

S_{M1} = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 1.0 วินาที ที่ถูกปรับแก้เนื่องจากผลของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก (g)

F_a = สัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่น 0.2 วินาที

F_v = สัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่น 1 วินาที

ค่าสัมประสิทธิ์ F_a และ F_v แสดงไว้ในตารางที่ 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.10 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร F_a

ประเภทของ ชั้น	ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุด ที่พิจารณาที่คาบ 0.2 วินาที (g)				
ดิน	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
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 2.11 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร F_v

ประเภท ของชั้น	ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุด ที่พิจารณาที่คาบ 1.0 วินาที (g)				
ดิน	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

ตารางที่ 2.11 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร F_v

ประเภท ของชั้น	ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุด ที่พิจารณาที่คาบ 1.0 วินาที (g)				
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				

2.4.6 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_{DS}) และที่คาบการสั่น 1 วินาที (S_{D1}) สามารถคำนวณจากสมการ

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

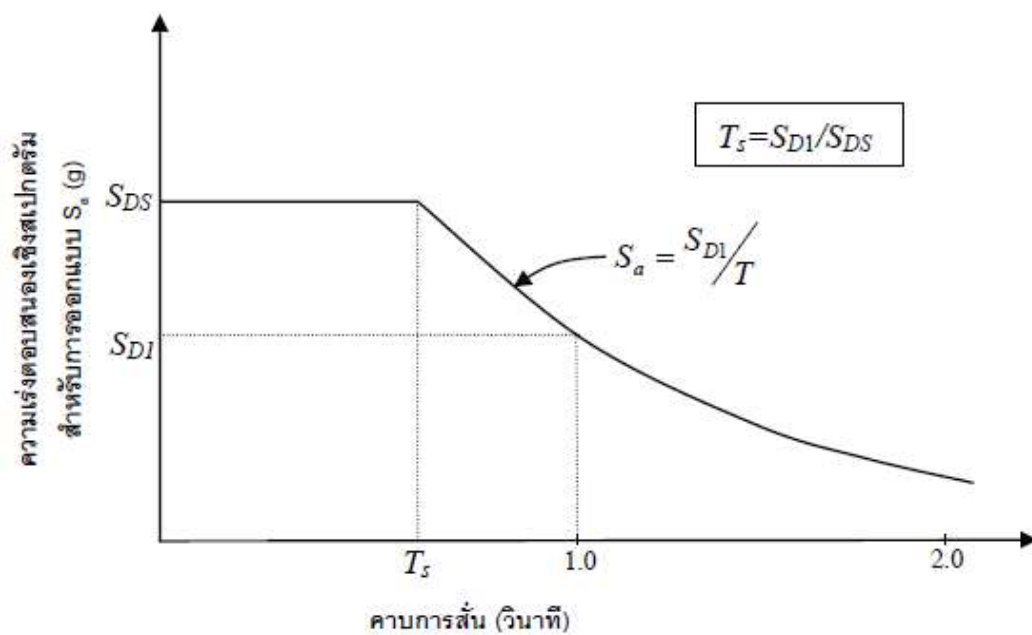
$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

2.4.7 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบ

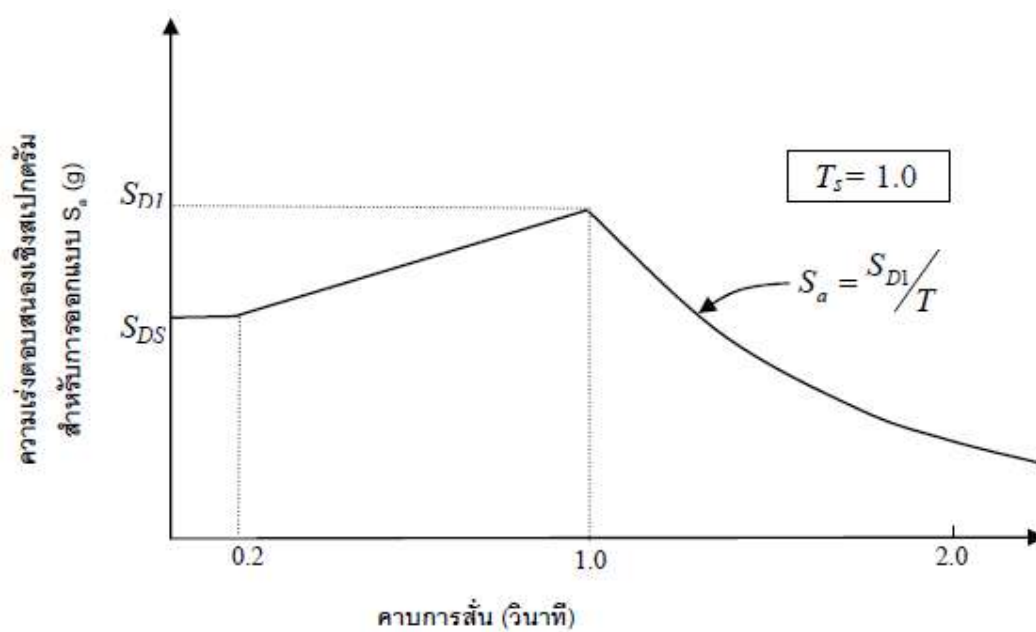
ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ S_a (ในหน่วยความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก, g) ขึ้นกับวิธีการออกแบบว่าใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่าหรือวิธีเชิงพลศาสตร์ และขึ้นกับตำแหน่ง ณ ที่ตั้งของอาคาร

พื้นที่ทั่วประเทศยกเว้นแอ่งกรุงเทพ

- ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ สำหรับวิธีแรงสถิตเทียบเท่า ให้ใช้ตามรูปที่ 2.20 สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} \leq S_{DS}$ และให้ใช้ตามรูปที่ 2.21 สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$ โดยที่ S_{DS} และ S_{D1} คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบตามหัวข้อ 2.4.6



รูปที่ 2.20 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศไทย (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} \leq S_{DS}$



รูปที่ 2.21 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศไทย (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$

2.4.8 ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร

อาคารได้ถูกจำแนกตามลักษณะการใช้งานและความสำคัญของอาคารที่มีต่อสาธารณชน และการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุออกเป็น 4 ประเภท (Occupancy Category) คือ ประเภท I, II, III, และ IV โดยอาคารแต่ละประเภทมีค่าตัวประกอบความสำคัญ (Importance Factor) เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร และค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ	ตัวประกอบความสำคัญ
อาคารและโครงสร้างอื่นๆ ที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วน โครงสร้างนั้นๆ เช่น - อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร - อาคารชั่วคราว - อาคารเก็บของเล็กๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ	I (น้อย)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่นๆ ที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภทความสำคัญ น้อย มากและสูงมาก	II (ปกติ)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่นๆ ที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น - อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่งๆ มากกว่า 300 คน - โรงเรียนประถมหรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน - มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย ที่มีความจุมากกว่า 500 คน - สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ	III (มาก)	1.25

ตารางที่ 2.12 (ต่อ)

ประเภทของอาคาร	ประเภท ความสำคัญ	ตัวประกอบ ความสำคัญ
อาคารและโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของ สาธารณชน หรือ อาคารที่จำเป็นต่อการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุ เช่น - โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษาฉุกเฉินได้ - สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และโรงเก็บรถฉุกเฉินต่างๆ - โรงไฟฟ้า - โรงผลิตน้ำประปา ถังเก็บน้ำ และสถานีสูบน้ำที่มีความดันสูง สำหรับการดับเพลิง - อาคารศูนย์สื่อสาร - อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย - ท่าอากาศยาน ศูนย์บังคับการบิน และโรงเก็บเครื่องบิน ที่ต้องใช้ เมื่อเกิดฉุกเฉิน - อาคารศูนย์บัญชาการแห่งชาติ อาคารและโครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ การจัดเก็บ หรือการใช้สารพิษ เชื้อเพลิงหรือสารเคมี อันอาจก่อให้เกิดการ ระเบิดขึ้นได้	IV (สูงมาก)	1.5

2.4.9 ประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหว

มาตรฐานนี้ได้กำหนดให้มีการแบ่งประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหวออกเป็น 4 ประเภท คือประเภท ก ข ค และ ง โดยเริ่มจากระดับที่ไม่จำเป็นต้องออกแบบด้านทานแผ่นดินไหว (ประเภท ก) ไปจนถึง ระดับที่ต้องออกแบบอย่างเข้มงวดที่สุด (ประเภท ง) การกำหนดประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหวจะพิจารณาจากประเภทความสำคัญของอาคาร (ตารางที่ 2.12) และความรุนแรงของแผ่นดินไหว ณ ที่ตั้งอาคาร ซึ่งแสดงโดยค่า S_{DS} และ S_{D1} (หัวข้อที่ 2.4.6) โดยใช้เกณฑ์ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.13 และ 2.14

ในกรณีที่ประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหวที่กำหนดตามเกณฑ์ในตารางที่ 2.13 แตกต่างจากที่กำหนดตามเกณฑ์ในตารางที่ 2.14 ให้ยึดถือประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหวที่รุนแรงกว่า ในกรณีที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T) ในทั้งสองทิศทางที่ตั้งฉาก

กันที่คำนวณโดยใช้สมการที่ 2.9 หรือ 2.10 มีค่าน้อยกว่า $0.8T_s$ วินาทีโดยที่ T_s มีค่าเป็นไปตามที่กำหนดในหัวข้อที่ 2.4.8 อนุญาตให้กำหนดประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหวโดยใช้เฉพาะเกณฑ์ในตารางที่ 2.13 เท่านั้น

ตารางที่ 2.13 การแบ่งประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{DS}

ค่า S_{DS}	ประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหว		
	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

ตารางที่ 2.14 การแบ่งประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{D1}

ค่า S_{D1}	ประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหว		
	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

ส่วนที่ 2 ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างด้านทานแรงแผ่นดินไหว

ในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว โครงสร้างอาคารจะต้องประกอบด้วยระบบต้านแรงด้านข้าง (Lateral Load Resisting System) และระบบรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง (Gravity Load Resisting System) ที่มีกำลังต้านทาน สติฟเนส และความสามารถในการสลายพลังงานในระดับที่สูงเพียงพอ ที่จะทำให้อาคารนั้นสามารถต้านทานแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ (Design Earthquake) ได้

ในการออกแบบอาคารจะต้องสมมุติว่าแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ สามารถเกิดขึ้นได้ในทุกทิศทางตามแนวราบ วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องตรวจสอบว่า แรงที่เกิดในองค์อาคารต่างๆ และการเสียดทานที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างที่เหมาะสม การกระจายแรงแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบไปยังชั้นต่างๆ ของ

อาคาร จะต้องเป็นไปตามวิธีที่กำหนดไว้ใน หัวข้อ 2.4.18 หรือวิธีการอื่นๆที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าให้ผลเทียบเท่า

2.4.10 การเลือกระบบโครงสร้าง

การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัด

ค่าตัวประกอบปรับผลตอบแทน (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_o) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d) ของระบบโครงสร้างแต่ละแบบ ให้เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 2.15 ค่าตัวประกอบเหล่านี้จะนำไปใช้ในการคำนวณค่าแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) แรงในองค์อาคารเพื่อการออกแบบ (Element Design Force) และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้น (Story Drift)

ตารางที่ 2.15 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบแทน (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_o) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d)

ระบบ โครงสร้าง โดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการ ออกแบบ ต้านทานแรง แผ่นดินไหว		
		R	Ω_o	C_d	ข	ค	ง
1. ระบบกำแพง รับน้ำหนัก บรรทุก แนวตั้ง (Bearing Wall System)	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	4	2.5	4	/	/	X
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้ รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced ConcreteShear Wall)	5	2.5	5	/	X	/
1. ระบบกำแพง รับน้ำหนัก บรรทุก แนวตั้ง (Bearing Wall System)	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบ ธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	3	2.5	3	/	/	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มี การให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precaset Shear Wall)	4	2.5	4	/	/	X

ตารางที่ 2.15 (ต่อ)

ระบบ โครงสร้าง โดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการ ออกแบบ ต้านทานแรง แผ่นดินไหว		
		R	Ω_o	C_d			
					ข	ค	ง
2. ระบบโครง อาคาร (Building Frame System)	โครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์ที่ใช้จุด ต่อแบบรับแรงคัตได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	8	2	4	/	/	/
	โครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์ที่ใช้จุด ต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment- Resisting Connections)	7	2	4	/	/	/
	โครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบให้ รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5	/	/	/
	โครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบ ธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	3.5	2	3.5	/	/	X
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้ รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	/	/	/
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	4.5	/	/	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบ ธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	4	2.5	4.5	/	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มี การให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall)	5	2.5	4.5	/	/	X

ตารางที่ 2.15 ต่อ)

ระบบโครงสร้าง โดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการ ออกแบบ ต้านทานแรง แผ่นดินไหว		
		R	Ω_o	C_d			
					ข	ค	ง
3. ระบบโครงต้าน แรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียว (Ductile/Special Steel Moment- Resisting Frame)	8	3	5.5	/	/	/
	โครงถักต้านแรงดัดที่มีการให้ รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	7	3	5.5	/	/	/
	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียว ปานกลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	4.5	3	4	/	/	X
	โครงต้านแรงดัดเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3	/	/	X
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่ มีความเหนียว(Ductile/Special Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	8	3	5.5	/	/	/
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่ มีความเหนียวจำกัด (Ductile RC Moment-Resisting Frame with Limited Ductility/ Intermediate RC Moment-Resisting Frame)	5	3	4.5	/	/	X
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	3	3	2.5	/	X	X

ตารางที่ 2.15 ต่อ)

ระบบโครงสร้าง โดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการ ออกแบบ ต้านทานแรง แผ่นดินไหว		
		R	Ω_o	C_d	ข	ค	ง
4. ระบบ โครงสร้างแบบ ผสมที่มีโครงด้าน แรงดัดที่มีความ เหนียวที่สามารถ ต้านทาน แรงด้านข้างไม่ น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่ กระทำกับอาคาร ทั้งหมด(Dual System with Ductile/Special Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบตรง ศูนย์แบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	7	2.5	5.5	/	/	/
	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบเอียง ศูนย์ (Steel Eccentrically Braced Frame)	8	2.5	4	/	/	/
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มี การให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	7	2.5	5.5	/	/	/
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบ ธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	/	/	X

หมายเหตุ / = ใช้ได้ X = ห้ามใช้

ตารางที่ 2.15 (ต่อ)

ระบบโครงสร้าง โดยรวม	ระบบต้านแรงต้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการ ออกแบบ ต้านทาน แรง แผ่นดินไหว		
		R	Ω_o	C_d			
					ข	ค	ง
5. ระบบ โครงสร้างแบบ ผสมที่มีโครง ต้านแรงคัตที่มี ความเหนียว จำกัดที่สามารถ ต้าน ทานแรงต้านข้าง ไม่น้อยกว่า ร้อย ละ 25 ของแรงที่ กระทำกับอาคาร ทั้งหมด (Dual System with Moment Resisting Frame with Limited Ductility/ Dual System with Intermediate Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบตรง ศูนย์แบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	6	2.5	5	/	/	X
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการ ให้ รายละเอียด พิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6.5	2.5	5	/	/	/
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบ ธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5.5	2.5	4.5	/	/	X

หมายเหตุ / = ใช้ได้ X = ห้ามใช้

ตารางที่ 2.15 (ต่อ)

ระบบโครงสร้าง โดยรวม	ระบบต้านแรงต้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการ ออกแบบ ต้านทาน แรง แผ่นดินไหว		
		R	Ω_o	C_d			
					ข	ค	ง
6. ระบบ ปฏิสัมพันธ์ (Shear Wall Frame Interactive System)	ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำแพงรับ แรงเฉือนและ โครงสร้างดัดแบบธรรมดาที่ไม่มีการให้ รายละเอียดความเหนียว (Shear Wall Frame Interactive System with Ordinary Reinforced Concrete Moment Frame and Ordinary Concrete Shear Wall)	4.5	2.5	4	/	X	X
7. ระบบโครงสร้าง เหล็กที่ไม่มีการให้ รายละเอียดสำหรับ รับแรง แผ่นดิน ไหว (Steel Systems Not Specifically Detailed for Seismic Resistance)	ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้ รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว	3	3	3	/	/	X

หมายเหตุ / = ใช้ได้ X = ห้ามใช้

2.4.11 การรวมผลของแรงแผ่นดินไหว กับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง

2.4.11.1 กรณีที่ต้องพิจารณาการรวมผลของแรง

องค์อาคารทุกส่วนในโครงสร้าง รวมทั้งส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างต้านทานแรงด้านข้าง จะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงในแนวแกน แรงเฉือน แรงดัดที่เกิดกับองค์อาคารนั้น ๆ เมื่อโครงสร้างถูกกระทำด้วยแรงแผ่นดินไหวร่วมกับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งตามข้อกำหนดในหัวข้อ 2.4.11.2

2.4.11.2 วิธีรวมผลของแรง

(ก) สำหรับการออกแบบด้วยวิธีกำลัง ให้ใช้วิธีรวมผลของแรงดังต่อไปนี้

$$1.2D + 1.0L + 1.0E \quad (2.5)$$

$$0.9D + 1.0E \quad (2.6)$$

โดยที่ E คือ ผลที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว (Seismic Load Effects) ตามที่คำนวณในมาตรฐานนี้

D คือ ผลที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

L คือ ผลที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

อนึ่ง ตัวคูณผลของแรง (Load Factor) ของ L ในวิธีรวมผลแบบสมการ 2.5 สามารถลดค่าจาก 1.0 ลงเหลือ 0.5 ได้ หากน้ำหนักบรรทุกจรมีค่าน้อยกว่า 5,000 นิวตันต่อตารางเมตร เว้นแต่อาคารนั้นเป็นอาคารจอดรถยนต์ หรืออาคารสาธารณะที่มีผู้มาชุมนุมเป็นจำนวนมาก

2.4.12 ทิศทางของแรงแผ่นดินไหว

แรงแผ่นดินไหวในแต่ละทิศกระทำต่ออาคารแยกกัน

ในกรณีของอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ข และแบบ ค ยกเว้นแบบ ค ที่มีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบแบบ 5 สามารถกำหนดให้แรงแผ่นดินไหว กระทำในทิศทางของแกนหลักของโครงสร้างอาคารซึ่งมี 2 ทิศทางที่ตั้งฉากกัน โดยแยกกระทำทีละทิศทางไม่พร้อมกัน และไม่จำเป็นต้องรวมผลของแรงทั้ง 2 ทิศทางเข้าด้วยกัน

2.4.13 วิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง

วิศวกรผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อคำนวณผลของแรงแผ่นดินไหววิธีหนึ่งวิธีใด ตามเกณฑ์ที่แสดงโดยตารางที่ 2.16 ซึ่งขึ้นกับประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ และความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างของอาคาร

ตารางที่ 2.16 วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อคำนวณผลของแรงแผ่นดินไหวที่อนุญาตให้ใช้ได้

ประเภทการ ออกแบบ ต้านทาน แผ่นดินไหว	ลักษณะโครงสร้าง	วิธีแรง สถิต เทียบเท่า	วิธี สเปกตรัม การตอบ สนองแบบ โหมด	วิธีวิเคราะห์ การ ตอบสนอง แบบ ประวัตินเวลา
ข, ค	โครงสร้างอาคารทุกรูปแบบ	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
ง	อาคารที่มีประเภทความสำคัญ แบบ I หรือ II ที่มีโครงสร้างอาคารแบบ น้ำหนักเบา (เช่น โครงสร้างไม้ หรือ โครงสร้างเหล็กกริดเย็น) และมีความสูงไม่เกิน 3 ชั้น	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
ง	อาคารแบบอื่นๆที่มีประเภทความสำคัญ แบบ I หรือ II และมีความสูงไม่เกิน 2 ชั้น	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างสม่ำเสมอ และมีความการสั่นพื้นฐานน้อยกว่า $3.5 T_s$	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารที่มีความการสั่นพื้นฐานน้อยกว่า $3.5 T_s$ และมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ ตามตารางที่ 2.7	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารแบบอื่น ๆ	ไม่ อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต

2.4.14 ข้อกำหนดในการสร้างแบบจำลองโครงสร้าง

2.4.14.1 น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล

น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล คือ น้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งของอาคารที่ต้องนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหว น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล (W) จะต้องรวมน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมดของอาคาร และน้ำหนักบรรทุกประเภทอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

- (1) ร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกจร (Floor Live Load) ในกรณีของอาคารที่ใช้เก็บพัสดุ อื่นๆ อาคารจอดรถยนต์ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงน้ำหนักในข้อนี้
- (2) น้ำหนักของผนังอาคาร และผนังกันห้องต่าง ๆ หรือน้ำหนักบรรทุกเทียบเท่าจากน้ำหนักของผนังอาคาร ที่กระจายลงพื้นทั่วทั้งชั้นอย่างน้อย 480 นิวตันต่อตารางเมตร โดยให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่า
- (3) น้ำหนักของเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ซึ่งติดตั้งถาวรในอาคาร

2.4.14.2 แบบจำลองโครงสร้าง

แบบจำลองโครงสร้างจะต้องถูกสร้างขึ้นเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์คำนวณหาแรงภายในองค์อาคารและการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว ดังนั้นในแบบจำลองนี้จะต้องมีการจำลองค่าสถิติและกำลังขององค์อาคารที่มีความสำคัญต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว รวมถึงจำลองลักษณะการกระจายของมวลทั่วทั้งอาคารอย่างถูกต้อง ในกรณีที่ไดอะแฟรมมิได้เป็นไดอะแฟรมแข็งหรืออ่อนจะต้องสามารถจำลองสถิติในแนวระนาบของไดอะแฟรมได้

2.4.15 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นและการโก่งตัวของโครงสร้าง

2.4.15.1 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (Design Story Drift, Δ) ที่คำนวณได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (ตามหัวข้อที่ 2.4.21) จะต้องไม่เกินค่าที่ยอมให้ (Allowable Story Drift, Δ_a) ดังแสดงในตารางที่ 2.17

ในกรณีที่อาคารมีการปิดตัวรอบแกนดังอย่างชัดเจน เมื่อถูกแรงแผ่นดินไหวกระทำ การคำนวณค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Δ) นี้จะต้องรวมผลของการบิดตัวของอาคารเข้าไปด้วย

2.4.15.2 ความสอดคล้องของการเคลื่อนตัวด้านข้าง

ในกรณีที่อาคารมีประเภทการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง ทุกองค์อาคารที่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบโครงสร้างต้านแรงแผ่นดินไหวจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกแนวตั้งร่วมกับแรงภายในองค์อาคารที่เกิดจากเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเท่ากับ Δ

องค์อาคารของระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีใช้ส่วนหนึ่งของระบบโครงสร้างต้านแรงแผ่นดินไหวจะต้องได้รับการออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดในหัวข้อ 21.11 ของมาตรฐาน ACI 318

ตารางที่ 2.17 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_u)

ลักษณะโครงสร้าง	ประเภทความสำคัญของอาคาร		
	I หรือ II	III	IV
โครงสร้างที่ไม่ใช่ผนังอิฐก่อรับแรงเฉือนและสูงไม่เกิน 4 ชั้น ซึ่งผนังภายใน ฉากกั้นห้อง ฝ้าเพดาน และผนังภายนอกถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้มาก	$0.025h_{sx}$	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$
โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบยื่นจากฐานรองรับ	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$
โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบอื่น ๆ	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$
โครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.010h_{sx}$

หมายเหตุ

- 1) h_{sx} คือความสูงระหว่างชั้นที่อยู่ใต้พื้นที่ชั้นที่ x
- 2) อาคารชั้นเดียวที่มีผนังภายใน ฉากกั้นห้อง ฝ้าเพดาน และผนังภายนอกที่ถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้มาก จะมีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเท่าใดก็ได้ไม่จำกัด แต่ยังคงต้องพิจารณาการเว้นระยะห่างระหว่างโครงสร้าง
- 3) โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบยื่นจากฐานรองรับ หมายถึง อาคารที่ถูกออกแบบให้ใช้กำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนเป็นส่วนโครงสร้างในแนวดิ่งซึ่งยื่นขึ้นมาจากฐานรองรับ และถูกก่อสร้างในลักษณะที่มีถ่ายโมเมนต์คดและแรงเฉือนระหว่างกำแพงข้างเคียง (แบบ Coupling Beam) น้อยมาก

ส่วนที่ 3 การออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวสามารถทำได้หลายวิธี วิธีแรงสถิตเทียบเท่าก็เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ออกแบบอาคารได้หลากหลายประเภทดังที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 2.4.13 วิธีนี้เริ่มจากการคำนวณหาค่าแรงสถิตเทียบเท่าในรูปของแรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Seismic Base Shear, V) จากนั้นจึงกระจายแรงไปยังชั้นต่าง ๆ ของอาคาร แรงที่เกิดขึ้นภายในองค์อาคารต่าง ๆ เนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำร่วมกับน้ำหนักบรรทุกทุกในแนวดิ่งของอาคารจะเป็นแรงที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ออกแบบกำลังต้านทานขององค์อาคารเหล่านี้ และหาค่าการเคลื่อนตัว นอกจากนี้ค่าการเคลื่อนตัวของโครงสร้างเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า เมื่อถูกนำไปปรับแก้ด้วยตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว จะเป็นค่าการเคลื่อนตัวและการโก่งตัวสูงสุดที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ

2.4.16 แรงเฉือนที่ฐานอาคาร

แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Seismic Base Shear, V) จะต้องคำนวณจาก

$$V = C_s W \quad (2.7)$$

โดยที่ C_s คือ สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว

W คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร ตามที่กำหนดในหัวข้อที่ 2.4.14.1

2.4.16.1 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว

สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว (C_s) จะต้องคำนวณจาก

$$C_s = S_a \left(\frac{I}{R} \right) \quad (2.8)$$

โดยที่ S_a คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ S_a ที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T) จากรูปที่ 2.20 และรูปที่ 2.21

R คือ ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง ตามที่กำหนดในหัวข้อที่ 2.4.10

I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคารตามที่กำหนด และ C_s จะต้องมิต่ำไม่น้อยกว่า 0.01

2.4.17 การคำนวณค่าคาบการสั่นพื้นฐาน

ค่าคาบการสั่นพื้นฐาน (Fundamental Period, T) ในทิศทางแกนหลักของอาคาร สามารถคำนวณได้โดยวิธีดังต่อไปนี้

วิธี ก (ที่เลือกในงานวิจัย)

คาบการสั่นพื้นฐาน (หน่วยเป็นวินาที) สามารถคำนวณจากสูตรการประมาณค่าดังนี้

$$\text{อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก} \quad T = 0.02H \quad (2.9)$$

$$\text{อาคารโครงสร้างเหล็ก} \quad T = 0.03H \quad (2.10)$$

โดยที่ H คือ ความสูงของอาคารวัดจากพื้นดิน มีหน่วยเป็นเมตร

2.4.18 การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำทางด้านข้างต่ออาคารในชั้นต่างๆ

แรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำต่ออาคาร ณ ชั้นใด ๆ ในแนวนอน (F_x) จะต้องคำนวณจาก

$$F_x = C_{vx} V \quad (2.11)$$

และ

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.12)$$

โดยที่ C_{vx} คือ ตัวประกอบการกระจายในแนวดิ่ง

w_x คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของชั้นที่ x

h_i และ h_x คือ ความสูงที่ระดับชั้น i และ x ตามลำดับ

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง ซึ่งมีค่าดังนี้

$k = 1.0$ เมื่อ $T \leq 0.5$ วินาที

$k = 1 + \frac{T - 0.5}{2}$ เมื่อ $0.5 \text{ วินาที} < T < 2.5 \text{ วินาที}$

$k = 2.0$ เมื่อ $T \geq 2.5$ วินาที

2.4.19 การกระจายแรงเฉือนในแนวนอน

แรงเฉือน ณ ชั้นใด ๆ ของอาคารที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า (V_x) ให้คำนวณจาก

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.13)$$

แรงเฉือน ณ ชั้นใด ๆ (V_x) จะกระจายแรงไปยังองค์อาคารแนวดิ่งที่เป็นส่วนของโครงสร้างด้านแรงด้านข้างในชั้นที่พิจารณาตามสัดส่วนสถิติเฟเนส ด้านข้างขององค์อาคารเหล่านั้น

ในกรณีที่ไดอะแฟรมเป็นแบบกึ่งแข็งการกระจายแรงนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงสถิติเฟเนสสัมพัทธ์ระหว่างไดอะแฟรมกับองค์อาคารแนวดิ่งซึ่งทำหน้าที่ด้านแรงด้านข้างด้วย

2.4.20 การพลิกคว่ำ

อาคารจะต้องได้รับการออกแบบให้ทนต่อแรงสถิตเทียบเท่าได้โดยไม่เกิดการพลิกคว่ำ (ในหัวข้อ 2.3.3)

2.4.21 การคำนวณค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (Design Story Drift, Δ) จะต้องคำนวณจาก ผลต่างระหว่างการเคลื่อนตัวในแนวนอนที่จุดศูนย์กลางมวลของชั้นบนและชั้นล่างที่พิจารณา (รูปที่ 2.22) โดยที่การเคลื่อนตัวในแนวนอนที่ศูนย์กลางมวลของชั้นใด ๆ จะต้องคำนวณจาก

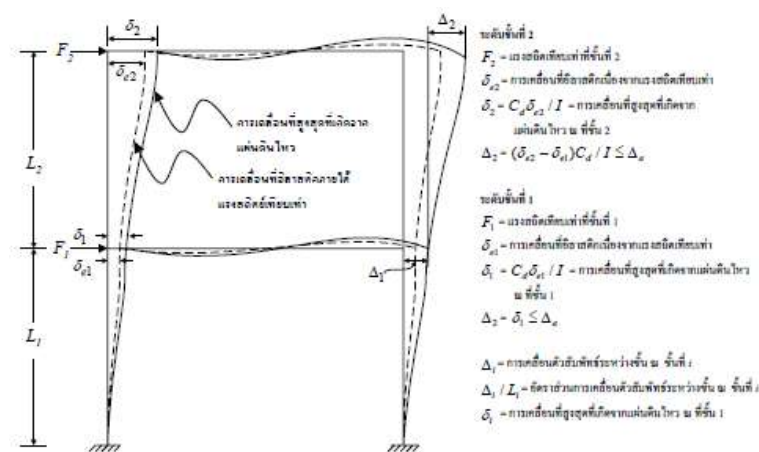
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I} \quad (2.14)$$

โดยที่ C_d คือ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว ตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 2.4.11

δ_{xc} คือ ค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบที่จุดศูนย์กลางมวลของชั้น x เนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่าที่ได้จากวิธีวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับระบบอีลาสติก

I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคารตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 2.4.8

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาค่า δ_{xc} จะต้องพิจารณาถึงผลของการแตกร้าวขององค์อาคารคอนกรีตและอิฐก่อที่มีต่อค่าสติเฟนขององค์อาคารเหล่านั้น ตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 2.4.14.2 ค่า Δ ที่คำนวณได้จะต้องมีค่าไม่เกิน Δ_u ตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 2.4.15.1



รูปที่ 2.22 การพิจารณาค่าการเคลื่อนที่ด้านข้างของชั้นอาคาร

2.4.22 ผลของ P-Delta

ผลของ P-Delta (ซึ่งเกิดจากการเอียงตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง) ที่มีต่อแรงเฉือนในแต่ละชั้น แรงและโมเมนต์ดัดในองค์อาคารต่าง ๆ และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบอาคารหากค่าสัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (Stability Coefficient, θ) ที่คำนวณจากสมการต่อไปนี้ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1

$$\theta = \frac{P_x \Delta}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.15)$$

โดยที่ P_x คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร(หัวข้อที่ 2.4.14.1) ที่ระดับชั้น x และที่อยู่เหนือชั้น x ทั้งหมดรวมกัน

Δ คือ ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ระดับชั้น x ที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (หัวข้อที่ 2.4.21)

V_x คือ แรงเฉือนในระดับระหว่างชั้น x และชั้น $x-1$ ที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า (หัวข้อที่ 2.4.19)

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

C_d คือ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว ตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 2.4.10 ค่า ที่คำนวณได้ไม่ว่ากรณีใด ๆ จะต้องมีค่าไม่เกิน θ_{max} โดยที่

$$\theta = \frac{0.5}{\beta C_d} \quad (2.16)$$

โดยที่ β คือ อัตราส่วนของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นต่อกำลังต้านทานแรงเฉือนของอาคารที่ระดับระหว่างชั้น x และ $x-1$ ซึ่งอาจกำหนดให้ $\beta=1$ เพื่อเพิ่มสัดส่วนความปลอดภัยให้กับการออกแบบโครงสร้าง หากค่า θ_{max} มีค่ามากกว่า 2.5 ให้กำหนดค่า θ_{max} เท่ากับ 2.5

หากค่า θ มีค่ามากกว่า 0.1 แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ θ_{max} ผลของ P-Delta ที่มีต่อการเคลื่อนตัวและแรงภายในองค์อาคารต่าง ๆ จะต้องถูกนำมาพิจารณาในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ในกรณีดังกล่าวอนุญาตให้ประมาณการเพิ่มค่าการเคลื่อนตัวและแรงภายในองค์อาคารด้วยการคูณค่าเหล่านั้น

$$\text{ด้วย } \frac{1}{(1-\theta)}$$

หากค่า θ มีค่ามากกว่า θ_{max} โครงสร้างมีโอกาที่จะสูญเสียเสถียรภาพได้ จึงต้องทำการออกแบบโครงสร้างใหม่

ในกรณีที่การวิเคราะห์โครงสร้างได้รวมผลของ P-Delta เข้าไปแล้ว เช่น การวิเคราะห์ลำดับที่สอง (Second-order Analysis) อนุญาตให้นำค่า $(1+\theta)$ ไปหารค่า θ ในสมการ 2.15 ก่อนแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปตรวจสอบกับค่า θ_{max} ในสมการ 2.16

ค. มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร มยพ. 1311-50

2.4.23 หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (q)

หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม สามารถคำนวณได้จาก

$$q = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^2 \quad (2.17)$$

โดยที่ q = ที่คำนวณได้ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (แรง) ต่อตารางเมตร)

ρ = ความหนาแน่นของมวลอากาศ (ซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 1.25 กิโลกรัม (มวล) ต่อลูกบาศก์เมตร) สำหรับความดันบรรยากาศปกติและอุณหภูมิ ของอากาศประมาณ 15 องศาเซลเซียส ถึง 45 องศาเซลเซียส

$\bar{V}$ = ความเร็วลมอ้างอิง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ 9.806 ม./วินาที²

2.4.23.1 ความเร็วลมอ้างอิง คือ ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ที่ความ

สูง 10 เมตร จากพื้นดิน ในสภาพภูมิประเทศโล่ง (Open exposure)

ความเร็วลมอ้างอิง ($\bar{V}$) ที่ใช้ในการคำนวณหน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (q) ในสมการที่ 2.17 สำหรับการออกแบบที่สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน

$$\bar{V} = V_{50} \quad (2.18)$$

โดย V_{50} คือค่าความเร็วลมที่คาบเวลากลับ 50 ปี

การจำแนกและการแบ่งกลุ่มความเร็วลมอ้างอิงแสดงในรูปที่ 2.23 กลุ่มความเร็วลมอ้างอิงมีจำนวน 5 กลุ่ม ได้แก่

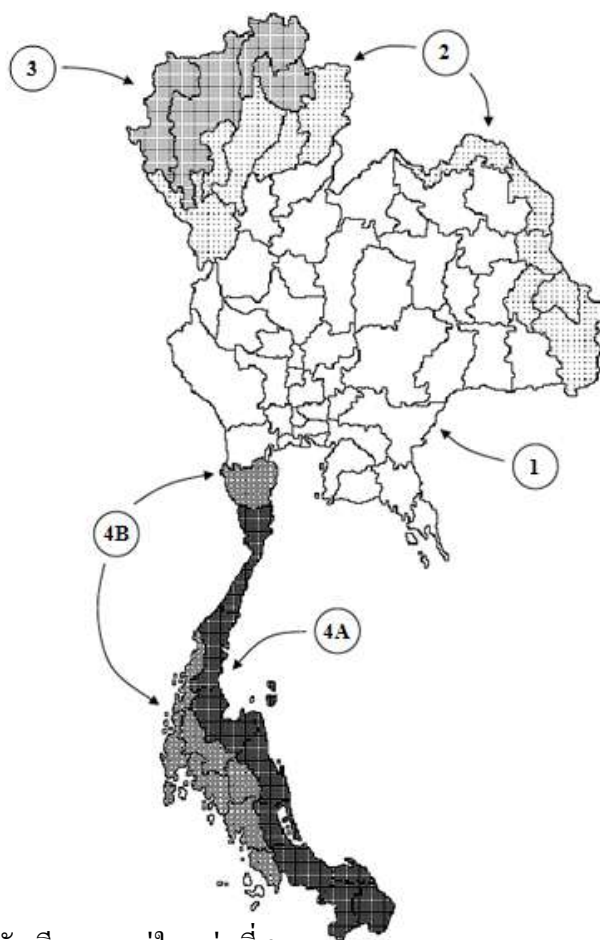
กลุ่มที่ 1 $V_{50} = 25$ เมตร ต่อ วินาที: $F T = 1.0$

กลุ่มที่ 2 $V_{50} = 27$ เมตร ต่อ วินาที: $F T = 1.0$

กลุ่มที่ 3 $V_{50} = 29$ เมตร ต่อ วินาที: $F T = 1.0$

กลุ่มที่ 4A $V_{50} = 25$ เมตร ต่อ วินาที: $F T = 1.2$

กลุ่มที่ 4B $V_{50} = 25$ เมตร ต่อ วินาที: $F T = 1.08$



หมายเหตุ : จังหวัดเชียงรายอยู่ในกลุ่มที่ 3

รูปที่ 2.23 แผนที่การแบ่งกลุ่มความเร็วลมอ้างอิง($\bar{V}$)

2.4.24 ค่าประกอบเนื่องจากการกระโศกของลม (C_g)

ค่าประกอบเนื่องจากการกระโศกของลม คือ อัตราส่วนระหว่างผลของแรงลมสูงสุดต่อผลของแรงลมเฉลี่ย ค่าประกอบ C_g สำหรับวิธีการอย่างง่าย คำนวณได้ดังนี้

ค่าประกอบเนื่องจากการกระโศกของลม ที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร

- ก. สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่า C_g เท่ากับ 2.0 ในการออกแบบโครงสร้างหลักด้านทานแรงลม ยกเว้น ฝ้าและกำแพง ให้ใช้ค่า C_g เท่ากับ 2.35
- ข. สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่า C_g เท่ากับ 2.5 ในการออกแบบโครงสร้างรองและผนังภายนอกอาคาร (cladding) ที่มีขนาดเล็ก (ประมาณขนาดของหน้าต่าง)

2.4.25 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e)

ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ เป็นค่าประกอบที่นำมาปรับค่าหน่วยแรงลมให้แปรเปลี่ยนตามความสูงจากพื้นดินและสภาพภูมิประเทศ

การคำนวณค่าแรงลมโดยวิธีการอย่างง่าย คำนึงถึงสภาพภูมิประเทศเป็น 2 ประเภท ดังนี้

- ก. สภาพภูมิประเทศแบบ A เป็นสภาพภูมิประเทศแบบโล่งซึ่งมีอาคาร ดันไม้ หรือสิ่งปลูกสร้าง กระจัดกระจายอยู่ห่างๆ กัน หรือเป็นบริเวณชายฝั่งทะเล
- ข. สภาพภูมิประเทศแบบ B เป็นสภาพภูมิประเทศแบบขานเมือง หรือพื้นที่ที่มีต้นไม้ใหญ่หนาแน่น หรือบริเวณศูนย์กลางเมืองขนาดเล็ก ให้คำนวณค่า

ตารางที่ 2.18 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e) สำหรับวิธีการอย่างง่าย

ความสูงจากพื้นดิน (H)	สภาพภูมิประเทศแบบ A	สภาพภูมิประเทศแบบ B
สูงไม่เกิน 6 เมตร	0.90	0.70
สูงเกิน 6 เมตร แต่ไม่เกิน 10 เมตร	1.00	0.70
สูงเกิน 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	1.15	0.82
สูงเกิน 20 เมตร แต่ไม่เกิน 30 เมตร	1.25	0.92
สูงเกิน 30 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	1.32	1.00
สูงเกิน 40 เมตร แต่ไม่เกิน 60 เมตร	1.43	1.13
สูงเกิน 60 เมตร แต่ไม่เกิน 80 เมตร	1.52	1.24

2.4.26 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม (C_p)

- ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับอาคารเดี่ยวที่มีความสูงต่อความกว้าง $\left(\frac{H}{D_s}\right)$ น้อยกว่า 1 (D_s คือความกว้างของด้านที่แคบที่สุด) และมีความสูงอ้างอิง (reference height) น้อยกว่า 23 เมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมได้ถูกนำมารวมกับค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม

กำหนด ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก ตามหัวข้อ ข1 (ข้อ1) และ ข2 (รูปที่ ข.9), มยผ.1311-50

- ด้านประทะลม = $0.27(H/D+2)$ สำหรับ $0.25 < H/D < 1$
- ด้านหลบลม = $-0.27(H/D+0.88)$ สำหรับ $0.25 < H/D < 1$

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทำโครงการ

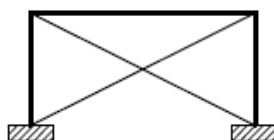
3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาผลความเสียหายของอาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว) จากภัยพิบัติแผ่นดินไหว วันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ของโรงเรียนสันกลางวิทยา ต.สันกลาง อำเภอฟาน จังหวัดเชียงราย เป็นอาคารเรียนแบบมาตรฐานในสังกัด สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน(สพฐ.) ในเชิงวิชาการ ภายใต้กฎกระทรวง พ.ศ. 2550 (ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522) ผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่าแบบดังกล่าวเป็นแบบมาตรฐานของหน่วยงาน ที่สร้างก่อนกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ซึ่งมีแบบอาคารนี้อยู่ทั่วประเทศ เพื่อป้องกันและลดทอนภัยพิบัติแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นในอนาคต หากผู้วิจัยใส่ค่าตัวแปร แรงต่างๆ ในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างสำเร็จรูปตามมาตรฐาน มยผ.ที่เกี่ยวข้องนั้น อาคารจะมีรูปทรงเสียหายแบบใด แรงต่างๆ ที่กระทำกับตัวอาคารผลเป็นอย่างไร และการเสริมกำลังให้กับตัวอาคารเรียนด้วยระบบโครงแกนเหล็ก ลักษณะใดที่จะปลอดภัยและประหยัดงบประมาณ เพื่อเป็นแนวทางเสนอให้กับหน่วยงานและให้นักศึกษา วิศวกรทั่วไปที่สนใจสามารถนำไปเป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านแผ่นดินไหว ต่อไป

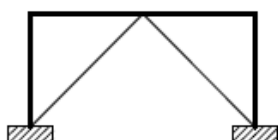
3.2 การแบ่งกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา

- ศึกษาเฉพาะงานโครงสร้างของอาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว) มีขนาด 9.00x36.00x8.70 เมตร (กว้างxยาวxสูง) ซึ่งเป็นแบบอาคารเรียนแบบมาตรฐาน ในสังกัด สพฐ. ลักษณะเป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ พื้นสำเร็จรูปหรือหล่อในที่ที่ โครงหลังคาเหล็กรูปพรรณ มุงหลังคากระเบื้องลอนคู่ ฐานรากแผ่หรือฐานรากเสาเข็ม
- จำนวนตัวอย่างในการวิจัย แบ่งเป็น 4 กรณี ได้แก่
 1. การวิเคราะห์โครงสร้างโดยตำแหน่งที่ตั้งอาคารเรียน ตามมาตรฐานต่างๆของ มยผ.หรือ ACI-318 ออกแบบโดยวิธีกำลัง (STRENGTH DESIGN) และวิธีแรงสถิตเทียบเท่า
 2. การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเรียน เมื่อมีการเสริมกำลังด้วยโครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์และเอียงศูนย์ แยก 3 ลักษณะ (รูปที่ 3.1) ดังนี้

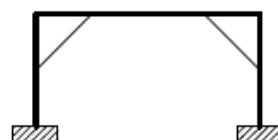
- 2.1) ระบบโครงแกนตรงศูนย์ แบบ Braced (ก)
- 2.2) ระบบโครงแกนเอียงศูนย์ แบบ Inverted V (ข)
- 2.3) ระบบโครงแกนเอียงศูนย์ แบบ Knee Braced (ค)



(ก) โครงแกนตรง แบบ Braced



(ข) โครงแกนตรง แบบ Inverted V



(ค) โครงแกนตรง แบบ Knee Braced

รูปที่ 3.1 รูปแบบการเสริมกำลังด้วยโครงแกนหลักแบบเอียงศูนย์

3. ตรวจสอบโครงสร้างเดิม ภายหลังการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงกระทำเพิ่มกับโครงสร้างอาคารยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้โดยปลอดภัยหรือไม่
4. ตรวจสอบงบประมาณที่ใช้ต่ออาคาร ภายหลังการเสริมกำลังด้วยรูปแบบที่เหมาะสม

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

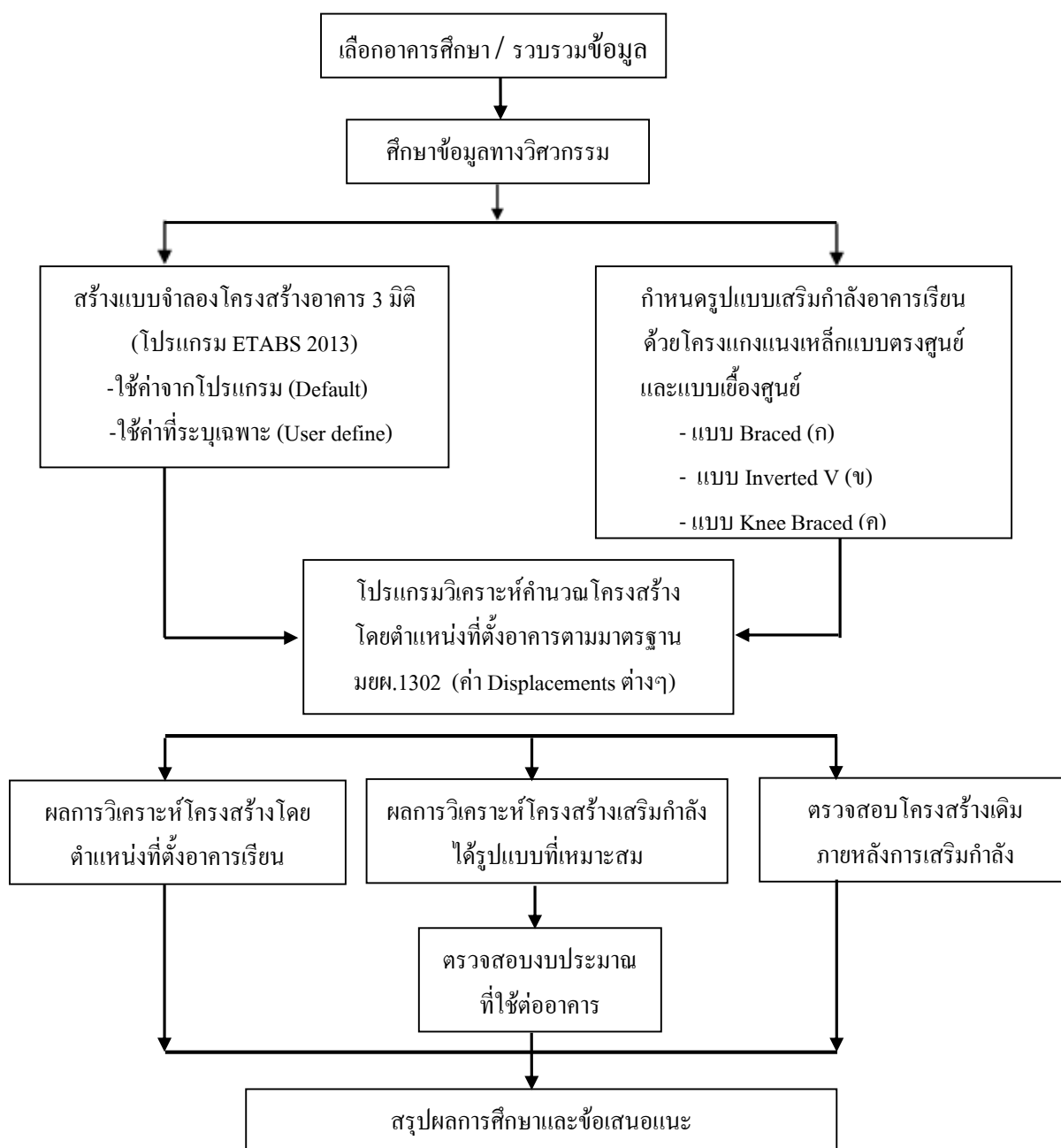
เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรม ETABS 2013 หรือโปรแกรมอื่นที่เป็นที่ยอมรับในทางวิศวกรรม และ โปรแกรม MICROSOFT EXCEL โดยแบ่งออกเป็น

- ใช้แบบรูปรายการอาคารเรียนมาตรฐาน แบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น(บันไดด้านเดียว) ในสังกัด สพฐ. (แสดงในรูปที่ 3.3-3.7)
- วิเคราะห์โครงสร้างแบบ 3 มิติโดยใช้โปรแกรม ETABS 2013
- การคำนวณแรงเฉือนแนวราบที่ฐานเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว (Base shear) คำนวณโดยใช้โปรแกรม MICROSOFT EXCEL ร่วมกับโปรแกรม ETABS 2013

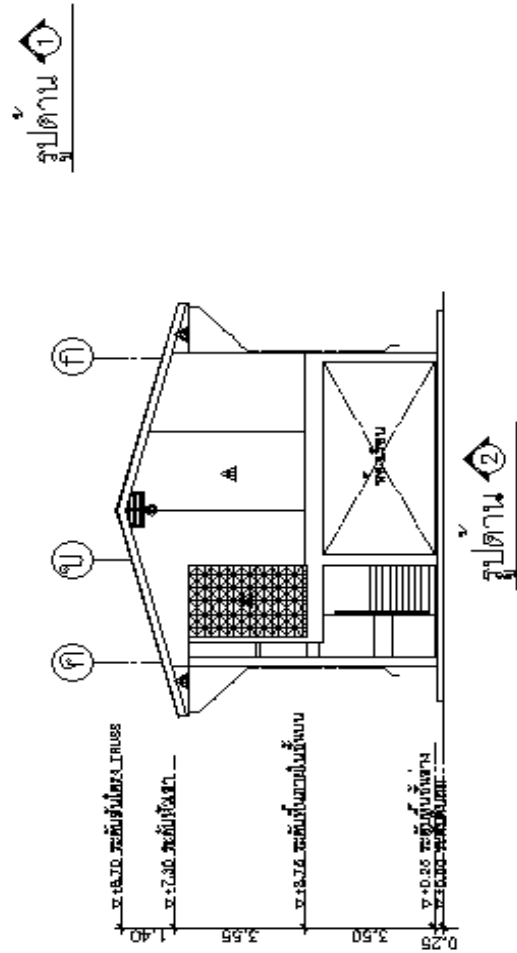
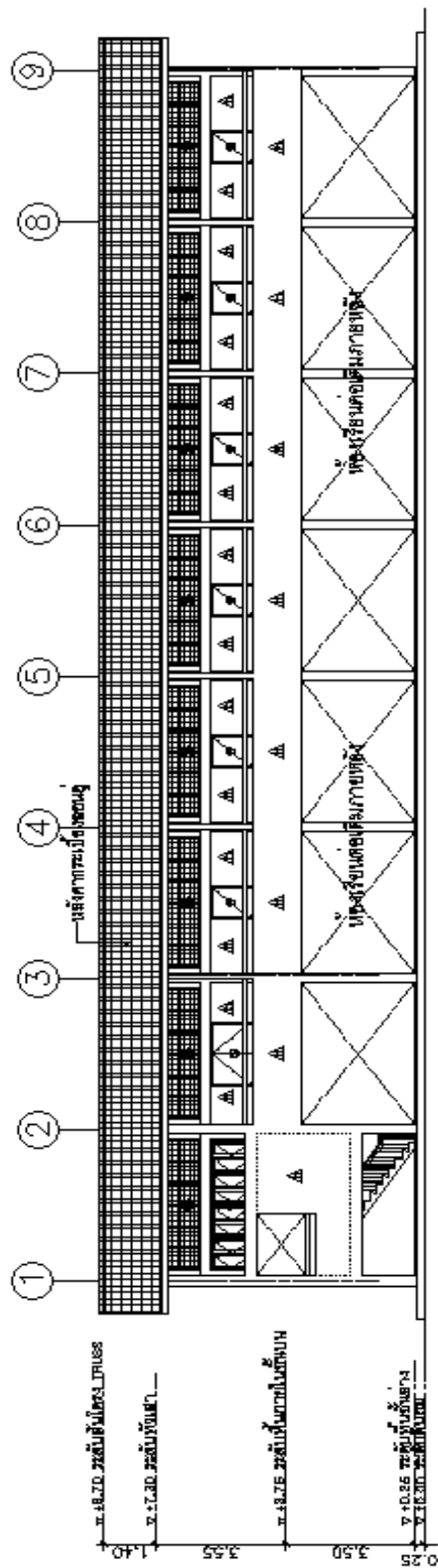
- ใช้โปรแกรม Auto cad 2007 ในการปรับแก้แบบรูปรายการ

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

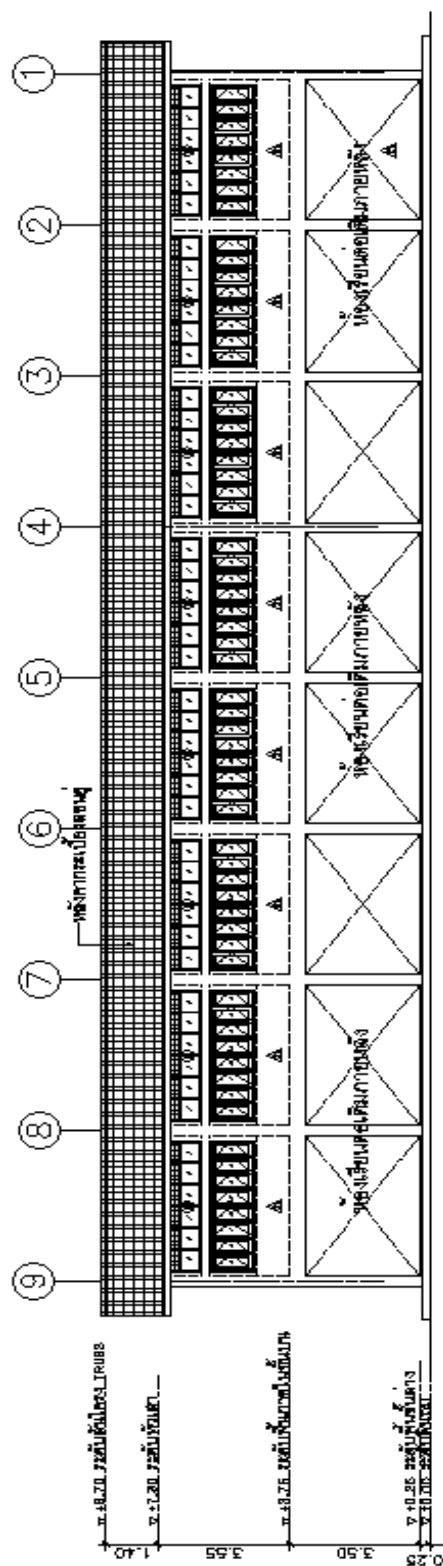
- จากการลงพื้นที่สำรวจอาคารเรียนที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติแผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 จ.เชียงราย ซึ่งเป็นข้อมูลจริงจากการสังเกตการณ์และภาพถ่าย



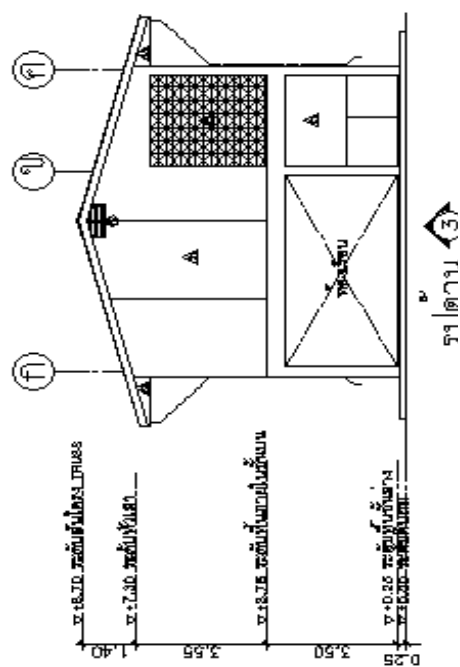
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนดำเนินการศึกษา



รูปที่ 3.4 แบบรูปด้าน 1 และ 2 อาคารเรียน สทช. 105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว)

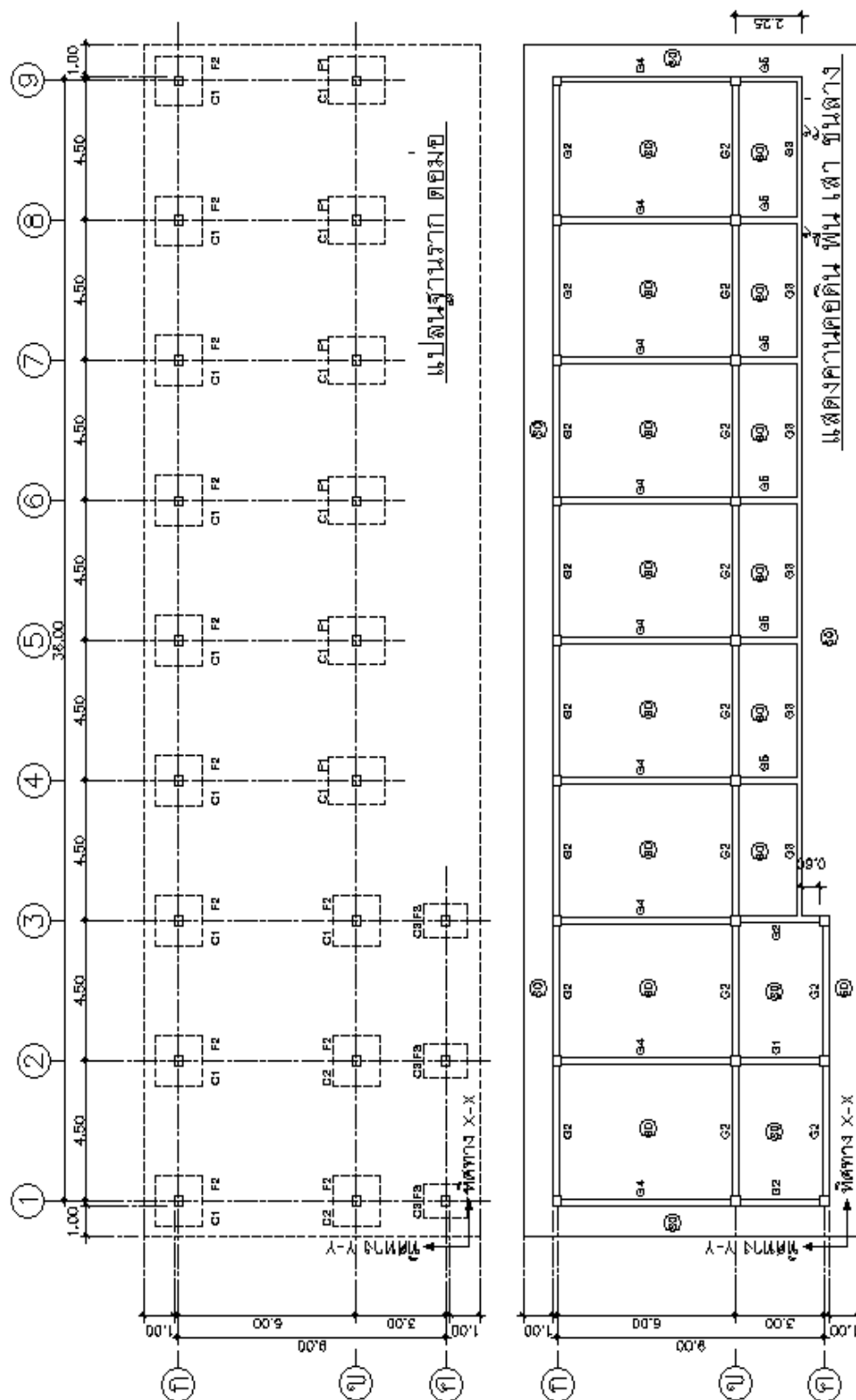


รูปด้าน 4

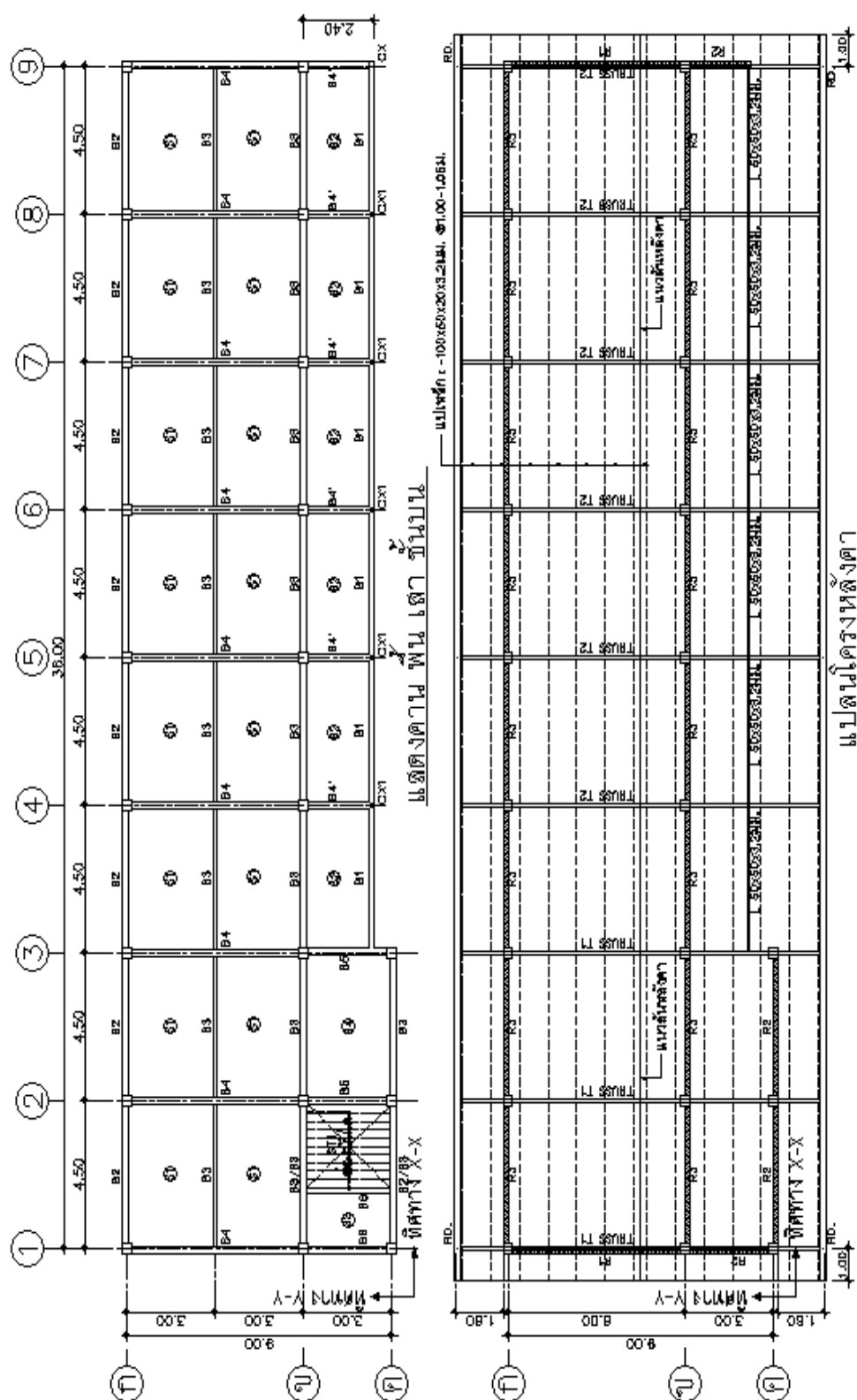


รูปด้าน 3

รูปที่ 3.5 แบบรูปด้าน 3 และ 4 อาคารเรียน สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว)



รูปที่ 3.6 แบบแปลนฐานราก – คาน คอดินชั้นล่าง ของอาคารเรียน



3.5 วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูลมีขั้นตอนดังนี้

- 1) วิเคราะห์สภาพชั้นดิน ณ บริเวณที่ตั้งของอาคาร โดยการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ ผลสรุปจากการสำรวจ ของสำนักเทคโนโลยี กรมทรัพยากรธรณี ส่วนมากเป็นดินทรายและดินเหนียว จัดเป็นดินปกติ ประเภท D
- 2) อาคารเรียนที่ศึกษาอยู่นอกเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล หาค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้นและที่ 1.0 วินาที S_s และ S_1 (ตารางที่ 2.9) และเลือกค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร F_a และ F_v (ตารางที่ 2.10 และ 2.11) แล้วคำนวณปรับแก้ค่าให้เหมาะกับประเภทของชั้นดิน

- 3) คำนวณค่าความเร่งตอบสนองสำหรับการออกแบบ S_{DS} และ S_{D1} จาก

$$S_{DS} = \frac{2}{3} (F_a S_s)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} (F_v S_1)$$

- 4) กำหนดประเภทการออกแบบด้านแรงแผ่นดินไหว ข ค และ ง (ตารางที่ 2.13 และ 2.14) ตามค่า S_{DS} และ S_{D1} และความสำคัญของอาคาร (I, II, III, IV)
- 5) กำหนดค่า R , Ω , C_d จากตารางซึ่งสัมพันธ์กับประเภทการออกแบบด้านแรงแผ่นดินไหว (ข ค ง) และระบบโครงสร้างอาคาร (ตารางที่ 2.15)
- 6) คำนวณหาค่าคาบการสั่นตามธรรมชาติของโครงสร้าง T (หัวข้อที่ 2.4.17)
- 7) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักประสิทธิผลของอาคาร W
- 8) คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว C_s (หัวข้อที่ 2.4.16.1) จาก $C_s = S_a \left(\frac{I}{R} \right)$ ซึ่ง S_a คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร จากรูปที่ 2.20 และ 2.21 โดยที่ C_s มีค่าไม่น้อยกว่า 0.01
- 9) คำนวณหาแรงเฉือนที่ฐานอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว (หัวข้อที่ 2.4.18) จาก

$$V = C_s W$$

(เมื่อ C_s เป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาคาร)

- 10) ภายหลังการสร้างโมเดลอาคารเรียนแบบ 3 มิติ (โปรแกรม ETABS 2013) กำหนดของน้ำหนักบรรทุก (DL) น้ำหนักบรรทุกจร (LL) ของแต่ละชั้น ตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 6 เป็นไปตามข้อกำหนด พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522

- 11) กำหนดคุณสมบัติของวัสดุให้กับโปรแกรม รวมถึงหน้าตัด เสา คาน โครงหลังคา โดยเป็นไปตามแบบรูปที่นำมาศึกษาหรือใกล้เคียง ให้จัดรองรับอาคารเป็นแบบ Fixed โปรแกรมมีให้เลือกกำหนดมาตรฐาน ASCE 7-05 ซึ่งตรงกับมาตรฐานแผ่นดินไหว มยพ. 1302 และเลือกมาตรฐาน NBCC 2005 ซึ่งใกล้เคียงกับมาตรฐานแรงลม มยพ. 1311-50 (ในการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวไม่ได้นำแรงลมไปทำการวิเคราะห์ร่วมด้วย)
- 12) ใส่ค่าตัวแปรต่างๆให้กับโปรแกรมจากข้อ 1-6 ทำการวิเคราะห์โครงสร้าง ตรวจสอบความถูกต้องขององค์อาคาร
- 13) กระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำด้านข้างในชั้นอาคารเรียนด้วยตัวโปรแกรมในรูปของ Table Story Forces จาก
$$F_x = C_{vx} V$$
- 14) ตรวจสอบความมั่นคงของอาคาร จากค่าระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นอาคาร (Inter story Drift) ค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์ (Safety Factor Against Overturning Moment, SF) และผลกระทบของโมเมนต์ลำดับที่สอง (P Δ Effect)
- 15) วิเคราะห์หาแรงภายในของโครงสร้างอาคาร จากการร่วมน้ำหนักบรรทุกกรณีพิจารณาแรงกระทำทางด้านข้าง (Combined Load cases) โดยพิจารณาใช้ค่าสูงสุดของการรวมแรงจากกรณีต่อไปนี้
$$U = 1.2D + 1.0L + 1.0E$$

$$U = 0.9D + 1.0E$$
- 16) สร้างโมเดลเพิ่มเติมในการเสริมกำลังด้วยโครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์และเยื้องศูนย์ 3 ลักษณะ (หัวข้อที่ 3.2) ในทิศทาง Y-Y ในการศึกษาใช้เหล็กรูปพรรณหน้าตัดรูปปีกกว้าง (Wide Flange Shapes) ขนาดหน้าตัด 150x150x7x10 mm (31.5kg/m) ตำแหน่งเสริมกำลังจะกล่าวถึงในบทต่อไป
- 17) ทำการวิเคราะห์ซ้ำเลือกรูปแบบการเสริมกำลังที่เหมาะสม
- 18) โปรแกรมวิเคราะห์หน้าตัดองค์อาคารและรายละเอียดเหล็กเสริม ตรวจสอบโครงสร้างเดิม ภายหลังการเสริมกำลังด้วยโครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์และเยื้องศูนย์
- 19) นำค่าที่วิเคราะห์ได้จากข้อที่ 9, ข้อที่ 17 และข้อที่ 18 มาพิจารณา พร้อมหาทางแก้ไขและสรุปผลการศึกษา

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

4.1 ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

อาคารเรียนมีขนาด 9.00 x 36.00 x 8.70 เมตร (กว้างxยาวxสูง) จำนวน 2 ชั้น

สถานที่ตั้งอาคาร โรงเรียนสันกลางวิทยา อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

อาคารประเภท สาธารณะ

รูปแบบอาคารโดยสังเขป (แบบอาคารแสดงในรูปที่ 3.3-3.8)

- พื้นชั้นล่างและส่วนระเบียงอาคารเป็นพื้นเทินที่ทั้งหมดหนา 0.10 เมตร
- พื้นห้องเรียนชั้นบนเป็นพื้นสำเร็จรูป หนา 0.05 เมตร เทคอนกรีตทับหน้า 0.05 เมตร
- บันไดเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 เมตร จำนวน 1 ด้าน
- ผนังก่อคอนกรีตบล็อกหรืออิฐมวลเบา
- คาน เป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็ก มีทั้งหมด 5 ขนาด ดังนี้
 1. ขนาดหน้าตัด 0.15x0.20 เมตร คาน R3
 2. ขนาดหน้าตัด 0.15x0.35 เมตร คาน B1 และB5
 3. ขนาดหน้าตัด 0.15x0.40 เมตร คาน G1,G2,G3,R2 และB6
 4. ขนาดหน้าตัด 0.20x0.40 เมตร คาน G4,G5,R1,B3 และB2
 5. ขนาดหน้าตัด 0.25x0.60 เมตร คาน B4 และB4'
- เสา โครงสร้างเสามีขนาดหน้าตัด 0.30x0.30 เมตร
- หลังคาเหล็กรูปพรรณ มุงด้วยกระเบื้องลอนคู่
- ออกแบบเพื่อรับแรงในแนวดิ่งเท่านั้นและการให้รายละเอียดเหล็กเสริมที่เป็นแบบไร้ความเหนียว

4.2 คุณสมบัติของวัสดุ

กำหนดตามคุณสมบัติของอาคารเรียนเดิม

- คอนกรีตมีกำลังอัดประลัยของคอนกรีต เท่ากับ 240 Kg/cm² (ทรงลูกบาศก์)
- เหล็กเสริมแบ่งเป็น 2 ประเภท คือเหล็กเส้นกลม SR24 มอก.20-2543 ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก 2,400 Kg/cm² และเหล็กข้ออ้อย SD30 มอก.24-2548 ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก 3,000 Kg/cm²

4.3 ข้อกำหนดในการออกแบบ

1. ออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (STRENGTH DESIGN)
2. มาตรฐานการวิเคราะห์แรงลมและแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (แรงแผ่นดินไหว มยผ.1302และแรงลม มยผ.1311-50)
3. กำหนดของน้ำหนักบรรทุกทุก (DL) น้ำหนักบรรทุกจร (LL) ของแต่ละชั้นตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 6 เป็นไปตามข้อกำหนด พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522
 $LL = 300 \text{ Kg/m}^2$ (ห้องเรียน), $LL = 400 \text{ Kg/m}^2$ (ระเบียงทางเดินและบันได),
 $LL = 50 \text{ Kg/m}^2$ (หลังคา) และ $DL = 240 \text{ Kg/m}^2$

4.4 มาตรฐานการวิเคราะห์แรงด้านข้าง

1. **แรงลม (Wind Load)** ตามมาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร มยผ.1311-50
 - หน่วยแรงลมอ้างอิง (q) ตามตำแหน่งที่ตั้งอาคาร = 0.526 KN/ m^2
 - ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม (C_g) = 2
 - ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e) = 1
 - ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอกสำหรับอาคารเดี่ยว

ด้านประทะลม	= 0.8
ด้านหลบลม	= 0.5
2. **แรงแผ่นดินไหว (Seismic)** มาตรฐานว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302
 - คาบการสั่นพื้นฐาน (T) = 0.174
 - ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (R) = 3
 - ค่าตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (Ω) = 3
 - ค่าตัวประกอบขยายการโก่งตัว (C_d) = 2.5
 - ค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร (I) = 1.25
 - ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้น (S_s) = 0.656
 - ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบ 1 วินาที (S_1) = 0.173
 - ค่าประเภทของชั้นดิน = D

4.5 การคำนวณแรงเฉือนพื้นฐาน (นอกเขต กทม. และ $S_{D1} < S_{DS}$)

กรณีศึกษาโดยตำแหน่งที่ตั้งอาคาร อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย จากตารางที่ 2.9

ความเร่งตอบสนอง $S_S = 0.656g$ และ $S_{S1} = 0.173g$

สำหรับชั้นดินปกติประเภท D จากตาราง ที่ 2.10 และ 2.11

สัมประสิทธิ์ของชั้นดิน $F_a = 1.2752$ และ $F_v = 2.108$

ความเร่งตอบสนองสำหรับการออกแบบ

$$S_{DS} = \frac{2}{3} (F_a S_S) = \frac{2}{3} \times 1.2752 \times 0.656g = 0.557g$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} (F_v S_{S1}) = \frac{2}{3} \times 2.108 \times 0.173g = 0.243g$$

เนื่องจากค่า $S_{D1} < S_{DS}$ ใช้สเปกตรัมในรูปที่ 2.20

$$T_s = S_{D1}/S_{DS} = 0.243 / 0.557 = 0.436 \text{ วินาที}$$

คาบการสั่นพื้นฐาน $T = 0.02H = 0.02 \times 8.70 = 0.174 \text{ วินาที} < [0.8T_s = 0.348 \text{ วินาที}]$

จากกรณีสูตรประมาณค่าคาบการสั่นพื้นฐาน มีค่าน้อยกว่า $0.8T_s$ อนุญาตตาม มยพ.1302 ใช้เฉพาะในตารางที่ 2.13 เท่านั้น

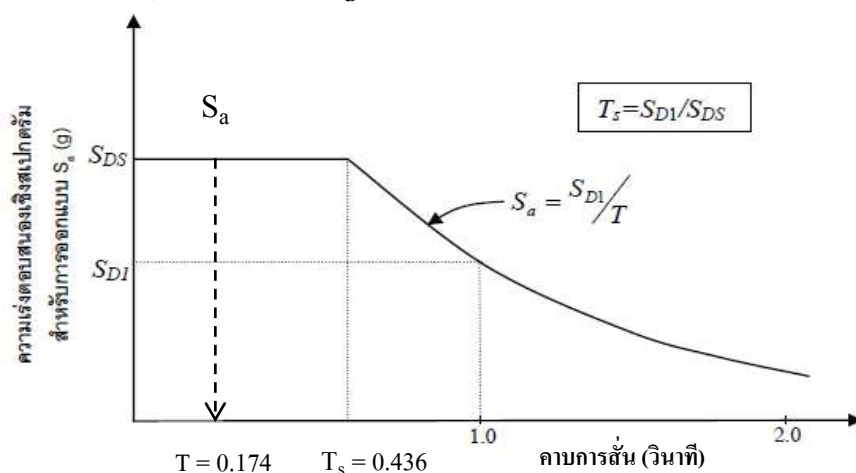
ดังนั้น จากตาราง เมื่อค่า $S_{DS} \geq 0.50$ ออกแบบแผ่นดินไหวเป็นประเภท ง

เป็นอาคารเรียนแบบมาตรฐานโรงเรียนประถมหรือมัธยม จึงให้ความสำคัญมาก

ค่า $I = 1.25$

จากตารางที่ 2.15 เลือกชนิดโครงสร้างแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา

ค่าตัวประกอบ $R = 3$, $\Omega = 3$ และ $C_d = 2.5$



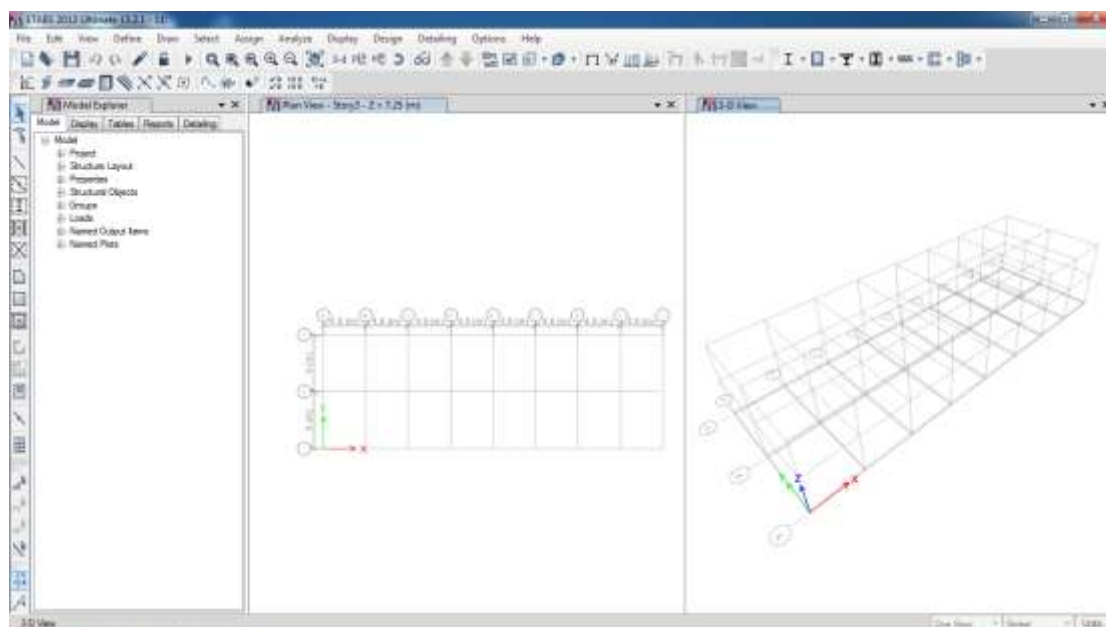
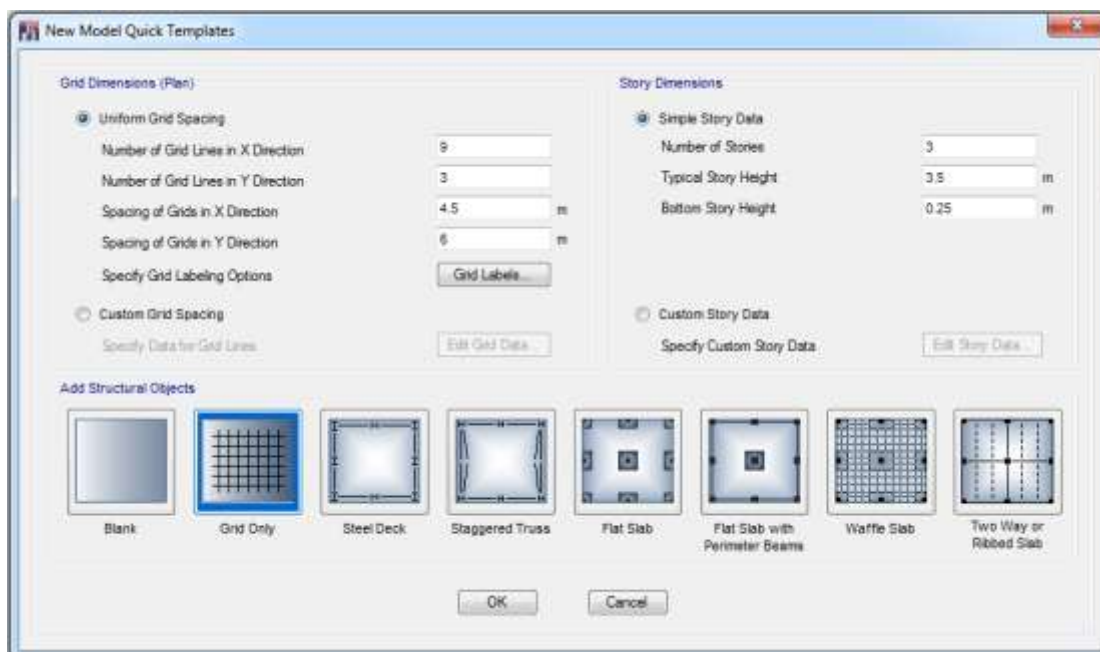
จะได้ว่าค่าสเปกตรัมออกแบบ $S_a = S_{DS} = 0.557g$

สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแผ่นดินไหว $C_s = S_a \left(\frac{I}{R} \right) = 0.557g \left(\frac{1.25}{3} \right) = 0.232g > 0.01g$ OK

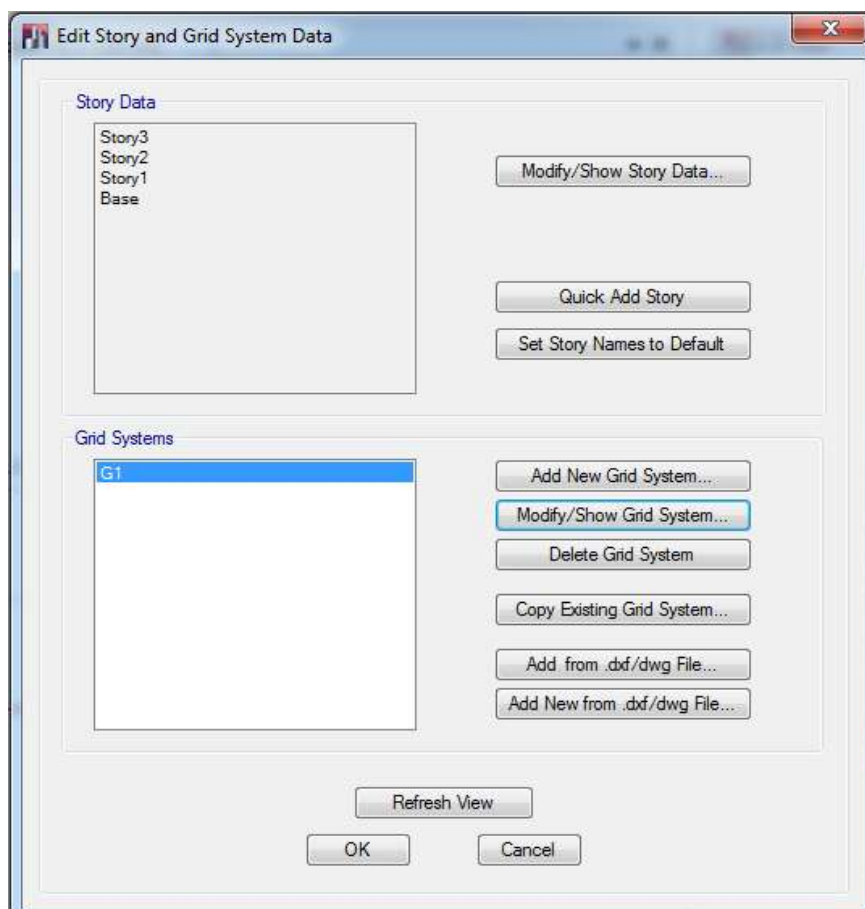
แรงเฉือนพื้นฐานอาคาร $V = C_s W = 0.232W$ (23.20 % ของน้ำหนักอาคาร)

4.6 การสร้างแบบจำลองตามแบบรูปรายการจริง

4.6.1 เริ่มการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารเรียน

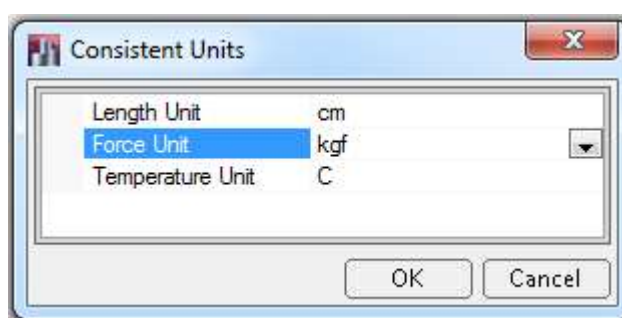


รูปที่ 4.1 กำหนดกริดและชั้นของอาคารเรียนเบื้องต้น

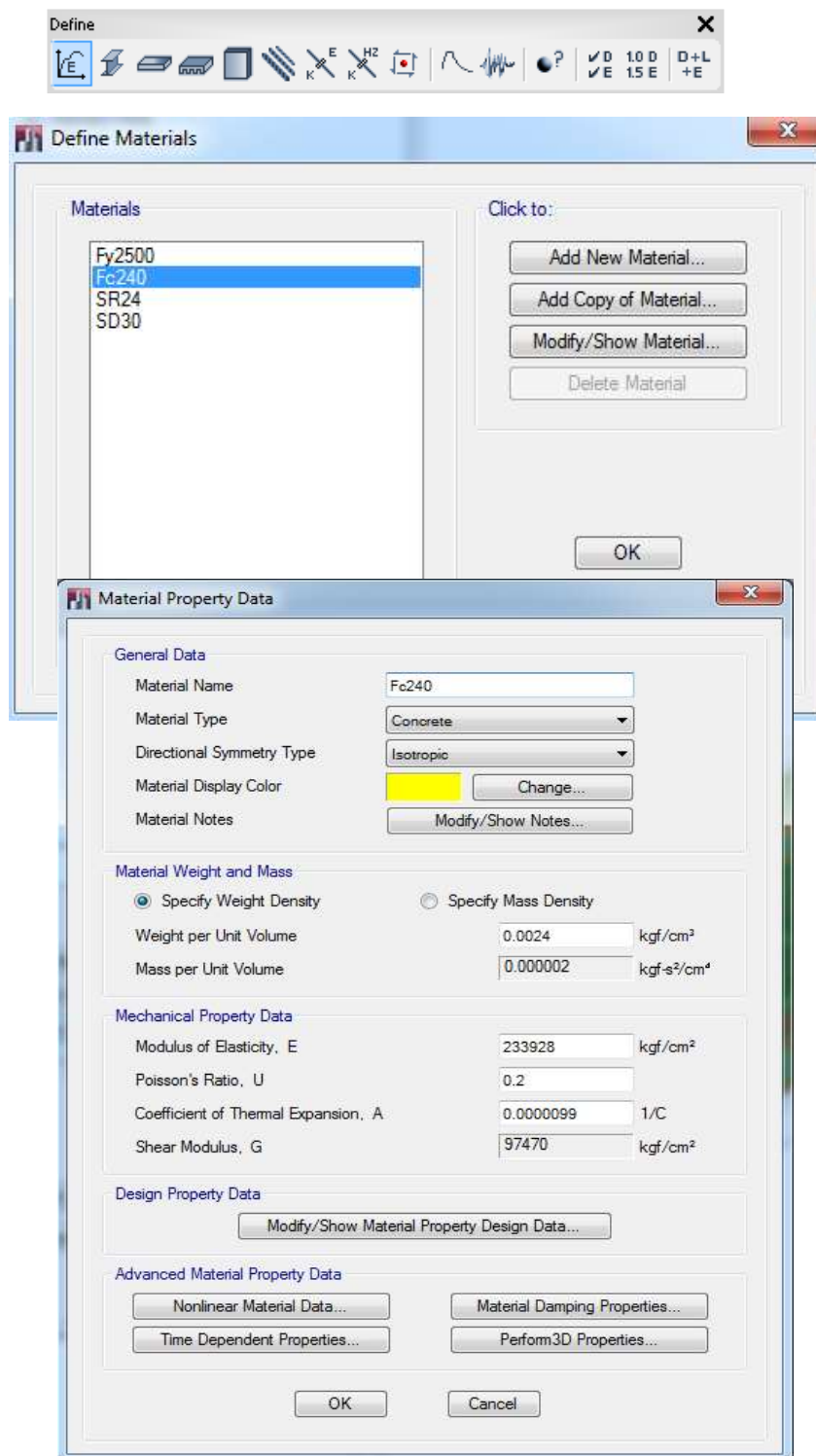


รูปที่ 4.2 แก้ไขกำหนดกริดและชั้นของอาคารเรียนอื่นๆ

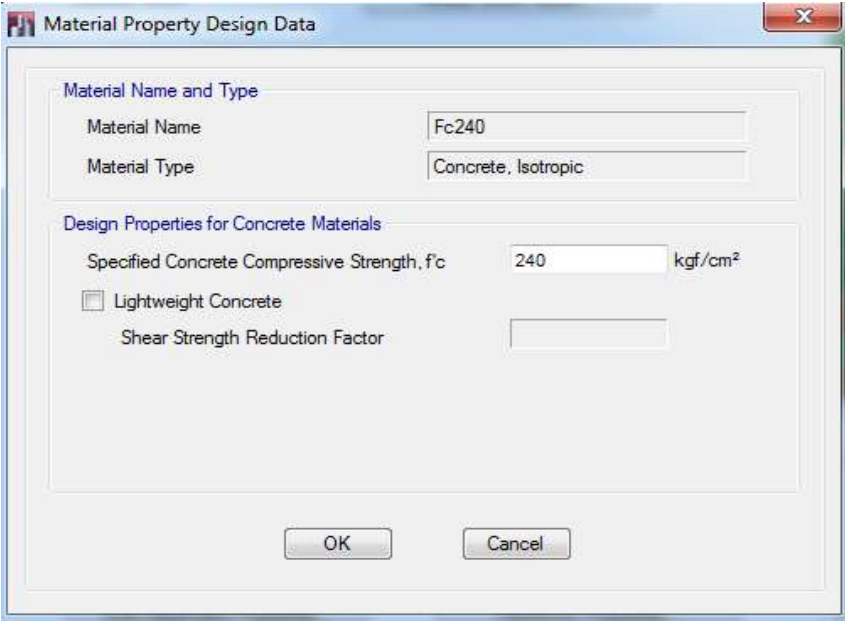
4.6.2 กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ



รูปที่ 4.3 เปลี่ยนหน่วยให้ตรงกับกำลังของวัสดุ kgf, cm



รูปที่ 4.4 การใส่ค่าคุณสมบัติวัสดุของคอนกรีต



Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: Fc240

Material Type: Concrete, Isotropic

Design Properties for Concrete Materials

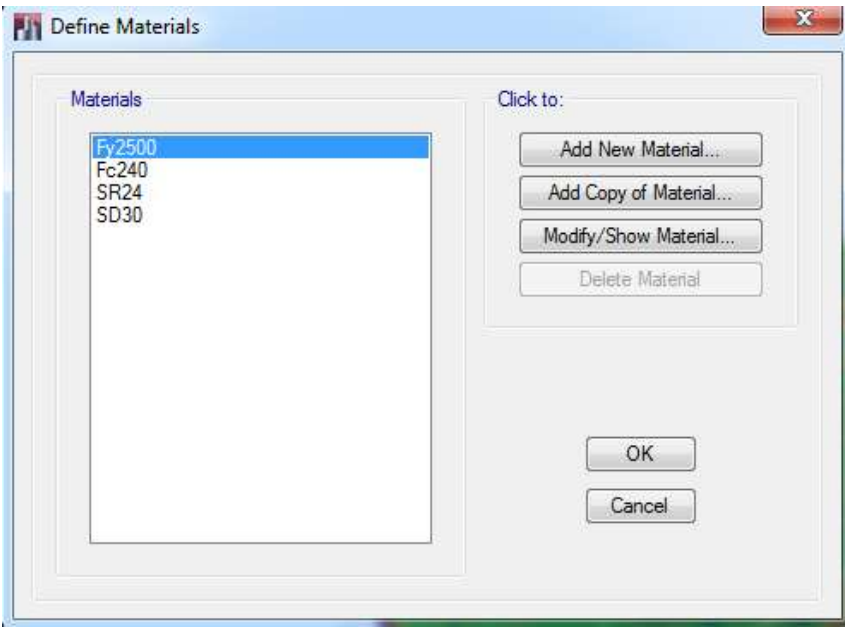
Specified Concrete Compressive Strength, f'_c : 240 kgf/cm²

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

OK Cancel

รูปที่ 4.4 การใส่ค่าคุณสมบัติวัสดุของคอนกรีต (ต่อ)



Define Materials

Materials

Fy2500
Fc240
SR24
SD30

Click to:

Add New Material...
Add Copy of Material...
Modify/Show Material...
Delete Material

OK
Cancel

รูปที่ 4.5 การใส่ค่าคุณสมบัติวัสดุของเหล็กรูปพรรณ

Material Property Data

General Data

Material Name:

Material Type:

Directional Symmetry Type:

Material Display Color:

Material Notes:

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: kgf/cm³

Mass per Unit Volume: kgf-s²/cm⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: kgf/cm²

Poisson's Ratio, U:

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1/C

Shear Modulus, G: kgf/cm²

Design Property Data

Advanced Material Property Data

Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name:

Material Type:

Design Properties for Steel Materials

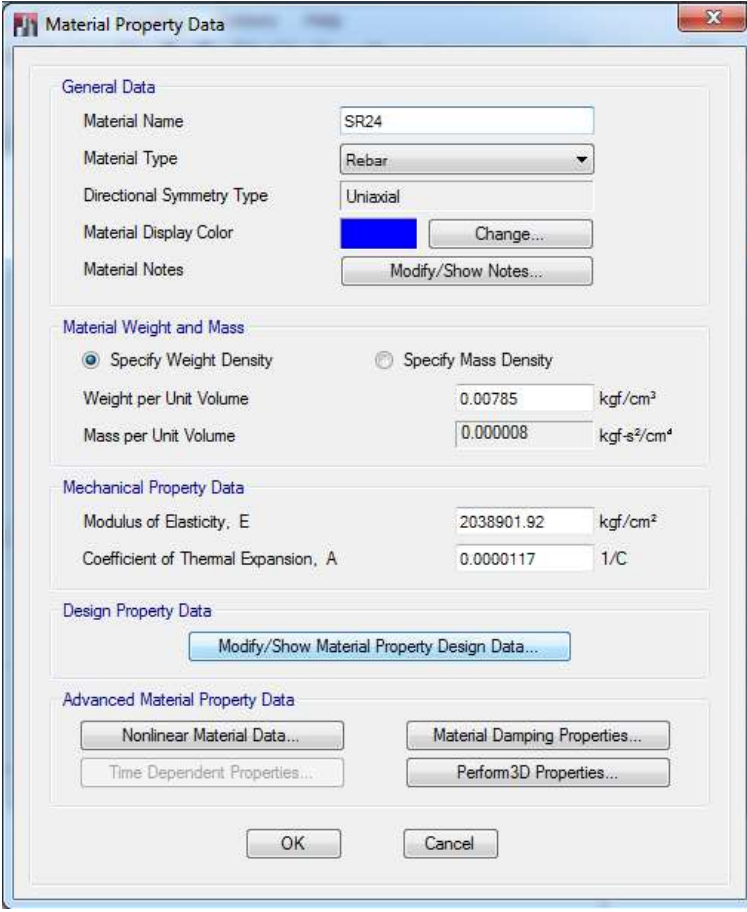
Minimum Yield Stress, Fy: kgf/cm²

Minimum Tensile Strength, Fu: kgf/cm²

Effective Yield Stress, Fye: kgf/cm²

Effective Tensile Strength, Fue: kgf/cm²

รูปที่ 4.5 การใส่ค่าคุณสมบัติวัสดุของเหล็กgrupพรรณ (ต่อ)



Material Property Data

General Data

Material Name: SR24

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 0.00785 kgf/cm³

Mass per Unit Volume: 0.000008 kgf-s²/cm⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2038901.92 kgf/cm²

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

Design Property Data

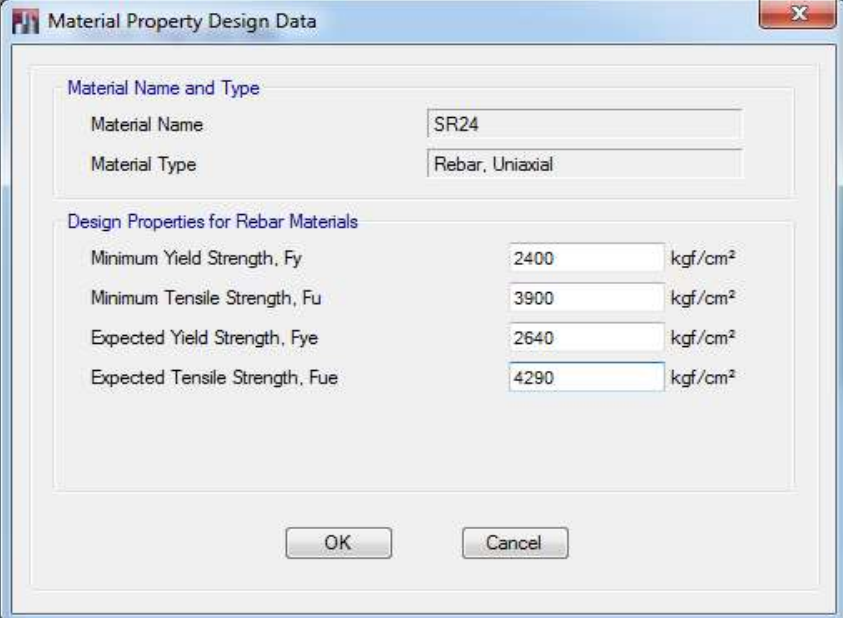
Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...

Time Dependent Properties... Perform3D Properties...

OK Cancel



Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: SR24

Material Type: Rebar, Uniaxial

Design Properties for Rebar Materials

Minimum Yield Strength, Fy: 2400 kgf/cm²

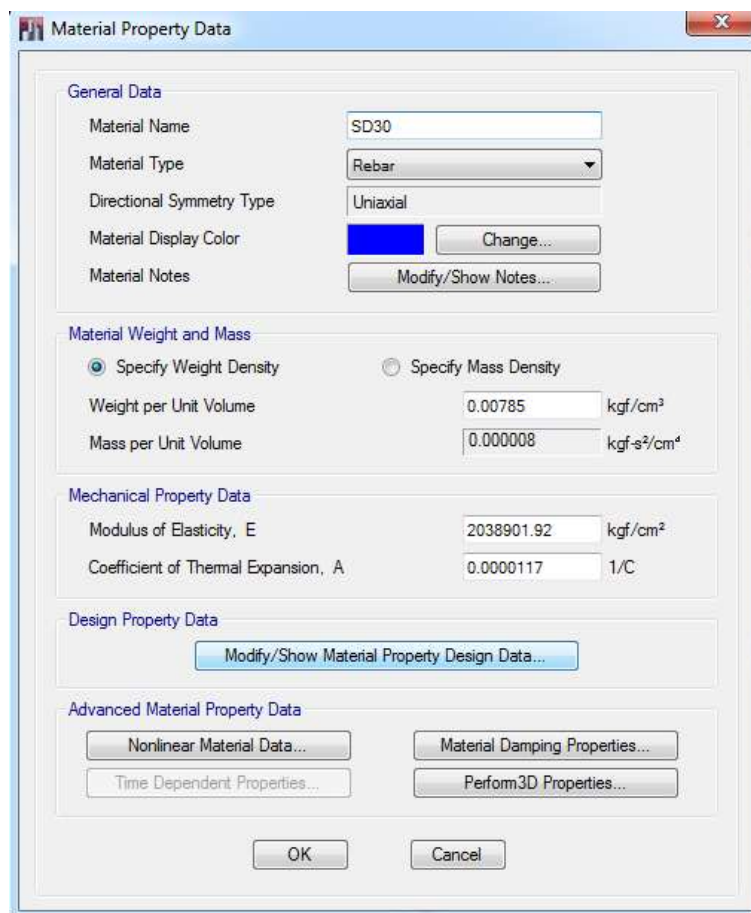
Minimum Tensile Strength, Fu: 3900 kgf/cm²

Expected Yield Strength, Fye: 2640 kgf/cm²

Expected Tensile Strength, Fue: 4290 kgf/cm²

OK Cancel

รูปที่ 4.6 การใส่ค่าคุณสมบัติวัสดุของเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SR24



Material Property Data

General Data

Material Name: SD30

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color: [Color Box] [Change...](#)

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 0.00785 kgf/cm³

Mass per Unit Volume: 0.000008 kgf-s²/cm⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2038901.92 kgf/cm²

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

Design Property Data

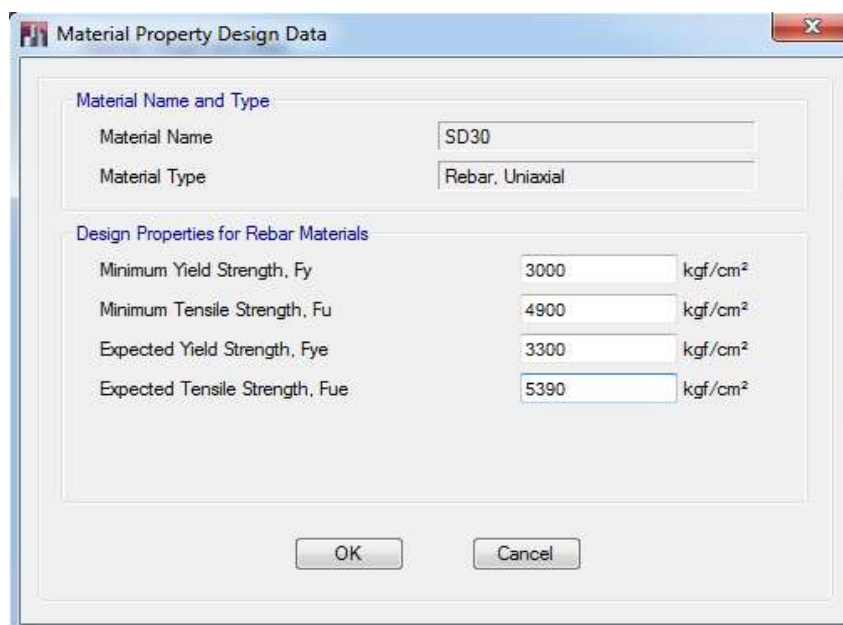
[Modify/Show Material Property Design Data...](#)

Advanced Material Property Data

[Nonlinear Material Data...](#) [Material Damping Properties...](#)

[Time Dependent Properties...](#) [Perform3D Properties...](#)

[OK](#) [Cancel](#)



Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: SD30

Material Type: Rebar, Uniaxial

Design Properties for Rebar Materials

Minimum Yield Strength, Fy: 3000 kgf/cm²

Minimum Tensile Strength, Fu: 4900 kgf/cm²

Expected Yield Strength, Fye: 3300 kgf/cm²

Expected Tensile Strength, Fue: 5390 kgf/cm²

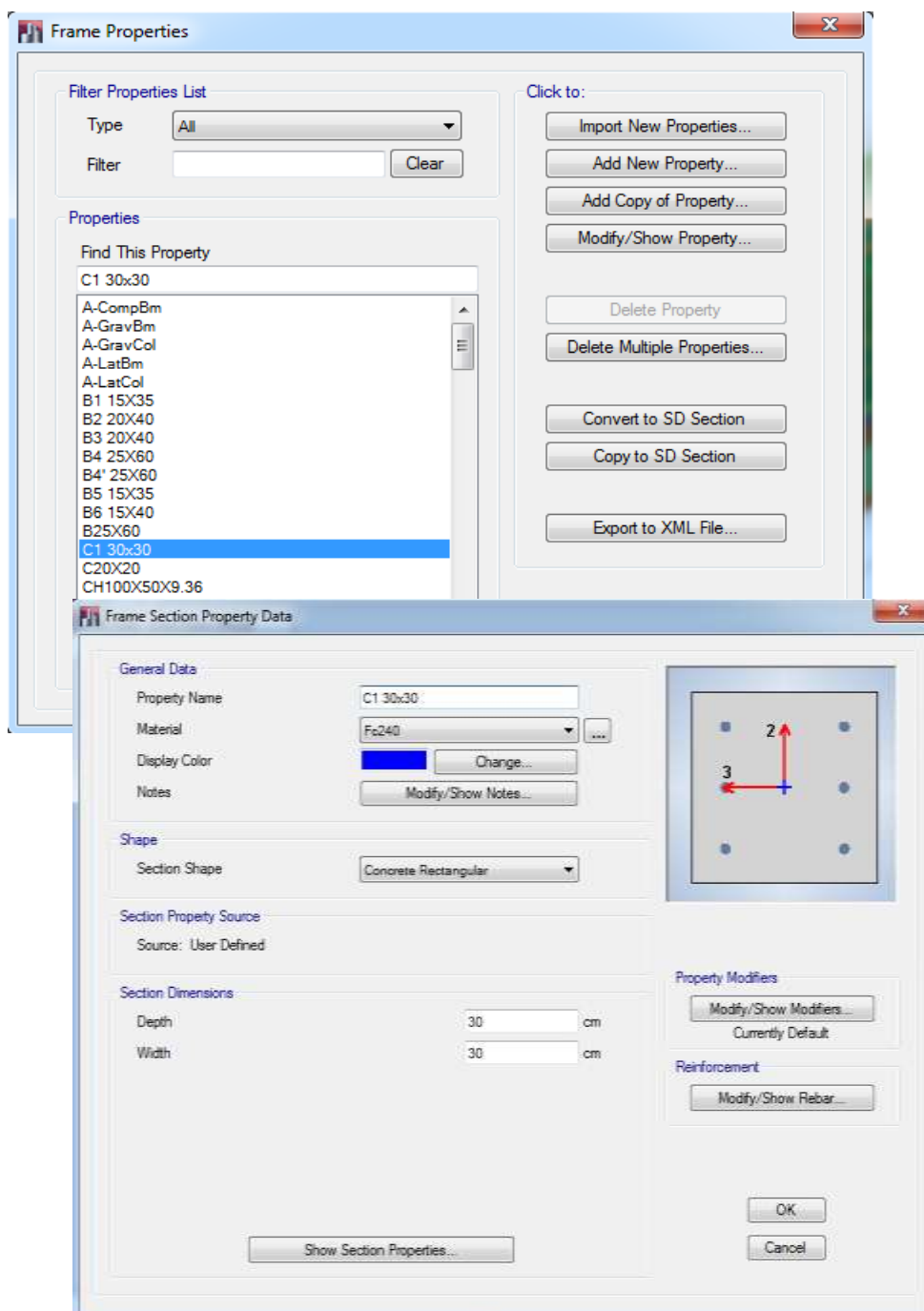
[OK](#) [Cancel](#)

รูปที่ 4.7 การใส่ค่าคุณสมบัติวัสดุของเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30

4.6.3 กำหนดคุณสมบัติหน้าตัด (Section Properties)

กำหนดคุณสมบัติโครงข้อแข็ง (Frame Properties)

- การใส่ค่าคุณสมบัติของเสา

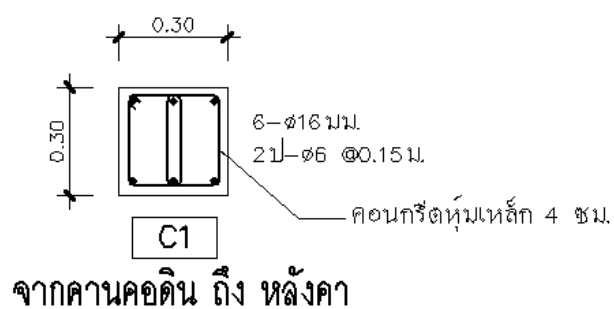


รูปที่ 4.8 ตัวอย่างการใส่คุณสมบัติของเสา C1

หมายเหตุ : ตัวเลือกในกรอบเส้นปะ

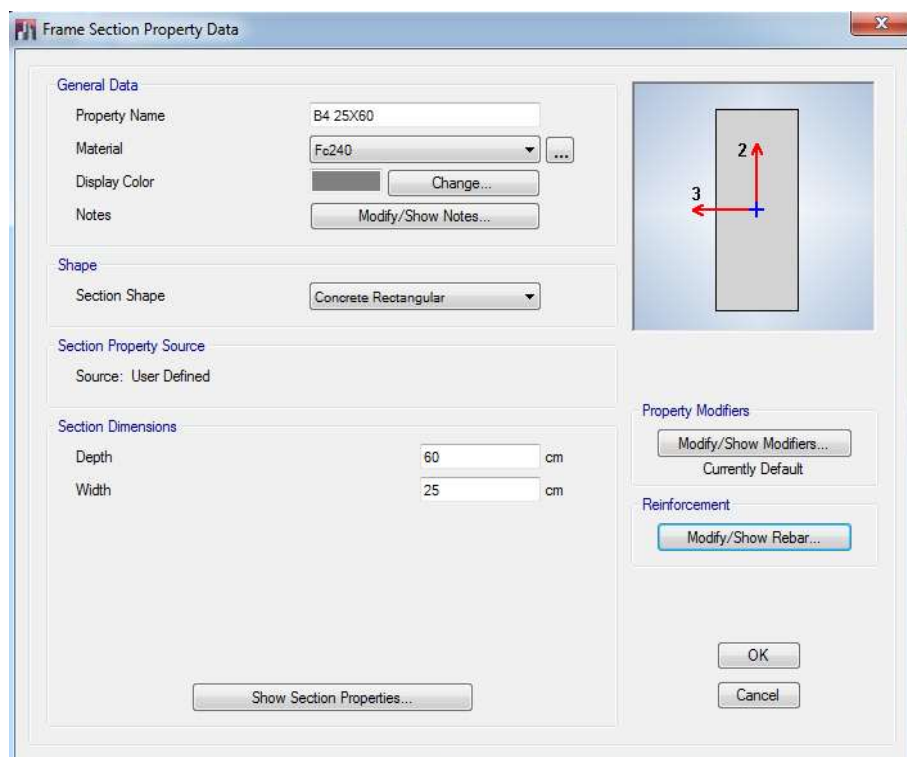
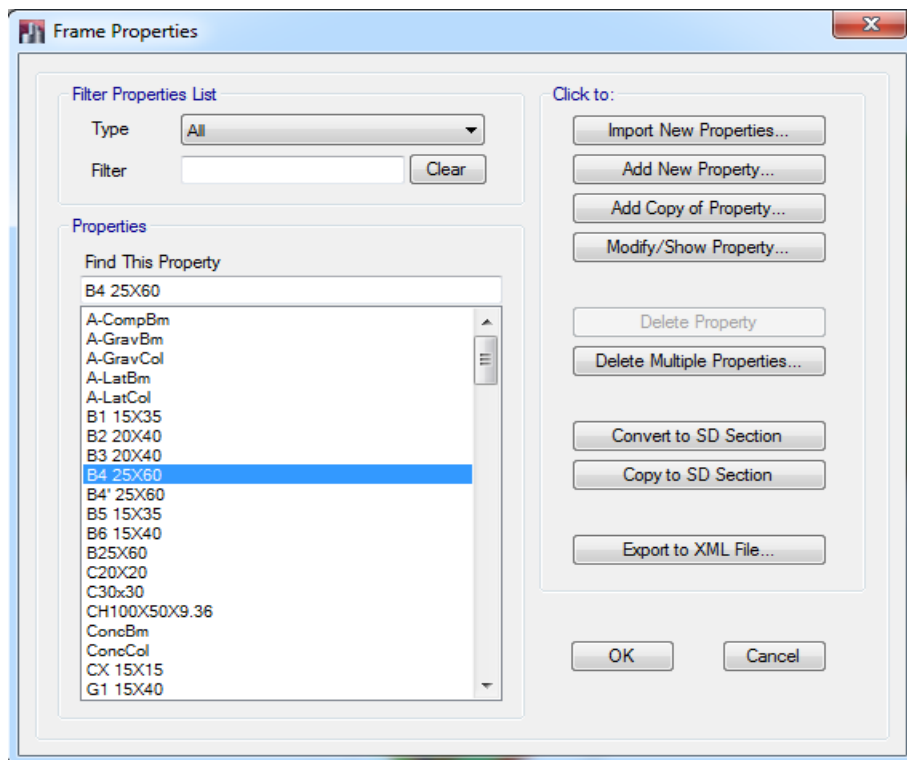
- บนกรณีตรวจสอบเสารับแรงดัดสองทิศทางพร้อมกัน
- ล่างกรณีออกแบบด้วยโปรแกรมอัตโนมัติแสดงปริมาณเหล็กเสริม

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างการใส่คุณสมบัติของเสา C1 (ต่อ)

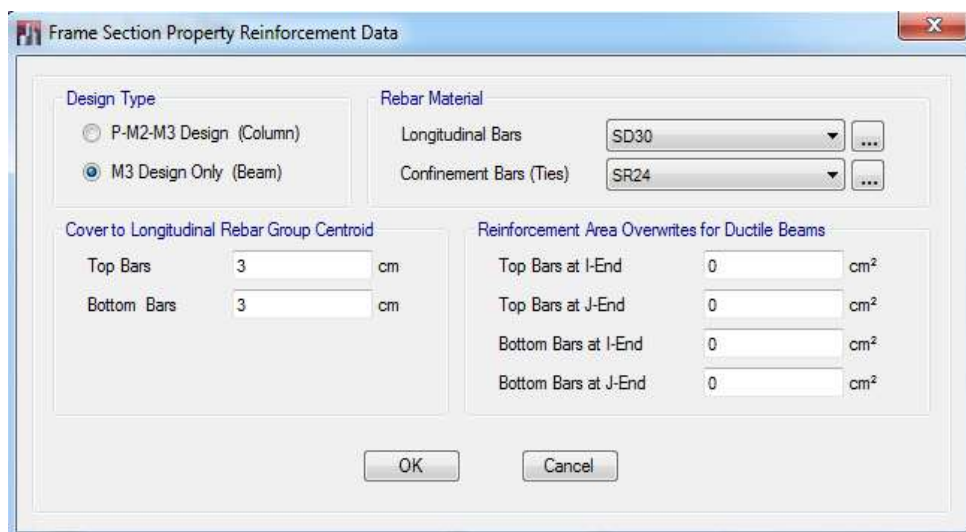


รูปที่ 4.9 หน้าตัดเสา C1 ตามแบบรูปายการที่นำมาศึกษา

- การใส่ค่าคุณสมบัติของคาน



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการใส่คุณสมบัติของคาน B4



Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

☐ P-M2-M3 Design (Column)

☒ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: SD30

Confinement Bars (Ties): SR24

Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid

Top Bars: 3 cm

Bottom Bars: 3 cm

Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams

Top Bars at I-End: 0 cm²

Top Bars at J-End: 0 cm²

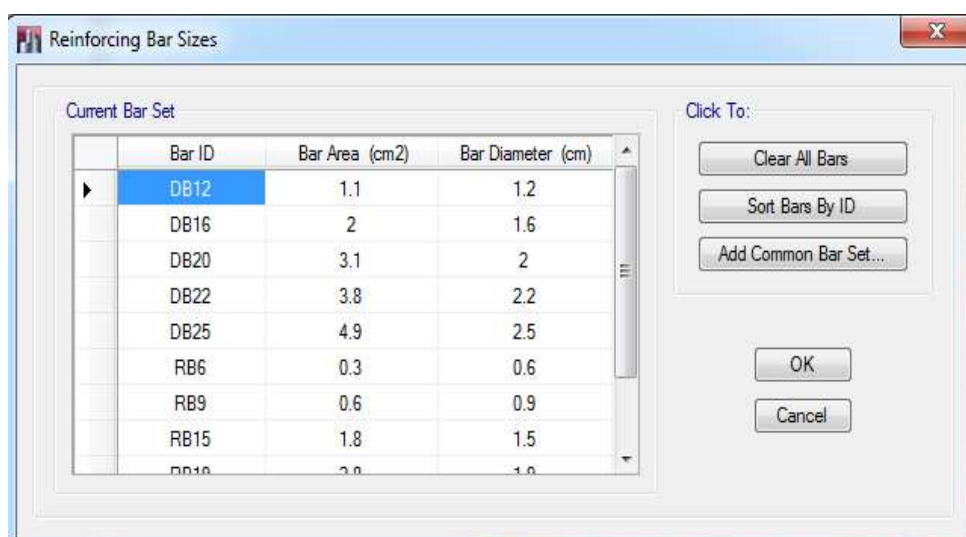
Bottom Bars at I-End: 0 cm²

Bottom Bars at J-End: 0 cm²

OK Cancel

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการใส่คุณสมบัติของคาน B4 (ต่อ)

- การใส่ค่าขนาดพื้นที่หน้าตัดเหล็กกลมผิวเรียบและเหล็กข้ออ้อย



Reinforcing Bar Sizes

Current Bar Set

Bar ID	Bar Area (cm ²)	Bar Diameter (cm)
DB12	1.1	1.2
DB16	2	1.6
DB20	3.1	2
DB22	3.8	2.2
DB25	4.9	2.5
RB6	0.3	0.6
RB9	0.6	0.9
RB15	1.8	1.5
RB18	2.8	1.8

Click To:

Clear All Bars

Sort Bars By ID

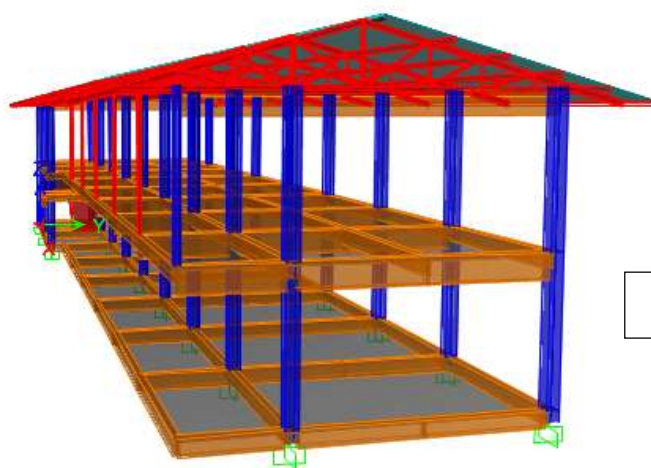
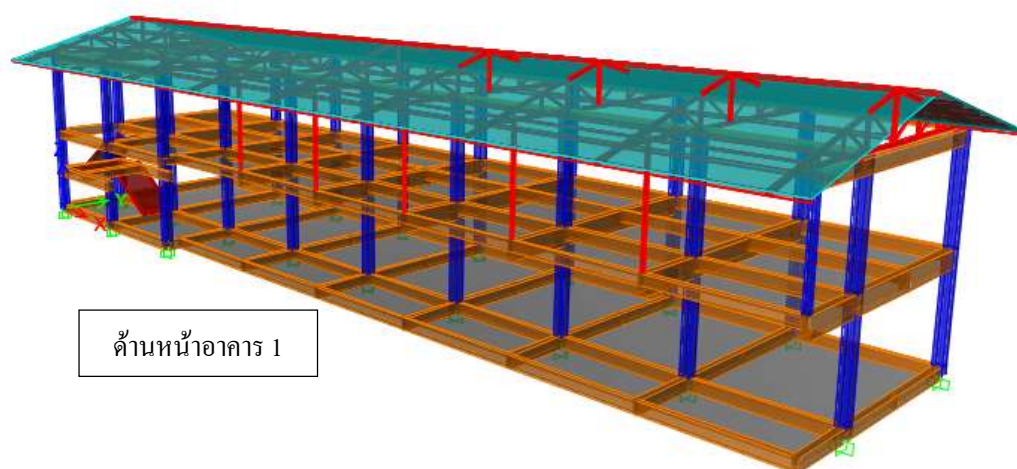
Add Common Bar Set...

OK Cancel

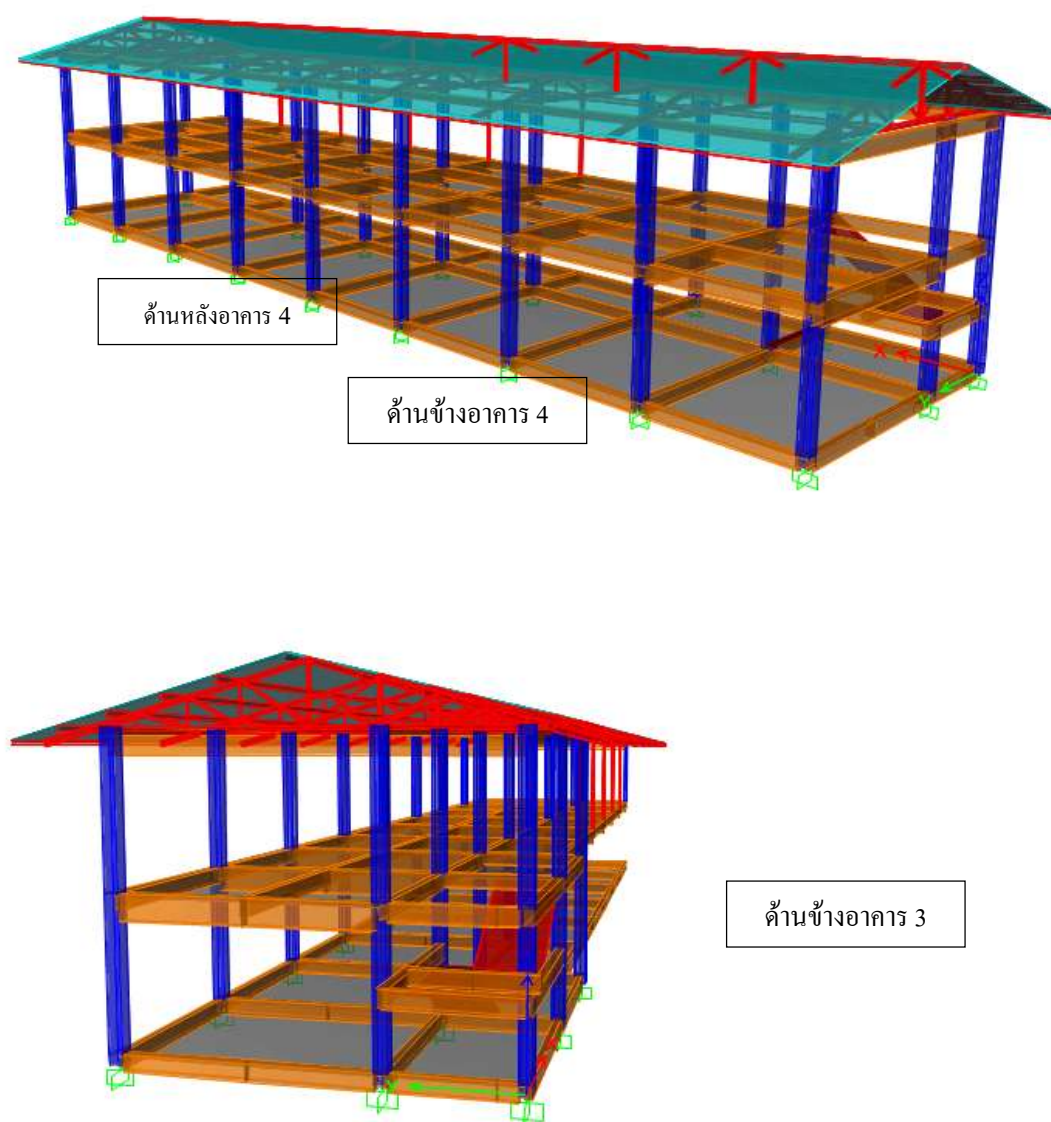
รูปที่ 4.11 การใส่ค่าพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม SR24และSD30

4.6.4 โมเดลโครงสร้างอาคารเรียน

การสร้างโมเดลจากโปรแกรม ETABS 2013 และการใส่ค่าแรงที่กระทำต่างๆให้กับโครงสร้างอาคาร และกำหนดค่าแรงด้านข้าง อาทิเช่น แรงลม แรงแผ่นดินไหว



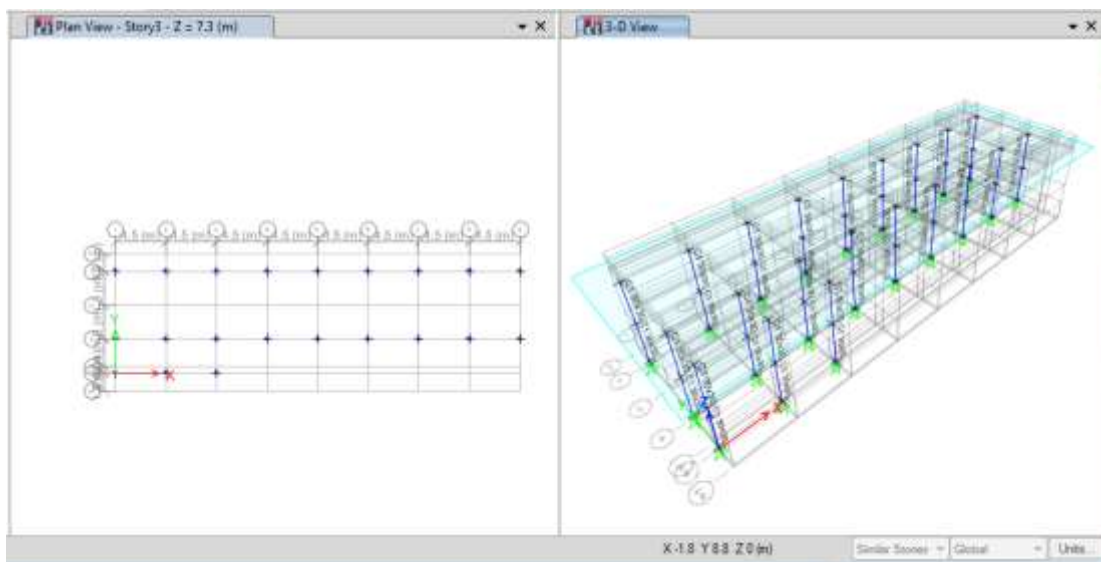
รูปที่ 4.12 การจำลองโครงสร้างอาคารเรียน



รูปที่ 4.12 การจำลองโครงสร้างอาคารเรียน (ต่อ)

4.6.5 การวาด เสา คาน พื้น ตามแบบรูปรายการและคุณสมบัติที่กำหนด

- วาดเสา C1 ขนาดหน้าตัด 0.30x0.30 เมตร



- วาดคานและพื้นชั้นล่าง ตามแบบรูปรายการ

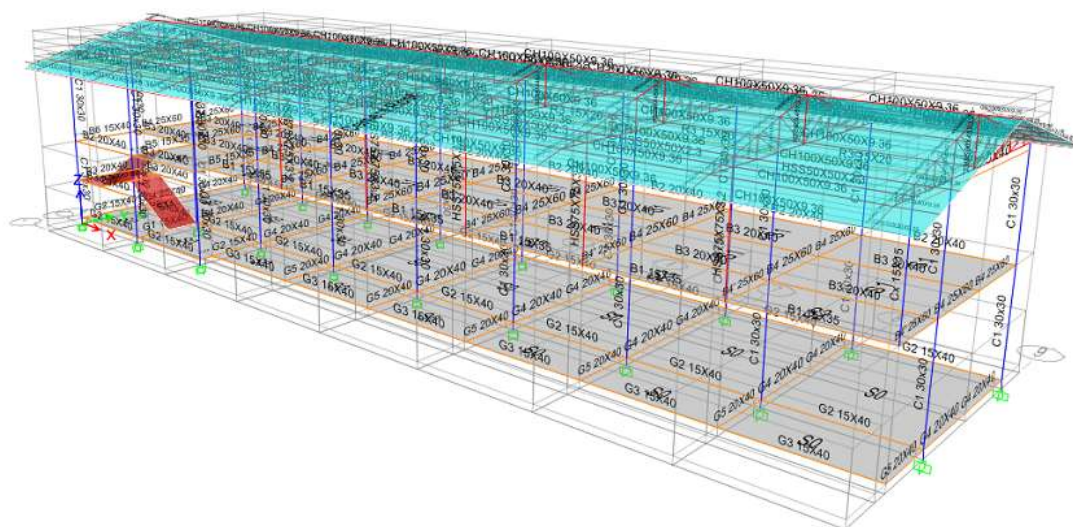


รูปที่ 4.13 การวาดโครงสร้างอาคาร

- วาดคานและพื้นชั้นบน ตามแบบรูปรายการ



- วาดโครงสร้างอาคารทั้งหมด กำหนดหน้าตัดและคุณสมบัติตามแบบรูปรายการ



รูปที่ 4.13 การวาดโครงสร้างอาคาร (ต่อ)

4.6.6 การใส่น้ำหนักบรรทุกทุกผนัง

- ตามกฎกระทรวง ข้อกำหนดพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 กำหนดให้น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) เท่ากับ 180 Kg/m^2 ตามความสูงของผนัง

Frame Load Assignment - Distributed

Load Pattern Name: Dead

Load Type and Direction

☒ Forces ☐ Moments

Direction of Load Application: Gravity

Options

☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads

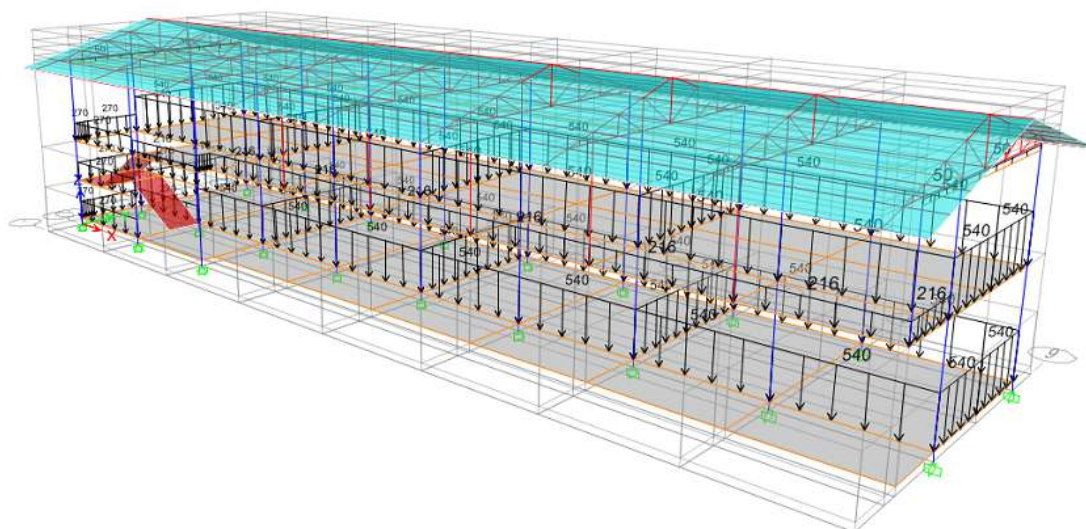
	1.	2.	3.	4.
Distance	0	0.25	0.75	1
Load	0	0	0	0

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load

Load: 540 kgf/m

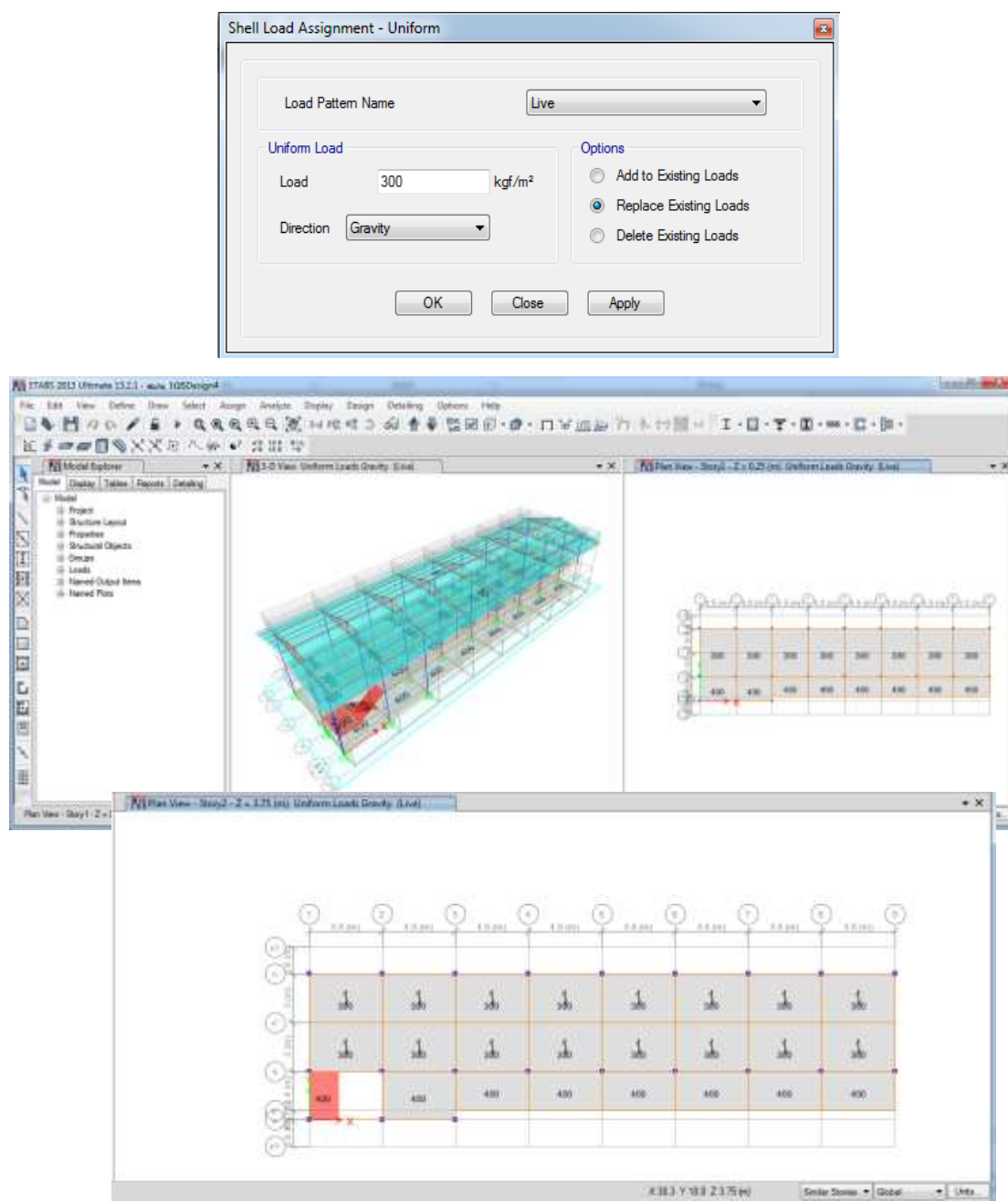
OK Close Apply



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างการใส่ค่าน้ำหนักบรรทุกทุกของผนัง (Dead Load)

4.6.7 การใส่น้ำหนักบรรทุกทุกพื้นที่

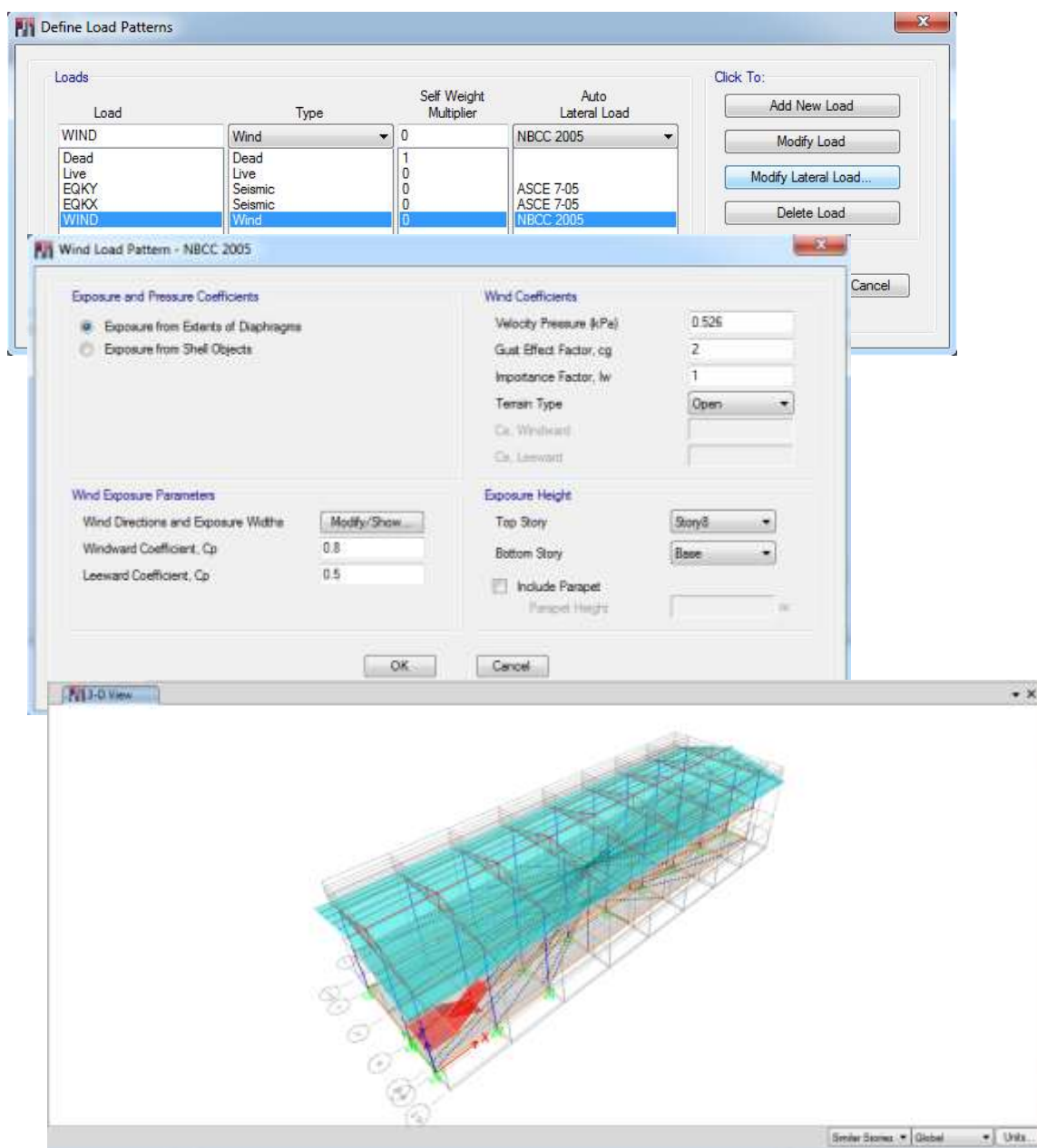
กำหนดให้น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) เท่ากับ 300 Kg/m^2 (ในส่วนของห้องเรียน) และ 400 Kg/m^2 (ระเบียงทางเดินและบันได) , 50 Kg/m^2 (หลังคา)



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการใส่ค่าน้ำหนักบรรทุกจรของพื้น (Live Load)

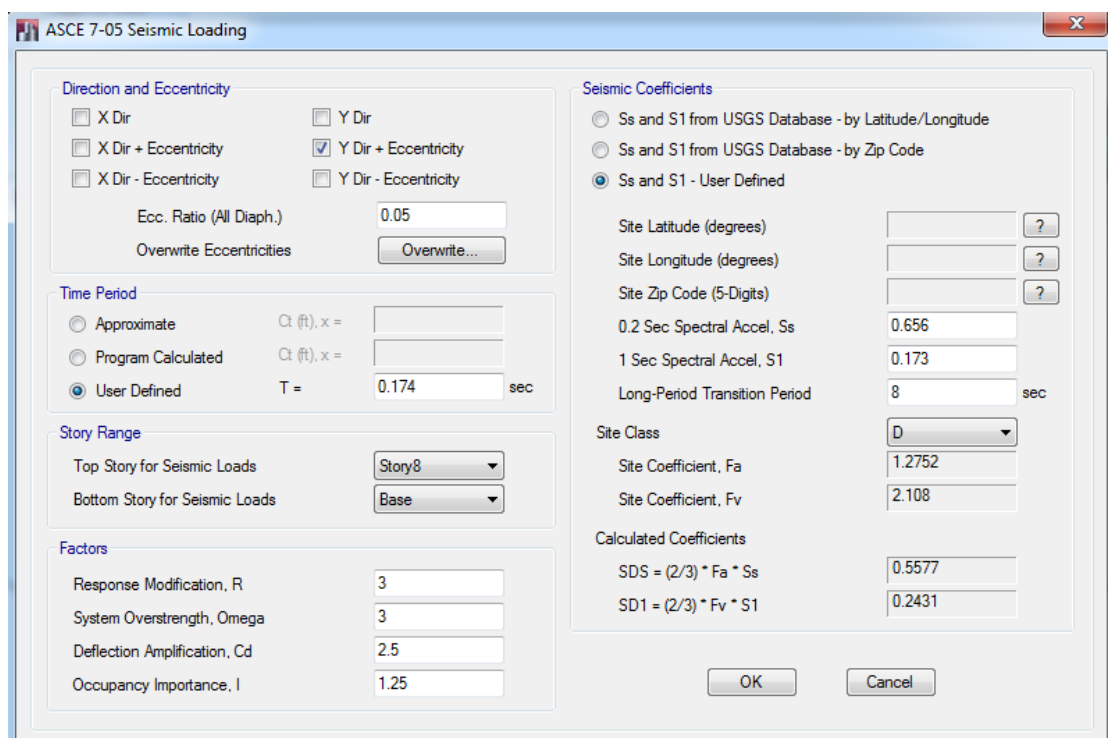
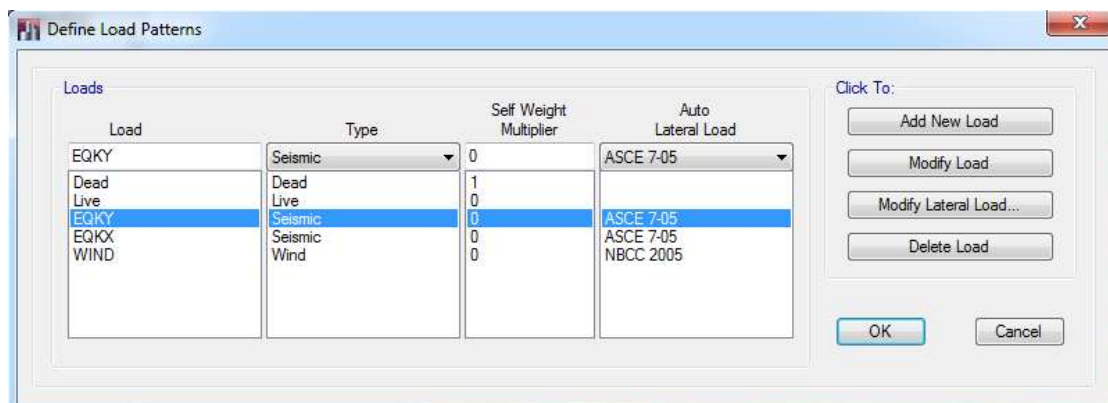
4.6.8 แรงดันข้างที่กระทำกับโครงสร้างอาคาร

- **แรงลม (Wind Load)** เลือกมาตรฐาน NBCC 2005 ซึ่งใกล้เคียงกับมาตรฐานแรงลม มยพ.1311-50 คำนวณค่าตามตำแหน่งที่ตั้งอาคาร ผู้วิจัยเลือกชนิดแบบ Diaphragms (แรงลมที่คำนวณที่ระดับชั้นใดๆจะขึ้นกับระดับความสูง)



รูปที่ 4.16 กำหนดค่าแรงลมและสร้าง Diaphragm รับแรงดันข้าง

- แรงแผ่นดินไหว (Seismic) เลือกมาตรฐาน ASCE 7-05 ซึ่งตรงกับมาตรฐาน มยผ.1302 ป้อนค่าต่างๆตามข้อมูลที่กำหนดในข้างต้น โดยกำหนดแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X และ Y ค่าความเร่งตอบสนองสำหรับการออกแบบตรงกับที่คำนวณได้ในหัวข้อ 4.5 การคำนวณแรงเฉือนที่ฐาน (นอกเขต กทม. และ $S_{D1} < S_{DS}$)



รูปที่ 4.17 กำหนดค่าแรงแผ่นดินไหวตามตำแหน่งที่ตั้งอาคารและมาตรฐาน มยผ.1302

4.7 การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเรียนโดยตำแหน่งที่ตั้งอาคารเรียน

4.7.1 โปรแกรมทำการตรวจสอบโมเดล

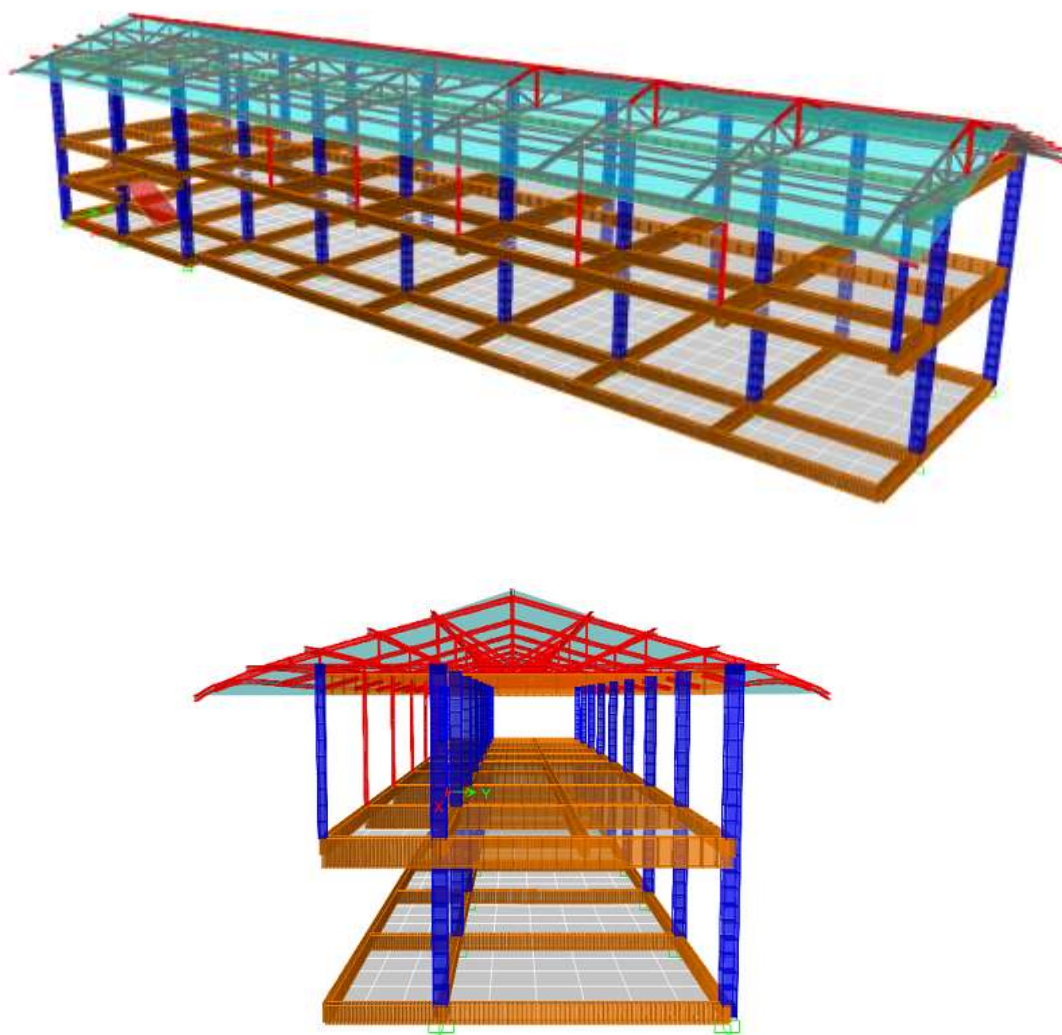
- กดปุ่ม OK โปรแกรมจะตรวจสอบโมเดล ถ้าไม่มีคำเตือนโปรแกรมจะแสดงข้อความดังในรูป (แต่ถ้ามีคำเตือนก็ทำการแก้ไขตามที่โปรแกรมแนะนำ)



รูปที่ 4.18 ตรวจสอบโมเดลอาคารเรียน

4.7.2 การแสดงผลการเสีรูปทรง

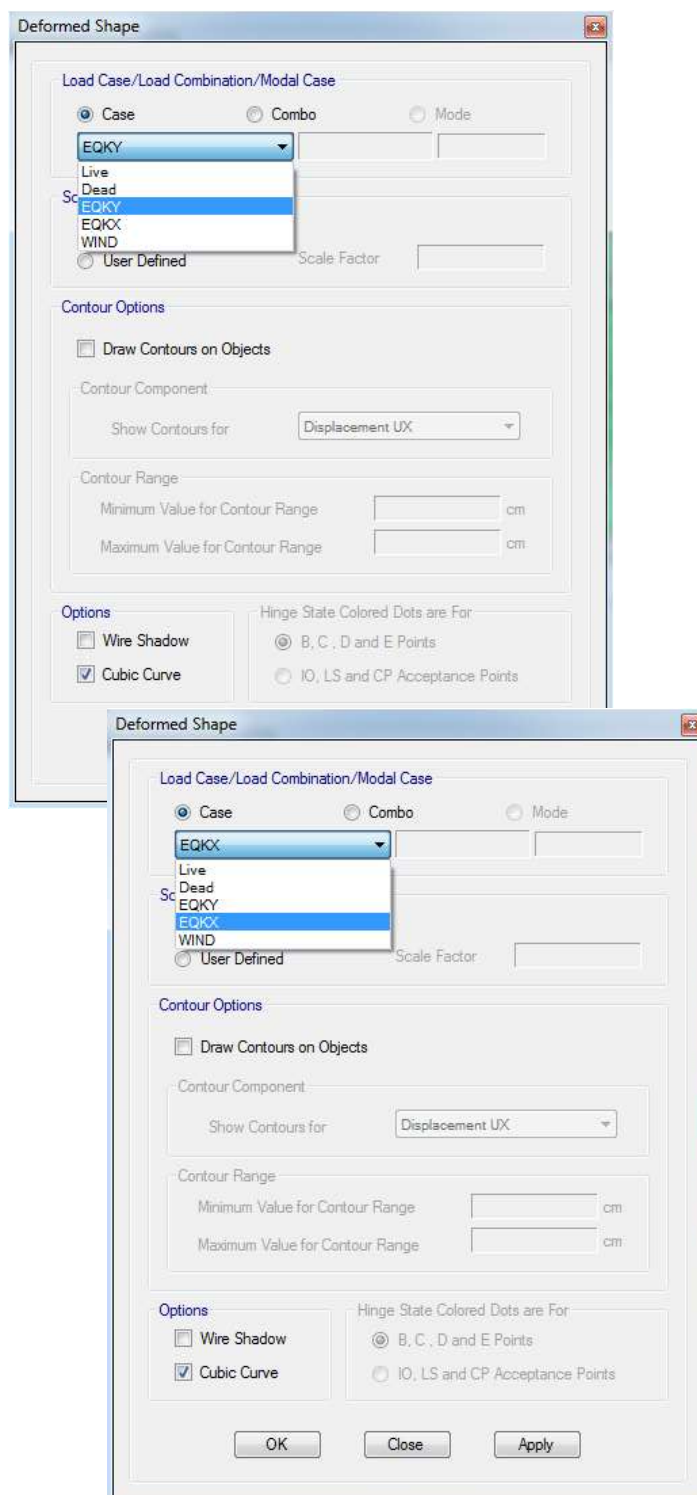
- หลังการวิเคราะห์โปรแกรมจะแสดงผลการเสีรูปทรงจากกรณีน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)



หมายเหตุ : การเสีรูปทรงจากโปรแกรมเป็นเพียงการให้อารมณ์ความรู้สึก

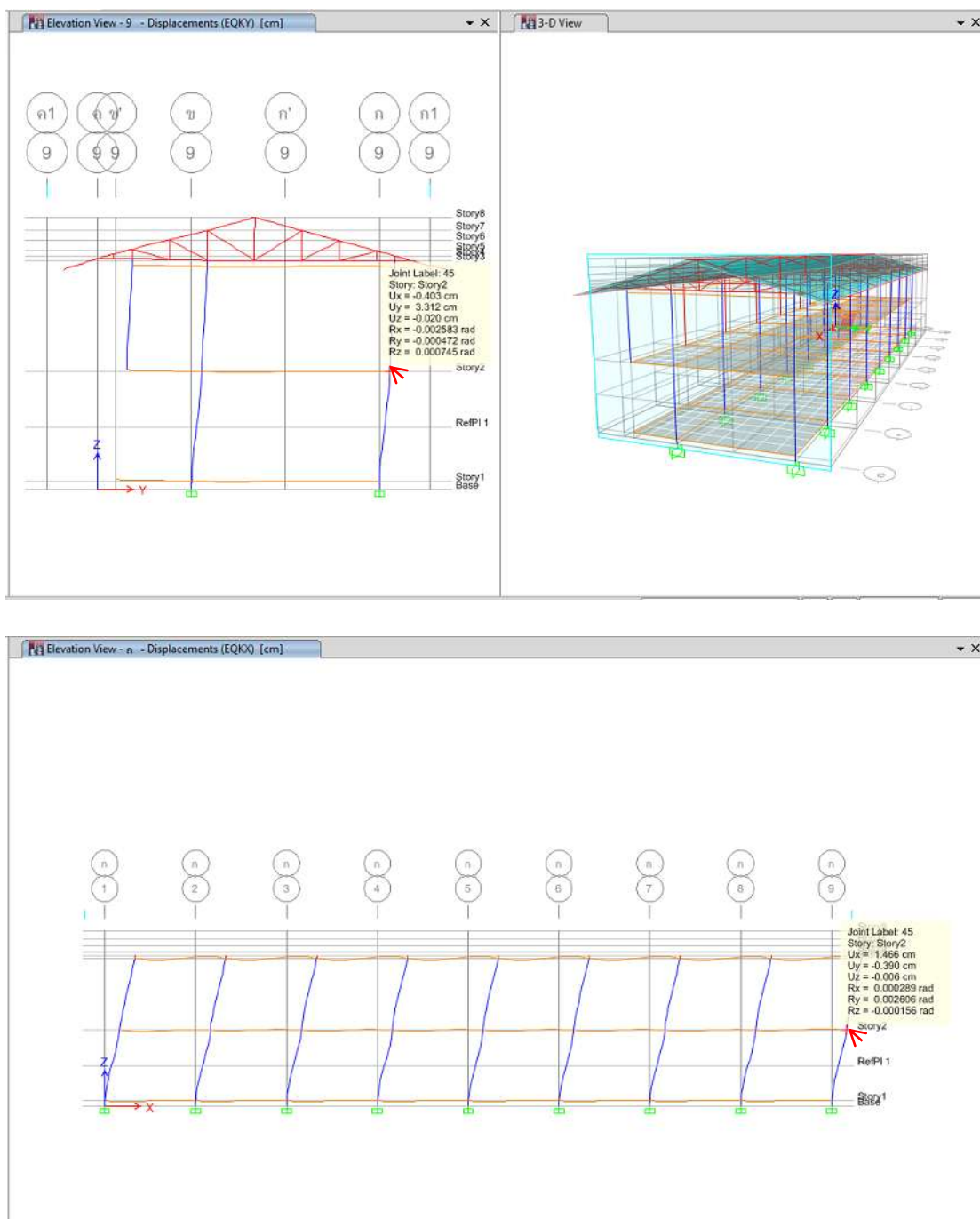
รูปที่ 4.19 การเสีรูปทรงจากโปรแกรม ETABS 2013

- ตัวอย่างเลือกกรณีน้ำหนักบรรทุกแรงแผ่นดินไหว ในทิศทาง Y (EQKY) และ ทิศทางX (EQKX)



รูปที่ 4.20 ตัวอย่างเลือกกรณีบรรทุกการเสีรูปทรง

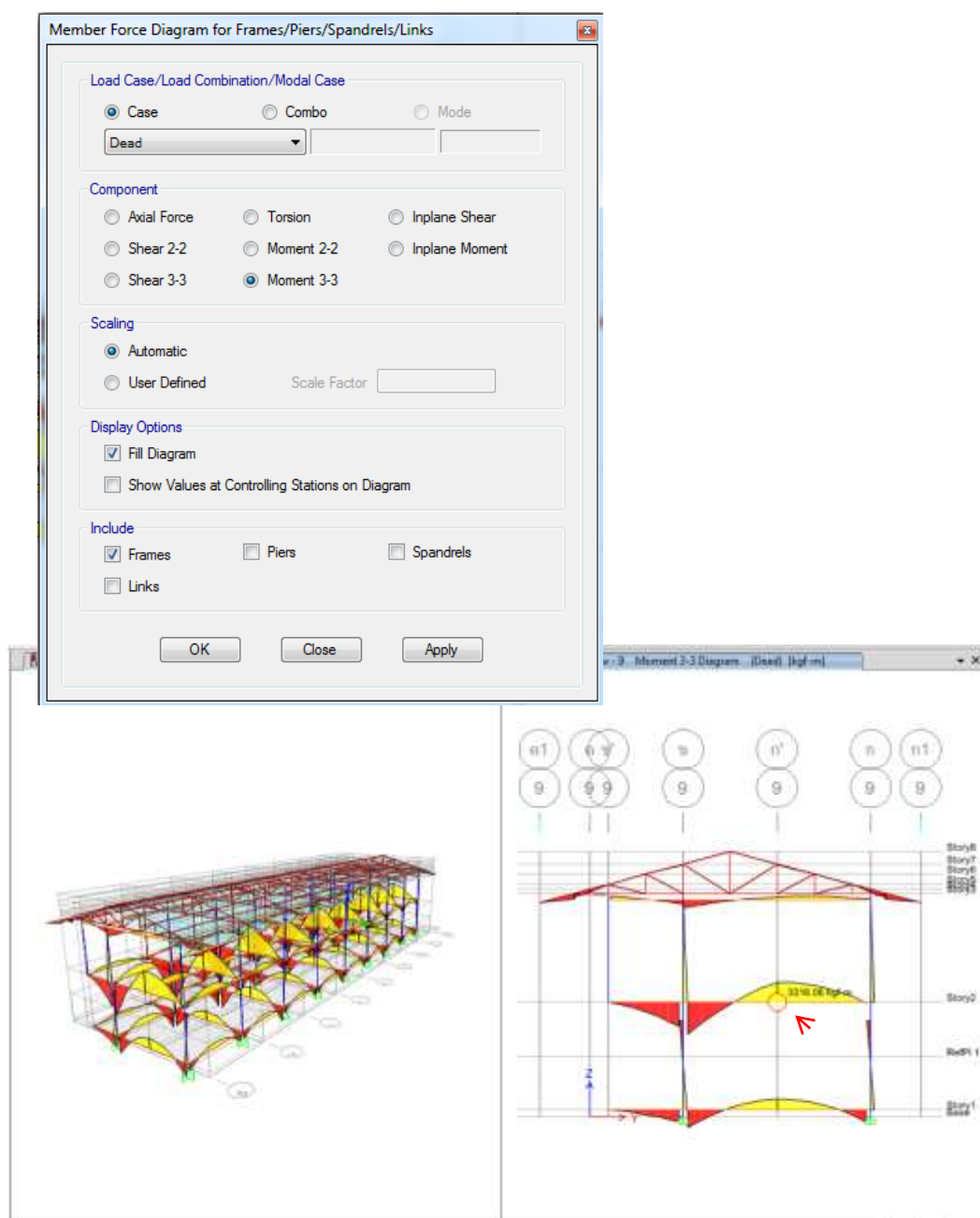
- ตำแหน่งจุดต่อคานและเสาที่มีการเคลื่อนตัว (Joint Displacement) มากที่สุดในองค์อาคาร ใน Line 9-ก เมื่อผลักด้วยแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y และทิศทาง X คานและเสาเคลื่อนตัว เท่ากับ 3.312 Cm และ 1.466 Cm ตามลำดับ (รูปที่ 4.21)



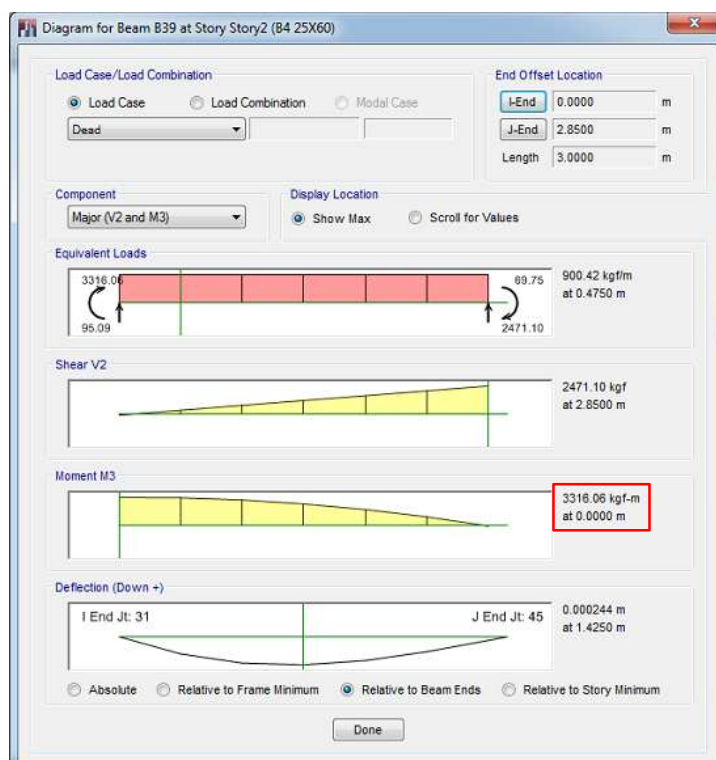
รูปที่ 4.21 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift) ทิศทาง Y และ X

4.7.3 การแสดงผลแรงภายใน

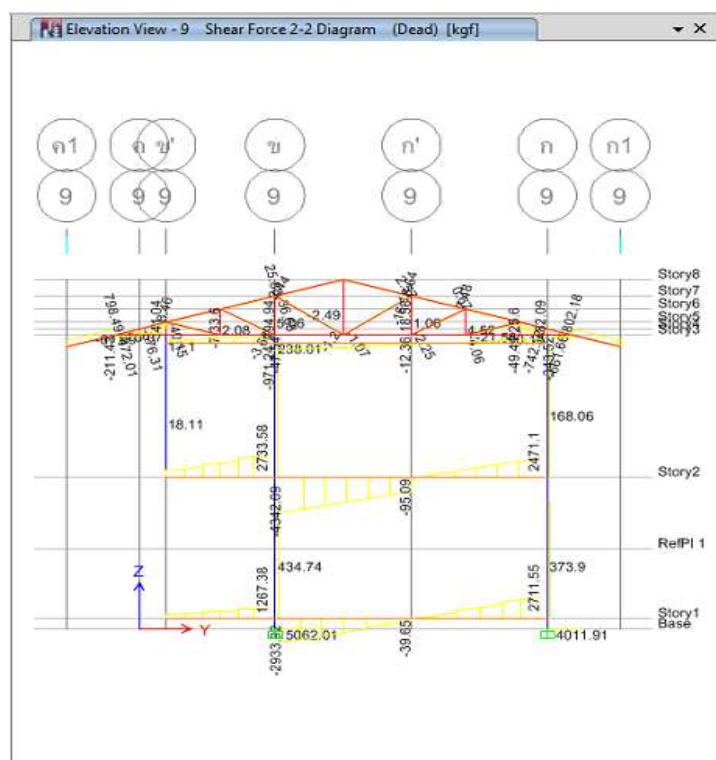
- แรงภายในองค์อาคาร คือเสาและคานจะอ้างอิงตามแกนองค์อาคาร (Local Axis) ในโปรแกรมกำหนด หากเป็นโมเมนต์ตัดในคานเลือก Moment 3-3 และแรงเฉือนในคานเลือก Shear 2-2 สำหรับโมเมนต์ในเสาเลือก Moment 2-2 และแรงเฉือนในเสาเลือก Shear 3-3 กรณีจากแรงแผ่นดินไหวและแรงลมกระทำด้านข้าง ทำให้อาคารโยกไปในทิศทาง Y



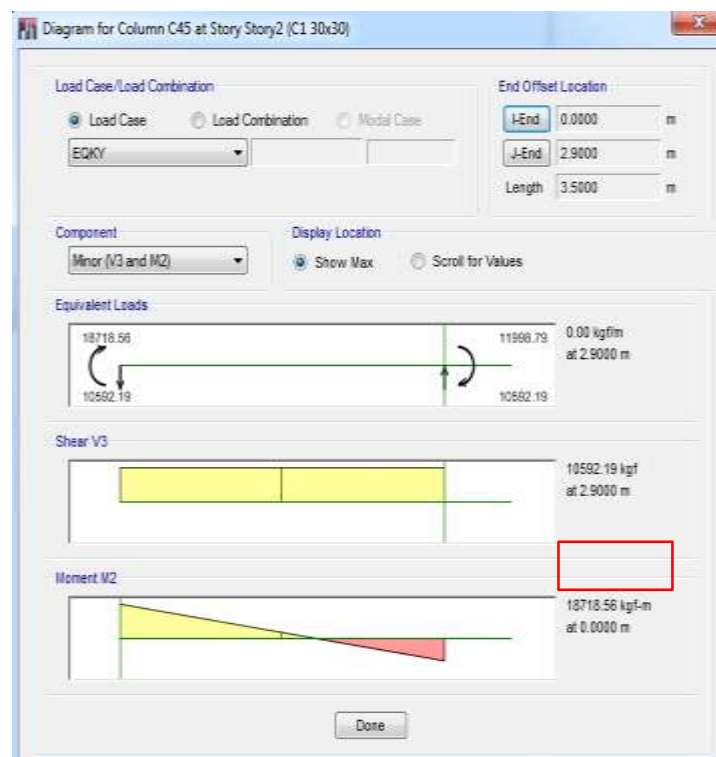
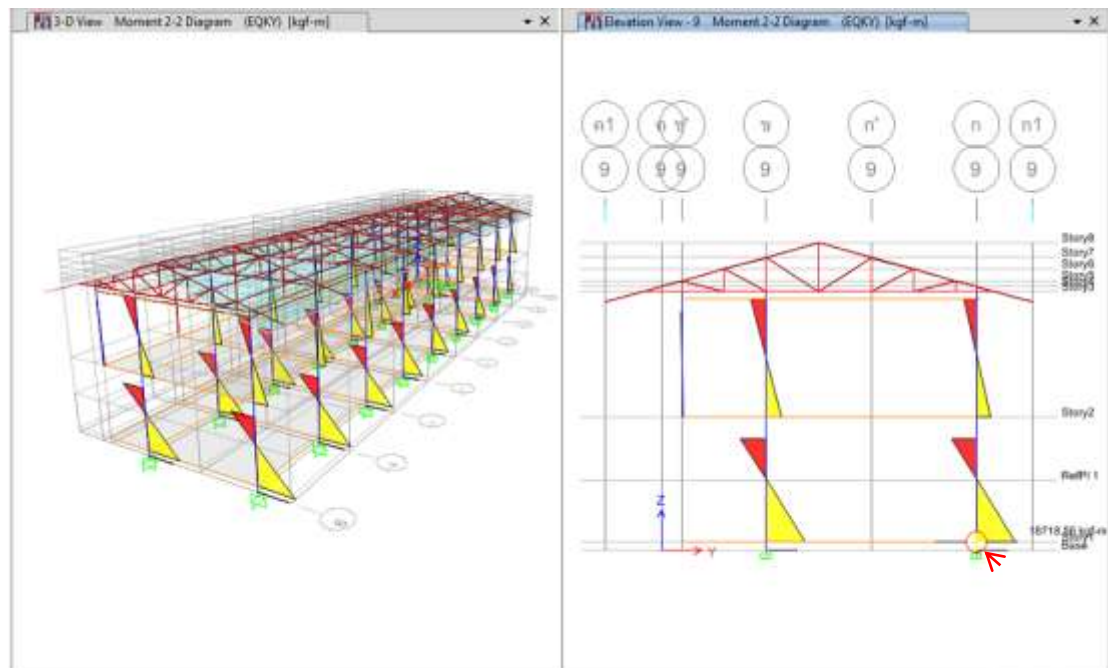
รูปที่ 4.22 โมเมนต์ตัดในคานจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)



รูปที่ 4.22 โมเมนต์คัตในคานจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) (ต่อ)

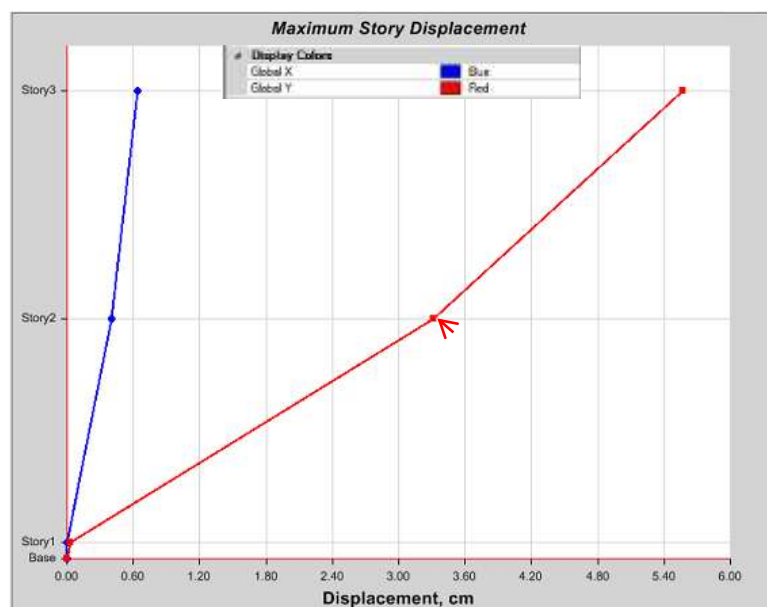
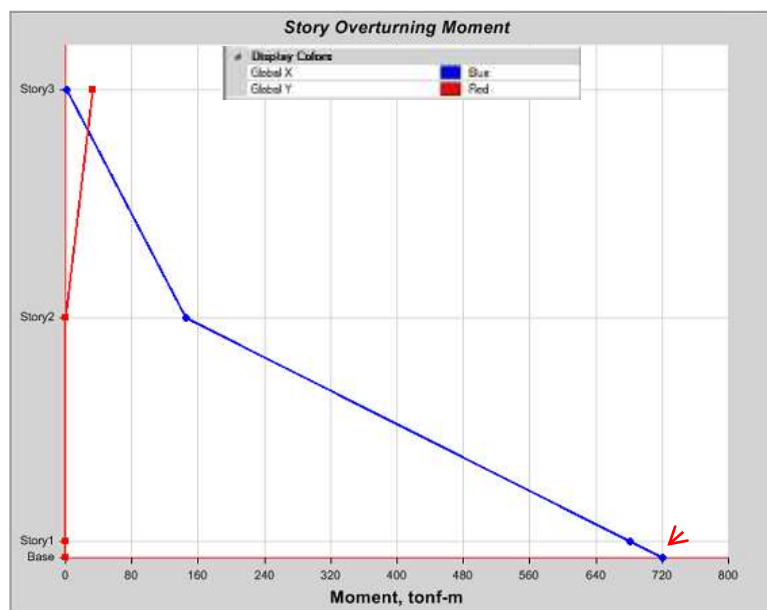


รูปที่ 4.23 แผนภูมิแรงเฉือนในคาน (Dead Load)



รูปที่ 4.24 โมเมนต์คัตในเสาจากแรงแผ่นดินไหว ทิศทาง Y (EQK Y)

- ตัวอย่างกราฟแสดงการตอบสนองของชั้น แสดงในตารางที่ 4.1 คอลัมน์ MX ค่าโมเมนต์ด้านทานการพลิกกว่า 720.54 ตัน.เมตร และแสดงในตารางที่ 4.2 คอลัมน์ UY ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์แบบอิลาสติกในชั้นที่ 2 คือ 3.312 เซนติเมตร (ตามลำดับ) รูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 กราฟการตอบสนองของชั้นในทิศทาง Y

4.7.4 การนำผลมาทำการวิเคราะห์หาค่าต่างๆ และตรวจสอบ

4.7.4.1 ตรวจสอบโมเมนต์พลิกคว่ำ ในหัวข้อที่ 2.3.3

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงน้ำหนักบรรทุกคงที่และแรงแผ่นดินไหวจากโปรแกรม

TABLE: Story Forces		Location	P	VX	VY	T	MX	MY
Story	Load Case/Combo		tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Story8	Dead	Top	3.13	0.00	0.00	0.00	14.10	-56.41
Story8	Dead	Bottom	0.56	0.00	1.10	25.03	2.00	-0.85
Story8	EQKY	Top	0.00	0.00	-5.11	-92.41	0.00	0.00
Story8	EQKY	Bottom	3.95	-0.01	-2.57	-52.99	18.95	-95.60
Story8	EQKX	Top	0.00	-5.11	0.00	22.99	0.00	0.00
Story8	EQKX	Bottom	-0.22	-0.63	0.05	1.02	-1.00	4.63
Story7	Dead	Top	1.25	0.00	1.10	25.03	5.11	-13.26
Story7	Dead	Bottom	-1.77	0.00	-7.37	-154.24	-2.51	47.52
Story7	EQKY	Top	3.95	-0.01	-3.87	-77.00	18.95	-95.60
Story7	EQKY	Bottom	5.18	-0.01	6.33	173.17	17.88	-132.45
Story7	EQKX	Top	-0.22	-1.94	0.05	6.87	-1.00	4.63
Story7	EQKX	Bottom	-0.37	-0.19	-0.57	-16.92	-1.26	9.35
Story6	Dead	Top	-1.07	0.00	-7.37	-154.24	0.61	35.05
Story6	Dead	Bottom	-1.76	0.00	-6.30	-133.65	-1.17	45.18
Story6	EQKY	Top	5.18	-0.01	5.13	151.25	17.88	-132.45
Story6	EQKY	Bottom	3.22	0.00	5.58	125.86	9.56	-88.48
Story6	EQKX	Top	-0.37	-1.38	-0.57	-11.53	-1.26	9.35
Story6	EQKX	Bottom	-0.32	-1.02	-0.34	-5.41	-0.98	7.65
Story5	Dead	Top	-1.07	0.00	-6.30	-133.65	1.95	32.71
Story5	Dead	Bottom	1.00	0.03	-3.45	-79.73	10.76	-5.27
Story5	EQKY	Top	3.22	0.00	4.45	105.20	9.56	-88.48
Story5	EQKY	Bottom	0.18	0.03	12.17	158.37	-8.92	-6.21
Story5	EQKX	Top	-0.32	-2.15	-0.34	-0.33	-0.98	7.65
Story5	EQKX	Bottom	-0.10	-3.94	0.30	28.13	-1.08	0.93
Story4	Dead	Top	1.00	0.03	-3.45	-79.73	10.76	-5.27
Story4	Dead	Bottom	1.12	0.03	-3.45	-79.73	11.77	-7.38
Story4	EQKY	Top	0.18	0.03	12.02	155.50	-8.92	-6.21

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

TABLE: Story Forces		Location	P	VX	VY	T	MX	MY
Story	Load Case/Combo		tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Story4	EQKY	Bottom	0.18	0.03	12.02	155.50	-10.60	-6.21
Story4	EQKX	Top	-0.10	-4.10	0.30	28.83	-1.08	0.93
Story4	EQKX	Bottom	-0.10	-4.10	0.30	28.83	-1.13	0.36
Story3	Dead	Top	15.70	0.00	1.16	26.27	70.46	-272.05
Story3	Dead	Bottom	37.75	0.00	0.00	0.00	181.82	-634.21
Story3	EQKY	Top	-1.09	-0.01	-31.37	-532.39	1.23	32.48
Story3	EQKY	Bottom	0.00	0.00	-38.59	-654.15	145.04	0.00
Story3	EQKX	Top	0.12	-29.80	0.05	141.50	0.46	-9.56
Story3	EQKX	Bottom	0.00	-38.59	0.00	182.94	0.00	-145.04
Story2	Dead	Top	222.30	0.00	0.00	0.00	1104.27	-3991.21
Story2	Dead	Bottom	247.94	0.00	0.00	0.00	1200.62	-4265.53
Story2	EQKY	Top	0.00	0.00	-152.03	-2875.37	145.04	0.00
Story2	EQKY	Bottom	0.00	0.00	-153.97	-2878.21	680.49	0.00
Story2	EQKX	Top	0.00	-152.03	0.00	790.22	0.00	-145.04
Story2	EQKX	Bottom	0.00	-153.97	0.00	793.12	0.00	-680.49
Story1	Dead	Top	406.20	0.00	0.00	0.00	2003.68	-7085.07
Story1	Dead	Bottom	407.33	0.00	0.00	0.00	2009.52	-7103.32
Story1	EQKY	Top	0.00	0.00	-160.19	-2998.14	680.49	0.00
Story1	EQKY	Bottom	0.00	0.00	-160.19	-2998.14	720.54	0.00
Story1	EQKX	Top	0.00	-160.19	0.00	826.21	0.00	-680.49
Story1	EQKX	Bottom	0.00	-160.19	0.00	826.21	0.00	-720.54

อัตราส่วนความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ $S.F. = \frac{M_{React}}{M_{act}} \geq 1.5$ (ในหัวข้อที่ 2.3.3)

(ทิศทาง Y อาคารยาว 9.00 เมตร) โมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำ (M_R) = $WL/2$

$$= 407.33 \times (9/2) = 1832.98$$

$$S.F. = 1832.98/720.54$$

$$= 2.54 > 1.5 \quad \text{OK}$$

4.7.4.2 ตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

ตารางที่ 4.2 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x

Story	UY	δ_x	Δ_x	h_{sx}	Δ_x/h_{sx}	Trans Y
	cm	cm	cm	cm		
Story3	5.109	10.218	3.594	355	0.0101239	หน้าตัดแตกร้าว
Story2	3.312	6.624	6.562	350	0.0187486	หน้าตัดแตกร้าว
Story1	0.031	0.062	0.062	25	0.00248	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Bese	0	0	0	0	0	หน้าตัดไม่แตกร้าว

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น หัวข้อที่ 2.4.21

คำนวณคอดลัมน์ $\delta_x = C_d \delta_{xe} / I$ โดยที่ $C_d = 2.5$, δ_{xe} คือคอดลัมน์ UY และ $I = 1.25$

$$\delta_x = (2.5 \times 5.105) / 1.25 = 10.218$$

คำนวณคอดลัมน์ $\Delta_x = \delta_x - \delta_{x-1}$ (เป็นค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์)

$$\Delta_x = 10.218 - 6.624 = 3.594$$

คำนวณคอดลัมน์ $\Delta_x / h_{sx} = 3.594 / 355 = 0.0101239$

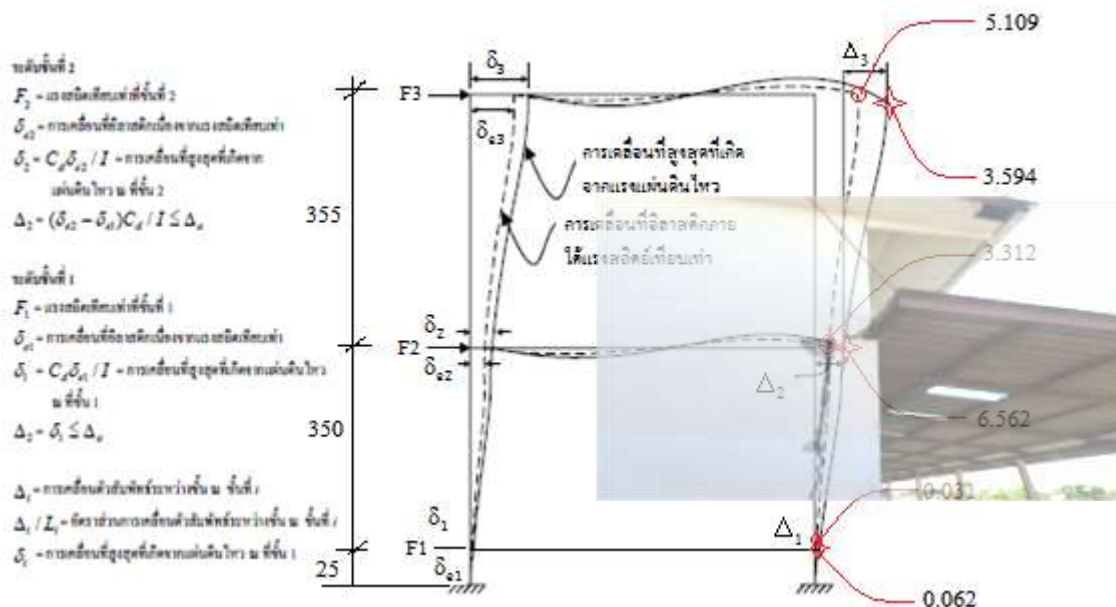
การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a) จากตารางที่ 2.17 สำหรับอาคารประเภทอื่นที่มีความสำคัญ ระดับ III ค่าที่ยอมให้คือ $0.010 h_{sx}$

$$\Delta_a = 0.010 \times 355 = 3.55$$

$$\Delta_a / h_{sx} = 0.010$$

จากผลในคอดลัมน์ Δ_x / h_{sx} จะเห็นว่ามีค่าที่เกิน 0.010 ซึ่งมาจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y โดยค่า δ_{xe} คือ ค่าการเคลื่อนตัวของชั้นที่ x จากการวิเคราะห์แบบอีลาสติก ที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม (เส้นปะที่ปรากฏในรูปที่ 4.26) และเมื่อวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น สำหรับการออกแบบ (Δ_x) ในตาราง ชั้นที่ Story 2 มีค่า 6.526 มากกว่า 3.321 เป็นค่าแบบพลาสติก

สัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Δ_x/h_{sx}) มีค่า 0.0187487 มากกว่าค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a) คือ 0.010 ทำให้หน้าตัดแตกร้าว



รูปที่ 4.26 การพิจารณาค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

4.7.4.3 ตรวจสอบผลของ P-Delta

ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (θ)

Story	UY	δ_x	Δ_x	h	P_x	VY	θ	Check
	cm	cm	cm	cm	Tonf	Tonf		
Story3	5.109	10.218	3.594	355	37.749	38.585	0.00396	Ok
Story2	3.312	6.624	6.562	350	247.936	153.966	0.01208	Ok
Story1	0.031	0.062	0.062	25	407.334	160.191	0.00252	Ok
Bese	0	0	0	0	0	0	0	

การคำนวณสัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (θ) = $\frac{P_x \Delta}{V_x h_{sx} C_d} \leq 0.1$ (ในหัวข้อที่ 2.4.22)

โดยที่ $C_d = 2.5$ และในคอลัมน์ $VY = V_x$

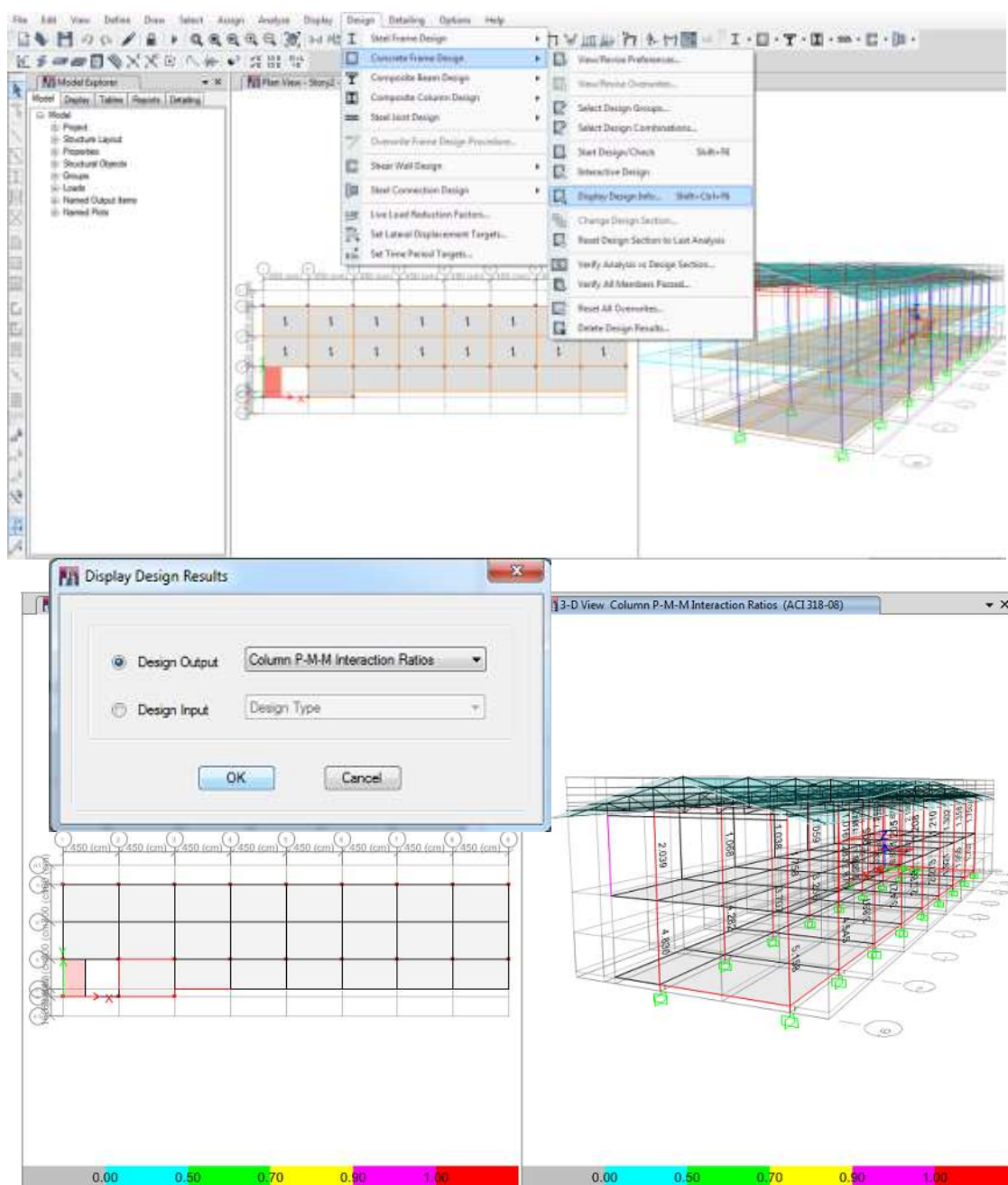
$$= (37.749 \times 3.594) / (38.585 \times 355 \times 2.5)$$

$$= 0.00396 < 0.1 \quad \text{OK}$$

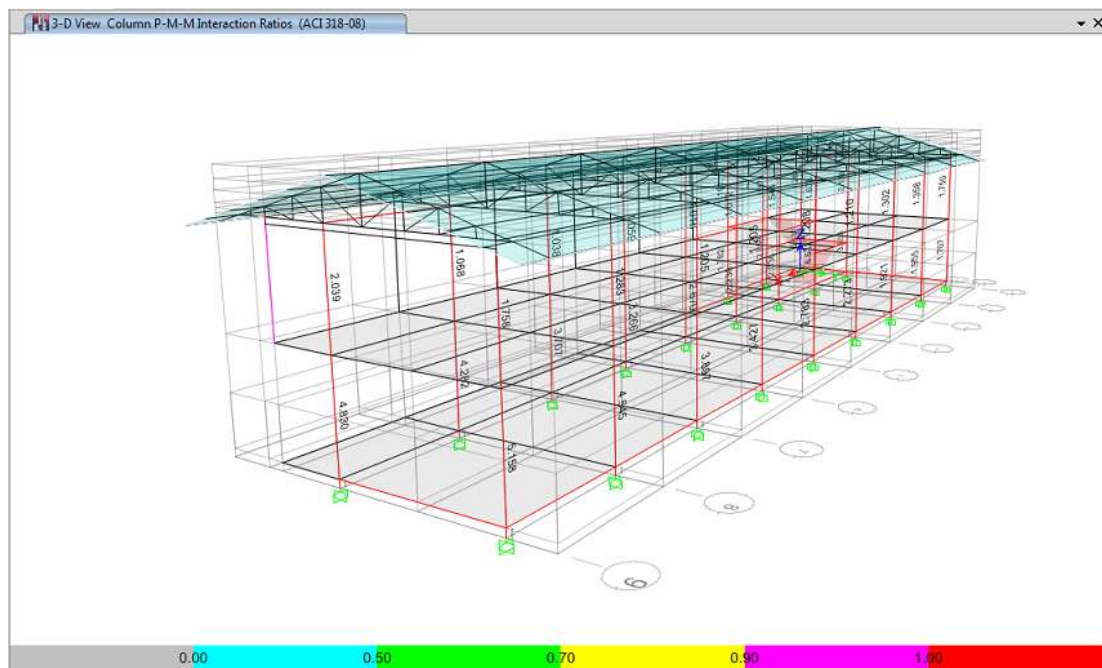
จากค่า θ ที่คำนวณได้ พบว่าทุกชั้นมีค่าน้อยกว่า 0.1 ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของ P-Delta ในการคำนวณออกแบบโครงสร้าง

4.7.4.4 ตรวจสอบเสารับแรงอัดและแรงดัดสองทิศทางพร้อมกัน (Rectangular columns in biaxial bending)

- กรณีเสาเป็น Compression govern และรับแรงดัดทั้งแกน X และ แกน Y พร้อมกัน



รูปที่ 4.27 การตรวจสอบเสารับแรงอัดและแรงดัดสองทิศทางพร้อมกัน



รูปที่ 4.27 การตรวจสอบเสารับแรงอัดและแรงดัดสองทิศทางพร้อมกัน (ต่อ)

ตรวจสอบเสาโครงสร้างอาคารเรียนเดิมตามตำแหน่งที่ตั้ง ที่ไม่ได้ออกแบบไว้ให้รับแรงทางด้านข้าง(Lateral Load)ตั้งแต่แรก มีเพียงการรับแรงในแนวดิ่ง (Gravity Load) เท่านั้น เมื่อผู้ศึกษาได้ใส่คุณสมบัติขนาดหน้าตัดเสา C1 และจำนวนเหล็กเสริมตามแนวแกนรวมถึงเหล็กปลอก (รูปที่ 4.8และรูปที่ 4.9) และต้องเป็นไปตามสมการ

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.00$$

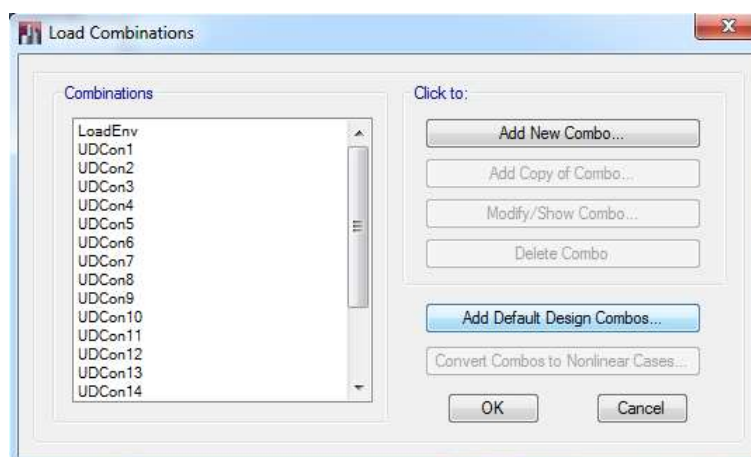
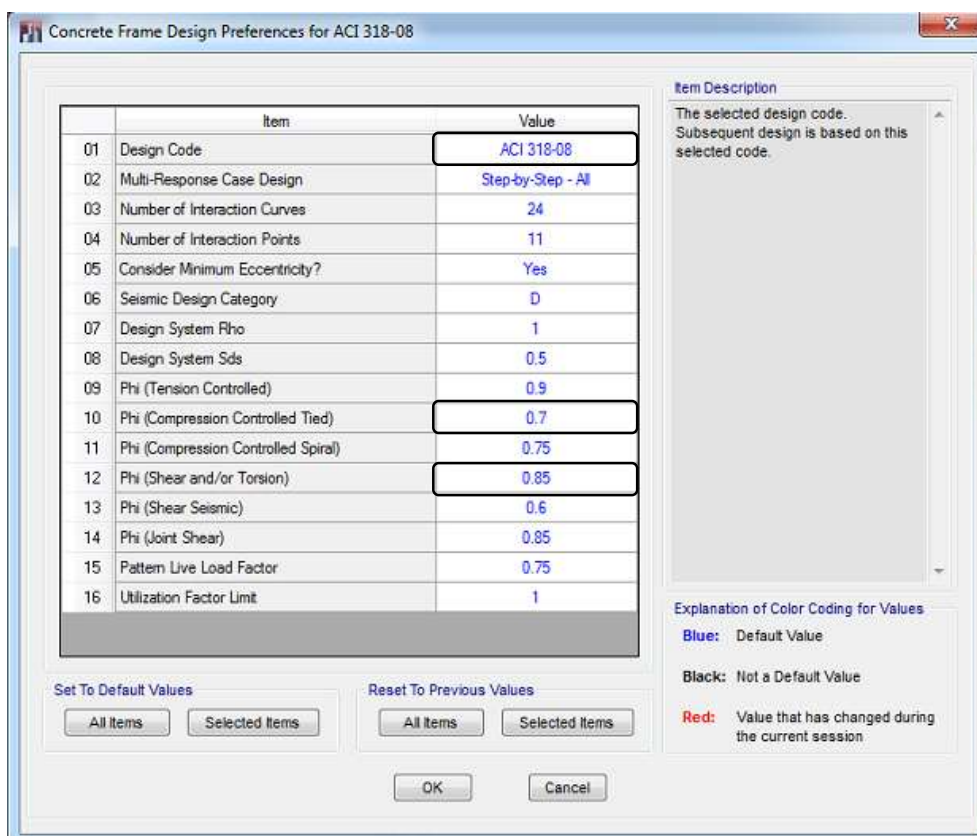
เมื่อ f_{bx} = โมเมนต์ดัดรอบแกน X และ f_{by} = โมเมนต์ดัดรอบแกน Y

F_{bx} หรือ F_{by} คือ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ตามทิศทางของหน่วยแรง f_{bx} และ f_{by} ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากันคือเท่ากับ $0.45 f_c'$ ($f_c' = 240 \text{ Kg/cm}^2$ ตามหัวข้อ 4.2) (เรื่องรุชดี ชีระโรจน์, 2547)

เมื่อตรวจสอบอัตราส่วนปฏิสัมพันธ์(Interaction Ratios)ของเสาด้วยโปรแกรมอัตโนมัติพบว่า เสาทุกต้นมีค่ามากกว่า 1.00 แสดงเป็นสีแดงเปรียบเทียบกับแถบสีด้านล่าง (รูปที่ 4.27) ดังนั้นเสาทุกต้นยังไม่สามารถรับแรงและโมเมนต์ดัดรอบแกน X และรอบแกน Y ได้ จึงทำให้เสาวิบัติ ซึ่งจะทำให้การศึกษารูปแบบเสริมกำลังที่เหมาะสม เพื่อด้านทานแผ่นดินไหว ในหัวข้อถัดไป

4.8 ทดสอบการออกแบบอาคารเรียน ที่มีแรงแผ่นดินไหว

4.8.1 ออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้มาตรฐาน ACI 318-08 ที่ตรงกับมาตรฐานที่ใช้ภายในประเทศ โดยพิจารณาความสำคัญของโครงสร้างกำหนดให้ $\phi = 0.85$ สำหรับคานรับแรงเฉือน และ $\phi = 0.70$ สำหรับเสา โดยการวิบัติของเสาจะมีความรุนแรงมากกว่าคานจึงใช้ค่าต่ำกว่า



รูปที่ 4.28 เลือก Design Code และกำหนดกรณีบรรทุก

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: UDCon2

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Live	1.7
Dead	1.4

Add Delete

OK Cancel

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: LoadEnv

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
UDCon1	1
UDCon2	1
UDCon3	1
UDCon4	1
UDCon5	1
UDCon6	1

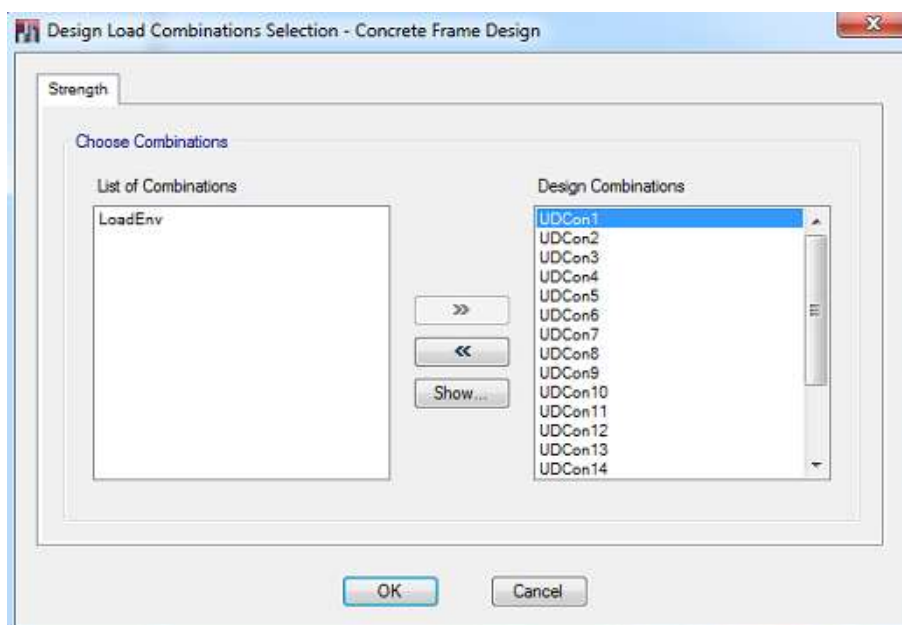
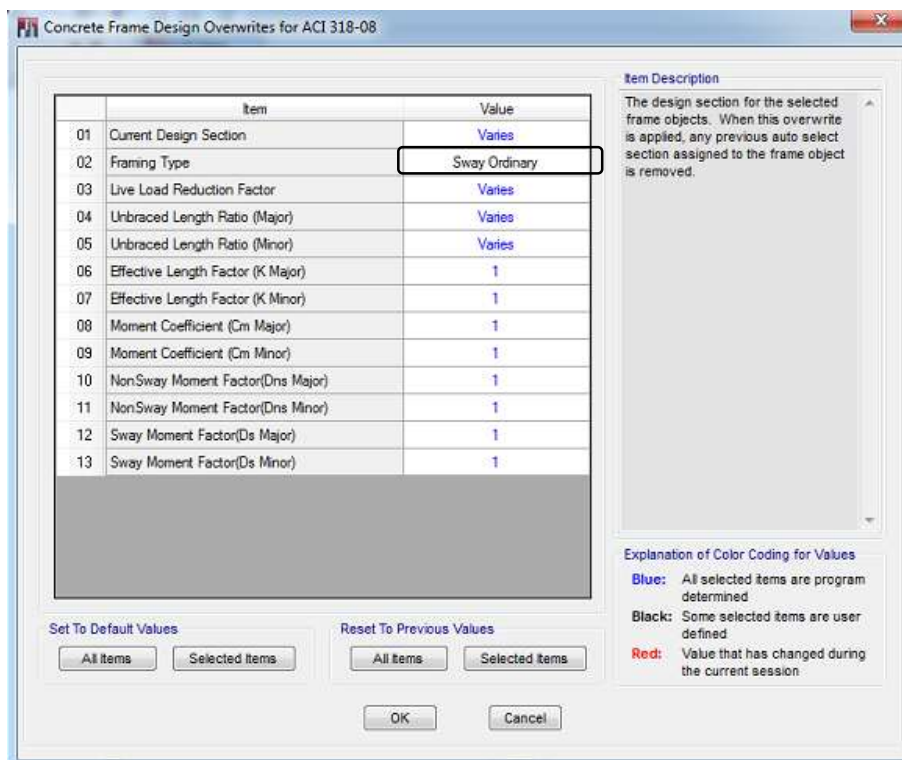
Add Delete

OK Cancel

หมายเหตุ: การสร้าง Load Env จะแสดงกรณีน้ำหนักบรรทุกรวมค่ามากที่สุด เพื่อการออกแบบฐานราก

รูปที่ 4.29 การจัดน้ำหนักบรรทุกเพื่อการออกแบบ

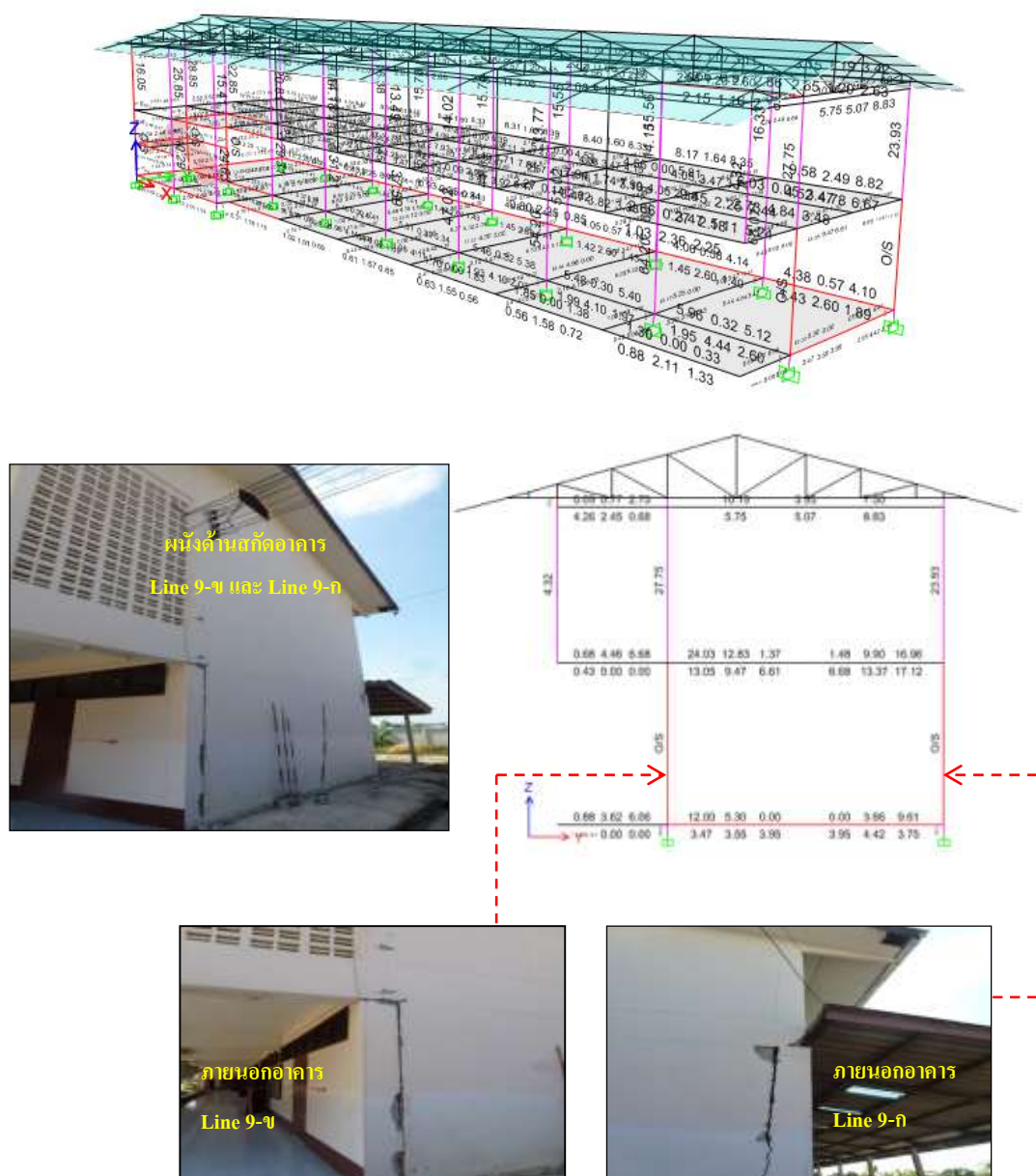
จากอาคารเรียนที่ไม่ได้ถูกออกแบบให้รับแรงด้านข้างตั้งแต่แรก ซึ่งองค์อาคารจะรับแรงในแนวดิ่ง ผู้วิจัยจึงเลือกชนิดของโครงตามการออกแบบแผ่นดินไหว เป็นแบบ “Sway Ordinary”



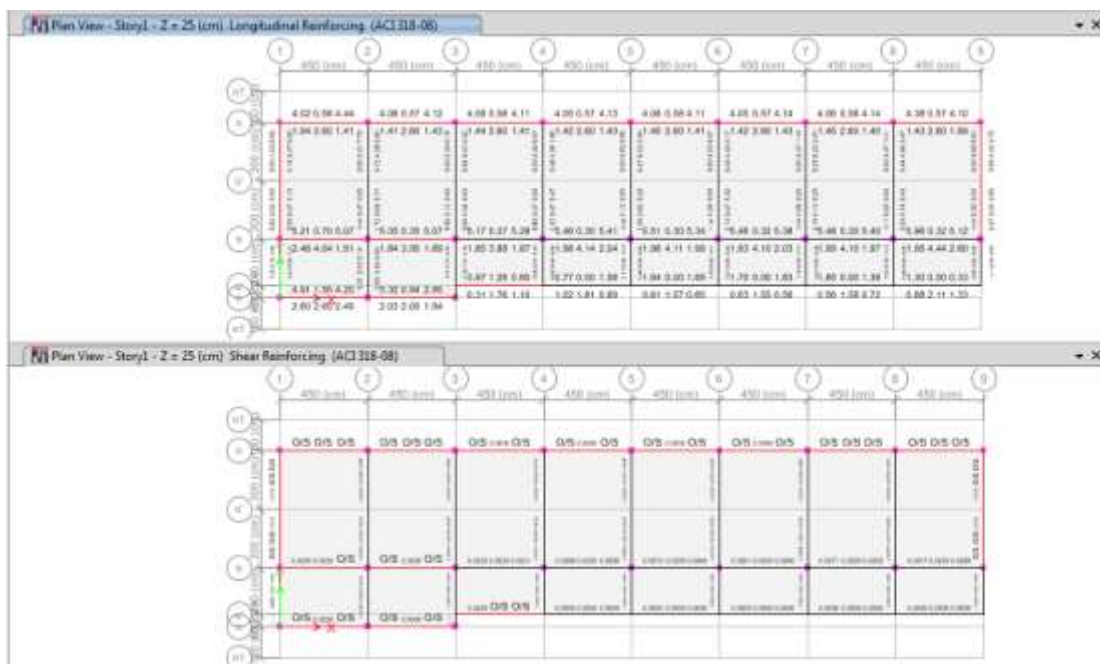
รูปที่ 4.30 ประเภทการออกแบบและการรวมแรงเพื่อการออกแบบ

เมื่อทำการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ จะเห็นว่าเฟรมโครงสร้างอาคาร แสดงคานที่เป็นสีแดงพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่เพียงพอและเสาที่เป็นสีแดง (O/S=Over Size) แสดงถึงเหล็กเสริมตามแนวแกนไม่เพียงพอ

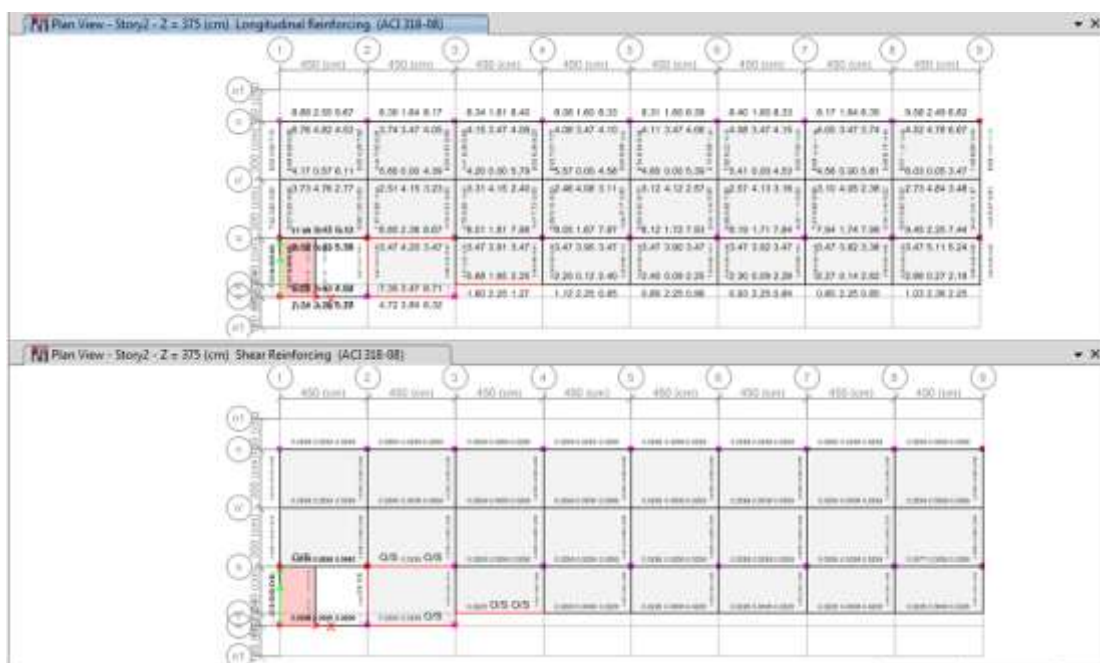
ซึ่งสัมพันธ์กับการวิบัติของโครงสร้างที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวจริง โดยเฉพาะตำแหน่งเสา Line 9-ก และ Line 9-ข ที่หน้าตัดแตกร้าวเสียหายมากที่สุด



รูปที่ 4.31 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมและตำแหน่งวิบัติของเฟรมโครงสร้าง

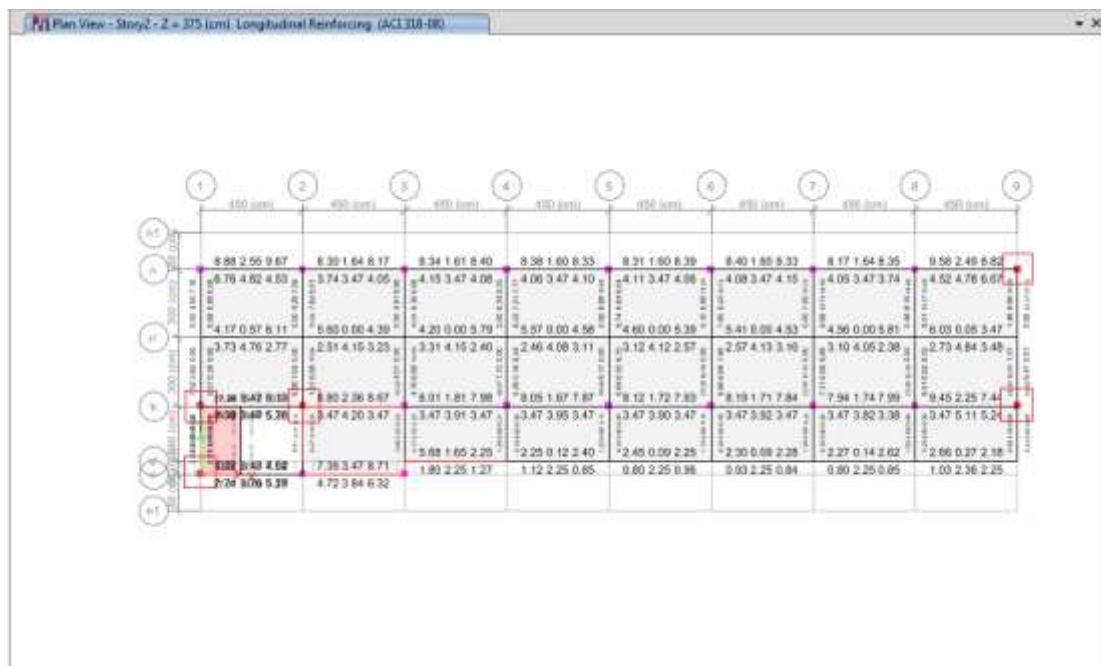


รูปที่ 4.32 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมและพื้นที่เหล็กรับแรงเฉือน ชั้นล่าง

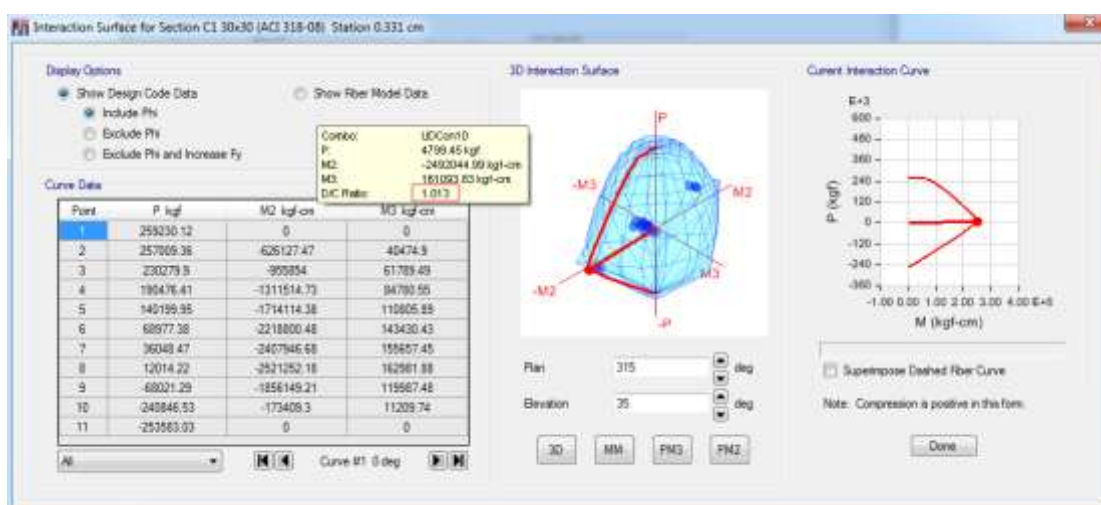


รูปที่ 4.33 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมและพื้นที่เหล็กรับแรงเฉือน ชั้นบน

ตำแหน่งเสาที่มีสีแดง(O/S) บ่งบอกว่าหน้าตัดเสามีขนาดไม่เพียงพอ ซึ่งสอดคล้องกับแผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา ที่มีค่า D/C Ratio. ซึ่งมีค่า > 1.00 โดยเส้น Curve สีแดงอยู่บนระยะหุ้มคอนกรีต (รูปที่ 4.35) เมื่อมีแรงกระทำด้านข้างจากแผ่นดินไหวทำให้เสามีการวิบัติแบบแรงดึงเป็นหลักทำให้เสารับโมเมนต์ดัดมากขึ้น ทำให้หน้าตัดคอนกรีตแตกร้าวในที่สุด



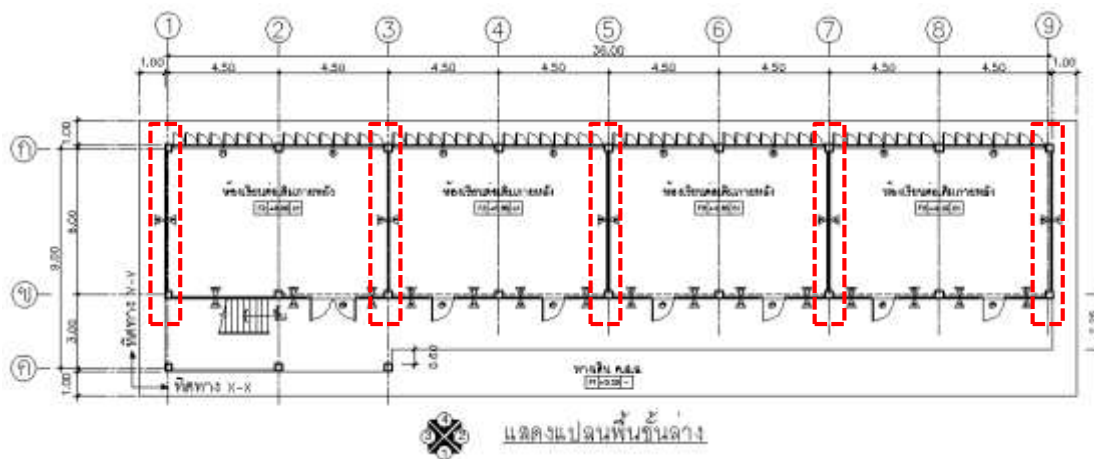
รูปที่ 4.34 ตำแหน่งเสาวิบัติจากการออกแบบของโปรแกรม



รูปที่ 4.35 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา

4.9 การวิเคราะห์รูปแบบเสริมกำลัง เพื่อด้านแผ่นดินไหว

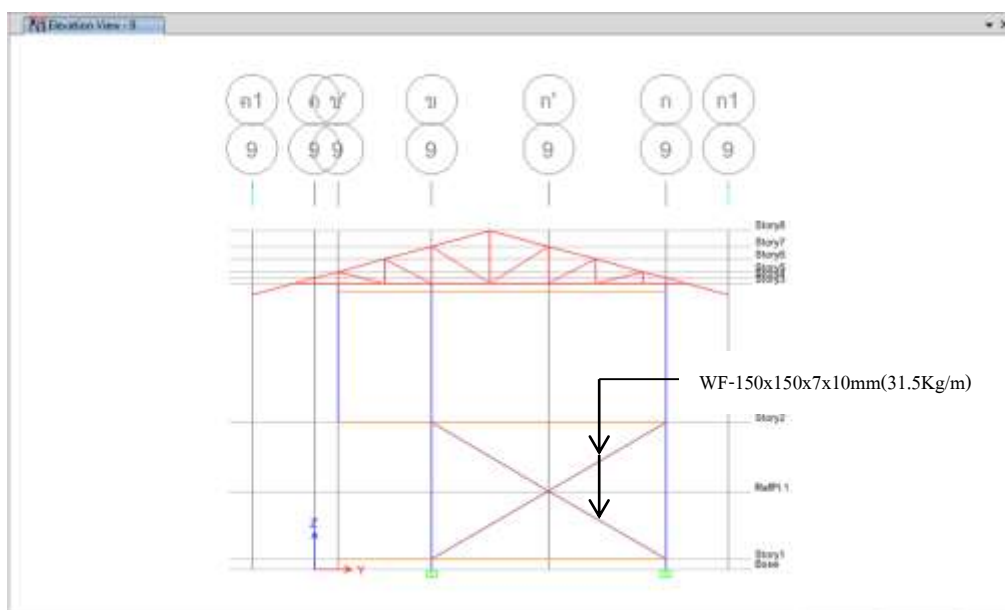
เพื่อความเหมาะสมในการเสริมกำลังให้กับโครงสร้าง ผู้วิจัยได้กำหนดตำแหน่งการเสริมกำลังเพื่อคำนึงถึงการใช้งานอาคารในการจัดการเรียนการสอน (รูปที่ 4.36)



รูปที่ 4.36 ตำแหน่งเสริมกำลัง เพื่อด้านแผ่นดินไหว

ก. ระบบโครงแกนแรงตรงศูนย์ แบบ Braced

ตำแหน่งเสริมกำลังด้วยเหล็กรูปพรรณหน้าตัดรูปปีกกว้าง (Wide Flange Shapes) ขนาดหน้าตัด 150x150x7x10 mm (31.5kg/m)

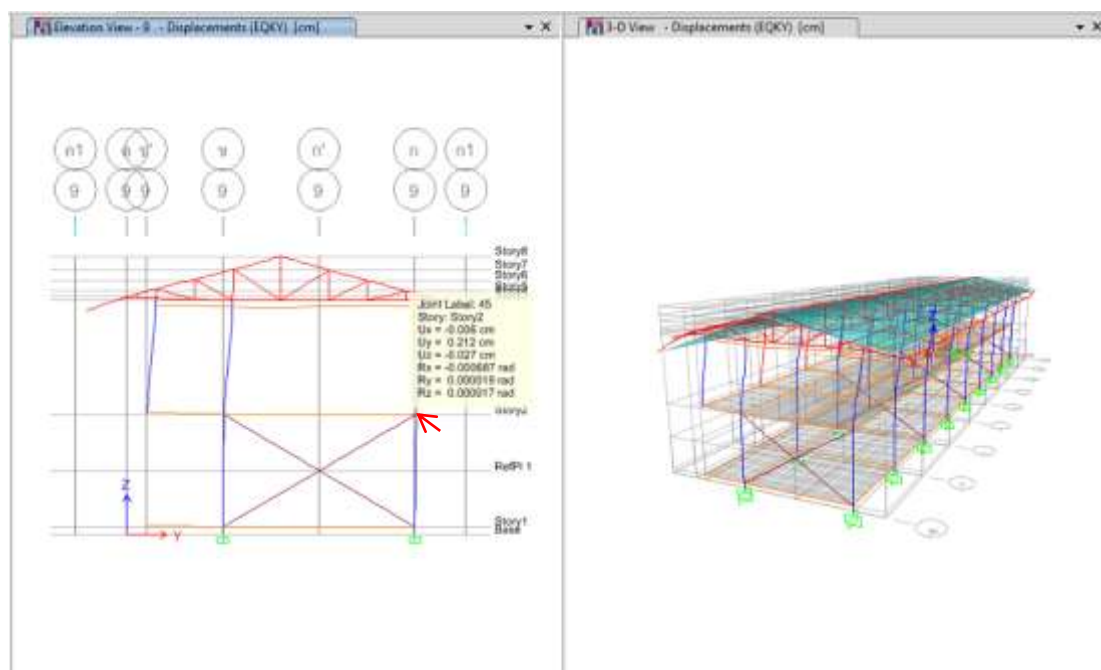


รูปที่ 4.37 ตำแหน่งเสริมกำลัง แบบ Braced

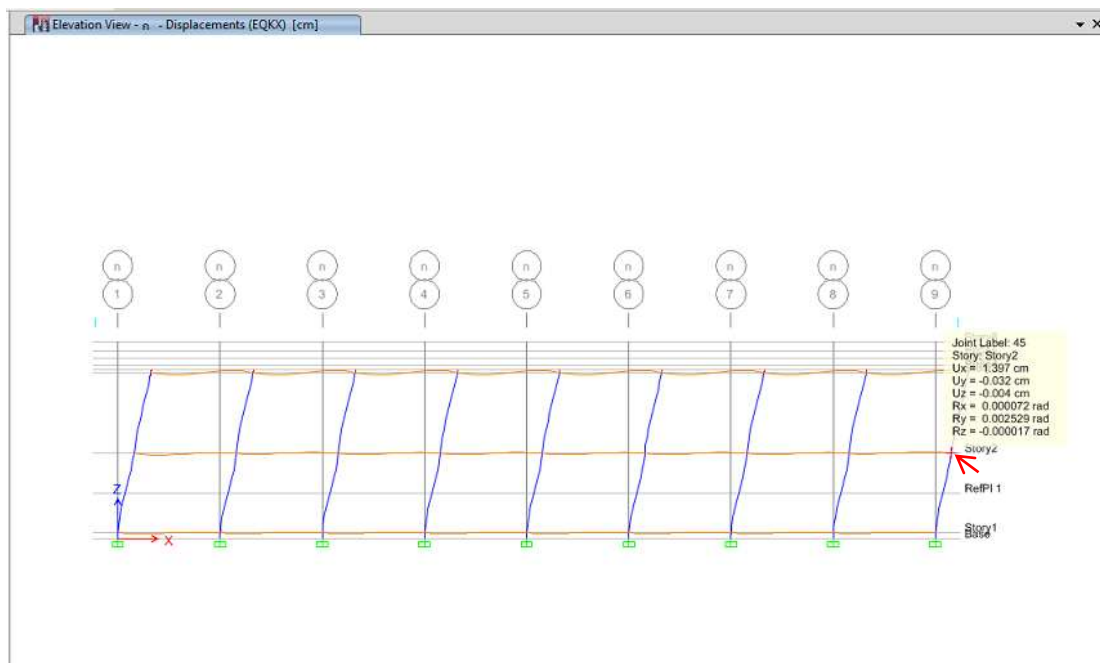


รูปที่ 4.37 ตำแหน่งเสริมกำลัง แบบ Braced (ต่อ)

4.9.1 ทำการวิเคราะห์ค่าเมื่อเสริมกำลังด้วย โครงแกนตรงศูนย์ แบบ Braced



รูปที่ 4.38 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift) ทิศทาง Y (แบบ Braced)



รูปที่ 4.39 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift) ทิศทาง X (แบบ Braced)

ตำแหน่งจุดต่อคานและเสาที่มีการเคลื่อนตัว (Joint Displacement) มากที่สุดในองค์อาคารใน Line ก-9 เมื่อผลักด้วยแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y และทิศทาง X คานและเสาเคลื่อนตัวเท่ากับ 0.212 Cm และ 1.397 Cm ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างโดยตำแหน่งที่ตั้งอาคารและการเสริมกำลังแบบ Braced การเคลื่อนที่แบบอีลาสติกมีค่าการเคลื่อนตัวน้อยลง จากผลของแรงแผ่นดินไหวที่มากระทำ การเคลื่อนตัวในทิศทาง Y จากเดิม มีค่า 3.312 Cm ลดลงเท่ากับ 0.212 Cm หรือลดการเคลื่อนตัวได้ 93.60 % และการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ในทิศทาง X จากเดิม มีค่า 1.466 Cm ลดลงเท่ากับ 1.397 Cm หรือลดการเคลื่อนตัวได้ 4.71 % ซึ่งจะตรวจสอบโมเมนต์พลิกคว่ำในทิศทาง X แทนทิศทาง Y

4.9.1.1 ตรวจสอบโมเมนต์พลิกคว่ำ แบบ Braced

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงน้ำหนักบรรทุกคงที่และแรงแผ่นดินไหวจากโปรแกรม แบบ Braced

TABLE: Base Reactions						
Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
	Tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Dead	0.00	0.00	409.53	2022.71	-7142.88	0.00
EQKY	0.00	-161.21	0.00	724.38	0.00	-3018.10
EQKX	-161.21	0.00	0.00	0.00	-724.38	832.48

อัตราส่วนความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ $S.F. = \frac{M_{React}}{M_{act}} \geq 1.5$ (ในหัวข้อที่ 2.3.3)

(ทิศทาง Y อาคารยาว 9.00 เมตร) โมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำ (M_R) = $WL/2$

$$= 409.53 \times (9/2) = 1842.89$$

$$S.F. = 1842.89/724.38$$

$$= 2.54 > 1.5 \quad \text{OK}$$

เห็นได้ว่าเมื่อน้ำหนักจากเหล็ก WF เพิ่มขึ้น ก็มีค่าเป็นปฏิภาคต่อกันของค่าโมเมนต์พลิกคว่ำ

4.9.1.2 ตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น แบบ Braced

ตารางที่ 4.5 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Braced

Story	UX	δ_x	Δ_x	h_{sx}	Δ_x/h_{sx}	Trans X
	cm	Cm	cm	cm		
Story3	2.90	5.80	3.006	355	0.008468	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story2	1.397	2.794	2.766	350	0.007903	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story1	0.014	0.028	0.028	25	0.001120	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Bese	0	0	0	0	0	หน้าตัดไม่แตกร้าว

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น เมื่อเสริมกำลังแบบ Braced

คำนวณคอดัด $\delta_x = C_d \delta_{xe}/I$ โดยที่ $C_d = 2.5$, δ_{xe} คือคอดัด UX และ $I = 1.25$

$$\delta_x = (2.5 \times 2.90)/1.25 = 5.80$$

คำนวณคอดัด $\Delta_x = \delta_x - \delta_{x-1}$ (เป็นค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์)

$$\Delta_x = 5.80 - 2.794 = 3.006$$

คำนวณคอดัด $\Delta_x/h_{sx} = 3.006/355 = 0.008468$

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a) จากตารางที่ 2.17 สำหรับอาคารประเภทอื่นที่มีความสำคัญ ระดับ III ค่าที่ยอมให้คือ $0.010 h_{sx}$

$$\Delta_a = 0.010 \times 355 = 3.55$$

$$\Delta_a/h_{sx} = 0.010$$

จากผลในคอดัด Δ_x/h_{sx} จะเห็นว่าไม่เกิน 0.010 ดังนั้นการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในแต่ละชั้นไม่เกินค่าที่กำหนด ทำให้หน้าตัดไม่แตกร้าว

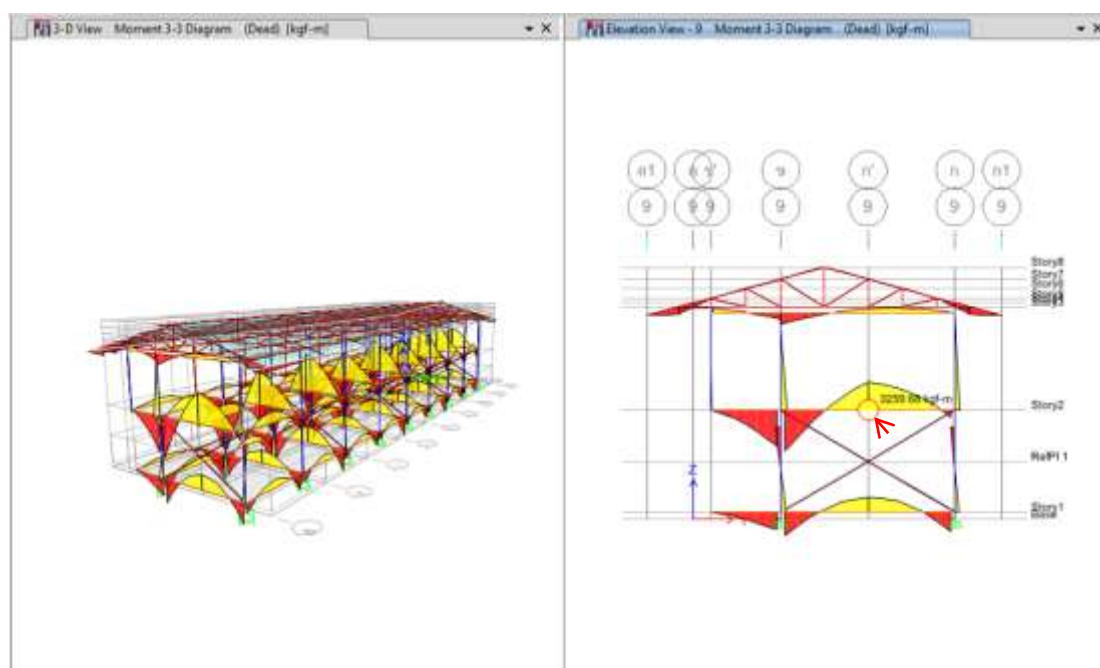
4.9.1.3 ตรวจสอบผลของ P-Delta แบบ Braced

ตารางที่ 4.6 สัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (θ) แบบ Braced

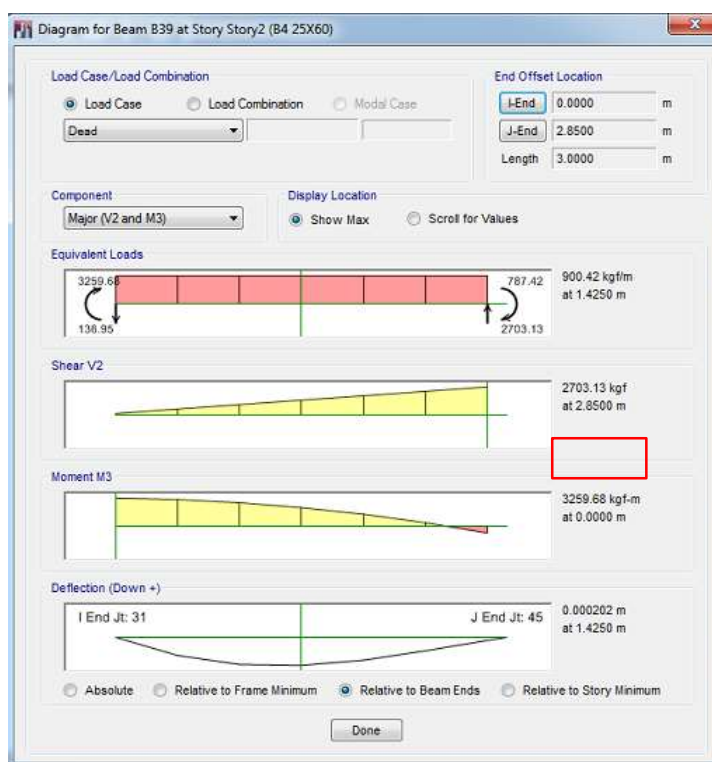
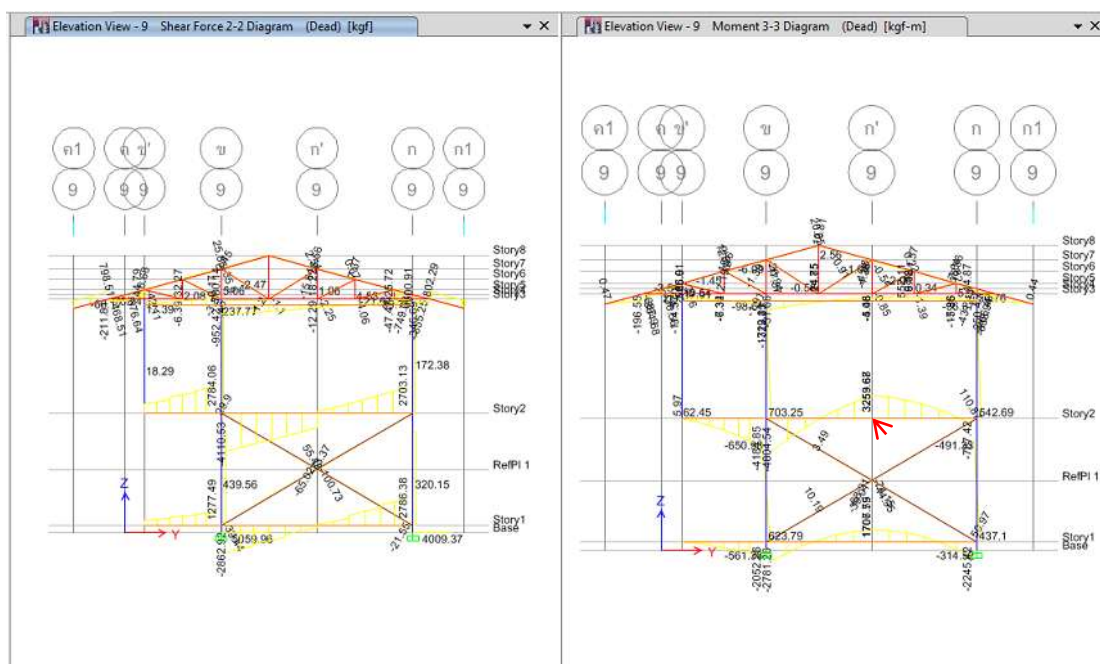
Story	UX	δ_x	Δ_x	h	P_x	$VX=VY$	θ	Check
	cm	cm	cm	cm	Tonf	Tonf		
Story3	2.90	5.80	3.006	355	37.749	38.585	0.00331	Ok
Story2	1.397	2.794	2.766	350	250.134	153.966	0.00514	Ok
Story1	0.014	0.028	0.028	25	409.532	160.191	0.00115	Ok
Bese	0	0	0	0	0	0	0	

จากค่า θ ที่คำนวณจากตารางที่ 4.6 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่มีการเสริมกำลังแบบ Braced ที่มีค่า Displacement ต่างๆ น้อยกว่า (คำนวณแบบเดียวกับหัวข้อ 4.7.4.3) พบว่าทุกชั้นมีค่าน้อยกว่า 0.1 เทียบกับการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเรียนโดยตำแหน่งที่ตั้งอาคารเรียน (ตารางที่ 4.3) และในคอลัมน์สัมประสิทธิ์เสถียรภาพพบว่ามีค่าลดลงจากเดิมในทุกทุกชั้น ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของ P-Delta

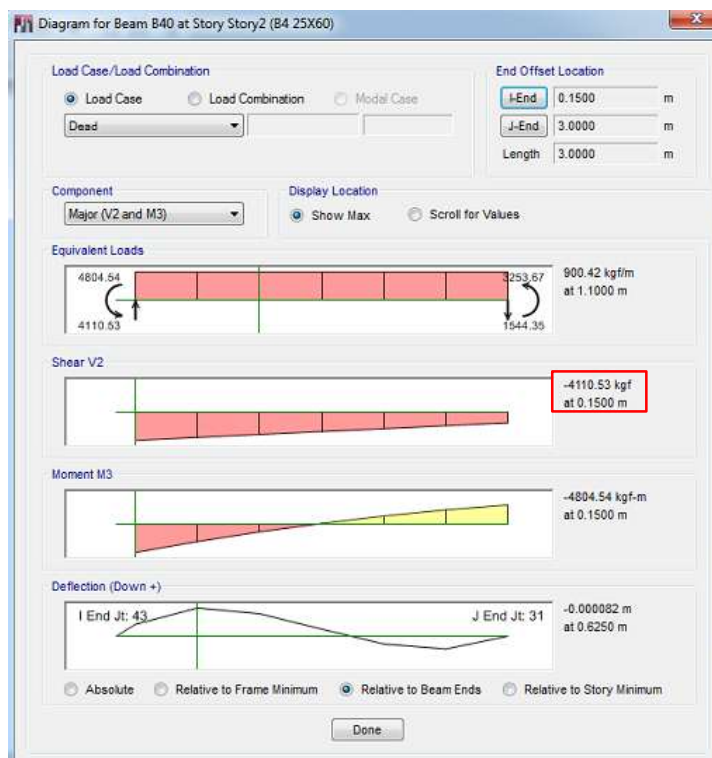
4.9.1.4 การแสดงผลแรงภายใน แบบ Braced



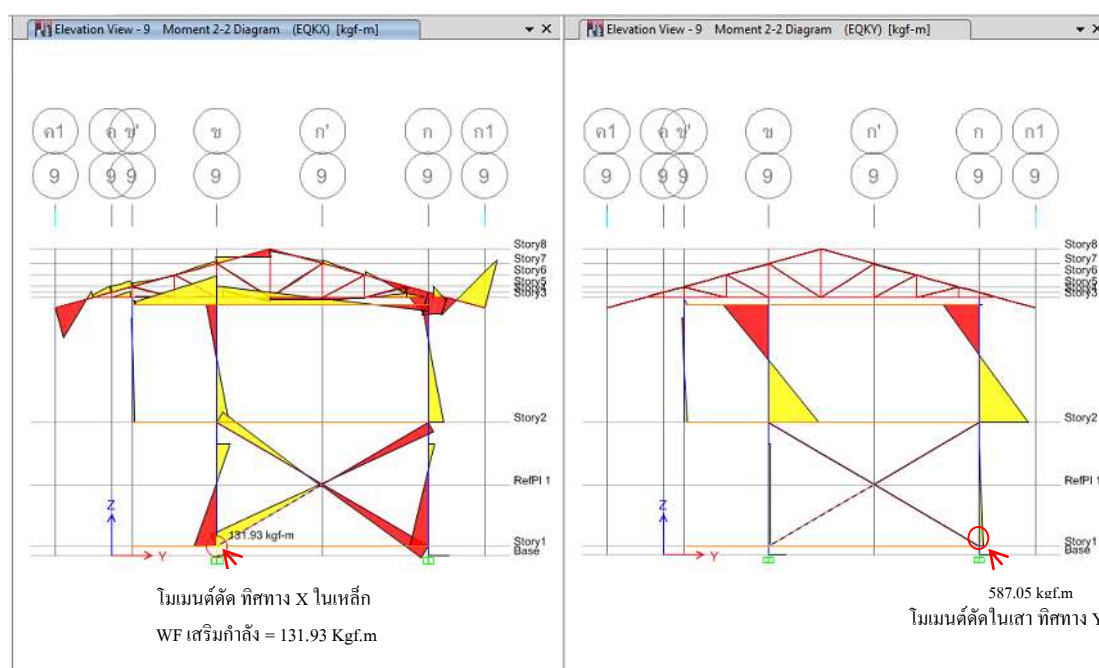
รูปที่ 4.40 โมเมนต์ดัดในคานจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แบบ Braced



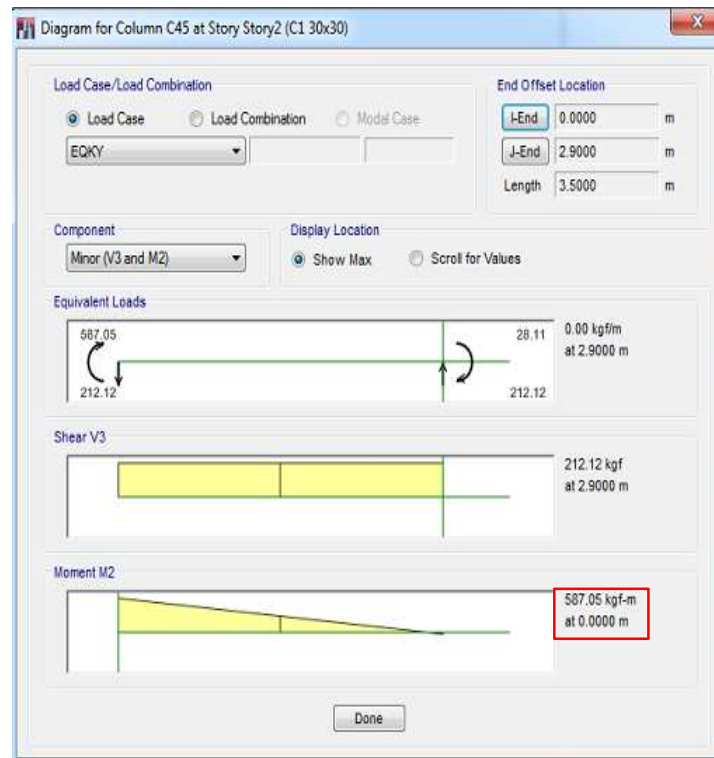
รูปที่ 4.41 แผนภูมิแรงเฉือนและโมเมนต์คัตในคานจาก
น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แบบ Braced



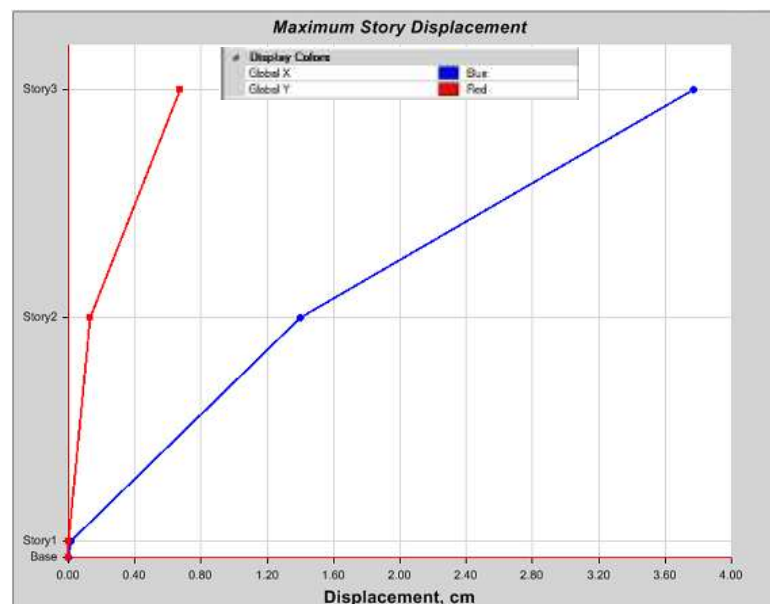
รูปที่ 4.41 แผนภูมิแรงเฉือนและโมเมนต์ค้ดในคาน
จากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แบบ Braced (ต่อ)



รูปที่ 4.42 โมเมนต์ค้ดในเสาจากแรงแผ่นดินไหว(EQK)ทิศทาง X และY แบบ Braced



รูปที่ 4.42 โมเมนต์คัตในเสาจากแรงแผ่นดินไหว(EQK)ทิศทาง X และ Y แบบ Braced (ต่อ)



รูปที่ 4.43 กราฟการตอบสนองของชั้นในทิศทาง X แบบ Braced

จากการวิเคราะห์ผลของแรงภายในแบบ Braced ในตำแหน่งเดียวกัน ภายหลังการเสริมกำลัง ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดในคาน B4 ชั้นบน ตำแหน่ง Line 9 (ก-ข) กรณีน้ำหนักบรรทุกทุกคงที่ จากเดิมมีค่า = 3,316.06 Kgf.m ลดลง = 3,259.68 ซึ่งมีค่าลดลงเล็กน้อย (รูปที่ 4.40) และ โมเมนต์ดัดในเสาจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y ตามตำแหน่งที่ตั้งอาคาร มีค่า = 18,718.56 Kgf.m (รูปที่ 4.23) เปรียบเทียบกับการเสริมกำลัง (รูปที่ 4.41) เห็นว่ามีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด มีค่า = 587.05 Kgf.m คิดเป็น 96.86 % ถือว่าเป็นค่าที่ดี

เมื่อพิจารณาถึงเหล็ก WF (Braced Frame) ที่นำมาเสริมกำลังจะมีโมเมนต์ดัดมากในทิศทาง X รอบแกน Y มีค่าเท่ากับ 131.93 Kgf.m และตรวจสอบหน้าตัดโมดูลัสหน้าตัด (S_x) ที่ต้องการ

$$S_x = M/F_b ; \text{เมื่อ } F_b \text{ คือแรงดัด} = 0.6 F_y , \text{หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็ก}$$

$$\text{รูปพรรณ (} F_y \text{)} = 2500 \text{ Kg/cm}^2$$

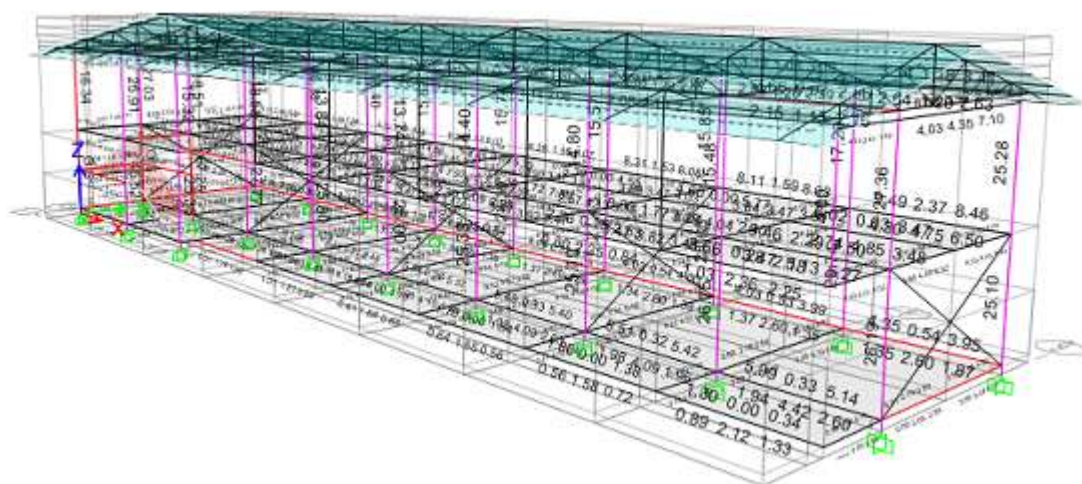
$$\text{แทนค่า } S_x = 131.93 \times 100 / (0.6 \times 2500) = 9.161 \text{ cm}^3$$

$$\text{เหล็ก WF-150x150x7x10mm(31.5Kg/m) มีค่า } S_x = 219 \text{ cm}^3 > 9.161 \text{ cm}^3 \quad \text{OK}$$

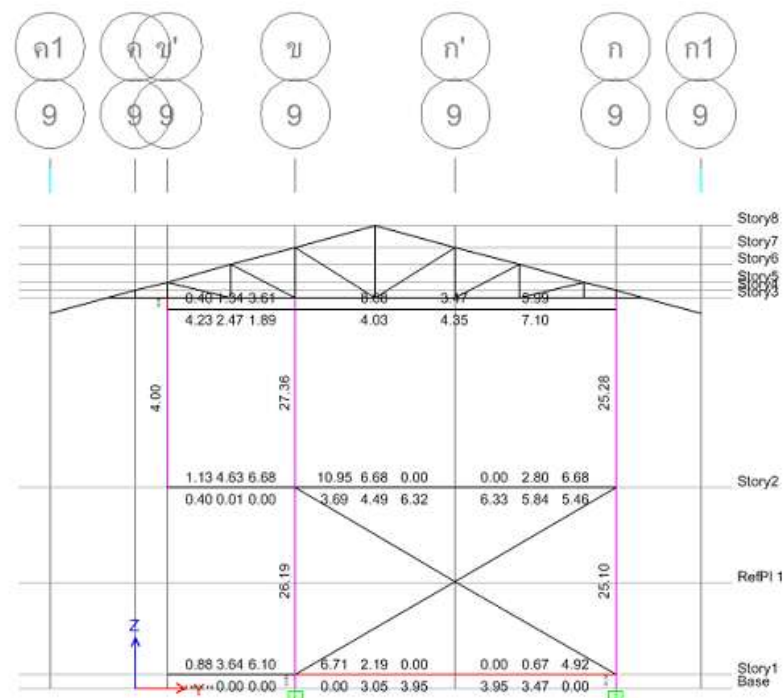
4.9.1.5 การออกแบบอาคารที่มีการเสริมกำลัง แบบ Braced

เมื่อทำการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ ภายหลังการเสริมกำลังจะเห็นว่าเฟรมโครงสร้างอาคาร แสดงคานที่เป็นสีแดงพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่เพียงพอ และเสาที่เป็นสีแดง(O/S=Over Size) แสดงถึงเหล็กเสริมตามแนวแกนไม่เพียงพอ

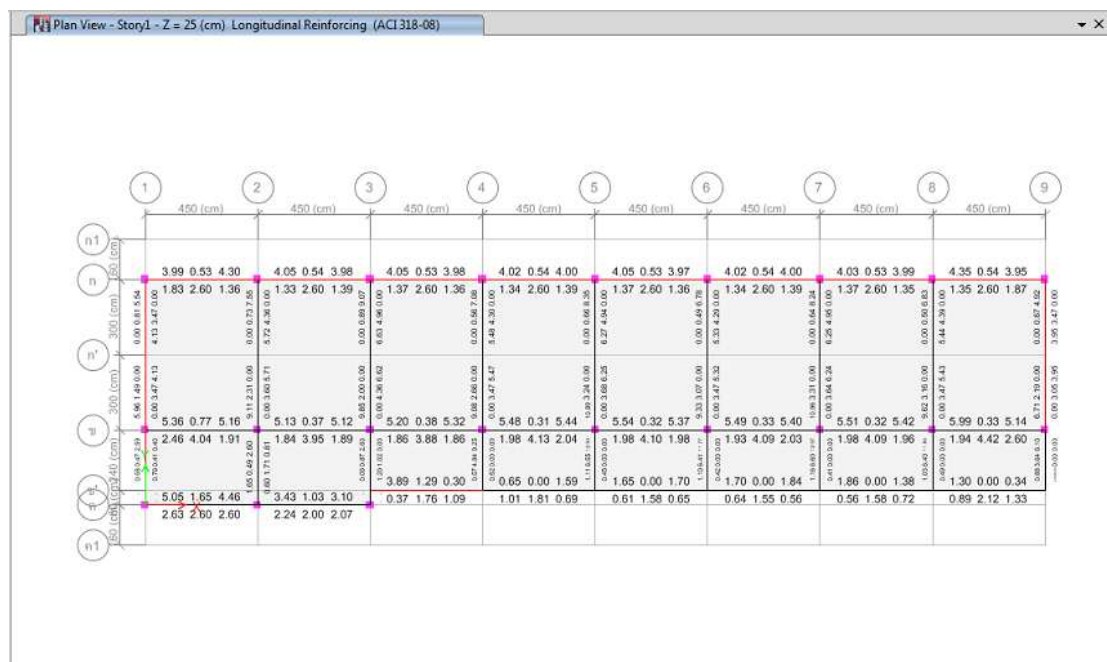
จากการเสริมกำลังพบการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้นของเสาโครงสร้าง Line 9-ก และ Line 9-ข ที่หน้าตัดสามารถแสดงปริมาณเหล็กเสริมตามแนวแกนและไม่เป็นสีแดง แสดงถึงหน้าตัดที่ไม่แตกร้าว



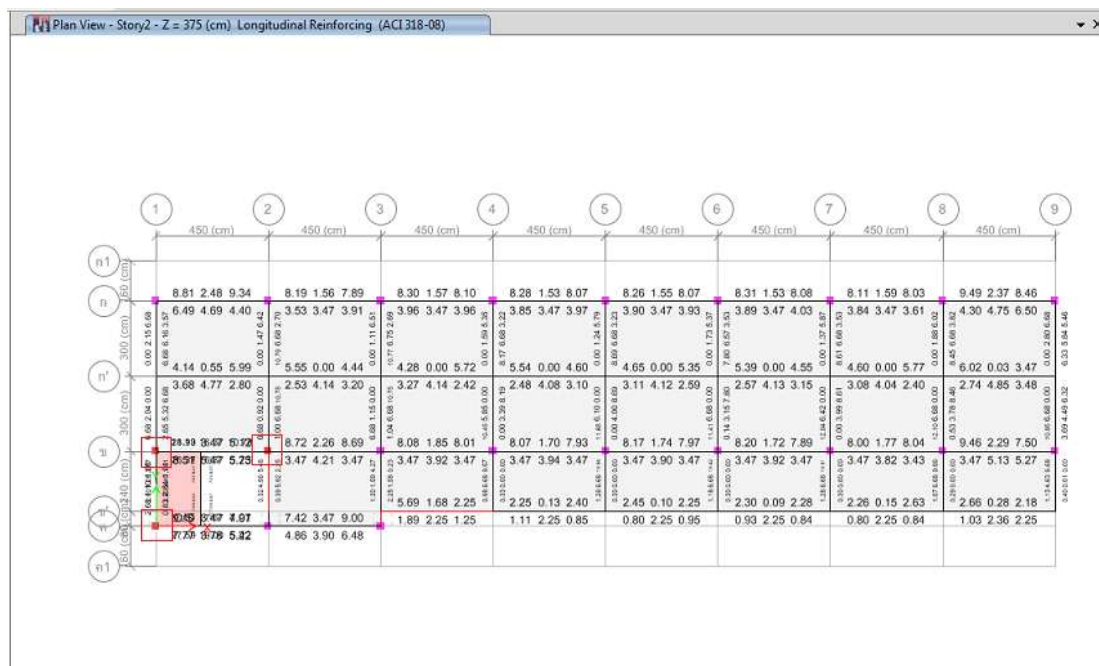
รูปที่ 4.44 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมและตำแหน่งวิบัติของเฟรม โครงสร้าง แบบ Braced



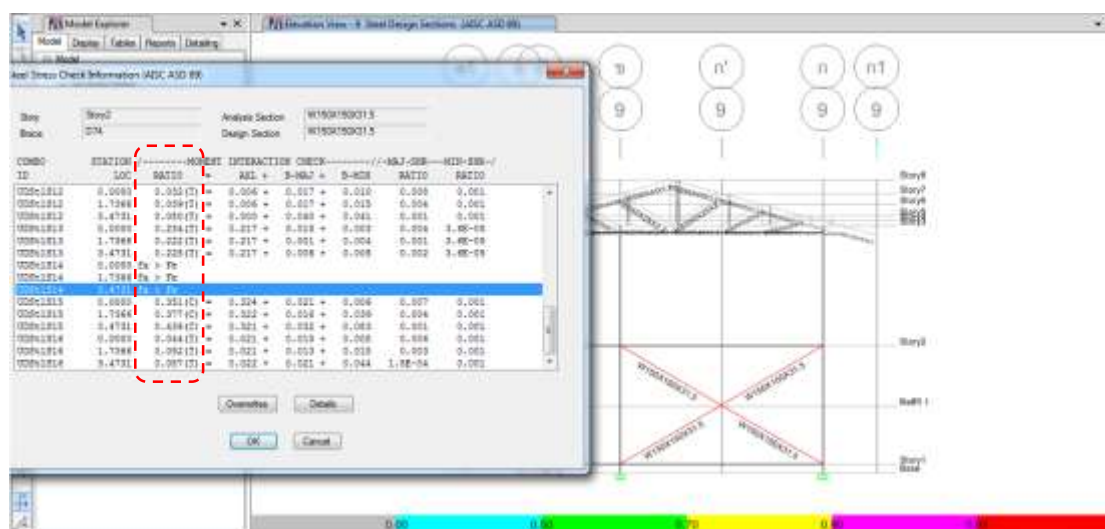
รูปที่ 4.44 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมและตำแหน่งวิบัติของเฟรมโครงสร้าง แบบ Braced (ต่อ)



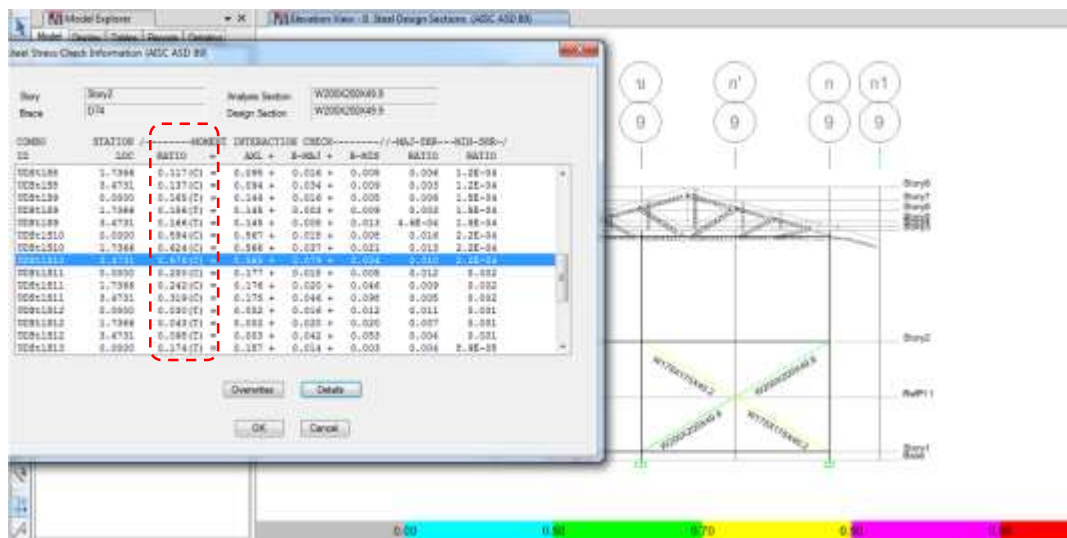
รูปที่ 4.45 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม ชั้นล่าง จากการออกแบบเสริมกำลัง แบบ Braced



รูปที่ 4.46 ตำแหน่งเสาวิบัติ ชั้นบน จากการออกแบบเสริมกำลัง แบบ Braced



รูปที่ 4.47 ออกแบบการเสริมกำลังแบบ แบบ Braced ด้วยเหล็กรูปพรรณ

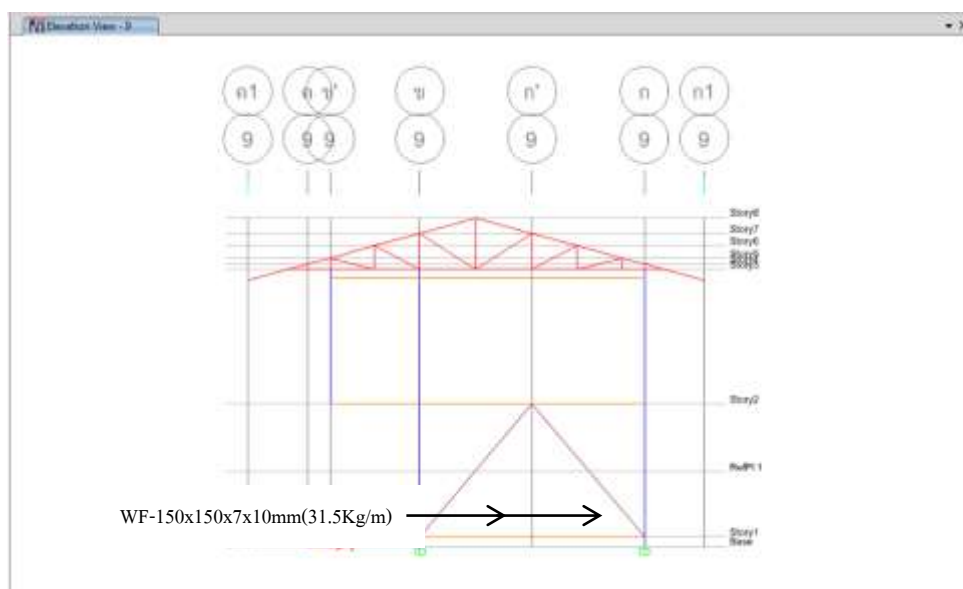


รูปที่ 4.47 ออกแบบการเสริมกำลังแบบ แบบ Braced ด้วยเหล็กรูปพรรณ (ต่อ)

ทำการออกแบบเหล็กรูปพรรณ จากที่ผู้วิจัยได้ทดลองใช้ WF-150x150x7x10mm (31.5Kg/m) ในการเสริมกำลังในคอนคันทัน เมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพบว่าหน้าตัดเหล็กเป็นสี่เหลี่ยม และเปรียบเทียบกับแถบสี่เหลี่ยม แสดงตามอัตราส่วนกำลังที่ต้องการต่อกำลังที่มีอยู่ (Demand/Capacity, D/C Ratio) ไม่เพียงพอ ซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกิน 1.00 (แสดงในรูปที่ 4.46) เมื่อจัดกลุ่มเหล็กรูปพรรณและทำการวิเคราะห์ใหม่ ได้หน้าตัดเหล็กรูปพรรณในการเสริมกำลังที่เหมาะสม ขนาดหน้าตัดเหล็ก WF-200x200x8x12mm(49.9Kg/m) มีค่า D/C Ratio = 0.678 < 1.00 OK

ข. ระบบโครงแกนแข็งเยื้องศูนย์ แบบ Inverted V

ตำแหน่งเสริมกำลังด้วยเหล็กรูปพรรณหน้าตัดรูปปีกกว้าง (Wide Flange Shapes) ขนาดหน้าตัด 150x150x7x10 mm (31.5kg/m)

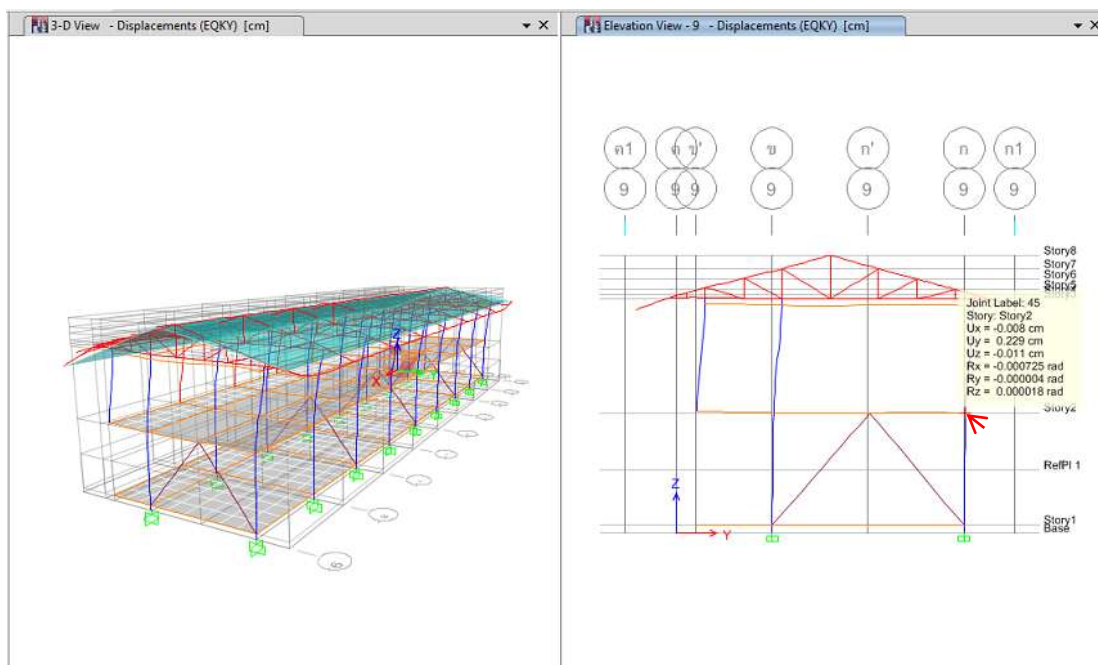


รูปที่ 4.48 ตำแหน่งเสริมกำลัง แบบ Inverted V

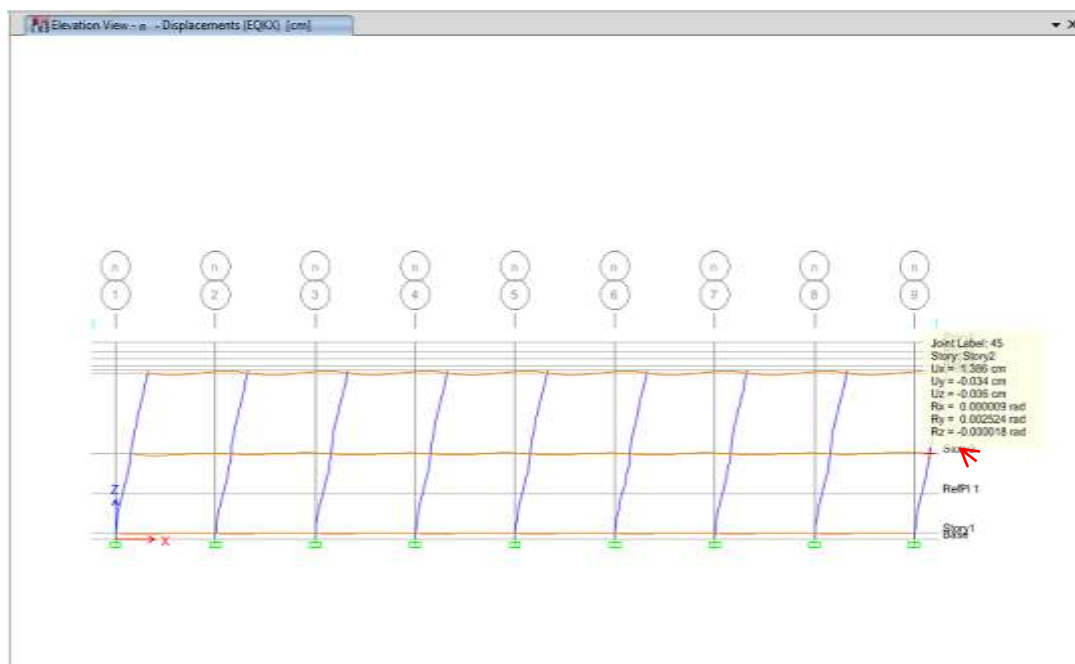


รูปที่ 4.48 ตำแหน่งเสริมกำลัง แบบ Inverted V (ต่อ)

4.9.2 ทำการวิเคราะห์ห้ค่าเมื่อเสริมกำลังด้วย โครงแกนแข็งเยื้องศูนย์ แบบ Inverted V



รูปที่ 4.49 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift)ทิศทาง Y (แบบ Inverted V)



รูปที่ 4.50 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift) ทิศทาง X (แบบ Inverted V)

ตำแหน่งจุดต่อคานและเสาที่มีการเคลื่อนตัว (Joint Displacement) มากที่สุดในองค์อาคาร ใน Line 9-ก เมื่อผลัดด้วยแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y และทิศทาง X คานและเสาเคลื่อนตัว เท่ากับ 0.229 Cm และ 1.386 Cm ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์โครงสร้าง โดยตำแหน่งที่ตั้งอาคารและการเสริมกำลังแบบ Inverted V การเคลื่อนที่แบบอิลาสติกมีค่าการเคลื่อนตัวน้อยลง จากผลของแรงแผ่นดินไหวที่มากกระทำ การเคลื่อนตัวในทิศทาง Y จากเดิม มีค่า 3.312 Cm ลดลงเท่ากับ 0.229 Cm หรือลดการเคลื่อนตัวได้ 93.09 % และการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ในทิศทาง X จากเดิม มีค่า 1.466 Cm ลดลงเท่ากับ 1.386 Cm หรือลดการเคลื่อนตัวได้ 5.46 % ซึ่งจะตรวจสอบโมเมนต์พลิกคว่ำในทิศทาง X แทนทิศทาง Y

4.9.2.1 ตรวจสอบโมเมนต์พลิกคว่ำ แบบ Inverted V

ตารางที่ 4.7 ค่าแรงน้ำหนักบรรทุกคงที่และแรงแผ่นดินไหวจากโปรแกรม แบบ Inverted V

TABLE: Base Reactions						
Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
	tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Dead	0	0	408.79	2018.27	-7129.57	0
EQKY	0	-160.86	0	723.08	0	-3011.38
EQKX	-160.86	0	0	0	-723.08	830.37

อัตราส่วนความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ $S.F. = \frac{M_{React}}{M_{act}} \geq 1.5$ (ในหัวข้อที่ 2.3.3)

(ทิศทาง Y อาคารยาว 9.00 เมตร) โมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำ (M_R) = $WL/2$

$$= 408.79 \times (9/2) = 1839.55$$

$$S.F. = 1839.55/723.08$$

$$= 2.54 > 1.5 \quad \text{OK}$$

เห็นได้ว่าเมื่อน้ำหนักจากเหล็ก WF เพิ่มขึ้น ก็มีค่าเป็นปฏิภาคต่อกันของค่าโมเมนต์พลิกคว่ำ

4.9.2.2 ตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น แบบ Inverted V

ตารางที่ 4.8 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Inverted V

Story	UX	δ_x	Δ_x	h_{sx}	Δ_x/h_{sx}	Trans X
	cm	Cm	cm	cm		
Story3	2.886	5.772	3.00	355	0.008451	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story2	1.386	2.772	2.744	350	0.007840	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story1	0.014	0.028	0.028	25	0.001120	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Bese	0	0	0	0	0	หน้าตัดไม่แตกร้าว

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น เมื่อเสริมกำลังแบบ Inverted V

คำนวณคอดลัมน์ $\delta_x = C_d \delta_{xe} / I$ โดยที่ $C_d = 2.5$, δ_{xe} คือคอดลัมน์ UX และ $I = 1.25$

$$\delta_x = (2.5 \times 2.886) / 1.25 = 5.772$$

คำนวณคอดลัมน์ $\Delta_x = \delta_x - \delta_{x-1}$ (เป็นค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์)

$$\Delta_x = 5.772 - 2.772 = 3.00$$

คำนวณคอดลัมน์ $\Delta_x / h_{sx} = 3.00 / 355 = 0.00845$

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a) จากตารางที่ 2.17 สำหรับอาคารประเภทอื่นที่มีความสำคัญ ระดับ III ค่าที่ยอมให้คือ $0.010 h_{sx}$

$$\Delta_a = 0.010 \times 355 = 3.55$$

$$\Delta_a / h_{sx} = 0.010$$

จากผลในคอดลัมน์ Δ_x / h_{sx} จะเห็นว่ามีค่าไม่เกิน 0.010 ดังนั้นการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในแต่ละชั้นไม่เกินค่าที่กำหนด ทำให้หน้าตัดไม่แตกร้าว

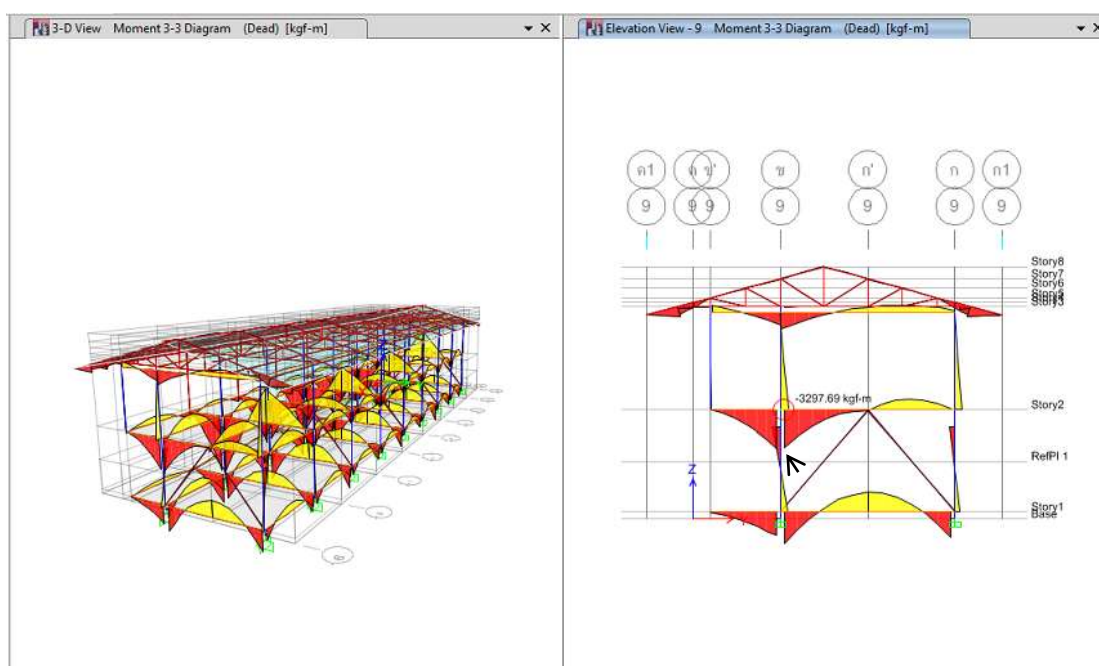
4.9.2.3 ตรวจสอบผลของ P-Delta แบบ Inverted V

ตารางที่ 4.9 สัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (θ) แบบ Inverted V

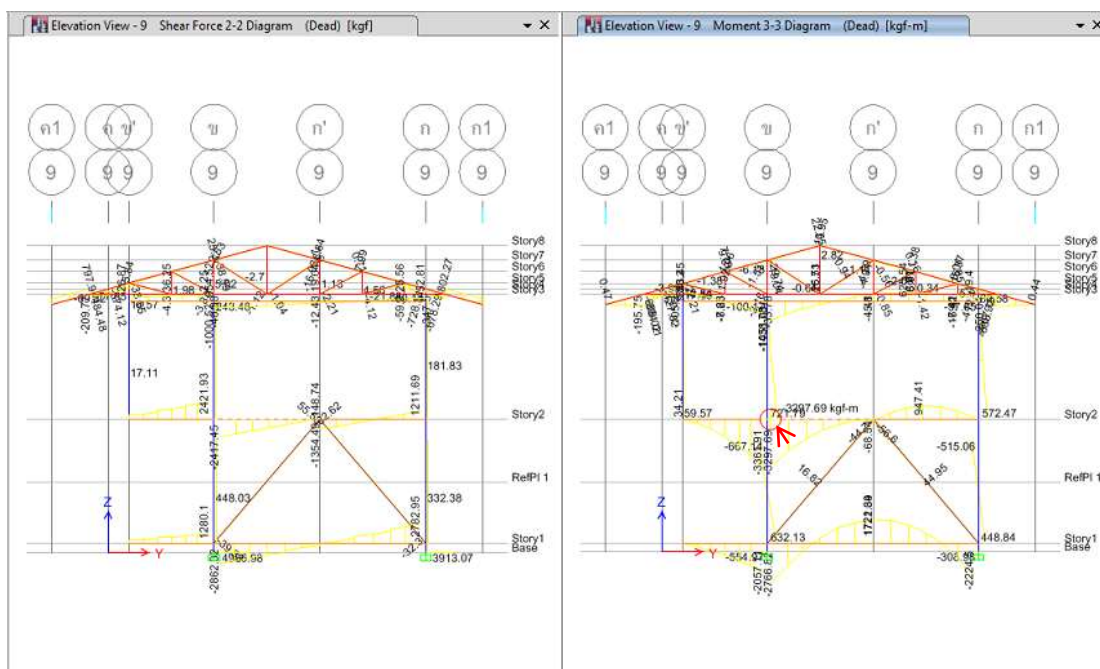
Story	UX	δ_x	Δ_x	h	P_x	$VX=VY$	θ	Check
	cm	cm	cm	cm	Tonf	Tonf		
Story3	2.886	5.772	3.00	355	37.749	38.625	0.00330	Ok
Story2	1.386	2.772	2.744	350	249.395	154.606	0.00506	Ok
Story1	0.014	0.028	0.028	25	408.793	160.869	0.00114	Ok
Bese	0	0	0	0	0	0	0	

จากค่า θ ที่คำนวณจากตารางที่ 4.9 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่มีการเสริมกำลังแบบ Inverted V ที่มีค่า Displacement ต่างๆ น้อยกว่า (คำนวณแบบเดียวกับหัวข้อ 4.7.4.3) พบว่าทุกชั้นมีค่าน้อยกว่า 0.1 เทียบกับการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเรียนโดยตำแหน่งที่ตั้งอาคารเรียน (ตารางที่ 4.3) และในคอลัมน์สัมประสิทธิ์เสถียรภาพพบว่ามีค่าลดลงจากเดิมในทุกทุกชั้น ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของ P-Delta

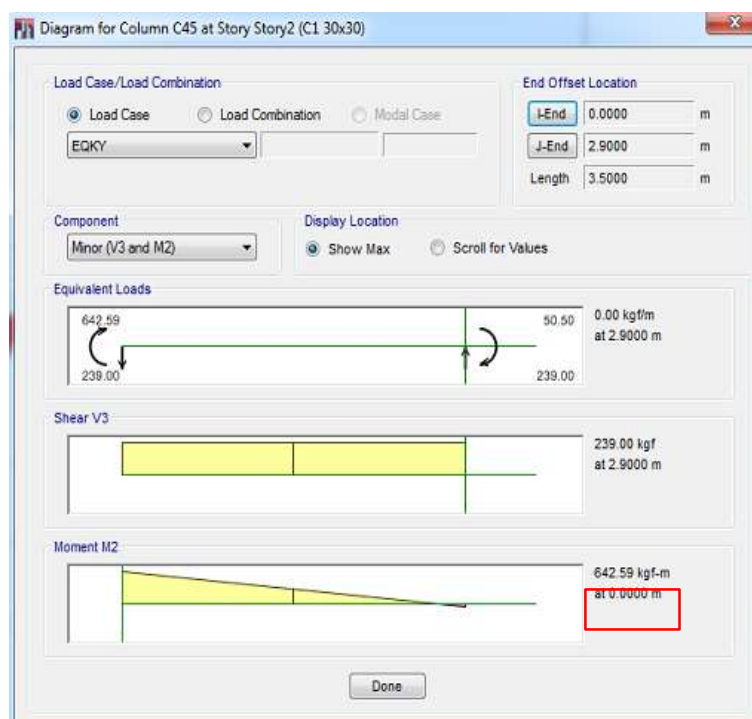
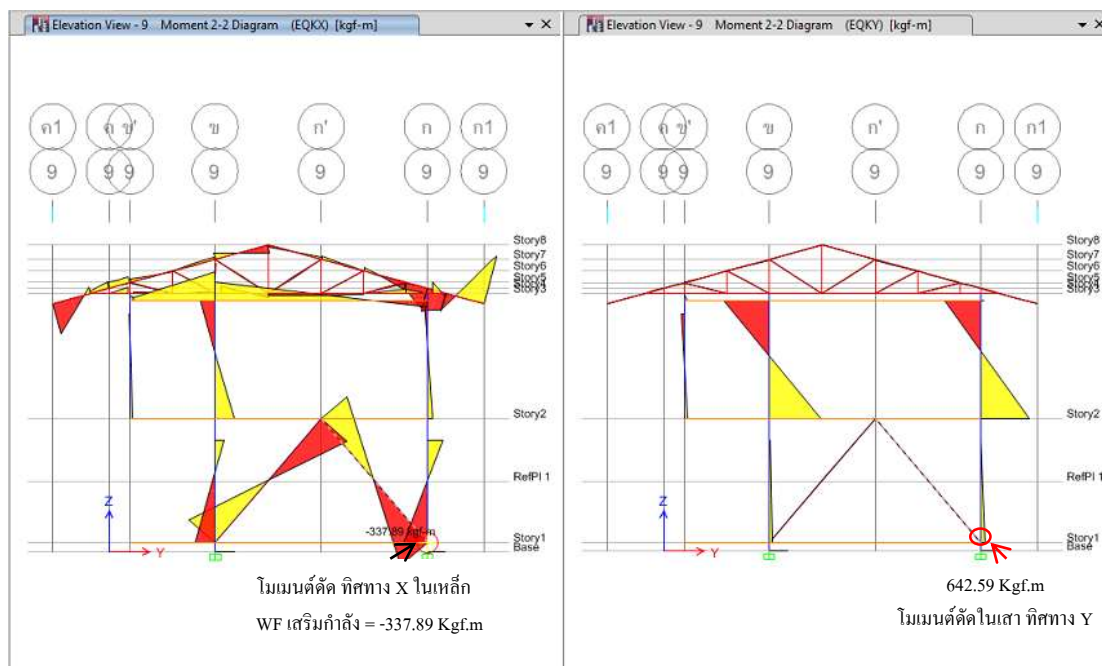
4.9.2.4 การแสดงผลแรงภายใน แบบ Inverted V



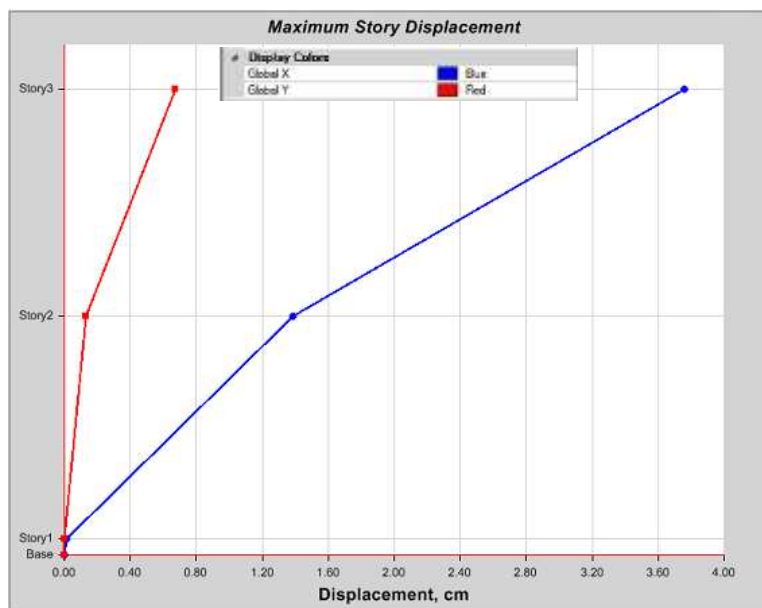
รูปที่ 4.51 โมเมนต์ดัดในคานจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แบบ Inverted V



รูปที่ 4.52 แผนภูมิแรงเฉือนและ โมเมนต์ดัดในคาน
จากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แบบ Inverted V



รูปที่ 4.53 โมเมนต์ดัดในเสาจากแรงแผ่นดินไหว(EQK)ทิศทาง X และ Y แบบ Inverted V



รูปที่ 4.54 กราฟการตอบสนองของชั้นในทิศทาง X แบบ Inverted V

จากการวิเคราะห์ผลของแรงภายใน แบบ Inverted V ในตำแหน่งเดียวกัน ภายหลังการเสริมกำลัง ค่าโมเมนต์คัตสูงสุดใคาน B4 ชั้นบน ตำแหน่ง Line 9 (ก-ข) กรณีนี้น้ำหนักบรรทุกคงที่ จากเดิมช่วงกึ่งกลางคานมีค่า = 3,316.06 Kgf.m เปลี่ยนเป็นที่ระยะ 0.15 เมตร จากจุดรองรับของเสา ตำแหน่ง Line 9 - ข = -3,297.69 Kgf.m (รูปที่ 4.52) และโมเมนต์คัตในเสาจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y ตามตำแหน่งที่ตั้งอาคาร มีค่า = 18,718.56 Kgf.m (รูปที่ 4.24) เปรียบเทียบกับการเสริมกำลัง (รูปที่ 4.53) เห็นว่ามีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด มีค่า = 642.59 Kgf.m คิดเป็น 96.56 % ถือว่าเป็นค่าที่ดี

เมื่อพิจารณาถึงเหล็ก WF (Inverted V) ที่นำมาเสริมกำลังจะมีโมเมนต์คัตมากในทิศทาง X รอบแกน Y มีค่าเท่ากับ -337.89 Kgf.m และตรวจสอบหน้าตัดโมดูลัสหน้าตัด (S_x) ที่ต้องการ

$$S_x = M/F_b ; \text{เมื่อ } F_b \text{ คือแรงคัต} = 0.6 F_y , \text{หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็ก}$$

$$\text{รูปพรรณ (} F_y \text{)} = 2500 \text{ Kg/cm}^2$$

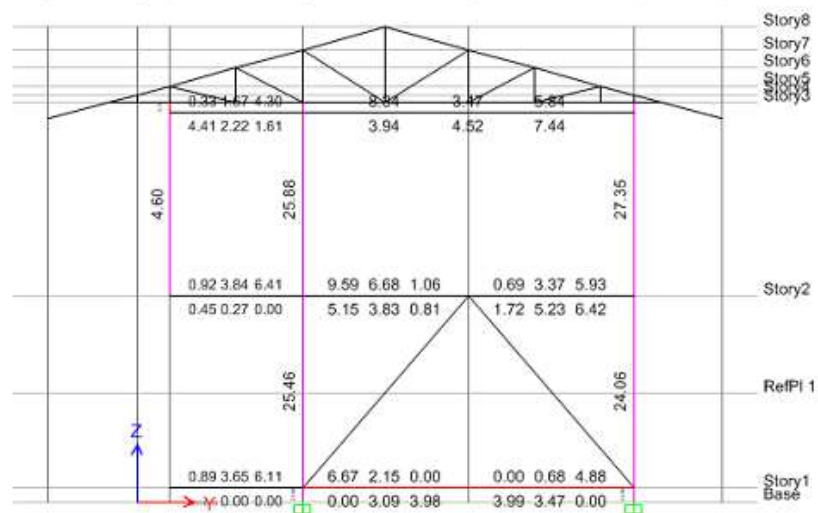
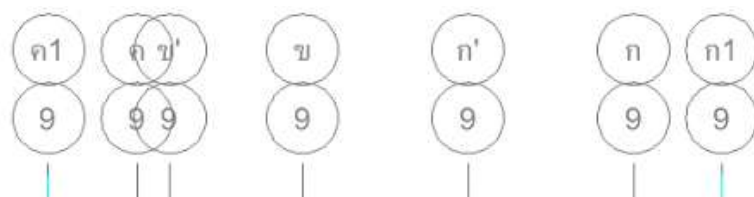
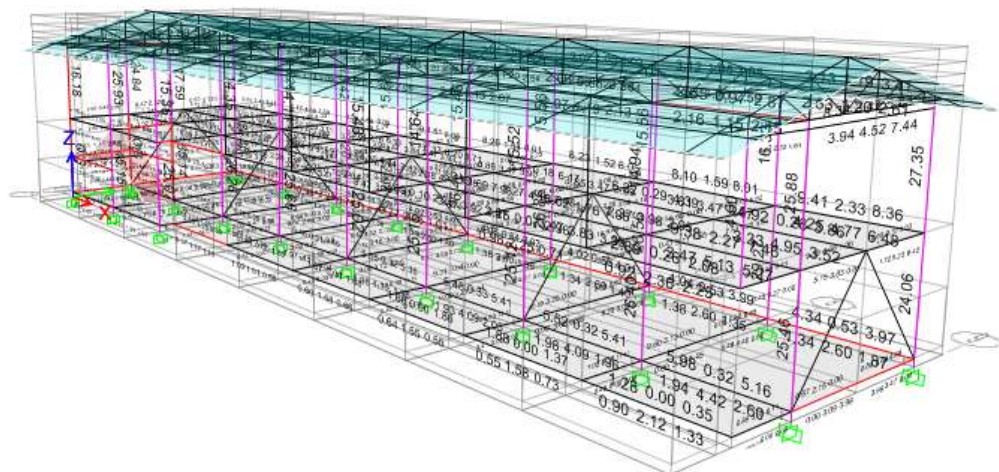
$$\text{แทนค่า } S_x = 337.89 \times 100 / (0.6 \times 2500) = 22.526 \text{ cm}^3$$

$$\text{เหล็ก WF-150x150x7x10mm(31.5Kg/m) มีค่า } S_x = 219 \text{ cm}^3 > 22.562 \text{ cm}^3 \quad \text{OK}$$

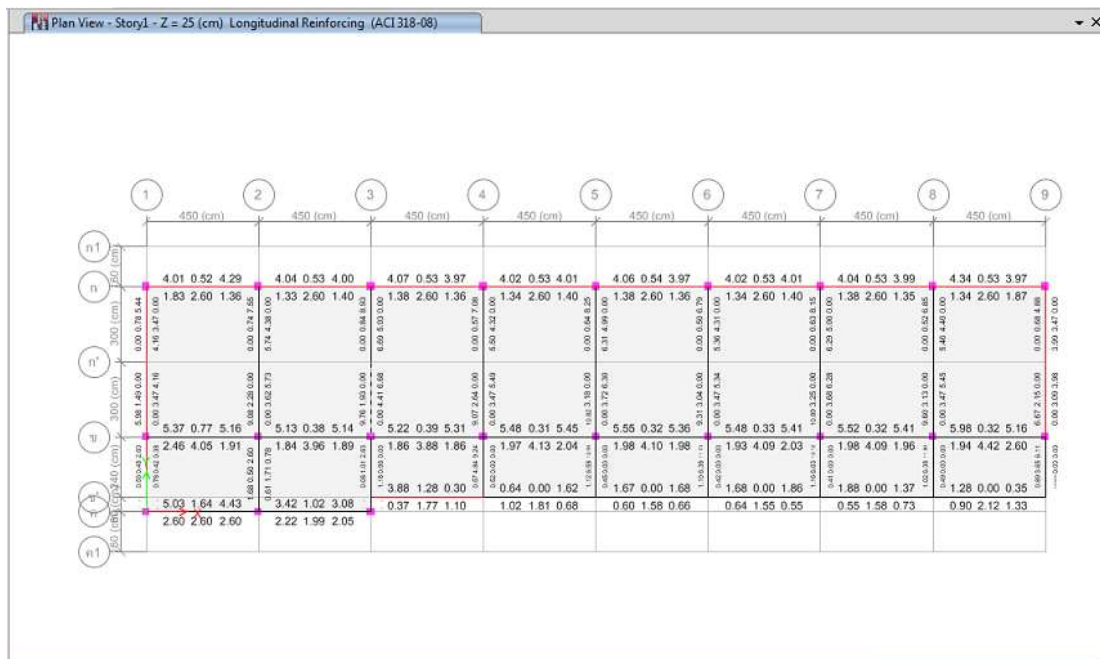
4.9.2.5 การออกแบบอาคารที่มีการเสริมกำลัง แบบ Inverted V

เมื่อทำการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ ภายหลังการเสริมกำลังจะเห็นว่าเฟรมโครงสร้างอาคาร แสดงคานที่เป็นสีแดงพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่เพียงพอ และเสาที่เป็นสีแดง(O/S=Over Size) แสดงถึงเหล็กเสริมตามแนวแกนไม่เพียงพอ

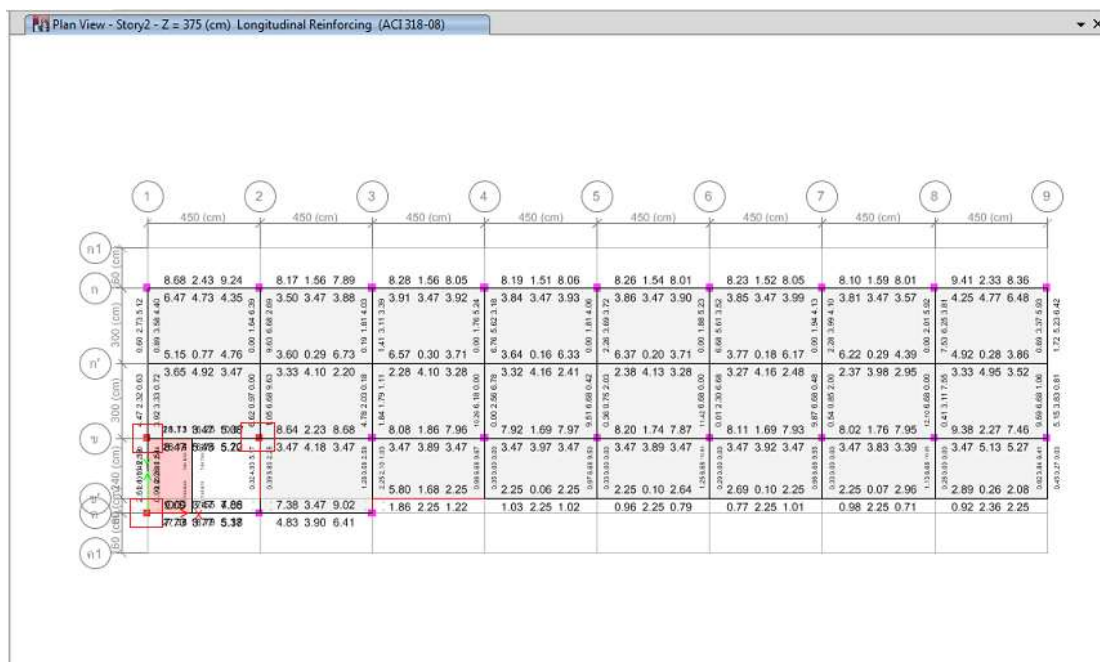
จากการเสริมกำลังพบการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้นของเสาโครงสร้าง Line 9-ก และ Line 9-ข ที่หน้าตัดสามารถแสดงปริมาณเหล็กเสริมตามแนวแกนและไม่เป็นสีแดง แสดงถึงหน้าตัดที่ไม่แตกร้าว



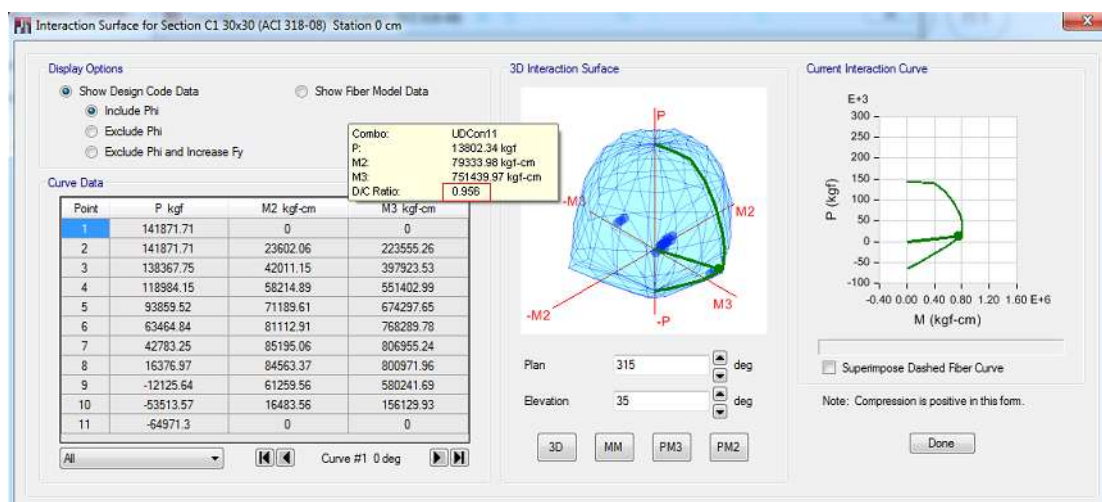
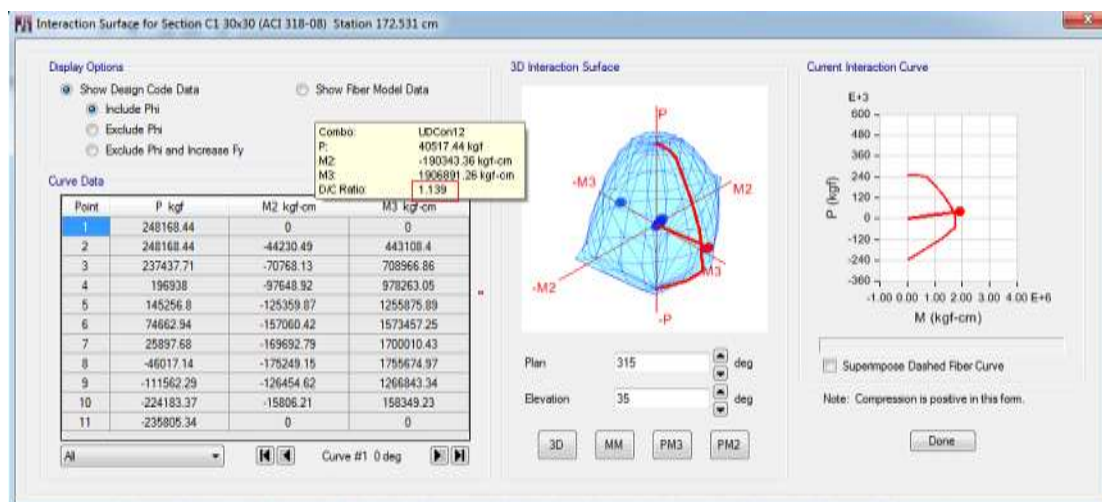
รูปที่ 4.55 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมและตำแหน่งวิบัติของเฟรมโครงสร้าง แบบ Inverted V



รูปที่ 4.56 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม ชั้นล่าง จากการออกแบบเสริมกำลัง แบบ Inverted V



รูปที่ 4.57 ตำแหน่งเสาวิบัติ ชั้นบน จากการออกแบบเสริมกำลัง แบบ Inverted V

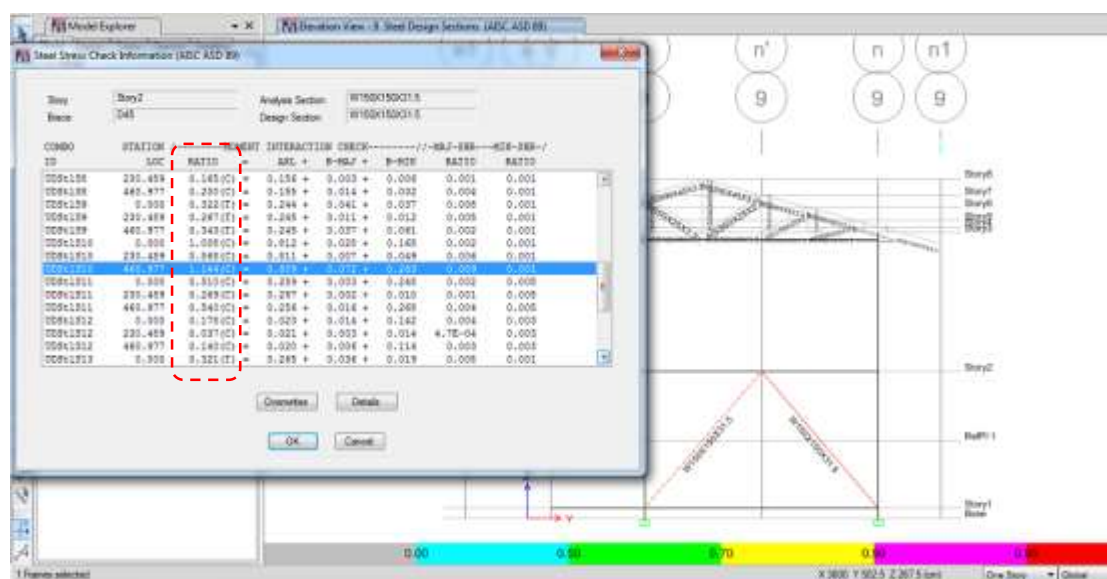


รูปที่ 4.58 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา แบบ Inverted V

เมื่อศึกษาการเสริมกำลังโครงสร้างด้วยโครงแกนแข็งเชิงศูนย์ แบบ Braced และแบบ Inverted V จะได้ค่า Displacement และแรงภายในต่างๆที่ใกล้เคียงกันมาก รวมถึงเมื่อออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยโปรแกรม ทั้ง 2 รูปแบบเสาโครงสร้างจำนวน 3 ต้นเป็นสีแดง (รูปที่ 4.46 และ 4.57) ในตำแหน่ง Line 1- ข และ ค ช่วงชั้น Story 1-2 เสาเป็นสีแดง (O/S) จากเหล็กเสริมตามแนวแกนไม่เพียงพอ และในตำแหน่ง Line 1- ค ช่วงชั้น Story 2-3 และตำแหน่ง Line 2- ข ช่วงชั้น Story 1-2 เสาเป็นสีแดงแต่แสดงพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามแนวแกน แสดงถึงพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่เพียงพอ

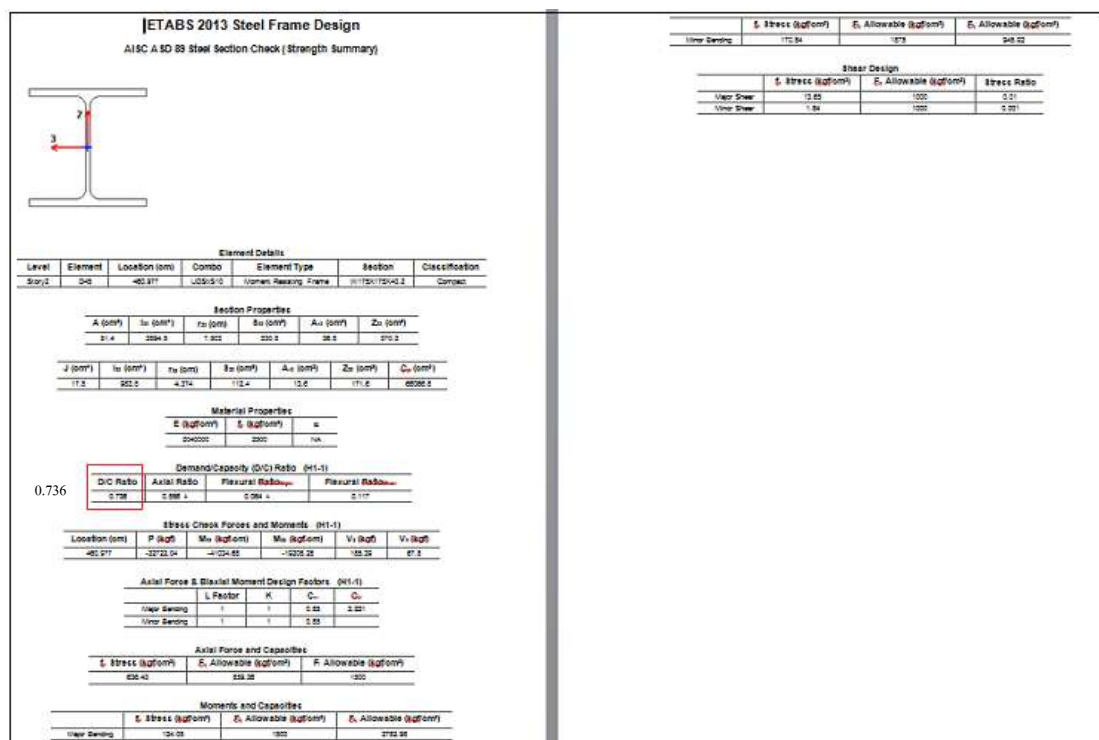
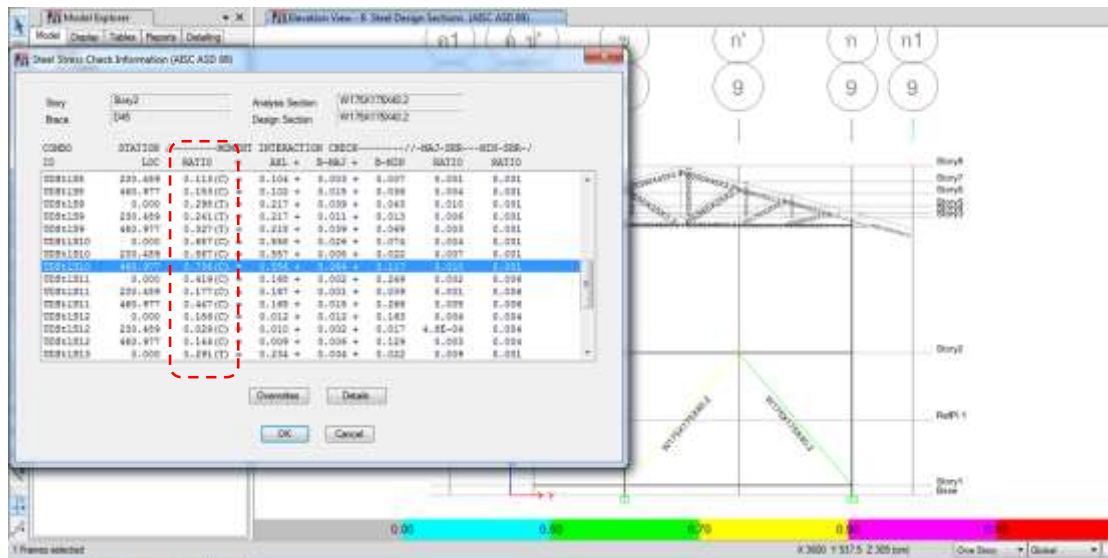
ซึ่งพอสรุปได้ว่า ช่วงดังกล่าวมีคานรับบันไดและแข็งแรงกว่าเสาทำให้เกิดข้อหมุนพลาสติก จาก มยพ.1301-54 เป็นรูปแบบความไม่สม่ำเสมอของสตีฟเนส แต่บริเวณดังกล่าวจากความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงเป็นเพียงรอยร้าวของแนวผนังกับแนวคานเล็กน้อยเท่านั้น (รูปภาพประกอบ ภาคผนวก ข) อาจเป็นผลมาจากเสาเป็นเสาสั้นและผนังอิฐก่อช่วยเพิ่มค่าสตีฟเนส มวลของผนังมีน้อยจึงยังไม่ส่งผลให้เสาวิบัติเมื่อผลัดด้วยแรงแผ่นดินไหวกับเสาโครงสร้างข้างต้น โดยพฤติกรรมของผนังจะรับแรงด้านข้างของโครงสร้างซึ่งหากมวลของผนังมีมากก็จะทำให้เสาวิบัติแบบเฉือนได้เช่นกัน

จากรูปที่ 4.58 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา (รูปบน) ที่มีค่า D/C Ratio. ซึ่งมีค่า > 1.00 โดยเส้น Curve สีแดงอยู่บนระยะหุ้มคอนกรีต ตำแหน่ง Line 1- ก ช่วงชั้น Story 1-2 และภายหลังการเสริมกำลังในตำแหน่ง Line 9- ก ช่วงชั้น Story 1-2 เทียบกับการวิเคราะห์โดยตำแหน่งที่ตั้งอาคารเรียน เสาไม่ได้เป็นสีแดง และแผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา (รูปล่าง) ที่มีค่า D/C Ratio. ซึ่งมีค่า < 1.00 โดยเส้น Curve สีเขียวอยู่ในระยะหุ้มคอนกรีต แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น หน้าตัดสามารถแสดงปริมาณเหล็กเสริมตามแนวแกนและไม่เป็นสีแดง แสดงถึงหน้าตัดที่ไม่แตกร้าว



รูปที่ 4.59 ออกแบบการเสริมกำลังแบบ แบบ Inverted V ด้วยเหล็กรูปพรรณ

ทำการออกแบบเหล็กรูปพรรณ จากที่ผู้วิจัยได้ทดลองใช้ WF-150x150x7x10mm(31.5Kg/m) ในการเสริมกำลังในตอนต้น เมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพบว่าหน้าตัดเหล็กเป็นสีแดงและเปรียบเทียบกับแถบสีข้างล่าง แสดงตามอัตราส่วนกำลังที่ต้องการต่อกำลังที่มีอยู่ (Demand/Capacity, D/C Ratio) ไม่เพียงพอ ซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกิน 1.00 และต้องออกแบบใหม่

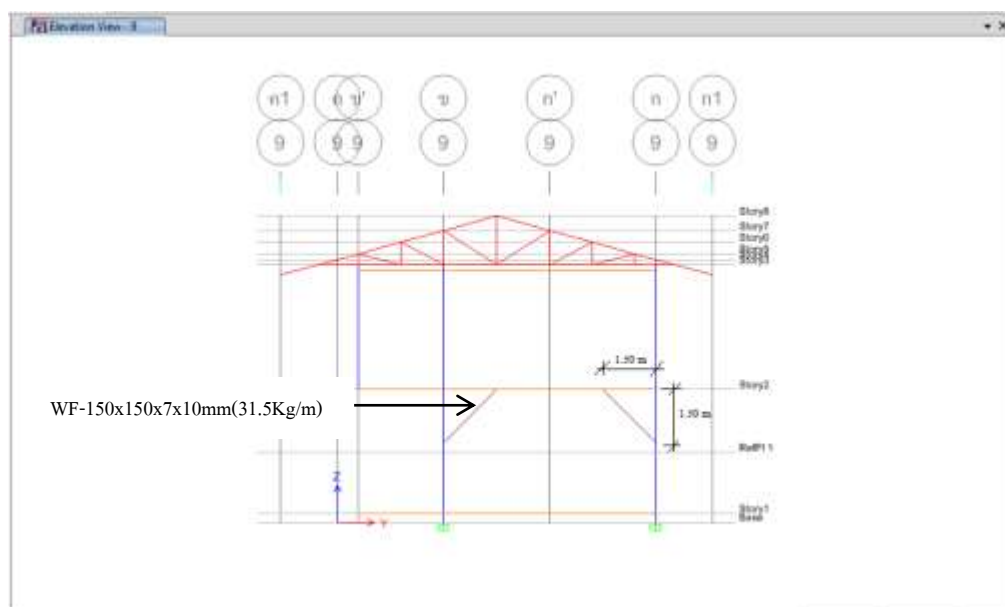


รูปที่ 4.59 ออกแบบการเสริมกำลังแบบ แบบ Inverted V ด้วยเหล็กรูปพรรณ (ต่อ)

เมื่อจัดกลุ่มเหล็กรูปพรรณและทำการวิเคราะห์ใหม่ ได้หน้าตัดเหล็กรูปพรรณในการเสริม
กำลังที่เหมาะสม ขนาดหน้าตัดเหล็ก WF-175x175x7.5x11mm(40.2Kg/m) มีค่า D/C Ratio = 0.736
< 1.00 OK

ค. ระบบโครงแกนแรงเยื้องศูนย์ แบบ Knee braced

ตำแหน่งเสริมกำลังด้วยเหล็กรูปพรรณหน้าตัดรูปปีกกว้าง (Wide Flange Shapes) ขนาดหน้าตัด 150x150x7x10 mm (31.5kg/m)

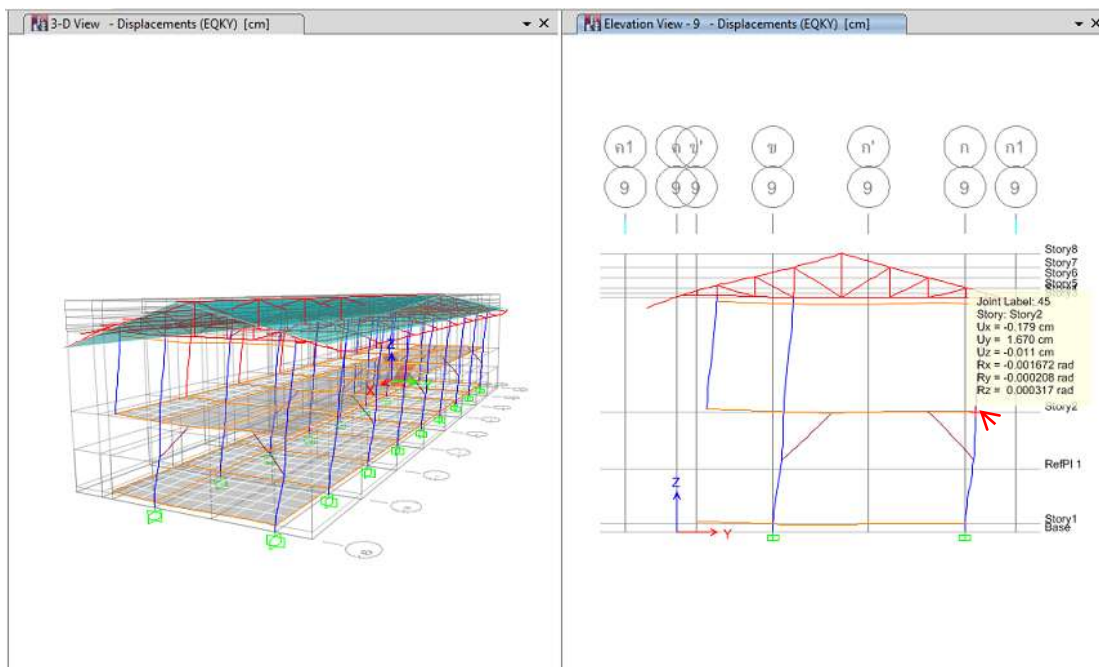


รูปที่ 4.60 ตำแหน่งเสริมกำลัง แบบ Knee Braced

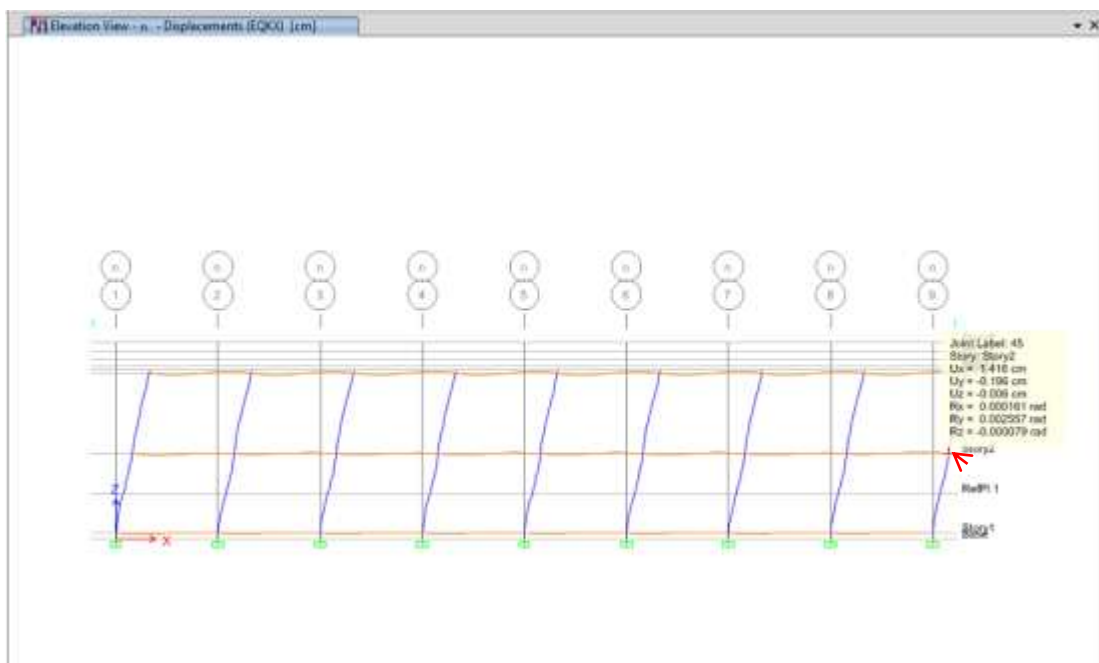


รูปที่ 4.60 ตำแหน่งเสริมกำลัง แบบ Knee Braced (ต่อ)

4.9.3 การวิเคราะห์ห้เมื่อเสริมกำลังด้วย โครงแกนแรงเยื้องศูนย์ แบบ Knee Braced



รูปที่ 4.61 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift) ทิศทาง Y แบบ Knee Braced



รูปที่ 4.62 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Joint Drift) ทิศทาง X แบบ Knee Braced

ตำแหน่งจุดต่อคานและเสาที่มีการเคลื่อนตัว (Joint Displacement) มากที่สุดในองค์อาคาร ใน Line 9-ก เมื่อผลักด้วยแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y และทิศทาง X คานและเสาเคลื่อนตัว เท่ากับ 1.670 Cm และ 1.416 Cm ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีวิเคราะห์โครงสร้างโดยตำแหน่งที่ตั้งอาคารและการเสริมกำลังแบบ Knee Braced การเคลื่อนที่แบบอีลาสติกมีค่าการเคลื่อนตัวน้อยลง จากผลของแรงแผ่นดินไหวที่มากระทำ การเคลื่อนตัวในทิศทาง Y จากเดิม มีค่า 3.312 Cm ลดลงเท่ากับ 1.670 Cm หรือลดการเคลื่อนตัวได้ 49.58 % และการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ในทิศทาง X จากเดิม มีค่า 1.466 Cm ลดลงเท่ากับ 1.416 Cm หรือลดการเคลื่อนตัวได้ 3.41 % ซึ่งจะตรวจสอบโมเมนต์พลิกคว่ำในทิศทาง Y

4.9.3.1 ตรวจสอบโมเมนต์พลิกคว่ำ แบบ Knee Braced

ตารางที่ 4.10 ค่าแรงน้ำหนักบรรทุกคงที่และแรงแผ่นดินไหวจากโปรแกรมแบบ Knee Braced

TABLE: Base Reactions						
Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
	tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Dead	0.00	0.00	408.00	2013.55	-7115.40	0.00
EQKY	0.00	-160.50	0.00	721.65	0.00	-3004.36
EQKX	-160.50	0.00	0.00	0.00	-721.65	828.28

อัตราส่วนความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ $S.F. = \frac{M_{React}}{M_{act}} \geq 1.5$ (ในหัวข้อที่ 2.3.3)

(ทิศทาง Y อาคารยาว 9.00 เมตร) โมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำ (M_R) = $WL/2$

$$= 408.00 \times (9/2) = 1836$$

$$S.F. = 1836/721.65$$

$$= 2.54 > 1.5$$

OK

เห็นได้ว่าเมื่อน้ำหนักจากเหล็ก WF เพิ่มขึ้น ก็มีค่าเป็นปฏิภาคต่อกันของค่าโมเมนต์พลิกคว่ำทั้ง 3 รูปแบบที่นำมาเสริมกำลังให้กับอาคาร รวมถึงองค์อาคารโดยตำแหน่งที่ตั้งก็มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำเท่ากัน

4.9.3.2 ตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น แบบ Knee Braced

ตารางที่ 4.11 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Knee Braced

Story	UY	δ_x	Δ_x	h_{sx}	Δ_x/h_{sx}	Trans Y
	cm	cm	cm	cm		
Story3	3.25	6.50	3.16	355	0.008901	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story2	1.67	3.34	3.292	350	0.009406	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story1	0.024	0.048	0.048	25	0.001920	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Bese	0	0	0	0	0	หน้าตัดไม่แตกร้าว

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น เมื่อเสริมกำลัง แบบ Knee Braced

คำนวณคอดัมน์ $\delta_x = C_d \delta_{xe} / I$ โดยที่ $C_d = 2.5$, δ_{xe} คือคอดัมน์ UY และ $I = 1.25$

$$\delta_x = (2.5 \times 3.25) / 1.25 = 6.50$$

คำนวณคอดัมน์ $\Delta_x = \delta_x - \delta_{x-1}$ (เป็นค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์)

$$\Delta_x = 6.50 - 3.34 = 3.16$$

คำนวณคอดัมน์ $\Delta_x/h_{sx} = 3.16 / 355 = 0.008901$

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a) จากตารางที่ 2.17 สำหรับอาคารประเภทอื่นที่มีความสำคัญ ระดับ III ค่าที่ยอมให้คือ $0.010 h_{sx}$

$$\Delta_a = 0.010 \times 355 = 3.55$$

$$\Delta_a/h_{sx} = 0.010$$

จากผลในคอดัมน์ Δ_x/h_{sx} จะเห็นว่ามีค่าไม่เกิน 0.010 ดังนั้นการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในแต่ละชั้นไม่เกินค่าที่กำหนด ทำให้หน้าตัดไม่แตกร้าว

4.9.3.3 ตรวจสอบผลของ P-Delta แบบ Inverted V

ตารางที่ 4.12 สัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (θ) แบบ Knee Braced

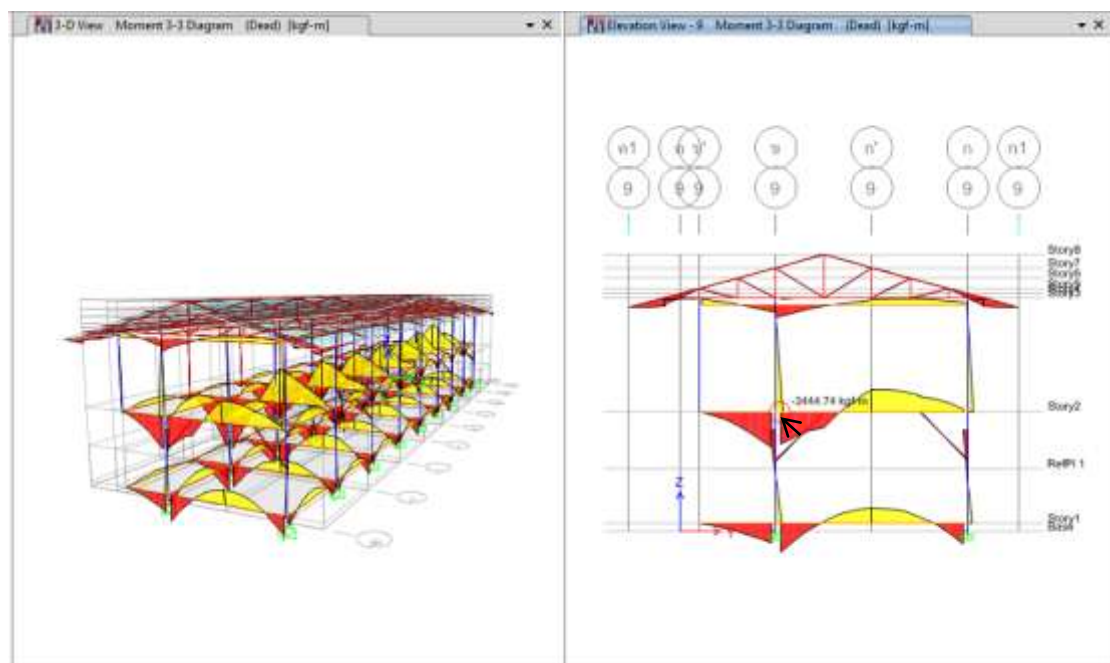
Story	UY	δ_x	Δ_x	h	P_x	$VX=VY$	θ	Check
	cm	cm	cm	cm	Tonf	Tonf		
Story3	3.25	6.50	3.16	355	37.749	38.575	0.00348	Ok

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

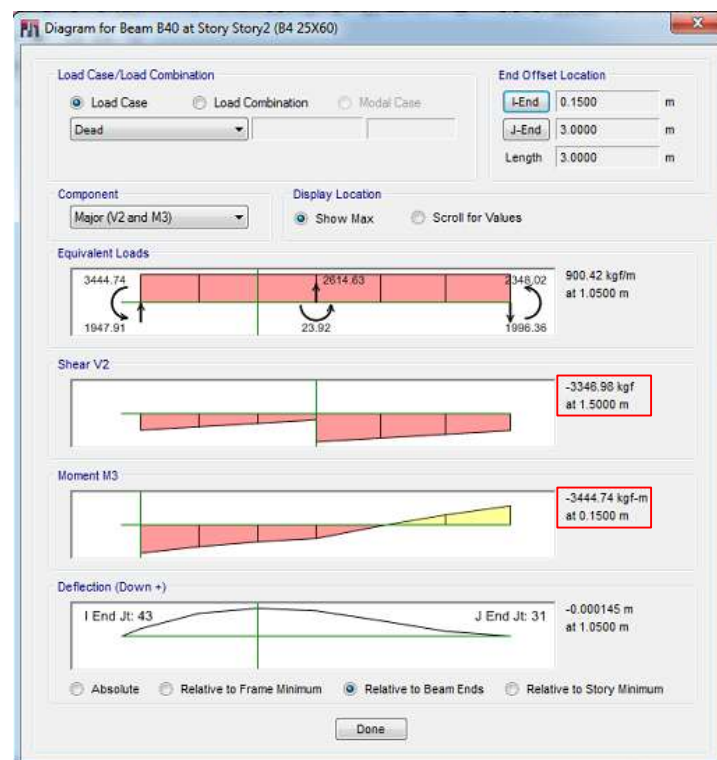
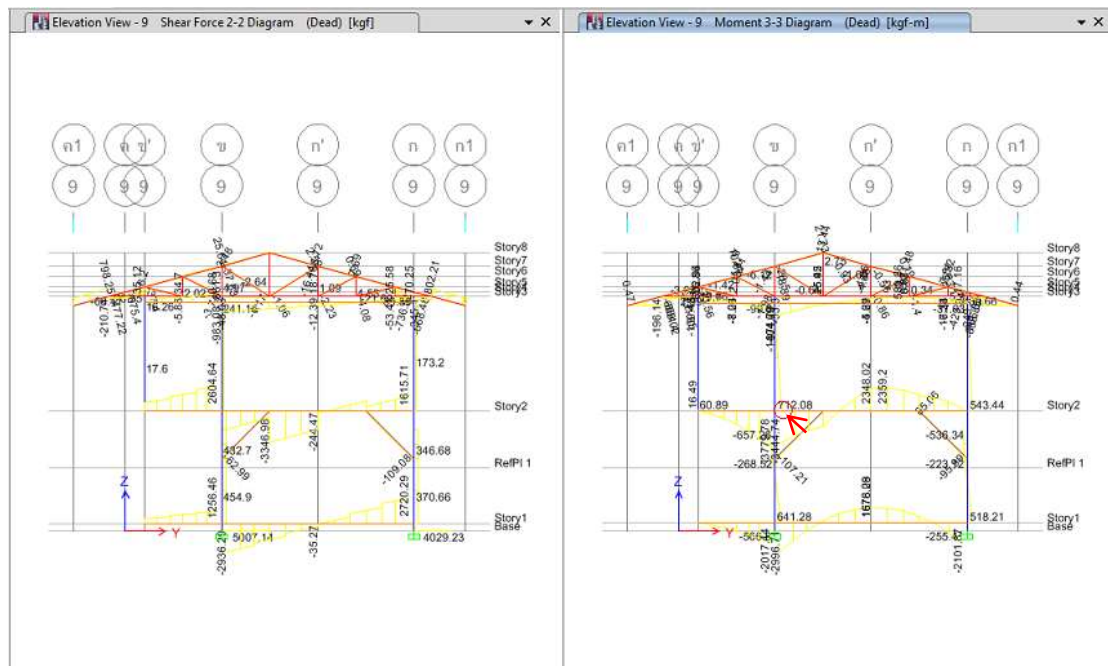
Story	UY	δ_x	Δ_x	h	P_x	$VX=VY$	θ	Check
	cm	cm	Cm	cm	Tonf	Tonf		
Story2	1.67	3.34	3.29	350	248.608	154.273	0.00606	Ok
Story1	0.024	0.048	0.048	25	408.005	160.503	0.00195	Ok
Bese	0	0	0	0	0	0	0	

จากค่า θ ที่คำนวณจากตารางที่ 4.12 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่มีการเสริมกำลังแบบ Knee Braced ที่มีค่า Displacement ต่างๆน้อยกว่า (คำนวณแบบเดียวกับหัวข้อ 4.7.4.3) พบว่าทุกชั้นมีค่าน้อยกว่า 0.1 เทียบกับการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเรียนโดยตำแหน่งที่ตั้งอาคารเรียน(ตารางที่ 4.3) และในคอลัมน์สัมประสิทธิ์เสถียรภาพพบว่ามีค่าลดลงจากเดิมในทุกทุกชั้น ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของ P-Delta

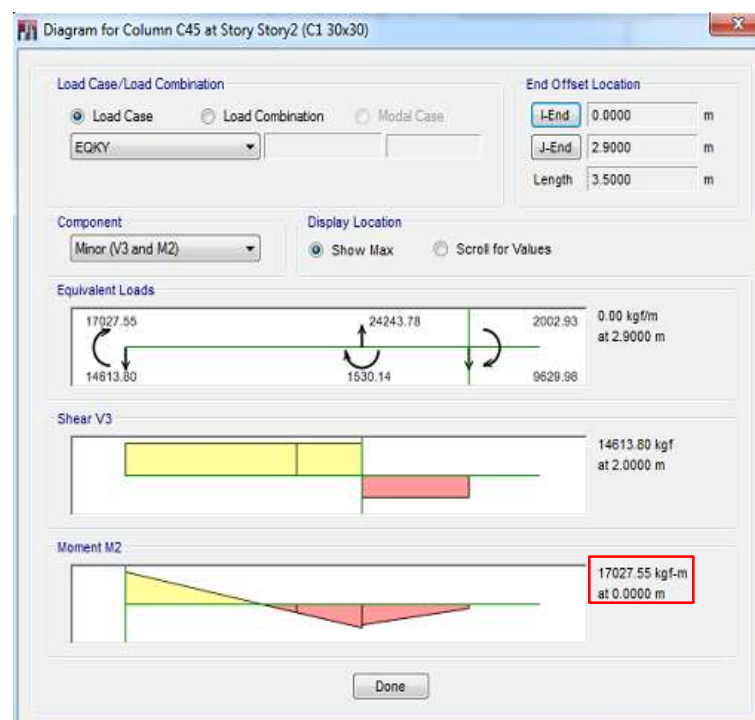
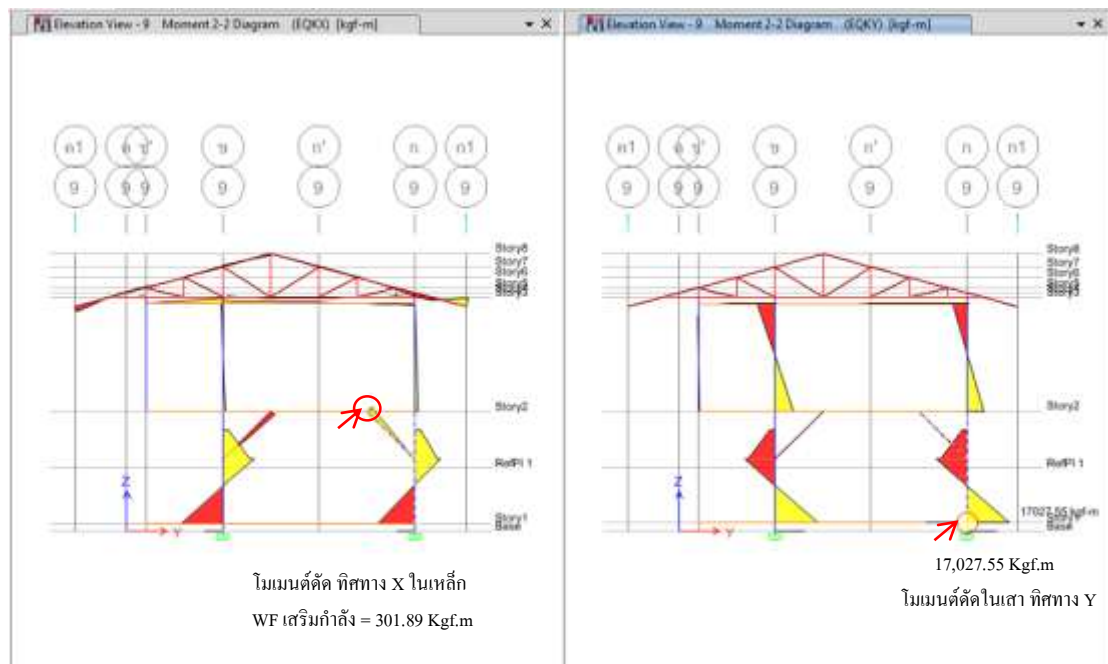
4.9.3.4 การแสดงผลแรงภายใน แบบ Knee Braced



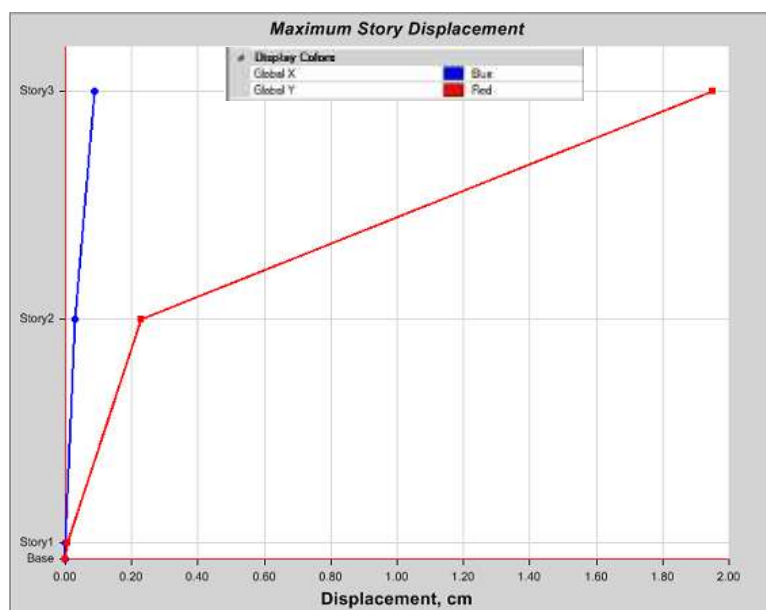
รูปที่ 4.63 โมเมนต์ดัดในคานจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แบบ Knee Braced



รูปที่ 4.64 แผนภูมิแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคานจากน้ำหนัก
บรรทุกคงที่ (Dead Load) แบบ Knee Braced



รูปที่ 4.65 โมเมนต์คัตในเสาจากแรงแผ่นดินไหว(EQK)ทิศทาง X และ Y แบบ Knee Braced



รูปที่ 4.66 กราฟการตอบสนองของชั้นในทิศทาง Y แบบ Knee Braced

จากการวิเคราะห์ผลของแรงภายในแบบ Knee Braced ในตำแหน่งเดียวกัน ภายหลังจากเสริมกำลัง ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดในคาน B4 ชั้นบน ตำแหน่ง Line 9 (ก-ข) กรณีน้ำหนักบรรทุกคงที่ จากเดิมช่วงกึ่งกลางคานมีค่า = 3,316.06 Kgf.m เปลี่ยนเป็นที่ระยะ 0.15 เมตร จากจุดรองรับของเสา ตำแหน่ง Line 9 - ข = -3,444.74 Kgf.m (รูปที่ 4.63) และ โมเมนต์ดัดในเสาจากแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง Y ตามตำแหน่งที่ตั้งอาคาร มีค่า = 18,718.56 Kgf.m (รูปที่ 4.24) เปรียบเทียบกับการเสริมกำลัง (รูปที่ 4.65) เห็นว่ามีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย มีค่า = 17,027.55 Kgf.m คิดเป็น 9.03 % ถือว่าเป็นค่าที่ไม่ดีและไม่ปลอดภัย

เมื่อพิจารณาถึงเหล็ก WF (Knee Braced) ที่นำมาเสริมกำลังจะมีโมเมนต์ดัดมากในทิศทาง X รอบแกน Y มีค่าเท่ากับ 301.89 Kgf.m และตรวจสอบหน้าตัดโมดูลัสหน้าตัด (S_x) ที่ต้องการ

$$S_x = M/F_b ; \text{เมื่อ } F_b \text{ คือแรงดัด} = 0.6 F_y , \text{ หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็ก}$$

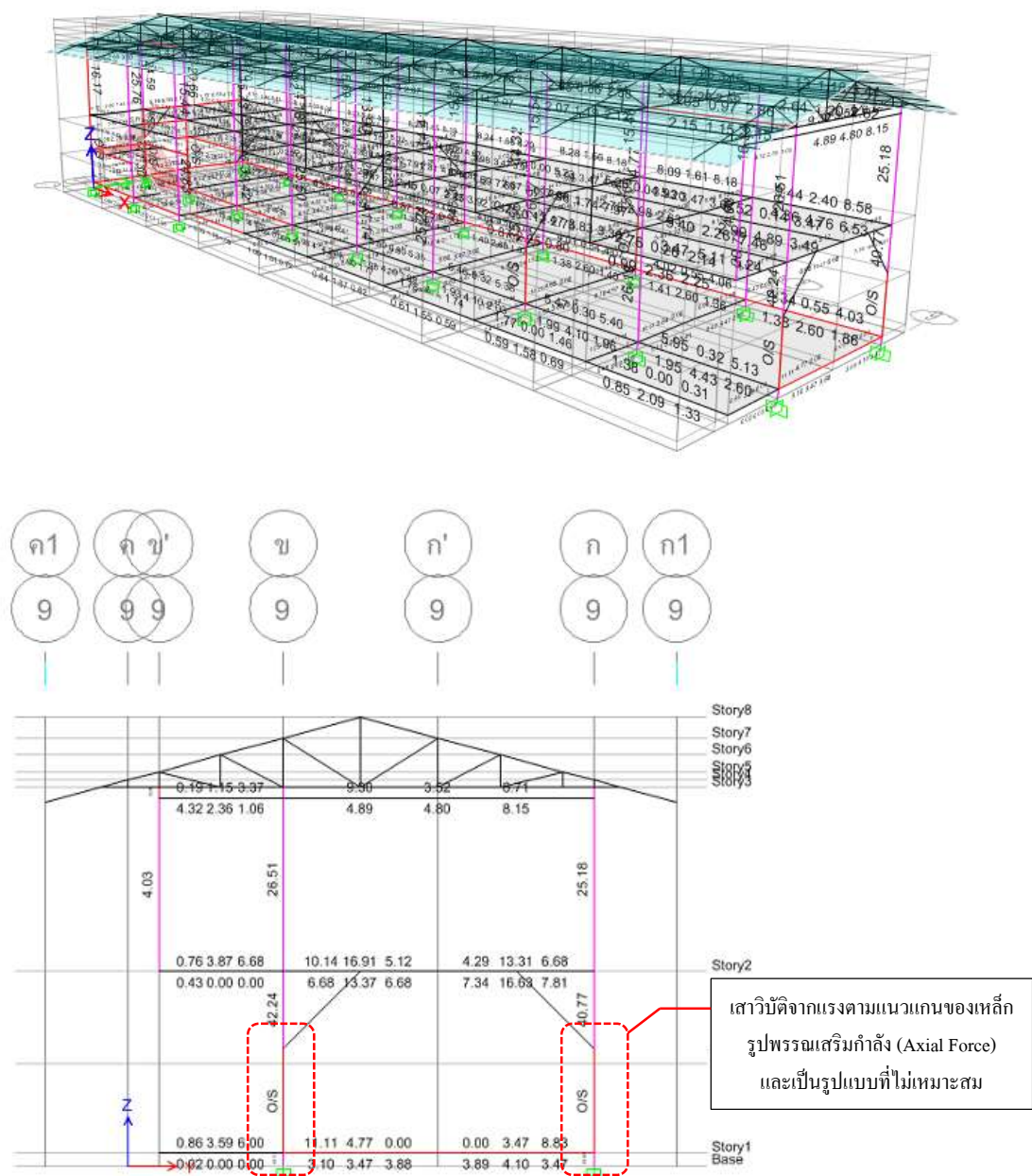
$$\text{รูปพรรณ (} F_y \text{)} = 2500 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{แทนค่า } S_x = 301.89 \times 100 / (0.6 \times 2500) = 20.126 \text{ cm}^3$$

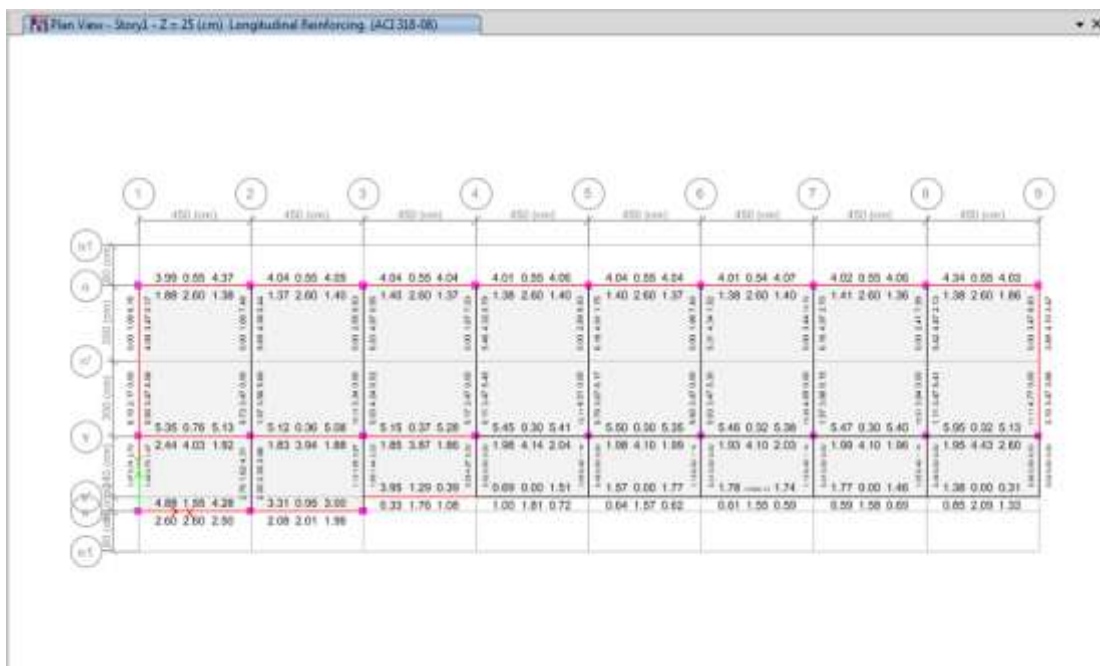
$$\text{เหล็ก WF-150x150x7x10mm(31.5Kg/m) มีค่า } S_x = 219 \text{ cm}^3 > 20.126 \text{ cm}^3 \quad \text{OK}$$

4.9.3.5 การออกแบบอาคารที่มีการเสริมกำลัง แบบ Knee Braced

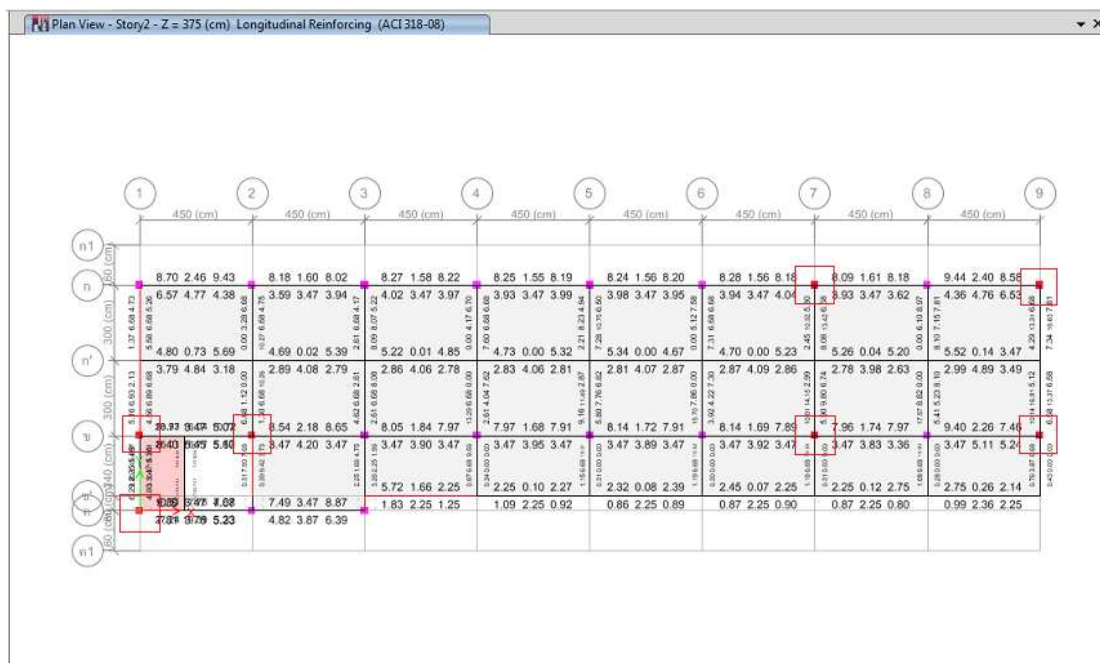
เมื่อทำการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ ภายหลังจากเสริมกำลังจะเห็นว่าเฟรมโครงสร้างอาคาร แสดงงานที่เป็นสีแดงพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่เพียงพอ และเสาที่เป็นสีแดง(O/S=Over Size) แสดงถึงเหล็กเสริมตามแนวแกนไม่เพียงพอ



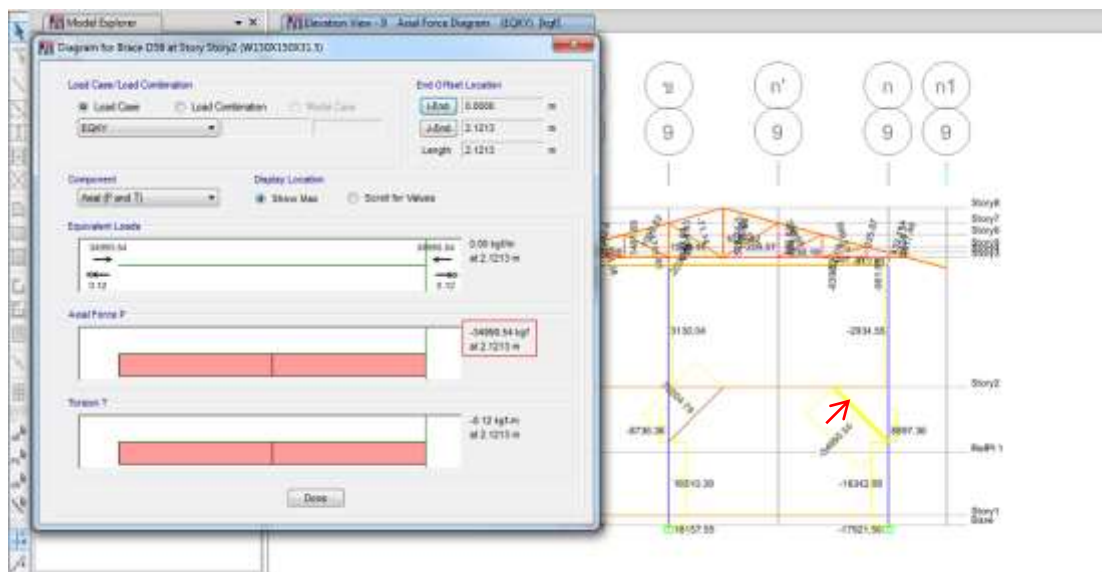
รูปที่ 4.67 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมและตำแหน่งวีบีของเฟรมโครงสร้าง แบบ Knee Braced



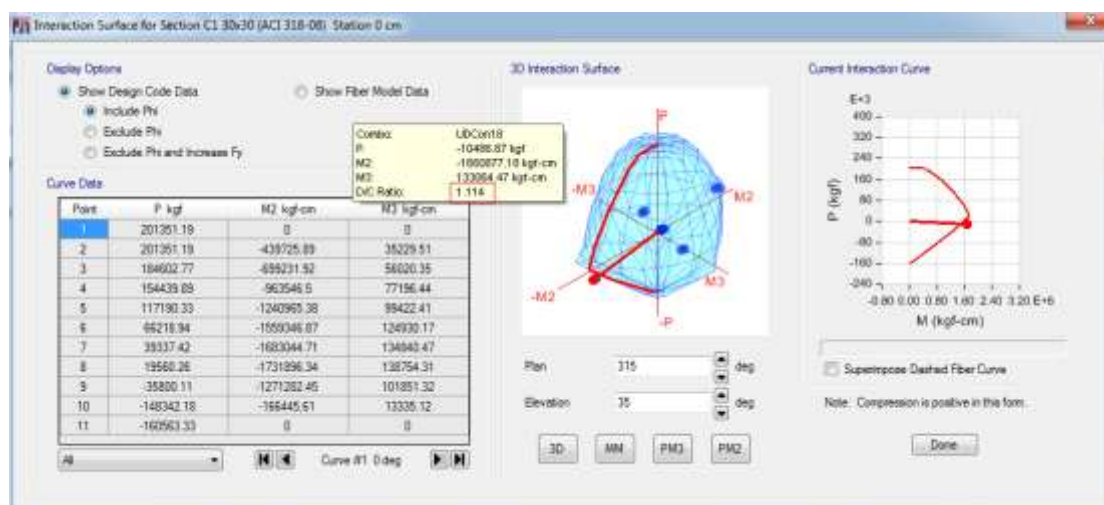
รูปที่ 4.68 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม ชั้นล่าง จากการออกแบบเสริมกำลัง แบบ Knee Braced



รูปที่ 4.69 ตำแหน่งเสาวิบัติ ชั้นบน จากการออกแบบเสริมกำลัง แบบ Knee Braced



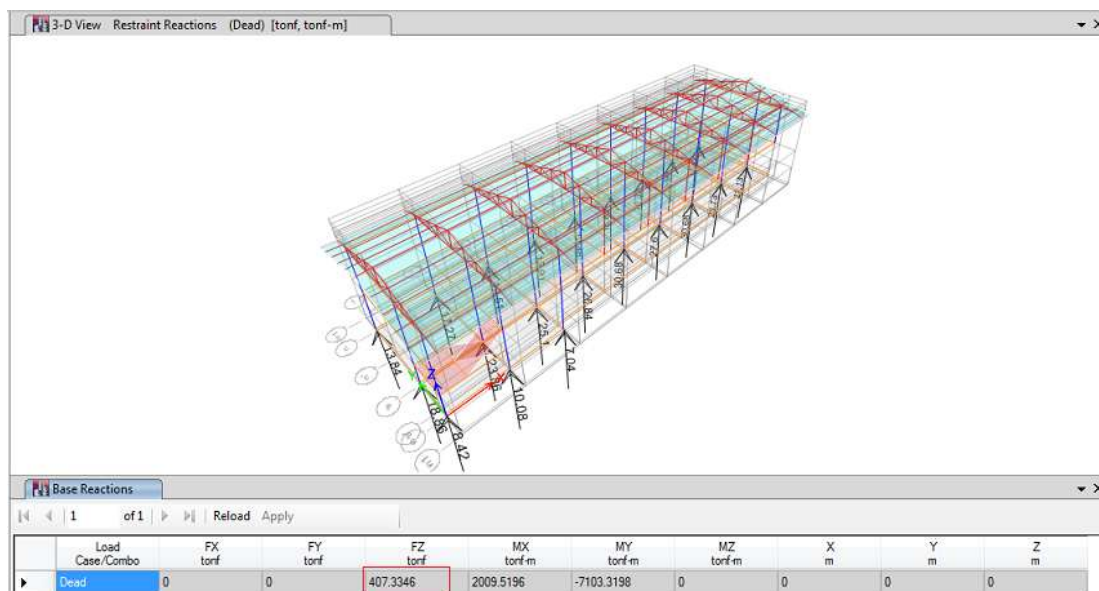
รูปที่ 4.70 เสาวิบัติจากแรงตามแนวแกนเหล็กกรุปพรรณเสริมกำลัง (Axial Force) แบบ Knee Braced



รูปที่ 4.71 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา แบบ Knee Braced

จากรูปที่ 4.71 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา ที่มีค่า D/C Ratio. ซึ่งมีค่า > 1.00 โดยเส้น Curve สีแดงอยู่นอกกระยะหุ้มคอนกรีต ตัวอย่างตำแหน่ง Line 9-ก ช่วงชั้น Story 1-2 จากแรงกระทำของเหล็กกรุปพรรณเสริมกำลัง (Axial Force) ในรูปที่ 4.70 ทำให้เสาวิบัติแบบเฉือน และเป็นรูปแบบไม่เหมาะสมในการเสริมกำลังกับอาคารเรียนหลังนี้

4.10 แรงเฉือนที่ฐานอาคารเรียน (Seismic Base Shear)



รูปที่ 4.73 น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล

ตารางที่ 4.13 รวมค่าแรงน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) หรือน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล

TABLE: Base Reactions						
Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
	Tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Dead	0.00	0.00	407.33	2009.51	-7103.31	0.00
EQKY	0.00	-160.19	0.00	720.54	0.00	-2988.13
EQKX	-160.19	0.00	0.00	0.00	-720.54	826.21

จากหัวข้อที่ 4.5 แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (V) ที่กระทำกับอาคารเรียนหลังนี้ คำนวณได้ตามมาตรฐาน มยผ.1302 คิดเป็น 23.20 % ของน้ำหนักอาคาร โดยน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร (Dead Load) รวม = 407.33 tonf (ตารางที่ 4.13) ฉะนั้นผลการศึกษาแรงเฉือนที่ฐานอาคารที่กระทำกับกับตัวอาคารเรียน มีค่าเท่ากับ $407.33 \times 0.232 = 94.50 \text{ tonf}$ หรือ 94,500 kgf ที่ส่งผลให้โครงสร้างอาคารเรียนได้รับความเสียหาย (รูปภาพภาคผนวก ข)

4.11 เปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นและโมเมนต์ดัดในเสา

ตารางที่ 4.14 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x โดยตำแหน่งที่ตั้งอาคาร (ปกติ) ทิศทาง X

Story	UX	δ_x	Δ_x	h_{sx}	Δ_x/h_{sx}	Trans X
	cm	cm	cm	cm		
Story3	2.982	5.964	3.032	355	0.0085408	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story2	1.466	2.932	2.904	350	0.0082971	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story1	0.014	0.028	0.028	25	0.00112	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Bese	0	0	0	0	0	หน้าตัดไม่แตกร้าว

ตารางที่ 4.15 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Braced ในทิศทาง X

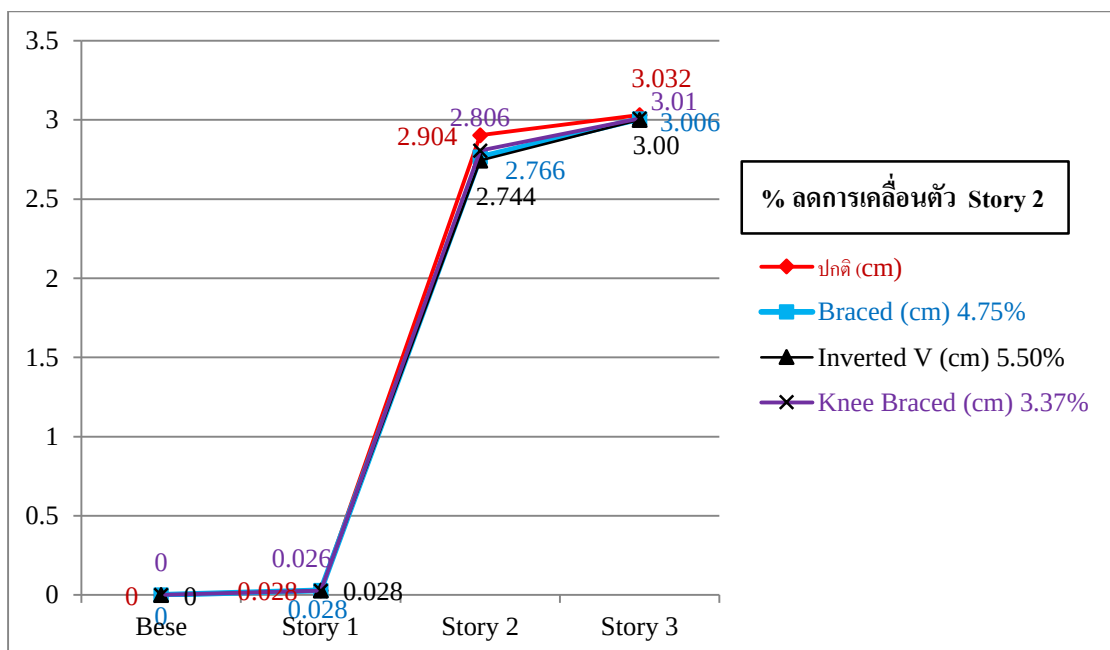
Story	UX	δ_x	Δ_x	h_{sx}	Δ_x/h_{sx}	Trans X
	cm	cm	cm	cm		
Story3	2.900	5.800	3.006	355	0.008468	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story2	1.397	2.794	2.766	350	0.007903	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story1	0.014	0.028	0.028	25	0.001120	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Bese	0	0	0	0	0	หน้าตัดไม่แตกร้าว

ตารางที่ 4.16 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Inverted V ในทิศทาง X

Story	UX	δ_x	Δ_x	h_{sx}	Δ_x/h_{sx}	Trans X
	cm	cm	cm	cm		
Story3	2.886	5.772	3.00	355	0.008451	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story2	1.386	2.772	2.744	350	0.007840	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story1	0.014	0.028	0.028	25	0.001120	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Bese	0	0	0	0	0	หน้าตัดไม่แตกร้าว

ตารางที่ 4.17 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Knee Braced ในทิศทาง X

Story	UX	δ_x	Δ_x	h_{sx}	Δ_x/h_{sx}	Trans X
	cm	cm	cm	cm		
Story3	2.921	5.842	3.010	355	0.008479	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story2	1.416	2.832	2.806	350	0.008017	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story1	0.013	0.026	0.026	25	0.001040	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Bese	0	0	0	0	0	หน้าตัดไม่แตกร้าว



รูปที่ 4.74 กราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ในทิศทาง X

ตารางที่ 4.18 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x โดยตำแหน่งที่ตั้งอาคาร (ปกติ) ในทิศทาง Y

Story	UY	δ_x	Δ_x	h_{sx}	Δ_x/h_{sx}	Trans Y
	cm	cm	cm	cm		
Story3	5.109	10.218	3.594	355	0.0101239	หน้าตัดแตกร้าว
Story2	3.312	6.624	6.562	350	0.0187486	หน้าตัดแตกร้าว
Story1	0.031	0.062	0.062	25	0.00248	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Bese	0	0	0	0	0	หน้าตัดไม่แตกร้าว

ตารางที่ 4.19 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Braced ในทิศทาง Y

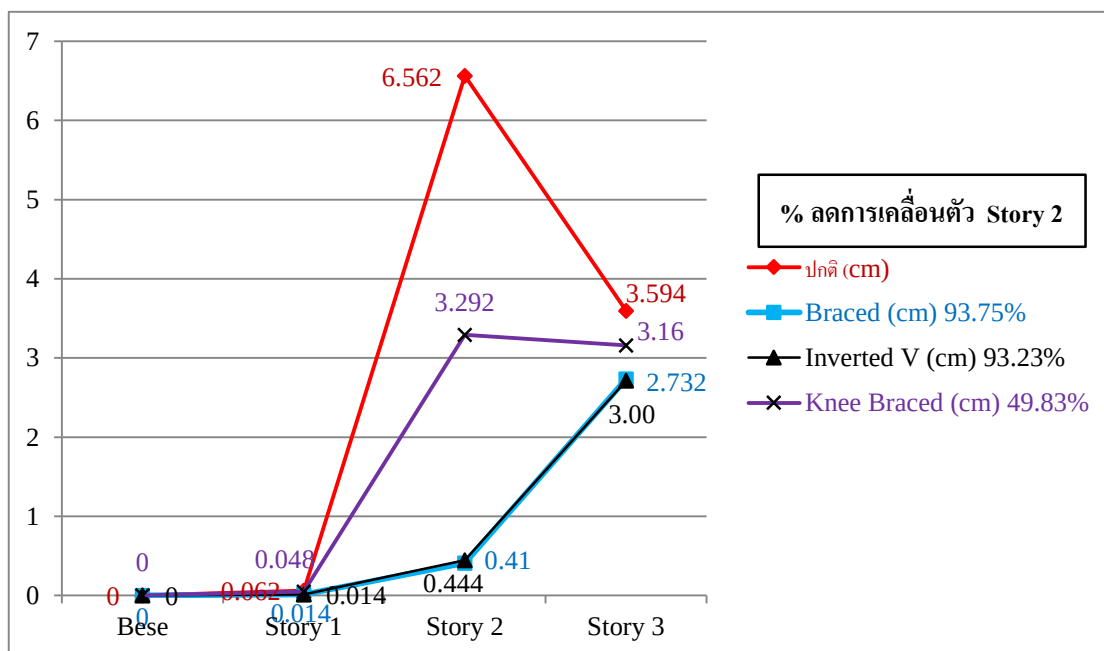
Story	UY	δ_x	Δ_x	h_{sx}	Δ_x/h_{sx}	Trans Y
	cm	cm	cm	cm		
Story3	1.578	3.156	2.732	355	0.007696	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story2	0.212	0.424	0.410	350	0.001171	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story1	0.007	0.014	0.014	25	0.000560	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Bese	0	0	0	0	0	หน้าตัดไม่แตกร้าว

ตารางที่ 4.20 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Inverted V ในทิศทาง Y

Story	UY	δ_x	Δ_x	h_{sx}	Δ_x/h_{sx}	Trans Y
	cm	cm	cm	cm		
Story3	1.585	3.170	2.712	355	0.007639	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story2	0.229	0.458	0.444	350	0.001269	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story1	0.007	0.014	0.014	25	0.000560	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Bese	0	0	0	0	0	หน้าตัดไม่แตกร้าว

ตารางที่ 4.21 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x แบบ Knee Braced ในทิศทาง Y

Story	UY	δ_x	Δ_x	h_{sx}	Δ_x/h_{sx}	Trans Y
	cm	cm	cm	cm		
Story3	3.250	6.500	3.160	355	0.008901	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story2	1.67	3.34	3.292	350	0.009406	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Story1	0.024	0.048	0.048	25	0.001920	หน้าตัดไม่แตกร้าว
Bese	0	0	0	0	0	หน้าตัดไม่แตกร้าว



รูปที่ 4.75 กราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ในทิศทาง Y

จากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบรูปแบบเสริมกำลังทั้ง 3 รูปแบบ ในตำแหน่ง Line 9 – ก และ ข เป็นตำแหน่งที่เสาโครงสร้างมีการวิบัติชนิดรุนแรง ในชั้น Story 2 ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในทิศทาง X และทิศทาง Y โดยตำแหน่งที่ตั้งอาคาร (แบบปกติ) มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ 2.904 Cm และ 6.562 Cm ตามลำดับ เมื่อเสริมกำลังเพื่อด้านทานแผ่นดินไหว (ดูรูปที่ 4.74 และ 4.75 ประกอบ) ได้ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ ดังนี้

1. การเสริมกำลังแบบ Braced มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลงในทิศทาง $X = 2.766$ Cm และทิศทาง $Y = 0.410$ Cm คิดเป็นการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลง 4.75 % และ 93.75 % ตามลำดับ
2. การเสริมกำลังแบบ Inverted V มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลงในทิศทาง $X = 2.744$ Cm และทิศทาง $Y = 0.444$ Cm คิดเป็นการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลง 5.50 % และ 93.23 % ตามลำดับ
3. การเสริมกำลังแบบ Knee Braced มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลงในทิศทาง $X = 2.806$ Cm และทิศทาง $Y = 3.292$ Cm คิดเป็นการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลง 3.37 % และ 49.83 % ตามลำดับ

เห็นได้ว่ารูปแบบการเสริมกำลังด้านทานแผ่นดินไหวทั้ง 3 รูปแบบมีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในทิศทาง X และ ทิศทาง Y ที่ลดลง และอยู่ภายในข้อกำหนด มยพ.1302 จากการศึกษา พบการเสริมกำลังแบบ Knee Braced มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลงน้อยกว่าอีก 2 รูปแบบ และยังพบว่า การเสริมกำลังแบบ Braced และ แบบ Inverted V มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในทิศทาง X และ ทิศทาง Y ที่ใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก

เมื่อวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างอาคารเรียนโดยตำแหน่งที่ตั้ง (แบบปกติ) ด้วยโปรแกรม ETABS 2013 พบเสาโครงสร้าง จำนวน 5 ต้น มีการวิบัติ (รูปที่ 4.34) ในตำแหน่ง Line 1- ข และ ค ,ตำแหน่ง Line 2- ข และตำแหน่ง Line 9 – ก และ ข ช่วงชั้น Story 1-2 เสาเป็นสีแดง (O/S) จากเหล็กเสริมตามแนวแกนไม่เพียงพอ และในตำแหน่ง Line 1- ค ช่วงชั้น Story 2-3 เสาเป็นสีแดงแต่แสดงพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามแนวแกน แสดงถึงพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่เพียงพอ ภายหลังการเสริมกำลังด้วยรูปแบบที่กำหนดและวิเคราะห์ผล ดังนี้

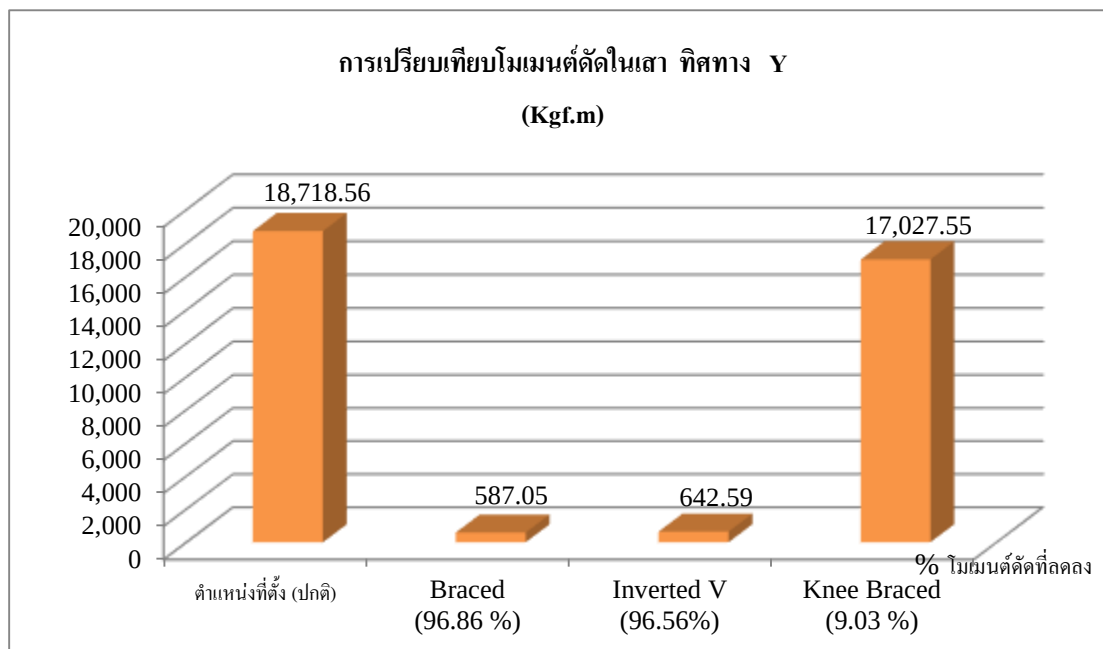
1. การเสริมกำลังแบบ Braced จำนวนการวิบัติเสาโครงสร้างลดลงเหลือจำนวน 3 ต้น เป็นสีแดง (รูปที่ 4.46) ในตำแหน่ง Line 1- ข และ ค ช่วงชั้น Story 1-2 เสาเป็นสีแดง(O/S) จากเหล็กเสริมตามแนวแกนไม่เพียงพอ และในตำแหน่ง Line 1- ค ช่วงชั้น Story 2-3 และตำแหน่ง Line 2- ข ช่วงชั้น Story 1-2 เสาเป็นสีแดงแต่แสดงพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามแนวแกน แสดงถึงพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่เพียงพอ และโปรแกรมทำการออกแบบเหล็กรูปพรรณเสริมกำลัง (รูปที่ 4.47) ได้หน้าตัดเหล็กรูปพรรณในการเสริมกำลังที่เหมาะสม ขนาดหน้าตัด WF- 200x200x8x12mm (49.9Kg/m)ทั้งอาคารใช้เหล็กในการเสริมกำลังจำนวน 11.5 ต่อน จุดรองรับ (Supports) จำนวน 25 จุด (แสดงในตารางที่ 4.20)

2. การเสริมกำลังแบบ Inverted V จำนวนและตำแหน่งการวิบัติเสาโครงสร้างเหมือนกับ การเสริมกำลังแบบ Braced (รูปที่ 4.57) และโปรแกรมทำการออกแบบเหล็กgrupพรรณเสริมกำลัง (รูปที่ 4.59) ได้หน้าตัดเหล็กในการเสริมกำลังที่เหมาะสม ขนาดหน้าตัด WF-175x175x7.5x11mm (40.2Kg/m) ทั้งอาคารใช้เหล็กในการเสริมกำลังจำนวน 7.5 ท่อน จำนวนจุดรองรับ (Supports) จำนวน 15 จุด
3. การเสริมกำลังแบบ Knee Braced จำนวนการวิบัติเสาโครงสร้างเพิ่มขึ้น มีจำนวน 7 ต้น เป็นสีแดง (รูปที่ 4.69) จากแรงกระทำของเหล็กgrupพรรณเสริมกำลัง (Axial Force) ใน ตำแหน่ง Line 1- ข และ ค , Line 2- ข , Line 7-ก และ ค และ Line 9-ก และ ค ช่วงชั้น Story 1-2 เสาเป็นสีแดง (O/S) จากเหล็กเสริมตามแนวแกนไม่เพียงพอ และในตำแหน่ง Line 1- ค ช่วงชั้น Story 2-3 เสาเป็นสีแดงแต่แสดงพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามแนวแกน แสดงถึงพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่เพียงพอ ในจำนวนเสาวิบัติมีจำนวนเสา 4 ต้น ตำแหน่ง Line 7-ก และ ค และ Line 9-ก และ ค ช่วงชั้น Story 1-2 เสาวิบัติจากแรงกระทำของเหล็กgrupพรรณเสริมกำลัง (Axial Force) แบบเฉือนและโปรแกรมทำการออกแบบเหล็กgrupพรรณเสริมกำลัง (รูปที่ 4.72) ได้หน้าตัดเหล็กgrupพรรณในการเสริมกำลังที่เหมาะสม ขนาดหน้าตัด WF-350x175x6x9mm(41.4Kg/m) ทั้งอาคารใช้เหล็กในการเสริมกำลังจำนวน 3.5 ท่อน จุดรองรับ (Supports) จำนวน 30 จุด

ตารางที่ 4.22 เปรียบเทียบรูปแบบเสริมกำลังและเหล็กgrupพรรณ เพื่อด้านทานแผ่นดินไหว

รูปแบบเสริม กำลัง	Δ_x (cm)	%	ขนาดเหล็กเสริมกำลัง ด้านแผ่นดินไหว จาก การวิเคราะห์ของ โปรแกรม	เหล็ก รูปพรรณที่ ใช้เสริม กำลัง / หลัง (6 ม./ท่อน)	จำนวนจุด รองรับโครง แกนแนยเนื่อง ศูนย์	จำนวนเสา โครงสร้าง วิบัติ
	การ เคลื่อนตัว สัมพัทธ์ ลดลงใน ทิศทาง Y	ลดการ เคลื่อนตัว สัมพัทธ์ สูงสุด ทิศทาง Y				
แบบปกติ	6.562	100	-	-	-	5
Braced	0.410	93.75	WF-200x200x8x12mm (49.9 Kg/m)	11.5 ท่อน	25 จุด	3
Inverted V	0.444	93.23	WF-175x175x7.5x11mm (40.2 Kg/m)	7.5 ท่อน	15 จุด	3
Knee Braced	3.292	49.83	WF-350x175x6x9mm (41.4 Kg/m)	3.5 ท่อน	30 จุด	7

ตัวอย่างการเปรียบเทียบโมเมนต์คัตในเสา ทิศทาง Y



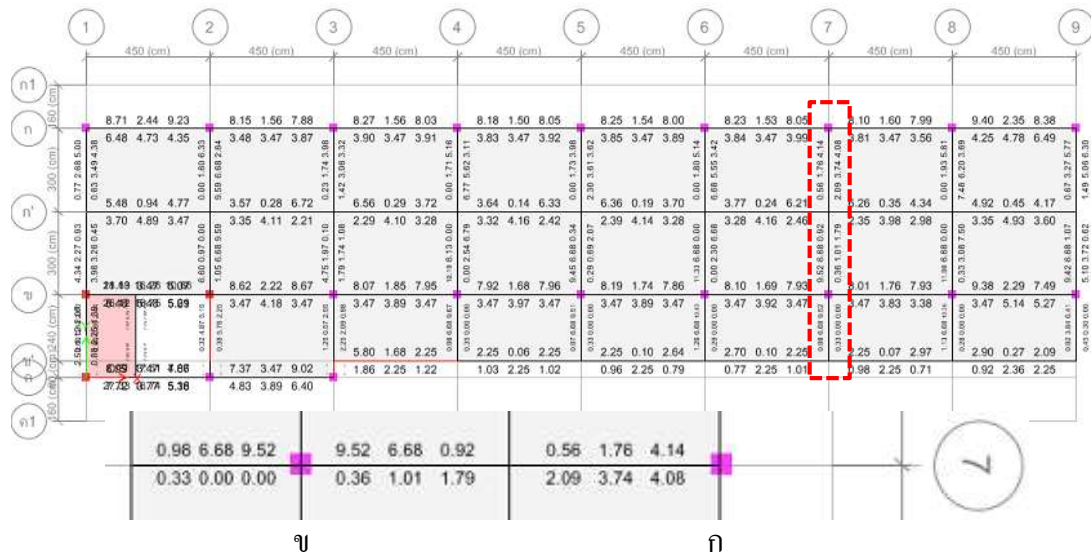
รูปที่ 4.76 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์คัตในเสาในทิศทาง Y ตำแหน่ง Line 9-ก ช่วงชั้น Story1-2

และจากการวิเคราะห์ผลของแรงภายในทั้ง 3 รูปแบบ ในตำแหน่งเดียวกัน ภายหลังจากเสริมกำลัง ค่าโมเมนต์คัตในเสาจากแรงแผ่นดินไหว ยกตัวอย่างตำแหน่ง Line 9-ก ช่วงชั้น Story1-2 ที่มีการวิบัติจากสภาพจริงมากที่สุดในทิศทาง Y ตามตำแหน่งที่ตั้งอาคาร (แบบปกติ) มีค่าโมเมนต์คัต = 18,718.56 Kgf.m เปรียบเทียบกับรูปแบบการเสริมกำลัง (รูปที่ 4.76) แบบ Braced , Inverted V และ Knee Braced มีค่าลดลงทั้ง 3 รูปแบบ ที่ค่าโมเมนต์คัต = 587.05 Kgf.m , 642.59 Kgf.m และ 17,027.55 Kgf.m (ตามลำดับ) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โมเมนต์คัตที่ลดลง 96.86 % , 96.56 % และ 9.03 % (ตามลำดับ) ซึ่งยังพบว่าค่าที่ลดลงมีความสอดคล้องกับค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้วย

เมื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลรูปแบบเสริมกำลัง เพื่อต้านทานแผ่นดินไหวจากข้อมูลทั้งหมด เห็นได้ว่าการเสริมกำลังแบบ Knee Braced เป็นรูปแบบที่ไม่เหมาะสม ผู้ศึกษาได้พิจารณา รูปแบบการเสริมกำลังแบบ Braced และ แบบ Inverted V ที่ให้ผลการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมที่ดีกว่าและมีความใกล้เคียงกันมาก และเมื่อเปรียบเทียบถึง ขนาดหน้าตัดเหล็กgrupพรรณที่นำมาเสริมกำลังและจำนวนจุกรองรับซึ่งมีผลกับงบประมาณค่าใช้จ่าย ผู้ทำการศึกษาวิจัยได้เลือกรูปแบบการเสริมกำลังที่เหมาะสมสำหรับอาคารเรียนหลังนี้คือ “รูปแบบการเสริมกำลังแบบ Inverted V” (ปริมาณงานและราคาที่เกี่ยวข้อง ภาคผนวก ก)

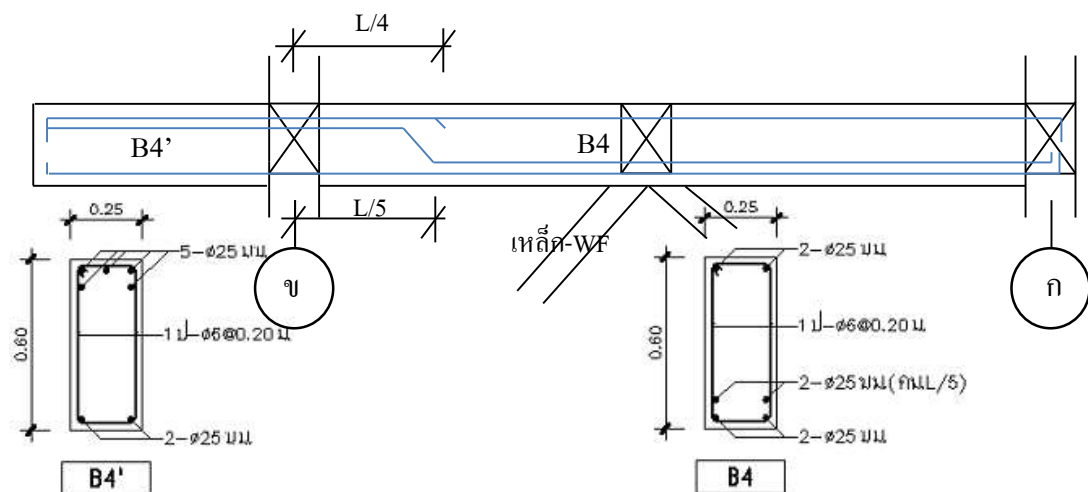
4.12 ตรวจสอบโครงสร้างเดิมภายหลังการเสริมกำลังรูปแบบที่เลือก (แบบ Inverted V)

4.12.1 ตรวจสอบคานภายหลังการเสริมกำลัง แบบ Inverted V เทียบกับหน้าตัดคานเดิม



รูปที่ 4.77 ปริมาณพื้นที่ที่หน้าตัดเหล็กเสริม (Maximum) ชั้นบน ตำแหน่งเสริมกำลัง

บนคานแต่ละตัวจะแสดงตัวเลข 6 ตัว คือปริมาณพื้นที่หน้าตัดที่เหล็กเสริม (cm²) ของเหล็กบนและล่างที่ปลายคานข้างซ้าย, กลางช่วงคาน และปลายคานข้างขวา (รูปที่ 4.77)



รูปที่ 4.78 ปริมาณเหล็กเสริมและหน้าตัดของคานเดิม จากแบบรูปรายการ

พิจารณารูปที่ 4.77 ปริมาณเหล็กตามการวิเคราะห์จากโปรแกรม และพิจารณารูปที่ 4.78 ปริมาณเหล็กเสริมตามแบบรูปายการอาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว) ของหน้าตัดคาน B4 และ B4' ตำแหน่งเสริมกำลังให้กับอาคารเมื่อมีแรงกระทำเพิ่มกับคาน โครงสร้าง ตรวจสอบดังนี้

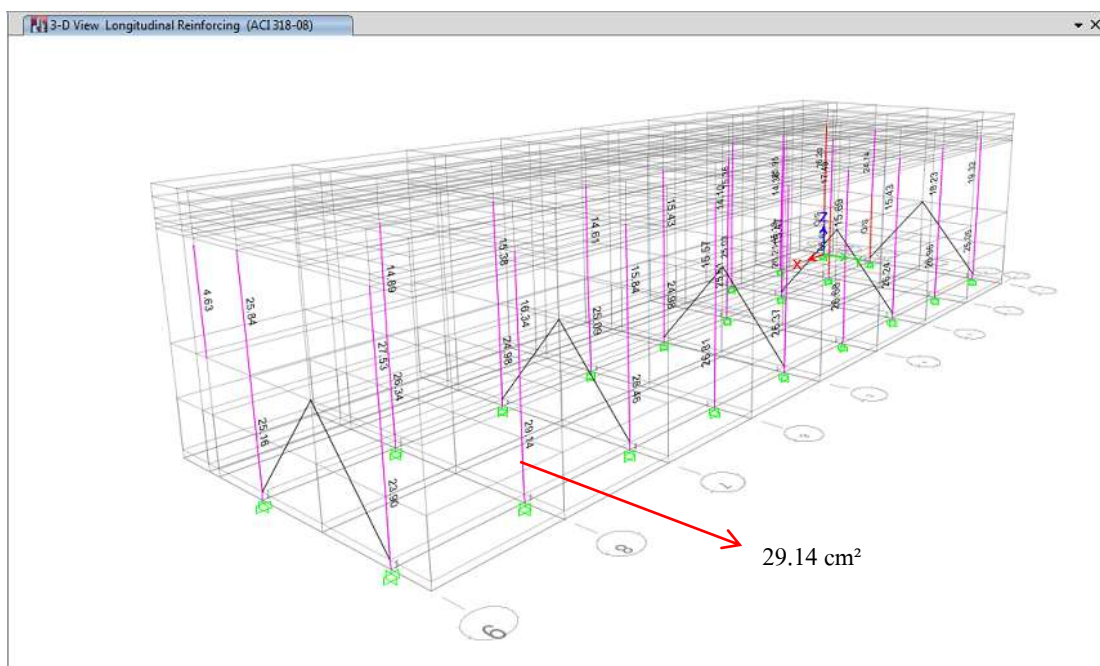
คาน B4' ถึงระยะ L/4 ใช้เหล็กเสริมบน 5-DB25 mm จะได้ $A_s = 5 \times 4.91 = 24.55 \text{ cm}^2$
 พิจารณารูปที่ 4.77 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบน(Maximum) = $9.52 \text{ cm}^2 < 24.55 \text{ cm}^2$ OK

คาน B4 ระยะกลางคาน ใช้เหล็กเสริมบน 2-DB25 mm จะได้ $A_s = 2 \times 4.91 = 9.82 \text{ cm}^2$
 พิจารณารูปที่ 4.77 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบน(Maximum) = $6.68 \text{ cm}^2 < 9.82 \text{ cm}^2$ OK

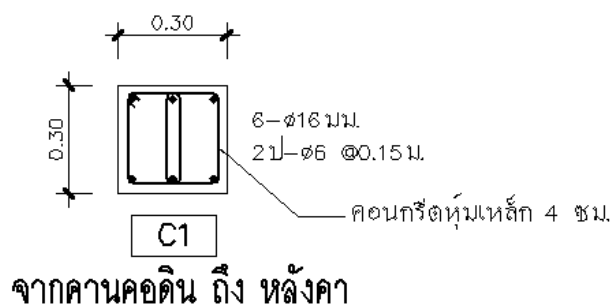
คาน B4 ระยะกลางคาน ใช้เหล็กเสริมล่าง 4-DB25 mm จะได้ $A_s = 4 \times 4.91 = 19.64 \text{ cm}^2$
 พิจารณารูปที่ 4.77 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมล่าง(Maximum) = $4.08 \text{ cm}^2 < 19.64 \text{ cm}^2$ OK

4.12.2 ตรวจสอบเสถียรภาพหลังการเสริมกำลัง แบบ Inverted V เทียบกับหน้าตัดเสาเดิม

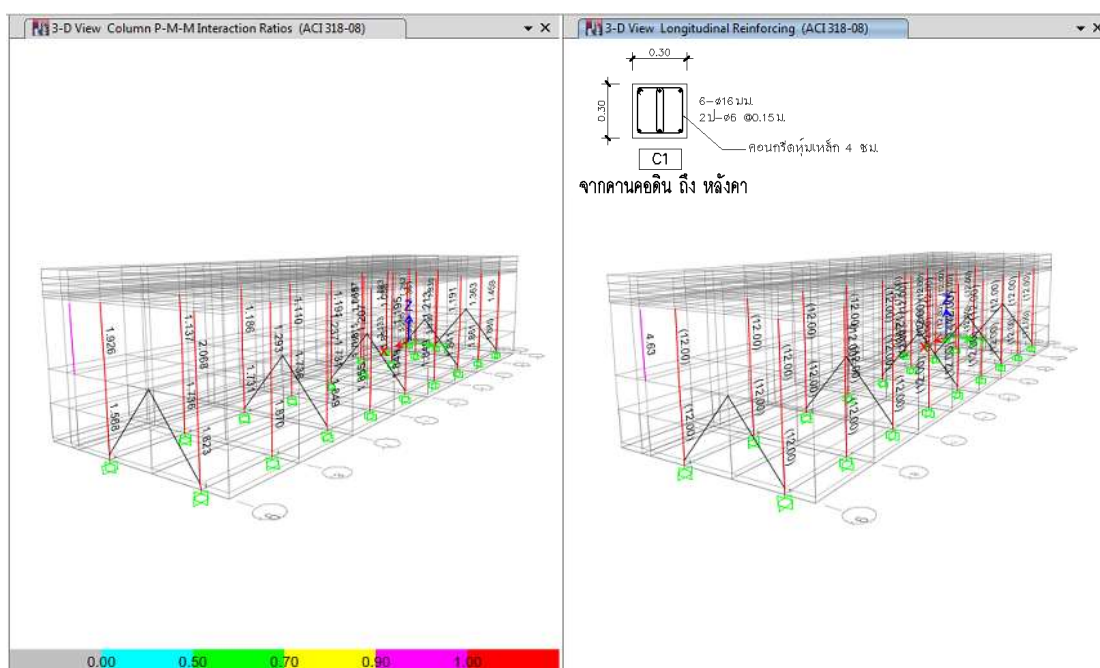
ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้פקเฉยเสาและคานช่วงบันได จากสภาพการวิบัติจริง (รูปภาพ ภาคผนวก ข) ที่ได้รับความเสียหายเพียงเล็กน้อย และได้เอาค่า Maximum ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กของเสา ภายในตัวอาคาร (รูปที่ 4.79) มาตรวจสอบกับปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมของเสา โครงสร้างอาคารเรียนเดิมจากแบบรูปายการตามตำแหน่งที่ตั้ง ที่ไม่ได้ออกแบบไว้ให้รับแรงทางด้านข้าง (Lateral Load) ตั้งแต่แรก



รูปที่ 4.79 ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมของเสาภายหลังการเสริมกำลัง แบบ Inverted V



รูปที่ 4.80 ปริมาณเหล็กเสริมและหน้าตัดของเสาเดิม จากแบบรูปรายการ



รูปที่ 4.81 การตรวจสอบเสารับแรงอัดและแรงดัดสองทิศทางพร้อมกัน (รูปซ้าย) และแสดงปริมาณ พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมจากแบบรูปรายการอาคารเรียน (รูปขวา)

เมื่อตรวจสอบอัตราส่วนปฏิสัมพันธ์ (Interaction Ratios) ของเสาด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ ภายหลังจากเสริมกำลังแบบ Inverted V (รูปที่ 4.81-รูปซ้าย) พบว่า เสาทุกต้นยังคงมีค่ามากกว่า 1.00 แสดงเป็นสีแดงเปรียบเทียบกับแถบสีด้านล่าง (เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.27) ดังนั้นเสาทุกต้นยังไม่สามารถรับแรงและโมเมนต์ดัดรอบแกน X และ Y ได้โดยสมบูรณ์ จึงยังทำให้เสาวิบัติ

เสา C1 (รูปที่ 4.80) จากแบบรูปรายการเดิมใช้เหล็กเสริมตามแนวแกน 6-DB16 mm จะได้ $A_s = 6 \times 2.01 = 12.06 \text{ cm}^2$ (รูปที่ 4.81 -รูปขวา) จากการใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุในโปรแกรม

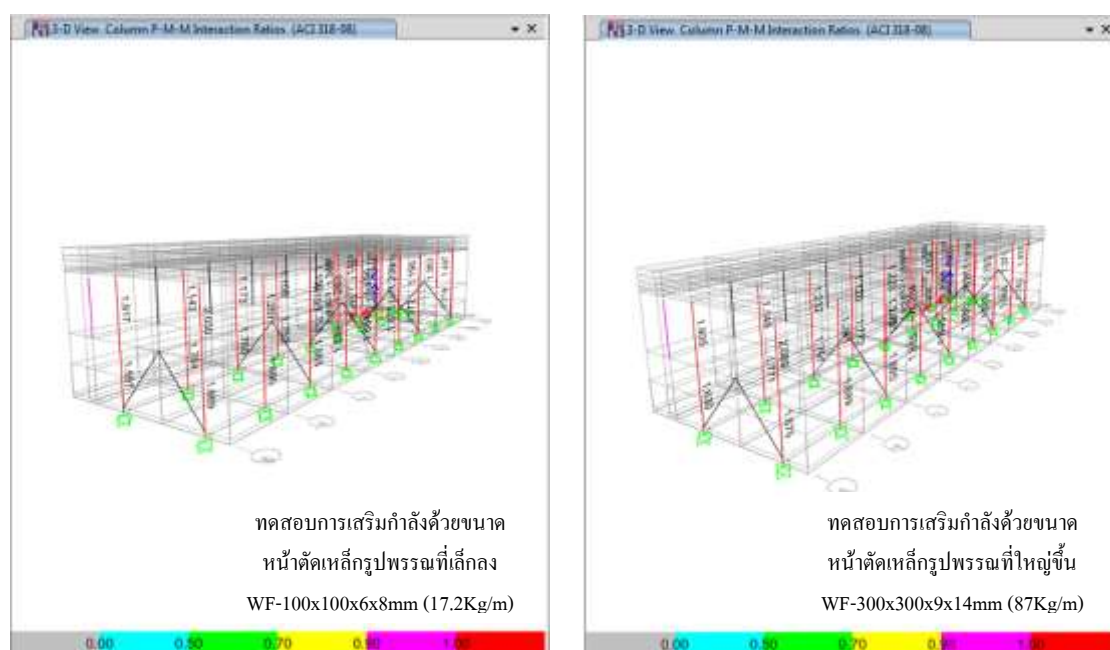
จากรูปที่ 4.79 เสา C1 แต่ละต้นของช่วงชั้น Story จะแสดงตัวเลข คือปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม (cm^2) ที่ได้จากการวิเคราะห์จากโปรแกรม ETABS 2013 จะได้ $A_s = 29.14 \text{ cm}^2$

ฉะนั้นจำนวนเหล็กเสริมที่ต้องการของเสา C1 จากการวิเคราะห์ของโปรแกรม จะได้ $A_s = 29.14/2.01 = 14.50$ เส้น เพื่อการจัดเรียงเหล็กที่เหมาะสม ใช้เหล็กจำนวน 16 เส้น (16-DB16 mm) จะได้ $A_s = 16 \times 2.01 = 32.16 \text{ cm}^2 > 12.06 \text{ cm}^2$ No Pass

จากข้อมูลจำนวนปริมาณหน้าตัดเหล็กเสริมตามแนวแกนที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรมมีค่ามากกว่าจำนวนปริมาณหน้าตัดเหล็กเสริมที่มีอยู่จากแบบรูปรายการจึงทำให้การวิบัติของเสายังคงมีอยู่ แต่การศึกษานี้เพื่อศึกษารูปแบบการเสริมกำลังที่เหมาะสมและลดทอนภัยพิบัติแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นกับอาคารเรียนภายในอนาคตซึ่งจะลดความรุนแรง ความสูญเสียให้กับชีวิตและทรัพย์สินของทางราชการไม่ได้มากนักน้อย ผู้ศึกษาจะเสนอแนะรูปแบบการเสริมกำลังของเสาตามผลการศึกษาในบทถัดไป

4.13 การศึกษาเพิ่มเติม

เพื่อศึกษาว่าหากมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดเหล็กรูปพรรณเสริมกำลัง เสาโครงสร้างอาคารเรียนจะมีความปลอดภัยเพิ่มขึ้นหรือไม่ โดยมีขนาดหน้าตัดเล็กและใหญ่กว่าเหล็กรูปพรรณเสริมกำลังจากการออกแบบและวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม ETABS 2013



รูปที่ 4.82 การตรวจสอบเสารับแรงอัดและแรงดัดสองทิศทางพร้อมกัน
กรณีเสริมกำลังด้วยขนาดหน้าตัดเหล็กรูปพรรณแตกต่างกัน

ตรวจสอบอัตราส่วนปฏิสัมพันธ์ (Interaction Ratios) ของเสาด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ ภายหลังการเสริมกำลังแบบ Inverted V (รูปที่ 4.82) พบว่า เสาทุกต้นยังคงมีค่ามากกว่า 1.00 จากการเสริมกำลังด้วยเหล็กรูปพรรณ WF ขนาดหน้าตัดทั้ง 2 ขนาด เสาแสดงเป็นสีแดงเปรียบเทียบกับแถบสีด้านล่าง ดังนั้นเสาทุกต้นยังไม่สามารถรับแรงและโมเมนต์ดัดรอบแกน X และ Y ได้โดยปลอดภัย เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของรูปแบบเสริมกำลังนี้ ควรมีการเสริมกำลังของเสารูปแบบอื่นๆ ร่วมด้วย

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อทราบถึงผลของความเสียหายของอาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว) จากภัยพิบัติแผ่นดินไหว วันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ของโรงเรียนสันกลางวิทยา อำเภอกพาน จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นอาคารเรียนแบบมาตรฐานในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน(สพฐ.) เพื่อป้องกันและลดทอนภัยพิบัติแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นภายในอนาคต ผู้ศึกษาได้ศึกษารูปแบบเสริมกำลัง เพื่อดำเนินงานแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ.1302 ภายใต้กฎกระทรวง พ.ศ. 2550 จำนวน 3 รูปแบบด้วยระบบโครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์และเยื้องศูนย์ ดังนี้ ก.) แบบ Braced ข.) แบบ Inverted V ค.) แบบ Knee Braced และได้ตรวจสอบโครงสร้างอาคารเรียนเดิมภายหลังการเลือกรูปแบบการเสริมกำลังที่เหมาะสม จะสามารถลดทอนภัยพิบัติและความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินพร้อมตรวจสอบงบประมาณเบื้องต้นที่จะเสริมกำลังของอาคารเรียนต่อหลัง เป็นแนวทางเพื่อเสนอให้กับหน่วยงานต้นสังกัดที่ผู้ศึกษาสังกัดอยู่

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษารูปแบบเสริมกำลัง เพื่อดำเนินงานแผ่นดินไหวของโครงสร้างอาคารเรียน โรงเรียนสันกลางวิทยา จังหวัดเชียงราย มีผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. ผลของความเสียหายของอาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว) จากภัยพิบัติแผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ของโรงเรียนสันกลางวิทยา อำเภอกพาน จังหวัดเชียงราย

จากการจำลองโครงสร้างอาคารเรียนแบบ 3 มิติด้วยโปรแกรม ETABS 2013 ตามมาตรฐาน มยผ.1302 และทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ พบว่า แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (V) ที่กระทำกับอาคารเรียนหลังนี้ คำนวณได้ตามมาตรฐาน มยผ.1302 คิดเป็น 23.20 % ของน้ำหนักโครงสร้าง ประสิทธิภาพของอาคารเรียน ผลการศึกษาแรงเฉือนที่ฐานอาคารที่กระทำกับตัวอาคารเรียน มีค่า = 94.50 tonf หรือ 94,500 kgf ที่ส่งผลให้โครงสร้างอาคารเรียนได้รับความเสียหาย

ตรวจสอบอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ (S.F.) ของอาคารเรียนมีค่า = 2.54 $\geq$ 1.5 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดของ มยผ. ทำให้อาคารเรียนยังไม่พลิกคว่ำเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

ตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x เมื่อถูกผลักด้วยแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X และทิศทาง Y เมื่อวิเคราะห์แบบอิลาสติกจากโปรแกรมในชั้นที่ Story 2 มีค่า 1.466 Cm และ 3.312 Cm ตามลำดับ และแบบพลาสติกมีค่า 2.904 Cm และ 6.562 Cm ตามลำดับ ในทิศทาง Y ตำแหน่ง Line 9-ก ซึ่งอัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ มีค่า 0.0187487 มากกว่าค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ตามข้อกำหนดมาตรฐาน มยผ.1302 คือ 0.010 จึงทำให้หน้าตัดแตกร้าว

ตรวจสอบเสารับแรงอัดและแรงคดสองทิศทางพร้อมกัน (Rectangular columns in biaxial bending) พบว่าอัตราส่วนปฏิสัมพันธ์ (Interaction Ratios) ของเสาทุกต้นมีค่ามากกว่า 1.00 ซึ่งเกินข้อกำหนด ดังนั้นเสาทุกต้นยังไม่สามารถรับแรงและโมเมนต์คดรอบแกน X และแกน Y ได้ จึงทำให้โครงสร้างเสาวิบัติและหน้าตัดแตกร้าว

ผลความเสียหายจากการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างอาคารเรียนโดยตำแหน่งที่ตั้ง (แบบปกติ) ด้วยโปรแกรม ETABS 2013 พบเสาโครงสร้าง จำนวน 5 ต้น มีการวิบัติ ในตำแหน่ง Line 1- ข และ ค , ตำแหน่ง Line 2- ข และตำแหน่ง Line 9 – ก และ ข ช่วงชั้น Story 1-2 เสาเป็นสีแดง(O/S) จากเหล็กเสริมตามแนวแกนไม่เพียงพอ และในตำแหน่ง Line 1- ค ช่วงชั้น Story 2-3 เสาเป็นสีแดงแต่แสดงพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามแนวแกน แสดงถึงพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่เพียงพอ ซึ่งสัมพันธ์กับการวิบัติของโครงสร้างที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวจริง โดยเฉพาะตำแหน่งเสา Line 9-ก และ Line 9-ข ที่หน้าตัดแตกร้าวเสียหายมากที่สุด มีโมเมนต์คดในเสาทิศทาง Y ตำแหน่ง Line 9-ก ช่วงชั้น Story 1-2 = 18,718.56 Kgf.m

ผลความเสียหายของเสาโครงสร้างอาคารเรียนที่เกิดขึ้นจริงจากการสำรวจ เทียบกับการวิเคราะห์ได้จากโปรแกรม พบเสาจำนวน 3 ใน 5 ต้น ตำแหน่ง Line 1- ข และ ค และตำแหน่ง Line 2- ข ที่ได้รับความเสียหายเพียงเล็กน้อย การวิเคราะห์จากโปรแกรมพอสรุปได้ว่า ช่วงดังกล่าวมีความรับบันไดและแข็งแรงกว่าเสาทำให้เกิดข้อหมุนพลาสติก จาก มยผ.1301-54 เป็นรูปแบบความไม่สม่ำเสมอของค่าสติเฟเนส แต่จากความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงเป็นเพียงรอยร้าวของผนังกับแนวแกนเล็กน้อยเท่านั้น อาจเป็นผลมาจากเสาเป็นเสาสั้นและผนังอิฐก่อช่วยเพิ่มค่าสติเฟเนส มวลของผนังมีน้อยจึงยังไม่ส่งผลให้เสาวิบัติเมื่อผลักด้วยแรงแผ่นดินไหวกับเสาโครงสร้างข้างต้น โดยพฤติกรรมของผนังจะรับแรงด้านข้างของโครงสร้างซึ่งหากมวลของผนังมีมากก็จะทำให้เสาวิบัติแบบเฉือนได้เช่นกัน

พบว่า ผลของความเสียหายของอาคารเรียน จากการวิเคราะห์และตรวจสอบด้วยโปรแกรมตามมาตรฐานของ มยผ.1302 พบว่ามีความใกล้เคียงกันของผลความเสียหายโดยเฉพาะตำแหน่งที่มีความเสียหายมากที่สุดที่เกิดขึ้นจริงจากภัยพิบัติแผ่นดินไหว และยังพบว่าอาคารเรียนยังไม่สามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้ จึงต้องมีการเสริมกำลังเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว

2. ผล การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเรียน เมื่อมีการเสริมกำลังด้วยโครงแกนเหล็ก แบบตรงศูนย์และเยื้องศูนย์ แยกเป็น 3 รูปแบบ

พบว่า ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบรูปแบบเสริมกำลังทั้ง 3 รูปแบบ ในตำแหน่ง Line 9 – ก และ ข เป็นตำแหน่งที่เสาโครงสร้างมีการวิบัติชนิดรุนแรง ในชั้น Story 2 ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในทิศทาง X และทิศทาง Y โดยตำแหน่งที่ตั้งอาคาร (แบบปกติ) มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ 2.904 Cm และ 6.562 Cm ตามลำดับ เมื่อเสริมกำลังเพื่อด้านทานแผ่นดินไหว ได้ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ ดังนี้

1. การเสริมกำลังแบบ Braced มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลงในทิศทาง X = 2.766 Cm และทิศทาง Y = 0.410 Cm คิดเป็นการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลง 4.75 % และ 93.75 % ตามลำดับ
2. การเสริมกำลังแบบ Inverted V มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลงในทิศทาง X = 2.744 Cm และทิศทาง Y = 0.444 Cm คิดเป็นการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลง 5.50 % และ 93.23 % ตามลำดับ
3. การเสริมกำลังแบบ Knee Braced มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลงในทิศทาง X = 2.806 Cm และทิศทาง Y = 3.292 Cm คิดเป็นการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลง 3.37 % และ 49.83 % ตามลำดับ

เห็นได้ว่ารูปแบบการเสริมกำลังด้านทานแผ่นดินไหวทั้ง 3 รูปแบบมีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในทิศทาง X และ ทิศทาง Y ที่ลดลง และอยู่ภายในข้อกำหนดของ มยพ.1302 จากการศึกษา พบการเสริมกำลังแบบ Knee Braced มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลงน้อยกว่าอีก 2 รูปแบบ และ ยังพบว่า การเสริมกำลังแบบ Braced และ แบบ Inverted V มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในทิศทาง X และ ทิศทาง Y ที่ใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก

ผลการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างอาคารเรียนโดยตำแหน่งที่ตั้ง (แบบปกติ) ด้วย โปรแกรม ETABS 2013 พบเสาโครงสร้าง จำนวน 5 ต้น มีการวิบัติ ในตำแหน่ง Line 1- ข และ ค , ตำแหน่ง Line 2- ข และตำแหน่ง Line 9 – ก และ ข ช่วงชั้น Story 1-2 เสาเป็นสีแดง(O/S) จากเหล็กเสริมตามแนวแกนไม่เพียงพอ และในตำแหน่ง Line 1- ค ช่วงชั้น Story 2-3 เสาเป็นสีแดงแต่แสดงพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามแนวแกน แสดงถึงพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่เพียงพอ ภายหลังการเสริมกำลังด้วยรูปแบบที่กำหนดและวิเคราะห์ผล ดังนี้

1. การเสริมกำลังแบบ Braced จำนวนการวิบัติเสาโครงสร้างลดลง มีจำนวน 3 ต้นเป็นสีแดง ในตำแหน่ง Line 1- ข และ ค ช่วงชั้น Story 1-2 เสาเป็นสีแดง(O/S) จากเหล็กเสริมตามแนวแกนไม่เพียงพอ และในตำแหน่ง Line 1- ค ช่วงชั้น Story 2-3 และ

ตำแหน่ง Line 2- ข ช่วงชั้น Story 1-2 เสาเป็นสีแดงแต่แสดงพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามแนวแกน แสดงถึงพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่เพียงพอ และโปรแกรมทำการออกแบบเหล็กรูปพรรณเสริมกำลัง ได้หน้าตัดเหล็กรูปพรรณในการเสริมกำลังที่เหมาะสม ขนาดหน้าตัด WF-200x200x8x12mm(49.9Kg/m) ทั้งอาคารใช้เหล็กในการเสริมกำลังจำนวน 11.5 ท่อน จุดรองรับ (Supports) จำนวน 25 จุด

2. การเสริมกำลังแบบ Inverted V จำนวนและตำแหน่งการวิบัติเสาโครงสร้างเหมือนกับ การเสริมกำลังแบบ Braced และโปรแกรมทำการออกแบบเหล็กรูปพรรณเสริมกำลัง ได้หน้าตัดเหล็กในการเสริมกำลังที่เหมาะสม ขนาดหน้าตัด WF-175x175x7.5x11mm (40.2Kg/m) ทั้งอาคารใช้เหล็กในการเสริมกำลังจำนวน 7.5 ท่อน จำนวนจุดรองรับ (Supports) จำนวน 15 จุด
3. การเสริมกำลังแบบ Knee Braced จำนวนการวิบัติเสาโครงสร้างเพิ่มขึ้น มีจำนวน 7 ต้นเป็นสีแดง ในตำแหน่ง Line 1- ข และ ค , Line 2- ข , Line 7-ก และ ค และ Line 9-ก และ ค ช่วงชั้น Story 1-2 เสาเป็นสีแดง (O/S) จากเหล็กเสริมตามแนวแกนไม่เพียงพอ และในตำแหน่ง Line 1- ค ช่วงชั้น Story 2-3 เสาเป็นสีแดงแต่แสดงพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามแนวแกน แสดงถึงพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่เพียงพอ ในจำนวนเสาวิบัติมีจำนวนเสา 4 ต้น ตำแหน่ง Line 7-ก และ ค และ Line 9-ก และ ค ช่วงชั้น Story 1-2 เสาวิบัติเพิ่มจากแรงกระทำของเหล็กรูปพรรณเสริมกำลัง (Axial Force) แบบเฉือนและเป็นรูปแบบที่ไม่เหมาะสมต่อการเสริมกำลังโครงสร้างอาคารเรียนนี้ โปรแกรมทำการออกแบบเหล็กรูปพรรณเสริมกำลัง ได้หน้าตัดเหล็กรูปพรรณในการเสริมกำลังที่เหมาะสม ขนาดหน้าตัด WF-350x175x6x9mm(41.4Kg/m) ทั้งอาคารใช้เหล็กในการเสริมกำลังจำนวน 3.5 ท่อน จุดรองรับ (Supports) จำนวน 30 จุด

และจากการวิเคราะห์ผลของแรงภายในทั้ง 3 รูปแบบ ในตำแหน่งเดียวกัน ภายหลังการเสริมกำลัง ค่าโมเมนต์คดในเสาจากแรงแผ่นดินไหว ยกตัวอย่างตำแหน่ง Line 9-ก ช่วงชั้น Story 1-2 ที่มีการวิบัติจากสภาพจริงมากที่สุดในทิศทาง Y ตามตำแหน่งที่ตั้งอาคาร(แบบปกติ) มีค่าโมเมนต์คด = 18,718.56 Kgf.m เปรียบเทียบกับรูปแบบการเสริมกำลัง แบบ Braced , Inverted V และ Knee Braced มีค่าลดลงทั้ง 3 รูปแบบ ค่าโมเมนต์คดที่ลดลง = 587.05 Kgf.m , 642.59 Kgf.m และ 17,027.55 Kgf.m (ตามลำดับ) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โมเมนต์คดที่ลดลง 96.86 % , 96.56 % และ 9.03 % (ตามลำดับ) ซึ่งยังพบว่าค่าที่ลดลงมีความสอดคล้องกับค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้วย

จากผลการศึกษาและวิเคราะห์ผลรูปแบบเสริมกำลัง เพื่อด้านทานแผ่นดินไหวจากข้อมูลทั้งหมด เห็นได้ว่าการเสริมกำลังแบบ Knee Braced เป็นรูปแบบที่ไม่เหมาะสม ผู้ศึกษาได้พิจารณารูปแบบการเสริมกำลังแบบ Braced และ แบบ Inverted V ที่ให้ผลการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมที่ดี และมีความใกล้เคียงกันมาก และเมื่อเปรียบเทียบถึง ขนาดหน้าตัดเหล็กรูปพรรณที่นำมาเสริมกำลัง และจำนวนจุกรองรับซึ่งมีผลกับงบประมาณค่าใช้จ่าย ผู้ทำการศึกษาวิจัยได้เลือกรูปแบบการเสริมกำลังที่เหมาะสมสำหรับอาคารเรียนหลังนี้คือ “รูปแบบการเสริมกำลังแบบ Inverted V”

3. ตรวจสอบโครงสร้างเดิม ภายหลังการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงกระทำเพิ่มกับโครงสร้าง อาคารยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้โดยปลอดภัยหรือไม่

3.1 ตรวจสอบคานโครงสร้างเดิม ผลของการศึกษาภายหลังการเสริมกำลังในรูปแบบที่เลือก คือ “แบบ Inverted V” ผู้ศึกษาได้เลือก คาน B4 และ B4' ซึ่งเป็นคานโครงสร้างหลัก ในชั้นที่ 2 ของอาคารเรียน ตำแหน่ง Line 7 ที่มีปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม (As) มากที่สุดในชั้น เทียบกับปริมาณเหล็กเสริมตามแบบรูปายการอาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว) พบว่า ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม (As) ในคานบนและล่าง ยังมีค่ามากกว่า ผลของการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม ทำให้คานโครงสร้างอาคารเรียนยังมีความปลอดภัย

3.2 ตรวจสอบเสาโครงสร้างเดิม การตรวจสอบอัตราส่วนปฏิสัมพันธ์ (Interaction Ratios) ของเสาด้วยโปรแกรม ภายหลังการเสริมกำลังแบบ Inverted V พบว่า เสาทุกต้นยังคงมีค่ามากกว่า 1.00 เกินข้อกำหนดแสดงถึงเสาทุกต้นยังไม่สามารถรับแรงและโมเมนต์ดัดรอบแกน X และ Y ได้โดยปลอดภัย จากแบบรูปายการเดิม เสา C1 ขนาดหน้าตัด 0.30 x 0.30 เมตร ใช้เหล็กเสริมตามแนวแกน 6-DB16 mm หรือปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม (As) = 12.06 cm² แต่ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม (As) ที่ต้องการที่ได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรม = 29.14 cm² ทำให้เสาโครงสร้างอาคารเรียนยังไม่มีความปลอดภัย ซึ่งควรมีการเสริมกำลังของเสาโครงสร้างร่วมกับการเสริมกำลังด้วยโครงแกนเหล็ก

4. งบประมาณที่ใช้ต่ออาคาร ภายหลังการเสริมกำลังด้วยโครงแกนเหล็กแบบเยื้องศูนย์

ผู้ทำการศึกษาวิจัยได้เลือกรูปแบบการเสริมกำลังที่เหมาะสมสำหรับอาคารเรียนหลังนี้คือ “รูปแบบการเสริมกำลังแบบ Inverted V” โปรแกรมทำการออกแบบเหล็กรูปพรรณเสริมกำลัง ได้หน้าตัดเหล็กในการเสริมกำลังที่เหมาะสม ขนาดหน้าตัด WF-175x175x7.5x11mm (40.2Kg/m) ทั้ง

อาคารใช้เหล็กในการเสริมกำลังจำนวน 7.5 ท่อน (6.00 เมตร/ท่อน) จำนวนจตุรองรับ (Supports) จำนวน 15 จุดงบประมาณเบื้องต้นที่ใช้ในการเสริมกำลัง เพื่อดำเนินงานแผ่นดินไหวต่ออาคาร เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 151,000.00 บาท (หนึ่งแสนห้าหมื่นหนึ่งพันบาทถ้วน)

5.2 อภิปรายผล

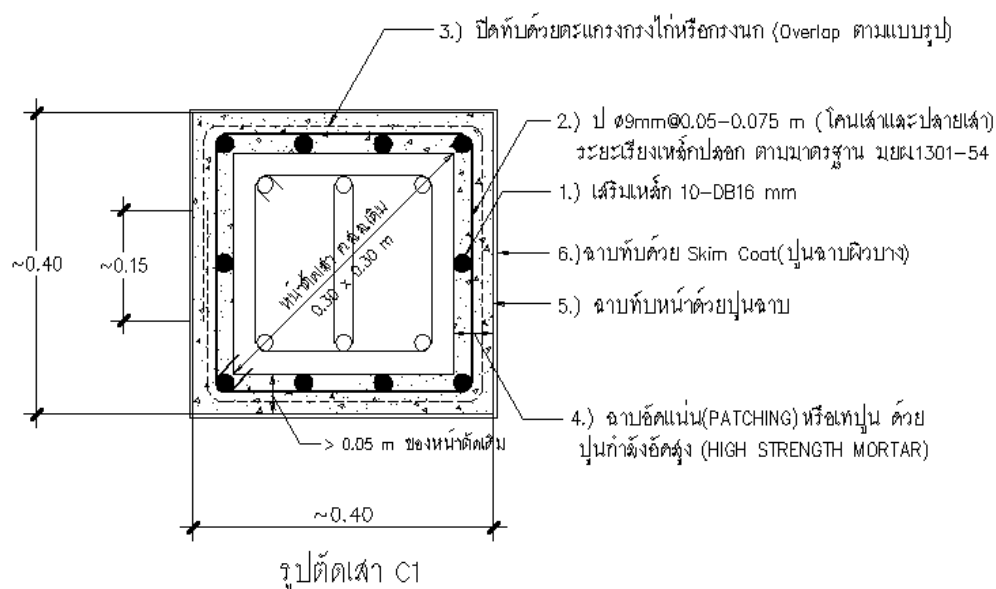
จากผลการศึกษา ของความเสียหายอาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น(บันไดด้านเดียว) จากภัยพิบัติแผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ของโรงเรียนสันกลางวิทยา อำเภอกวน จังหวัดเชียงราย พบว่าการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ จากทิศทาง X และ ทิศทาง Y มีระยะการเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้นในทุกๆ ช่วงเสา จาก Line 1 ถึง Line 9 แสดงให้เห็นถึงรูปทรงทางเรขาคณิต และความสมมาตรของอาคารอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีนักสอดคล้องกับมาตรฐานของ มยพ.1301-54 ถึงแม้จะผ่านการตรวจสอบจากค่าโมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำ หากอาคารมีบันไดขึ้นทั้ง 2 ด้านอาคาร ก็ จะเกิดความสมมาตรทางด้านรูปทรงและค่าสถิติเพศของเสาก็จะเพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยลดทอนภัยพิบัติจากแผ่นดินไหว

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้มีผลการวิเคราะห์ค่าความเสียหายทั้งที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมและจากการสำรวจที่เกิดจากภัยพิบัติแผ่นดินไหวจริงนั้น อาจจะมีตำแหน่งความเสียหายของเสาโครงสร้างอาคารเรียนที่คลาดเคลื่อนกันบ้าง แต่ พบว่า ตำแหน่งที่มีความเสียหายมากที่สุดของโครงสร้างอาคารเรียน คือ เสาโครงสร้างอาคารเรียนตำแหน่งจุดต่อของคานและเสา Line 9-ก ในชั้นที่ 2 (ด้านสกัดอาคาร) ทั้งที่ได้จากการสำรวจจริงและที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมีตำแหน่งที่ตรงกัน การเสริมกำลังด้วยโครงแกนเหล็กเชิงศูนย์กลางนี้ เป็นเพียงการลดทอนภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวที่มีต่อชีวิตและทรัพย์สินและเป็นแนวทางรูปแบบแนะนำสำหรับวิศวกรทั่วไปหรือผู้สนใจสามารถนำไปเป็นแนวทางในการออกแบบ โครงสร้างอาคารด้านแผ่นดินไหวได้ ปัจจุบันจะเห็นได้ว่าภัยพิบัติแผ่นดินไหวไม่ใช่เรื่องไกลตัวอีกต่อไป วิศวกรหรือผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องนี้ควรติดตามการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดอื่นๆของกฎกระทรวงและหมั่นศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม อาทิเช่น การอบรมด้านต่างๆที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินไหว ไม่ว่าจะเป็นด้านการออกแบบอาคารด้านแผ่นดินไหวหรือด้านการซ่อมแซมหรือปรับปรุงเสริมกำลังให้กับโครงสร้างอาคาร

อาคารเรียนนี้เป็นอาคารประเภทสาธารณะ และยังคงใช้งานอยู่ทั่วประเทศไทย ในเขตพื้นที่แผ่นดินไหวควรต้องมีการเสริมกำลังโครงสร้างอาคารเรียนเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ใช้อาคารอย่างยิ่ง

5.3 ข้อเสนอแนะตามผลการศึกษา

จากผลการศึกษา ผู้ศึกษาได้เลือกรูปแบบเสริมกำลังแบบ Inverted V ที่มีผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์มีค่าลดลงที่ดีและประหยัดกว่ารูปแบบอื่นๆ ผลการตรวจสอบคานโครงสร้างภายหลังการเสริมกำลังยังมีความปลอดภัยและผลการตรวจสอบของเสาโครงสร้างปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม (As) ที่ต้องการที่ได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรม = 29.14 cm^2 ทำให้เสาโครงสร้างอาคารเรียนยังไม่มีความปลอดภัย เพื่อประสิทธิภาพการเสริมกำลังด้านทานแผ่นดินไหว ควรมีการเสริมกำลังของเสาโครงสร้างร่วมกับการเสริมกำลังด้วยโครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์ ซึ่งจะได้ปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม (As) = $32.16 \text{ cm}^2 > 29.14 \text{ cm}^2$ OK ดังรูปแบบต่อไป



ปรับแก้จาก อมร พิมานมาศ(2557). แนวทางการเสริมความแข็งแรงอาคารด้านแผ่นดินไหว. ผลิตจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย. 11. ณ ห้องกมลทิพย์ โรงแรมสุโกศล. 4 มิถุนายน 2557

รูปแบบที่นำมาเสนอแนะเป็นการหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเทคนิคเฉพาะและต้นทุนต่ำ ซึ่งหน่วยงานกลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สฟฐ.ได้เคยนำไปใช้ซ่อมแซมกับโครงสร้างที่ได้รับความเสียหายระดับปานกลาง จากภัยพิบัติแผ่นดินไหว จังหวัดเชียงราย และในปัจจุบันก็มีการเสริมกำลังหลายรูปแบบ ซึ่งผู้ศึกษาเพียงแนะนำรูปแบบวิธีการอย่างง่ายเพื่อใช้ร่วมกับการเสริมกำลังด้วยโครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเสริมกำลังด้านทานแผ่นดินไหว

เอกสารอ้างอิง

- ปริญญานุกุล. (2533). รอยเลื่อนในประเทศไทย. [ออนไลน์]. ได้จาก <http://jawe2556.blogspot.com>.
- ศรีสุข อาษา สขร.สปข.3.(ม.ป.ป.).บทความภัยพิบัติ ตอนที่4 แผ่นดินไหวและรอยเลื่อนที่มีพลังในประเทศไทย.[ออนไลน์]. ได้จาก <http://region3.prd.go.th/naturaldisaster/journal4.php>.
- เสถียร เจริญเหรียญ. (2557). กฎหมายเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย.[ออนไลน์]. ได้จาก <http://www.stou.ac.th/study/sumrit/7-57%28500%29/page3-7-57%28500%29.html>.
- สรกานต์ ศรีทองอ่อน. (2556). เอกสาร”การวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวงฉบับ พ.ศ. 2550”. [ออนไลน์]. ได้จาก <http://www.tumcivil.com/engfanatic/media/.../seismicForceAnalysis.pdf>.
- บุรินทร์ เวชบรรเทิง.(ม.ป.ป.).สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา .ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแผ่นดินไหว. [ออนไลน์]. ได้จาก www.seismology.tmd.go.th/file.../ความรู้ทั่วไปแผ่นดินไหว.doc.
- การประชุมสัมมนา โดยคณะกรรมการผลกระทบแผ่นดินไหวและแรงลม (วสท.ร่วมกับ สกว.). ลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย. 11. ณ ห้องกมลทิพย์ โรงแรมสุโกศล. 4 มิถุนายน 2557.
- กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2550). มาตรฐานประกอบกรอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ.1301-54). ปรับปรุงครั้งที่ 1.สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง.กรุงเทพฯ: เอส.พี.เอ็ม.การพิมพ์.
- กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2552). การออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ.1302). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ดิจิตอล ออฟเซต เอเชีย แปซิฟิก.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2557). รายงานผลการตรวจสอบทางธรณีฟิสิกส์.พิมพ์ครั้งที่ 1.สำนักเทคโนโลยีธรณี กรมทรัพยากรธรณี.กรุงเทพฯ.
- กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2550). มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร (มยผ.1311-50). พิมพ์ครั้งที่ 1.สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง.กรุงเทพฯ: เอส.พี.เอ็ม.การพิมพ์.
- มงคล จิรวรรณ. (2557). คู่มือการใช้งานฉบับนักศึกษา ETABS 2013. ฝ่ายบริการสื่อการศึกษา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

มงคล จีรวัชรเดช. (2555). คู่มือการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวภาคทฤษฎีและปฏิบัติ. พิมพ์ครั้งที่ 1. เอ็มแอนด์เอ็ม เลเซอร์พริ้นต์ : TumCivil.com.

ภาคผนวก ก
ประมาณราคาในการเสริมกำลัง/หลัง

รายการปริมาณงานและราคา

ประมาณราคา.....
 สถานที่ก่อสร้าง.....จังหวัด.....
 ประมาณการโดย.....ประมาณราคาเมื่อวันที่.....

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ		ค่าแรงงาน		รวมค่าวัสดุ และค่าแรงงาน	หมายเหตุ
				ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงิน	ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงิน		
1	งานรื้อถอน								
1.1	รื้อถอนผนังคอนกรีต (ขนไป)	86	ตร.ม.	-	-	38.00	3,268.00	3,268.00	
1.2	รื้อถอนกระดานดำและติดตั้งกลับ	4	ชุด	-	-	110.00	440.00	440.00	
2	งานปรับปรุงซ่อมแซม								
2.1	เหล็ก WF-175x175x7.5x11mm (เหล็กเสริมกำลัง)	45	ม.	1,010.00	45,450.00	402.00	18,090.00	63,540.00	
2.2	แผ่นเหล็กยึดจุดรองรับเหล็กเสริมกำลัง (รวมอุปกรณ์วัสดุ)	15	จุด	990.00	14,850	รวมค่าแรง	-	14,850.00	
2.3	ผนังก่ออิฐฉาบหรือคอนกรีตบล็อกฉาบเรียบ	86	ตร.ม.	245.00	21,070.00	89.00	7,654.00	28,724.00	
2.4	ทาสีน้ำอะคริลิก 100 %	86	ตร.ม.	35.00	3,010.00	30.00	2,580.00	5,590.00	
2.5	ทาสีน้ำมัน	35	ตร.ม.	30.00	1,050.00	35.00	1,225.00	2,275.00	
รวมค่าวัสดุ และค่าแรงงาน					85,430.00		33,257.00	118,687.00	
ค่าใช้จ่ายในรูป Factor F (1.2726 -1)								32,354.07	
รวมค่าดำเนินการทั้งสิ้น								151,041.07	
ยอดสุทธิ								151,000.00	บาท

หมายเหตุ : ที่มา จากหนังสือบัญชีวัสดุและค่าแรงงาน สำหรับงบประมาณปี 2558

กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สฟฐ. ตามมติคณะรัฐมนตรี ลงวันที่ 24 มีนาคม 2558

ภาคผนวก ข

ภาพประกอบอาคารเรียนสพช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว)

จากภัยพิบัติแผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 จ.เชียงราย

โรงเรียนสันกลางวิทยา อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย



ตัวอย่างอาคารเรียนสปข.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว) ประสภภัยพิบัติแผ่นดินไหว จ.เชียงราย



โรงเรียนโป่งแพรววิทยา



โรงเรียนชุมชนบ้านปากอคำ



โรงเรียนบ้านแม่หนอง



โรงเรียนบ้านดอยช้าง



โรงเรียนเจริญเมืองวิทยา



โรงเรียนบ้านเตาเผา



ภาคผนวก ค

บันทึกข้อความขออนุญาตนำแบบรูปรายการอาคารเรียนมาศึกษา



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ... กอ. ศอ- สทอ.

ที่... วันที่ ๙ มิถุนายน ๒๕๕๘

เรื่อง รายงานผลการดำเนินงานในสังกัด สทอ. ปีที่ ๑ ในทศวรรษ

ผู้รับ... ศอ. กลางออกหมายและก่อสร้าง

ด้วย นายชาญณรงค์ แก้วกลิ่นสด ตำแหน่ง วิศวกรโยธาชำนาญพิเศษ ผู้ช่วยอธิบดี
ส่วนกลาง ได้ศึกษาข้อเท็จจริงเกี่ยวกับโครงการฯ ตามแผนงานโครงการพัฒนาระบบ
การบริหารงานก่อสร้าง และ อาคารอุปโภค สภาวิศวกรโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ
พุทธวิทยาในกรุงเทพฯ ได้ดำเนินการตามแผนงาน สทอ. ๑๐๕/๒๕ (ปีงบประมาณ ๒๕๕๘)
ภายใต้แผนงานฯ ตามที่ได้กำหนดไว้ในเบื้องต้น เพื่อให้โครงการศึกษาวิจัย สทอ. ตามแผนงาน
วิจัยและดำเนินการเบื้องต้น ไม่ขัดแย้งกับแผนงานในกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
การดำเนินงานในส่วนนี้ประกอบด้วย การดำเนินงานและนำร่องโครงการ เพื่อให้เป็นแบบอย่าง
ก่อสร้างและอื่นต่อไป (ขอผลใช้บังคับ)

ผู้รับหมายไปโปรดทราบ.

นายชาญณรงค์ แก้วกลิ่นสด

๙ / ๖.๐. / ๕๘

- ชาญณรงค์ แก้วกลิ่นสด

๑๐ มิ ๕๘

ประวัติผู้เขียน

นายชาญณรงค์ แถนสีแสง เกิดวันที่ 27 กันยายน 2523 ที่อยู่ปัจจุบัน เลขที่ 83 หมู่ 2 ต.หนองบอน อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม ที่ทำงานปัจจุบัน กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สพฐ. กระทรวงศึกษาธิการ ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน : วิศวกรโยธาปฏิบัติการ ประสบการณ์ทำงาน : พ.ศ.2553 – ปัจจุบัน กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สพฐ.กระทรวงศึกษาธิการ พ.ศ.2549 – 2553 บริษัท คาซ่าวิลด์ จำกัด กทม. พ.ศ.2548 – 2549 บริษัท คาเดค บิลท์ จำกัด กทม. ประวัติการศึกษา : พ.ศ.2544 - 2548 วศบ.วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2542 – 2544 ปวส.ช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม พ.ศ.2540 – 2542 ปวช.ช่างก่อสร้าง เทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ