

การศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างทางด้านปริมาณและราคางานโครงสร้าง
อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่ต่างกัน



นายทนงชัย พรหมมา

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2557

การศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างทางด้านปริมาณและราคางานโครงสร้าง อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่ต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำโครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงการ

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ)

(รศ. ดร.ขวัญกมล ดอนขวา)

กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ทนงชัย พรหมมา : การศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างทางด้านปริมาณและราคางาน
โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่ต่างกัน

(A COMPARATIVE STUDY ON THE SIZE AND COST OF BUILDING STRUCTURE
IN DIFFERENT EARTHQUAKE ZONES) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.

วชรภูมิ เบญจโอฬาร

ปัญหาแผ่นดินไหวกับประเทศไทยนับวันยิ่งจะมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น แต่การศึกษาเกี่ยวกับแผ่นดินไหวในปัจจุบันยังคงมีน้อยไม่ครอบคลุมส่วนมากมุ่งเน้นไปที่การศึกษาในทางวิชาการในเชิงลึกและมีอยู่อย่างจำกัดซึ่งจะเป็นปัญหาให้กับวิศวกรหรือประชาชนทั่วไปที่นำไปประยุกต์ใช้ งานวิจัยนี้จะศึกษาผลของแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวที่จะส่งผลต่อปริมาณและราคางานโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในเขตเสี่ยงภัยที่ต่างกันตามกฎกระทรวงแผ่นดินไหว พศ. 2550 โดยเลือกอาคารที่มีรูปแบบที่มีการปลูกสร้างอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่พื้นสำเร็จรูปแบบท้องเรียบ และแบ่งกลุ่มการทดสอบออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ พื้นที่ที่ไม่ต้องคิดแรงแผ่นดินไหว ,คิดแรงแผ่นดินไหวโดยใช้ค่า $Z=0.19$ และ $S=2.5$,คิดแรงแผ่นดินไหวโดยใช้ค่า $Z=0.19$ และ $S=1.5$,คิดแรงแผ่นดินไหวโดยใช้ค่า $Z=0.38$ และ $S=1.5$ วิเคราะห์โครงสร้างแบบสามมิติด้วยโปรแกรม ETABS และนำผลการวิเคราะห์มาออกแบบและประมาณราคาเพื่อเปรียบเทียบผลต่าง จะได้ว่าผลการพิจารณาแรงจากแผ่นดินไหวจะส่งผลต่อราคางานโครงสร้างอาคารที่ 2.9% - 11.1%ตามบริเวณที่มีความเสี่ยงและลักษณะชั้นดินที่แตกต่างกัน โดยบริเวณที่2จะสูงกว่าพื้นที่บริเวณที่1และดินที่มีลักษณะอ่อนมากก็จะส่งผลต่อราคาโครงสร้างได้มากกว่าดินแข็ง

ทั้งนี้ผลของการศึกษาผู้วิจัยได้สร้างตารางการเปรียบเทียบความแตกต่างของงานโครงสร้างในการรับแรงแผ่นดินไหวเพื่อจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานของตนได้ในโอกาสต่อไป

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

THANONGCHAI PROMMA : A COMPARATIVE STUDY ON THE SIZE
AND COST OF BUILDING STRUCTURE IN DIFFERENT EARTHQUAKE
ZONES. ADVISOR : ASSOC. PROF. VACHARAPOOM BENJAORAN,
Ph.D.

Earthquake problems in Thailand have been increasingly intensifying, but certain studies on earthquakes now remain abridged and incomprehensive, and sometimes most of them are emphasized on in-depth academic approaches and even limited making it difficult for either engineers or the public to further apply. The research is aimed at studying effects of seismic force on size and cost of reinforced concrete building structures located in different earthquake prone zones according to the Ministerial Regulation on Earthquake Resistance of Building B.E. 2550. The researcher selected buildings whose patterns were prevalent in Thailand and were built from reinforced concrete on the pre-stressed concrete floor plank platforms. The test was divided into four groups: areas not required to calculate seismic force; areas required to calculate seismic force with $Z = 0.19$ and $S = 2.5$; areas required to calculate seismic force $Z = 0.19$ and $S = 2.5$; areas required to calculate seismic force with $Z = 0.19$ and $S = 1.5$; and areas required to calculate seismic force with $Z = 0.38$ and $S = 1.5$ ETABS program was used for three-dimensional structure analysis and the results were used to determine and evaluate cost for comparison. The results showed that consideration on seismic force could result in cost of building structure by 2.9% - 11.1% according to different earthquake prone zones and characteristics of soil layers. The cost of building structure in Area 2 was higher than Area 1 and the very soft soil could have more impact on the cost of building structure rather than the hard soil.

School of Civil Engineering
Academic Year 2014

Student's Signature _____
Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

โครงการบัณฑิตนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องด้วยคณาจารย์และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือสนับสนุนเป็นอย่างดี ทั้งในด้านวิชาการ ด้านการดำเนินงานวิจัย และอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร อย่างสุดซึ้งที่กรุณาได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และให้ทั้งความรู้และคำแนะนำทางวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์จนโครงการวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี และขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร ประธานกรรมการสอบโครงการมหาบัณฑิต และรองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญกมล ดอนขวา กรรมการสอบโครงการมหาบัณฑิต ที่ช่วยให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ทำยที่สุด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่ได้อบรมสั่งสอน และสนับสนุนให้การศึกษาจนได้มาถึงวันนี้ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

ทนงชัย พรหมมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
2 ปรัชญ่วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแผ่นดินไหว.....	4
2.1.1 แผ่นดินไหวและรอยเลื่อนที่มีพลังในประเทศไทย.....	4
2.1.2 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว.....	8
2.1.3 ปริมาณสำหรับการวัดแผ่นดินไหว.....	11
2.1.4 สถิติแผ่นดินไหวในประเทศไทย.....	14
2.1.5 อันตรายและความเสียหายจากการเกิดแผ่นดินไหว.....	16
2.1.6 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายจากแผ่นดินไหว.....	16
2.1.7 เขตแผ่นดินไหวในประเทศไทย.....	18
2.2 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทย.....	19
2.2.1 ความเป็นมาของ กฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรง สั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550.....	19
2.2.2 เนื้อหาโดยสรุปของกฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่น สะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550.....	21

2.3	ความรู้ทั่วไปในการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว.....	23
2.3.1	การคำนวณแรงเฉือนที่กระทำต่ออาคาร จากแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว ตามกฎกระทรวงฉบับใหม่ พ.ศ. 2550 โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า.....	23
2.3.2	การคำนวณตรวจสอบการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้าง.....	28
2.3.3	การคำนวณตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้างเนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง.....	29
2.4	มาตรฐานแนะนำในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว.....	30
2.4.1	มาตรฐานประกอบการคำนวณอาคารเพื่อด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1301-50.....	30
2.5	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโปรแกรม ETABS.....	48
2.5.1	แนะนำโปรแกรม ETABS 2013.....	48
2.5.2	คุณลักษณะพิเศษของโปรแกรม ETABS 2013.....	49
2.5.3	รูปแบบบรรทัดและกรณีบรรทัดสำหรับโปรแกรม ETABS.....	52
2.5.4	การวิเคราะห์.....	52
2.5.5	การคำนวณโดยโปรแกรม ETABS.....	54
2.5.6	ขั้นตอนการทำงานโดยโปรแกรม ETABS.....	55
3	วิธีดำเนินการทำโครงงาน.....	56
3.1	บทนำ.....	56
3.2	การแบ่งกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา.....	56
3.3	เครื่องมือในการวิจัย.....	57
3.4	ขั้นตอนการวิจัย.....	58
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	60
4.1	ผลการคำนวณหาแรงภายนอกที่กระทำกับอาคาร.....	60
4.2	ผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนอาคารจากโปรแกรม ETABS.....	67
4.3	ผลการคำนวณองค์อาคาร.....	73
4.4	ราคางานโครงสร้าง.....	74
5	สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	83
5.1	สรุปผลการศึกษา.....	83
5.2	อภิปรายผล.....	84
5.3	ข้อเสนอแนะตามผลการศึกษา.....	84

เอกสารอ้างอิง.....	86
ภาคผนวก ก แสดงรายละเอียดแบบก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว.....	87
ประวัติผู้เขียน.....	133



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว.....	8
2.2 การคำนวณขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆ.....	12
2.3 ลักษณะความรุนแรงของแผ่นดินไหวโดยเปรียบเทียบ.....	13
2.4 สัมประสิทธิ์ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร (I).....	24
2.5 สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ (K).....	24
2.6 สัมประสิทธิ์การประสานความถี่ธรรมชาติของอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S).....	26
2.7 ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง.....	36
2.8 ความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง(Plan Structure Irregularities).....	38
4.1 การรวมน้ำหนักในแต่ละชั้นและน้ำหนักรวมทั้งหมดของอาคาร.....	61
4.2 ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว.....	62
4.3 ผลการคำนวณแรงเฉือนที่ฐานเนื่องจากแผ่นดินไหว.....	64
4.4 การกระจายแรงทางด้านข้างในแต่ละชั้นและแรงเฉือนในเสาเนื่องจากแผ่นดินไหว กรณีศึกษาที่ 1,แรงตามแนวแกน X.....	64
4.5 การกระจายแรงทางด้านข้างในแต่ละชั้นและแรงเฉือนในเสาเนื่องจากแผ่นดินไหว กรณีศึกษาที่ 1,แรงตามแนวแกน Y.....	65
4.6 การกระจายแรงทางด้านข้างในแต่ละชั้นและแรงเฉือนในเสาเนื่องจากแผ่นดินไหว กรณีศึกษาที่ 2,แรงตามแนวแกน X.....	65
4.7 การกระจายแรงทางด้านข้างในแต่ละชั้นและแรงเฉือนในเสาเนื่องจาก แผ่นดินไหว กรณีศึกษาที่ 2 ,แรงตามแนวแกนY.....	66
4.8 การกระจายแรงทางด้านข้างในแต่ละชั้นและแรงเฉือนในเสาเนื่องจากแผ่นดินไหว กรณีศึกษาที่ 3 ,แรงตามแนวแกน X.....	66
4.9 การกระจายแรงทางด้านข้างในแต่ละชั้นและแรงเฉือนในเสาเนื่องจากแผ่นดินไหว กรณีศึกษาที่ 3 ,แรงตามแนวแกน Y.....	67
4.10 ผลของแรงภายในสูงสุดในเสากรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว.....	68
4.11 ผลของแรงภายในสูงสุดในคานกรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว.....	68
4.12 ผลของแรงที่จู่รองรับกรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว.....	69
4.13 ผลของแรงภายในสูงสุดในเสากรณีที่ 2 คิดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.38, S=2.5$	69

4.14	ผลของแรงภายในสูงสุดในคานกรณีที่ 2 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.38, S=2.5$	70
4.15	ผลของแรงที่จตุรรองรับกรณีที่ 2 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.38, S=2.5$	71
4.16	ผลของแรงภายในสูงสุดในเสากรณีที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.38, S=1.4$	71
4.17	ผลของแรงภายในสูงสุดในคานกรณีที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.38, S=1.4$	71
4.18	ผลของแรงที่จตุรรองรับกรณีที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.38, S=1.4$	72
4.19	ผลของแรงภายในสูงสุดในเสากรณีที่ 4 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.38, S=1.4$	72
4.20	ผลของแรงภายในสูงสุดในคานกรณีที่ 4 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.38, S=1.4$	73
4.21	ผลของแรงที่จตุรรองรับกรณีที่ 4 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.38, S=1.4$	73
4.22	ผลการเปรียบเทียบปริมาณงาน โครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงตามพื้นที่เสี่ยงภัยที่ แตกต่างกัน	74
4.23	ผลการคิดปริมาณและราคางาน โครงสร้างกรณีที่ 1 ไม่คัดแรงแผ่นดินไหว	75
4.24	แสดงผลการคิดปริมาณและราคางาน โครงสร้างกรณีที่ 2 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.38, S=2.5$	77
4.25	ผลการคิดปริมาณและราคางาน โครงสร้างกรณีที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.19, S=1.5$	79
4.26	ผลการคิดปริมาณและราคางาน โครงสร้างกรณีที่ 4 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.38, S=1.5$	81
4.27	ผลการเปรียบเทียบราคางาน โครงสร้างจำแนกตามลักษณะขององค์อาคาร	82
4.28	ราคางาน โครงสร้างอาคาร	82
5.1	ตัวแปรความสัมพันธ์ของราคางาน โครงสร้างที่มีผลกระทบเนื่องจากแผ่นดินไหว	84

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แผนที่รอยเลื่อนที่มีพลังในประเทศไทย.....	7
2.2 การเคลื่อนตัวของหินหลอมละลายใต้เปลือกโลก.....	10
2.3 แนวแผ่นดินไหวของโลก.....	10
2.4 จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว.....	10
2.5 แผนที่ภัยพิบัติแผ่นดินไหวในประเทศไทย.....	14
2.6 ตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวในประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง.....	15
2.7 บริเวณที่มีผลบังคับใช้ตามกฎหมาย พ.ศ. 2550.....	22
2.8 การกระจายค่า V เป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่างๆ.....	27
2.9 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของอาคาร (Δx).....	29
2.10 การพิจารณาความมั่นคงของโครงสร้างเนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง.....	30
2.11 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง.....	37
2.12 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของฝั่งโครงสร้าง.....	39
2.13 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของฝั่งโครงสร้าง.....	39
2.14 ตัวอย่างการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนตามข้อ 4.2.1.....	42
2.15 การเสริมเหล็กในคาน.....	43
2.16 การเสริมเหล็กในเสา.....	44
2.17 การคำนวณแรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำกับข้อต่อ.....	46
2.18 ประเภทข้อต่อต่างๆสำหรับการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n).....	47
2.19 พื้นที่ต้านแรงเฉือนประสิทธิผลของข้อต่อระหว่างคานและเสา.....	48
3.10 แผนผังการวิจัย.....	59
4.1 ราคางานโครงสร้างอาคารกรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว.....	76
4.2 ราคางานโครงสร้างอาคารกรณีที่ 2 คิดแรงแผ่นดินไหวที่ $Z=0.19, S=2.5$	78
4.3 ราคางานโครงสร้างอาคารกรณีที่ 3 คิดแรงแผ่นดินไหวที่ $Z=0.19, S=1.5$	80
4.4 ราคางานโครงสร้างอาคารกรณีที่ 4 คิดแรงแผ่นดินไหวที่ $Z=0.38, S=1.5$	82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

หลังจากประเทศไทยประสบปัญหาจากแผ่นดินไหวหลายครั้งในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ก็เป็นที่ประจักษ์แล้วว่าภัยจากแผ่นดินไหวไม่ใช่เรื่องไกลตัวอีกต่อไป ในส่วนของงานวิศวกรรมโครงสร้างที่มีลักษณะงานที่เกี่ยวข้องกับชีวิตและทรัพย์สินของคนเป็นจำนวนมากจึงต้องใส่ใจกับเรื่องนี้เป็นพิเศษ

ซึ่งในปัจจุบันก็ได้มีการตื่นตัวเป็นอย่างมากในเรื่องการศึกษาเกี่ยวกับภัยแผ่นดินไหวทั้งในภาครัฐและภาคเอกชน เช่น สำหรับภาครัฐมีการตรากฎหมายขึ้นมาบังคับใช้เกี่ยวกับอาคารที่ต้องต้านแรงแผ่นดินไหวและการจัดทำมาตรฐานแนะนำในการคำนวณเพื่อปลูกสร้างอาคาร และการระบุชัดเจนในสัญญาจ้างให้งานคำนวณอาคารต้องสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้สำหรับภาคเอกชน ซึ่งการคำนวณให้โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถรองรับแรงแผ่นดินไหวได้จะต้องมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากปกติโดยผลการศึกษาของ ประสาท หิริยุดา (2548) แสดงให้เห็นว่าราคางานโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่คำนวณให้ต้านทานแรงแผ่นดินไหวจะมีราคาต่ำกว่าก่อสร้างสูงกว่าอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่คำนวณให้รับแรงลมซึ่งเป็นแรงด้านข้างเช่นเดียวกันที่ 3 - 11 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ

ตามกฎกระทรวง “กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550” (ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 30 พฤศจิกายน 2550) ซึ่งเป็นกฎหมายที่บังคับใช้อยู่ในปัจจุบันได้กำหนดเขตพื้นที่ควบคุมที่ต้องคำนวณอาคาร โดยคิดแรงแผ่นดินไหวแบ่งออกได้เป็น 3 บริเวณตามระดับความเสี่ยงและความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่แตกต่างกันตั้งแต่เล็กน้อยไปจนถึงมากดังนี้ บริเวณเฝ้าระวัง ได้แก่ จังหวัดกระบี่ จังหวัดชุมพร จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดระนอง จังหวัดสงขลา และจังหวัดสุราษฎร์ธานี รวม 7 จังหวัด, บริเวณที่ 1 ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร รวม 5 จังหวัด และ บริเวณที่ 2 ได้แก่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดตาก จังหวัดน่าน จังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน และจังหวัดกาญจนบุรี รวม 10 จังหวัด

แต่โดยทั่วไปแล้วอาคารที่มีลักษณะเดียวกันแต่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยที่ต่างกันจะมีเพียงค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว (Z) และสัมประสิทธิ์การประสานความถี่ธรรมชาติระหว่าง

อาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S) เท่านั้นที่มีความแตกต่าง เช่น บริเวณที่ 1 $Z \geq 0.19$,บริเวณที่ 2 และบริเวณเฝ้าระวัง $Z \geq 0.38$ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S) จะแปรเปลี่ยนไปตามสภาพภูมิประเทศที่ตั้งอาคารจะตรวจสอบได้เมื่อมีการเจาะสำรวจสภาพชั้นดินแล้วเท่านั้นดังนั้นในงานวิจัยนี้จะกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร โดยกำหนดพื้นที่แผ่นดินไหวกรณีศึกษาที่ 1 เป็นพื้นที่บริเวณที่ 1; $Z=0.19$ และเป็นชนิดดินอ่อนมาก, กรณีศึกษาที่ 2 เป็นพื้นที่บริเวณที่ 1; $Z=0.19$ และเป็นชนิดดินอ่อน,กรณีศึกษาที่ 3 เป็นพื้นที่บริเวณที่ 2 และบริเวณเฝ้าระวัง; $Z=0.38$ เป็นชนิดดินอ่อน, กรณีศึกษาที่ 4 เป็นพื้นที่บริเวณที่ 2 และบริเวณเฝ้าระวัง; $Z=0.38$ เป็นชนิดดินแข็ง เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบทางด้านราคาของงาน โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวกับโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้คำนวณเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวและหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างกัน สำหรับสมมติฐานในการเลือกชั้นดินอ่อนในการวิเคราะห์เนื่องจากลักษณะดินอ่อน โดยนิยามแล้วจะมีลักษณะครอบคลุมพื้นที่ส่วนมากของประเทศ ส่วนดินอ่อนมากก็เป็นลักษณะพิเศษของชั้นดินในแอ่งกรุงเทพฯ เป็นต้น

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลกระทบเชิงเปรียบเทียบทั้งทางด้านขนาดและราคาของงาน โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีรูปแบบเดียวกันแต่สมมติให้อยู่ในพื้นที่เสี่ยงที่แตกต่างกัน ตามกฎกระทรวง 2550 เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของขนาด โครงสร้างและราคางานของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กกับพื้นที่บริเวณต่าง ๆ ทั้งสามประเภทบริเวณตามข้อกำหนดในกฎกระทรวงดังกล่าว นอกจากนี้ยังรวมถึงอาคารที่ไม่ได้คำนวณให้ต้านทานแรงแผ่นดินไหวด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความต่างของขนาดและราคางาน โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการคำนวณให้รองรับแรงต้านทานแผ่นดินไหวในพื้นที่ที่มีความรุนแรงและความเสี่ยงที่แตกต่างกัน
- 1.2.2 เพื่อหาค่าตัวแปรความสัมพันธ์สำหรับใช้ในการประมาณการงาน โครงสร้างของอาคารที่อยู่ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยเนื่องจากแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาเฉพาะงาน โครงสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 4 ชั้น ขนาด $11 \times 48 \times 17.1$ เมตร (กว้าง*ยาว*สูง) ซึ่งเป็นอาคารเรียนมาตรฐานของโรงเรียนในเครือสภาการศึกษาคาทอลิกมูลนิธิคณะสงฆ์พระมหาไถ่แห่งประเทศไทย ลักษณะ

อาคารเป็นอาคารเสา, คาน คอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ พื้นหล่อสำเร็จเทคอนกรีต
ทับหลัง หลังคาลาดฟ้าคสล. ฐานรากเสาเข็ม ฯลฯ

- 1.3.2 วิเคราะห์โครงสร้างอาคารโดยการใช้โปรแกรม ETABS 2013 V13.2.0
- 1.3.3 คำนวณ โครงสร้างอาคารโดยการใช้โปรแกรม ETABS 2013 V13.2.0 และ
โปรแกรม EXEL
- 1.3.4 พิจารณาแรงแผ่นดินไหวโดยอ้างอิงตามกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความ
ต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทาน
แรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 (ออกตามความในพระราชบัญญัติ
ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522) โดยแบ่งตัวอย่างออกเป็น 4 กลุ่มตัวอย่างได้แก่ บริเวณที่
ไม่ต้องพิจารณาแรงแผ่นดินไหว, บริเวณ บริเวณที่ 1 กรณีเป็นดินอ่อนมาก, บริเวณที่
1กรณีเป็นดินอ่อน และบริเวณที่ 2 รวมทั้งบริเวณเฝ้าระวังกรณีเป็นดินอ่อน และ ดิน
แข็ง
- 1.3.5 ศึกษาเปรียบเทียบการคำนวณงานโครงสร้างอาคารโดยอ้างอิงมาตรฐานของ วสท.
หรือ ACI-318 โดยวิธีกำลัง (STRENGTH DESIGN)
- 1.3.6 กำหนดการรับน้ำหนักบรรทุกตามข้อกำหนดในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.
2522 และ ตามมาตรฐานของ AISC 7-05

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1.4.1 ได้ตารางเปรียบเทียบความต่างของโครงสร้างอาคารที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก
การคำนวณให้รองรับแรงต้านทานแผ่นดินไหวในพื้นที่ที่มีความรุนแรงและความ
เสี่ยงที่แตกต่างกัน
- 1.4.2 ได้ค่าตัวแปรสำหรับใช้ในการประมาณการเบื้องต้นของงาน โครงสร้างในพื้นที่ที่มี
ความเสี่ยงเนื่องจากแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน
- 1.4.3 ได้ตารางแนะนำการคำนวณสำหรับวิศวกรทั่วไปสามารถนำไปเป็นแนวทางในการ
คำนวณโครงสร้างอาคารต้านแรงแผ่นดินไหวได้
- 1.4.4 เป็นแนวทางให้กับวิศวกรคำนวณและวิศวกรประมาณราคาใช้เป็นแนวทางในการ
ประมาณการราคางาน โครงสร้างสำหรับพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่ต่างกัน
โดยเฉพาะกับแบบมาตรฐานที่มาจากหน่วยงานส่วนกลาง

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแผ่นดินไหว

2.1.1 แผ่นดินไหวและรอยเลื่อนที่มีพลังในประเทศไทย

แผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติที่เกิดจากเคลื่อนตัวโดยจับปล้นของเปลือกโลกบริเวณขอบของแผ่นเปลือกโลกที่แนวแผ่นดินไหว เพราะหินในชั้นหลอมละลายที่อยู่ใต้เปลือกโลกได้รับความร้อนจากแกนโลก และลอยตัวผลักดันให้เปลือกโลกแต่ละชิ้นมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ โดยมีการสะสมพลังงานไว้ เมื่อพลังงานมีมากจึงชนและเสียดสีกันหรือแยกออกจากกัน โดยการสะสมของพลังงานที่เปลือกโลกจะถูกส่งผ่านไปยังเปลือกพื้นโลกของทวีป รอยร้าวของหินใต้พื้นโลกเรียกว่า “รอยเลื่อน” และหากรอยเลื่อนที่มีอยู่ได้รับแรงอัดมาก ๆ ก็จะทำให้เกิดแผ่นดินไหวได้เช่นเดียวกัน โดยรอยเลื่อนที่จะส่งผลให้เกิดผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย ได้แก่ แนวในมหาสมุทรอินเดีย สุมาตรา พม่า และรอยเลื่อนในประเทศพม่า จีนตอนใต้ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว รอยเลื่อนภายในประเทศส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันตก โดยรอยเลื่อนที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยมีทั้งสิ้น 9 แห่ง ได้แก่

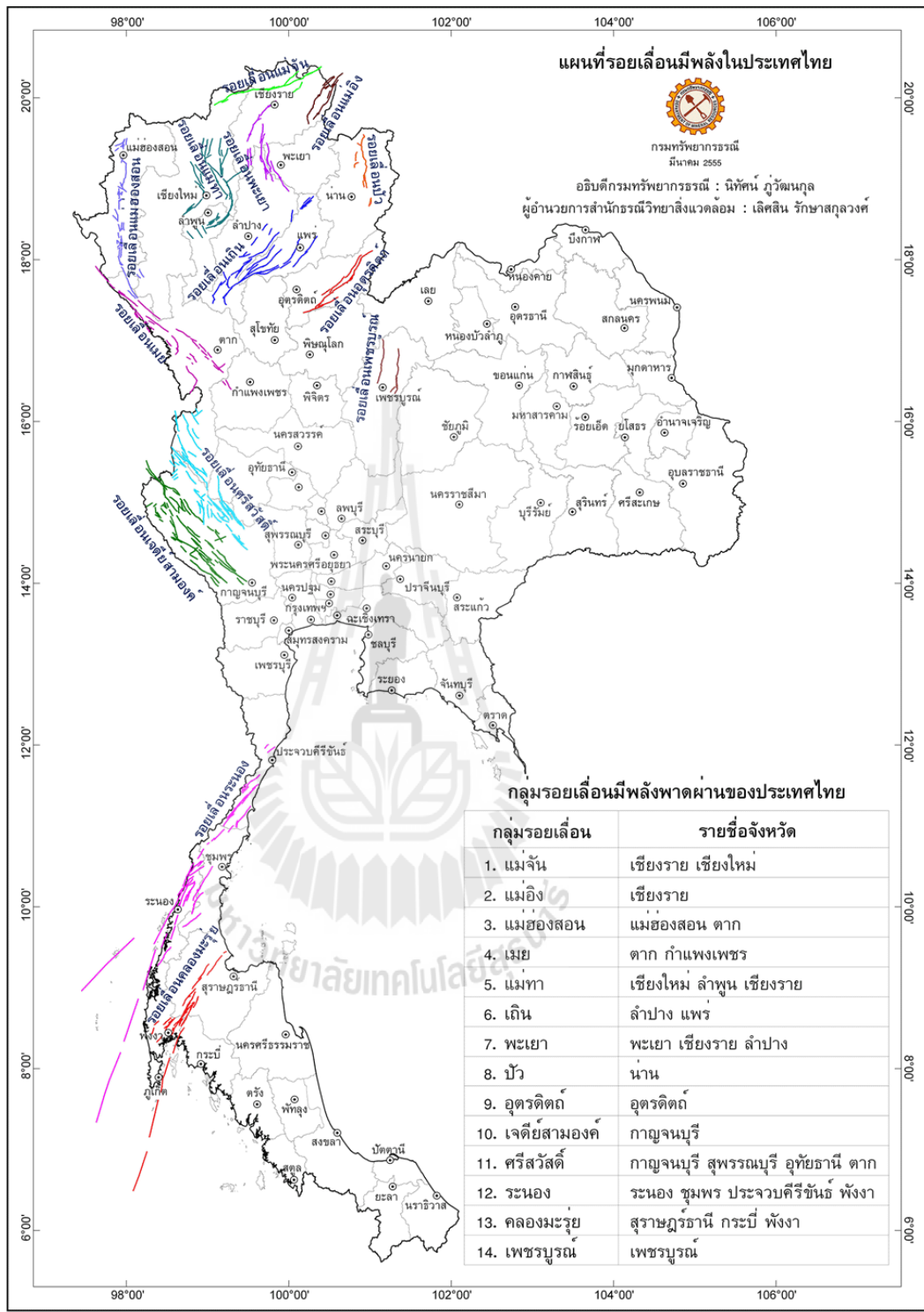
1. รอยเลื่อนเชียงแสน วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนบนสุดของประเทศ มีความยาวประมาณ 130 กิโลเมตร โดยเริ่มต้นจากแนวร่องน้ำแม่จันไปทางทิศตะวันออกเฉียง ผ่านอำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย แล้วข้ามด้านใต้ของอำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงรายไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือตามแนวลำน้ำเงิน ทางด้านเหนือของอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 มีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่กว่า 3 ริกเตอร์ เกิดตามแนว รอยเลื่อนนี้ 10 ครั้ง และ 3 ครั้งมีขนาดใหญ่กว่า 4.5 ริกเตอร์และเป็นแผ่นดินไหวที่เกิดในระดับตื้นกว่า 10 กิโลเมตร
2. รอยเลื่อนแพร์ อยู่ทางด้านตะวันออกของแอ่งแพร์ และวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเริ่มต้นจากด้านตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอเด่นชัย ผ่านไปทางด้านตะวันออกของอำเภอสูงเม่น และจังหวัดแพร่ ไปจนถึงด้านตะวันออกเฉียงเหนือของอำเภอร่องกวาง รวมความยาวทั้งสิ้นประมาณ 115 กิโลเมตร มีแผ่นดินไหวขนาด 3-4 ริกเตอร์ เกิดตามแนวรอยเลื่อนนี้กว่า 20 ครั้งในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา ส่วนแผ่นดินไหวขนาด 3 ริกเตอร์ ซึ่งเกิดเมื่อวันที่ 10

- กันยายน 2533 ที่ผ่านมา เกิดตามแนวรอยเลื่อน ซึ่งแยกจากรอยเลื่อนแพร์ไปทางทิศเหนือ
3. รอยเลื่อนแม่ทา มีแนวเป็นรูปโค้งตามแนวลำน้ำแม่วอง และแนวลำน้ำแม่ทาในเขตจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน มีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 55 กิโลเมตร
 4. รอยเลื่อนเถิน อยู่ทางทิศตะวันตกของรอยเลื่อนแพร์ โดยตั้งต้นจากด้านตะวันตกของอำเภอเถิน จังหวัดลำปางไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ ขนานกับรอยเลื่อนแพร์ไปทางด้านเหนือของอำเภอเถินไปทางตะวันออกเฉียงเหนือขนานกับรอยเลื่อนแพร์ไปทางด้านเหนือของอำเภอลำปาง และอำเภอลอง จังหวัดแพร่ รวมความยาวทั้งหมดประมาณ 90 กิโลเมตร เคยมีรายงานการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 3.7 ริกเตอร์บนรอยเลื่อนนี้ เมื่อวันที่ 23 ธันวาคม 2521
 5. รอยเลื่อนเมย-อุทัยธานี วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ ตั้งต้นจากลำน้ำเมยชายแดนไทยพม่า ด้านจังหวัดตาก บริเวณห้วยแม่ท้อ และลำน้ำปิงใต้ ผ่านจังหวัดกำแพงเพชร และนครสวรรค์ 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. รอยเลื่อนระนองวางตัวตามแนวร่องน้ำของแม่น้ำกระบุรี มีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 270 กิโลเมตร มีรายงานแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2521 มีขนาด 5.6 ริกเตอร์
 9. รอยเลื่อนคลองมะรุ่ยตัดผ่านด้านตะวันออกของเกาะภูเก็ต เข้าไปในอ่าวพังงา และตามแนวคลองมะรุ่ย คลองชะอุ่น และคลองพุมดวงทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

จนถึงอ่าวบ้านดอน ระหว่างอำเภอพนพิสัยกับอำเภอท่าฉาง จังหวัดสุราษฎร์ธานี รวม 150 กิโลเมตร บริเวณนี้เคยเกิดแผ่นดินไหวในปี 2476 ที่จังหวัดพังงา และทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ นอกฝั่งภูเก็ต เมื่อปี 2519 และ 2542

แผ่นดินไหวถือเป็นภัยพิบัติที่มนุษย์ไม่สามารถพยากรณ์ได้อย่างถูกต้อง แต่สิ่งที่จำเป็นในการเผชิญหน้ากับแผ่นดินไหว คือการเตรียมความพร้อมรับการเกิดแผ่นดินไหว การให้ความรู้แก่ประชาชน พร้อมกับการออกกฎหมายควบคุมสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ให้สามารถรองรับแรงแผ่นดินไหวตามสภาพพื้นที่ และต้องมีการวางแผนการจัดการที่ดีหากเกิดความเสียหายร้ายแรงหลังจากเกิดเหตุแผ่นดินไหว เพื่อลดความสูญเสียที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้





รูปที่ 2.1 แผนที่รอยเลือนที่มีพลังในประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2555)

2.1.2 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว

การเกิดแผ่นดินไหวอาจมีด้วยกันหลายสาเหตุดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว

เกิดภายในโลก	เกิดภายนอกโลก	ทั้งภายในและภายนอกโลก
<ul style="list-style-type: none"> -แผ่นดินไหวจากลอยเลื่อน -ระเบิดใต้ดิน -การไหลหมุนเวียนของน้ำใต้ดิน -การเคลื่อนตัวของหินหลอมละลาย -การเปลี่ยนแปลงสถานะใต้ดิน -การทำเหมือง -การยุบตัวใต้ดิน 	<ul style="list-style-type: none"> -ลม ความดันบรรยากาศ -คลื่นในทะเล -ความสั่นสะเทือนจากกิจกรรมของมนุษย์ ระเบิด เชื้อขนาดใหญ -การชนของอุกกาบาต 	<ul style="list-style-type: none"> -การระเบิดของภูเขาไฟ -แผ่นดินถล่ม

ตัวอย่างการเกิดแผ่นดินไหวโดยธรรมชาติ

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

ตัวอย่างการเกิดแผ่นดินไหวโดยการกระทำของมนุษย์

- เหตุการณ์ที่ควบคุมได้ เช่น การระเบิด หรือจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ เช่น การจลาจล เครื่องจักรเครื่องยนต์ การระเบิดบนพื้นผิวหรือใต้ดิน เป็นต้น
- แผ่นดินไหวจากการกระตุ้น (Induced or Triggered Events) เช่น การสร้างอ่างเก็บน้ำ การทำเหมือง การฉีดของเหลวลงใต้ดิน เป็นต้น

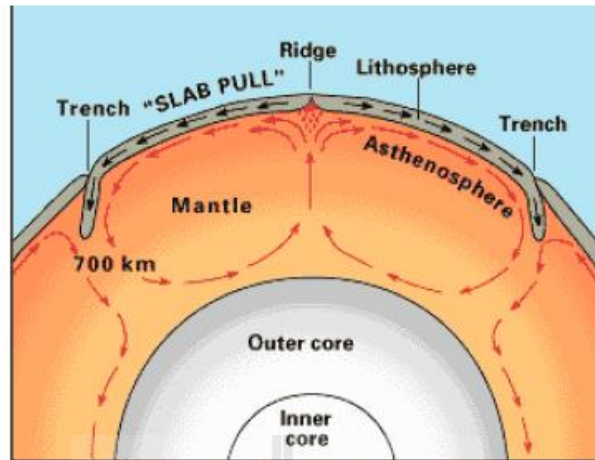
โดยทั่วไปแผ่นดินไหวที่ทำความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์เป็นจำนวนมาก ได้แก่แผ่นดินไหวซึ่งเกิดจากแรงเทคโทนิคในเปลือกโลก ปัจจัยที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวเนื่องจากแรงเทคโทนิคนี้ ได้แก่

ก. ลักษณะโครงสร้างของโลก ซึ่งสามารถแบ่งได้คร่าว ๆ เป็น 3 ส่วน คือ

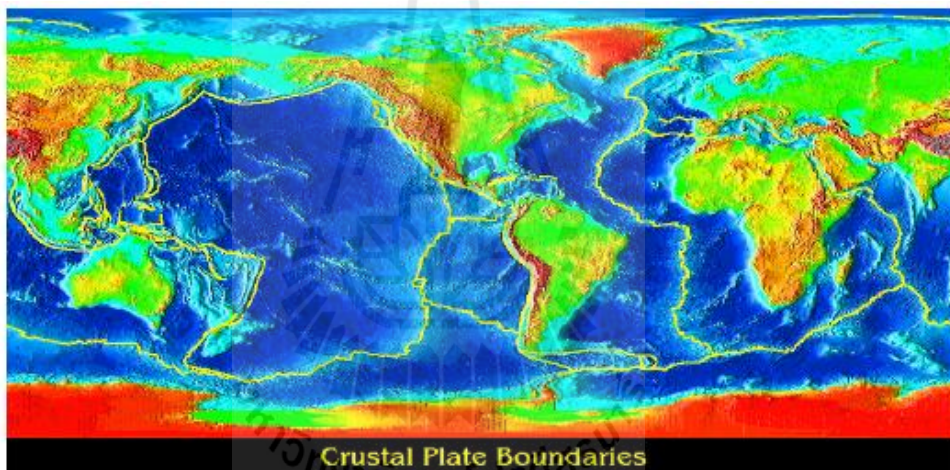
- ส่วนที่เป็นแกน โลกอยู่ลึกที่สุดและมีอุณหภูมิสูงมากซึ่งเป็นต้นกำเนิดทำให้ชั้นหินหลอมละลายมีการเคลื่อนตัว
- ส่วนที่เป็นชั้นหินหลอมละลาย เป็นของแข็งแต่มีคุณสมบัติของการเคลื่อนตัวคล้ายของเหลวแต่มีความเร็วช้ามากอยู่ในระดับหลายเซนติเมตรต่อปี
- ส่วนที่เป็นเปลือกโลก เปลือกโลกที่ห่อหุ้มโลกอยู่มีความหนาน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของโลก และไม่ได้เป็นชั้นเดียวกัน แบ่งออกเป็นชั้นใหญ่ๆ ได้ประมาณ 10 ชั้น

ข. การเคลื่อนตัวของเปลือกโลกชั้นต่าง ๆ

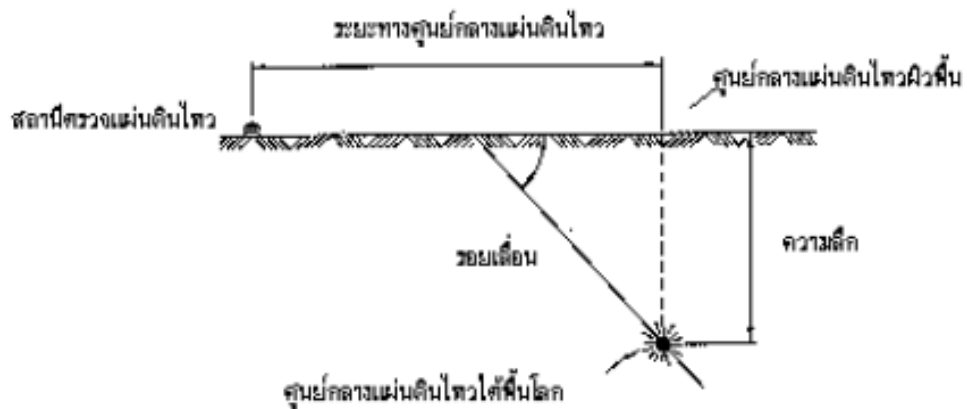
เนื่องจาก ชั้นหินหลอมละลายได้รับพลังงานความร้อนจากแกนโลกและลอยตัวขึ้นผลักดันเปลือกโลกอยู่ตลอดเวลา ดังรูปที่ x เปลือกโลกแต่ละชั้นจะมีทิศทางการเคลื่อนตัวต่าง ๆ กัน พร้อมกับสะสมพลังงานไว้ภายใน บริเวณตรงขอบของเปลือกโลกจึงเป็นส่วนที่มีการชนกันหรือเสียดสีกันหรือแยกจากกัน หากบริเวณขอบของชั้นเปลือกโลกใดๆ ที่ไม่สามารถทนแรงอัดได้ก็จะแตกหักและมีการเคลื่อนตัวโดยฉับพลัน หรือบางครั้งผลักดันให้เปลือกโลกอีกชั้นคดโค้งต้อจากนั้นเมื่อสะสมพลังงานมากก็จะติดตัวกลับเพื่อรักษาสมดุล กระตุ้นให้เกิดความสั่นสะเทือนแผ่กระจายไปทุกทิศทาง บริเวณนี้จะเป็นบริเวณที่มีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ โดยบริเวณขอบของแผ่นเปลือกโลกเป็นบริเวณแนวแผ่นดินไหวของโลกดังรูปที่ 2 หากพาดผ่านหรืออยู่ใกล้กับประเทศใด ประเทศนั้นจะมีความเสี่ยงต่อภัยแผ่นดินไหวค่อนข้างสูง เช่น ประเทศญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ ชิลี สหรัฐอเมริกา เป็นต้น นอกจากนั้นแรงที่สะสมในเปลือกโลกยังถูกส่งผ่านเข้าไปในพื้นที่บริเวณรอยร้าวของหินใต้พื้นโลกหรือที่เรียกว่า รอยเลื่อน (Fault) ในกรณีที่รอยเลื่อนใด ๆ ไม่สามารถทนแรงที่บดอัดได้ก็จะมี การเคลื่อนตัวอย่างฉับพลันเช่นกัน เพื่อปรับความสมดุลย์ของแรง กระตุ้นให้เกิดแผ่นดินไหว กระจายคลื่นความสั่นสะเทือนไปทุกทิศทาง เรียกบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวภายในเปลือกโลกใต้พื้นดินว่า ศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่แท้จริง (Hypocenter) และเรียกบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวตรงผิวพื้นข้างบนซึ่งสามารถกำหนดพิกัดเป็นตำบลที่ ละติจูดและลองจิจูด ว่าศูนย์กลางแผ่นดินไหวบนผิวพื้น



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนตัวของหินหลอมละลายได้เปลือกโลก (บุรินทร์ เวชบัณฑิต, 2548)



รูปที่ 2.3 แนวแผ่นดินไหวของโลก (บุรินทร์ เวชบัณฑิต, 2548)



รูปที่ 2.4 จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว (บุรินทร์ เวชบัณฑิต, 2548)

2.1.3 ปริมาณสำหรับการวัดแผ่นดินไหว

ขนาด (Magnitude)

เป็นปริมาณที่มีความสัมพันธ์กับพลังงานที่พื้นโลกปลดปล่อยออกมาในรูปของการสั่นสะเทือน คำนวณได้จากการตรวจวัดค่าความสูงของคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหว เป็นปริมาณที่บ่งชี้ขนาด ณ บริเวณจุดศูนย์กลาง ผู้เสนอแนวความคิดเรื่องขนาดของแผ่นดินไหวคนแรกคือ “ริคเตอร์” (C.F.Richter) ชาวอเมริกัน เมื่อ พ.ศ. 2473 เราจึงนิยมเรียกว่า “ขนาดแผ่นดินไหวตามมาตรา ริคเตอร์” 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) แสดงถึงปริมาณพลังงานของคลื่นแผ่นดินไหวได้ ดีกว่าขนาดอื่น 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

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

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

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

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

ตารางที่ 2.2 การคำนวณขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่าง ๆ

ขนาด	สูตรคำนวณ	คลื่น แผ่นดินไหว	ความยาวช่วงคลื่น (วินาที)	การตรวจวัด
ML	$\text{Log A} - \text{Log A}_0$	S	0.1-1.0	displacement
MB,mb	$\text{Log}(A/T) + Q(h,D)$	P	1.0-5.0	velocity
Ms	$\text{Log A} + 1.66 \text{Log D} + 2.0$	Surface	20	velocity
Mw	$(2/3 \text{log Mo}) - 10.7$	Surface	>200	velocity

มาตราวัดความรุนแรง (Intensity)

วัดจากความรู้สึกรู้สึกของคนและสัตว์หรือผลกระทบที่เกิดขึ้นกับอาคารสิ่งก่อสร้างสภาพภูมิประเทศที่เปลี่ยนไปเนื่องจากแผ่นดินไหว โดยเทียบหาอันดับความรุนแรงได้จากตารางสำเร็จที่บอกรายละเอียดของผลกระทบไว้เรียบร้อยแล้ว ความรุนแรงมีหลายมาตรา ได้แก่

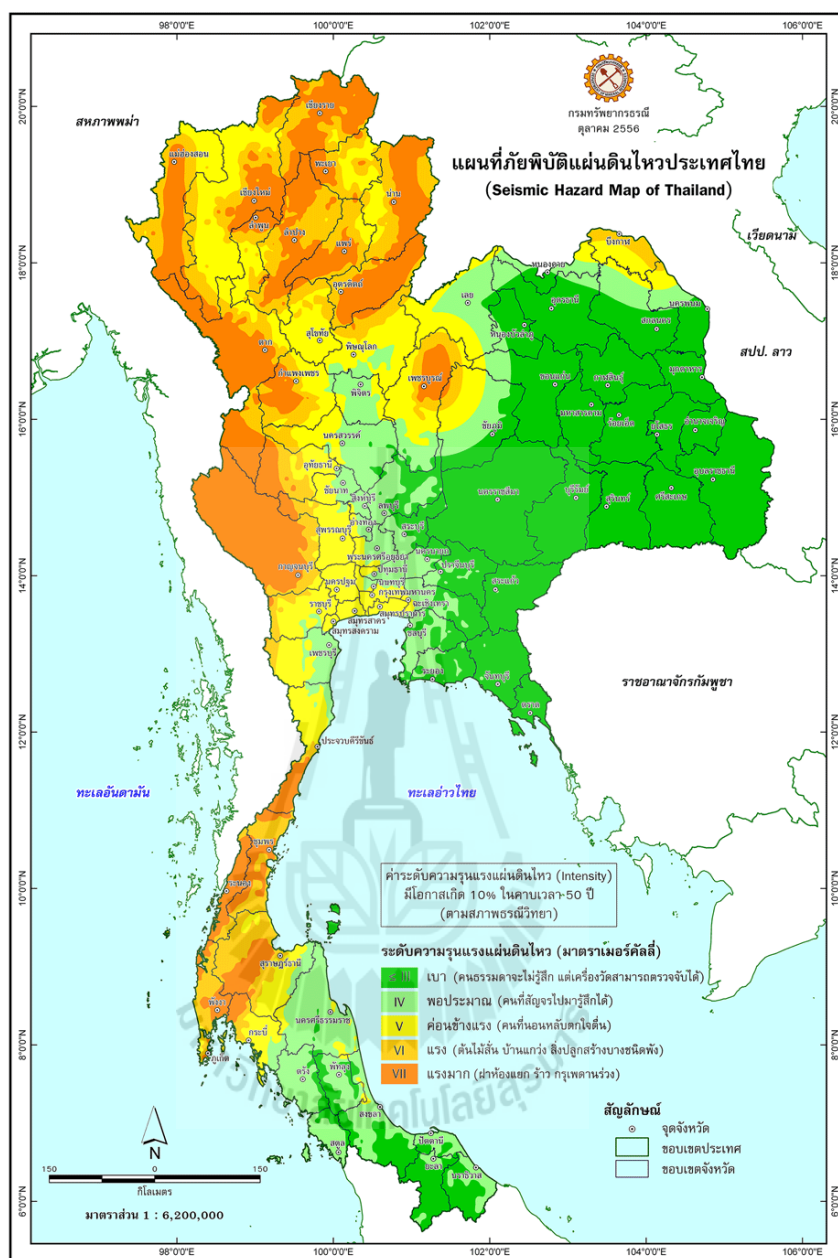
- มาตรารอสซี – ฟอเรล (Rossi - Forel:Rf Scale) แบ่งออกเป็น 10 อันดับ
- มาตรฐานเจเอ็มเอ (Japan Meteorological Agency : JMA Scale) แบ่งออกเป็น 8 อันดับ (0 - 7)
- มาตรฐานเมอร์แคลลีที่ปรับปรุงแล้ว (Modified Mercalli : MM Scale) แบ่งออกเป็น 12 อันดับ (I – XII) ตั้งแต่อันดับ I เป็นแผ่นดินไหวที่ไม่สามารถรู้สึกได้ นอกจากตรวจวัดได้ด้วยเครื่องตรวจแผ่นดินไหวเท่านั้น ไปจนถึงอันดับ XII เป็นแผ่นดินไหวที่ทำลายทุกสิ่งทุกอย่าง สำหรับประเทศไทยใช้มาตราวัดอันดับความรุนแรงตามมาตรฐานเมอร์แคลลีมาตราวัดอันดับความรุนแรงของความสั่นสะเทือนโดยเมอร์แคลลี (ปรับปรุงใหม่)

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

อันดับที่ ลักษณะความรุนแรงโดยเปรียบเทียบ

ตารางที่ 2.3 ลักษณะความรุนแรงของแผ่นดินไหวโดยเปรียบเทียบ

I	เป็นอันดับที่อ่อนมาก ตรวจวัดได้โดยเครื่องมือเท่านั้น
II	พอรู้สึกได้สำหรับผู้ที่อยู่นิ่ง ๆ ในอาคารสูง ๆ
III	พอรู้สึกได้สำหรับผู้ในบ้าน แต่คนส่วนใหญ่ยังไม่รู้สึก
IV	ผู้ในบ้านรู้สึกว่าจะของในบ้านสั่นไหว
V	รู้สึกเกือบทุกคนของในบ้านเริ่มแกว่งไกว
VI	รู้สึกได้กับทุกคนของหนักในบ้านเริ่มเคลื่อนไหว
VII	ทุกคนต่างตกใจ สิ่งก่อสร้างเริ่มปรากฏความเสียหาย
VIII	เสียหายค่อนข้างมากในอาคารธรรมดา
IX	สิ่งก่อสร้างที่คำนวณไว้อย่างดี เสียหายมาก
X	อาคารพัง รางรถไฟบิดงอ
XI	อาคารสิ่งก่อสร้างพังทลายเกือบทั้งหมด ผิวโลกปูคูดุนและเลื่อนเป็นคลื่นพื้นดินอ่อน
XII	ทำลายหมดทุกอย่าง มองเห็นเป็นคลื่นบนแผ่นดิน

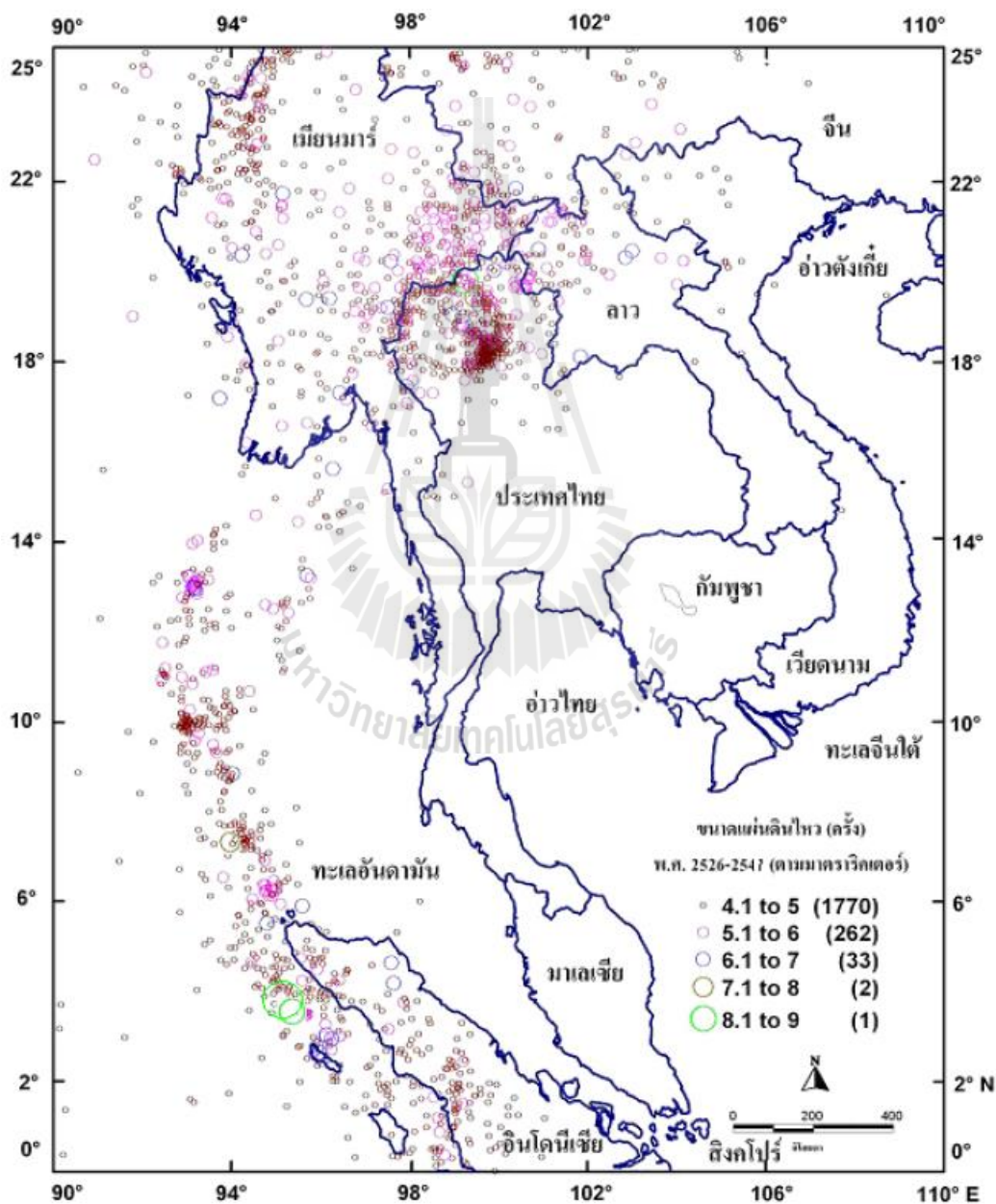


รูปที่ 2.5 แผนที่ภัยพิบัติแผ่นดินไหวในประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2556)

2.1.4 สถิติแผ่นดินไหวในประเทศไทย

แผ่นดินไหวในประเทศไทยนั้นมีการรวบรวมสถิติข้อมูลในอดีตจากหลายแหล่งข้อมูล เช่น ศิลาจารึกพงศาวดาร ปฐม จดหมายเหตุ สิ่งพิมพ์ อื่น ๆ พบว่าเริ่มต้นบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวในลักษณะของความรุนแรงแผ่นดินไหว (Intensity) ส่วนใหญ่บรรยายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นของแผ่นดินไหวและความเสียหายที่เกิด ในช่วงตั้งแต่ 624 ปีก่อนคริสต์ศักราช จนถึงราวปี พ.ศ. 2443

เป็นต้นมา จึงเริ่มมีข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือของเครือข่ายสถานีตรวจแผ่นดินไหวต่างประเทศ แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นแผ่นดินไหวจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวภายในประเทศตรงบริเวณแนวรอยเลื่อนของภาคตะวันตกและภาคเหนือ กับจากแหล่งกำเนิดรอยเลื่อนบริเวณตอนใต้ของประเทศจีน ประเทศพม่า สาธารณรัฐประชาชนจีน ทะเลอันดามัน และบริเวณเกาะสุมาตรา โดยเฉลี่ยเกิดแผ่นดินไหวรู้สึกได้ประมาณปีละ 5-6 ครั้ง



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวในประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง (บุรินทร์ เวชบัณฑิต, 2548)

2.1.5 อันตรายและความเสียหายจากการเกิดแผ่นดินไหว

การเกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดและความรุนแรงมาก ย่อมก่อให้เกิดอันตรายและผลเสียหาย
ดังนี้

1. ประชาชนที่อยู่ในบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหว จะเกิดความตื่นตระหนกตกใจ เสียขวัญ อาจมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน หรือได้รับบาดเจ็บอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ เนื่องจากสิ่งของสิ่งปลูกสร้าง หรืออาคารบ้านเรือนหล่นทับ หรือจากอค์คิภัย อุทกภัย
2. อาคารบ้านเรือน เครื่องใช้ อุปกรณ์ สิ่งก่อสร้างต่างๆ สั่นไหวโยกคลอนเปลี่ยนรูปร่าง หักพังทลายลงมา ถนนหนทางถูกทำลาย แผ่นดินแตกแยกมีการทรุดตัวหรือเลื่อนไหลลดมุมทางรถไฟบิด โค้งงอใช้การไม่ได้ อุปกรณ์บริการสาธารณูปโภคต่างๆ ถูกทำลาย เช่น เสาไฟฟ้า โทรศัพท ่ ท่อน้ำประปา ฯลฯ
3. ผลเสียหายจากการเกิดอค์คิภัยและอุทกภัย เมื่อเกิดแผ่นดินไหว เครื่องใช้และอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะไฟในครัวมักล้ม หล่น ตกแตก ทำให้เชื้อเพลิงลุกลามกระจายไปไหม้สิ่งของ และบ้านเรือน ได้อย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดอันตรายและความสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินได้ สำหรับแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรง และเกิดขึ้นบริเวณใกล้ฝั่งหรือในท้องทะเลลึกทำให้เกิดคลื่นใต้น้ำที่มีความเร็วและพลังรุนแรง ซัดโถมเข้าสู่ฝั่งกวาดบ้านเรือน และผู้คนจมหายไปทะเลได้เป็นจำนวนมาก
4. ผลกระทบต่อเศรษฐกิจหลังจากเกิดแผ่นดินไหวแล้ว ทางราชการหรือหน่วยงานต่างๆ ต้องเสียค่าใช้จ่าย เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยเป็นเงินจำนวนมาก นอกจากนี้ปัญหาการชะงักหรือความล่าช้าในการติดต่อสื่อสาร ย่อมมีผลกระทบต่อธุรกิจการค้าต่าง ๆ เป็นอย่างมากอีกด้วย

2.1.6 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายจากแผ่นดินไหว

มีปัจจัยหลายประเภทซึ่งเป็นองค์ประกอบสำหรับพิจารณาในเรื่องของความเสียหายมากหรือน้อยจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว ได้แก่

ขนาดและแหล่งกำเนิด

แผ่นดินไหวที่อยู่ในแนวแผ่นดินไหวโลก และเกิดจากแรงเทคโทนิคภายในเปลือกโลก โดยเฉพาะบริเวณที่มีการชนกันของเปลือกโลกมักทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ แผ่นดินไหวที่เกิดจากแนวรอยเลื่อนที่มีความยาวมาก ๆ จะมีศักยภาพทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ แผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระตุ้นของมนุษย์ มักมีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กถึงปานกลาง เช่นการทำ

เหมือน การสร้างเขื่อน เป็นต้น แผ่นดินไหวที่อยู่ในแนวแผ่นดินไหวโลก และเกิดจากแรงเทคโทนิกภายในเปลือกโลก โดยเฉพาะบริเวณที่มีการชนกันของเปลือกโลกมักทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ แผ่นดินไหวที่เกิดจากแนวรอยเลื่อนที่มีความยาวมากๆ จะมีศักยภาพทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ แผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระตุ้นของมนุษย์ มักมีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กถึงปานกลาง เช่น การทำเหมือง การสร้างเขื่อน เป็นต้น

ระยะทาง

โดยปกติแผ่นดินไหวที่มีขนาดเท่ากันแต่ระยะทางต่างกัน ระยะทางใกล้กว่าย่อมมีความสั่นสะเทือนของพื้นดินมากกว่ามีศักยภาพของภัยมาก ยกเว้นในกรณีคลื่นยักษ์ได้นำมาเกิดจากศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่อยู่ไกล

ความลึกของแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหวซึ่งมีความลึกไม่มากหรือแผ่นดินไหวผิวพื้นจะก่อความเสียหายได้มากกว่าแผ่นดินไหวซึ่งมีความลึกหลายร้อยกิโลเมตร ตัวอย่างเช่น แผ่นดินไหวผิวพื้นที่เกิดจากกระตุ้นของการทำเหมืองในประเทศแอฟริกาใต้มีขนาดประมาณ 5 ริกเตอร์ แต่เนื่องจากมีความลึกไม่ถึง 1 กิโลเมตร ก่อความเสียหายทำให้สิ่งก่อสร้างบริเวณใกล้เคียงพังทลายลง

ทิศทางการเคลื่อนตัวของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว

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

เวลาเกิด

เวลาเกิดของแผ่นดินไหวมีผลกระทบต่อความเสียหาย เนื่องจากกิจกรรมบางอย่างที่มนุษย์กระทำหรืออยู่ร่วมกัน มีทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ดังนั้นหากเกิดแผ่นดินไหวในช่วงที่มีกิจกรรมดังกล่าวโอกาสหรือความเสี่ยงที่จะมีความเสียหายรุนแรงเพิ่มขึ้น

ความยาวนานของแผ่นดินไหว

เมื่อเกิดแผ่นดินไหวที่มีความสั่นสะเทือนกินเวลาหลายวินาที ความเสียหายจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวประกอบด้วยคลื่นความสั่นสะเทือนหลายความยาวช่วงคลื่นหรือหลายความถี่ ในกรณีที่แผ่นดินไหวมีความสั่นสะเทือนยาวนาน ณ ความถี่ที่ตรงกับค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารสิ่งก่อสร้างจะช่วยเสริมให้เกิดความเสียหายรุนแรงต่อโครงสร้างได้

ตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว

ตำแหน่งของศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่อยู่ในบริเวณรกร้าง ในป่าเขา ในทะเล มหาสมุทร ไกลจากชุมชนมาก ความสั่นสะเทือนที่เกิดย่อมมีอันตรายน้อยกว่า แผ่นดินไหวที่มีจุดศูนย์กลางใกล้ชุมชน

สภาพทางธรณีวิทยา

สภาพทางธรณีวิทยามีส่วนอย่างมากในการก่อความเสียหายจากความสั่นสะเทือน บริเวณที่มีการดูดซับพลังงานจากความสั่นสะเทือน ได้มากหรือมีค่าการลดทอนพลังงานมาก (High Attenuation) จะได้รับความเสียหายน้อย เช่น ในบริเวณที่เป็นหินแข็ง แต่ในบริเวณที่เป็นดินอ่อนจะช่วยขยายการสั่นสะเทือนของพื้นดินได้มากกว่าเดิมหลายเท่า และความเสียหายจะเพิ่มขึ้นมาก เช่น ในกรณีของแผ่นดินไหวที่ประเทศเม็กซิโก เมื่อปี ค.ศ. 1985 และในกรณีของประเทศไทย พื้นดินใต้กรุงเทพมหานคร เป็นดินอ่อน มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับพื้นดินใต้เม็กซิโกซึ่งสามารถขยายความรุนแรงของการสั่นไหวได้ จากการศึกษาวิจัยพบว่า พื้นดินกรุงเทพมหานครขยายความสั่นสะเทือนได้ดีที่ ความถี่ประมาณ 1 Hz

ความแข็งแรงของอาคาร

อาคารที่สร้างได้มาตรฐานมั่นคงแข็งแรง มีการคำนวณและก่อสร้างให้ต้านแผ่นดินไหว จะสามารถทนต่อแรงสั่นสะเทือนได้ดี เมื่อเกิดแผ่นดินไหวจะเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้อยู่อาศัยได้ในระดับหนึ่ง

การเตรียมพร้อม

บริเวณใดหรือประเทศใดที่มีการเตรียมพร้อมรับมือกับภัยแผ่นดินไหวได้ดี ก่อนที่จะเกิดภัยย่อมสามารถลดหรือบรรเทาภัยแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นได้ ตัวอย่างของ การเตรียมพร้อมรับมือภัยแผ่นดินไหว ได้แก่ การมีมาตรการและระบบจัดการที่เหมาะสมในอาคารสำหรับเผชิญภัยแผ่นดินไหว การออกกฎหมายควบคุมอาคารให้ต้านรับแผ่นดินไหวตามความเหมาะสมกับความเสี่ยง การจัดผังเมือง กำหนดย่านชุมชนให้ห่างจากบริเวณที่มีความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวสูง การประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนทราบถึงภัยแผ่นดินไหว วิธีปฏิบัติก่อนเกิด ขณะเกิด และหลังเกิดแผ่นดินไหว การศึกษา วิเคราะห์ วิจัยในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินไหวและวิศวกรรมแผ่นดินไหว การพัฒนา ดัดตั้งเครื่องมือตรวจวัดให้ทันสมัยเพื่อ การศึกษา และการพยากรณ์

2.1.7 เขตแผ่นดินไหวในประเทศไทย

แนวแผ่นดินไหวในประเทศไทยที่มักมีผลกระทบให้เกิดความเสียหาย มักจะผ่านทางด้านตะวันตก ตั้งแต่เหนือจรดใต้ บริเวณ พรมแดนไทย-พม่า จากอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ผ่านมาทาง

ด้านเจดีย์สามองค์ และอำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี หากจะแบ่งเขตที่ได้รับผลกระทบจาก แผ่นดินไหว อาจแบ่งได้เป็น 3 เขต คือ

1. เขตพื้นที่ 0 ได้แก่ บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ผลกระทบที่เกิดขึ้นคือ อาคารอาจสั่นไหวบ้าง แต่ไม่มีอันตราย (No damage)
2. เขตพื้นที่ 1 ได้แก่ บริเวณภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ บางส่วนผลกระทบที่เกิดขึ้น คือ อาคารอาจเสียหายบ้าง (Minor damage)
3. เขตพื้นที่ 2 ได้แก่ บริเวณภาคตะวันตกตั้งแต่เหนือจรดใต้ บริเวณพรมแดนไทย-พม่า หากแผ่นดินไหวเกิดขึ้นบริเวณนี้ อาคารจะเสียหายปานกลาง (Moderate damage)

2.2 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทย

2.2.1 ความเป็นมาของ กฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550

ก่อนที่กฎกระทรวงแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 จะประกาศบังคับใช้นั้น ได้มีกฎกระทรวงเกี่ยวกับการควบคุมการก่อสร้างอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวแล้ว คือ กฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 อันถือได้ว่าเป็นกฎหมายเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวฉบับแรกของประเทศไทย จุดเริ่มต้นของการออกกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) มาจากเหตุแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 22 เมษายน 2526 ที่มีศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่บริเวณเหนือเขื่อนศรีนครินทร์ในจังหวัดกาญจนบุรี เหตุครั้งนั้นทำให้อาคารหลายหลังในกรุงเทพมหานคร สั่นสะเทือน ประชาชนจำนวนมากรับรู้ถึงแรงสั่นสะเทือนครั้งนั้นได้ และตื่นตระหนกกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัย กรมโยธาธิการโดยคณะกรรมการควบคุมอาคาร (ซึ่งเป็นคณะกรรมการที่รับผิดชอบในการให้คำแนะนำรัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยในการออกกฎระเบียบและข้อบังคับเกี่ยวกับการควบคุมอาคารให้มีความปลอดภัย) ตัดสินใจร่างกฎกระทรวงวางข้อกำหนดเกี่ยวกับความมั่นคงแข็งแรงของอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวขึ้น การยกร่างกฎกระทรวงแล้วเสร็จเมื่อต้นปี 2529 การยกร่างได้อาศัยข้อมูลเชิงเทคนิคจากประมวลข้อบังคับอาคาร Uniform Building Code ของประเทศสหรัฐอเมริกา ปี 2528 ซึ่งในร่างได้กำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวรวมทั้งสิ้น 53 จังหวัด แต่ปรากฏว่าร่างดังกล่าวไม่ผ่านการพิจารณาของคณะรัฐมนตรี และได้ส่งร่างกลับไปให้กรมโยธาธิการพิจารณาทบทวนและแก้ไข โดยเฉพาะการพิจารณาเกี่ยวกับผลกระทบเชิงเศรษฐกิจที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างต้องสูงขึ้น รวมทั้งในขณะนั้นหลาย

ฝ่ายต่างมีความเห็นว่าประเทศไทยไม่น่าจะมีความเสี่ยงต่อภัยแผ่นดินไหว และหลังจากที่ได้มีการศึกษาและทบทวนในเรื่องต่างๆ แล้ว คณะกรรมการควบคุมอาคารได้แก้ไขร่างโดยลดพื้นที่เสี่ยงภัยลงเหลือเพียง 10 จังหวัด (เฉพาะพื้นที่ตามแนวรอยเลื่อนต่างๆภายในประเทศ ได้แก่ พื้นที่ในภาคเหนือ 9 จังหวัดและจังหวัดกาญจนบุรี) และลดรายละเอียดเชิงเทคนิคลง เพื่อให้ข้อกำหนดในร่างสามารถนำไปใช้ปฏิบัติได้อย่างแท้จริง รวมทั้งเมื่อวันที่ 11 กันยายน 2537 ได้เกิดเหตุแผ่นดินไหวขนาด 5.1 ริกเตอร์ มีศูนย์กลางอยู่ห่างจากอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ประมาณ 20 กิโลเมตร เหตุการณ์ครั้งนั้นทำให้อาคารหลายหลังในอำเภอพานได้รับความเสียหาย อันเป็นส่วนผลักดันให้ร่างผ่านการพิจารณาของคณะรัฐมนตรีและเข้าสู่กระบวนการในการออกกฎกระทรวง จนได้ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2540 และมีผลบังคับใช้ในวันนั้น รวมระยะเวลาในการออกกฎกระทรวงที่ยาวนานกว่า 14 ปี

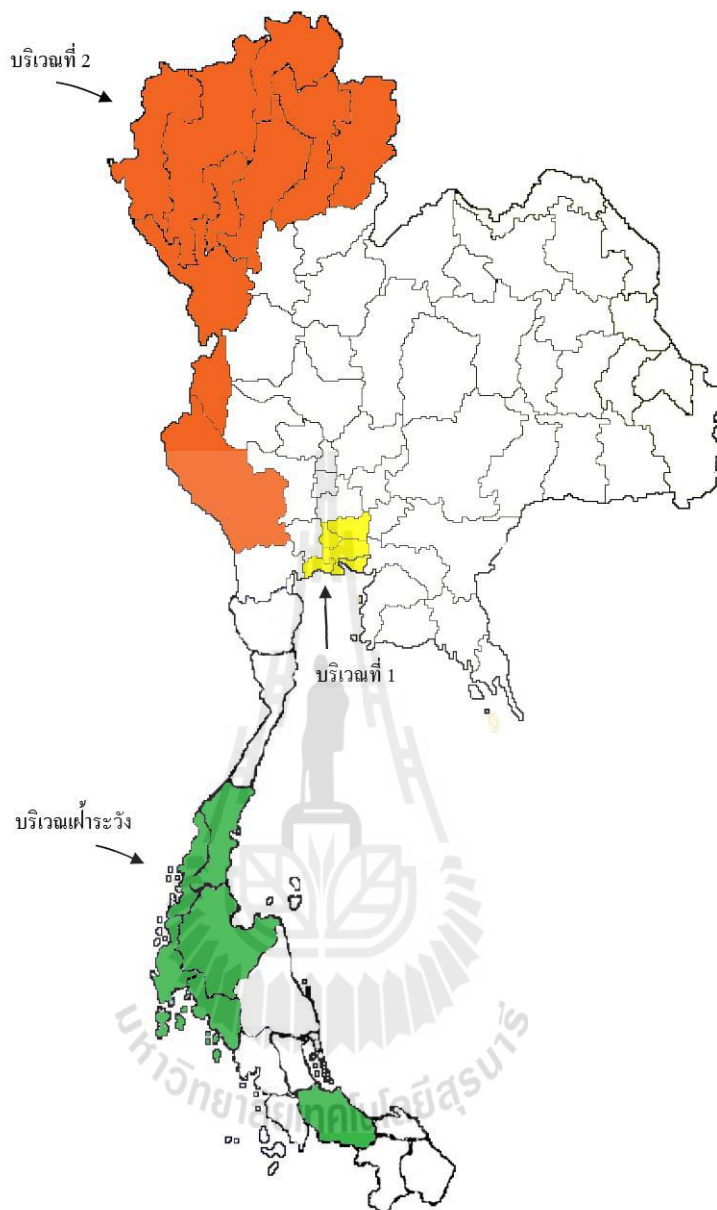
หลังจากกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ฯ ประกาศใช้บังคับได้ระยะเวลาหนึ่ง ในปี 2545 คณะกรรมการแผ่นดินไหวแห่งชาติได้เสนอคณะกรรมการควบคุมอาคารให้พิจารณาปรับปรุงกฎกระทรวงฉบับดังกล่าว โดยขอให้ขยายพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวให้ครอบคลุมถึงพื้นที่กรุงเทพมหานคร และเขตปริมณฑล เนื่องจากชั้นดินฐานรากในพื้นที่ดังกล่าวเป็นดินเหนียวอ่อน ที่สามารถขยายแรงสั่นสะเทือนให้รุนแรงขึ้นได้หลายเท่า ทำให้อาคารและสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่ดังกล่าวมีความเสี่ยงในลักษณะที่เรียกว่า “ความเสี่ยงต่อแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ระยะไกล” ซึ่งคณะกรรมการแผ่นดินไหวแห่งชาติได้ยกกรณีเหตุแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2528 ที่มีขนาด 8.1 ริกเตอร์ และมีศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่ห่างจากกรุงเม็กซิโกถึง 350 กิโลเมตร แต่แผ่นดินไหวครั้งนั้นได้สร้างความเสียหายกับกรุงเม็กซิโกอย่างรุนแรง มีผู้เสียชีวิตกว่าหนึ่งหมื่นคน มูลค่าทรัพย์สินเสียหายกว่า 5 พันล้านเหรียญสหรัฐ โดยผลการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญแผ่นดินไหวสรุปได้ว่า ความเสียหายอย่างรุนแรงเกิดขึ้นเพราะสภาพดินฐานรากของกรุงเม็กซิโกเป็นดินเหนียวอ่อน ซึ่งมีคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ที่สามารถขยายคลื่นสั่นสะเทือนให้รุนแรงขึ้น นอกจากนี้การที่กรุงเทพมหานครเป็นศูนย์กลางความเจริญของประเทศและมีชุมชนอยู่อย่างหนาแน่น หากมีความเสียหายเกิดขึ้นจากแผ่นดินไหวจะส่งผลกระทบต่อสภาพสังคมและเศรษฐกิจของประเทศอย่างรุนแรง คณะกรรมการควบคุมอาคารจึงได้พิจารณาแก้ไขปรับปรุงข้อกำหนดในกฎกระทรวง 49 (พ.ศ. 2540) ฯ ให้มีความเหมาะสมมากขึ้น ซึ่งใช้เวลาในการกร่างประมาณ 2 ปี และใช้เวลาตามกระบวนการในการออกกฎกระทรวงอีกประมาณ 2 ปี จนกระทั่งได้ออกเป็นกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 โดยกฎกระทรวงฉบับนี้ได้ยกเลิกกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ฯ ทั้งฉบับ และมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 30 พฤศจิกายน 2550

2.2.2 เนื้อหาโดยสรุปของกฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550

กฎกระทรวงแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 กำหนดให้อาคารบางประเภทในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวจะต้องมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้ในระดับที่เหมาะสม โดยพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่กำหนดในกฎกระทรวงสามารถแยกออกได้เป็น 3 บริเวณตามระดับความเสี่ยงภัยจากน้อยไปมาก 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 จังหวัดพะเยาจังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน และจังหวัดกาญจนบุรี รวม 10 จังหวัด

โดยการเปรียบเทียบพื้นที่เสี่ยงภัยและตำแหน่งรอยเลื่อนมีพลังของกรมทรัพยากรธรณีแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 บริเวณที่มีผลบังคับใช้ตามกฎหมายกระทรวงฯ พ.ศ. 2550 (สรกานต์ ศรีทองอ่อน,2556)

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 ผู้คำนวณและคำนวณโครงสร้างสามารถใช้สูตรการคำนวณอย่างง่ายที่กำหนดในกฎ กระทรวงได้ แต่หากอาคารมีรูปทรงที่ซับซ้อน ผู้คำนวณและคำนวณต้องใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ (Structural Dynamic) และผู้คำนวณคำนวณต้องได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ตั้งแต่ระดับสามัญวิศวกร ขึ้นไป และนอกจากวิธีการคำนวณแล้วกฎกระทรวงยังกำหนดให้ผู้คำนวณและคำนวณโครงสร้าง ต้องพิจารณาและปฏิบัติในบางเรื่อง เช่นการให้รายละเอียดชิ้นส่วน โครงสร้างเพื่อให้โครงสร้างสามารถโยกตัวได้มากขึ้นเมื่อเกิดแผ่นดินไหว (ชิ้นส่วน โครงสร้างที่มีความเหนียว) โดยรายละเอียดเชิงเทคนิคในเรื่องดังกล่าวให้ เป็นไปตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง

2.3 ความรู้ทั่วไปในการคำนวณโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว

2.3.1 การคำนวณแรงเฉือนที่กระทำต่ออาคาร จากแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว ตามกฎกระทรวงฉบับใหม่ พ.ศ. 2550 โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

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

$$V = ZIKCSW$$

โดย

- Z คือ สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว
- I ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร
- K สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ
- C สัมประสิทธิ์ของคาบการสั่นไหวของโครงสร้าง
- 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 $Z \geq 0.38$

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	1.50
2. อาคารที่เป็นที่ชุมนุมคนครั้งหนึ่งๆ ได้มากกว่าสามร้อยคน	1.25
3. อาคารอื่นๆ	1.00

สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ (K)

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ (K)

ระบบและชนิดโครงสร้างรับแรงในแนวราบ	ค่าของ K
1. โครงสร้างซึ่งได้รับการคำนวณให้กำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall) หรือ โครงสร้างแกน (Braced Frame) ต้านแรงทั้งหมดในแนวราบ	1.33
2. โครงสร้างซึ่งได้รับการคำนวณให้โครงสร้างดัดที่มีความเหนียว (Ductile Moment-Resisting Frame) ต้านแรงทั้งหมดในแนวราบ	0.67
3. โครงสร้างซึ่งได้รับการคำนวณให้โครงสร้างดัดที่มีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงสร้างแกนต้านแรงในแนวราบ โดยมีข้อกำหนดในการคำนวณคำนวณ ดังนี้ (ก) โครงสร้างดัดที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงในแนวราบทั้งหมด (ข) กำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงสร้างแกนเมื่อแยกเป็นอิสระจากโครงสร้างดัดที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ทั้งหมด (ค) โครงสร้างดัดที่มีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงสร้างแกน	0.80

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

ระบบและชนิดโครงสร้างรับแรงในแนวนอน	ค่าของ K
ต้องสามารถต้านแรงในแนวนอนได้ทั้งหมด โดยสัดส่วนของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างแต่ละระบบ ให้เป็นไปตามสัดส่วนความคงตัว (Rigidity) โดยคำนึงถึงการถ่ายเทของแรงระหว่างโครงสร้างทั้งสอง	
4. หอถ้ำน้ำ รองรับด้วยเสาไม่น้อยกว่า 4 ต้น และมีแกนแข็งและไม่ได้ตั้งอยู่บนอาคาร หมายเหตุ ผลคูณระหว่างค่า K กับค่า C ให้ใช้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.12 และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.25	2.5
5. โครงต้านแรงค้ำที่มีความเหนียวจำกัดและโครงอาคารระบบอื่น ๆ นอกจากโครงอาคารตาม (1) (2) (3) หรือ (4)	1.0

สัมประสิทธิ์ของคาบการสั่นไหวของโครงสร้าง (C)

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

โดย

T คือ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร, วินาที
สำหรับอาคารทั่วไป

$$T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{D}}$$

สำหรับอาคารที่มีโครงต้านแรงค้ำที่มีความเหนียว

$$T = 0.10 \text{ N}$$

h_n = ความสูงของพื้นอาคารชั้นสูงสุดวัดจากระดับพื้นดิน, m

D = ความกว้างของโครงสร้างของอาคารในทิศทางขนานกับแรงแผ่นดินไหว, m

N จำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S)

ตารางที่ 2.6 สัมประสิทธิ์การประสานความถี่ธรรมชาติของอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S)

ลักษณะของชั้นดิน	ค่าของ S
(๑) หิน	1.0
(๒) ดินแข็ง	1.2
(๓) ดินอ่อน	1.5
(๔) ดินอ่อนมาก	2.5

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

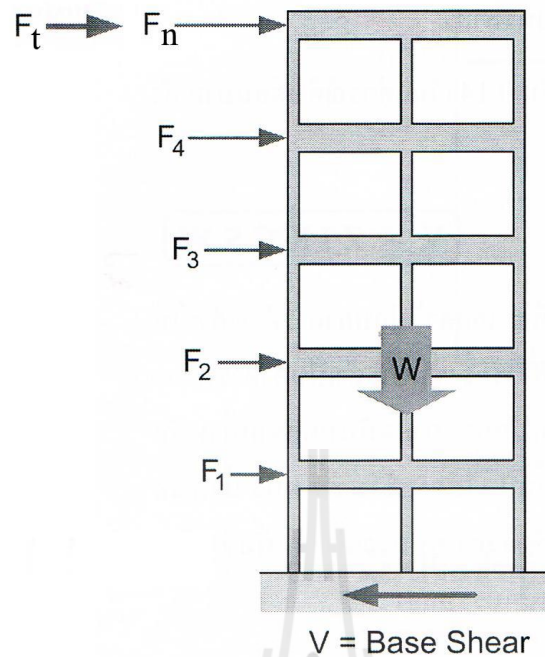
“ดินแข็ง” หมายถึง ดินลักษณะแข็งซึ่งความลึกของชั้นดินมากกว่า 60 เมตร ที่ทับอยู่เหนือชั้นหิน และต้องเป็นดินที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือดินเหนียวแข็ง

“ดินอ่อน” หมายถึง ดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลางที่หนามากกว่า 9 เมตร อาจจะมีชั้นทรายคั่นอยู่หรือไม่ก็ได้

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

หมายเหตุ สำหรับชั้นดินแบบหิน หรือ ดินแข็ง หรือ ดินอ่อน ผลคูณของ C และ $S \leq 0.14$ สำหรับชั้นดินแบบดินอ่อนมาก ผลคูณของ C และ $S \leq 0.26$

เมื่อได้ค่าแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน (V) แล้ว ให้กระจายออกเป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่างๆ ดังภาพที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การกระจายค่า V เป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ
(สรกานต์ ศรีตองอ่อน, 2556)

โดยที่

F_t คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร
ถ้า คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร (T) ≤ 0.7 วินาที

$$F_t = 0$$

ถ้า คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร (T) > 0.7 วินาที

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

F_x คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ ของอาคาร

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

- F_t คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร
- F_x คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นที่ชั้นที่ x ของอาคาร
- T คือ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร มีหน่วยเป็นวินาที
หาค่าได้จากสูตรในข้อ ๑๐
- V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน
- w_x, w_i คือ น้ำหนักของพื้นอาคารชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ
- h_x, h_i คือ ความสูงจากระดับพื้นดินถึงพื้นที่ชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ
- $i = 1$ สำหรับพื้นที่ชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นที่ชั้นล่างของอาคาร
- $x = 1$ สำหรับพื้นที่ชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นที่ชั้นล่างของอาคาร
- $\sum_{i=1}^n w_i h_i$ คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างน้ำหนักกับความสูงจากพื้นที่ชั้นที่ ๑ ถึงชั้นที่ n
- n คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคารที่อยู่เหนือระดับพื้นชั้นล่างของอาคาร

2.3.2 การคำนวณตรวจสอบการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้าง

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของอาคาร (story drift, Δx) สามารถได้จาก

$$\Delta x = V_x / K_x \text{ ซึ่งต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 0.5 ของความสูงระหว่างชั้น}$$

โดยที่

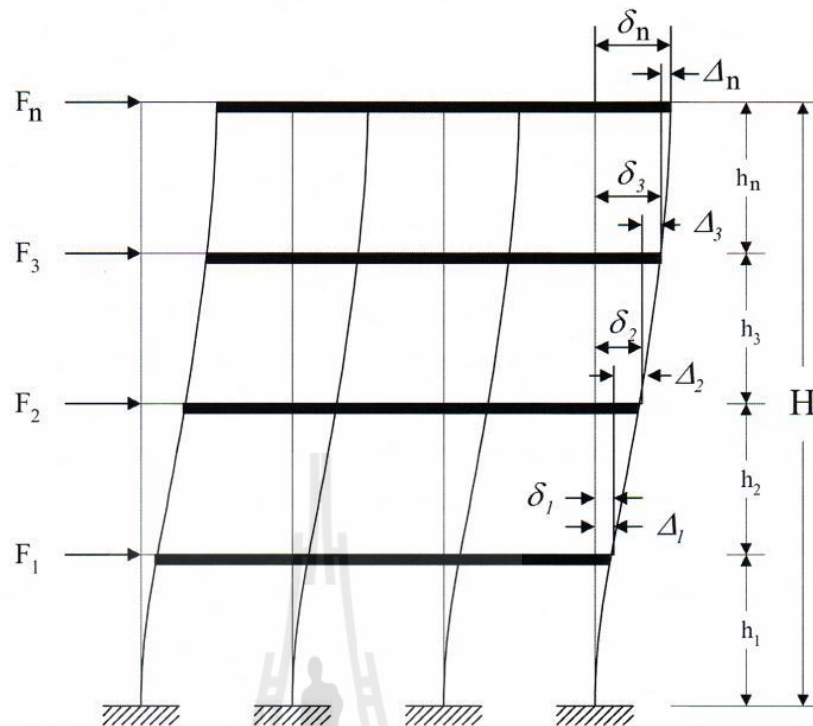
V_x = แรงเฉือนที่เสาชั้นที่ x เนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง คำนวณจากผลรวมของแรงกระทำด้านข้างจากชั้นนั้นและชั้นที่สูงกว่า

$$K_x = \text{สติฟเนสของเสาชั้นที่ } x \text{ เท่ากับ } 12EI_x/h_x^3$$

$$E = \text{โมดูลัสยืดหยุ่นของเสา}$$

$$I_x = \text{โมเมนต์ความเฉื่อยของเสาชั้นที่ } x$$

$$h_x = \text{ความสูงของเสาชั้นที่ } x$$



รูปที่ 2.9 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของอาคาร (Δ_x)
(สรกานต์ ศรีทองอ่อน, 2556)

2.3.3 การคำนวณตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้างเนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง

โครงสร้างอาคารจะต้องไม่พลิกคว่ำเนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง โดยให้มีค่าความปลอดภัย มากกว่าหรือเท่ากับ 1.5 ($SF \geq 1.5$) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$SF = M_{react}/M_{act} = WT (L/2)/\sum F_x h_x \geq 1.5$$

โดย

M_{react} = โมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำ

M_{act} = โมเมนต์เนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง

WT = น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมด

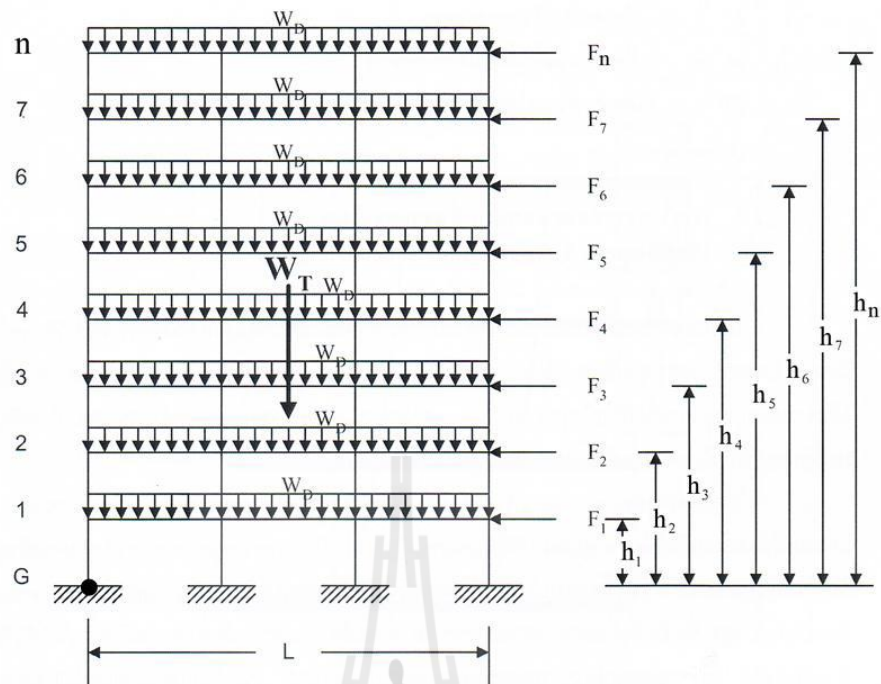
L = ความยาวจากศูนย์กลางเสาด้านริมซ้ายถึงศูนย์กลางเสาด้านริมขวาในแนวนอน
กับแรงกระทำด้านข้าง

x = ชั้นของอาคาร ($x = 1, 2, \dots, n$)

n = จำนวนชั้นของอาคาร

F_x = แรงกระทำด้านข้างของชั้นที่ x

h_x = ความสูงจากฐานของอาคารไปยังชั้นที่ x



รูปที่ 2.10 การพิจารณาความมั่นคงของ โครงสร้างเนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง
(สรกานต์ ศรีทองอ่อน, 2556)

2.4 มาตรฐานแนะนำในการคำนวณอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

2.4.1 มาตรฐานประกอบการคำนวณอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยพ. 1301-50

กระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในพื้นที่ที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ให้ข้อกำหนดเกี่ยวกับหลักการกว้างๆ และการคำนวณแรงจากแผ่นดินไหวแต่ไม่มีรายละเอียดบางอย่างที่จำเป็น เช่น ลักษณะของอาคารที่จัดว่ามีรูปทรงไม่สม่เสมอ การให้รายละเอียดการเสริมเหล็กเพื่อให้อาคารมีความเหนียวเป็นต้น ดังที่ทราบกันดี การคำนวณอาคารให้มีความต้านทานผลจากแผ่นดินไหวจะพิจารณาเฉพาะแรงอย่างเดียวไม่ได้ หากอาคารไม่ได้รับการคำนวณรายละเอียดให้มีความเหนียวที่เหมาะสม จะไม่สามารถมีพฤติกรรมที่ดีได้เมื่อถูกสั่นไหวกลับไปกลับมาจากแผ่นดินไหว

มาตรฐานประกอบการคำนวณอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อกำหนดเป็นข้อพึงปฏิบัติสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้ผลของแผ่นดินไหวที่กำหนดในกฎกระทรวงฉบับที่ 49ฯ (พ.ศ. 2540) โดยอิงข้อกำหนดใน Uniform Building Code 1997 (UBC 1997) เป็นหลัก โดยทั่วไปข้อกำหนดที่ให้เป็นการขั้นต่ำ ในกรณีที่มีมาตรฐานระบุว่า ควรกระทำสิ่งใด หมายความว่าสิ่งที่กล่าวนั้นเป็นข้อแนะนำจากคณะผู้ทำงานจัดทำมาตรฐาน

ประกอบการคำนวณอาคารเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว ซึ่งจะเป็นการปฏิบัติที่ให้ระดับพฤติกรรมอาคารที่ดีกว่าที่กำหนดใน UBC 1997 จึงเป็นวิจรรณญาณของวิศวกรที่จะเลือกปฏิบัติได้ตามความเหมาะสม

2.4.1.1 ขอบข่าย

มาตรฐานประกอบการคำนวณอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวนี้เป็น

1. ข้อกำหนดเพิ่มเติมจากกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 เพื่อให้การคำนวณโครงสร้างอาคารควบคุมตามกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ๑ มีความมั่นคงแข็งแรงและปลอดภัย
2. ข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ไม่ครอบคลุมถึงงานก่อสร้างถนน สะพาน เขื่อน อุโมงค์และงานก่อสร้างอาคารชั่วคราว
3. ข้อกำหนดเกี่ยวกับลักษณะและรูปทรงของโครงสร้างเป็นข้อกำหนดสำหรับการจำแนกอาคารตามลักษณะและรูปทรงของอาคาร เพื่อให้สอดคล้องกับการกำหนดรูปทรงของอาคารในกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ๑ ซึ่งข้อกำหนดนี้ได้นำมาจากข้อกำหนดว่าด้วยลักษณะและรูปทรงของโครงสร้าง (Configuration Requirements) ของ Uniform Building Code พ.ศ. 2534 และ พ.ศ. 2540
4. ข้อกำหนดการเสริมเหล็กของโครงสร้างแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดใน ส่วนที่ 4 เป็นข้อกำหนดขั้นต่ำสำหรับการคำนวณ โครงสร้างอาคารควบคุมตามกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ๑ ที่ใช้โครงสร้างแรงดัดเป็น โครงสร้างต้านแรงด้านข้าง และเป็นข้อกำหนดที่นอกเหนือจากข้อกำหนดคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ซึ่งข้อกำหนดส่วนใหญ่เป็นไปตามข้อกำหนดการเสริมเหล็กสำหรับรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวในเขตพื้นที่ รุนแรงปานกลางของ Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318)
5. ข้อกำหนดการเสริมเหล็กของโครงสร้างแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดใน ส่วนที่ 4 ไม่ครอบคลุมถึงองค์อาคารที่ไม่ระบุให้เป็นส่วนหนึ่งของระบบรับแรงด้านข้าง (Members not Designated as Part of the Lateral-Force-Resisting System) ยกเว้นแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คานที่ไม่เป็นส่วนของ

ระบบรับแรงดัดข้างจะต้องปฏิบัติตามข้อ 4.7.2 และ 4.8 ตามมาตรฐานนี้ด้วย หากไม่ได้มีการระบุเป็นอย่างอื่นแล้ว การรวมน้ำหนักบรรทุก (Load Combinations) ในมาตรฐานนี้ให้เป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 โดยให้แทนผลของแรงลมด้วยแรงแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวงฉบับที่ 49 ฯ (พ.ศ. 2540) มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System units) เป็นหลักและมีหน่วยเมตริกกำกับในวงเล็บต่อท้าย โดยการแปลงหน่วยของแรงใช้ 1 กิโลกรัมแรงเท่ากับ 9.806 นิวตัน

2.4.1.2 นิยามและสัญลักษณ์

ก. นิยาม

“กำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall)” หมายถึง กำแพงที่ได้รับการคำนวณให้ต้านแรงดัดข้างที่ขนานกับระนาบของตัวกำแพง

“โครงแกงแนง (Braced Frame)” หมายถึง ระบบที่ใช้โครงข้อหมุนในระนาบตั้งทำหน้าที่ต้านแรงดัดข้างโดยรอยต่อเป็นได้ทั้งแบบตรงศูนย์หรือเอียงศูนย์

“โครงต้านแรงดัด (Moment-Resisting Frame)” หมายถึง โครงที่มีองค์อาคารและรอยต่อซึ่งสามารถต้านแรงโดยการดัดเป็นหลัก

“โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียว (Ductile Moment-Resisting Frame)” หมายถึง โครงต้านแรงดัดของอาคารที่ได้รับการจัดระบบโครงสร้างที่ดี มีการคำนวณเพื่อให้การวิบัติเชิงดัด (Flexure Failure) เกิดขึ้นในคานเป็นสิ่งสำคัญโดยที่ชิ้นส่วนทั้งเสาและคานมีความสามารถด้านความเหนียวเชิงโค้ง (Curvature Ductility Capacity) ณ ตำแหน่งที่อาจเกิดการวิบัติไม่น้อยกว่า 20

“โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด (Ductile Moment-Resisting Frame with Limited Ductility)” หมายถึง โครงต้านแรงดัดที่มีรายละเอียดการเสริมเหล็กเพื่อให้โครงสร้างมีความเหนียวจำกัด โดยรายละเอียดการเสริมเหล็กของโครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวดังกล่าวให้เป็นไปตามส่วนที่ 4 ของมาตรฐานนี้

“โครงสร้างลักษณะไม่สม่ำเสมอ (Irregular Structure)” หมายถึง โครงสร้างที่มีความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของรูปทรง ลักษณะโครงสร้าง

และมวลในแนวราบหรือในแนวตั้งหรือความไม่ต่อเนื่องในระบบต้านแรงด้านข้างอย่างมีนัยสำคัญ ตามรายละเอียดที่ระบุในข้อ 3.1

“**โครงสร้างลักษณะสม่ำเสมอ (Regular Structure)**” หมายถึง โครงสร้างที่ปราศจากความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของรูปทรง ลักษณะโครงสร้าง และมวลในแนวราบหรือในแนวตั้งหรือความไม่ต่อเนื่องในระบบต้านแรงด้านข้างอย่างมีนัยสำคัญ ตามรายละเอียดที่ระบุในข้อ 3.1

“**ไดอะแฟรม (Diaphragm)**” หมายถึง ระบบโครงสร้างที่วางตัวอยู่ในแนวราบหรือใกล้เคียงแนวราบ ทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงด้านข้างไปสู่ชิ้นส่วนในแนวตั้งซึ่งเป็นส่วนของระบบต้านแรงด้านข้าง คำว่าไดอะแฟรมจะหมายถึงรวมไปถึงระบบค้ำยันในแนวราบด้วย

“**ระบบต้านแรงด้านข้าง (Lateral-Force-Resisting System)**” หมายถึง ระบบโครงสร้างหรือส่วนของระบบโครงสร้างที่คำนวณให้ต้านแรงแผ่นดินไหว

“**แรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion)**” หมายถึง แรงบิดที่อาจจะเกิดขึ้น โดยบังเอิญจากผลของแรงเฉือนรวมในแต่ละชั้น (Story Shear) กระทำเยื้องศูนย์กลางจากจุดศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of Rigidity) ของระบบต้านแรงด้านข้างในแต่ละชั้น โดยระยะเยื้องศูนย์กลางดังกล่าวจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของมิติอาคารที่มากที่สุดในระดับชั้นนั้น

ข. สัญลักษณ์

A_g = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (ตารางเซนติเมตร)

A_j = พื้นที่ต้านแรงเฉือนในแนวนอนประสิทธิผลของข้อต่อ หน่วยเป็น

ตารางมิลลิเมตร (ตารางเซนติเมตร)

A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึง หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (ตารางเซนติเมตร)

A_{sm} = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมล่างของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไร้คานที่วางผ่านหรือฝังเข้าไปในแกนเสา หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (ตารางเซนติเมตร)

A_v = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (ตารางเซนติเมตร)

- b_0 = เส้นรอบรูปของหน้าตัดวิกฤตสำหรับการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือน V_c ในแผ่นพื้น หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- b_1 = ความกว้างของหน้าตัดวิกฤตที่วัดในทิศทางของช่วงที่ใช้หาโมเมนต์ หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- b_2 = ความกว้างของหน้าตัดวิกฤตที่วัดในทิศทางตั้งฉากกับ b_1 หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- b_w = ความกว้างของตัวคาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- d = ความลึกประสิทธิภาพหรือระยะจากขอบบนสุดด้านรับแรงอัดถึงจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมรับแรงดึง หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- d_b = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเหล็กเสริม หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- f_c' = หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต หาได้จากการทดสอบแท่งคอนกรีตทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน
- \emptyset 150×300 มิลลิเมตร หน่วยเป็นเมกะปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)
- f_{pc} = หน่วยแรงอัดเฉลี่ยในคอนกรีตที่เป็นผลจากการอัดแรงและมีการสูญเสียของการอัดแรงเกิดขึ้นแล้ว หน่วยเป็นเมกะปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)
- f_y = กำลังที่จุดครากของเหล็กเสริม หน่วยเป็นเมกะปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)
- h = ความลึกของคานหรือข้อต่อ หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- H_c = ความสูงช่วงว่างของเสา หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- L_1 = ความยาวช่วงของแผ่นพื้นในทิศทางที่ใช้หาโมเมนต์ วัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของที่รองรับ
- L_2 = ความยาวช่วงตามขวางกับ L_1 วัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของที่รองรับ
- L_c = ความยาวช่วงว่างของคาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- M_s = สัดส่วนของโมเมนต์ดัดในแผ่นพื้นที่ถ่ายให้จุดรองรับ หน่วยเป็นนิวตัน-มิลลิเมตร (กิโลกรัมแรง-เซนติเมตร)
- M_n = โมเมนต์ดัดระบุ หน่วยเป็นนิวตัน-มิลลิเมตร (กิโลกรัมแรง-เซนติเมตร)

M_u = โมเมนต์ดัดปรับค่า หน่วยเป็นนิวตัน-มิลลิเมตร (กิโลกรัมแรง-เซนติเมตร)

S = ระยะเรียงของเหล็กดัดหรือเหล็กปลอก หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

t = ความหนาของแผ่นพื้น หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

U = กำลังที่ต้องการ

V_c = กำลังต้านแรงเฉือนระบุที่รับโดยคอนกรีต หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

V_{col} = แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในเสา ที่ใช้ในการคำนวณข้อต่อระหว่างคานและเสา หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

V_j = แรงเฉือนในแวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

V_n = กำลังต้านแรงเฉือนระบุ หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

V_p = แรงเฉือนเนื่องจากแรงดึงประสิทธิผลของเหล็กเสริมอัดแรงที่พิจารณา หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

W_u = น้ำหนักบรรทุกปรับค่า

β_c = อัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นของเสา

β_p = ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือน V_c ในแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง

ϕ = ตัวคูณลดกำลัง

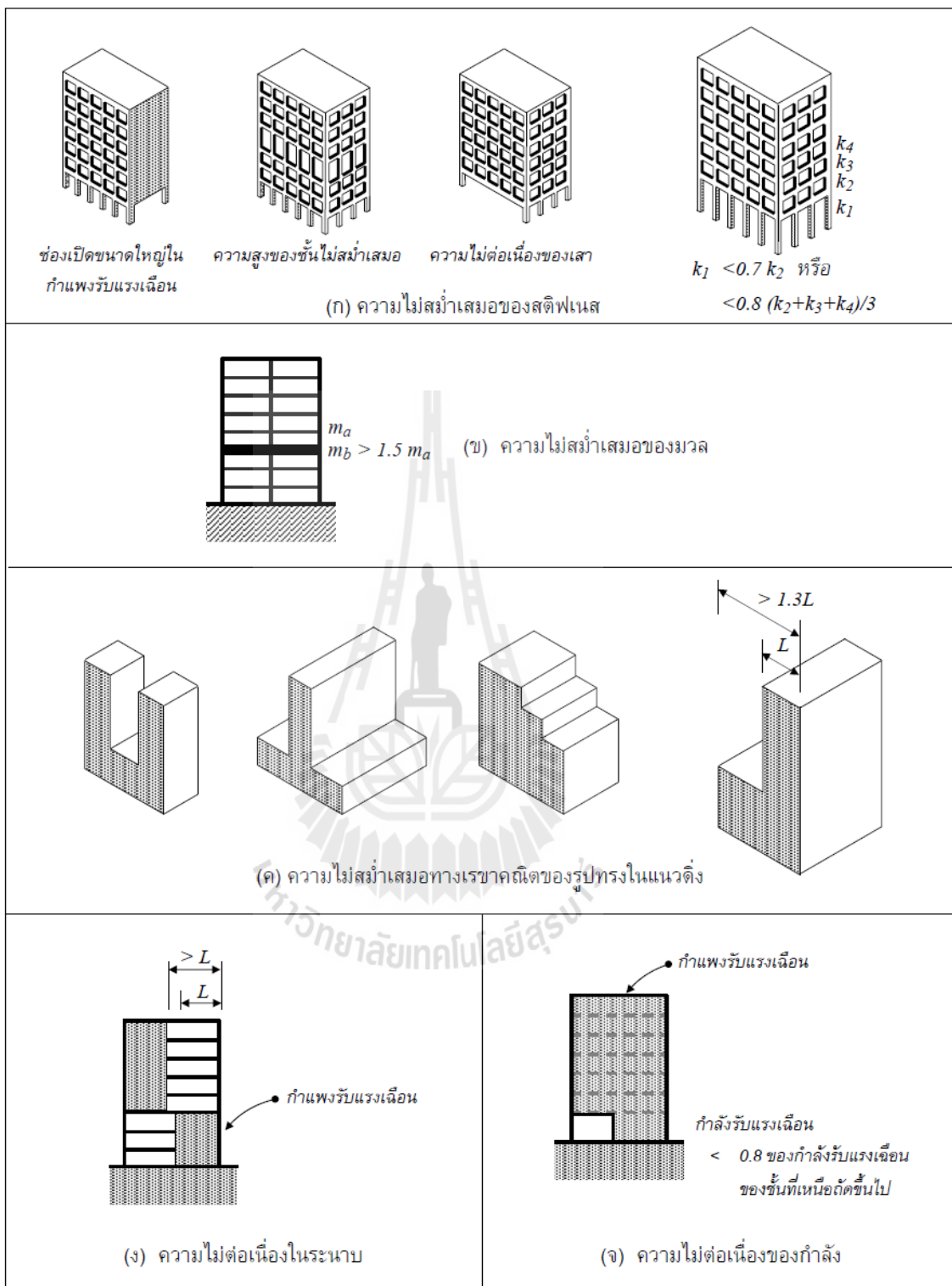
γ_y = สัดส่วนของโมเมนต์ดัดไม่สมดุลซึ่งถ่ายผ่าน โดยแรงดัดที่จุดต่อระหว่างแผ่นพื้นและเสา

$$= \frac{1}{1 + 2/3 \sqrt{b_1/b_2}}$$

2.4.1.3 ลักษณะและรูปทรงของโครงสร้าง

ตารางที่ 2.7 ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง (มยพ.1301-54, กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2554)

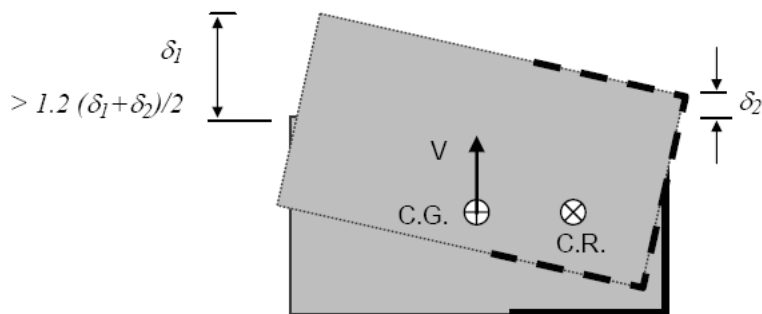
รูปแบบความไม่สม่ำเสมอและคำจำกัดความ	หมายเหตุ
<p>1. ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส(Stiffness irregularity) หรือชั้นที่อ่อน (Soft Story) ชั้นที่อ่อนหมายถึงชั้นที่มีสติฟเนสทางด้านข้าง (Lateral Stiffness) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 70 ของชั้นที่เหนือถัดขึ้นไปหรือน้อยกว่าร้อยละ 80 ของสติฟเนสเฉลี่ยของสามชั้นที่เหนือขึ้นไป</p>	<p>ดูตัวอย่างในรูปที่ 2.11 (ก)</p>
<p>2. ความไม่สม่ำเสมอของมวล (Mass Irregularity) ความไม่สม่ำเสมอของมวล หมายถึง มวลประสิทธิผล (Effective Mass) ของชั้นใดๆ มีค่ามากกว่าร้อยละ 150 ของชั้นที่ติดกัน (หลังจากที่มวลน้อยกว่าพื้นชั้นถัดลงมาไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา)</p>	<p>ดูตัวอย่างในรูปที่ 2.11 (ข)</p>
<p>3. ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวดิ่ง (Vertical Geometrical Irregularity) ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวดิ่ง หมายถึง มิติในแนวราบของระบบต้านแรงทางด้านข้างของชั้นใดๆมีค่ามากกว่าร้อยละ 130 ของชั้นที่ติดกัน ยกเว้น Penthouse ที่สูง 1 ชั้น ไม่จำเป็นต้องพิจารณา</p>	<p>ดูตัวอย่างในรูปที่ 2.11 (ค)</p>
<p>4. ความไม่ต่อเนื่องในระนาบขององค์อาคารต้านแรงด้านข้างในแนวดิ่ง (In Plane Discontinuity in Vertical Lateral-Force-Resisting Element) ความไม่ต่อเนื่องในระนาบขององค์อาคารในแนวดิ่งจะพิจารณาเมื่อระยะเยื้องในระนาบขององค์อาคารต้านแรงด้านข้างมีค่ามากกว่าความยาวขององค์อาคารนั้นๆ</p>	<p>ดูตัวอย่างในรูปที่ 2.11 (ง)</p>
<p>5. ความไม่ต่อเนื่องของกำลัง (Discontinuity in Capacity) หรือชั้นที่อ่อนแอ (Weak Story) ชั้นที่อ่อนแอ หมายถึง ชั้นที่มีผลรวมของกำลังของชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ร่วมกันรับแรงแผ่นดินไหวในทิศทางที่พิจารณาทั้งหมด มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80 ของชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป</p>	<p>ดูตัวอย่างในรูปที่ 2.11 (จ)</p>



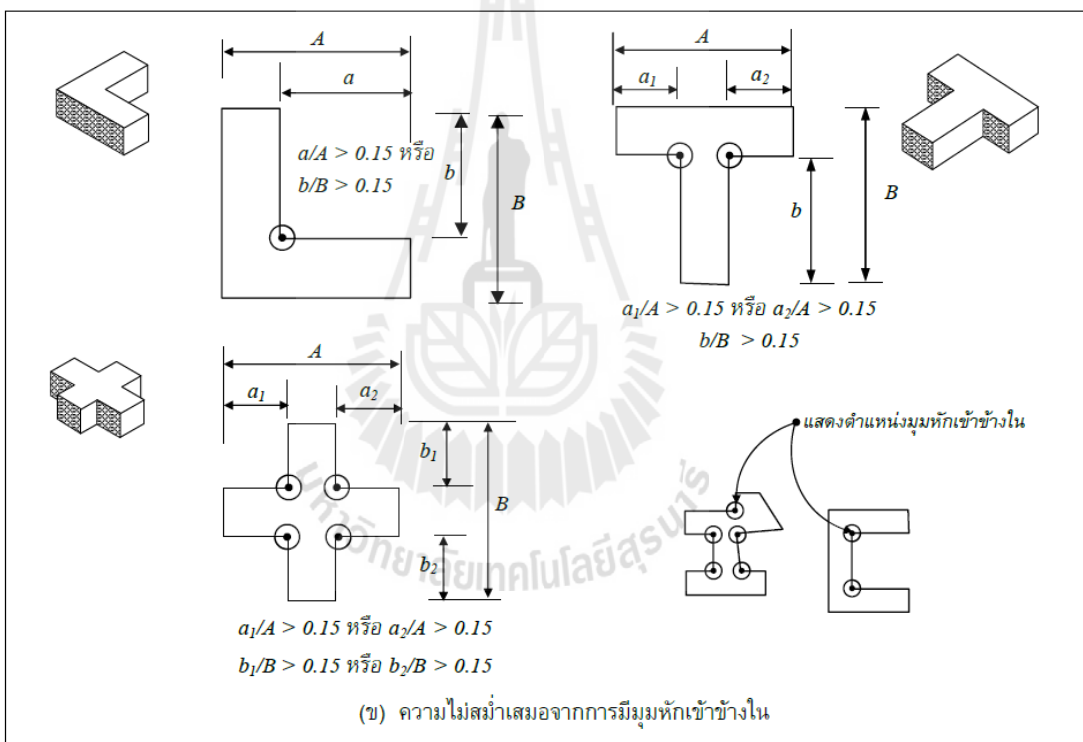
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง (มยพ.1301-54, กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2554)

ตารางที่ 2.8 ความไม่สม่ำเสมอของผัง โครงสร้าง (Plan Structure Irregularities)

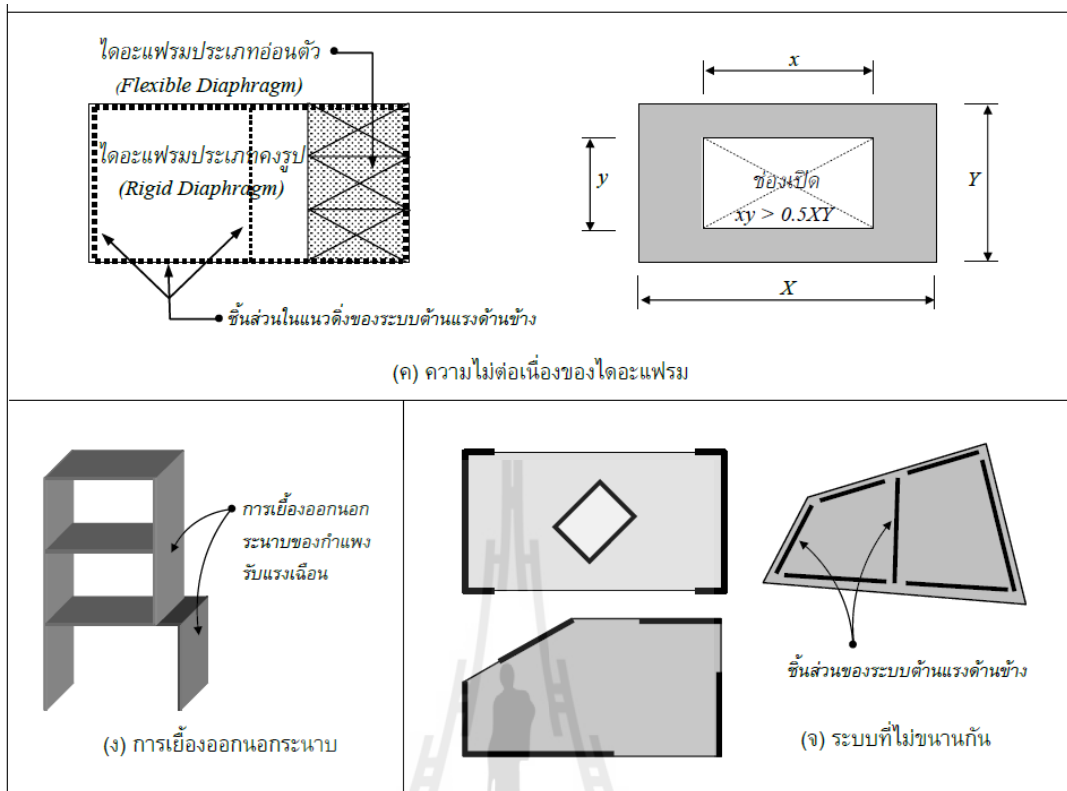
รูปแบบความไม่สม่ำเสมอและคำจำกัดความ	หมายเหตุ
<p>1. ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด (Torsional Irregularity)-พิจารณากรณีที่ไดอะแฟรมเป็นประเภทไม่อ่อนตัว (Not Flexible)</p> <p>โครงสร้างจะถือว่าไม่สม่ำเสมอเชิงการบิดเมื่อค่าสูงสุดของการเคลื่อนตัวด้านข้างระหว่างชั้นในแนวตั้งฉากกับแนวแกน[คำนวณจากแรงด้านข้างที่ผลรวมของแรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion)] ที่ปลายด้านหนึ่งของโครงสร้างที่มีค่ามากกว่า 1.2 เท่าของค่าเฉลี่ยที่ปลายทั้งสองด้าน</p>	<p>ดูรูปตัวอย่าง ในรูปที่ 2.12</p>
<p>2. ความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน (Re-Entrant Corners)</p> <p>โครงสร้างจะถือว่ามีความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน เมื่อผังโครงสร้างและระบบต้านแรงด้านข้างมีลักษณะหักเข้าข้างใน ทำให้เกิดส่วนยื่น โดยที่ส่วนยื่นนั้นมีระยะฉายในแต่ละทิศทางมากกว่าร้อยละ 15 ของมิติของผังในทิศทางนั้น</p>	<p>ดูรูปตัวอย่าง ในรูปที่ 2.13 (ข)</p>
<p>3. ความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม (Diaphragm Discontinuity)</p> <p>โครงสร้างจะถือว่าไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม เมื่อไดอะแฟรมมีความไม่ต่อเนื่องหรือมีค่าสตีเฟนส์อย่างทันทีทันใด รวมถึงการเจาะช่องหรือมีช่องเปิดมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ไดอะแฟรมหรือสตีเฟนส์ประสิทธิภาพของไดอะแฟรมของชั้นใดชั้นหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับชั้นถัดไป</p>	<p>ดูรูปตัวอย่าง ในรูปที่ 2.13 (ค)</p>
<p>4. การเยื้องนอกระนาบ (Out-of-Plane Offsets)</p> <p>โครงสร้างจะถือว่ามีความไม่สม่ำเสมอจากการเยื้องออกนอกระนาบเมื่อเส้นทาง การถ่ายแรงของแรงด้านข้างมีความไม่ต่อเนื่อง เช่น กรณีมีการเยื้องระหว่างระนาบของกำแพงรับแรงด้านข้าง</p>	<p>ดูรูปตัวอย่าง ในรูปที่ 2.13 (ง)</p>
<p>5. ระนาบไม่ขนานกัน (Nonparallel Systems)</p> <p>ระบบไม่ขนานกัน ได้แก่ ระบบที่มีชิ้นส่วนแนวตั้งที่ต้านแรงด้านข้างวางตัวในแนวที่ไม่ขนานกัน หรือไม่สมมาตรกัน เมื่อเทียบกับแกนหลักของระบบต้านแรงด้านข้าง</p>	<p>ดูรูปตัวอย่าง ในรูปที่ 2.13 (จ)</p>



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง (มยผ.1301-54, กรมโยธาธิการและผังเมือง,กระทรวงมหาดไทย, 2554)



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง (มยผ.1301-54, กรมโยธาธิการและผังเมือง,กระทรวงมหาดไทย, 2554)



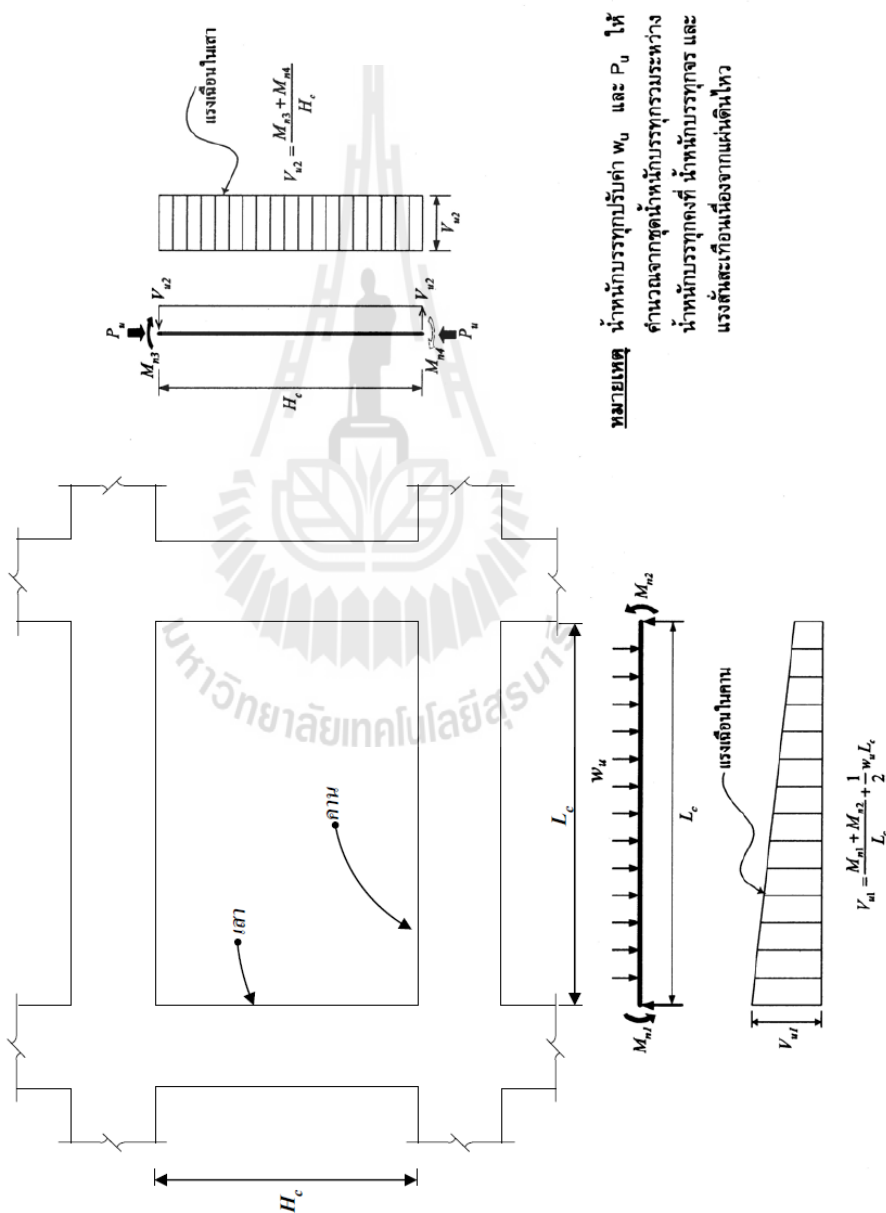
รูปที่ 2.13 (ต่อ) ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง (มยพ.1301-54, กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2554)

2.4.1.4 รายละเอียดการเสริมเหล็กโครงสร้างต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดสำหรับโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็ก

- คานและเสา คานในมาตรฐานนี้หมายความถึง องค์อาคารของโครงสร้างต้านแรงดัดที่มีแรงตามแนวแกนปรับค่า (Factored Axial Load) ไม่มากกว่า $0.10 A_g \cdot f_c'$ และเสาในมาตรฐานนี้หมายถึงองค์อาคารของโครงสร้างต้านแรงดัดที่มีแรงตามแนวแกนปรับค่ามากกว่าค่าดังกล่าว
- กำลังต้านแรงเฉือน กำลังต้านแรงเฉือนที่ใช้คำนวณ คาน เสา และแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน หารับต้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวจะต้องไม่น้อยกว่าแรงเฉือนในข้อ 2.1 หรือ ข้อ 2.2
 - แรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อแรงดัดที่ปลายขององค์อาคารทั้งสองถึงค่าโมเมนต์กำลังรวมกับแรงเฉือนจากน้ำหนักทุกเรื่องจากแรงโน้มถ่วง (ถ้ามี) (รูปที่ 2.14)

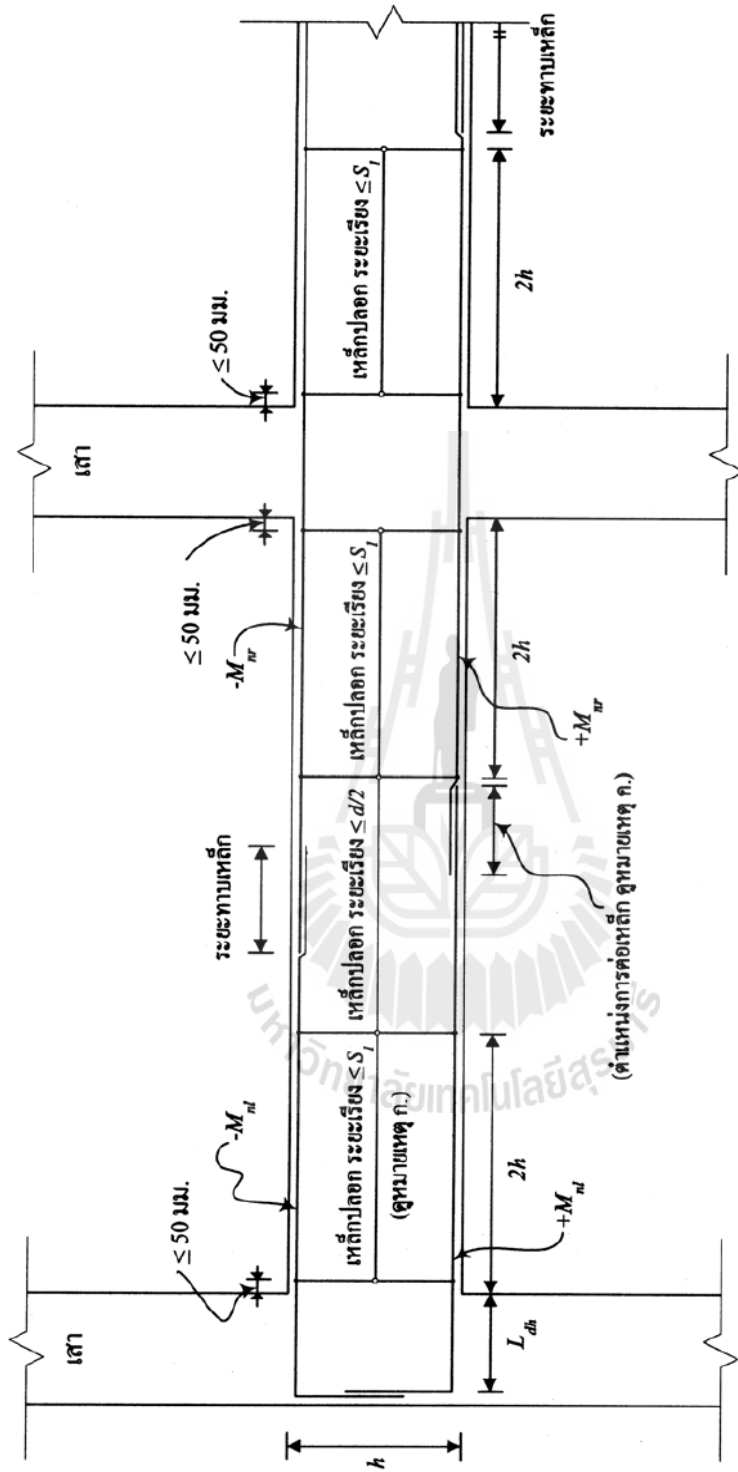
- ข. แรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากการรวมน้ำหนักบรรทุกทุกค่านวน (Design Load Combinations) ที่พิจารณาแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวเป็น 2 เท่าของแรงที่กำหนดในกฎหมายความคุมอาคารว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว
3. การเสริมเหล็กในคาน ข้อกำหนดการเสริมเหล็กในคานของโครงสร้างคานแรงค้ำมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 2.15)
- ก. กำลังคาน โมเมนต์บวกที่ขอบของข้อต่อจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของกำลังคาน โมเมนต์ลบที่ขอบของข้อต่อเดียวกัน นอกจากนี้กำลังคาน โมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบที่หน้าตัดใดๆ ตลอดจนความยาวคานจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในห้าของกำลังคาน โมเมนต์สูงสุดที่ขอบของข้อต่อที่ปลายทั้งสองของคาน
- ข. ภายในบริเวณปลายคานที่ห่างจากขอบของจตุรรองรับเป็นระยะ 2 เท่าของความลึกคานจะต้องเสริมเหล็กปลอกที่มีระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่มากกว่าค่าดังต่อไปนี้
- (1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิผล
 - (2) 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กที่สุด
 - (3) 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก
 - (4) 300 มิลลิเมตร
- และเหล็กปลอกแรกจะอยู่ห่างจากขอบของจตุรรองรับเป็นระยะไม่มากกว่า 50 มิลลิเมตร
- ค. ระยะเรียงของเหล็กปลอกในบริเวณอื่นที่นอกเหนือจากข้อ 4.3.2 จะต้องไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิภาพ
- ง. ควรหลีกเลี่ยงการทาบเหล็กเสริมตามยาวทั้งบนและล่างภายในระยะ 2 เท่าของความลึกคาน เมื่อวัดจากขอบของจตุรรองรับ
4. การเสริมเหล็กในเสา ข้อกำหนดการเสริมเหล็กในเสาของโครงสร้างคานแรงค้ำมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 2.16)
- ก. ในกรณีเหล็กปลอกเดี่ยว จะต้องเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวที่มีระยะไม่มากกว่า S ตลอดความยาว l ที่วัดจากขอบของข้อต่อเสา โดยที่ระยะ S จะต้องไม่มากกว่าระยะดังต่อไปนี้

- (1) 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กที่สุด
- (2) 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก
- (3) ครึ่งหนึ่งของมิติที่เล็กที่สุดของหน้าตัดเสา
- (4) 300 มิลลิเมตรและเหล็กปลอกแรกจะต้องอยู่ห่างจากขอบข้อต่อเป็นระยะไม่มากกว่า 0.5 S



หมายเหตุ น้ำหนักบรรทุกปรับค่า P_u และ P_u ให้คำนวณจากชุดน้ำหนักบรรทุกระยะห่าง น้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงดันสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว

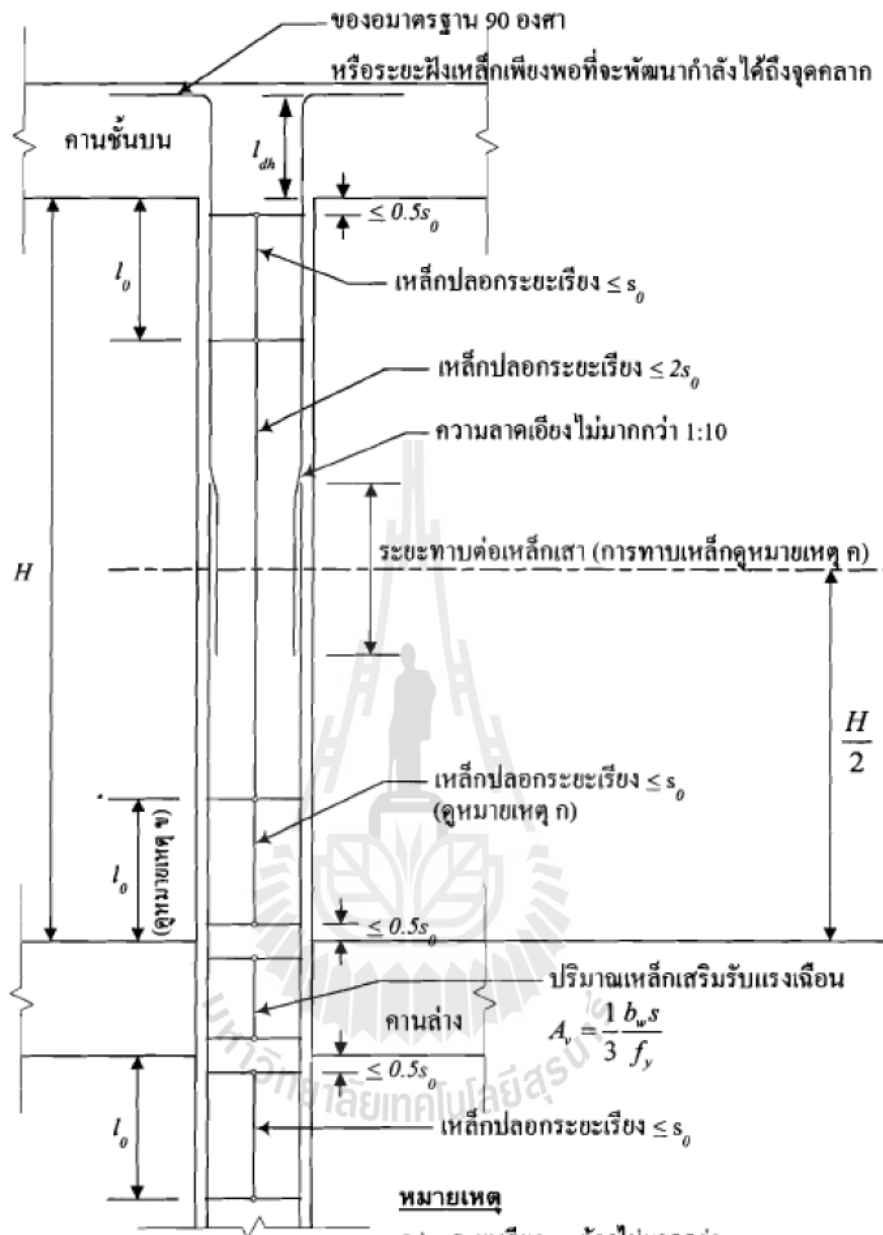
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนตามข้อ 4.2.1 (มยศ.1301-54, กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2554)



หมายเหตุ

- ก.) ระยะเรียง S_1 ต้องไม่มากกว่า (1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิภาพ; (2) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามความยาวที่มีขนาดเล็กที่สุด; (3) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก; และ (4) 300 มิลลิเมตร
- ข.) ไม่นับตัดระบุ (1) $+M_{nr} \geq (1/3)(-M_{nr})$; (2) $+M_{nr} \geq (1/3)(-M_{nr})$; และ (3) $+M_{nr}$ และ $-M_{nr}$ ที่หน้าตัดใดๆ $\geq (1/5)$ ของค่าสูงสุดระหว่าง $-M_{nr}$ และ $-M_{nr}$
- ค.) ไม่ห้ามเหล็กเสริมทั้งบนและล่างภายในระยะ $2h$ จากขอบของที่รองรับ
- ง.) L_{dh} = ระยะฝังเหล็ก (Development length)

รูปที่ 2.15 การเสริมเหล็กในคาน (มยพ.1301-54, กรมโยธาธิการ และผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2554)



หมายเหตุ

- ก.) ระยะเรียง s_o ต้องไม่มากกว่า
- (1) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กสุด;
 - (2) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก;
 - (3) $C/2$; และ (4) 300 มิลลิเมตร
- ข.) ระยะ l_o ต้องไม่น้อยกว่า
- (1) $H/6$; (2) c_i ; และ (3) 500 มิลลิเมตร
- ค.) การต่อเหล็กเสา ให้ต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา
- ง.) l_{dh} = ระยะฝังเหล็ก (Development length)
- จ.) อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด A_v/A_o ของเสา ต้องไม่น้อยกว่า

รูปที่ 2.16 การเสริมเหล็กในเสา (มยพ.1301-54, กรมโยธาธิการ และผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2554)

- ข. สำหรับความยาว l_0 ในข้อ 1. จะต้องไม่น้อยกว่าความยาวดังนี้ (1) 1 ใน 6 ของความสูงจากขอบถึงขอบของเสา (2) มิติที่มากที่สุดของหน้าตัดเสา (3) 500 มิลลิเมตร
- ค. ในกรณีเหล็กปลอกเกลียว การเสริมเหล็กให้เป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับการเสริมเหล็กองค์อาคารรับแรงอัดในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
- ง. ยกเว้นข้อต่อระหว่างเสาและคานที่ไม่ได้เป็นส่วนหลักของระบบรับแรงแผ่นดินไหวและมีการยึดโคนเสาทั้ง 4 ด้านด้วยแผ่นพื้นหรือคานที่มีความลึกเท่ากันโดยประมาณ ข้อต่อต้องมีการเสริมเหล็กปลอกเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า

$$A_v = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y}$$

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

โดยที่เหล็กเสริมนี้จะต้องเสริมภายในเสาเป็นความลึกไม่น้อยกว่าความลึกของคานที่ลึกที่สุดที่ข้อต่อนั้น

- จ. ระยะเรียงของเหล็กปลอกเดี่ยวในส่วนที่นอกเหนือจากข้อ 1. จะต้องไม่มากกว่า 2 เท่าของระยะ S_0
- ฉ. พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามยาวของเสาต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และไม่มากกว่า 0.06 ของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด
- ช. การต่อเหล็กเสริมในเสาให้ต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา
5. การคำนวณข้อต่อระหว่างคานและเสา

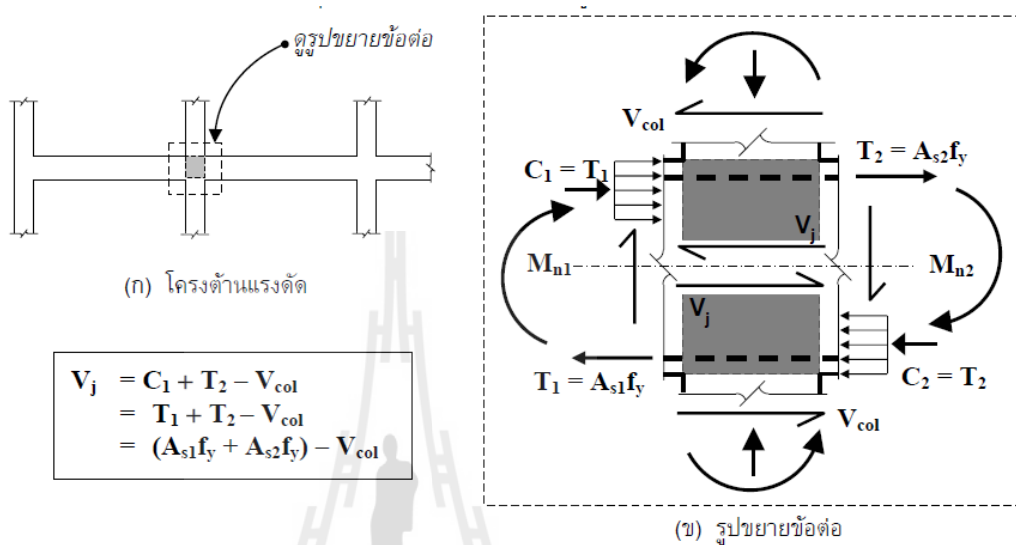
ข้อต่อระหว่างคานและเสาต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อมิให้แรงภายในข้อต่อมีค่าเกินกว่ากำลังของข้อต่อ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- ก. แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อ (V_j) จะต้องไม่มากกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนคำนวณ (ϕV_n)

$$V_j \leq \phi V_n$$

โดยที่ตัวคูณลดกำลังของข้อต่อ (ϕ) ให้ใช้เท่ากับ 0.85

ข. แรงเฉือนในแวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อเป็นแรงเฉือนที่เกิดขึ้น
 เมื่อหน้าตัดคานที่ปลายคานทั้งสองด้านของข้อต่อมีกำลังต้านทาน
 โมเมนต์ค้ำคระรูปในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การคำนวณแรงเฉือนในแวนอนสูงสุดที่กระทำกับข้อต่อ
 (มยพ.1301-54, กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2554)

ค. กำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n) ของข้อต่อมีค่าดังต่อไปนี้

(1) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคานทั้ง 4 ด้าน [(รูปที่ 2.18 (ก))]

$$V_n = 1.7\sqrt{f'_c}A_j$$

$$(V_n = 5.4\sqrt{f'_c}A_j \text{ ในหน่วยเมตริก})$$

(2) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคาน 3 ด้าน หรือคาน 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน [(รูปที่ 2.18 (ข))]

$$V_n = 1.25\sqrt{f'_c}A_j$$

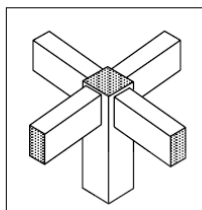
$$(V_n = 3.9\sqrt{f'_c}A_j \text{ ในหน่วยเมตริก})$$

(3) ข้อต่ออื่นๆ [(รูปที่ 2.18 (ค))]

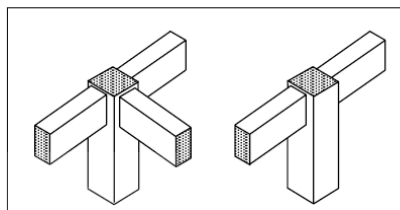
$$V_n = 1.0\sqrt{f'_c}A_j$$

$$(V_n = 3.2\sqrt{f'_c}A_j \text{ ในหน่วยเมตริก})$$

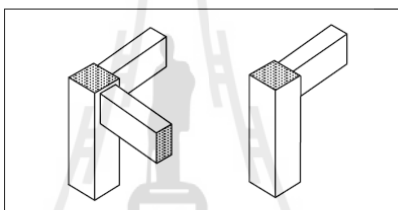
โดยที่ A_j เป็นพื้นที่ต้านแรงเฉือนในแนวอนประสิทธิผลของข้อต่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 และจะถือว่าข้อต่อได้รับการยึดรัดจากคานที่ต่อเมื่อคานที่เข้ามายึดรัดนั้นมีความกว้างไม่น้อยกว่าสามในสี่ของความกว้างเสาคานที่คานเข้ามาบรรจบและมีความลึกไม่น้อยกว่าสามในสี่ของความลึกคานตัวที่ลึกที่สุดที่เข้ามาบรรจบกันที่ข้อต่อ



(ก) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคานทั้ง 4 ด้าน



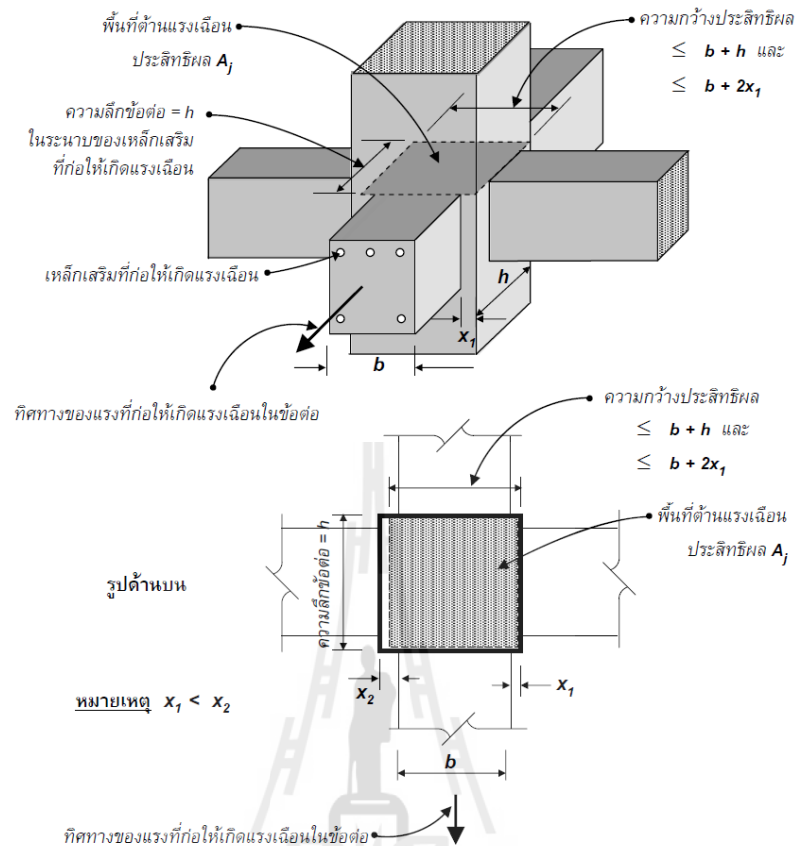
(ข) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคาน 3 ด้าน
หรือคาน 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน



(ค) ข้อต่ออื่นๆ

รูปที่ 2.18 ประเภทข้อต่อต่าง ๆ สำหรับการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n)
(มยพ.1301-54, กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2554)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.19 พื้นที่ต้านแรงเฉือนประสิทธิภาพของข้อต่อระหว่างคานและเสา

(มยพ.1301-54, กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2554)

2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโปรแกรม ETABS

2.5.1 แนะนำโปรแกรม ETABS 2013

ETABS (Extend Three Dimensional Analysis of Building System) เป็นโปรแกรมวิเคราะห์และคำนวณโครงสร้างอาคารที่มีการใช้งานกันมาอย่างยาวนานและแพร่หลาย ถูกพัฒนาขึ้นโดย บริษัท Computer and Structures, Inc. (CSI) มีระบบติดต่อกับผู้ใช้งานแบบกราฟิก (Graphical User Interface: GUI) เพื่อความสะดวกรวดเร็วและประสิทธิภาพในการทำงาน การสร้างและแก้ไขโมเดล การวิเคราะห์โครงสร้างการตรวจสอบและปรับเปลี่ยนความเหมาะสมในการคำนวณตลอดจนการแสดงผลทั้งหมดจะใช้ GUI ตัวเดียวกันทั้งหมด ในเวอร์ชันใหม่ ETABS 2013 ได้ปรับปรุงลักษณะใหม่ทั้งหมดและเพิ่มความสามารถในด้านต่างๆอย่างมากมาย โดยจะมีหน้าจอเดียวในการสร้างโมเดล, วิเคราะห์, คำนวณ, เขียนแบบรายละเอียด และสร้างรายงานการคำนวณ ในเวอร์ชันใหม่นี้จะมีหน้าต่างข้อมูลโมเดล (Model Explorer) เพื่อเป็นการเข้าถึงข้อมูลต่างๆของโมเดลอย่างรวดเร็ว ผู้ใช้สามารถเปิดหน้าต่างมุมมองโมเดลในการทำงานได้อย่างไม่จำกัด

2.5.2 คุณลักษณะพิเศษของโปรแกรม ETABS 2013

2.5.2.1 หน้าต่างมุมมองโมเดล (Model Explorer)

เป็นหน้าต่างใหม่ที่มีเพิ่มขึ้นมาในเวอร์ชัน 2013 แสดงรายการคุณสมบัติ, วัตถุและการกำหนดค่าต่างๆ เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการเข้าถึงเพื่อตรวจสอบและแก้ไขโมเดล, ผลการคำนวณ และรายงาน โดยคุณลักษณะพิเศษของ Model Explorer มีดังนี้

- กำหนด, ทำซ้ำ และแก้ไข คุณสมบัติของโมเดล
- ลากและวางเพื่อกำหนดคุณสมบัติของชิ้นส่วนให้แก่โมเดล
- การแสดงผลต่างๆ
- บันทึกและนำกลับคืนการตั้งค่าแสดงผลโดยผู้ใช้
- มุมมองแบบรายละเอียด
- ลังพิมพ์และส่งคำนวณและมุมมองของแบบ

2.5.2.2 การสร้างโมเดล (Modeling)

โปรแกรม ETAB มีระบบกราฟิกในการสร้างโมเดลสามมิติ โดยใช้มุมมองในแนวราบ แนวตั้งและสามมิติโดยผู้ใช้งานสามารถสั่งให้แสดงมุมมองได้พร้อมกันถึงสี่มุมมองในรูปแบบอัตโนมัติที่หลากหลายที่มีให้เลือกใช้เพื่อช่วยในการสร้างโมเดลได้อย่างรวดเร็วรวมถึงมีเครื่องมือช่วยในการสร้างโมเดลที่มีประสิทธิภาพมากมายให้เลือกใช้งาน โดยผู้ใช้งานสามารถนำเข้าโมเดลจากโปรแกรมอื่นเช่น AutoCAD และสามารถส่งออกโมเดลไปยัง AutoCAD ได้เช่นกัน

2.5.2.3 โมเดลเทมเพลต (Model Templates)

ETABS 2013 มีเทมเพลตหลากหลายรูปแบบเพื่อให้สามารถเริ่มต้นโมเดลใหม่ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดระบบกริด, จำนวนชั้น, หน้าตัดอาคาร, ความหนาพื้น, และน้ำหนักบรรทุกได้ในขั้นตอนเดียว

2.5.2.4 ระบบกริด (Grid Systems)

ETABS 2013 มีระบบกริดที่มีลูกเล่นที่หลากหลายช่วยให้ง่ายต่อการใช้งานและตรวจสอบโมเดลโดยมีความสามารถหลักคือ

- มีระบบกริดที่มีการให้ใช้งานได้หลายระบบในโมเดลเดียวกัน
- มีระบบพิกัดฉาก (Cartesian)
- มีระบบทรงกระบอก
- มีระบบทั่วไป
- สามารถวัดเส้นกริดเป็นรูปอิสระ
- แต่ละระบบกริดมีจุดกำเนิดและมุมหมุนที่ต่างกัน

2.5.2.5 มุมมองแบบสามมิติ, มุมมองแบบแปลน และมุมมองแบบระดับ โดยที่

- มุมมองแปลนและระดับจะถูกสร้างขึ้นที่ทุกเส้นกริด
- ปุ่มลูกศรช่วยในการเปลี่ยนมุมมองไปที่เส้นกริดอย่างรวดเร็ว
- ระนาบโปร่งใสในมุมมอง 3D แสดงระนาบสองมิติที่ทำงานอยู่

2.5.2.6 ข้อกำหนดชั้น

จุดเด่นของ ETABS ที่สำคัญในการสร้างโมเดลอาคาร คือ การกำหนดชั้นที่เหมือนกันในอาคารหลายชั้น อาคารส่วนใหญ่จะมีคานในแนวราบและเสาในแนวดิ่ง ETABS จะให้ผู้ใช้เขียนแปลนในแนวระนาบสำหรับแต่ละชั้นจากนั้นกำหนดระบบชั้นความสูงของเสาในแนวดิ่ง ทำให้การสร้างโมเดลอาคารทำได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากแปลนของแต่ละชั้นในอาคารส่วนใหญ่มักจะซ้ำกัน โปรแกรมจะสร้างชั้นที่มีแปลนซ้ำกันให้อย่างสะดวกรวดเร็ว โดยเรียกชั้นที่เป็นต้นแบบว่าชั้นหลัก (Master Story) และชั้นที่เหมือนกับต้นแบบเรียกว่าชั้นเสมือน (Similar Story)

2.5.2.6 หน่วยวัด

ETABS ทำงานโดยใช้สี่หน่วยหลักคือ แรง ความยาว อุณหภูมิ และเวลา เราสามารถเลือก เช่น “Kip, in, F” หรือ “N, mm, C” ส่วนเวลาจะวัดเป็นวินาทีเสมอ ในเวอร์ชัน 2013 ใหม่จะมีการกำหนดหน่วยที่มีรายละเอียดมากขึ้น โดยสามารถเลือกเป็นระบบหน่วย U.S. หรือ Metric SI หรือ MKS หรือกำหนดหน่วยเองโดยใช้ Consistent Units ในการคำนวณแบบไดนามิกส์ ความแตกต่างที่สำคัญระหว่าง มวล และ น้ำหนัก คือ น้ำหนักเป็นแรง ส่วนมวลจะมีหน่วยเป็น ($\text{force}\cdot\text{sec}^2/\text{length}$)

เมื่อเริ่มสร้างโมเดลใหม่โปรแกรมจะให้ผู้ใช้กำหนดหน่วยวัดซึ่งจะเป็น หน่วยพื้นฐาน (Base units) ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนหน่วยที่จะใส่ค่าและแสดงค่าได้ตลอดเวลา แต่ทุกค่าจะถูกแปลงเป็นหน่วยพื้นฐาน

2.5.2.7 การนำเข้าแบบจากโปรแกรม AutoCAD

สามารถนำเข้าไฟล์ DXF/DWG อย่างง่ายดายเพื่อมาเป็นฉากหลังในหน้าต่างโมเดลของ ETABS เพื่อใช้อ้างอิงในการสร้างโมเดล สามารถเปิดปิดเลเยอร์เพื่อให้แสดงผลได้ตามต้องการ และคลิกปุ่มขวาเพื่อเปลี่ยนรูปมาเป็นวัตถุใน ETABS

2.5.2.8 การแบ่งพื้นย่อย

เพื่อให้การถ่ายแรงระหว่างชิ้นส่วนในโมเดลมีสมบรูณ์ถูกต้องตามทฤษฎีจำเป็นต้องมีการแบ่งพื้นย่อย (Mesh area) ของระบบพื้นก่อน ซึ่งโปรแกรม ETAB 2013 จะมีคุณสมบัติในการแบ่งพื้นย่อยคือ

- การแบ่งพื้นย่อยโดยอัตโนมัติ
- ควบคุมการแบ่งได้หลากหลาย

- สร้างพื้นย่อยรูปสี่เหลี่ยมเสมอ
- สามารถใช้เครื่องมือเปลี่ยนรูป (Reshaper) กับพื้นย่อย
- แบ่งพื้นย่อยตามเส้นกริด, เส้นที่เลือก หรือ วัตถุที่เลือก

2.5.2.9 คุณสมบัติหน้าตัด

ความสามารถในการกำหนดหน้าตัดและการเลือกใช้หน้าตัดอัตโนมัติของโปรแกรมมีดังนี้

- หน้าตัดคอนกรีต : มีหน้าตัดที่ใช้ทั่วไปให้เลือกและรูปแบบเหล็กเสริมตามมาตรฐานให้เลือก
- หน้าตัดเหล็ก : มีหน้าตัด WF, CH, T, L, ท่อกลม, ท่อสี่เหลี่ยม และหน้าตัดคอมโพสิต
- หน้าตัด Non-prismatic : สามารถสร้างรูปหน้าตัดที่ไม่สมคุลย์ได้
- มีตารางหน้าตัดเหล็กตามมาตรฐานต่างๆสามารถสร้างตารางขึ้นใช้เองได้

2.5.2.10 ชิ้นส่วนโครงสร้าง(Frame Elements)

ชิ้นส่วนโครงใน ETABS 2013 มีทั้งแบบเส้นตรงและแบบเส้นโค้ง และจุดต่อจะถูกสร้างขึ้นโดยอัตโนมัติเมื่อมีองค์อาคารอื่นมาต่อเชื่อม

2.5.2.11 การแก้ไขตารางข้อมูลแบบปฏิสัมพันธ์

ข้อมูลใน ETABS 2013 สามารถดูเป็นตารางและแก้ไขได้ ผู้ใช้สามารถกำหนดบางส่วนหรือโมเดลทั้งหมดโดยใช้สเปรดชีต ในรูปแบบตัวเลขและตัวอักษรได้

2.5.2.12 เครื่องมือสร้างหน้าตัด(Section Designer)

- ผู้ใช้สามารถสร้างหน้าตัดรูปร่างพิเศษที่ไม่มีในตารางหน้าตัด
- คุณสมบัติหน้าตัดทั้งหมดจะถูกคำนวณโดยอัตโนมัติ
- สร้างแผนภูมิปฏิสัมพันธ์สามมิติ สำหรับหน้าตัดเสาคอนกรีตรับการคดสองแกน
- สร้างแผนภูมิโมเมนต์คดสำหรับหน้าตัดคานคอนกรีต

2.5.2.13 ชิ้นส่วนแผ่น (Shell Elements)

- มีชนิดเมมเบรน (Membrane) และเชลล์ (Shell) ใช้โมเดลผนัง, พื้น, และพื้นเอียง
- ชิ้นส่วนแผ่นแบบเลเยอร์คิควัสดุผสมแบบคอมโพสิตของแต่ละชั้น
- ชิ้นส่วนแผ่นหนา เมื่อการเสียรูปทรงเฉือน (Shear deformation) มีความสำคัญ ในขณะที่แผ่นบางจะคิดเฉพาะการเสียรูปทรงจากการคด

2.5.2.14 ผนังเฉือนและปล่องผนัง (Shear Walla and Wall Stacks)

อาคารสามารถถูกโมเดลเป็นหลายส่วนแยกเป็นหออาคาร (building towers) ภาคหนึ่งหลายระดับในคลิกเดียว

กำหนดหมายเลขผนังแบบ Pier และ Spandrel โดยอัตโนมัติ

2.5.3 รูปแบบบรรทุกและกรณีบรรทุกสำหรับโปรแกรม ETABS

ผู้ใช้สามารถสร้างรูปแบบบรรทุกได้ไม่จำกัดทั้งน้ำหนักบรรทุกคงที่, น้ำหนักจร, แรงลมหรือแรงแผ่นดินไหว โดยกรณีบรรทุกจะถูกสร้างขึ้นตามมาอัตโนมัติโดยผู้ใช้ไม่ต้องทำอะไร ยกเว้นแต่จะให้วิเคราะห์แบบพิเศษ

2.5.3.1 น้ำหนักบรรทุกแนวตั้ง

น้ำหนักบรรทุกแนวตั้งกระทำที่จุด เส้น และพื้นที่ ในทิศทาง $-Z$ ถ้าเป็นจุดจะรับแรงหรือโมเมนต์กระทำเป็นจุด วัตถุโครงสร้างอาจรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด หรือแบบน้ำหนักแผ่ วัตถุพื้นที่รับน้ำหนักแผ่ นอกจากนั้นยังมีน้ำหนักตัวเองของอาคารอีกด้วย

2.5.3.2 กรณีบรรทุกสำหรับโครงสร้างอาคารอาจรวมถึง

น้ำหนักบรรทุกคงที่(Dead load)

น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม (Superimposed dead load)

น้ำหนักบรรทุกจร(Live load)

น้ำหนักบรรทุกจรลดค่า(Reduced live load)

น้ำหนักบรรทุกหิมะ(Snow load)

2.5.3.3 น้ำหนักบรรทุกอัตโนมัติ

ETABS สามารถสร้างน้ำหนักบรรทุกอัตโนมัติสำหรับแรงแผ่นดินไหว และแรงลม ตามมาตรฐานต่างๆเช่น UBC, BOCA, ASCE, NBCC, BS, JGJ, Mexican และ IBC และยังสามารถรวมแรงที่กระทำกับโมเดลเป็นกรณีบรรทุกตามมาตรฐานที่กำหนดได้

2.5.4 การวิเคราะห์

สามารถเลือกทำการวิเคราะห์ได้ทั้งแบบสองมิติหรือสามมิติ โดยการกำหนดคิกรีสระและเลือกกรณีบรรทุกที่ต้องการ โดยมีวิธีการวิเคราะห์ ดังนี้

Linear Static Analysis

Nonlinear Static Analysis

Staged Construction Analysis

Response Spectrum Analysis

Time History Analysis

Buckling Analysis

2.5.4.1 การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์

ความสามารถของโปรแกรมในการวิเคราะห์แบบวิธีพลศาสตร์มีดังนี้

- การวิเคราะห์โหมดสั้นไหวโดยวิธี Ritz หรือ Eigen
- การวิเคราะห์ประวัติเวลาแบบเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear)
- การวิเคราะห์แบบไม่เป็นเส้นตรงสามารถพิจารณาความไม่เป็นเส้นตรงเชิงรูปทรง (Geometric nonlinear) และ/หรือ ความไม่เป็นเส้นตรงของวัสดุ (Material nonlinear)
- การวิเคราะห์โดยวิธีสเปคตรัมตอบสนอง
- กรณีโหมดและประวัติเวลาสามารถคิดผลของ P-Delta
- ทางเลือกในการเปลี่ยนน้ำหนักบรรทุกทุกเพิ่มค่าเป็นมวล
- การวิเคราะห์พื้นที่สั้นไหว

2.5.4.2 การวิเคราะห์สเปคตรัมตอบสนอง

- สร้างสเปคตรัมตามมาตรฐานหรือผู้ใช้กำหนดเอง
- กำหนดทิศทาง, สเกล และวิธีรวมผลสเปคตรัม
- กำหนดจำนวนโหมดในการพิจารณาใน Define>Model Case

2.5.4.3 การวิเคราะห์ประวัติเวลา

สามารถวิเคราะห์แบบแยกโหมดแล้วนำมารวมกัน หรือแบบอินทิเกรตโดยตรงกับทั้งโครงสร้างในแต่ละช่วงเวลา โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรง

2.5.4.4 การวิเคราะห์ P-Delta

เป็นผลของการเสียรูปทรงด้านข้างที่มีต่อการรับน้ำหนักตามแนวแกนขององค์อาคาร โดยในองค์อาคารรับแรงอัดผลของ P-Delta จะทำให้องค์อาคารมีโมเมนต์ดัดเพิ่มขึ้นทำให้การเสียรูปทรงมีมากขึ้น

2.5.4.5 การวิเคราะห์โก่งเดาะ

- โหมดการโก่งเดาะเส้นตรงสามารถตรวจพบได้ในน้ำหนักบรรทุกทุกกรณี
- หาโหมดการโก่งเดาะได้หลายโหมด แต่ละโหมดจะมีรูปทรงและอัตราส่วนปลอดภัย
- การวิเคราะห์โก่งเดาะแบบไม่เป็นเส้นตรงโดยพิจารณาผลของ P-Delta
- สามารถใช้กับการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์

- ใช้การวิเคราะห์โคงเตาแบบเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรงร่วมกันเพื่อจำลองพฤติกรรมการเสียเสถียรภาพของโครงสร้าง

2.5.4.6 วิเคราะห์อัตโนมัติเมื่อมีการปรับโมเดล Model Alive

โดยปกติเมื่อรันการวิเคราะห์ โมเดลจะถูกล็อกเพื่อไม่ให้ทำการแก้ไข ต้องปลดล็อกก่อนเมื่อใช้ทางเลือก Model Alive จะสามารถปรับเปลี่ยน โมเดล โดย โปรแกรมจะทำการรันวิเคราะห์ทันทีหลังจากการแก้ไข ทำให้เหมาะสำหรับการทดลองผิดพลาดเพื่อให้ได้รูปแบบโครงสร้าง ใดๆก็ได้ตามสำหรับ โครงสร้างขนาดใหญ่มีจำนวนชิ้นส่วนมากอาจยุ่งยากเนื่องจากใช้เวลาในการรันนานขึ้น

2.5.5 การคำนวณโดยโปรแกรม ETABS

ETABS สามารถทำการคำนวณดังต่อไปนี้ภายหลังการวิเคราะห์

2.5.5.1 จำนวนโครงสร้างหลัก

- สามารถเลือกหน้าตัดค้ำอาคาร ได้อัตโนมัติโดยใช้ Auto-Select lists
- มาตรฐานการคำนวณของอเมริกา (US) และประเทศอื่นๆ
- จำนวนปฏิสัมพันธ์ทำให้ผู้ใช้เห็นผลที่ได้จากการเปลี่ยนหน้าตัดและพารามิเตอร์คำนวณ
- สามารถ Revise/Overwrite เปลี่ยนแปลงแก้ไขเงื่อนไขการคำนวณได้

2.5.5.2 จำนวนคอนกรีตเสริมเหล็ก

- จำนวนปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ
- เลือกหน้าตัดโดยใช้ Auto-select lists
- มาตรฐานการคำนวณ US และประเทศอื่น
- จำนวนปฏิสัมพันธ์ทำให้ผู้ใช้เห็นผลที่ได้จากการเปลี่ยนหน้าตัดและพารามิเตอร์คำนวณ
- สามารถ Revise/Overwrite เปลี่ยนแปลงแก้ไขเงื่อนไขการคำนวณ

2.5.5.3 จำนวนผนังเฉือน

- จำนวนปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการสำหรับการพลิกคว่ำและการเฉือน
- จำนวนอัตราส่วน Demand/Capacity ของการเสริมเหล็กที่กำหนด
- มาตรฐานการคำนวณ US และประเทศอื่น
- สามารถ Revise/Overwrite เปลี่ยนแปลงแก้ไขเงื่อนไขการคำนวณ

2.5.6 ขั้นตอนการทำงานโดยโปรแกรม ETABS



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาผลต่างเชิงเปรียบเทียบของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่แตกต่างกันโดยการจำแนกพื้นที่ตามกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ซึ่งจะแบ่งพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทยได้เป็น 3 บริเวณรวมกับพื้นที่ที่ไม่ต้องพิจารณาแผ่นดินไหวรวมเป็น 4 กลุ่มตัวอย่างและทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบ 3 มิติเพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาทำการคำนวณโครงสร้างและเปรียบเทียบผลต่างทางด้านราคา

3.2 การแบ่งกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

- ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 4 ชั้น ขนาดกว้าง 11 เมตร ยาว 48 เมตรและสูง 17.1 เมตร โครงสร้างหลักเป็นแบบคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่พื้นเป็นระบบพื้นสำเร็จรูปท้องเรียบเทคอนกรีตทับหน้า หลังคาเป็นพื้นลาดฟ้าคอนกรีต โดยอาคารลักษณะดังกล่าวเป็นอาคารที่มีการปลูกสร้างกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เพราะก่อสร้างง่าย ประหยัดงบประมาณได้มากกว่าแบบอื่น ใช้เวลาก่อสร้างน้อย ลักษณะการใช้งานได้หลากหลาย เช่น อพาร์ทเมนท์ อาคารสำนักงาน อาคารเรียน โรงแรม อาคารพาณิชย์ ซึ่งตัวอย่างที่เลือกทำการศึกษาก็ถือว่าเป็นตัวแทนกลุ่มอาคารที่กล่าวมาได้เป็นอย่างดี ผลการศึกษาที่ได้ก็จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป
- จำนวนตัวอย่างในการวิจัย แบ่งเป็น 5 กรณี ได้แก่

กรณีศึกษาที่ 1 : วิเคราะห์โครงสร้างโดยไม่พิจารณาแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว เป็นกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก ภาคกลาง ภาคเหนือตอนล่าง ภาคใต้ตอนบน ซึ่งกฎกระทรวงดังกล่าวไม่ได้กำหนดเป็นพื้นที่เสี่ยงภัย

กรณีศึกษาที่ 2 : วิเคราะห์โครงสร้างพิจารณาแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวบริเวณที่ 1 โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว (Z) = 0.19 และลักษณะชั้นดินเป็นชนิดดินอ่อนมากค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S) = 2.5 เป็นกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนพื้นที่แห่งกรุงเทพฯ เป็นพื้นที่ที่เป็นลักษณะแอ่งกระทะดินเหนียวประกอบด้วย กรุงเทพฯและปริมณฑล

กรณีศึกษาที่ 3 : วิเคราะห์โครงสร้างพิจารณาแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวบริเวณที่ 1 โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว (Z) เท่ากับ 0.19 และลักษณะชั้นดินเป็นชนิดดินอ่อน ค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S) = 0.15 เป็นกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนพื้นที่แห่งกรุงเทพฯ เป็นพื้นที่ที่เป็นลักษณะแอ่งกระทะดินเหนียวประกอบด้วย ปริมาณทรอบนอก

กรณีศึกษาที่ 4 : วิเคราะห์โครงสร้างพิจารณาแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวบริเวณที่ 2 และบริเวณเฝ้าระวัง โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว (Z) เท่ากับ 0.38 และลักษณะชั้นดินเป็นชนิดดินแข็ง ค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S) = 0.12 เป็นกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ภาคตะวันตก และภาคใต้ โดยพิจารณาที่ตั้งอาคารเป็นดินแข็ง

กรณีศึกษาที่ 5 : วิเคราะห์โครงสร้างพิจารณาแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวบริเวณที่ 2 และบริเวณเฝ้าระวัง โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว (Z) เท่ากับ 0.38 และลักษณะชั้นดินเป็นชนิดดินอ่อน ค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S) = 0.15 เป็นกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ภาคตะวันตก และภาคใต้ โดยพิจารณาที่ตั้งอาคารเป็นดินอ่อน

3.3 เครื่องมือในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ โปรแกรม ETABS 2013 V13.2.0 และโปรแกรม MICROSOFT EXEL 2010 โดยแบ่งออกเป็น

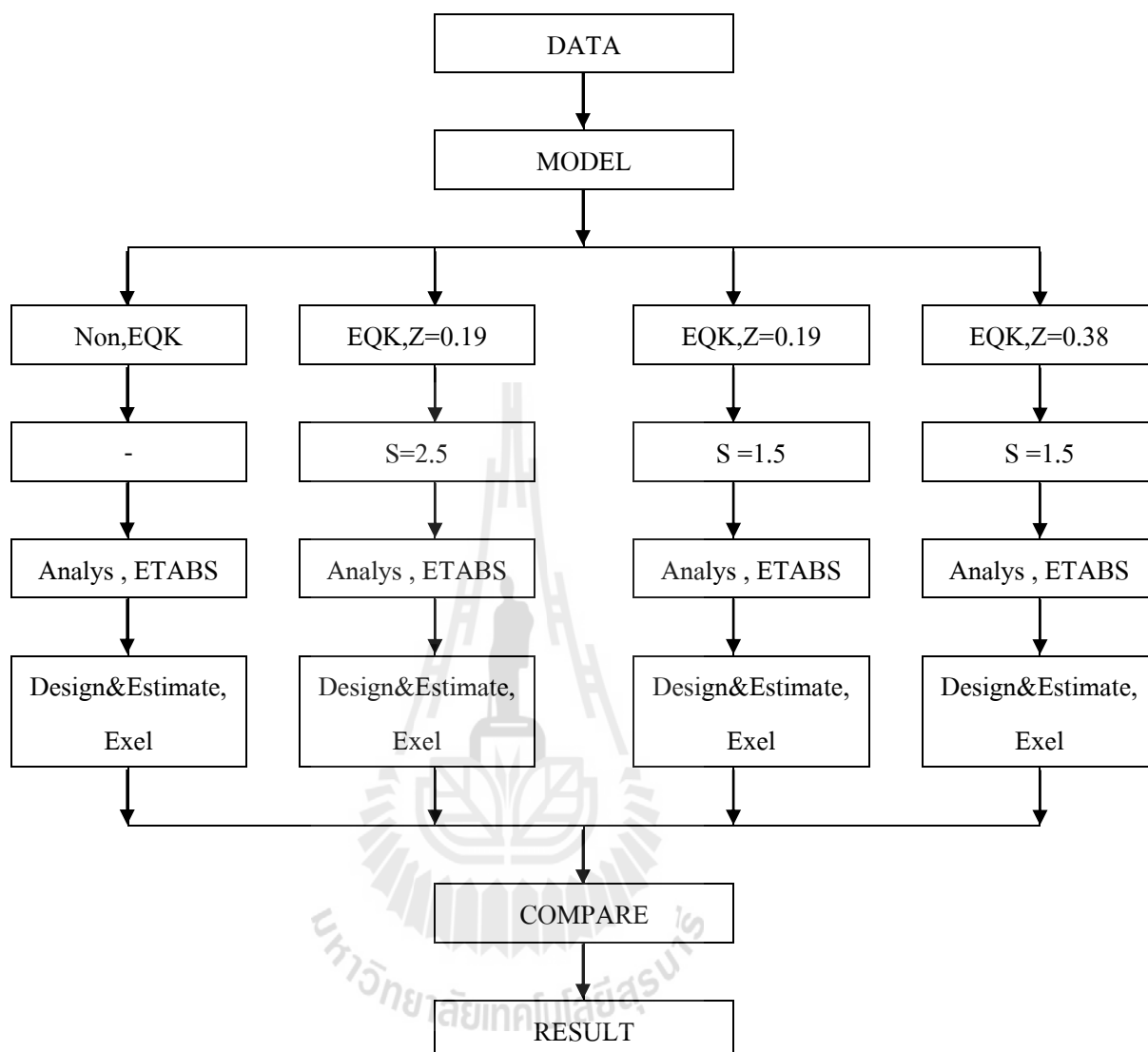
- การคำนวณแรงเฉือนแนวราบที่ฐานเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว (Base shear) คำนวณโดยใช้โปรแกรม MICROSOFT EXEL แบ่ง กลุ่มตัวอย่างออกเป็น 4 กรณี ได้แก่ พื้นที่บริเวณที่ 1 ใช้ค่า $Z = 0.19$ และ บริเวณที่ 2 ใช้ค่า $Z = 0.38$ ค่าแฟคเตอร์อื่นๆ กำหนดให้มีค่าเท่ากัน
- วิเคราะห์โครงสร้างแบบ 3 มิติโดยใช้โปรแกรม ETABS 2013 V13.2.0
- คำนวณงานโครงสร้างหลักโดยใช้โปรแกรม ETABS 2013 V13.2.0 ร่วมกับโปรแกรมคำนวณแบบสเปรดชีต โดยโปรแกรม MICROSOFT EXEL
- ประเมินราคางานโครงสร้างหลักโดยใช้โปรแกรม ETABS 2013 V13.2.0 ร่วมกับโปรแกรมคำนวณแบบสเปรดชีต โดยโปรแกรม MICROSOFT EXEL

3.4 ขั้นตอนการวิจัย

ลำดับขั้นตอนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

1. สร้างโมเดลอาคารในโปรแกรม ETABS จำนวน 4 โมเดลโดยกำหนดคุณสมบัติขององค์ประกอบพื้นฐานในอาคารให้เหมือนกันทุกอย่าง
2. กำหนดหาแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารตามกรณีศึกษาที่แบ่งไว้ อ้างอิงตามกฎกระทรวงฯ พศ.2550 โดยโปรแกรม Excel ค่าที่ได้จะประกอบด้วย
 - แรงเฉือนในแนวราบที่ฐาน
 - แรงดัดข้างที่กระทำในแต่ละชั้น โดยคำนวณได้จากแรงเฉือนที่ฐาน
3. ป้อนค่าแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวที่คำนวณได้ ใส่ใน โมเดล ETABS ตามกรณีศึกษาแล้วทำการวิเคราะห์
4. นำผลการวิเคราะห์มาทำการคำนวณโครงสร้างตามมาตรฐานของ วสท. ประกอบด้วย
 - คำนวณเสา คสล. โดยวิธีกำลัง
 - คำนวณคาน คสล. โดยวิธีกำลัง
 - คำนวณเสาเข็ม โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน
 - คำนวณฐานราก คสล. โดยวิธีกำลัง
5. จัดทำแบบชุดก่อสร้างจากการคำนวณที่ได้
6. ประมาณการราคางานโครงสร้างอาคารตามแบบก่อสร้าง
7. วิเคราะห์ผลต่างของราคางานโครงสร้าง
8. สรุปผลการศึกษา

ขั้นตอนการวิจัยโดยสรุปดังแสดงในแผนผังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการวิจัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการจากการวิเคราะห์ผลการศึกษาเปรียบเทียบการศึกษเปรียบเทียบความแตกต่างทางด้านปริมาณและราคางาน โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่ต่างกัน โดยจำแนกพื้นที่เสี่ยงภัยตามการแบ่งพื้นที่ในกฎกระทรวง "กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550" จะได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูล แบ่งเป็น 4 ส่วนดังนี้

- ผลการคำนวณหาแรงภายนอกที่กระทำกับอาคาร ได้แก่ แรงเฉือนที่ฐานและแรงกระทำด้านข้างกับตัวอาคาร
- ผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนอาคารจากโปรแกรม ETABS
- ผลการคำนวณองค์อาคาร
- ราคางานโครงสร้าง

4.1 ผลการคำนวณหาแรงภายนอกที่กระทำกับอาคาร ได้แก่ แรงเฉือนที่ฐานและแรงกระทำด้านข้างกับตัวอาคารมีรายละเอียดดังนี้

1. น้ำหนักบรรทุกคงที่ของอาคาร โดยมีข้อกำหนดในการคำนวณ ดังนี้
 - หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเพื่อคำนวณน้ำหนักบรรทุกคงที่ ใช้เท่ากับ 2,400 กก/ลบ.ม
 - น้ำหนักบรรทุกจร (Live load) สำหรับชั้นทั่วไปเท่ากับ 300 กก/ตร.ม
 - น้ำหนักบรรทุกจรชั้นหลังคาเท่ากับ 150 กก/ตร.ม
 - น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติมสำหรับชั้นทั่วไปเท่ากับ 100 กก/ตร.ม
 - น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติมชั้นหลังคาเท่ากับ 50 กก/ตร.ม
 - การรวมแรงกระทำ (Load Combination.)
 1. $1.0DL+1.0LL$
 2. $0.75(1.0DL+1.0LL+1.0EQX^+)$
 3. $0.75(1.0DL+1.0LL+1.0EQX^-)$
 4. $0.75(1.0DL+1.0LL+1.0EQY^+)$
 5. $0.75(1.0DL+1.0LL+1.0EQY^-)$
 6. $1.4DL+1.7LL$

7. $0.75(1.4DL+1.7LL+1.7EQX+)$

8. $0.75(1.4DL+1.7LL+1.7EQX-)$

9. $0.75(1.4DL+1.7LL+1.7EQY+)$

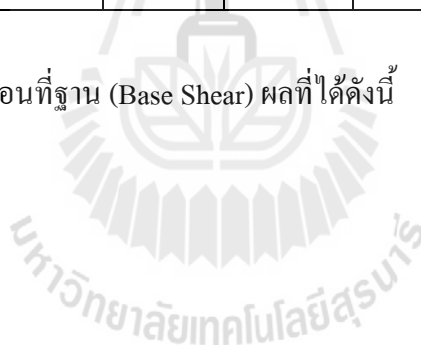
10. $0.75(1.4DL+1.7LL+1.7EQY-)$

ผลที่ได้จากการพิจารณาน้ำหนักอาคารดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การรวมน้ำหนักในแต่ละชั้นและน้ำหนักรวมทั้งหมดของอาคาร

ชั้น	พื้น+อิฐก่อ+คาน			เสา			น้ำหนักรวม (ตัน)
	พื้นที่ (ตร.ม.)	น้ำหนักแผ่น (ตัน/ตร.ม.)	น้ำหนัก (ตัน)	ความสูง (ม.)	น้ำหนัก (ตัน/เมตร)	น้ำหนัก (ตัน)	
หลังคา	540	0.57	307.8	0	7.2	0	307.8
ชั้น 4	540	0.77	415.8	4.2	7.2	30.24	446.04
ชั้น 3	540	0.77	415.8	3.7	7.2	26.64	442.44
ชั้น 2	605	0.77	465.85	3.7	7.2	26.64	492.49
ชั้น 1	605	0.77	465.85	4.5	7.2	32.4	498.25
						รวม	2187.02

2. การหาแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) ผลที่ได้ดังนี้



ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว

ค่าสัมประสิทธิ์	พื้นที่ทำการศึกษา				หมายเหตุ
	กรณีที่1 Zone 1 (ดินอ่อนมาก)	กรณีที่2 Zone 1 (ดินอ่อน)	กรณีที่3 Zone 2 (ดินแข็ง)	กรณีที่4 Zone 2 (ดินอ่อน)	
สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว (Z)	0.19	0.19	0.38	0.38	
ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร (I)	1.25	1.25	1.25	1.25	ประเภทอาคารอื่น ๆ
สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ (K)	1	1	1	1	
สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและ ชั้นดินที่ตั้งอาคาร(S)	2.5	1.5	1.2	1.5	
ความยาวอาคาร (ตามแนวแกน X)	48	48	48	48	เมตร
ความกว้างอาคาร (ตามแนวแกน Y)	10.8	10.8	10.8	10.8	เมตร

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ค่าสัมประสิทธิ์	พื้นที่ทำการศึกษา				หมายเหตุ
	กรณีที่1 Zone 1 (ดินอ่อนมาก)	กรณีที่2 Zone 1 (ดินอ่อน)	กรณีที่3 Zone 2 (ดินแข็ง)	กรณีที่4 Zone 2 (ดินอ่อน)	
ความสูงอาคาร (ตามแนวแกน Z)	17.1	17.1	17.1	17.1	เมตร
น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุอุปกรณ์ ซึ่งยึดตรึงกับที่ (W)	2187	2187	2187	2187	ตัน
คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคารตามแนวแกน X (T)	0.222	0.222	0.222	0.222	
คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคารตามแนวแกน Y (T)	0.468	0.468	0.468	0.468	
ค่าสัมประสิทธิ์ (C_x)	0.120	0.120	0.120	0.120	ถ้าสัมประสิทธิ์ C ได้ มากกว่า 0.12 ให้ใช้เท่ากับ 0.12
ค่าสัมประสิทธิ์ (C_y)	0.097	0.097	0.097	0.097	
$C_x \cdot S$	0.260	0.168	0.140	0.140	ถ้า $C \cdot S > 0.14$ ให้ใช้ 0.14 เว้นแต่กรณีดินอ่อนมากถ้า ผลคูณดังกล่าวมากกว่า 0.26 ให้ใช้เท่ากับ 0.26
$C_y \cdot S$	0.244	0.136	0.140	0.140	

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณแรงเฉือนพื้นฐานเนื่องจากแผ่นดินไหว

ค่าสัมประสิทธิ์	พื้นที่ทำการศึกษา				หมายเหตุ
	กรณีที่1 Zone 1 (ดินอ่อนมาก)	กรณีที่2 Zone 1 (ดินอ่อน)	กรณีที่3 Zone 2 (ดินแข็ง)	กรณีที่4 Zone 2 (ดินอ่อน)	
แรงเฉือนในแนวราบที่ระดับพื้นดินตามแนวแกน X (V_x)	135.0	87.3	145.5	145.5	V = ZIKCSW, ตัน
แรงเฉือนในแนวราบที่ระดับพื้นดินตามแนวแกน Y (V_y)	126.5	70.8	145.5	145.5	
แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคารตามแนวแกน X (F_{TX})	0	0	0	0	Ft ที่ได้จากสูตรนี้ไม่ให้ใช้เกิน 0.25 V และถ้าหาก T มีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า 0.7 วินาที ให้ใช้ค่าของ Ft เท่ากับ 0
แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคารตามแนวแกน Y (F_{TY})	0	0	0	0	

ผลที่ได้จากการคำนวณแรงเฉือนพื้นฐานในกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 ได้ผลที่เท่ากันดังนั้นในขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรม ETABS จะรวมกรณีศึกษาที่ 3 และ 4 เป็นกรณีศึกษาเดียวกัน

3. การกระจายแรงเฉือนพื้นฐานเป็นแรงด้านข้างที่กระทำกับอาคารในแต่ละชั้น

ตารางที่ 4.4 การกระจายแรงทางด้านข้างในแต่ละชั้นและแรงเฉือนในเสาเนื่องจากแผ่นดินไหว กรณีศึกษาที่ 1, แรงตามแนวแกน X

ทิศทางตามแนวแกน X, แรงเฉือนพื้นฐาน = 135 ตัน						
ชั้น n	ความสูง H (ม.)	น้ำหนักแต่ละชั้น W (ตัน)	WH ตัน-ม.	แรงด้านข้าง Ft (ตัน)	แรงเฉือนใน Vt (ตัน)	หมายเหตุ
ROOF	17.11	307.80	5,266.46	38.81	38.81	
4	12.91	446.04	5,758.38	42.43	81.24	
3	9.21	442.44	4,074.87	30.03	111.26	
2	5.51	492.49	2,713.62	19.99	131.26	
1	1.02	498.25	508.22	3.74	135.00	
ระดับดิน	-	2,187.02	-	-	135.00	
		$\sum WH$	18,321.54			

ตารางที่ 4.5 การกระจายแรงทางด้านข้างในแต่ละชั้นและแรงเฉือนในเสาเนื่องจากแผ่นดินไหว
กรณีศึกษาที่ 1,แรงตามแนวแกน Y

ทิศทางตามแนวแกน Y ,แรงเฉือนที่ฐาน = 126.5 ตัน						
ชั้น n	ความสูง H (ม.)	น้ำหนักแต่ละชั้น W (ตัน)	WH ตัน-ม.	แรงด้านข้าง Ft (ตัน)	แรงเฉือนใน Vt (ตัน)	หมายเหตุ
ROOF	17.11	307.80	5,266.46	36.36	36.36	
4	12.91	446.04	5,758.38	39.76	76.12	
3	9.21	442.44	4,074.87	28.13	104.26	
2	5.51	492.49	2,713.62	18.74	122.99	
1	1.02	498.25	508.22	3.51	126.50	
ระดับดิน	-	2,187.02	-	-	126.50	
ΣWH			18,321.54			

ตารางที่ 4.6 การกระจายแรงทางด้านข้างในแต่ละชั้นและแรงเฉือนในเสาเนื่องจากแผ่นดินไหว
กรณีศึกษาที่ 2,แรงตามแนวแกน X

ทิศทางตามแนวแกน X ,แรงเฉือนที่ฐาน = 87.3 ตัน						
ชั้น n	ความสูง H (ม.)	น้ำหนักแต่ละชั้น W (ตัน)	WH (ตัน-ม.)	แรงด้านข้าง Ft (ตัน)	แรงเฉือนใน Vt (ตัน)	หมายเหตุ
ROOF	17.11	307.80	5,266.46	25.09	25.09	
4	12.91	446.04	5,758.38	27.44	52.53	
3	9.21	442.44	4,074.87	19.42	71.95	
2	5.51	492.49	2,713.62	12.93	84.88	
1	1.02	498.25	508.22	2.42	87.30	
ระดับดิน	-	2,187.02	-	-	87.30	
ΣWH			18,321.54			

ตารางที่ 4.7 การกระจายแรงทางด้านข้างในแต่ละชั้นและแรงเฉือนในเสาเนื่องจากแผ่นดินไหว
กรณีศึกษาที่ 2 แรงตามแนวแกน Y

ทิศตามแนวแกน Y ,แรงเฉือนที่ฐาน = 70.8 ตัน						
ชั้น n	ความสูง H (ม.)	น้ำหนักแต่ละชั้น W (ตัน)	WH ตัน-ม.	แรงด้านข้าง Ft (ตัน)	แรงเฉือนใน Vt (ตัน)	หมายเหตุ
ROOF	17.11	307.80	5,266.46	20.35	20.35	
4	12.91	446.04	5,758.38	22.25	42.60	
3	9.21	442.44	4,074.87	15.75	58.35	
2	5.51	492.49	2,713.62	10.49	68.84	
1	1.02	498.25	508.22	1.96	70.80	
ระดับดิน	-	2,187.02	-	-	70.80	
ΣWH			18,321.54			

ตารางที่ 4.8 การกระจายแรงทางด้านข้างในแต่ละชั้นและแรงเฉือนในเสาเนื่องจากแผ่นดินไหว
กรณีศึกษาที่ 3 ,แรงตามแนวแกน X

ทิศตามแนวแกน X ,แรงเฉือนที่ฐาน = 145.4 ตัน						
ชั้น n	ความสูง H (ม.)	น้ำหนักแต่ละชั้น W (ตัน)	WH ตัน-ม.	แรงด้านข้าง F _t (ตัน)	แรงเฉือนใน V _t (ตัน)	หมายเหตุ
ROOF	17.11	307.80	5,266.46	41.79	41.79	
4	12.91	446.04	5,758.38	45.70	87.49	
3	9.21	442.44	4,074.87	32.34	119.83	
2	5.51	492.49	2,713.62	21.54	141.37	
1	1.02	498.25	508.22	4.03	145.40	
ระดับดิน	-	2,187.02	-	-	145.40	
ΣWH			18,321.54			

ตารางที่ 4.9 การกระจายแรงทางด้านข้างในแต่ละชั้นและแรงเฉือนในเสาเนื่องจากแผ่นดินไหว
กรณีศึกษาที่ 3, แรงตามแนวแกน Y

ทิศทางตามแนวแกน Y ,แรงเฉือนที่ฐาน = 145.4 ตัน						
ชั้น n	ความสูง H (ม.)	น้ำหนักแต่ละชั้น W (ตัน)	WH ตัน-ม.	แรงด้านข้าง Ft (ตัน)	แรงเฉือนใน Vt (ตัน)	หมายเหตุ
ROOF	17.11	307.80	5,266.46	41.79	41.79	
4	12.91	446.04	5,758.38	45.70	87.49	
3	9.21	442.44	4,074.87	32.34	119.83	
2	5.51	492.49	2,713.62	21.54	141.37	
1	1.02	498.25	508.22	4.03	145.40	
ระดับดิน	-	2,187.02	-	-	145.40	
$\sum WH$			18,321.54			

4.2 ผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนอาคารจากโปรแกรม ETABS

จากการวิเคราะห์โครงสร้างแบบสามมิติด้วยโปรแกรม ETABS จะได้ผลการวิเคราะห์ซึ่งเป็นแรงในชิ้นส่วนขององค์อาคาร ซึ่งผลที่ได้จะพบว่าแรงภายในชิ้นส่วนต่างๆของโครงสร้างอาคารมีเพียงแรงภายในเสาและคานที่เปลี่ยนแปลงมากขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ แรงในส่วนของพื้นจะมีค่าเท่าเดิมเนื่องจากในการโมเดลอาคารได้กำหนดให้แรงด้านข้างที่เกิดจากแผ่นดินไหวจะส่งถ่ายแรงระหว่างเสาและคานเป็นหลักเท่านั้น ในส่วนของโครงสร้างฐานรากและเสาเข็มผลที่ได้จากการวิเคราะห์แม้ว่าจะมีค่าแรงกระทำกับระบบฐานรากเพิ่มขึ้นแต่ก็มีขนาดของแรงที่เพิ่มเพียงเล็กน้อยไม่ส่งผลต่อขนาดและจำนวนของเสาเข็ม

ผลของแรงภายในที่ได้จากการวิเคราะห์แยกตามกรณีที่ทำการศึกษาและตามประเภทของชิ้นส่วนอาคาร โดยแต่ละชนิดขององค์อาคารจะทำการแบ่งกลุ่มชิ้นส่วนที่มีพฤติกรรมในการรับแรงคล้ายกันรวมเข้าเป็นกลุ่มที่มีหน้าตัดเดียวกันในการคำนวณเพื่อความสะดวกในการคำนวณ โดยแบ่งได้เป็น

1. ระบบเสา แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ C1, C2 และ C3
2. ระบบคาน แบ่งเป็น 9 กลุ่ม ได้แก่ B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8 และ B9
3. ระบบฐานราก แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ F1, F2 และ F3

เมื่อได้แรงจากการวิเคราะห์ในแต่ละกลุ่มหน้าตัดและตามกรณีของแรงแผ่นดินไหวตามโปรแกรมคำนวณแล้วในการเลือกขนาดแรงภายในที่จะนำมาทำการคำนวณหน้าตัดจะเลือกแรงที่

เกิดขึ้นสูงสุดของแต่ละกลุ่มโดยพิจารณาในส่วนของพฤติกรรมในการรวมแรง (Load Combination) ด้วย ซึ่งผลของแรงที่ได้แสดงในตารางที่ 4.10 ถึง ตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.10 ผลของแรงภายในสูงสุดในเสากรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว

Column no.	Section Size	Description.	Load Combination	Axial	Shear		Torsion	Bending	
				Max P kN	Max V2 kN	Max V3 kN	Max T kN-m	Max M2 kN-m	Max M3 kN-m
C1	25X30	Max. P	U1_1.4DL+1.7LL	-491.33	-0.01	18.40	0.00	0.00	0.00
		Max. M2	U1_1.4DL+1.7LL	-49.56	0.15	-13.09	0.00	-26.12	0.23
		Max. M3	U1_1.4DL+1.7LL	-22.76	2.74	-1.83	0.00	2.88	-6.12
C2	25X40	Max. P	U1_1.4DL+1.7LL	-697.49	-0.94	-8.17	-0.31	-9.99	-1.43
		Max. M2	U1_1.4DL+1.7LL	-223.08	3.10	-13.75	0.00	26.66	-4.82
		Max. M3	U1_1.4DL+1.7LL	-91.85	5.60	-3.70	0.00	8.81	-12.54
C3	25X40	Max. P	U1_1.4DL+1.7LL	-1638.2	-0.20	-23.12	0.00	0.00	0.00
		Max. M2	U1_1.4DL+1.7LL	-874.98	0.20	77.63	0.00	147.78	0.40
		Max. M3	U1_1.4DL+1.7LL	-1295.9	-45.27	10.56	0.00	-7.45	-26.58

ตารางที่ 4.11 ผลของแรงภายในสูงสุดในคานกรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว

	Section	Axial	Shear		Torsion	Bending	
		Max P kN	Max V2 kN	Max V3 kN	Max T kNm	Max M2 kNm	Max M3 kNm
B1	0.20x0.40	0.000	17.967	0.000	0.079	0.000	41.753
		0.000	28.193	0.000	0.079	0.000	-47.681
B2	0.20x0.40	0.000	-5.011	0.000	0.510	0.000	14.611
		0.000	-51.261	0.000	0.001	0.000	-61.340
B3	0.20x0.40	0.000	-1.051	0.000	0.000	0.000	44.154
		0.000	76.087	0.000	0.003	0.000	-83.175
B4	0.20x0.40	0.000	-28.189	0.000	0.370	0.000	38.609
		0.000	-51.640	0.000	0.429	0.000	-34.349
B5	0.20x0.50	0.000	-0.659	0.000	0.315	0.000	32.667
		0.000	-65.190	0.000	0.837	0.000	-56.430

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

	Section	Axial	Shear		Torsion	Bending	
		Max P kN	Max V2 kN	Max V3 kN	Max T kNm	Max M2 kNm	Max M3 kNm
B6	0.20x0.50	0.000	-2.931	0.000	0.084	0.000	53.805
		0.000	-134.497	0.000	-0.689	0.000	-92.368
B7	0.20x0.50	0.000	-12.357	0.000	8.471	0.000	100.355
		0.000	-62.082	0.000	-0.003	0.000	-69.755
B8	0.20x0.50	0.000	-15.065	0.000	1.016	0.000	118.323
		0.000	49.894	0.000	1.953	0.000	-9.250
B9	0.30x0.70	0.000	31.641	0.000	-0.677	0.000	380.897
		0.000	256.381	0.000	0.585	0.000	-230.018

ตารางที่ 4.12 ผลของแรงที่จู่ตรงรับกรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว

Column no.	Desc.	Load Combination	Lateral		Axial	Bending		Torsion
			FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN-m	MY kN-m	MZ kN-m
F1	Max. P	W1_1.0DL+1.0LL	0.001	-1.290	33.855	0.000	0.000	0.000
F2	Max. P	W1_1.0DL+1.0LL	3.273	5.581	62.219	0.000	0.000	0.000
F3	Max. P	W1_1.0DL+1.0LL	0.014	1.495	110.210	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 4.13 ผลของแรงภายในสูงสุดในเสากรณีที่ 2 คิดแรงแผ่นดินไหว ที่ Z=0.19, S=2.5

Column no.	Section Size	Description	Load Combination	Axial	Shear		Torsion	Bending	
				Max P kN	Max V2 kN	Max V3 kN	Max T kN-m	Max M2 kN-m	Max M3 kN-m
C1	25X30	Max. P	U5_1.4DL+1.7E(Y-)	-541.57	-5.73	-94.82	0.00	0.00	0.00
		Max. M2	U5_1.4DL+1.7E(Y-)	-234.13	0.38	-25.00	-0.16	-45.75	0.81
		Max. M3	U3_1.4DL+1.7E(X-)	-129.84	-34.71	-3.28	0.04	-4.24	-64.64

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

Column no.	Section Size	Description	Load Combination	Axial	Shear		Torsion	Bending	
				Max P kN	Max V2 kN	Max V3 kN	Max T kN-m	Max M2 kN-m	Max M3 kN-m
C2	25X40	Max. P	U6_1.05DL+1.275LL +1.275E(X)	-703.14	44.63	-19.19	-6.66	-18.67	78.18
		Max. M2	U5_1.4DL+1.7E(Y-)	-531.44	0.83	-130.95	-0.46	-168.81	-1.96
		Max. M3	U3_1.4DL+1.7E(X-)	-340.62	-63.27	-17.57	2.56	-20.41	-111.29
C3	25X40	Max. P	U1_1.4DL+1.7LL	-1638.2	-0.20	-23.12	0.00	0.00	0.00
		Max. M2	U5_1.4DL+1.7E(Y-)	-600.16	4.82	-188.26	-0.30	-203.84	3.24
		Max. M3	U3_1.4DL+1.7E(X-)	-925.02	-189.30	12.77	0.05	5.08	-213.58

ตารางที่ 4.14 ผลของแรงภายในสูงสุดในคานกรณีที่ 2 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ Z=0.19, S=2.5

	Section	Axial	Shear		Torsion	Bending	
		Max P	Max V2	Max V3	Max T	Max M2	Max M3
B1	0.20x0.40	0.000	-39.011	0.000	-2.496	0.000	94.330
		0.000	47.943	0.000	0.025	0.000	-112.882
B2	0.20x0.40	0.000	-78.251	0.000	0.234	0.000	88.706
		0.000	103.354	0.000	1.532	0.000	-84.066
B3	0.20x0.40	0.000	133.408	0.000	3.770	0.000	189.310
		0.000	-149.393	0.000	-3.129	0.000	-197.206
B4	0.20x0.40	0.000	216.040	0.000	0.551	0.000	249.337
		0.000	228.557	0.000	1.249	0.000	-262.206
B5	0.20x0.50	0.000	251.092	0.000	-5.724	0.000	195.989
		0.000	274.208	0.000	-0.425	0.000	-217.225
B6	0.20x0.50	0.000	-5.717	0.000	0.037	0.000	54.783
		0.000	-134.497	0.000	-0.689	0.000	-92.368
B7	0.20x0.50	0.000	-12.357	0.000	8.471	0.000	100.355
		0.000	65.128	0.000	1.216	0.000	-87.961
B8	0.20x0.50	0.000	-15.560	0.000	-0.388	0.000	121.020
		0.000	59.505	0.000	2.105	0.000	-42.274
B9	0.30x0.70	0.000	31.641	0.000	-0.677	0.000	380.897
		0.000	-218.731	0.000	0.612	0.000	-265.979

ตารางที่ 4.15 ผลของแรงที่จู่ตรงรับกรณีครั้งที่ 2 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.19$, $S=2.5$

Column no.	Desc.	Load Combination	Lateral		Axial	Bending		Torsion
			FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN-m	MY kN-m	MZ kN-m
F1	Max. P	W9_1.0DL+0.75LL+0.75E(-Y)	0.427	4.542	36.710	0.000	0.000	0.000
F2	Max. P	W7_1.0DL+0.75LL+0.75E(-X)	27.460	6.615	70.871	0.000	0.000	0.000
F3	Max. P	W1_1.0DL+1.0LL	0.014	1.495	110.210	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 4.16 ผลของแรงภายในสูงสุดในเสากรณีครั้งที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.19$, $S=1.5$

หมายเลขเสา	ขนาดม.	Desc.	Load Combination	Axial	Shear		Torsion	Bending	
				Max P kN	Max V2 kN	Max V3 kN	Max T kN-m	Max M2 kN-m	Max M3 kN-m
C1	25X3	Max. P	U1_1.4DL+1.7LL	-491.33	-0.01	18.40	0.00	0.00	0.00
		Max.	U4_1.4DL+1.7E(Y)	-72.92	0.38	13.18	0.09	31.43	0.70
		Max.	U3_1.4DL+1.7E(X-)	-131.48	-22.81	-3.34	0.03	-4.34	-42.67
C2	25X4	Max. P	U1_1.4DL+1.7LL	-697.49	-0.94	-8.17	-0.31	-9.99	-1.43
		Max.	U5_1.4DL+1.7E(Y-)	-484.13	0.72	-75.97	-0.20	-97.67	-0.68
		Max.	U3_1.4DL+1.7E(X-)	-338.50	-41.43	-15.51	1.68	-17.75	-73.13
C3	25X4	Max. P	U1_1.4DL+1.7LL	-1638.2	-0.20	-23.12	0.00	0.00	0.00
		Max.	U1_1.4DL+1.7LL	-874.98	0.20	77.63	0.00	147.78	0.40
		Max.	U3_1.4DL+1.7E(X-)	-834.93	-123.8	6.49	0.03	2.19	-139.2

ตารางที่ 4.17 ผลของแรงภายในสูงสุดในคานกรณีครั้งที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.19$, $S=1.5$

	Section	Axial	Shear		Torsion	Bending	
		Max P kN	Max V2 kN	Max V3 kN	Max T kNm	Max M2 kNm	Max M3 kNm
B1	0.20x0.40	0.000	-23.066	0.000	-2.364	0.000	59.187
		0.000	37.076	0.000	0.000	0.000	-82.395
B2	0.20x0.40	0.000	-39.874	0.000	0.138	0.000	50.768
		0.000	-58.337	0.000	0.002	0.000	-66.649
B3	0.20x0.40	0.000	83.445	0.000	2.551	0.000	121.023
		0.000	-99.429	0.000	-1.910	0.000	-128.919
B4	0.20x0.40	0.000	137.511	0.000	0.233	0.000	158.981
		0.000	150.047	0.000	0.932	0.000	-171.871
B5	0.20x0.50	0.000	147.725	0.000	-4.182	0.000	116.313
		0.000	164.733	0.000	-0.677	0.000	-129.353
B6	0.20x0.50	0.000	-2.931	0.000	0.084	0.000	53.805
		0.000	-134.497	0.000	-0.689	0.000	-92.368

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)

	Section	Axial	Shear		Torsion	Bending	
		Max P kN	Max V2 kN	Max V3 kN	Max T kNm	Max M2 kNm	Max M3 kNm
B7	0.20x0.50	0.000	-12.357	0.000	8.471	0.000	100.355
		0.000	64.191	0.000	1.982	0.000	-72.406
B8	0.20x0.50	0.000	-15.342	0.000	0.230	0.000	119.833
		0.000	56.140	0.000	1.964	0.000	-29.986
B9	0.30x0.70	0.000	31.641	0.000	-0.677	0.000	380.897
		0.000	256.381	0.000	0.585	0.000	-230.018

ตารางที่ 4.18 ผลของแรงที่จู่ตรงรับกรณีที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ Z=0.19, S=1.5

Column no.	Desc.	Load Combination	Lateral		Axial	Bending		Torsion
			FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN-m	MY kN-m	MZ kN-m
F1	Max. P	W9_1.0DL+0.75LL+0.75E(-Y)	0.004	-2.418	34.059	0.000	0.000	0.000
F2	Max. P	W7_1.0DL+0.75LL+0.75E(-X)	18.831	6.009	65.768	0.000	0.000	0.000
F3	Max. P	W1_1.0DL+1.0LL	0.014	1.495	110.210	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 4.19 ผลของแรงภายในสูงสุดในเสากรณีที่ 4 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ Z=0.38, S=1.5

หมายเลขเสา	ขนาดม.	Desc.	Load Combination	Axial	Shear		Torsion	Bending	
				Max P kN	Max V2 kN	Max V3 kN	Max T kN-m	Max M2 kN-m	Max M3 kN-m
C1	25X30	Max. P	U5_1.4DL+1.7E(Y-)	-588.31	-5.67	-108.46	0.00	0.00	0.00
		Max. M2	U5_1.4DL+1.7E(Y-)	-255.89	0.30	-28.46	-0.38	-52.08	0.69
		Max. M3	U3_1.4DL+1.7E(X-)	-120.54	-37.51	-2.38	0.05	-3.99	-69.51
C2	25X40	Max. P	U6_1.05DL+1.275LL+1.275E(X)	-717.00	48.12	-20.20	-7.16	-19.53	84.28
		Max. M2	U5_1.4DL+1.7E(Y-)	-547.49	0.87	-149.62	-0.55	-192.95	-2.39
		Max. M3	U3_1.4DL+1.7E(X-)	-341.08	-68.02	-18.01	2.76	-20.99	-119.60
C3	25X40	Max. P	U1_1.4DL+1.7LL	-	-0.20	-23.12	0.00	0.00	0.00
		Max. M2	U5_1.4DL+1.7E(Y-)	-589.72	6.15	-215.65	-0.34	-233.84	4.19
		Max. M3	U3_1.4DL+1.7E(X-)	-944.65	-203.56	14.14	0.05	5.71	-229.79

ตารางที่ 4.20 ผลของแรงภายในสูงสุดในคานกรณีที 4 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.38$, $S=1.5$

	Section	Axial	Shear		Torsion	Bending	
		Max P kN	Max V2 kN	Max V3 kN	Max T kNm	Max M2 kNm	Max M3 kNm
B1	0.20x0.40	0.000	-42.483	0.000	-2.524	0.000	101.981
		0.000	50.309	0.000	0.030	0.000	-119.519
B2	0.20x0.40	0.000	-91.274	0.000	0.266	0.000	101.579
		0.000	117.280	0.000	1.721	0.000	-96.820
B3	0.20x0.40	0.000	144.298	0.000	4.036	0.000	204.193
		0.000	-160.283	0.000	-3.395	0.000	-212.090
B4	0.20x0.40	0.000	233.154	0.000	0.620	0.000	269.029
		0.000	245.667	0.000	1.318	0.000	-281.894
B5	0.20x0.50	0.000	286.176	0.000	-6.248	0.000	223.033
		0.000	311.367	0.000	-0.339	0.000	-247.051
B6	0.20x0.50	0.000	-7.188	0.000	0.044	0.000	57.202
		0.000	-134.497	0.000	-0.689	0.000	-92.368
B7	0.20x0.50	0.000	-12.357	0.000	8.471	0.000	100.355
		0.000	69.352	0.000	1.220	0.000	-96.997
B8	0.20x0.50	0.000	-15.633	0.000	-0.598	0.000	121.423
		0.000	60.239	0.000	2.136	0.000	-44.952
B9	0.30x0.70	0.000	31.641	0.000	-0.677	0.000	380.897
		0.000	-222.334	0.000	0.637	0.000	-280.048

ตารางที่ 4.21 ผลของแรงที่จุดรองรับกรณีที 4 คัดแรงแผ่นดินไหว ที่ $Z=0.38$, $S=1.5$

Column no.	Desc.	Load Combination	Lateral		Axial	Bending		Torsion
			FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN-m	MY kN-m	MZ kN-m
F1	Max. P	W9_1.0DL+0.75LL+0.75E(-Y)	0.424	5.156	38.813	0.000	0.000	0.000
F2	Max. P	W7_1.0DL+0.75LL+0.75E(-X)	29.340	6.747	71.984	0.000	0.000	0.000
F3	Max. P	W1_1.0DL+1.0LL	0.014	1.495	110.210	0.000	0.000	0.000

4.3 ผลการคำนวณองค์อาคาร

เมื่อได้ผลของแรงภายในชิ้นส่วนขององค์อาคารแล้วในขั้นตอนของการคำนวณในงานวิจัยชิ้นนี้จะเลือกการคำนวณด้วยโปรแกรมแบบสเปรดชีต โดยโปรแกรม MICROSOFT EXEL ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เขียนโดยอ้างอิงมาตรฐานการคำนวณโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังตามมาตรฐานของ ACI 318-05 วิธีการโดยจัดกลุ่มชิ้นส่วนที่มีค่าแรงภายในใกล้เคียงกันแล้วเลือกค่าแรงที่เกิดขึ้นสูงสุดภายในกลุ่มมาทำการคำนวณ ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณดังกล่าวพบว่าใน

กรณีศึกษาที่ 3 หน้าตัดเสาและหน้าตัดคานมีขนาดเท่าเดิมแต่จำนวนเหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ส่วนกรณีที่ 2 และกรณีศึกษาที่ 4 ต้องเพิ่มทั้งขนาดหน้าตัดและเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมด้วย ในทางเป็นจริงการเพิ่มขนาดหน้าตัดขององค์อาคารให้มีขนาดใหญ่ขึ้นอาจเกิดผลกระทบต่อรูปแบบทางด้านสถาปัตยกรรมของตัวอาคารได้ ซึ่งการที่จะคงรูปแบบทางสถาปัตยกรรมเป็นหลักในการคำนวณก็จะต้องเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมให้มากขึ้นและราคางานโครงสร้างก็จะสูงตามไปด้วย

ตารางที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบปริมาณงาน โครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงตามพื้นที่เสี่ยงภัยที่แตกต่างกัน

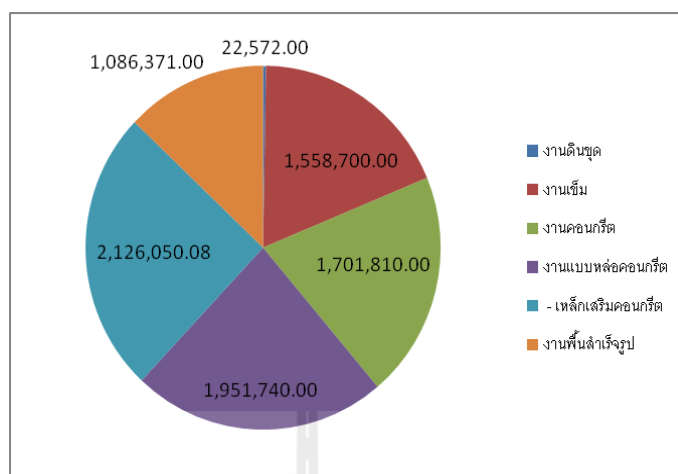
กรณีศึกษาที่	ปริมาณเหล็กเสริม (ตัน)	ปริมาณคอนกรีต (ลบ.ม)	ปริมาณไม้แบบ (ตร.ม)	ปริมาณเสาเข็ม (ตัน)
กรณี 1 : ไม่คิดแรง	77.41	531	4,200	109
กรณี 2 : $Z = 0.19, S$	89.80	554	4,354	109
กรณี 3 : $Z = 0.19, S$	82.92	547	4,290	109
กรณี 4 : $Z = 0.38, S$	101.73	576	4,471	109

4.4 ราคางานโครงสร้าง

ผลที่ได้จากการประมาณการราคาพบว่าราคาโครงสร้างหลักในส่วนที่จะมีผลกระทบจากแรงแผ่นดินไหวอันได้แก่ เสา และคาน จะมีราคาค่าก่อสร้างอยู่ที่ประมาณ 35% ของราคาโครงสร้างทั้งหมดแต่เมื่อมีการคำนวณให้อาคารสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวแล้วราคาโครงสร้างหลักจะเพิ่มขึ้น โดย พื้นที่บริเวณที่ 1, ดินอ่อนมาก ราคางานเสาและคาน จะเพิ่มเป็น 37.82% บริเวณที่ 1, ดินอ่อน ราคางานเสาและคาน จะเพิ่มเป็น 36.52% และบริเวณที่ 2, ดินอ่อน ราคางานเสาและคาน จะเพิ่มเป็น 40.12% และราคารวมของงาน โครงสร้างที่คำนวณให้ต้านทานแผ่นดินไหวจะเพิ่มจากอาคารปกติที่ไม่ได้คำนวณให้ต้านแผ่นดินไหว ได้แสดงในรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.23 ผลการคิดปริมาณและราคางานโครงสร้างกรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว

No.	รายการ	ปริมาณ	%	ปริมาณสุทธิ	หน่วย	วัสดุ		ค่าแรง		รวมเป็นเงิน
						/หน่วย	จำนวนเงิน	/หน่วย	จำนวน	
1	งานดินซุด									
	- งานซุดดิน	138.00	20%	165.6	ลบ.ม	-	-	125.0	20,700.0	20,700.0
	- ทราซหยาบอัดแน่น	3.00	20%	3.6	ลบ.ม	400.0	1,440.0	120.0	432.0	1,872.0
2	งานเข็ม									
	- เสาค้ำตอกสี่เหลี่ยมตัน ขนาด	109.00	0%	109.0	ตัน	13,500.0	1,471,500.0	-	-	1,471,500.0
	- งานตัดหัวเสาค้ำ	109.00	100%	218.0	ตัน	400.0	87,200.0	-	-	87,200.0
3	งานคอนกรีต									
	- คอนกรีตหยาบ	3.00	10%	3.3	ลบ.ม	2,000.0	6,600.0	400.0	1,320.0	7,920.0
	- คอนกรีตโครงสร้าง	531.00	10%	584.1	ลบ.ม	2,500.0	1,460,250.0	400.0	233,640.0	1,693,890.0
4	งานแบบหล่อคอนกรีต									
	- แบบหล่อคอนกรีต	4,200.00	0%	4,200.0	ตร.ม	350.0	1,470,000.0	100.0	420,000.0	1,890,000.0
	- ตะปูและอุปกรณ์ยึด	1,680.00	5%	1,764.0	กก.	35.0	61,740.0	-	-	61,740.0
5	- เหล็กเสริมคอนกรีต									
	- SR24_RB6	8,754.00	5%	9,191.7	กก.	22.0	202,217.4	4.0	36,766.8	238,984.2
	- SR24_RB9	3,810.00	5%	4,000.5	กก.	22.0	88,011.0	4.0	16,002.0	104,013.0
	- SD40_DB12	11,515.00	5%	12,090.8	กก.	22.0	265,996.5	4.0	48,363.0	314,359.5
	- SD40_DB16	14,787.00	5%	15,526.4	กก.	22.0	341,579.7	4.0	62,105.4	403,685.1
	- SD40_DB20	8,372.00	5%	8,790.6	กก.	22.0	193,393.2	4.0	35,162.4	228,555.6
	- SD40_DB25	27,914.00	5%	29,309.7	กก.	22.0	644,813.4	4.0	117,238.8	762,052.2
	- ลวดผูกเหล็ก	2,254.56	10%	2,480.0	กก.	30.0	74,400.5	-	-	74,400.5
6	งานพื้นสำเร็จรูป									
	HOLLOW CORE SLAB	1,846.00	7%	1,975.2	ลบ.ม	400.0	790,088.0	150.0	296,283.0	1,086,371.0
	รวมหมวดงานโครงสร้าง						7,159,229.7		1,288,013.4	8,447,243.1

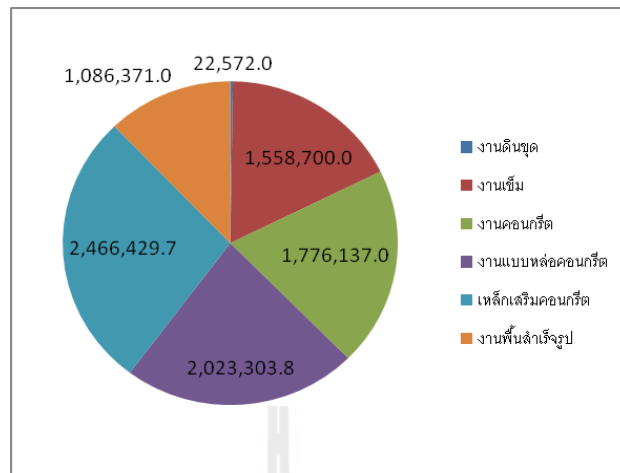


รูปที่ 4.1 ราคางานโครงสร้างอาคารกรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว



ตารางที่ 4.24 ผลการคิดปริมาณและราคางานโครงสร้างกรณีที่ 2 คัดแรงแผ่นดินไหวที่ $Z=0.19, S=2.5$

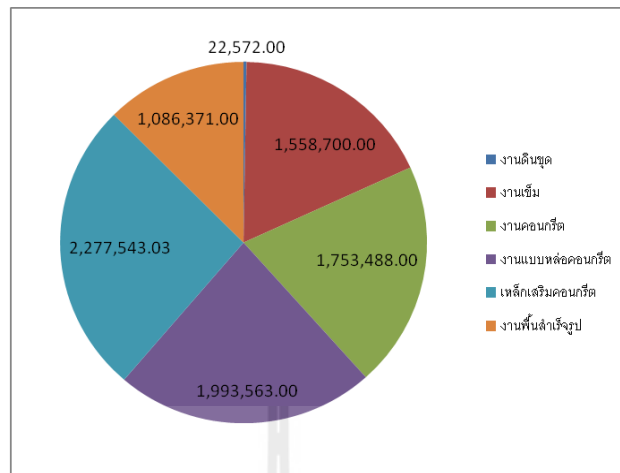
No.	รายการ	ปริมาณ	%	ปริมาณสุทธิ	หน่วย	วัสดุ		ค่าแรง		รวมเป็นเงิน
						/หน่วย	จำนวนเงิน	/หน่วย	จำนวนเงิน	
1	งานดินขุด									
	- งานขุดดิน	138.0	20%	166	ลบ.ม	-	-	125.0	20,700	20,700
	- ทราฮายาบอัดแน่น	3.0	20%	4	ลบ.ม	400.0	1,440	120.0	432	1,872
2	งานเข็ม									
	- เสาค้ำคอกสี่เหลี่ยมตัน ขนาด	109.00	0%	109.0	ตัน	13,500.0	1,471,500.0	-	-	1,471,500.0
	- งานตัดหัวเสาค้ำ	109.00	100%	218.0	ตัน	400.0	87,200.0	-	-	87,200.0
3	งานคอนกรีต									
	- คอนกรีตหยาบ	3.0	10%	3	ลบ.ม	2,000.0	6,600	400.0	1,320	7,920
	- คอนกรีตโครงสร้าง	554.3	10%	610	ลบ.ม	2,500.0	1,524,325	400.0	243,892	1,768,217
4	งานแบบหล่อคอนกรีต									
	- แบบหล่อคอนกรีต	4,354.0	0%	4,354	ตร.ม	350.0	1,523,900	100.0	435,400	1,959,300
	- ตะปูและอุปกรณ์ยึด	1,741.6	5%	1,829	กก.	35.0	64,004	-	-	64,004
5	- เหล็กเสริมคอนกรีต									
	- SR24_RB6	8,582.5	5%	9,012	กก.	22.0	198,256	4.0	36,047	234,302
	- SR24_RB9	5,473.5	5%	5,747	กก.	22.0	126,438	4.0	22,989	149,427
	- SD40_DB12	11,515.0	5%	12,091	กก.	22.0	265,997	4.0	48,363	314,360
	- SD40_DB16	3,348.5	5%	3,516	กก.	22.0	77,350	4.0	14,064	91,414
	- SD40_DB20	25,569.5	5%	26,848	กก.	22.0	590,655	4.0	107,392	698,0
	- SD40_DB25	32,694.8	5%	34,330	กก.	22.0	755,250	4.0	137,318	892,568
	- ลวดผูกเหล็ก	2,615.5	10%	2,877	กก.	30.0	86,312	-	-	86,312
6	งานพื้นสำเร็จรูป									
	HOLLOW CORE SLAB	1,846.0	7%	1,975	ลบ.ม	400.0	790,088	150.0	296,283	1,086,371
	รวมหมวดงานโครงสร้าง						7,569,314.5		1,364,199.0	8,933,513.5



รูปที่ 4.2 ราคางานโครงสร้างอาคารกรณีที่ 2 คัดแรงแผ่นดินไหวที่ $Z=0.19$, $S=2.5$

ตารางที่ 4.25 ผลการคิดปริมาณและราคางานโครงสร้างกรณีที่ 3 คิดแรงแผ่นดินไหวที่ Z=0.19, S=1.5

No.	รายการ	ปริมาณ	%	ปริมาณสุทธิ	หน่วย	วัสดุ		ค่าแรง		รวมเป็นเงิน
						/หน่วย	จำนวนเงิน	/หน่วย	จำนวนเงิน	
1	งานดินขุด									
	- งานขุดดิน	138.00	20%	165.60	ลบ.ม	0.00	0.00	125.00	20,700.00	20,700.00
	- ทราขยอบอัดแน่น	3.00	20%	3.60	ลบ.ม	400.00	1,440.00	120.00	432.00	1,872.00
2	งานเข็ม									
	- เสาค้ำคอกสี่เหลี่ยมตัน	109.00	0%	109.00	ตัน	13,500.00	1,471,500.00	0.00	0.00	1,471,500.00
	- งานตัดหัวเสาค้ำ	109.00	100%	218.00	ตัน	400.00	87,200.00	0.00	0.00	87,200.00
3	งานคอนกรีต									
	- คอนกรีตหยาบ	3.00	10%	3.30	ลบ.ม	2,000.00	6,600.00	400.00	1,320.00	7,920.00
	- คอนกรีตโครงสร้าง	547.20	10%	601.92	ลบ.ม	2,500.00	1,504,800.00	400.00	240,768.00	1,745,568.00
4	งานแบบหล่อคอนกรีต									
	- แบบหล่อคอนกรีต	4,290.00	0%	4,290.00	ตร.ม	350.00	1,501,500.00	100.00	429,000.00	1,930,500.00
	- ตะปูและอุปกรณ์ยึด	1,716.00	5%	1,801.80	กก.	35.00	63,063.00	0.00	0.00	63,063.00
5	- เหล็กเสริมคอนกรีต									
	- SR24_RB6	7,589.00	5%	7,968.45	กก.	22.00	175,305.90	4.00	31,873.80	207,179.70
	- SR24_RB9	6,057.00	5%	6,359.85	กก.	22.00	139,916.70	4.00	25,439.40	165,356.10
	- SD40_DB12	11,515.00	5%	12,090.75	กก.	22.00	265,996.50	4.00	48,363.00	314,359.50
	- SD40_DB16	11,035.00	5%	11,586.75	กก.	22.00	254,908.50	4.00	46,347.00	301,255.50
	- SD40_DB20	10,076.00	5%	10,579.80	กก.	22.00	232,755.60	4.00	42,319.20	275,074.80
	- SD40_DB25	34,235.00	5%	35,946.75	กก.	22.00	790,828.50	4.00	143,787.00	934,615.50
	- ลวดผูกเหล็ก	2,415.21	10%	2,656.73	กก.	30.00	79,701.93	0.00	0.00	79,701.93
6	งานพื้นสำเร็จรูป									
	HOLLOW CORE SLAB	1,846.00	7%	1,975.22	ลบ.ม	400.00	790,088.00	150.00	296,283.00	1,086,371.00
	รวมหมวดงานโครงสร้าง						7,365,604.63		1,326,632.40	8,692,237.03

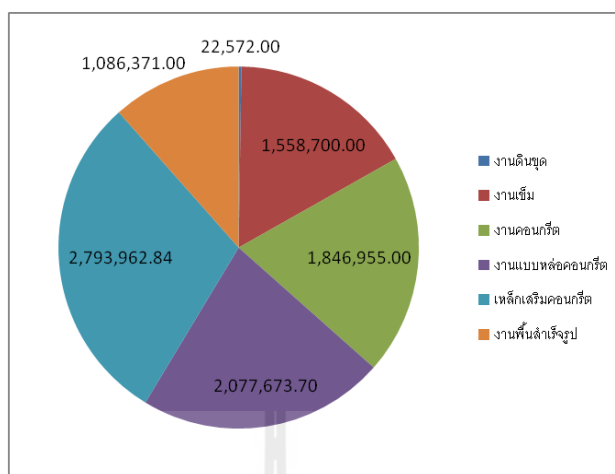


รูปที่ 4.3 ราคางานโครงสร้างอาคารกรณีที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหวที่ $Z=0.19, S=1.5$



ตารางที่ 4.26 ผลการคิดปริมาณและราคางานโครงสร้างกรณีที่ 4 คัดแรงแผ่นดินไหวที่ $Z=0.38$, $S=1.5$

No.	รายการ	ปริมาณ	%	ปริมาณสุทธิ	หน่วย	วัสดุ		ค่าแรง		รวมเป็นเงิน
						/หน่วย	จำนวนเงิน	/หน่วย	จำนวนเงิน	
1	งานดินขุด									
	- งานขุดดิน	138.00	20%	165.60	ลบ.ม	0.00	0.00	125.00	20,700.00	20,700.00
	- ทราดยาบอัดแน่น	3.00	20%	3.60	ลบ.ม	400.00	1,440.00	120.00	432.00	1,872.00
2	งานเข็ม									
	- เสาค้ำคอกสี่เหลี่ยมคี่	109.00	0%	109.00	คี่	13,500.00	1,471,500.00	0.00	0.00	1,471,500.00
	- งานค้ำหัวเสาค้ำ	109.00	100%	218.00	คี่	400.00	87,200.00	0.00	0.00	87,200.00
3	งานคอนกรีต									
	- คอนกรีตหยาบ	3.00	10%	3.30	ลบ.ม	2,000.00	6,600.00	400.00	1,320.00	7,920.00
	- คอนกรีตโครงสร้าง	576.50	10%	634.15	ลบ.ม	2,500.00	1,585,375.00	400.00	253,660.00	1,839,035.00
4	งานแบบหล่อคอนกรีต									
	- แบบหล่อคอนกรีต	4,471.00	0%	4,471.00	ตร.ม	350.00	1,564,850.00	100.00	447,100.00	2,011,950.00
	- ตะปูและอุปกรณ์ยึด	1,788.40	5%	1,877.82	กก.	35.00	65,723.70	0.00	0.00	65,723.70
5	- เหล็กเสริมคอนกรีต									
	- SR24_RB6	8,032.00	5%	8,433.60	กก.	22.00	185,539.20	4.00	33,734.40	219,273.60
	- SR24_RB9	6,660.50	5%	6,993.53	กก.	22.00	153,857.55	4.00	27,974.10	181,831.65
	- SD40_DB12	11,515.00	5%	12,090.75	กก.	22.00	265,996.50	4.00	48,363.00	314,359.50
	- SD40_DB16	4,051.00	5%	4,253.55	กก.	22.00	93,578.10	4.00	17,014.20	110,592.30
	- SD40_DB20	29,055.00	5%	30,507.75	กก.	22.00	671,170.50	4.00	122,031.00	793,201.50
	- SD40_DB25	39,448.00	5%	41,420.40	กก.	22.00	911,248.80	4.00	165,681.60	1,076,930.40
	- ลวดผูกเหล็ก	2,962.85	10%	3,259.13	กก.	30.00	97,773.89	0.00	0.00	97,773.89
6	งานพื้นสำเร็จรูป									
	HOLLOW CORE SLAB	1,846.00	7%	1,975.22	ลบ.ม	400.00	790,088.00	150.00	296,283.00	1,086,371.00
	รวมหมวดงานโครงสร้าง						7,951,941.24		1,434,293.30	9,386,234.54



รูปที่ 4.4 ราคางานโครงสร้างอาคารกรณีที่ 4 คิดแรงแผ่นดินไหวที่ $Z=0.38, S=1.5$

ราคางานโครงสร้างเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่เสี่ยงจะได้ผลของความต่างดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.27 ผลการเปรียบเทียบราคางาน โครงสร้างจำแนกตามลักษณะขององค์อาคาร

กรณีศึกษาที่	มูลค่างานโครงสร้างรวม(บาท)	มูลค่างานเสา,คานรวม(บาท)	ร้อยละ
กรณี 1 : ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว	8,447,243.1	3,972,759.21	47.03%
กรณี 2 : $Z = 0.19, S = 2.5$	8,933,513.5	4,459,029.63	49.90%
กรณี 3 : $Z = 0.19, S = 1.5$	8,692,237.0	4,217,753.16	48.52%
กรณี 4 : $Z = 0.38, S = 1.5$	9,386,234.5	4,911,750.67	52.33%

ตารางที่ 4.28 ราคางานโครงสร้างอาคาร

กรณีศึกษาที่	ค่าวัสดุ บาท	ค่าแรง บาท	ราคารวม บาท	ผลการเปรียบเทียบ %
กรณี 1 : ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว	7,159,229.7	1,288,013.4	8,447,243.1	-
กรณี 2 : $Z = 0.19, S = 2.5$	7,569,314.5	1,364,199.0	8,933,513.5	5.76%
กรณี 3 : $Z = 0.19, S = 1.5$	7,365,604.6	1,326,632.4	8,692,237.0	2.90%
กรณี 4 : $Z = 0.38, S = 1.5$	7,951,941.2	1,434,293.3	9,386,234.5	11.12%

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของราคางาน โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่ต่างกันตามกฎกระทรวงแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 มีรูปแบบอาคารที่เป็นตัวอย่างในการศึกษาเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่สูง 4 ชั้น ไม่มีกำแพงรับแรงเฉือนพื้นที่ทั่วไปเป็นพื้นที่สำเร็จรูปแบบท้อเรียบ ฐานรากเป็นแบบเสาเข็ม อาคารในลักษณะดังกล่าวเป็นรูปแบบอาคารที่เป็นที่นิยมในเมืองไทย มีการก่อสร้างกันอย่างแพร่หลาย ผลที่ได้จากการศึกษาจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านการคำนวณและการประมาณการราคาของโครงสร้างอาคารให้มีความสะดวกรวดเร็วและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

5.1 สรุปผลการศึกษา

ผลที่ได้จากการศึกษาถึงความแตกต่างของราคางาน โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่ต่างกันตามกฎกระทรวงแผ่นดินไหว พ.ศ.2550 มีดังนี้

1. ความแตกต่างทางด้านปริมาณของวัสดุก่อสร้าง

พบว่าพื้นที่ที่พิจารณาแรงแผ่นดินไหวจะส่งผลกระทบต่อปริมาณวัสดุก่อสร้างโดยปริมาณคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 3.05 %-8.57% , ปริมาณไม้แบบเพิ่มขึ้นระหว่าง 2.14%-6.45%, ปริมาณเหล็กเสริมคอนกรีตเพิ่มขึ้นระหว่าง 7.1%-31.4% , ส่วนจำนวนเสาเข็มไม่เปลี่ยนแปลง โดยปริมาณที่เพิ่มขึ้นแยกตามลำดับพื้นที่จากน้อยไป的多ได้ดังนี้

พื้นที่ไม่พิจารณาแผ่นดินไหว

พื้นที่บริเวณที่ 1, ลักษณะชั้นดินเป็นดินอ่อน

พื้นที่บริเวณที่ 1, ลักษณะชั้นดินเป็นดินอ่อนมาก

พื้นที่บริเวณที่ 2 และบริเวณเฝ้าระวัง, ลักษณะชั้นดินเป็นดินอ่อน

2. ความแตกต่างทางด้านราคางานโครงสร้าง

พบว่าพื้นที่ที่พิจารณาแผ่นดินไหวจะส่งผลกระทบต่อราคางาน โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 2.90%-11.12% เมื่อเปรียบเทียบกับ โครงสร้างอาคารที่ไม่พิจารณาแรงแผ่นดินไหว ราคางาน โครงสร้างที่เพิ่มขึ้นแยกตามลำดับพื้นที่จากน้อยไป的多ได้ดังนี้

- พื้นที่ไม่พิจารณาแผ่นดินไหว

- พื้นที่บริเวณที่ 1, ลักษณะชั้นดินเป็นดินอ่อน ราคาโครงสร้างเพิ่มจากพื้นที่ไม่พิจารณาแผ่นดินไหวที่ 2.90%
- พื้นที่บริเวณที่ 1, ลักษณะชั้นดินเป็นดินอ่อนมาก ราคาโครงสร้างเพิ่มจากพื้นที่ไม่พิจารณา แผ่นดินไหวที่ 5.76 %
- พื้นที่บริเวณที่ 2 และบริเวณฝ้าระวาง, ลักษณะชั้นดินเป็นดินอ่อน ราคาโครงสร้างเพิ่มจากพื้นที่ไม่พิจารณา แผ่นดินไหวที่ 11.12 %

ตารางที่ 5.1 ตัวแปรความสัมพันธ์ของราคางานโครงสร้างที่มีผลกระทบเนื่องจากแผ่นดินไหว

กรณีศึกษาที่	ตัวแปรความสัมพันธ์ระหว่างราคางานโครงสร้างกับพื้นที่เสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว
กรณี 1 : ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว	ราคางาน โดยไม่คิดแรงแผ่นดินไหว x 1.00
กรณี 2 : $Z = 0.19, S = 2.5$	ราคางาน โดยไม่คิดแรงแผ่นดินไหว x 1.06
กรณี 3 : $Z = 0.19, S = 1.5$	ราคางาน โดยไม่คิดแรงแผ่นดินไหว x 1.03
กรณี 4 : $Z = 0.38, S = 1.5$	ราคางาน โดยไม่คิดแรงแผ่นดินไหว x 1.11

5.2 อภิปรายผล

จากผลการศึกษาพบว่าในส่วนของปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่วนมากจะอยู่ในส่วนของงานโครงสร้างได้แก่ เสา และคาน ส่วนงานฐานรากผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างของโครงสร้างอาจเป็นเพราะตัวอย่างที่ทำการศึกษาเป็นอาคารที่มีความสูงไม่มากจึงส่งผลกระทบต่อระบบฐานน้อย จำนวนเสาเข็มที่คำนวณไว้โดยไม่มีแรงแผ่นดินไหวจึงสามารถรองรับค่าแรงที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากกระทำได้

ในด้านราคางาน โครงสร้างพื้นที่บริเวณที่ 2 และบริเวณฝ้าระวางตามที่กำหนดในกฎกระทรวงแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 จะมีราคางานโครงสร้างเพิ่มมากที่สุดเพราะเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยสูง ส่วนพื้นที่บริเวณที่ 1 กรณีที่ชั้นดินเป็นดินอ่อนมากก็จะส่งผลกระทบต่อราคางาน โครงสร้างได้มากกว่าชั้นดินที่เป็นดินอ่อน

5.3 ข้อเสนอแนะตามผลการศึกษา

1. จากการพิจารณาแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวในพื้นที่ลักษณะต่างๆดังกล่าวเปรียบเทียบกับโดยลักษณะชั้นดินพบว่าชั้นดินที่มีลักษณะอ่อนจะส่งผลกระทบต่อขนาดและราคางาน โครงสร้างได้มากกว่าชั้นดินที่แข็งกว่า ดังนั้นในการพิจารณาแรงแผ่นดินไหว

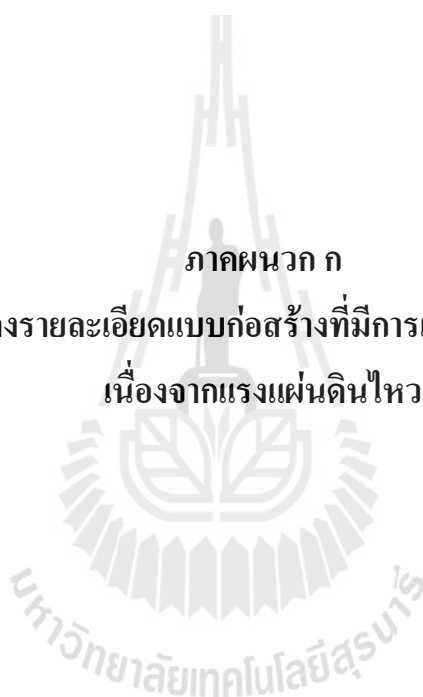
นอกจากการเลือกพื้นที่เสี่ยงแล้ว ยังต้องพิจารณาลักษณะชั้นดินที่ตั้งอาคารด้วยหากยังไม่มีผลการเจาะสำรวจสภาพชั้นดินในพื้นที่จริง เพื่อความแข็งแรงและความปลอดภัย ควรกำหนดสภาพชั้นดินเป็นประเภทชั้นดินอ่อนมากสำหรับพื้นที่บริเวณที่ 1 และชั้นดินอ่อนสำหรับพื้นที่บริเวณที่ 2 และบริเวณเฝ้าระวัง

2. การคำนวณแรงแผ่นดินไหวตามข้อกำหนดในกฎกระทรวงแผ่นดินไหว ถือเป็นมาตรฐานขั้นต่ำสุดที่ต้องพิจารณา หากพื้นที่ที่จะปลูกสร้างอาคารอยู่ในเขตที่มีความเสี่ยงภัยสูงควรมีการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวอย่างละเอียดโดยอ้างอิงมาตรฐานของ มยผ. หรือมาตรฐานที่สูงกว่า เป็นต้น
3. รูปแบบอาคารที่ทำการศึกษาระยะส่งผลต่อขนาดของแรงแผ่นดินไหว ซึ่งการศึกษานี้ยังไม่มีการทำวิจัยมาก่อนหากมีการทำการวิจัยที่มีลักษณะเดียวกันโดยเปลี่ยนรูปแบบอาคารให้มีความหลากหลายเพิ่มมากขึ้นก็จะประโยชน์อย่างสูงต่อผู้ที่นำไปใช้งานต่อไป
4. งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้างสำหรับอาคารที่ยังไม่มีการก่อสร้าง ส่วนอาคารเก่าที่ได้ก่อสร้างนานแล้วยังไม่เคยมีการศึกษาวิจัยในลักษณะเดียวกันมาก่อน หากมีผู้สนใจทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบราคางานปรับปรุงโครงสร้างอาคารที่ได้ก่อสร้างแล้วเพื่อให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้ก็จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่นำไปใช้งานต่อไปได้เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

- กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย. (2554). มยผ.1301-54 มาตรฐานการประกอบกร
ออกแบบออกแบบอาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว. ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1
- สำนักควบคุมการก่อสร้าง,กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย. (2547). ความรู้
เบื้องต้นเกี่ยวกับเรื่องแผ่นดินไหวและการออกแบบโครงสร้างเพื่อป้องกันแผ่นดินไหว.
- บุรินทร์ เวชบัณฑิต, สำนักแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา. (2548). ความรู้พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับ
เรื่องแผ่นดินไหว.
- อมร พิมาณมาศ. เอกสารประกอบการสอน, การออกแบบอาคารด้านแผ่นดินไหว,สถาบันเทคโนโลยี
นานาชาติสิรินธร. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- มงคล จีระวัชรเดช. (2557). ETAB 2013 คู่มือการใช้งานฉบับนักศึกษา. สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์.
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- มงคล จีระวัชรเดช. (2549). การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่4. สำนักวิชาวิศวกรรม
ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. (2540). มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธี
กำลัง. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพฯ.
- ประสาธ หิรัญคำ. (2548). การวิเคราะห์ราคาค่าก่อสร้าง ของโครงสร้างอาคารด้านทาน
แผ่นดินไหว ในเขตพื้นที่ความเสี่ยงที่ 1 และ 2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี. กรุงเทพฯ.
- บุรินทร์ เวชบัณฑิต. (2548). ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแผ่นดินไหว. เอกสารประกอบการอบรมเรื่อง
การออกแบบโครงสร้างเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว. กรุงเทพฯ:วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- บุรินทร์ เวชบัณฑิต. (2548). ข้อมูลและเหตุการณ์ แผ่นดินไหว. ข้อมูลประกอบการสัมมนาเรื่องการ
แก้ไขกฎหมายควบคุมอาคารว่าด้วยการออกแบบอาคารด้านทานแรงสั่นสะเทือนจาก แผ่น
ดินไหว, กรุงเทพฯ : กรมโยธาธิการและผังเมือง.

ภาคผนวก ก
แสดงรายละเอียดแบบก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลง
เนื่องจากแรงแผ่นดินไหว



TYPE	B1			B2			B3		
LOCATION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION
SHAPE									
SIZE	200x400			200x400			200x400		
TOP BAR	3DB16	2DB16	2DB16	4DB16	2DB16	2DB16	5DB16	2DB16	2DB16
BOTT.BAR	2DB16	3DB16	3DB16	2DB16	4DB16	4DB16	2DB16	5DB16	5DB16
STIRRUP	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150
OTHER									
TYPE	B4			B5			B6		
LOCATION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION
SHAPE									
SIZE	200x400			200x500			200x500		
TOP BAR	2DB20	2DB20	2DB20	2DB20	2DB20	2DB20	3DB20	2DB20	2DB20
BOTT.BAR	2DB20	2DB20	2DB20	2DB20	2DB20	2DB20	2DB20	3DB20	3DB20
STIRRUP	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150
OTHER									
TYPE	B7			B8			B9		
LOCATION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION
SHAPE									
SIZE	200x500			250x600			300x700		
TOP BAR	3DB20	2DB20	2DB20	4DB20	2DB20	2DB20	4DB25	2DB25	2DB25
BOTT.BAR	2DB20	3DB20	3DB20	2DB20	4DB20	4DB20	2DB25	4DB25	4DB25
STIRRUP	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200
OTHER	2DB12								

รูปที่ ก.1 แบบแสดงรายละเอียดหน้าตัดคาน คสล.กรณีที่ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว



TYPE	B1			B2			B3		
LOCATION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION
SHAPE									
SIZE	200x400			200x400			200x500		
TOP BAR	3DB20	2DB20	2DB20	3DB20	2DB20	2DB20	5DB20	2DB20	2DB20
BOTT.BAR	2DB20	3DB20	3DB20	2DB20	3DB20	3DB20	2DB20	5DB20	5DB20
STIRRUP	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB9 Ø150	1-RB9 Ø150	1-RB9 Ø150
OTHER									
TYPE	B4			B5			B6		
LOCATION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION
SHAPE									
SIZE	250x500			250x500			200x500		
TOP BAR	3DB25+2DB20	2DB25	2DB25	3DB25+2DB20	2DB25	2DB25	3DB20	2DB20	2DB20
BOTT.BAR	2DB25	3DB25+2DB20	3DB25+2DB20	2DB25	3DB25+2DB20	3DB25+2DB20	2DB20	3DB20	3DB20
STIRRUP	1-RB9 Ø150	1-RB9 Ø150	1-RB9 Ø150	1-RB9 Ø150	1-RB9 Ø150	1-RB9 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150
OTHER									
TYPE	B7			B8			B9		
LOCATION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION
SHAPE									
SIZE	200x500			250x600			300x700		
TOP BAR	3DB20	2DB20	2DB20	4DB20	2DB20	2DB20	4DB25	2DB25	2DB25
BOTT.BAR	2DB20	3DB20	3DB20	2DB20	4DB20	4DB20	2DB25	4DB25	4DB25
STIRRUP	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200
OTHER	2DB12								

รูปที่ ก.2 แบบแสดงรายละเอียดหน้าตัดคาน คสล.กรณีที่มี 2 คัดแรงแผ่นดินไหว Z=0.19 , S=0.25

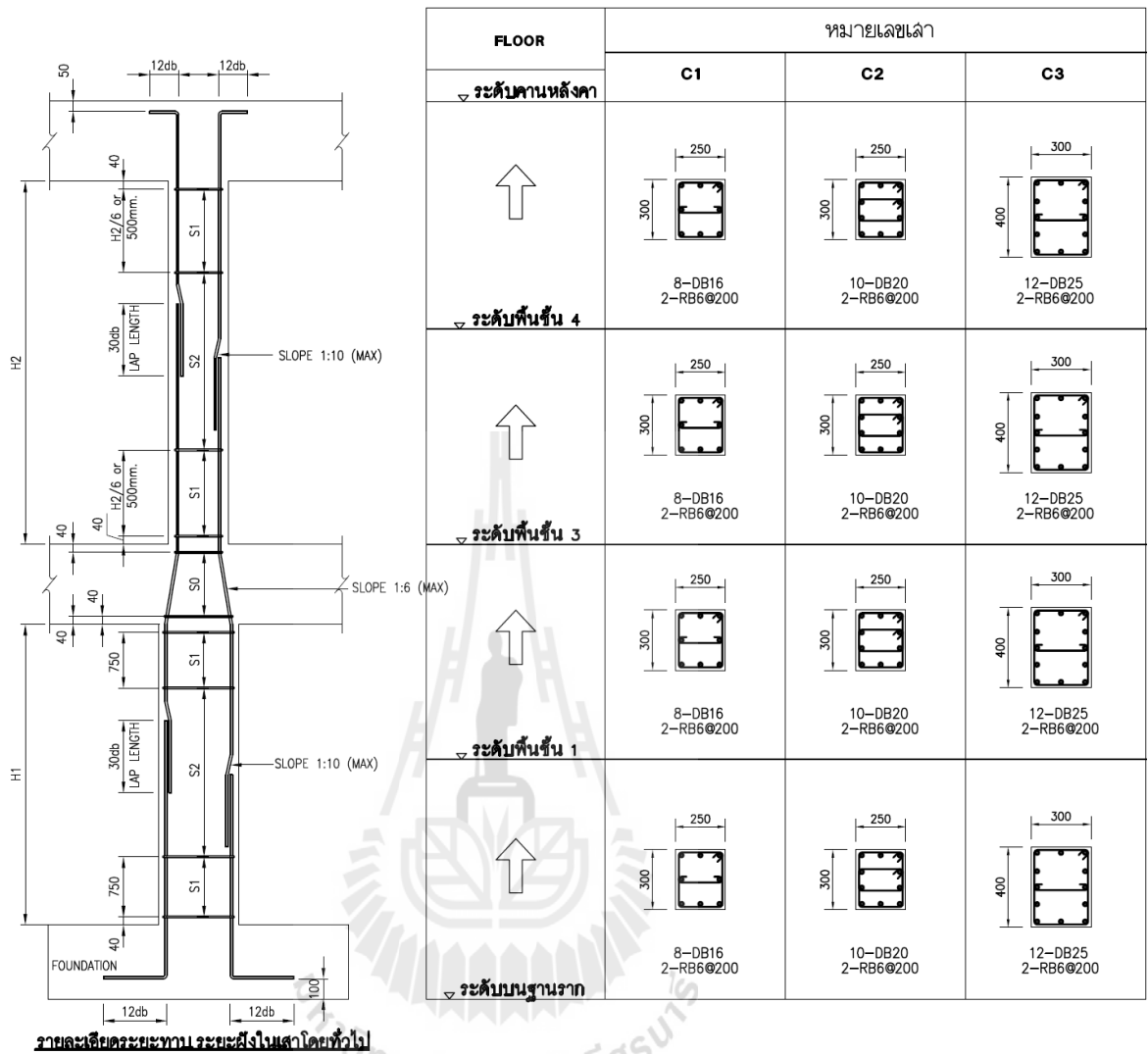


TYPE	B1			B2			B3		
LOCATION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION
SHAPE									
SIZE	200x400			200x400			200x500		
TOP BAR	3DB16	2DB16	2DB16	4DB16	2DB16	2DB16	4DB20	2DB20	2DB20
BOTT BAR	2DB16	3DB16	3DB16	2DB16	4DB16	4DB16	2DB20	4DB20	4DB20
STIRRUP	1-RB9 Ø150	1-RB9 Ø150	1-RB9 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB9 Ø200	1-RB9 Ø200	1-RB9 Ø200
OTHER									
TYPE	B4			B5			B6		
LOCATION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION
SHAPE									
SIZE	250x500			250x500			200x500		
TOP BAR	2DB25+2DB16	2DB25	2DB25	2DB25+2DB16	2DB25	2DB25	3DB20	2DB20	2DB20
BOTT BAR	2DB25	2DB25+2DB16	2DB25+2DB16	2DB25	2DB25+2DB16	2DB25+2DB16	2DB20	3DB20	3DB20
STIRRUP	1-RB9 Ø200	1-RB9 Ø200	1-RB9 Ø200	1-RB9 Ø200	1-RB9 Ø200	1-RB9 Ø200	1-RB6 Ø200	1-RB6 Ø200	1-RB6 Ø200
OTHER									
TYPE	B7			B8			B9		
LOCATION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION
SHAPE									
SIZE	200x500			250x600			300x700		
TOP BAR	3DB20	2DB20	2DB20	4DB20	2DB20	2DB20	4DB25	2DB25	2DB25
BOTT BAR	2DB20	3DB20	3DB20	2DB20	4DB20	4DB20	2DB25	4DB25	4DB25
STIRRUP	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200
OTHER	2DB12								

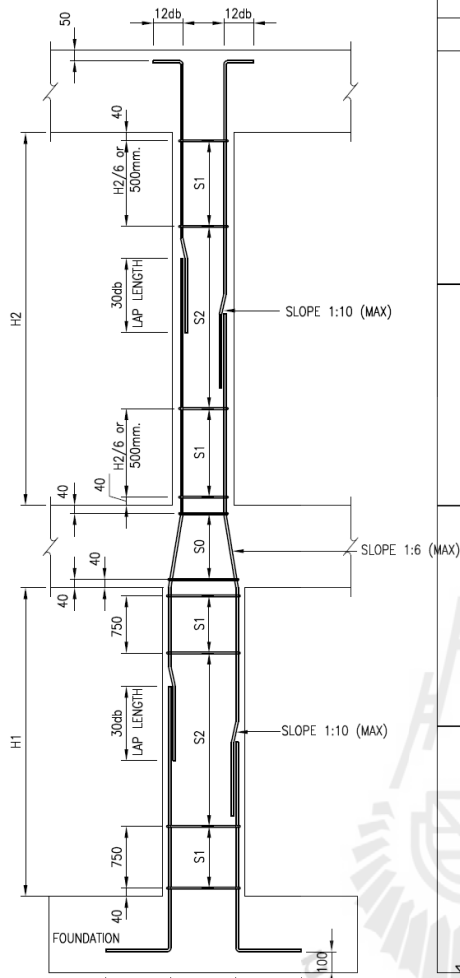
รูปที่ ก.3 แบบแสดงรายละเอียดหน้าตัดคาน คสล.กรณินที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหว Z=0.19, S=1.5

TYPE	B1			B2			B3		
LOCATION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION
SHAPE									
SIZE	200x400			200x400			250x500		
TOP BAR	3DB20+2DB16	2DB16	2DB16	3DB20+2DB16	2DB16	2DB16	2DB25+2DB25	2DB25	2DB25
BOTT.BAR	2DB16	3DB20+2DB16	3DB20+2DB16	2DB16	3DB20+2DB16	3DB20+2DB16	2DB25	2DB25+2DB25	2DB25+2DB25
STIRRUP	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB9 Ø150	1-RB9 Ø150	1-RB9 Ø150
OTHER									
TYPE	B4			B5			B6		
LOCATION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION
SHAPE									
SIZE	250x600			250x600			200x500		
TOP BAR	4DB45	2DB25	2DB25	4DB45	2DB25	2DB25	3DB20	2DB20	2DB20
BOTT.BAR	2DB25	4DB45	4DB45	2DB25	4DB45	4DB45	2DB20	3DB20	3DB20
STIRRUP	1-RB9 Ø200	1-RB9 Ø200	1-RB9 Ø200	1-RB9 Ø200	1-RB9 Ø200	1-RB9 Ø200	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150	1-RB6 Ø150
OTHER									
TYPE	B7			B8			B9		
LOCATION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION	CONTINUOUS (OR CANTILEVER) SECTION	MID SPAN SECTION	END SUPPORT SECTION
SHAPE									
SIZE	200x500			250x600			300x700		
TOP BAR	3DB20	2DB20	2DB20	4DB20	2DB20	2DB20	4DB25	2DB25	2DB25
BOTT.BAR	2DB20	3DB20	3DB20	2DB20	4DB20	4DB20	2DB25	4DB25	4DB25
STIRRUP	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200	1-RB9Ø200
OTHER	2DB12								

รูปที่ ก.4 แบบแสดงรายละเอียดหน้าตัดคาน คสล.กรณีี่ 4 คัดแรงแผ่นดินไหว $Z=0.38$, $S=1.5$



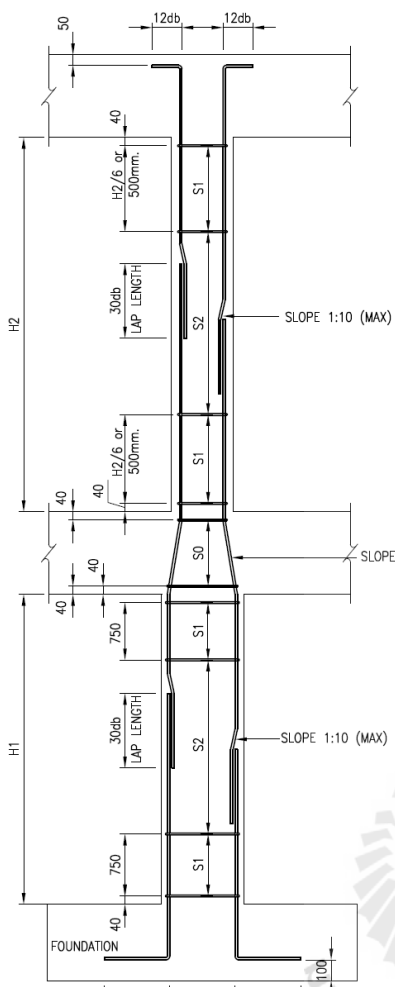
รูปที่ ก.5 แบบแสดงรายละเอียดหน้าตัดเสา คสล.กรณีที่ 1 ไม่ คัดแรงแผ่นดินไหว



รายละเอียดระบบทางระบายน้ำโดยทั่วไป

FLOOR	หมายเลขเสา		
	C1	C2	C3
ระดับคานหลังคา ↑	 8-DB16 2-RB6@200	 12-DB20 2-RB6@200	 14-DB25 2-RB6@200
ระดับพื้นชั้น 4 ↑	 8-DB16 2-RB6@200	 12-DB20 2-RB6@200	 14-DB25 2-RB6@200
ระดับพื้นชั้น 3 ↑	 8-DB16 2-RB6@200	 12-DB20 2-RB6@200	 14-DB25 2-RB6@200
ระดับพื้นชั้น 1 ↑	 8-DB16 2-RB6@200	 12-DB20 2-RB6@200	 14-DB25 2-RB6@200
ระดับบนฐานราก ↑	 8-DB16 2-RB6@200	 12-DB20 2-RB6@200	 14-DB25 2-RB6@200

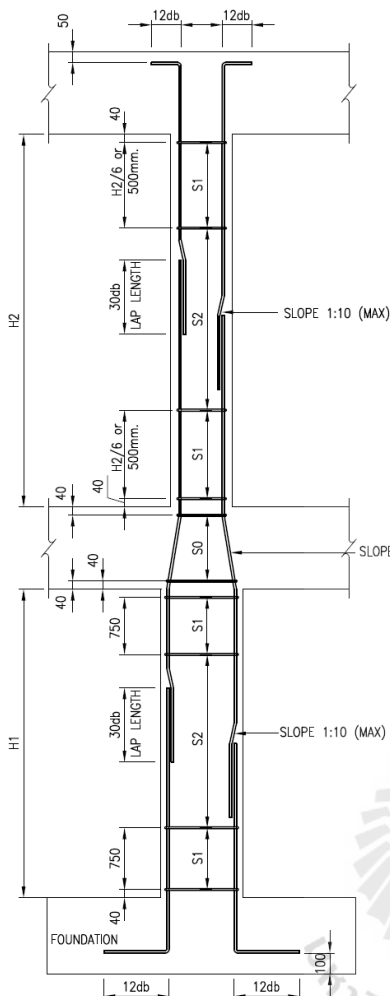
รูปที่ ก.6 แบบแสดงรายละเอียดหน้าตัดเสา คสล.กรณีที่มี 2 คัดแรงแผ่นดินไหว Z=0.19 , S=2.5



รายละเอียดของระบบงานระยะฝังในเสาโดยทั่วไป

FLOOR	หมายเลขเสา		
	C1	C2	C3
ระดับคานหลังคา ↑	 8-DB16 2-RB6@200	 10-DB20 2-RB6@200	 12-DB25 2-RB6@200
ระดับพื้นชั้น 4 ↑	 8-DB16 2-RB6@200	 10-DB20 2-RB6@200	 12-DB25 2-RB6@200
ระดับพื้นชั้น 3 ↑	 8-DB16 2-RB6@200	 10-DB20 2-RB6@200	 12-DB25 2-RB6@200
ระดับพื้นชั้น 1 ↑	 8-DB16 2-RB6@200	 10-DB20 2-RB6@200	 12-DB25 2-RB6@200
ระดับบนฐานราก ↑	 8-DB16 2-RB6@200	 10-DB20 2-RB6@200	 12-DB25 2-RB6@200

รูปที่ ก.7 แบบแสดงรายละเอียดหน้าตัดเสา คสล.กรณีที่มี 3 คัดแรงแผ่นดินไหว Z=0.19 , S=1.5



รายละเอียดสะพาน ระยะฝังเสาโดยทั่วไป

FLOOR	หมายเลขเสา		
	C1	C2	C3
ระดับคานหลังคา ↑	 10-DB16 2-RB6@200	 16-DB20 2-RB6@200	 14-DB25 2-RB6@200
ระดับพื้นชั้น 4 ↑	 10-DB16 2-RB6@200	 16-DB20 2-RB6@200	 14-DB25 2-RB6@200
ระดับพื้นชั้น 3 ↑	 10-DB16 2-RB6@200	 16-DB20 2-RB6@200	 14-DB25 2-RB6@200
ระดับพื้นชั้น 1 ↑	 10-DB16 2-RB6@200	 16-DB20 2-RB6@200	 14-DB25 2-RB6@200
ระดับบนฐานราก ↑	 10-DB16 2-RB6@200	 16-DB20 2-RB6@200	 14-DB25 2-RB6@200

รูปที่ ก.8 แบบแสดงรายละเอียดหน้าตัดเสา คสล.กรณีที่มี 4 กัดแรงแผ่นดินไหว $Z=0.38$, $S=1.5$

ภาคผนวก ข
แสดงรายละเอียดการคำนวณหน้าตัดโครงสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลง
เนื่องจากแรงแผ่นดินไหว



PROJECT : อาคาร คสล.4 ชั้น (กรณีไม่คิดแรงแผ่นดินไหว)								
SUBJECT : Beam B1, B2, B3								
CALCULATION SHEET OF BEAM								
ULTIMATE STRENGTH DESIGN METHOD Refer to ACI 318-05								
DESCRIPTION	BEAM NO.	RB1Mid	RB1End	RB2Mid	RB2End	RB3Mid	RB3End	UNIT
1. MATERIAL PROPERTIES								
- Compressive strength of concrete	f_c	24	24	24	24	24	24	MPa.
- Unit weight of concrete	ω_c	24	24	24	24	24	24	kN./m ³
- Elastic modulus of concrete	E_c	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	MPa.
- Max. strain of concrete	ϵ_c	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
- Yield strength of reinforcing bar	f_y	400	400	400	400	400	400	MPa.
- Yield strength of stirrup	f_v	240	240	240	240	240	240	MPa.
- Elastic modulus of reinforcing bar	E_s	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	MPa.
2. FORCE FROM ANALYSIS								
- Factored moment	M_u	41,753	47,681	14,611	61,340	44,154	83,175	N.-m.
- Factored shear	V_u	28,193	16,916	51,261	30,756	76,087	45,652	N.
- Factored torsion	T_u	370	370	510	510	3	3	N.-m.
3. SECTION PROPERTIES								
- Beam width	b	20	20	20	20	20	20	cm.
- Beam height	h	40	40	40	40	40	40	cm.
- Max.covering (conc.surface to edge of stirrup)	cov.	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	cm.
- Beam main reinforcement								
Comp. Layer 1	Re-bar qty.	N	2	2	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	ϕ	16	16	16	16	16	mm.
	Re-bar dist. from top	d'	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	cm.
Tens. Layer 1	Re-bar qty.	N	3	3	2	2	3	ea.
	Re-bar dia.	ϕ	16	16	16	16	16	mm.
Tens. Layer 2	Re-bar qty.	N	0	0	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	ϕ	0	0	16	16	16	mm.
	Re-bar dist. from top	d	34.60	34.60	31.60	31.60	32.20	
- Beam stirrup								
Stirrup dia.	ϕ	6	6	6	6	6	6	mm.
Quantity of stirrup	N	1	1	1	1	1	1	circle
Stirrup spacing	s	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	cm.
	$d/2$	17.30	17.30	15.80	15.80	16.10	16.10	cm.
	60	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	cm.
Require stirrup spacing	$(A_v f_y)/(3.5'b)$	19.39	19.39	19.39	19.39	19.39	19.39	cm.
- Check spacing $s < S_{req}$	S_{req}	17.30	17.30	15.80	15.80	16.10	16.10	cm.
		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
4. CHECK BENDING MOMENT RESISTANT								
- Reduction factor	β	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
- Reduction factor for flexure loads	ϕ	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
- Reinforcement ratio (balance strain)	ρ_{pb}	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	
- Reinforcement ratio (minimum)	ρ_{min}	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	
	$(\rho - \rho')_{max}$	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	
	$(\rho - \rho')_{min}$	0.0141	0.0141	0.0154	0.0154	0.0152	0.0152	
- Comp. reinforcement ratio (balance strain)	ρ'	0.0058	0.0055	0.0063	0.0062	0.0062	0.0062	
- Tens. reinforcement ratio (balance strain)	ρ	0.0087	0.0084	0.0127	0.0126	0.0156	0.0156	
	$(\rho - \rho')$	0.0029	0.0029	0.0064	0.0064	0.0094	0.0094	
- Check all comp. re-bar are yield	$f_s' < f_y$	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	
- Check all tens. re-bar are yield	$f_s = f_y$	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	
	R	0.06	0.01	-1.10	-1.11	-2.25	-2.25	
	Q	27.40	26.39	27.50	27.15	27.67	27.68	
	c	5.18	5.12	6.46	6.44	7.97	7.97	cm.
	a	4.40	4.36	5.49	5.48	6.78	6.78	cm.
Comp.re-bar layer 1 stress	f_s'	148.07	143.42	237.54	236.76	306.47	306.47	MPa.
	ϕM_{n1}	51,338	50,850	57,008	56,897	70,284	70,285	N.-m.
	ϕM_{n2}	16,290	15,198	23,661	23,284	31,387	31,388	N.-m.
- Nominal moment	ϕM_n	67,629	66,048	80,669	80,180	101,671	101,673	N.-m.
- Check $M_u < \phi M_n$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
5. CHECK SHEAR AND TORSION FORCE RESISTANT								
- Reduction factor for shear and torsion	ϕ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
- Distance inside stirrup along X-Axis	x_1	10.80	10.80	10.80	10.80	10.80	10.80	cm.
- Distance inside stirrup along Y-Axis	y_1	30.80	30.80	30.80	30.80	30.80	30.80	cm.
- Coefficient of concrete inside stirrup	α_t	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
	Ct	0.043	0.043	0.040	0.040	0.040	0.040	
- Maximum factored torsion	max T_u	3,581	5,867	2,497	4,127	9	15	N.-m.
- Check $T_u < \max T_u$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
- Torsion force resistant of concrete	T_c	716	1,173	499	825	2	3	N.-m.
- Shear force resistant of concrete	V_c	55,159	54,218	50,636	50,210	51,846	51,846	N.
- Check $V_u - \phi V_c \leq 2.1 \phi^* f_c^* b^* d$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	A_v/s	-0.013	-0.023	0.014	-0.007	0.039	0.007	
	A_t/s	-0.001	-0.003	0.001	-0.001	0.000	0.000	
- Required re-bar area	$A(v+t) / s$	0.009	0.009	0.009	0.009	0.020	0.009	sq.cm.
- Additional area for main re-bar	A_t	0.12	0.56	0.08	0.23	0.00	0.00	sq.cm.
- Additional layer at mid-section		1	1	1	1	1	1	
- Re-bar per additional layer		0.04	0.19	0.03	0.08	0.00	0.00	sq.cm.

รูปที่ ข.1 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดคาน คสล. B1, B2, B3 กรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว

PROJECT : อาคาร คสล.4 ชั้น (กรณีไม่คิดแรงแผ่นดินไหว)								
SUBJECT : Beam B4, B5, B6								
CALCULATION SHEET OF BEAM								
ULTIMATE STRENGTH DESIGN METHOD Refer to ACI 318-05								
DESCRIPTION	BEAM NO.	RB4Mid	RB4End	RB5Mid	RB5End	RB6Mid	RB6End	UNIT
1. MATERIAL PROPERTIES								
- Compressive strength of concrete	f_c	24	24	24	24	24	24	MPa.
- Unit weight of concrete	ω_c	24	24	24	24	24	24	kN./m ³
- Elastic modulus of concrete	E_c	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	MPa.
- Max. strain of concrete	ϵ_c	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
- Yield strength of reinforcing bar	f_y	400	400	400	400	400	400	MPa.
- Yield strength of stirrup	f_v	240	240	240	240	240	240	MPa.
- Elastic modulus of reinforcing bar	E_s	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	MPa.
2. FORCE FROM ANALYSIS								
- Factored moment	M_u	38,609	34,349	32,667	56,430	53,805	92,368	N.-m.
- Factored shear	V_u	51,640	30,984	65,190	39,114	134,497	80,698	N.
- Factored torsion	T_u	429	429	837	837	689	689	N.-m.
3. SECTION PROPERTIES								
- Beam width	b	20	20	20	20	20	20	cm.
- Beam height	h	40	40	50	50	50	50	cm.
- Max.covering (conc.surface to edge of stirrup)	cov.	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	cm.
Beam main reinforcement								
Comp. Layer 1	Re-bar qty.	2	2	2	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	20	20	20	20	20	20	mm.
	Re-bar dist. from top	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	cm.
Tens. Layer 1	Re-bar qty.	2	2	2	2	3	3	ea.
	Re-bar dia.	20	20	20	20	20	20	mm.
Tens. Layer 2	Re-bar qty.	0	0	0	0	0	0	ea.
	Re-bar dia.	0	0	0	0	0	0	mm.
	Re-bar dist. from top	34.40	34.40	44.40	44.40	44.40	44.40	
Beam stirrup								
Stirrup dia.	ϕ	6	6	6	6	6	6	mm.
Quantity of stirrup	N	1	1	1	1	1	1	circle
Stirrup spacing	s	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	cm.
	$d/2$	17.20	17.20	22.20	22.20	22.20	22.20	cm.
	60	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	cm.
	$(A_v f_y)/(3.5 b)$	19.39	19.39	19.39	19.39	19.39	19.39	cm.
Require stirrup spacing	S_{req}	17.20	17.20	19.39	19.39	19.39	19.39	cm.
- Check spacing $s < S_{req}$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
4. CHECK BENDING MOMENT RESISTANT								
- Reduction factor	β	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
- Reduction factor for flexure loads	Φ	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
- Reinforcement ratio (balance strain)	ρ_b	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	
- Reinforcement ratio (minimum)	ρ_{min}	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	
	$(\rho - \rho')_{max}$	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	
	$(\rho - \rho')_{min}$	0.0149	0.0149	0.0116	0.0116	0.0116	0.0116	
- Comp. reinforcement ratio (balance strain)	ρ'	0.0091	0.0091	0.0070	0.0068	0.0070	0.0070	
- Tens. reinforcement ratio (balance strain)	ρ	0.0091	0.0091	0.0070	0.0068	0.0105	0.0106	
	$(\rho - \rho')$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0035	0.0035	
- Check all comp. re-bar are yield	$f_s' < f_y$	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	
- Check all tens. re-bar are yield	$f_s = f_y$	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	
	R	1.92	1.90	1.90	1.85	0.09	0.10	
	Q	45.34	45.09	45.09	43.77	44.93	45.16	
	c	5.09	5.08	5.08	5.02	6.62	6.62	cm.
	a	4.32	4.31	4.31	4.27	5.62	5.63	cm.
Comp.re-bar layer 1 stress	f_s'	116.26	115.29	115.30	110.02	228.26	228.69	MPa.
	ΦM_n1	50,172	50,078	65,611	64,940	84,218	84,308	N.-m.
	ΦM_n2	19,867	19,593	26,064	24,143	51,408	51,767	N.-m.
- Nominal moment	ΦM_n	70,039	69,670	91,675	89,083	135,626	136,075	N.-m.
- Check $M_u < \Phi M_n$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
5. CHECK SHEAR AND TORSION FORCE RESISTANT								
- Reduction factor for shear and torsion	Φ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
- Distance inside stirrup along X-Axis	x_1	10.80	10.80	10.80	10.80	10.80	10.80	cm.
- Distance inside stirrup along Y-Axis	y_1	30.80	30.80	40.80	40.80	40.80	40.80	cm.
- Coefficient of concrete inside stirrup	at	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
	C_t	0.043	0.043	0.044	0.044	0.044	0.044	
- Maximum factored torsion	$\max T_u$	2,267	3,753	4,501	7,373	1,810	3,008	N.-m.
- Check $T_u < \max T_u$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
- Torsion force resistant of concrete	T_c	453	751	900	1,475	362	602	N.-m.
- Shear force resistant of concrete	V_c	55,169	54,786	70,774	69,554	71,374	71,171	N.
- Check $V_u - \Phi V_c \leq 2.1 \Phi^3 f_c' b^3 d$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	A_v/s	0.010	-0.010	0.009	-0.010	0.062	0.021	
	A_t/s	0.001	-0.001	0.001	-0.001	0.002	0.001	
- Required re-bar area	$A(v+t) / s$	0.009	0.009	0.009	0.009	0.033	0.012	sq.cm.
- Additional area for main re-bar	A_l	0.05	0.15	0.15	0.70	0.22	0.13	sq.cm.
- Additional layer at mid-section		1	1	1	1	1	1	
- Re-bar per additional layer		0.02	0.05	0.05	0.23	0.07	0.04	sq.cm.

รูปที่ ข.2 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดคาน คสล. B4, B5, B6 กรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว

PROJECT : อาคาร คสล.4 ชั้น (กรณีไม่คิดแรงแผ่นดินไหว)								
SUBJECT : Beam B7, B8, B9								
CALCULATION SHEET OF BEAM								
ULTIMATE STRENGTH DESIGN METHOD Refer to ACI 318-05								
DESCRIPTION	BEAM NO.	RB7Mid	RB7End	RB8Mid	RB8End	RB9Mid	RB9End	UNIT
1. MATERIAL PROPERTIES								
- Compressive strength of concrete	f_c	24	24	24	24	24	24	MPa.
- Unit weight of concrete	ω_c	25	25	25	25	25	25	kN./m ³
- Elastic modulus of concrete	E_c	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	MPa.
- Max. strain of concrete	ϵ_c	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
- Yield strength of reinforcing bar	f_y	400	400	400	400	400	400	MPa.
- Yield strength of stirrup	f_v	240	240	240	240	240	240	MPa.
- Elastic modulus of reinforcing bar	E_s	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	MPa.
2. FORCE FROM ANALYSIS								
- Factored moment	M_u	100,355	69,755	118,323	9,250	380,897	230,018	N.-m.
- Factored shear	V_u	62,082	37,249	49,894	29,936	256,381	153,829	N.
- Factored torsion	T_u	8,471	8,471	1,953	1,953	677	677	N.-m.
3. SECTION PROPERTIES								
- Beam width	b	20	20	20	20	30	30	cm.
- Beam height	h	50	50	50	50	70	70	cm.
- Max.covering (conc.surface to edge of stirrup)	cov.	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	cm.
- Beam main reinforcement								
Comp. Layer 1	Re-bar qty.	2	2	2	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	20	20	20	20	25	25	mm.
	Re-bar dist. from top	4.40	4.40	4.40	4.40	4.65	4.65	cm.
Tens. Layer 1	Re-bar qty.	3	3	3	3	2	2	ea.
	Re-bar dia.	20	20	20	20	25	25	mm.
Tens. Layer 2	Re-bar qty.	0	0	0	0	2	2	ea.
	Re-bar dia.	0	0	0	0	25	25	mm.
	Re-bar dist. from top	44.10	44.10	44.10	44.10	60.85	60.85	mm.
- Beam stirrup								
Stirrup dia.	ϕ	9	9	9	9	9	9	mm.
Quantity of stirrup	N	1	1	1	1	1	1	circle
Stirrup spacing	s	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	cm.
	$d/2$	22.05	22.05	22.05	22.05	30.43	30.43	cm.
	60	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	cm.
	$(A_v f_y)/(3.5 b)$	43.62	43.62	43.62	43.62	29.08	29.08	cm.
Require stirrup spacing	S_{req}	22.05	22.05	22.05	22.05	29.08	29.08	cm.
- Check spacing $s < S_{req}$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
4. CHECK BENDING MOMENT RESISTANT								
- Reduction factor	β	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
- Reduction factor for flexure loads	Φ	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
- Reinforcement ratio (balance strain)	ρ_b	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	
- Reinforcement ratio (minimum)	ρ_{min}	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	
	$(\rho - \rho')_{max}$	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	
	$(\rho - \rho')_{min}$	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0096	0.0096	
- Comp. reinforcement ratio (balance strain)	ρ'	0.0062	0.0060	0.0065	0.0065	0.0054	0.0054	
- Tens. reinforcement ratio (balance strain)	ρ	0.0097	0.0095	0.0101	0.0101	0.0107	0.0107	
	$(\rho - \rho')$	0.0036	0.0036	0.0036	0.0036	0.0054	0.0054	
- Check all comp. re-bar are yield	$f_s' < f_y$	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	
- Check all tens. re-bar are yield	$f_s = f_y$	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	
	R	-0.15	-0.20	-0.05	-0.05	-1.78	-1.78	
	Q	42.32	40.89	44.84	44.84	53.55	53.63	
	c	6.65	6.60	6.74	6.74	9.31	9.31	cm.
	a	5.65	5.61	5.73	5.73	7.91	7.92	cm.
Comp.re-bar layer 1 stress	f_s'	203.20	200.01	208.51	208.51	300.39	300.44	MPa.
	ΦM_n1	84,030	83,406	85,091	85,091	243,172	243,211	N.-m.
	ΦM_n2	39,568	37,631	43,021	43,021	148,720	148,964	N.-m.
- Nominal moment	ΦM_n	123,598	121,037	128,112	128,112	391,891	392,174	N.-m.
- Check $M_u < \Phi M_n$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
5. CHECK SHEAR AND TORSION FORCE RESISTANT								
- Reduction factor for shear and torsion	Φ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
- Distance inside stirrup along X-Axis	x_1	10.20	10.20	10.20	10.20	20.20	20.20	cm.
- Distance inside stirrup along Y-Axis	y_1	40.20	40.20	40.20	40.20	60.20	60.20	cm.
- Coefficient of concrete inside stirrup	αt	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
	C_t	0.044	0.044	0.044	0.044	0.029	0.029	
- Maximum factored torsion	$\max T_u$	26,565	29,629	12,640	18,627	1,922	3,202	N.-m.
- Check $T_u < \max T_u$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
- Torsion force resistant of concrete	T_c	5,313	5,926	2,528	3,725	384	640	N.-m.
- Shear force resistant of concrete	V_c	39,307	26,305	65,194	57,643	146,937	146,889	N.
- Check $V_u - \Phi V_c \leq 2.1 \Phi A_v f_y / s$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	A_v/s	0.025	0.014	0.001	-0.010	0.082	0.024	
	A_t/s	0.025	0.022	0.000	-0.005	0.001	0.000	
- Required re-bar area	$A(v+t) / s$	0.037	0.029	0.009	0.009	0.042	0.013	sq.cm.
- Additional area for main re-bar	A_l	2.50	3.05	1.53	2.39	0.12	0.06	sq.cm.
- Additional layer at mid-section		1	1	1	1	2	2	
- Re-bar per additional layer		0.83	1.02	0.51	0.80	0.03	0.01	sq.cm.

รูปที่ ข.3 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดคาน คสล. B7, B8, B9 กรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว

PROJECT : อาคาร คสล.4 ชั้น (พิจารณาแรงแผ่นดินไหว,กรณีศึกษาที่ 2)								
SUBJECT : Beam B1, B2, B3								
CALCULATION SHEET OF BEAM								
ULTIMATE STRENGTH DESIGN METHOD Refer to ACI 318-05								
DESCRIPTION	BEAM NO.	RB1Mid	RB1End	RB2Mid	RB2End	RB3Mid	RB3End	UNIT
1. MATERIAL PROPERTIES								
- Compressive strength of concrete	f _c	24	24	24	24	24	24	MPa.
- Unit weight of concrete	ω _c	24	24	24	24	24	24	kN./m ³
- Elastic modulus of concrete	E _c	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	MPa.
- Max. strain of concrete	ε _c	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
- Yield strength of reinforcing bar	f _y	400	400	400	400	400	400	MPa.
- Yield strength of stirrup	f _v	240	240	240	240	240	240	MPa.
- Elastic modulus of reinforcing bar	E _s	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	MPa.
2. FORCE FROM ANALYSIS (BY STAAD PRO PROGRAM)								
- Factored moment	Mu	94,330	112,882	88,706	84,066	189,310	197,206	N.-m.
- Factored shear	Vu	47,943	28,766	103,354	62,012	149,393	89,636	N.
- Factored torsion	Tu	551	551	1,532	1,532	3,770	3,770	N.-m.
3. SECTION PROPERTIES								
- Beam width	b	20	20	20	20	20	20	cm.
- Beam height	h	40	40	40	40	50	50	cm.
- Max.covering (conc.surface to edge of stirrup)	cov.	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	cm.
- Beam main reinforcement								
Comp. Layer 1	Re-bar qty.	2	2	2	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	20	20	20	20	20	20	mm.
	Re-bar dist. from top	4.10	4.10	4.10	4.10	4.40	4.40	cm.
Tens. Layer 1	Re-bar qty.	2	2	2	2	3	3	ea.
	Re-bar dia.	20	20	20	20	20	20	mm.
Tens. Layer 2	Re-bar qty.	1	2	1	1	2	2	ea.
	Re-bar dia.	20	20	20	20	20	20	mm.
	Re-bar dist. from top	32.40	31.40	32.40	32.40	41.70	41.70	
- Beam stirrup								
Stirrup dia.	o	6	6	6	6	9	9	mm.
Quantity of stirrup	N	1	1	1	1	1	1	circle
Stirrup spacing	s	15.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	cm.
	d/2	16.20	15.70	16.20	16.20	20.85	20.85	cm.
	60	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	cm.
Require stirrup spacing	(Av*fy)/(3.5*b) Sreq	19.39	19.39	19.39	19.39	43.62	43.62	cm.
- Check spacing s < Sreq		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
4. CHECK BENDING MOMENT RESISTANT								
- Reduction factor	β	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
- Reduction factor for flexure loads	Φ	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
- Reinforcement ratio (balance strain)	ρ _b	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	
- Reinforcement ratio (minimum)	ρ _{min}	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	
	(ρ-ρ') _{max}	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	
	(ρ-ρ') _{min}	0.0158	0.0163	0.0158	0.0158	0.0132	0.0132	
- Comp. reinforcement ratio (balance strain)	ρ'	0.0097	0.0098	0.0094	0.0094	0.0070	0.0070	
- Tens. reinforcement ratio (balance strain)	ρ	0.0145	0.0198	0.0143	0.0142	0.0183	0.0183	
	(ρ-ρ')	0.0048	0.0100	0.0048	0.0048	0.0113	0.0113	
- Check all comp. re-bar are yield	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	
- Check all tens. re-bar are yield	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	
	R	0.10	-1.74	0.05	0.05	-3.66	-3.66	
	Q	45.31	44.63	44.14	43.97	45.11	45.16	
	c	6.63	8.64	6.59	6.59	11.31	11.31	cm.
	a	5.64	7.34	5.60	5.60	9.61	9.61	cm.
Comp.re-bar layer 1 stress	fs'	228.97	315.35	226.80	226.48	366.58	366.59	MPa.
	ΦMn1	60,021	73,325	59,704	59,658	127,679	127,682	N.-m.
	ΦMn2	36,523	47,795	35,243	35,059	71,487	71,569	N.-m.
- Nominal moment	ΦMn	96,544	121,120	94,948	94,717	199,166	199,252	N.-m.
- Check Mu < ΦMn		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
5. CHECK SHEAR AND TORSION FORCE RESISTANT								
- Reduction factor for shear and torsion	Φ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
- Distance inside stirrup along X-Axis	x1	10.80	10.80	10.80	10.80	10.20	10.20	cm.
- Distance inside stirrup along Y-Axis	y1	30.80	30.80	30.80	30.80	40.20	40.20	cm.
- Coefficient of concrete inside stirrup	at	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
	Ct	0.041	0.039	0.041	0.041	0.042	0.042	
- Maximum factored torsion	max Tu	2,950	4,715	3,787	6,192	8,117	12,810	N.-m.
- Check Tu < max Tu		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
- Torsion force resistant of concrete	Tc	590	943	757	1,238	1,623	2,562	N.-m.
- Shear force resistant of concrete	Vc	51,818	49,688	51,590	50,609	64,932	61,490	N.
- Check Vu*ΦVc ≤ 2.1*Φ*fc*b*d		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	Av/s	0.010	-0.009	0.068	0.025	0.082	0.035	
	At/s	0.001	-0.001	0.007	0.004	0.014	0.010	
- Required re-bar area	A(v+t) / s	0.009	0.009	0.040	0.017	0.055	0.028	sq.cm.
- Additional area for main re-bar	At	0.06	0.34	0.55	0.62	1.42	1.40	sq.cm.
- Additional layer at mid-section		1	1	1	1	1	1	
- Re-bar per additional layer		0.02	0.11	0.18	0.21	0.47	0.47	sq.cm.

รูปที่ ข.4 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดคาน B1, B2, B3 กรณีที่ 2 คัดแรงแผ่นดินไหวที่ Z=0.19, S=2.5

PROJECT : อาคาร คสล.4 ชั้น (พิจารณาแรงแผ่นดินไหว,กรณีศึกษาที่ 2)								
SUBJECT : Beam B4, B5, B6								
CALCULATION SHEET OF BEAM								
ULTIMATE STRENGTH DESIGN METHOD Refer to ACI 318-05								
DESCRIPTION	BEAM NO.	RB4Mid	RB4End	RB5Mid	RB5End	RB6Mid	RB6End	UNIT
1. MATERIAL PROPERTIES								
- Compressive strength of concrete	f_c	24	24	24	24	24	24	MPa.
- Unit weight of concrete	ω_c	24	24	24	24	24	24	kN./m ³
- Elastic modulus of concrete	E_c	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	MPa.
- Max. strain of concrete	ϵ_c	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
- Yield strength of reinforcing bar	f_y	400	400	400	400	400	400	MPa.
- Yield strength of stirrup	f_v	240	240	240	240	240	240	MPa.
- Elastic modulus of reinforcing bar	E_s	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	MPa.
2. FORCE FROM ANALYSIS								
- Factored moment	M_u	249,337	262,206	195,989	217,225	54,783	92,368	N.-m.
- Factored shear	V_u	228,557	137,134	274,208	164,525	134,497	80,698	N.
- Factored torsion	T_u	1,249	1,249	5,724	5,724	689	689	N.-m.
3. SECTION PROPERTIES								
- Beam width	b	25	25	25	25	20	20	cm.
- Beam height	h	50	50	50	50	50	50	cm.
- Max.covering (conc.surface to edge of stirrup)	cov.	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	cm.
- Beam main reinforcement								
Comp. Layer 1	Re-bar qty.	2	2	2	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	25	25	25	25	20	20	mm.
	Re-bar dist. from top	4.65	4.65	4.65	4.65	4.40	4.40	cm.
Tens. Layer 1	Re-bar qty.	3	3	3	3	3	3	ea.
	Re-bar dia.	25	25	25	25	20	20	mm.
Tens. Layer 2	Re-bar qty.	2	2	2	2	0	0	ea.
	Re-bar dia.	20	20	20	20	0	0	mm.
	Re-bar dist. from top	42.06	42.06	42.06	42.06	44.10	44.10	
- Beam stirrup								
Stirrup dia.	ϕ	9	9	9	9	9	9	mm.
Quantity of stirrup	N	1	1	1	1	1	1	circle
Stirrup spacing	s	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	cm.
	$d/2$	21.03	21.03	21.03	21.03	22.05	22.05	cm.
	60	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	cm.
	$(A_v f_y)/(3.5 b)$	34.90	34.90	34.90	34.90	43.62	43.62	cm.
Require stirrup spacing	S_{req}	21.03	21.03	21.03	21.03	22.05	22.05	cm.
- Check spacing $s < S_{req}$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
4. CHECK BENDING MOMENT RESISTANT								
- Reduction factor	β	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
- Reduction factor for flexure loads	ϕ	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
- Reinforcement ratio (balance strain)	ρ_b	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	
- Reinforcement ratio (minimum)	ρ_{min}	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	
	$(\rho - \rho')_{max}$	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	
	$(\rho - \rho')_{min}$	0.0138	0.0138	0.0138	0.0138	0.0125	0.0125	
- Comp. reinforcement ratio (balance strain)	ρ'	0.0092	0.0092	0.0088	0.0089	0.0070	0.0071	
- Tens. reinforcement ratio (balance strain)	ρ	0.0199	0.0199	0.0194	0.0195	0.0106	0.0106	
	$(\rho - \rho')$	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0036	0.0036	
- Check all comp. re-bar are yield	$f_s < f_y$	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	
- Check all tens. re-bar are yield	$f_s = f_y$	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	
	R	-2.79	-2.79	-2.91	-2.88	0.08	0.10	
	Q	63.63	63.84	60.46	61.19	48.18	48.44	
	c	11.25	11.25	11.21	11.22	6.86	6.87	cm.
	a	9.56	9.56	9.53	9.54	5.83	5.84	cm.
Comp.re-bar layer 1 stress	f_s'	351.93	351.98	351.25	351.41	215.02	215.49	MPa.
	ϕM_{n1}	160.355	160.380	159.971	160.060	86.427	86.527	N.-m.
	ϕM_{n2}	114.846	115.230	108.912	110.269	47.673	48.034	N.-m.
- Nominal moment	ϕM_n	275.202	275.610	268.883	270.329	134.100	134.561	N.-m.
- Check $M_u < \phi M_n$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
5. CHECK SHEAR AND TORSION FORCE RESISTANT								
- Reduction factor for shear and torsion	ϕ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
- Distance inside stirrup along X-Axis	x_1	15.20	15.20	15.20	15.20	10.20	10.20	cm.
- Distance inside stirrup along Y-Axis	y_1	40.20	40.20	40.20	40.20	40.20	40.20	cm.
- Coefficient of concrete inside stirrup	at	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
	C_t	0.034	0.034	0.034	0.034	0.044	0.044	
- Maximum factored torsion	$\max T_u$	2,289	3,808	8,619	13,998	1,798	2,988	N.-m.
- Check $T_u < \max T_u$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
- Torsion force resistant of concrete	T_c	458	762	1,724	2,800	360	598	N.-m.
- Shear force resistant of concrete	V_c	84,554	84,396	83,368	81,236	70,894	70,694	N.
- Check $V_u - \phi V_c \leq 2.1 \phi^* f_c b^* d$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	A_v/s	0.133	0.060	0.171	0.084	0.063	0.021	
	A_t/s	0.003	0.003	0.016	0.013	0.002	0.001	
- Required re-bar area	$A(v+t) / s$	0.070	0.032	0.102	0.055	0.034	0.012	sq.cm.
- Additional area for main re-bar	A_t	0.37	0.28	1.82	1.49	0.23	0.13	sq.cm.
- Additional layer at mid-section		1	1	1	1	1	1	
- Re-bar per additional layer		0.12	0.09	0.61	0.50	0.08	0.04	sq.cm.

รูปที่ ข.5 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดคาน คสล. B4, B5, B6 กรณีที่ 2 คัดแรงแผ่นดินไหวที่

$$Z=0.19, S=2.5$$

PROJECT : อาคาร คสล.4 ชั้น (พิจารณาแรงแผ่นดินไหว,กรณีศึกษาที่ 2)								
SUBJECT : Beam B7, B8, B9								
CALCULATION SHEET OF BEAM								
ULTIMATE STRENGTH DESIGN METHOD Refer to ACI 318-05								
DESCRIPTION	BEAM NO.	RB7Mid	RB7End	RB8Mid	RB8End	RB9Mid	RB9End	UNIT
1. MATERIAL PROPERTIES								
- Compressive strength of concrete	f _c	28	28	28	28	28	28	MPa.
- Unit weight of concrete	ω _c	25	25	25	25	25	25	kN./m ³
- Elastic modulus of concrete	E _c	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	MPa.
- Max. strain of concrete	ε _c	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
- Yield strength of reinforcing bar	f _y	400	400	400	400	400	400	MPa.
- Yield strength of stirrup	f _v	240	240	240	240	240	240	MPa.
- Elastic modulus of reinforcing bar	E _s	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	MPa.
2. FORCE FROM ANALYSIS								
- Factored moment	M _u	100,355	87,961	121,020	42,274	380,897	265,979	N.-m.
- Factored shear	V _u	65,128	39,077	59,505	35,703	218,731	131,238	N.
- Factored torsion	T _u	8,471	8,471	2,105	2,105	677	677	N.-m.
3. SECTION PROPERTIES								
- Beam width	b	20	20	25	25	30	30	cm.
- Beam height	h	50	50	60	60	70	70	cm.
- Max.covering (conc.surface to edge of stirrup)	cov.	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	cm.
- Beam main reinforcement								
Comp. Layer 1	Re-bar qty.	2	2	2	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	20	20	20	20	25	25	mm.
	Re-bar dist. from top	d'	4.40	4.40	4.40	4.65	4.65	cm.
Tens. Layer 1	Re-bar qty.	2	2	3	3	2	2	ea.
	Re-bar dia.	20	20	20	20	25	25	mm.
Tens. Layer 2	Re-bar qty.	1	1	0	0	2	2	ea.
	Re-bar dia.	20	20	0	0	25	25	mm.
	Re-bar dist. from top	d	42.10	42.10	54.10	54.10	60.85	60.85
- Beam stirrup								
Stirrup dia.	o	9	9	9	9	9	9	mm.
Quantity of stirrup	N	1	1	1	1	1	1	circle
Stirrup spacing	s	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	cm.
	d/2	21.05	21.05	27.05	27.05	30.43	30.43	cm.
	60	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	cm.
	(A _v f _y)/(3.5*b)	43.62	43.62	34.90	34.90	29.08	29.08	cm.
Require stirrup spacing	S _{req}	21.05	21.05	27.05	27.05	29.08	29.08	cm.
- Check spacing s < S _{req}		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
4. CHECK BENDING MOMENT RESISTANT								
- Reduction factor	β	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
- Reduction factor for flexure loads	φ	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
- Reinforcement ratio (balance strain)	ρ _b	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	
- Reinforcement ratio (minimum)	ρ _{min}	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	
	(ρ-ρ') _{max}	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	
	(ρ-ρ') _{min}	0.0131	0.0131	0.0102	0.0102	0.0096	0.0096	
- Comp. reinforcement ratio (balance strain)	ρ'	0.0064	0.0063	0.0042	0.0039	0.0054	0.0054	
- Tens. reinforcement ratio (balance strain)	ρ	0.0102	0.0100	0.0065	0.0062	0.0107	0.0108	
	(ρ-ρ')	0.0037	0.0037	0.0023	0.0023	0.0054	0.0054	
- Check all comp. re-bar are yield	fs' < f _y	fs' < f _y	fs' < f _y	fs' < f _y	fs' < f _y	fs' < f _y	fs' < f _y	
- Check all tens. re-bar are yield	fs = f _y	fs = f _y	fs = f _y	fs = f _y	fs = f _y	fs = f _y	fs = f _y	
	R	-0.15	-0.19	-0.05	-0.16	-1.78	-1.78	
	Q	42.14	41.31	35.43	32.76	53.57	53.66	
	c	6.65	6.62	6.01	5.89	9.31	9.31	cm.
	a	5.65	5.62	5.11	5.00	7.91	7.92	cm.
Comp.re-bar layer 1 stress	fs'	202.81	200.96	160.56	151.48	300.40	300.46	MPa.
	φMn1	79,887	79,542	118,458	116,177	243,182	243,227	N.-m.
	φMn2	37,349	36,273	40,963	35,734	148,783	149,069	N.-m.
	φMn	117,236	115,814	159,422	151,911	391,964	392,296	N.-m.
- Nominal moment								
- Check Mu < φMn		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
5. CHECK SHEAR AND TORSION FORCE RESISTANT								
- Reduction factor for shear and torsion	φ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
- Distance inside stirrup along X-Axis	x1	10.20	10.20	15.20	15.20	20.20	20.20	cm.
- Distance inside stirrup along Y-Axis	y1	40.20	40.20	50.20	50.20	60.20	60.20	cm.
- Coefficient of concrete inside stirrup	at	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
	Ct	0.042	0.042	0.036	0.036	0.029	0.029	
- Maximum factored torsion	max Tu	25,759	29,216	18,178	28,079	2,253	3,753	N.-m.
- Check Tu < max Tu		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
- Torsion force resistant of concrete	Tc	5,152	5,843	3,636	5,616	451	751	N.-m.
- Shear force resistant of concrete	Vc	39,984	27,210	103,734	96,139	146,927	146,861	N.
- Check Vu-φVc ≤ 2.1*φ*fc*b*d		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	Av/s	0.028	0.015	-0.011	-0.023	0.061	0.012	
	At/s	0.025	0.023	-0.002	-0.006	0.001	0.000	
- Required re-bar area	A(v+t) / s	0.040	0.030	0.011	0.011	0.031	0.013	sq.cm.
- Additional area for main re-bar	At	2.57	2.89	1.74	3.03	0.10	0.03	sq.cm.
- Additional layer at mid-section		1	1	1	1	2	2	
- Re-bar per additional layer		0.86	0.96	0.58	1.01	0.03	0.01	sq.cm.

รูปที่ ข.6 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดคาน คสล. B7, B8, B9 กรณีที่ 2 คัดแรงแผ่นดินไหวที่

$$Z=0.19, S=2.5$$

PROJECT : อาคาร คสล.4 ชั้น (พิจารณาแรงแผ่นดินไหวกรกใต้กษมาที่ 3)								
SUBJECT : Beam B1, B2, B3								
CALCULATION SHEET OF BEAM								
ULTIMATE STRENGTH DESIGN METHOD Refer to ACI 318-05								
DESCRIPTION	BEAM NO.	RB1Mid	RB1End	RB2Mid	RB2End	RB3Mid	RB3End	UNIT
1. MATERIAL PROPERTIES								
- Compressive strength of concrete	f_c	24	24	24	24	24	24	MPa.
- Unit weight of concrete	ω_c	24	24	24	24	24	24	kN./m ³
- Elastic modulus of concrete	E_c	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	MPa.
- Max. strain of concrete	ϵ_c	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
- Yield strength of reinforcing bar	f_y	400	400	400	400	400	400	MPa.
- Yield strength of stirrup	f_v	240	240	240	240	240	240	MPa.
- Elastic modulus of reinforcing bar	E_s	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	MPa.
2. FORCE FROM ANALYSIS								
- Factored moment	M_u	59,187	82,395	50,768	66,649	121,023	128,919	N.-m.
- Factored shear	V_u	37,076	22,245	58,337	35,002	99,429	59,658	N.
- Factored torsion	T_u	233	233	138	138	2,551	2,551	N.-m.
3. SECTION PROPERTIES								
- Beam width	b	20	20	20	20	20	20	cm.
- Beam height	h	40	40	40	40	50	50	cm.
- Max.covering (conc.surface to edge of stirrup)	cov.	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	cm.
- Beam main reinforcement								
Comp. Layer 1	Re-bar qty.	N	2	2	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	ϕ	16	16	16	20	20	mm.
	Re-bar dist. from top	d'	3.90	3.90	3.90	4.40	4.40	cm.
Tens. Layer 1	Re-bar qty.	N	3	3	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	ϕ	16	16	16	20	20	mm.
Tens. Layer 2	Re-bar qty.	N	2	2	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	ϕ	16	16	16	20	20	mm.
	Re-bar dist. from top	d	32.20	32.20	31.60	31.60	41.10	41.10
- Beam stirrup								
Stirrup dia.	ϕ	6	6	6	6	9	9	mm.
Quantity of stirrup	N	1	1	1	1	1	1	circle
Stirrup spacing	s	15.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	cm.
	$d/2$	16.10	16.10	15.80	15.80	20.55	20.55	cm.
	60	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	cm.
	$(A_v f_y)/(3.5 b)$	19.39	19.39	19.39	19.39	43.62	43.62	cm.
Require stirrup spacing	S_{req}	16.10	16.10	15.80	15.80	20.55	20.55	cm.
- Check spacing $s < S_{req}$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
4. CHECK BENDING MOMENT RESISTANT								
- Reduction factor	β	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
- Reduction factor for flexure loads	ϕ	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
- Reinforcement ratio (balance strain)	ρ_b	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	
- Reinforcement ratio (minimum)	ρ_{min}	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	
	$(\rho - \rho')_{max}$	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	
	$(\rho - \rho')_{min}$	0.0152	0.0152	0.0154	0.0154	0.0134	0.0134	
- Comp. reinforcement ratio (balance strain)	ρ'	0.0062	0.0063	0.0063	0.0064	0.0073	0.0070	
- Tens. reinforcement ratio (balance strain)	ρ	0.0156	0.0156	0.0127	0.0127	0.0150	0.0147	
	$(\rho - \rho')$	0.0094	0.0094	0.0064	0.0064	0.0076	0.0076	
- Check all comp. re-bar are yield	$f_s' < f_y$	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	
- Check all tens. re-bar are yield	$f_s = f_y$	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	
	R	-2.25	-2.24	-1.09	-1.09	-1.79	-1.86	
	Q	27.69	27.85	27.61	27.69	46.68	44.76	
	c	7.97	7.98	6.46	6.46	8.85	8.81	cm.
	a	6.78	6.78	5.49	5.49	7.52	7.49	cm.
Comp.re-bar layer 1 stress	f_s'	306.48	306.63	237.79	237.97	301.66	300.24	MPa.
	ϕM_n1	70,287	70,318	57,044	57,069	101,106	100,677	N.-m.
	ϕM_n2	31,403	31,597	23,784	23,868	59,901	57,173	N.-m.
- Nominal moment	ϕM_n	101,689	101,916	80,828	80,937	161,007	157,850	N.-m.
- Check $M_u < \phi M_n$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
5. CHECK SHEAR AND TORSION FORCE RESISTANT								
- Reduction factor for shear and torsion	ϕ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
- Distance inside stirrup along X-Axis	x_1	10.80	10.80	10.80	10.80	10.20	10.20	cm.
- Distance inside stirrup along Y-Axis	y_1	30.80	30.80	30.80	30.80	40.20	40.20	cm.
- Coefficient of concrete inside stirrup	α_t	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
	Ct	0.040	0.040	0.040	0.040	0.041	0.041	
- Maximum factored torsion	max T_u	1,611	2,676	597	995	8,133	12,833	N.-m.
- Check $T_u < \max T_u$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
- Torsion force resistant of concrete	T_c	322	535	119	199	1,627	2,567	N.-m.
- Shear force resistant of concrete	V_c	51,743	51,560	50,866	50,841	63,989	60,585	N.
- Check $V_u - \phi V_c \leq 2.1 \phi' f_c b'd$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	A_v/s	-0.002	-0.017	0.022	-0.003	0.043	0.012	
	A_t/s	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.007	0.003	
- Required re-bar area	$A(v+t) / s$	0.009	0.009	0.011	0.009	0.029	0.009	sq.cm.
- Additional area for main re-bar	A_l	0.00	-0.07	0.03	-0.01	0.81	1.55	sq.cm.
- Additional layer at mid-section		1	1	1	1	1	1	
- Re-bar per additional layer		0.00	-0.02	0.01	0.00	0.27	0.52	sq.cm.

รูปที่ ข.7 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดคาน คสล. B1, B2, B3 กรณีที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหวที่

$$Z=0.19, S=1.5$$

PROJECT : อาคาร คสล.4 ชั้น (พิจารณาแรงแผ่นดินไหวกรณีศึกษาที่ 3)								
SUBJECT : Beam B4, B5, B6								
CALCULATION SHEET OF BEAM								
ULTIMATE STRENGTH DESIGN METHOD Refer to ACI 318-05								
DESCRIPTION	BEAM NO.	RB4Mid	RB4End	RB5Mid	RB5End	RB6Mid	RB6End	UNIT
1. MATERIAL PROPERTIES								
- Compressive strength of concrete	f_c	24	24	24	24	24	24	MPa.
- Unit weight of concrete	ω_c	24	24	24	24	24	24	kN./m ³
- Elastic modulus of concrete	E_c	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	MPa.
- Max. strain of concrete	ϵ_c	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
- Yield strength of reinforcing bar	f_y	400	400	400	400	400	400	MPa.
- Yield strength of stirrup	f_v	240	240	240	240	240	240	MPa.
- Elastic modulus of reinforcing bar	E_s	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	MPa.
2. FORCE FROM ANALYSIS								
- Factored moment	M_u	158,981	171,871	116,313	129,353	53,805	92,368	N.-m.
- Factored shear	V_u	150,047	90,028	164,733	98,840	134,497	80,698	N.
- Factored torsion	T_u	932	932	4,182	4,182	689	689	N.-m.
3. SECTION PROPERTIES								
- Beam width	b	25	25	25	25	20	20	cm.
- Beam height	h	50	50	50	50	50	50	cm.
- Max.covering (conc.surface to edge of stirrup)	$cov.$	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	cm.
- Beam main reinforcement								
Comp. Layer 1	Re-bar qty.	N	2	2	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	ϕ	25	25	25	20	20	mm.
	Re-bar dist. from top	d'	4.65	4.65	4.65	4.40	4.40	cm.
Tens. Layer 1	Re-bar qty.	N	2	2	2	3	3	ea.
	Re-bar dia.	ϕ	25	25	25	20	20	mm.
Tens. Layer 2	Re-bar qty.	N	2	2	2	0	0	ea.
	Re-bar dia.	ϕ	16	16	16	0	0	mm.
	Re-bar dist. from top	d	42.11	42.11	42.11	44.10	44.10	
- Beam stirrup								
	Stirrup dia.	ϕ	9	9	9	9	9	mm.
	Quantity of stirrup	N	1	1	1	1	1	circle
	Stirrup spacing	s	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	cm.
		$d/2$	21.05	21.05	21.05	22.05	22.05	cm.
		60	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	cm.
		$(A_v f_y)/(3.5'b)$	34.90	34.90	34.90	34.90	43.62	cm.
	Require stirrup spacing	S_{req}	21.05	21.05	21.05	21.05	22.05	cm.
	- Check spacing $s < S_{req}$		OK	OK	OK	OK	OK	
4. CHECK BENDING MOMENT RESISTANT								
- Reduction factor	β	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
- Reduction factor for flexure loads	ϕ	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
- Reinforcement ratio (balance strain)	ρ_b	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	
- Reinforcement ratio (minimum)	ρ_{min}	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	
	$(\rho - \rho')_{max}$	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	
	$(\rho - \rho')_{min}$	0.0138	0.0138	0.0138	0.0138	0.0125	0.0125	
- Comp. reinforcement ratio (balance strain)	ρ'	0.0093	0.0093	0.0090	0.0088	0.0070	0.0071	
- Tens. reinforcement ratio (balance strain)	ρ	0.0131	0.0131	0.0128	0.0126	0.0106	0.0106	
	$(\rho - \rho')$	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0036	0.0036	
- Check all comp. re-bar are yield	$f_s' < f_y$	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	
- Check all tens. re-bar are yield	$f_s = f_y$	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	
	R	0.53	0.54	0.46	0.41	0.08	0.10	
	Q	63.96	64.19	62.09	60.75	48.18	48.44	
	c	7.49	7.49	7.44	7.40	6.86	6.87	cm.
	a	6.36	6.37	6.32	6.29	5.83	5.84	cm.
Comp.re-bar layer 1 stress	f_s'	227.42	227.74	224.80	222.86	215.02	215.49	MPa.
	ϕM_{n1}	111,494	111,582	110,781	110,255	86,427	86,527	N.-m.
	ϕM_{n2}	74,697	75,073	71,682	69,519	47,673	48,034	N.-m.
- Nominal moment	ϕM_n	186,191	186,655	182,462	179,774	134,100	134,561	N.-m.
- Check $M_u < \phi M_n$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
5. CHECK SHEAR AND TORSION FORCE RESISTANT								
- Reduction factor for shear and torsion	ϕ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
- Distance inside stirrup along X-Axis	x_1	15.20	15.20	15.20	15.20	10.20	10.20	cm.
- Distance inside stirrup along Y-Axis	y_1	40.20	40.20	40.20	40.20	40.20	40.20	cm.
- Coefficient of concrete inside stirrup	α_t	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
	C_t	0.034	0.034	0.034	0.034	0.044	0.044	
- Maximum factored torsion	$\max T_u$	2,603	4,328	10,419	16,727	1,798	2,988	N.-m.
- Check $T_u < \max T_u$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
- Torsion force resistant of concrete	T_c	521	866	2,084	3,345	360	598	N.-m.
- Shear force resistant of concrete	V_c	84,630	84,426	82,874	79,831	70,894	70,694	N.
- Check $V_u - \phi V_c \leq 2.1 \phi^* f_c^* b^* d$		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	A_v/s	0.070	0.022	0.083	0.031	0.063	0.021	
	A_t/s	0.002	0.001	0.010	0.006	0.002	0.001	
- Required re-bar area	$A(v+t) / s$	0.037	0.012	0.051	0.022	0.034	0.012	sq.cm.
- Additional area for main re-bar	A_l	0.22	0.12	1.08	1.69	0.23	0.13	sq.cm.
- Additional layer at mid-section		1	1	1	1	1	1	
- Re-bar per additional layer		0.07	0.04	0.36	0.56	0.08	0.04	sq.cm.

รูปที่ ข.8 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดคาน คสล. B4, B5, B6 กรณีที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหวที่

$$Z=0.19, S=1.5$$

PROJECT : อาคาร คสล.4 ชั้น (พิจารณาแรงแผ่นดินไหวกรณี 3)								
SUBJECT : Beam B7, B8, B9								
CALCULATION SHEET OF BEAM								
ULTIMATE STRENGTH DESIGN METHOD Refer to ACI 318-05								
DESCRIPTION	BEAM NO.	RB7Mid	RB7End	RB8Mid	RB8End	RB9Mid	RB9End	UNIT
1. MATERIAL PROPERTIES								
- Compressive strength of concrete	f _c	28	28	28	28	28	28	MPa.
- Unit weight of concrete	ω _c	25	25	25	25	25	25	kN./m ³
- Elastic modulus of concrete	E _c	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	MPa.
- Max. strain of concrete	ε _c	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
- Yield strength of reinforcing bar	f _y	400	400	400	400	400	400	MPa.
- Yield strength of stirrup	f _v	240	240	240	240	240	240	MPa.
- Elastic modulus of reinforcing bar	E _s	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	MPa.
2. FORCE FROM ANALYSIS								
- Factored moment	M _u	100,355	72,406	119,833	29,986	380,897	230,018	N.-m.
- Factored shear	V _u	64,191	38,515	56,140	33,684	256,381	153,829	N.
- Factored torsion	T _u	8,471	8,471	1,964	1,964	677	677	N.-m.
3. SECTION PROPERTIES								
- Beam width	b	20	20	20	20	30	30	cm.
- Beam height	h	50	50	50	50	70	70	cm.
- Max.covering (conc.surface to edge of stirrup)	cov.	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	cm.
- Beam main reinforcement								
Comp. Layer 1	Re-bar qty.	2	2	2	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	20	20	20	20	25	25	mm.
	Re-bar dist. from top	4.40	4.40	4.40	4.40	4.65	4.65	cm.
Tens. Layer 1	Re-bar qty.	3	3	3	3	2	2	ea.
	Re-bar dia.	20	20	20	20	25	25	mm.
Tens. Layer 2	Re-bar qty.	0	0	0	0	2	2	ea.
	Re-bar dia.	20	20	0	0	25	25	mm.
	Re-bar dist. from top	44.10	44.10	44.10	44.10	60.85	60.85	
- Beam stirrup								
Stirrup dia.	o	9	9	9	9	9	9	mm.
Quantity of stirrup	N	1	1	1	1	1	1	circle
Stirrup spacing	s	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	cm.
	d/2	22.05	22.05	22.05	22.05	30.43	30.43	cm.
	60	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	cm.
Require stirrup spacing	(A _v f _y)/(3.5*b) S _{req}	43.62	43.62	43.62	43.62	29.08	29.08	cm.
- Check spacing s < S _{req}		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
4. CHECK BENDING MOMENT RESISTANT								
- Reduction factor	β	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
- Reduction factor for flexure loads	φ	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
- Reinforcement ratio (balance strain)	ρ _b	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	
- Reinforcement ratio (minimum)	ρ _{min}	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	
	(ρ-ρ') _{max}	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	
	(ρ-ρ') _{min}	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0096	0.0096	
- Comp. reinforcement ratio (balance strain)	ρ'	0.0062	0.0060	0.0066	0.0063	0.0054	0.0054	
- Tens. reinforcement ratio (balance strain)	ρ	0.0097	0.0096	0.0102	0.0099	0.0107	0.0107	
	(ρ-ρ')	0.0036	0.0036	0.0036	0.0036	0.0054	0.0054	
- Check all comp. re-bar are yield	fs' < f _y	fs' < f _y	fs' < f _y	fs' < f _y	fs' < f _y	fs' < f _y	fs' < f _y	
- Check all tens. re-bar are yield	fs = f _y	fs = f _y	fs = f _y	fs = f _y	fs = f _y	fs = f _y	fs = f _y	
	R	-0.15	-0.20	-0.03	-0.11	-1.78	-1.78	
	Q	42.26	41.03	45.29	43.12	53.55	53.63	
	c	6.65	6.61	6.76	6.68	9.31	9.31	cm.
	a	5.65	5.61	5.75	5.68	7.91	7.92	cm.
Comp.re-bar layer 1 stress	fs'	203.07	200.34	209.42	204.92	300.39	300.44	MPa.
	φMn1	84.004	83.470	85.276	84.372	243.172	243.211	N.-m.
	φMn2	39.486	37.827	43.646	40.657	148.720	148.964	N.-m.
- Nominal moment	φMn	123.490	121.297	128.923	125.029	391.891	392.174	N.-m.
- Check Mu < φMn		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
5. CHECK SHEAR AND TORSION FORCE RESISTANT								
- Reduction factor for shear and torsion	φ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
- Distance inside stirrup along X-Axis	x1	10.20	10.20	10.20	10.20	20.20	20.20	cm.
- Distance inside stirrup along Y-Axis	y1	40.20	40.20	40.20	40.20	60.20	60.20	cm.
- Coefficient of concrete inside stirrup	αt	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
	Ct	0.044	0.044	0.044	0.044	0.029	0.029	
- Maximum factored torsion	max Tu	26.288	29.490	11.480	17.250	1.922	3.202	N.-m.
- Check Tu < max Tu		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
- Torsion force resistant of concrete	Tc	5.258	5.898	2.296	3.450	384	640	N.-m.
- Shear force resistant of concrete	Vc	40.219	27.070	66.249	59.728	146.937	146.889	N.
- Check V _u -φV _c ≤ 2.1*φ*f _c *b*d		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	A _v /s	0.026	0.014	0.005	-0.009	0.082	0.024	
	A _t /s	0.025	0.022	0.001	-0.003	0.001	0.000	
- Required re-bar area	A _v (t) / s	0.038	0.029	0.009	0.009	0.042	0.013	sq.cm.
- Additional area for main re-bar	A _t	2.52	3.00	1.35	2.19	0.12	0.06	sq.cm.
- Additional layer at mid-section		1	1	1	1	2	2	
- Re-bar per additional layer		0.84	1.00	0.45	0.73	0.03	0.01	sq.cm.

รูปที่ ข.9 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดคาน คสล. B7, B8, B9 กรณีที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหวที่

$$Z=0.19, S=1.5$$

PROJECT : อาคาร คสล.4 ชั้น (พิจารณาแรงแผ่นดินไหวกรณีศึกษาที่ 4)								
SUBJECT : Beam B1, B2, B3								
CALCULATION SHEET OF BEAM								
ULTIMATE STRENGTH DESIGN METHOD Refer to ACI 318-05								
DESCRIPTION	BEAM NO.	RB1Mid	RB1End	RB2Mid	RB2End	RB3Mid	RB3End	UNIT
1. MATERIAL PROPERTIES								
- Compressive strength of concrete	f _c	24	24	24	24	24	24	MPa.
- Unit weight of concrete	w _c	24	24	24	24	24	24	kN./m ³
- Elastic modulus of concrete	E _c	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	MPa.
- Max. strain of concrete	ε _c	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
- Yield strength of reinforcing bar	f _y	400	400	400	400	400	400	MPa.
- Yield strength of stirrup	f _v	240	240	240	240	240	240	MPa.
- Elastic modulus of reinforcing bar	E _s	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	MPa.
2. FORCE FROM ANALYSIS (BY STAAD PRO PROGRAM)								
- Factored moment	Mu	101,981	119,519	101,579	96,820	204,193	212,090	N.-m.
- Factored shear	Vu	50,309	30,185	117,280	70,368	160,283	96,170	N.
- Factored torsion	Tu	620	620	1,721	1,721	4,036	4,036	N.-m.
3. SECTION PROPERTIES								
- Beam width	b	20	20	20	20	25	25	cm.
- Beam height	h	40	40	40	40	50	50	cm.
- Max.covering (conc.surface to edge of stirrup)	cov.	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	cm.
- Beam main reinforcement								
Comp. Layer 1	Re-bar qty.	N	2	2	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	ø	20	20	20	20	20	mm.
	Re-bar dist. from top	d'	4.10	4.10	4.10	4.10	4.40	cm.
Tens. Layer 1	Re-bar qty.	N	3	3	3	3	2	ea.
	Re-bar dia.	ø	20	20	20	20	25	mm.
Tens. Layer 2	Re-bar qty.	N	2	2	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	ø	16	16	16	16	25	mm.
	Re-bar dist. from top	d	32.61	32.61	32.61	32.61	40.85	
- Beam stirrup								
Stirrup dia.	ø	6	6	6	6	9	9	mm.
Quantity of stirrup	N	1	1	1	1	1	1	circle
Stirrup spacing	s	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	cm.
	d/2	16.30	16.30	16.30	16.30	20.43	20.43	cm.
	60	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	cm.
	(Av*f _y)/(3.5*b)	19.39	19.39	19.39	19.39	34.90	34.90	cm.
Require stirrup spacing	Sreq	16.30	16.30	16.30	16.30	20.43	20.43	cm.
- Check spacing s < Sreq		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
4. CHECK BENDING MOMENT RESISTANT								
- Reduction factor	β	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
- Reduction factor for flexure loads	Φ	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
- Reinforcement ratio (balance strain)	ρ _b	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	
- Reinforcement ratio (minimum)	ρ _{min}	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	
	(ρ-ρ') _{max}	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	
	(ρ-ρ') _{min}	0.0157	0.0157	0.0157	0.0157	0.0135	0.0135	
- Comp. reinforcement ratio (balance strain)	ρ'	0.0096	0.0094	0.0093	0.0093	0.0058	0.0056	
- Tens. reinforcement ratio (balance strain)	ρ	0.0206	0.0204	0.0203	0.0203	0.0189	0.0187	
	(ρ-ρ')	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0131	0.0131	
- Check all comp. re-bar are yield	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	
- Check all tens. re-bar are yield	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	
	R	-2.22	-2.26	-2.28	-2.27	-4.71	-4.76	
	Q	45.26	44.40	43.88	43.98	36.88	35.69	
	c	9.30	9.29	9.28	9.28	12.39	12.39	cm.
	a	7.91	7.90	7.89	7.89	10.53	10.53	cm.
Comp.re-bar layer 1 stress	fs'	335.60	335.23	335.00	335.05	387.01	386.98	MPa.
	ΦMn1	81,572	81,472	81,412	81,424	168,687	168,665	N.-m.
	ΦMn2	53,865	52,771	52,125	52,252	75,371	72,933	N.-m.
- Nominal moment	ΦMn	135,437	134,243	133,537	133,676	244,058	241,598	N.-m.
- Check Mu < ΦMn		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
5. CHECK SHEAR AND TORSION FORCE RESISTANT								
- Reduction factor for shear and torsion	Φ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
- Distance inside stirrup along X-Axis	x1	10.80	10.80	10.80	10.80	15.20	15.20	cm.
- Distance inside stirrup along Y-Axis	y1	30.80	30.80	30.80	30.80	40.20	40.20	cm.
- Coefficient of concrete inside stirrup	at	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
	Ct	0.041	0.041	0.041	0.041	0.033	0.033	
- Maximum factored torsion	max Tu	3,182	5,231	3,774	6,172	10,043	16,166	N.-m.
- Check Tu < max Tu		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
- Torsion force resistant of concrete	Tc	636	1,046	755	1,234	2,009	3,233	N.-m.
- Shear force resistant of concrete	Vc	52,089	51,384	51,922	50,941	80,530	77,772	N.
- Check Vu-ΦVc ≤ 2.1*Φ*f _c *b*d		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	Av/s	0.012	-0.009	0.082	0.034	0.083	0.031	
	At/s	0.001	-0.001	0.008	0.005	0.009	0.006	
- Required re-bar area	A(v+t) / s	0.009	0.009	0.049	0.022	0.051	0.022	sq.cm.
- Additional area for main re-bar	At	0.08	0.44	0.65	0.61	1.04	1.61	sq.cm.
- Additional layer at mid-section		1	1	1	1	1	1	
- Re-bar per additional layer		0.03	0.15	0.22	0.20	0.35	0.54	sq.cm.

รูปที่ ข.10 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดคาน คสล. B1, B2, B3 กรณีที่ 4 คัดแรงแผ่นดินไหวที่

$$Z=0.38, S=1.5$$

PROJECT : อาคาร คสล.4 ชั้น (พิจารณาแรงแผ่นดินไหวกรณีศึกษาที่ 4)								
SUBJECT : Beam B4, B5, B6								
CALCULATION SHEET OF BEAM								
ULTIMATE STRENGTH DESIGN METHOD Refer to ACI 318-05								
DESCRIPTION	BEAM NO.	RB4Mid	RB4End	RB5Mid	RB5End	RB6Mid	RB6End	UNIT
1. MATERIAL PROPERTIES								
- Compressive strength of concrete	f _c	24	24	24	24	24	24	MPa.
- Unit weight of concrete	w _c	24	24	24	24	24	24	kN./m ³
- Elastic modulus of concrete	E _c	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	MPa.
- Max. strain of concrete	ε _c	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
- Yield strength of reinforcing bar	f _y	400	400	400	400	400	400	MPa.
- Yield strength of stirrup	f _v	240	240	240	240	240	240	MPa.
- Elastic modulus of reinforcing bar	E _s	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	MPa.
2. FORCE FROM ANALYSIS (BY STAAD PRO PROGRAM)								
- Factored moment	Mu	269,029	281,894	223,033	247,051	57,202	92,368	N.-m.
- Factored shear	Vu	245,667	147,400	311,367	186,820	134,497	80,698	N.
- Factored torsion	Tu	1,318	1,318	6,248	6,248	689	689	N.-m.
3. SECTION PROPERTIES								
- Beam width	b	25	25	25	25	20	20	cm.
- Beam height	h	60	60	60	60	50	50	cm.
- Max.covering (conc.surface to edge of stirrup)	cov.	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	cm.
- Beam main reinforcement								
Comp. Layer 1	Re-bar qty.	2	2	2	2	2	2	ea.
	Re-bar dia.	25	25	25	25	20	20	mm.
	Re-bar dist. from top	4.65	4.65	4.65	4.65	4.40	4.40	cm.
Tens. Layer 1	Re-bar qty.	2	2	2	2	3	3	ea.
	Re-bar dia.	25	25	25	25	20	20	mm.
Tens. Layer 2	Re-bar qty.	2	2	2	2	0	0	ea.
	Re-bar dia.	25	25	25	25	0	0	mm.
	Re-bar dist. from top	50.85	50.85	50.85	50.85	44.10	44.10	
- Beam stirrup								
Stirrup dia.	o	9	9	9	9	9	9	mm.
Quantity of stirrup	N	1	1	1	1	1	1	circle
Stirrup spacing	s	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	cm.
	d/2	25.43	25.43	25.43	25.43	22.05	22.05	cm.
	60	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	cm.
	(A _v *f _y)/(3.5*b)	34.90	34.90	34.90	34.90	43.62	43.62	cm.
Require stirrup spacing	Sreq	25.43	25.43	25.43	25.43	22.05	22.05	cm.
- Check spacing s < Sreq		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
4. CHECK BENDING MOMENT RESISTANT								
- Reduction factor	β	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
- Reduction factor for flexure loads	Φ	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
- Reinforcement ratio (balance strain)	ρ _b	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	
- Reinforcement ratio (minimum)	ρ _{min}	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	
	(ρ-ρ') _{max}	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	
	(ρ-ρ') _{min}	0.0114	0.0114	0.0114	0.0114	0.0125	0.0125	
- Comp. reinforcement ratio (balance strain)	ρ'	0.0076	0.0077	0.0072	0.0073	0.0070	0.0071	
- Tens. reinforcement ratio (balance strain)	ρ	0.0154	0.0154	0.0150	0.0151	0.0106	0.0106	
	(ρ-ρ')	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0036	0.0036	
- Check all comp. re-bar are yield	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	
- Check all tens. re-bar are yield	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	
	R	-2.16	-2.15	-2.28	-2.25	0.08	0.10	
	Q	63.67	63.90	60.42	61.22	48.18	48.44	
	c	10.42	10.43	10.38	10.39	6.86	6.87	cm.
	a	8.86	8.86	8.82	8.83	5.83	5.84	cm.
Comp.re-bar layer 1 stress	fs'	332.38	332.46	331.23	331.51	215.02	215.49	MPa.
	ΦMn1	185,102	185,152	184,382	184,561	86,427	86,527	N.-m.
	ΦMn2	134,052	134,568	126,749	128,542	47,673	48,034	N.-m.
- Nominal moment	ΦMn	319,154	319,720	311,131	313,103	134,100	134,561	N.-m.
- Check Mu < ΦMn		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
5. CHECK SHEAR AND TORSION FORCE RESISTANT								
- Reduction factor for shear and torsion	Φ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
- Distance inside stirrup along X-Axis	x1	15.20	15.20	15.20	15.20	10.20	10.20	cm.
- Distance inside stirrup along Y-Axis	y1	50.20	50.20	50.20	50.20	40.20	40.20	cm.
- Coefficient of concrete inside stirrup	at	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
	Ct	0.034	0.034	0.034	0.034	0.044	0.044	
- Maximum factored torsion	max Tu	2,717	4,521	10,027	16,309	1,798	2,988	N.-m.
- Check Tu < max Tu		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
- Torsion force resistant of concrete	Tc	543	904	2,005	3,262	360	598	N.-m.
- Shear force resistant of concrete	Vc	102,238	102,051	100,895	98,465	70,894	70,694	N.
- Check Vu-ΦVc ≤ 2.1*Φ*f _c *b*d		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	Av/s	0.113	0.047	0.158	0.076	0.063	0.021	
	At/s	0.003	0.002	0.014	0.011	0.002	0.001	
- Required re-bar area	A(v+t) / s	0.059	0.026	0.093	0.049	0.034	0.012	sq.cm.
- Additional area for main re-bar	ΔI	0.35	0.25	1.84	1.48	0.23	0.13	sq.cm.
- Additional layer at mid-section		1	1	1	1	1	1	
- Re-bar per additional layer		0.12	0.08	0.61	0.49	0.08	0.04	sq.cm.

รูปที่ ข.11 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดคาน คสล. B4, B5, B6 กรณีที่ 4 คัดแรงแผ่นดินไหวที่

$$Z=0.38, S=1.5$$

PROJECT : อาคาร คสล.4 ชั้น (พิจารณาแรงแผ่นดินไหวกรณีศึกษาที่ 4)									
SUBJECT : Beam B7, B8, B9									
CALCULATION SHEET OF BEAM									
ULTIMATE STRENGTH DESIGN METHOD Refer to ACI 318-05									
DESCRIPTION	BEAM NO.	RB7Mid	RB7End	RB8Mid	RB8End	RB9Mid	RB9End	UNIT	
1. MATERIAL PROPERTIES									
- Compressive strength of concrete	f _c	28	28	28	28	28	28	MPa.	
- Unit weight of concrete	w _c	25	25	25	25	25	25	kN./m ³	
- Elastic modulus of concrete	E _c	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	24,116	MPa.	
- Max. strain of concrete	ε _c	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003		
- Yield strength of reinforcing bar	f _y	400	400	400	400	400	400	MPa.	
- Yield strength of stirrup	f _v	240	240	240	240	240	240	MPa.	
- Elastic modulus of reinforcing bar	E _s	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	204,000	MPa.	
2. FORCE FROM ANALYSIS (BY STAAD PRO PROGRAM)									
- Factored moment	Mu	100,355	96,997	121,423	44,952	380,897	280,048	N.-m.	
- Factored shear	Vu	69,352	41,611	60,239	36,143	222,334	133,401	N.	
- Factored torsion	Tu	8,471	8,471	2,136	2,136	677	677	N.-m.	
3. SECTION PROPERTIES									
- Beam width	b	20	20	25	25	30	30	cm.	
- Beam height	h	50	50	60	60	70	70	cm.	
- Max.covering (conc.surface to edge of stirrup)	cov.	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	cm.	
- Beam main reinforcement									
Comp. Layer 1	Re-bar qty.	N	2	2	2	2	2	ea.	
	Re-bar dia.	ø	20	20	20	25	25	mm.	
	Re-bar dist. from top	d'	4.40	4.40	4.40	4.40	4.65	4.65	cm.
Tens. Layer 1	Re-bar qty.	N	2	2	3	3	2	ea.	
	Re-bar dia.	ø	20	20	20	25	25	mm.	
Tens. Layer 2	Re-bar qty.	N	1	1	0	0	2	ea.	
	Re-bar dia.	ø	20	20	0	0	25	mm.	
	Re-bar dist. from top	d	42.10	42.10	54.10	54.10	60.85	60.85	
- Beam stirrup									
Stirrup dia.	ø	9	9	9	9	9	9	mm.	
Quantity of stirrup	N	1	1	1	1	1	1	circle	
Stirrup spacing	s	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	cm.	
	d/2	21.05	21.05	27.05	27.05	30.43	30.43	cm.	
	60	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	cm.	
	(Av*fy)/(3.5*b)	43.62	43.62	34.90	34.90	29.08	29.08	cm.	
Require stirrup spacing	Sreq	21.05	21.05	27.05	27.05	29.08	29.08	cm.	
- Check spacing s < Sreq		OK	OK	OK	OK	OK	OK		
4. CHECK BENDING MOMENT RESISTANT									
- Reduction factor	β	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85		
- Reduction factor for flexure loads	φ	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		
- Reinforcement ratio (balance strain)	ρ _b	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262	0.0262		
- Reinforcement ratio (minimum)	ρ _{min}	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035		
	(ρ-ρ') _{max}	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197		
	(ρ-ρ') _{min}	0.0131	0.0131	0.0102	0.0102	0.0096	0.0096		
- Comp. reinforcement ratio (balance strain)	ρ'	0.0064	0.0064	0.0042	0.0039	0.0054	0.0054		
- Tens. reinforcement ratio (balance strain)	ρ	0.0102	0.0101	0.0065	0.0062	0.0107	0.0108		
	(ρ-ρ')	0.0037	0.0037	0.0023	0.0023	0.0054	0.0054		
- Check all comp. re-bar are yield	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy	fs' < fy		
- Check all tens. re-bar are yield	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy	fs = fy		
	R	-0.16	-0.17	-0.06	-0.16	-1.78	-1.78		
	Q	42.02	41.60	35.42	32.75	53.57	53.66		
	c	6.64	6.63	6.01	5.89	9.31	9.31	cm.	
	a	5.65	5.63	5.11	5.00	7.91	7.92	cm.	
Comp.re-bar layer 1 stress	fs'	202.54	201.62	160.52	151.43	300.40	300.46	MPa.	
	φMn1	79,835	79,664	118,449	116,166	243,181	243,225	N.-m.	
	φMn2	37,187	36,652	40,943	35,710	148,776	149,057	N.-m.	
- Nominal moment	φMn	117,023	116,316	159,392	151,876	391,956	392,283	N.-m.	
- Check Mu < φMn		OK	OK	OK	OK	OK	OK		
5. CHECK SHEAR AND TORSION FORCE RESISTANT									
- Reduction factor for shear and torsion	φ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75		
- Distance inside stirrup along X-Axis	x1	10.20	10.20	15.20	15.20	20.20	20.20	cm.	
- Distance inside stirrup along Y-Axis	y1	40.20	40.20	50.20	50.20	60.20	60.20	cm.	
- Coefficient of concrete inside stirrup	at	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50		
	Ct	0.042	0.042	0.036	0.036	0.029	0.029		
- Maximum factored torsion	max Tu	25,179	28,906	18,215	28,128	2,216	3,692	N.-m.	
- Check Tu < max Tu		OK	OK	OK	OK	OK	OK		
- Torsion force resistant of concrete	Tc	5,036	5,781	3,643	5,626	443	738	N.-m.	
- Shear force resistant of concrete	Vc	41,619	28,667	103,712	96,092	146,928	146,865	N.	
- Check Vu-φVc ≤ 2.1*φ*fc*b*d		OK	OK	OK	OK	OK	OK		
	Av/s	0.031	0.016	-0.011	-0.023	0.063	0.013		
	At/s	0.026	0.023	-0.002	-0.006	0.001	0.000		
- Required re-bar area	A(v+t) / s	0.041	0.031	0.011	0.011	0.032	0.013	sq.cm.	
- Additional area for main re-bar	At	2.62	2.78	1.74	3.03	0.10	0.04	sq.cm.	
- Additional layer at mid-section		1	1	1	1	2	2		
- Re-bar per additional layer		0.87	0.93	0.58	1.01	0.03	0.01	sq.cm.	

รูปที่ ข.12 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดคาน คสล. B7, B8, B9 กรณีที่ 4 คัดแรงแผ่นดินไหวที่

$$Z=0.38, S=1.5$$

05/25/15 PCACOL V3.00 - PORTLAND CEMENT ASSOCIATION -
01:31:30 Licensed to: Licensee name not yet specified.

Page 2
C1_1

General Information:

```

=====
File Name: D:\PROGRAM\PCACOL-1\C1_1.COL
Project: Case-1
Column: C1
Code: ACI 318-95
Engineer: TC
Units: Metric

Run Option: Investigation
Run Axis: Biaxial
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural
  
```

Material Properties:

```

=====
f'c = 24 MPa
Ec = 23025.2 MPa
fc = 20.4 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85

fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa
Rupture strain = Infinity
  
```

Section:

```

=====
Rectangular: Width = 250 mm
Depth = 300 mm

Gross section area, Ag = 75000 mm^2
Ix = 5.625e+008 mm^4
Iy = 3.90625e+008 mm^4
Xo = 0 mm
Yo = 0 mm
  
```

Reinforcement:

```

=====
Rebar Database: prEN 10080
Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 6 6 28
# 12 12 113
# 20 20 314
# 32 32 801
Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 8 8 50
# 14 14 154
# 25 25 491
# 40 40 1256
Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 10 10 79
# 16 16 201
# 28 28 616
  
```

Confinement: Tied; #6 ties with #25 bars, #6 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.7

Layout: Rectangular
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 1608 mm^2 at 2.14%
8 #16 Cover = 40 mm

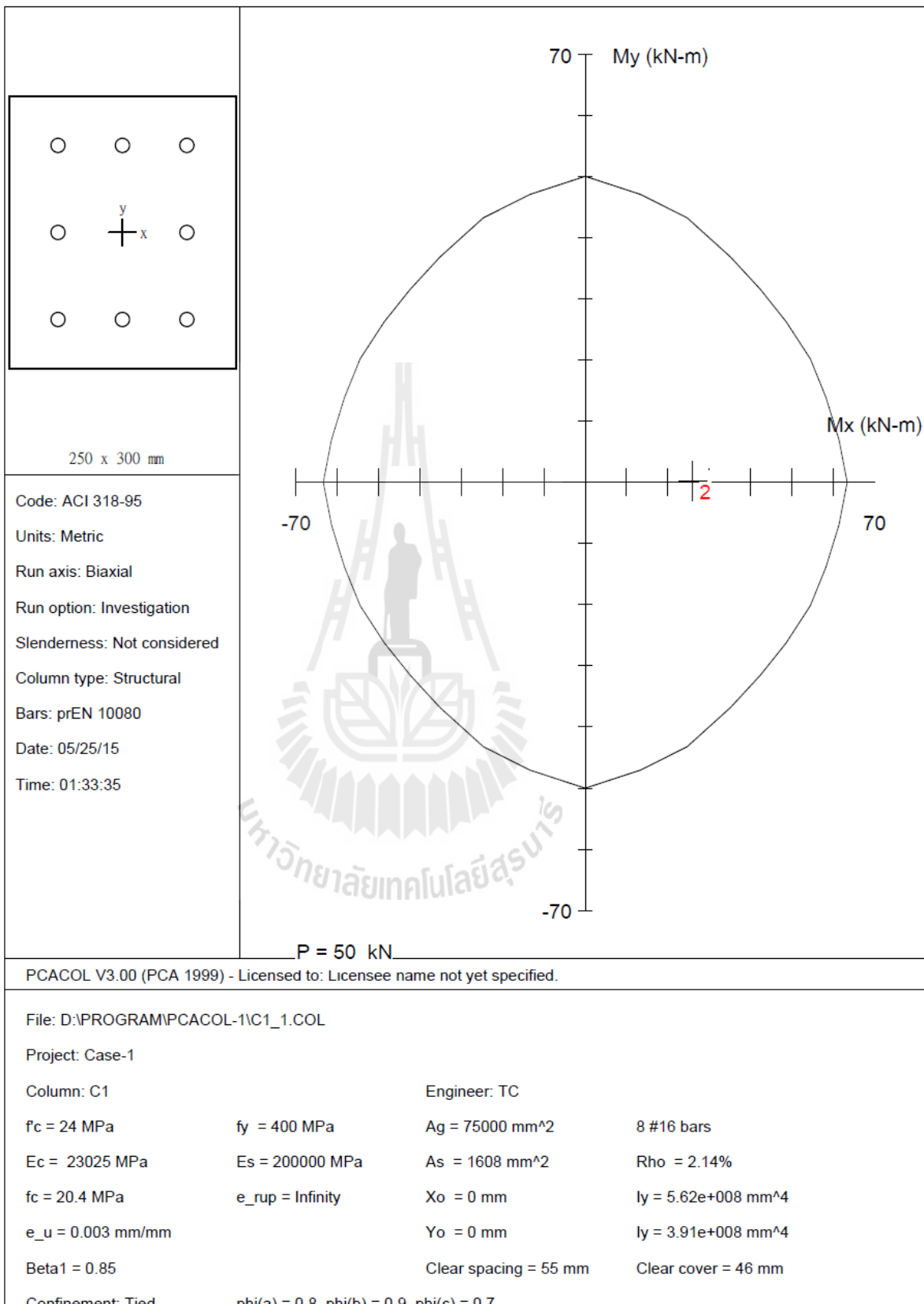
Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

```

=====
No. Pu Mux Muy fMnx fMny fMn/Mu
kN kN-m kN-m kN-m kN-m kN-m
-----
1 491.0 0.0 0.0 68.6 -0.0 999.999
2 50.0 26.0 0.2 63.4 0.6 2.439
3 23.0 2.9 6.1 21.1 44.5 7.298
  
```

*** Program completed as requested! ***

รูปที่ ข.13 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดเสา คสล. C1 กรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว



รูปที่ ข.13 (ต่อ)

05/25/15 PCACOL V3.00 - PORTLAND CEMENT ASSOCIATION -
01:34:21 Licensed to: Licensee name not yet specified.

Page 2
C2_1

General Information:

```

=====
File Name: D:\PROGRAM\PCACOL-1\C2_1.COL
Project: Case-1
Column: C2
Code: ACI 318-95
Engineer: TC
Units: Metric

Run Option: Investigation
Run Axis: Biaxial
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural
  
```

Material Properties:

```

=====
f'c = 24 MPa
Ec = 23025.2 MPa
fc = 20.4 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85
fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa
Rupture strain = Infinity
  
```

Section:

```

=====
Rectangular: Width = 250 mm
Depth = 300 mm

Gross section area, Ag = 75000 mm^2
Ix = 5.625e+008 mm^4
Iy = 3.90625e+008 mm^4
Xo = 0 mm
Yo = 0 mm
  
```

Reinforcement:

```

=====
Rebar Database: prEN 10080
Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 6 6 28 # 8 8 50 # 10 10 79
# 12 12 113 # 14 14 154 # 16 16 201
# 20 20 314 # 25 25 491 # 28 28 616
# 32 32 801 # 40 40 1256
  
```

Confinement: Tied; #6 ties with #25 bars, #6 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.7

Layout: Rectangular
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 3140 mm^2 at 4.19%
10 #20 Cover = 40 mm

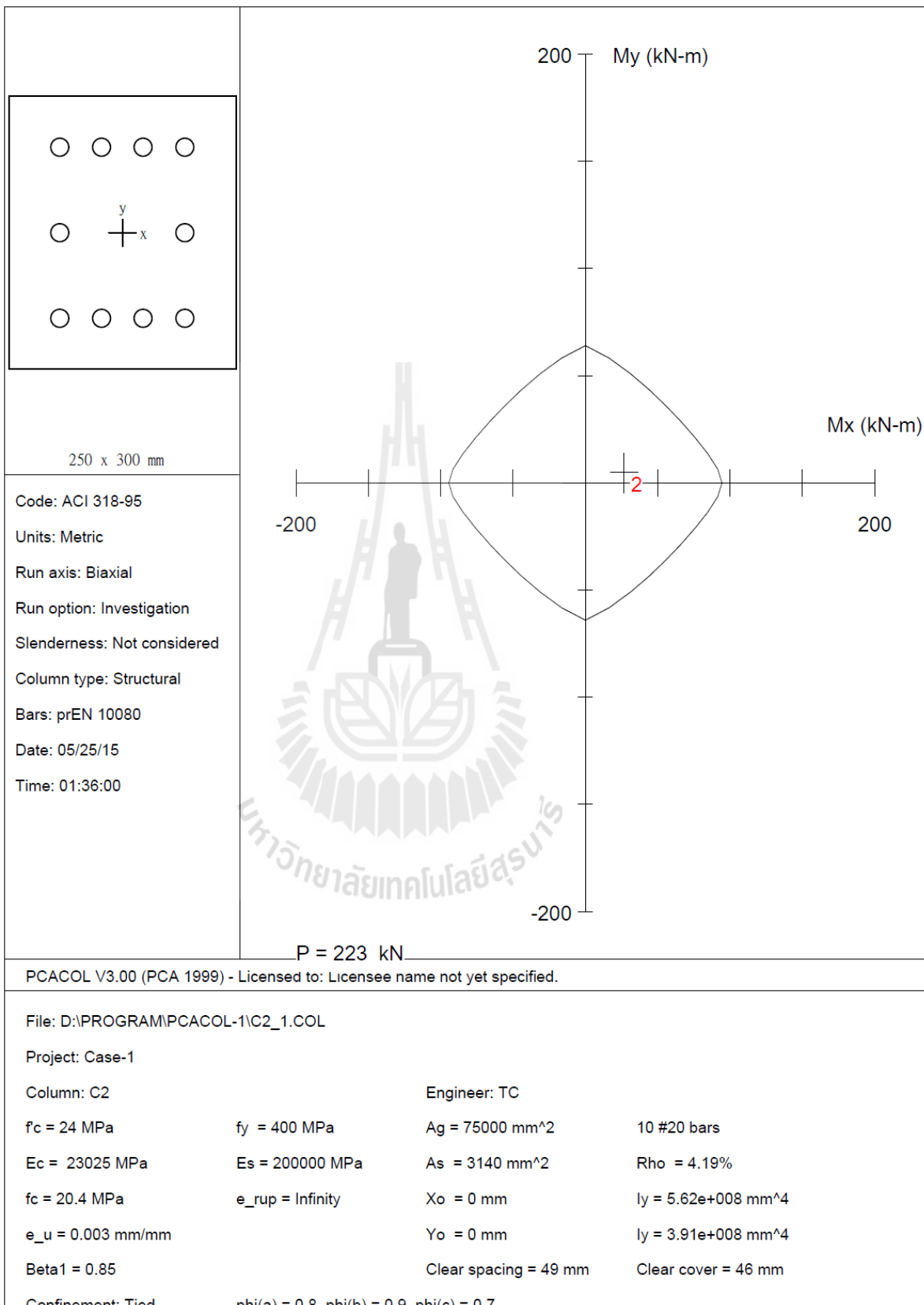
Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

```

=====
No. Pu Mux Muy fMnx fMny fMn/Mu
-----
1 698.0 10.0 1.5 79.4 11.8 7.934
2 223.0 26.7 4.8 83.2 15.1 3.115
3 92.0 8.9 12.6 39.5 55.7 4.424
  
```

*** Program completed as requested! ***

รูปที่ ข.14 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดเสา คสล. C2 กรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว



รูปที่ ข.14 (ต่อ)

05/25/15 PCACOL V3.00 - PORTLAND CEMENT ASSOCIATION -
01:36:35 Licensed to: Licensee name not yet specified.

Page 2
C3_1

General Information:

```
=====
File Name: D:\PROGRAM\PCACOL-1\C3_1.COL
Project: Case-1
Column: C3
Code: ACI 318-95
Engineer: TC
Units: Metric

Run Option: Investigation
Run Axis: Biaxial
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural
```

Material Properties:

```
=====
f'c = 24 MPa
Ec = 23025.2 MPa
fc = 20.4 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85
fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa
Rupture strain = Infinity
```

Section:

```
=====
Rectangular: Width = 300 mm
Depth = 400 mm

Gross section area, Ag = 120000 mm^2
Ix = 1.6e+009 mm^4
Iy = 9e+008 mm^4
Xo = 0 mm
Yo = 0 mm
```

Reinforcement:

```
=====
Rebar Database: prEN 10080
Size Diam (mm) Area (mm^2) Size Diam (mm) Area (mm^2) Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 6 6 28 # 8 8 50 # 10 10 79
# 12 12 113 # 14 14 154 # 16 16 201
# 20 20 314 # 25 25 491 # 28 28 616
# 32 32 801 # 40 40 1256
```

Confinement: Tied; #6 ties with #25 bars, #6 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.7

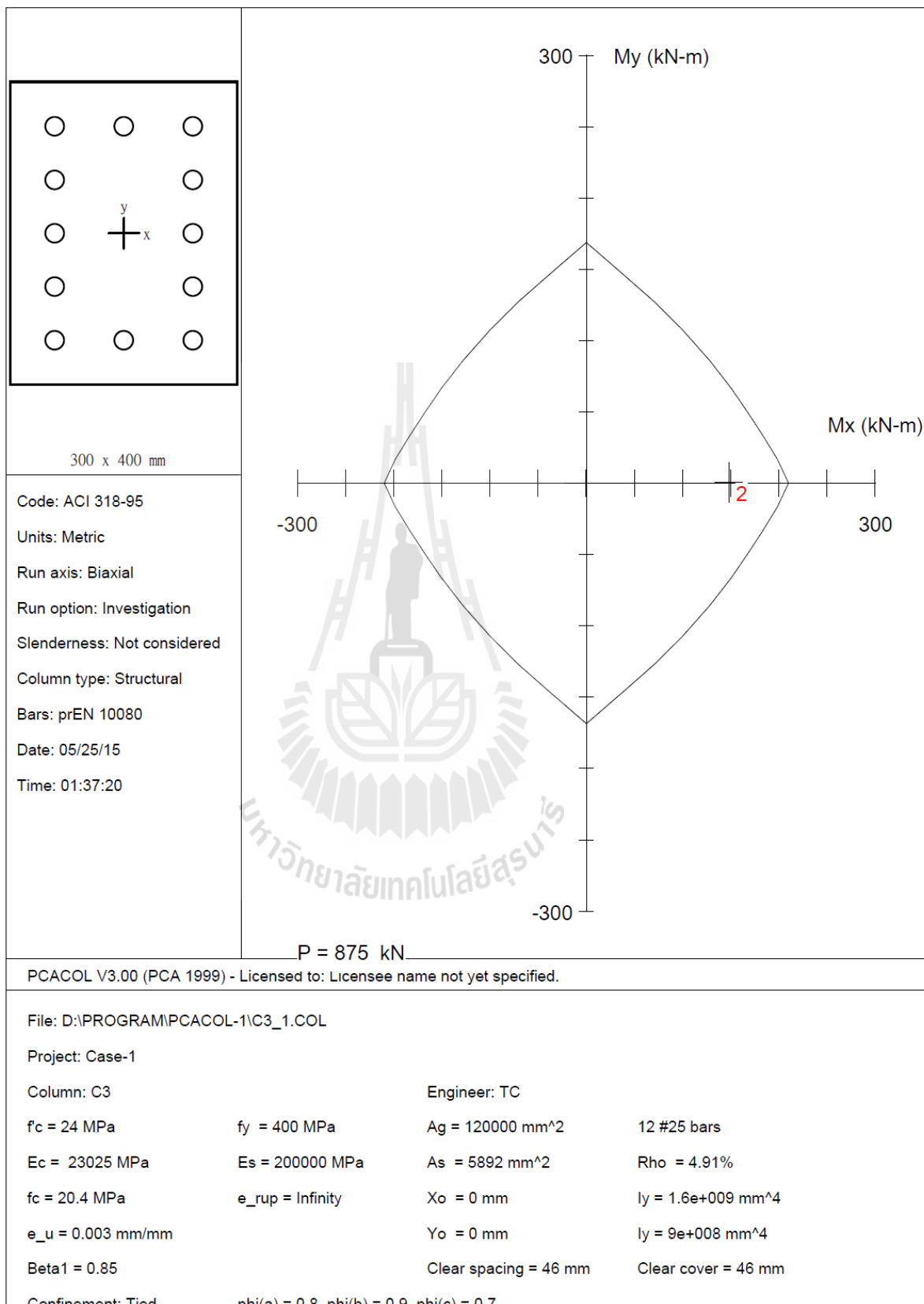
Layout: Rectangular
Pattern: Equal Bar Spacing (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As' = 5892 mm^2 at 4.91%
12 #25 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

```
=====
No. Pu Mux Muy fMnx fMny fMn/Mu
kN kN-m kN-m kN-m kN-m
-----
1 1638.2 0.0 0.0 168.8 0.0 999.999
2 875.0 148.0 0.4 209.7 0.3 1.417
3 1296.0 7.5 26.5 38.1 133.7 5.047
```

*** Program completed as requested! ***

รูปที่ ข.15 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดเสา คสล. C3 กรณีที่ 1 ไม่คิดแรงแผ่นดินไหว



รูปที่ ข.15 (ต่อ)

05/25/15 PCACOL V3.00 - PORTLAND CEMENT ASSOCIATION -
01:38:40 Licensed to: Licensee name not yet specified.

Page 2
C1_2

General Information:

```

=====
File Name: D:\PROGRAM\PCACOL-1\C1_2.COL
Project: Case-2
Column: C1
Code: ACI 318-95
Engineer: TC
Units: Metric

Run Option: Investigation
Run Axis: Biaxial
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural
  
```

Material Properties:

```

=====
f'c = 24 MPa
Ec = 23025.2 MPa
fc = 20.4 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85

fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa
Rupture strain = Infinity
  
```

Section:

```

=====
Rectangular: Width = 300 mm
Depth = 300 mm

Gross section area, Ag = 90000 mm^2
Ix = 6.75e+008 mm^4
Iy = 6.75e+008 mm^4
Xo = 0 mm
Yo = 0 mm
  
```

Reinforcement:

```

=====
Rebar Database: prEN 10080
Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 6 6 28 # 8 8 50 # 10 10 79
# 12 12 113 # 14 14 154 # 16 16 201
# 20 20 314 # 25 25 491 # 28 28 616
# 32 32 801 # 40 40 1256
  
```

Confinement: Tied; #6 ties with #25 bars, #6 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.7

Layout: Rectangular
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 1608 mm^2 at 1.79%
8 #16 Cover = 40 mm

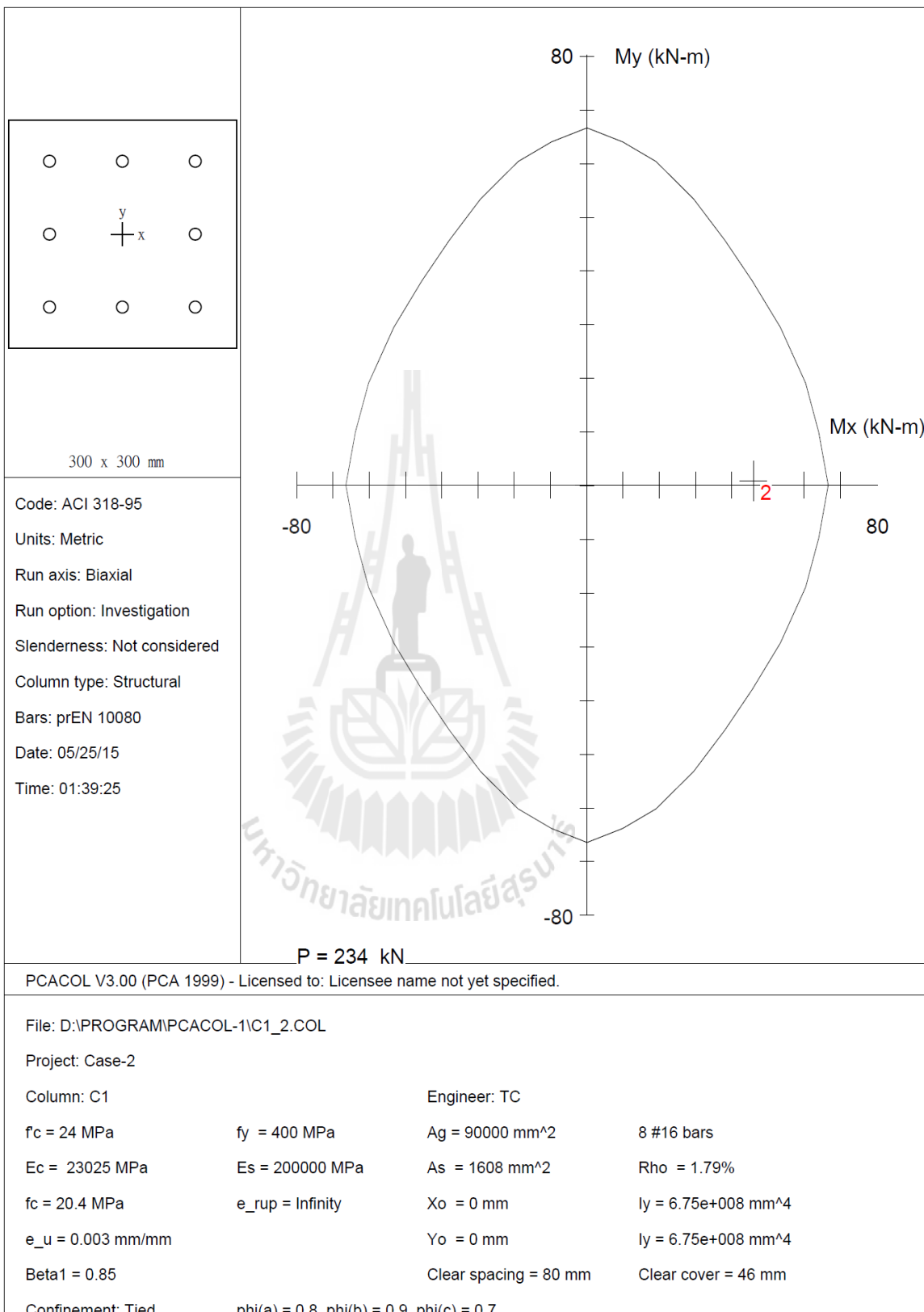
Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

```

=====
No. Pu Mux Muy fMnx fMny fMn/Mu
kN kN-m kN-m kN-m kN-m
-----
1 541.0 0.0 0.0 77.3 0.0 999.999
2 234.0 45.8 0.8 66.2 1.1 1.445
3 130.0 4.3 64.6 4.4 66.9 1.035
  
```

*** Program completed as requested! ***

รูปที่ ข.16 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดเสา คสล. C1 กรณีที่ 2 กัดแรงแผ่นดินไหว
ที่ $Z=0.19, S=2.5$



รูปที่ ข.16 (ต่อ)

05/25/15 PCACOL V3.00 - PORTLAND CEMENT ASSOCIATION -
01:39:37 Licensed to: Licensee name not yet specified.

Page 2
C2_2

General Information:

```

=====
File Name: D:\PROGRAM\PCACOL-1\C2_2.COL
Project: Case-1
Column: C2
Code: ACI 318-95
Engineer: TC
Units: Metric

Run Option: Investigation
Run Axis: Biaxial
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural
  
```

Material Properties:

```

=====
f'c = 24 MPa
Ec = 23025.2 MPa
fc = 20.4 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85

fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa
Rupture strain = Infinity
  
```

Section:

```

=====
Rectangular: Width = 300 mm
Depth = 400 mm

Gross section area, Ag = 120000 mm^2
Ix = 1.6e+009 mm^4
Iy = 9e+008 mm^4
Xo = 0 mm
Yo = 0 mm
  
```

Reinforcement:

```

=====
Rebar Database: prEN 10080
Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 6 6 28 # 8 8 50 # 10 10 79
# 12 12 113 # 14 14 154 # 16 16 201
# 20 20 314 # 25 25 491 # 28 28 616
# 32 32 801 # 40 40 1256
  
```

Confinement: Tied; #6 ties with #25 bars, #6 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.7

Layout: Rectangular
Pattern: Equal Bar Spacing (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 3768 mm^2 at 3.14%
12 #20 Cover = 40 mm

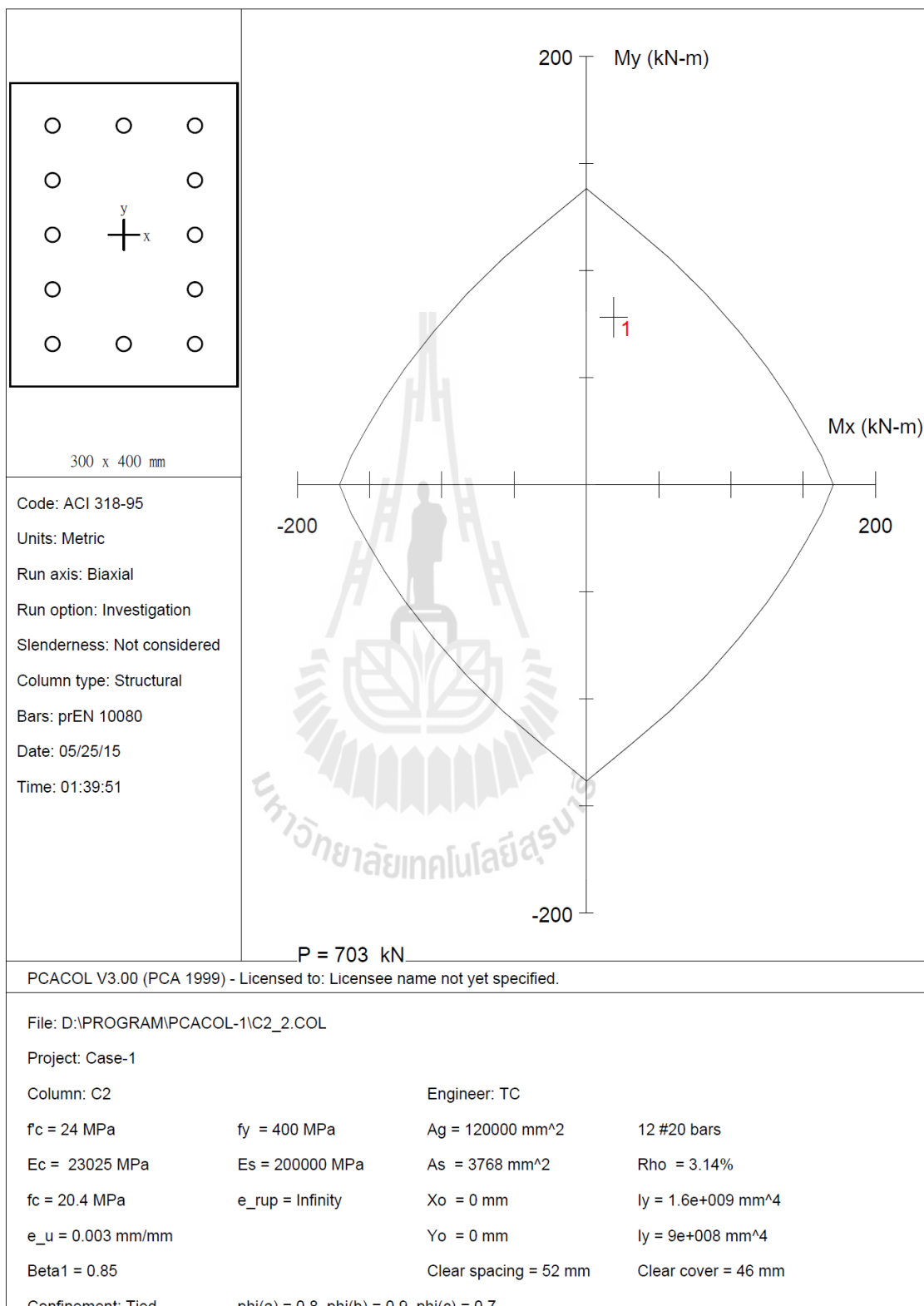
Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

```

=====
No. Pu Mux Muy fMnx fMny fMn/Mu
kN kN-m kN-m kN-m kN-m
-----
1 703.0 18.7 78.2 29.2 122.0 1.561
2 531.5 168.8 2.0 168.7 2.2 0.999
3 340.6 20.5 111.3 22.6 122.3 1.099
  
```

*** Program completed as requested! ***

รูปที่ ข.17 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดเสา คสล. C2 กรณีที่ 2 คัดแรงแผ่นดินไหว
ที่ Z = 0.19, S=2.5



รูปที่ ข.17 (ต่อ)

05/25/15 PCACOL V3.00 - PORTLAND CEMENT ASSOCIATION -
01:40:05 Licensed to: Licensee name not yet specified.

Page 2
C3_2

General Information:

```

=====
File Name: D:\PROGRAM\PCACOL-1\C3_2.COL
Project: Case-2
Column: C3
Code: ACI 318-95
Engineer: TC
Units: Metric

Run Option: Investigation
Run Axis: Biaxial
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural
  
```

Material Properties:

```

=====
f'c = 24 MPa
Ec = 23025.2 MPa
fc = 20.4 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85

fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa
Rupture strain = Infinity
  
```

Section:

```

=====
Rectangular: Width = 350 mm
Depth = 400 mm

Gross section area, Ag = 140000 mm^2
Ix = 1.86667e+009 mm^4
Iy = 1.42917e+009 mm^4
Xo = 0 mm
Yo = 0 mm
  
```

Reinforcement:

```

=====
Rebar Database: prEN 10080
Size Diam (mm) Area (mm^2)
# 6 6 28
# 12 12 113
# 20 20 314
# 32 32 801
# 8 8 50
# 14 14 154
# 25 25 491
# 40 40 1256
# 10 10 79
# 16 16 201
# 28 28 616
  
```

Confinement: Tied; #6 ties with #25 bars, #6 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.7

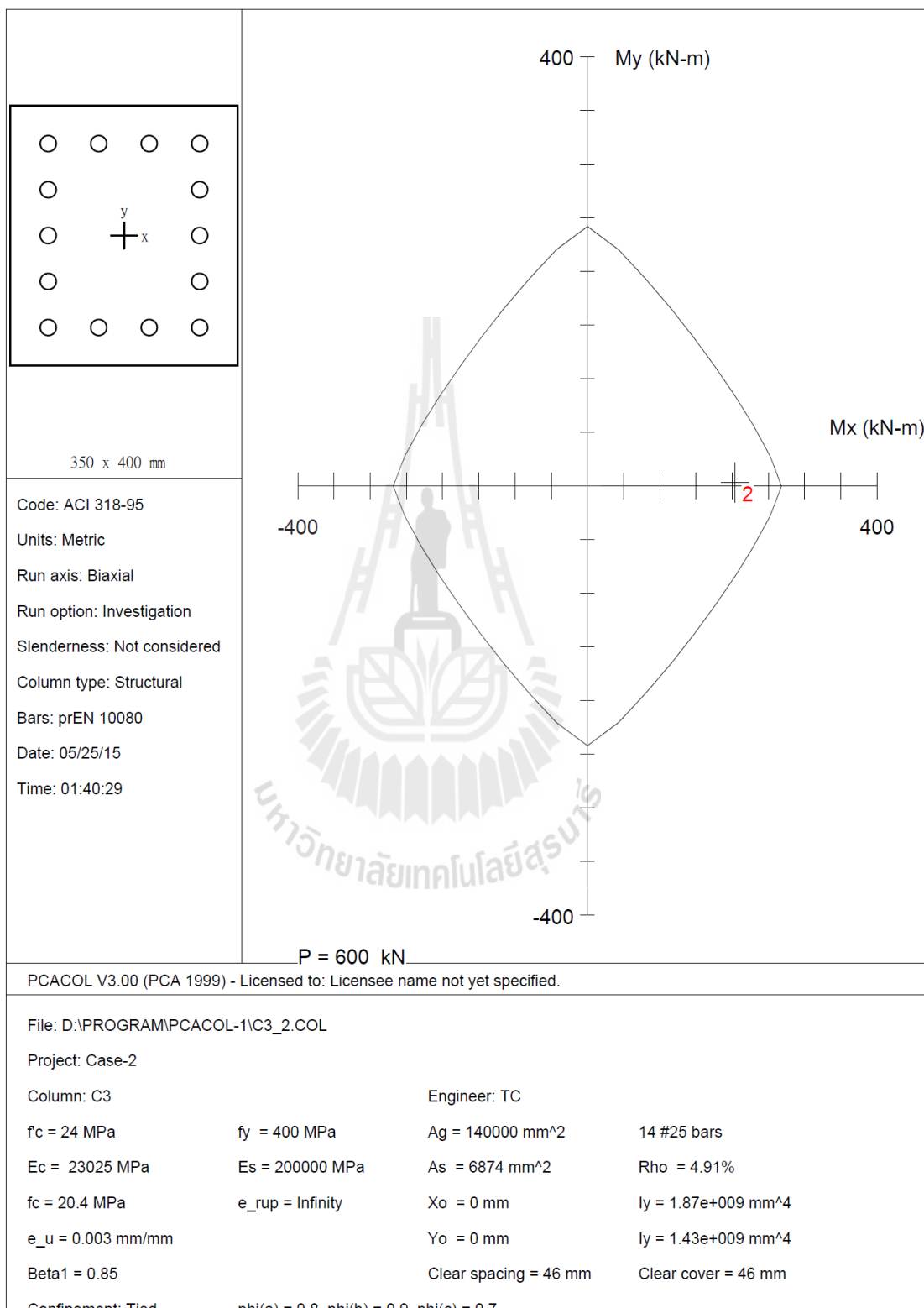
Layout: Rectangular
Pattern: Equal Bar Spacing (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 6874 mm^2 at 4.91%
14 #25 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	1638.2	0.0	0.0	223.4	0.0	999.999
2	600.0	204.0	3.3	266.5	4.3	1.306
3	925.0	5.0	213.0	5.5	238.6	1.120

*** Program completed as requested! ***

รูปที่ ข.18 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดเสา คสล. C3 กรณีที่ 2 คัดแรงแผ่นดินไหวที่
Z=0.19, S=2.5



รูปที่ ข.18 (ต่อ)

General Information:

```

=====
File Name: D:\PROGRAM\PCACOL-1\C1_3.COL
Project: Case-2
Column: C1
Code: ACI 318-95
Engineer: TC
Units: Metric

Run Option: Investigation
Run Axis: Biaxial
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural

```

Material Properties:

```

=====
f'c = 24 MPa
Ec = 23025.2 MPa
fc = 20.4 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85

fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa
Rupture strain = Infinity

```

Section:

```

=====
Rectangular: Width = 250 mm
Depth = 300 mm

Gross section area, Ag = 75000 mm^2
Ix = 5.625e+008 mm^4
Iy = 3.90625e+008 mm^4
Xo = 0 mm
Yo = 0 mm

```

Reinforcement:

```

=====
Rebar Database: prEN 10080
Size Diam (mm) Area (mm^2)
# 6 6 28
# 12 12 113
# 20 20 314
# 32 32 801
# 8 8 50
# 14 14 154
# 25 25 491
# 40 40 1256
# 10 10 79
# 16 16 201
# 28 28 616

```

Confinement: Tied; #6 ties with #25 bars, #6 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.7

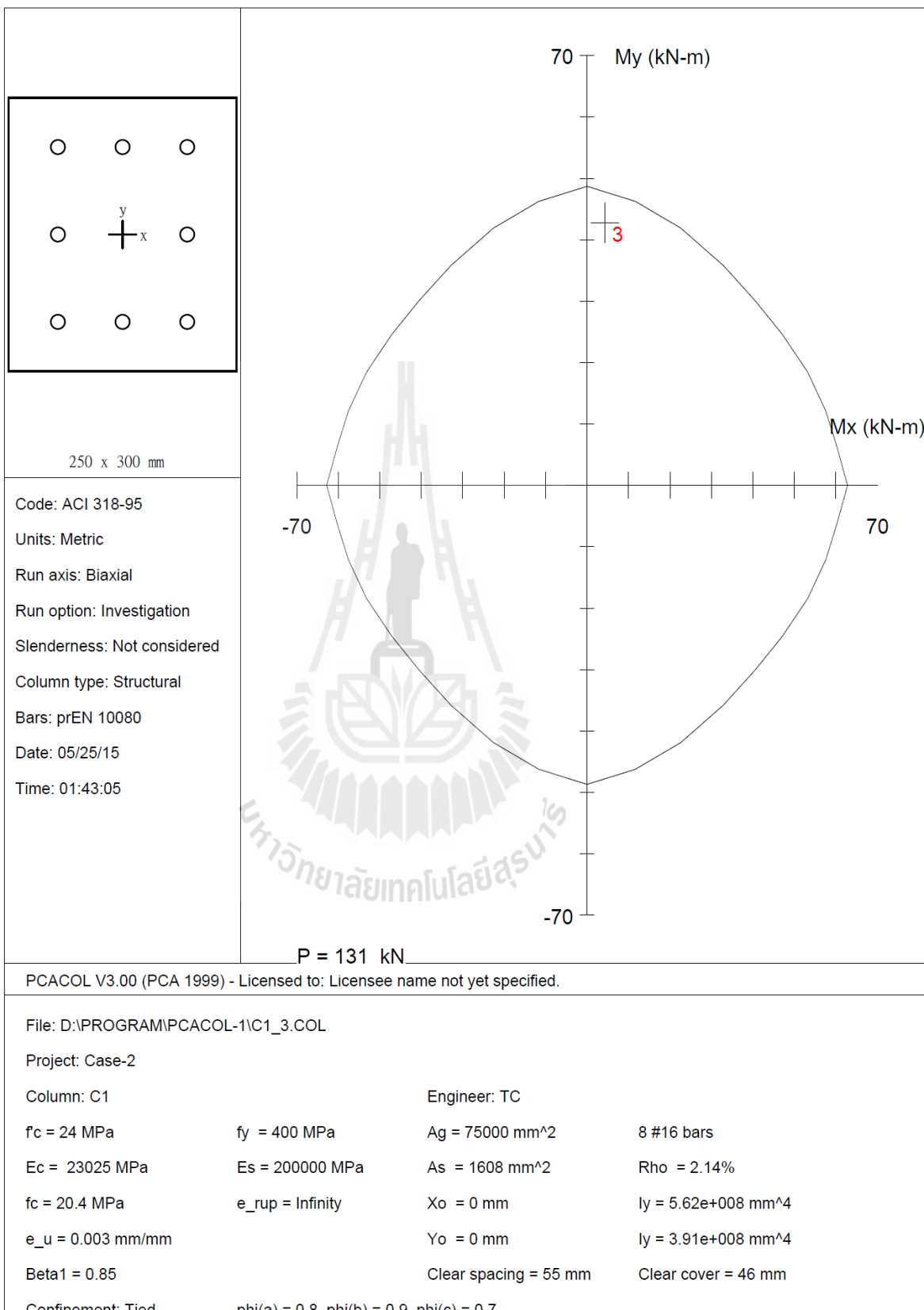
Layout: Rectangular
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 1608 mm^2 at 2.14%
8 #16 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	491.0	0.0	0.0	68.6	-0.0	999.999
2	73.0	31.5	0.7	63.6	1.5	2.021
3	131.0	4.3	42.7	4.8	47.8	1.119

*** Program completed as requested! ***

รูปที่ ข.19 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดเสา คสล. C1 กรณีที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหว
ที่ Z=0.19,S=1.5



รูปที่ ข.19 (ต่อ)

General Information:

```

=====
File Name: D:\PROGRAM\PCACOL-1\C2_3.COL
Project: Case-1
Column: C2
Code: ACI 318-95
Engineer: TC
Units: Metric

Run Option: Investigation
Run Axis: Biaxial
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural

```

Material Properties:

```

=====
f'c = 24 MPa
Ec = 23025.2 MPa
fc = 20.4 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85

fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa
Rupture strain = Infinity

```

Section:

```

=====
Rectangular: Width = 300 mm
Depth = 300 mm

Gross section area, Ag = 90000 mm^2
Ix = 6.75e+008 mm^4
Iy = 6.75e+008 mm^4
Xo = 0 mm
Yo = 0 mm

```

Reinforcement:

```

=====
Rebar Database: prEN 10080
Size Diam (mm) Area (mm^2) Size Diam (mm) Area (mm^2) Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 6 6 28 # 8 8 50 # 10 10 79
# 12 12 113 # 14 14 154 # 16 16 201
# 20 20 314 # 25 25 491 # 28 28 616
# 32 32 801 # 40 40 1256

```

Confinement: Tied; #6 ties with #25 bars, #6 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.7

Layout: Rectangular
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 3140 mm^2 at 3.49%
10 #20 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

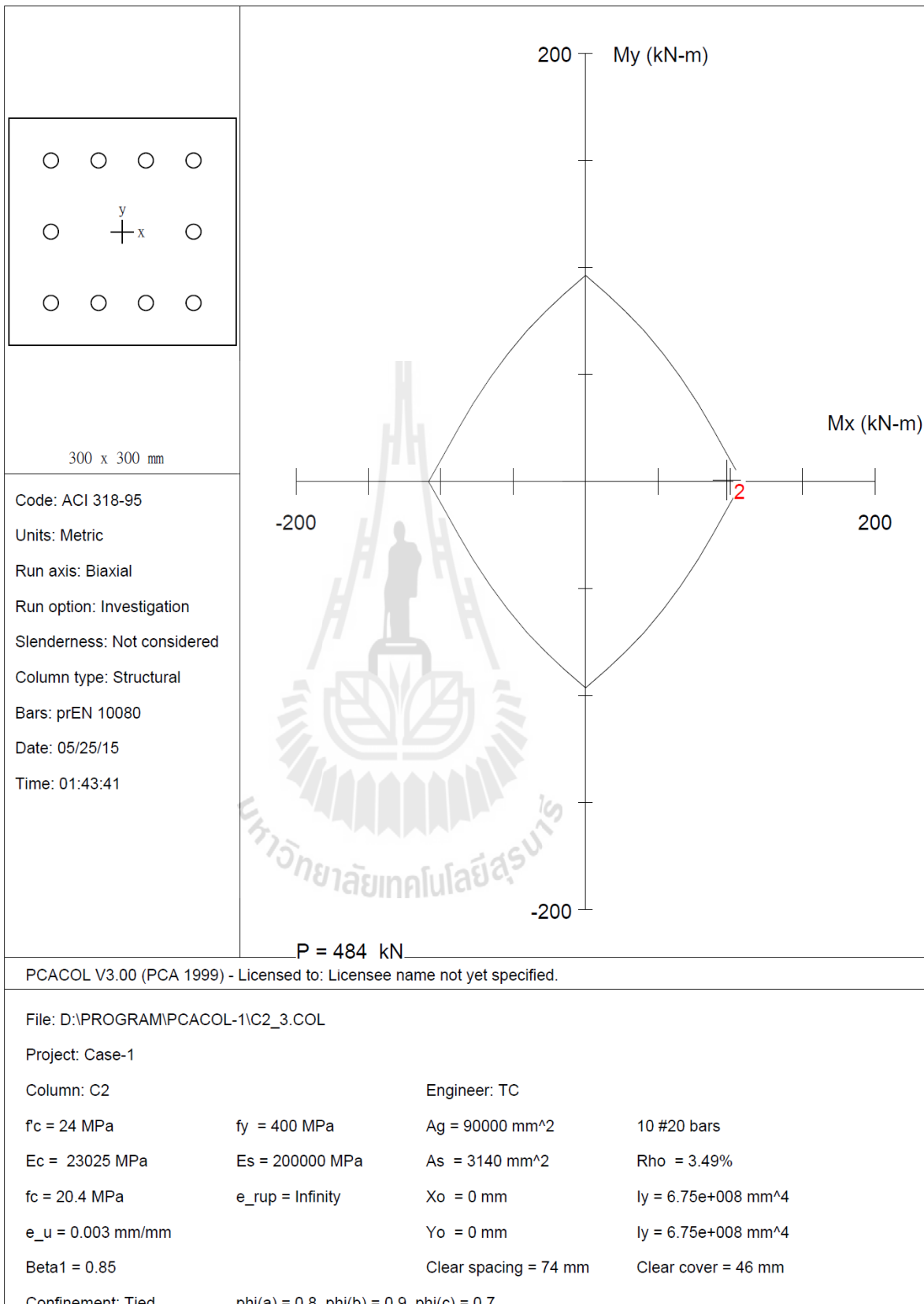
```

=====
No. Pu Mux Muy fMnx fMny fMn/Mu
kN kN-m kN-m kN-m kN-m
-----
1 697.5 10.0 1.5 92.5 13.8 9.251
2 484.0 97.7 0.7 108.3 0.6 1.108
3 339.0 17.7 73.1 20.4 84.1 1.150

```

*** Program completed as requested! ***

รูปที่ ข.20 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดเสา คสล. C2 กรณีที่ 3 กัดแรงแผ่นดินไหว
ที่ $Z=0.19, S=1.5$



รูปที่ ข.20 (ต่อ)

General Information:

```

=====
File Name: D:\PROGRAM\PCACOL-1\C3_3.COL
Project: Case-2
Column: C3
Code: ACI 318-95
Engineer: TC
Units: Metric

Run Option: Investigation
Run Axis: Biaxial
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural

```

Material Properties:

```

=====
f'c = 24 MPa
Ec = 23025.2 MPa
fc = 20.4 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85

fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa
Rupture strain = Infinity

```

Section:

```

=====
Rectangular: Width = 300 mm
Depth = 400 mm

Gross section area, Ag = 120000 mm^2
Ix = 1.6e+009 mm^4
Iy = 9e+008 mm^4
Xo = 0 mm
Yo = 0 mm

```

Reinforcement:

```

=====
Rebar Database: prEN 10080
Size Diam (mm) Area (mm^2)
# 6 6 28
# 12 12 113
# 20 20 314
# 32 32 801
# 8 8 50
# 14 14 154
# 25 25 491
# 40 40 1256
# 10 10 79
# 16 16 201
# 28 28 616

```

Confinement: Tied; #6 ties with #25 bars, #6 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.7

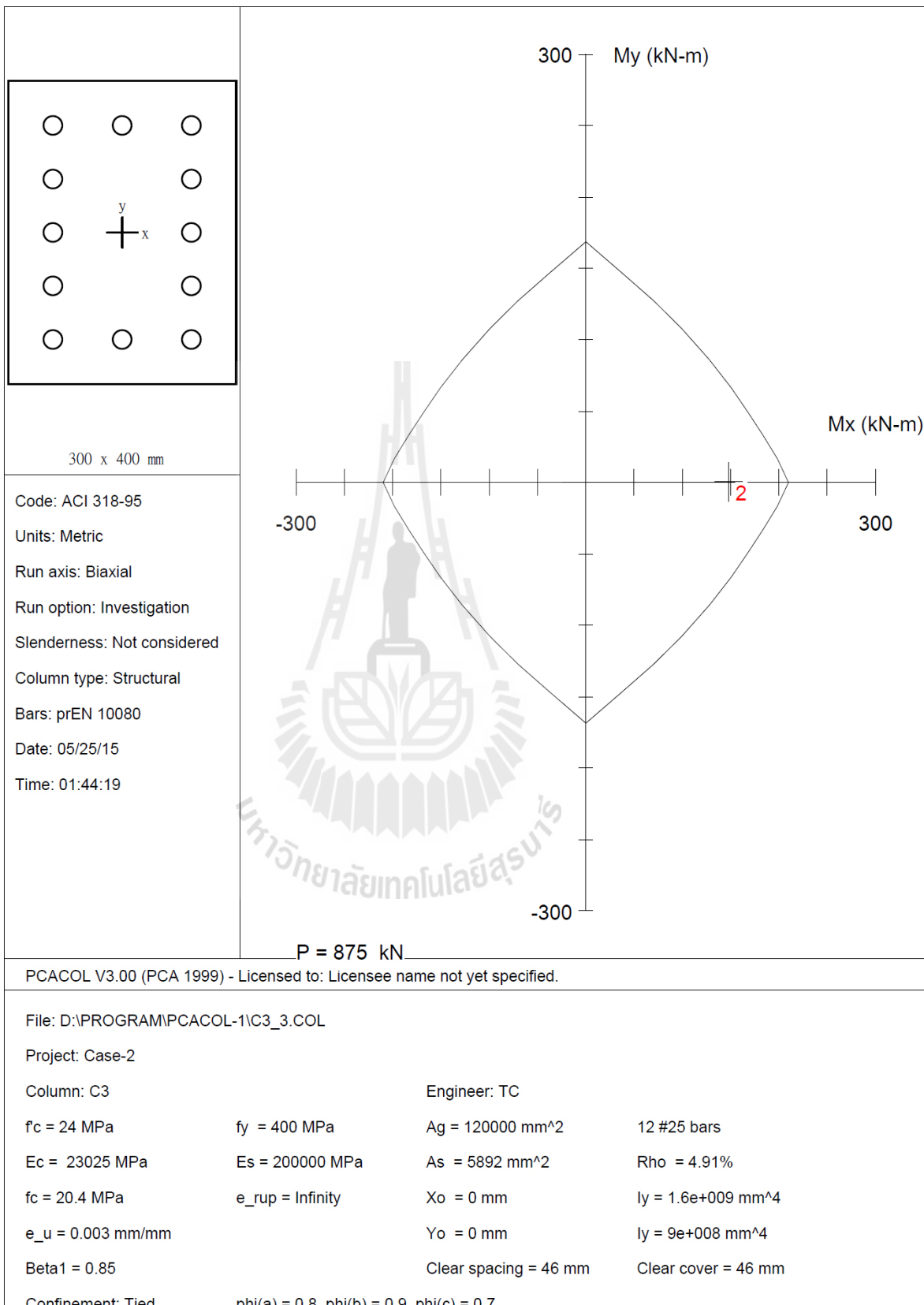
Layout: Rectangular
Pattern: Equal Bar Spacing (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 5892 mm^2 at 4.91%
12 #25 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	1638.2	0.0	0.0	168.8	0.0	999.999
2	875.0	147.8	0.4	209.7	0.3	1.419
3	835.0	2.2	140.0	2.7	168.3	1.202

*** Program completed as requested! ***

รูปที่ ข.21 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดเสา คสล. C3 กรณีที่ 3 คัดแรงแผ่นดินไหว
ที่ $Z=0.19, S=1.5$



รูปที่ ข.21 (ต่อ)

05/25/15 PCACOL V3.00 - PORTLAND CEMENT ASSOCIATION -
01:44:50 Licensed to: Licensee name not yet specified.

Page 2
C1_4

General Information:

```

=====
File Name: D:\PROGRAM\PCACOL-1\C1_4.COL
Project: Case-2
Column: C1
Code: ACI 318-95
Engineer: TC
Units: Metric

Run Option: Investigation
Run Axis: Biaxial
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural
  
```

Material Properties:

```

=====
f'c = 24 MPa
Ec = 23025.2 MPa
fc = 20.4 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85

fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa
Rupture strain = Infinity
  
```

Section:

```

=====
Rectangular: Width = 300 mm
Depth = 300 mm

Gross section area, Ag = 90000 mm^2
Ix = 6.75e+008 mm^4
Iy = 6.75e+008 mm^4
Xo = 0 mm
Yo = 0 mm
  
```

Reinforcement:

```

=====
Rebar Database: prEN 10080
Size Diam (mm) Area (mm^2) Size Diam (mm) Area (mm^2) Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 6 6 28 # 8 8 50 # 10 10 79
# 12 12 113 # 14 14 154 # 16 16 201
# 20 20 314 # 25 25 491 # 28 28 616
# 32 32 801 # 40 40 1256
  
```

Confinement: Tied; #6 ties with #25 bars, #6 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.7

Layout: Rectangular
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 2010 mm^2 at 2.23%
10 #16 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

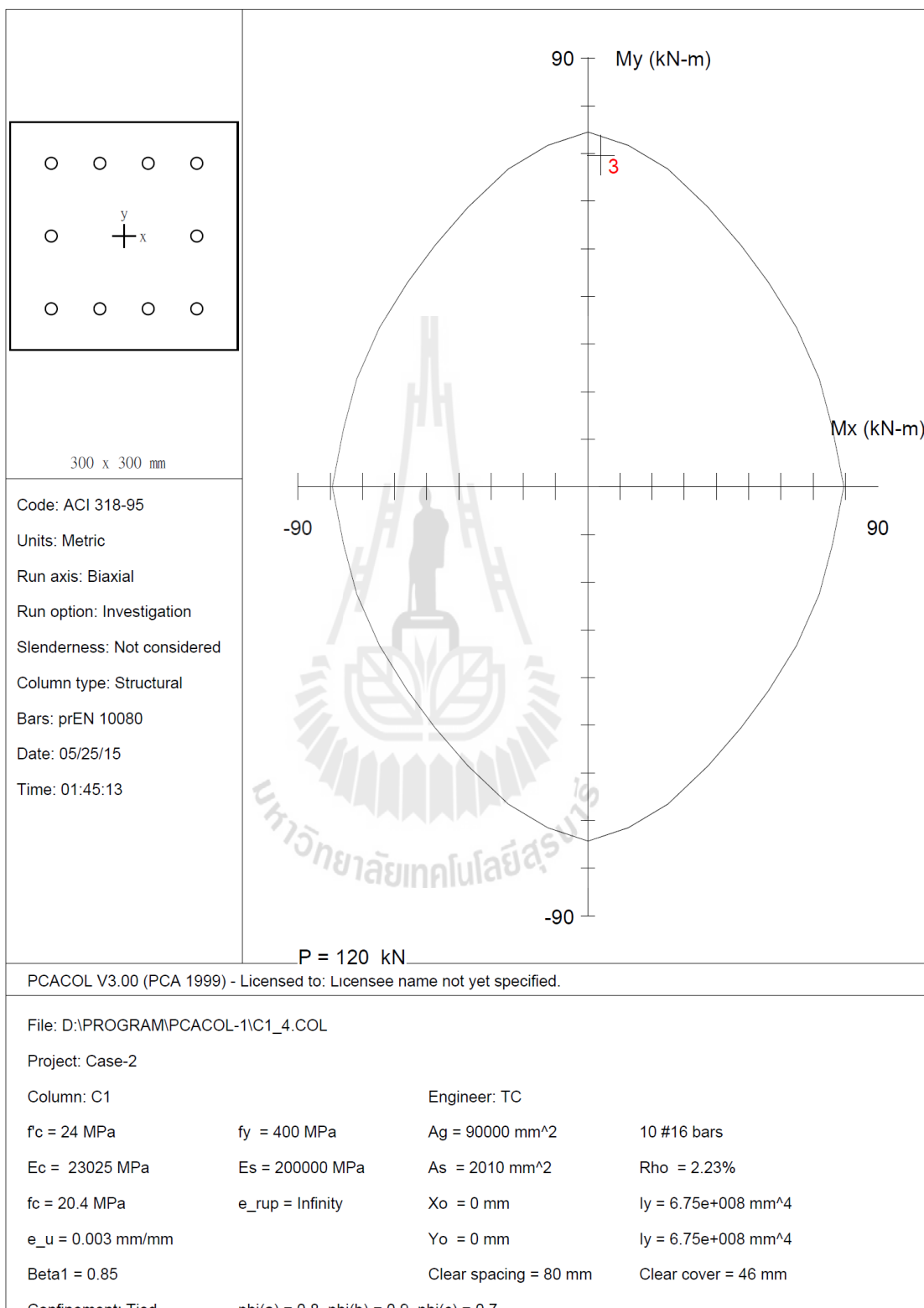
```

=====
No. Pu Mux Muy fMnx fMny fMn/Mu
kN kN-m kN-m kN-m kN-m
-----
1 588.3 0.0 0.0 86.2 0.0 999.999
2 256.0 52.0 0.7 77.2 1.0 1.485
3 120.5 4.0 69.5 4.1 73.8 1.062
  
```

*** Program completed as requested! ***

รูปที่ ข.22 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดเสา คสล. C1 กรณีที่ 4 กัดแรงแผ่นดินไหวที่

$$Z=0.38, S=1.5$$



รูปที่ ข.22 (ต่อ)

05/25/15 PCACOL V3.00 - PORTLAND CEMENT ASSOCIATION -
01:45:34 Licensed to: Licensee name not yet specified.

Page 2
C2_4

General Information:

```

=====
File Name: D:\PROGRAM\PCACOL-1\C2_4.COL
Project: Case-1
Column: C2
Code: ACI 318-95
Engineer: TC
Units: Metric

Run Option: Investigation
Run Axis: Biaxial
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural
  
```

Material Properties:

```

=====
f'c = 24 MPa
Ec = 23025.2 MPa
fc = 20.4 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85

fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa
Rupture strain = Infinity
  
```

Section:

```

=====
Rectangular: Width = 300 mm
Depth = 400 mm

Gross section area, Ag = 120000 mm^2
Ix = 1.6e+009 mm^4
Iy = 9e+008 mm^4
Xo = 0 mm
Yo = 0 mm
  
```

Reinforcement:

```

=====
Rebar Database: prEN 10080
Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 6 6 28 # 8 8 50 # 10 10 79
# 12 12 113 # 14 14 154 # 16 16 201
# 20 20 314 # 25 25 491 # 28 28 616
# 32 32 801 # 40 40 1256
  
```

Confinement: Tied; #6 ties with #25 bars, #6 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.7

Layout: Rectangular
Pattern: Equal Bar Spacing (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 5024 mm^2 at 4.19%
16 #20 Cover = 40 mm

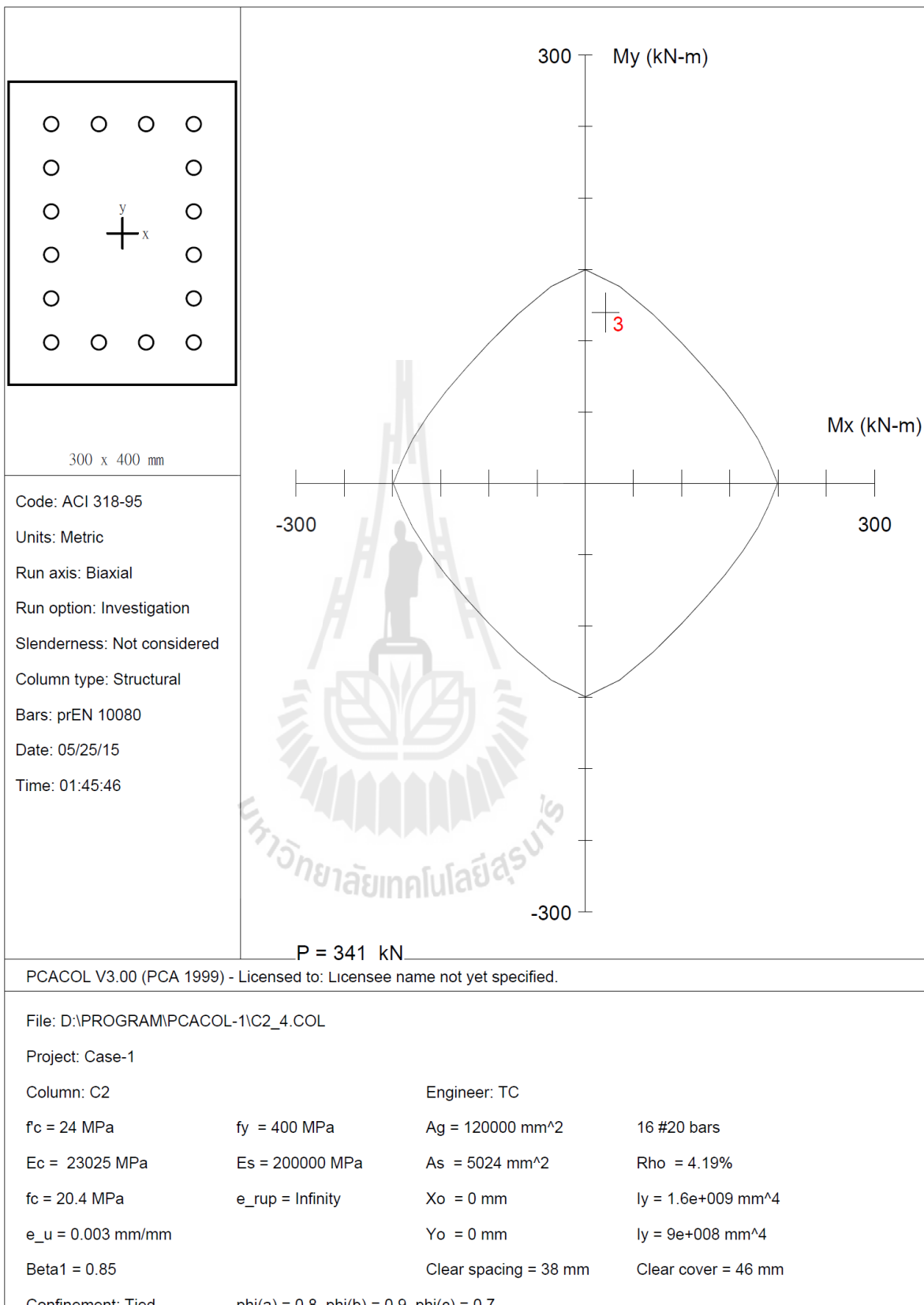
Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

```

=====
No. Pu Mux Muy fMnx fMny fMn/Mu
kN kN-m kN-m kN-m kN-m
-----
1 717.0 19.5 84.2 32.1 138.6 1.646
2 547.5 193.0 2.4 202.3 2.4 1.048
3 341.0 21.0 119.6 25.0 142.7 1.193
  
```

*** Program completed as requested! ***

รูปที่ ข.23 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดเสา คสล. C2 กรณีที่ 4 คัดแรงแผ่นดินไหวที่ Z=0.38, S=1.5



รูปที่ ข.23 (ต่อ)

05/25/15 PCACOL V3.00 - PORTLAND CEMENT ASSOCIATION -
01:46:09 Licensed to: Licensee name not yet specified.

Page 2
C3_4

General Information:

```

=====
File Name: D:\PROGRAM\PCACOL-1\C3_4.COL
Project: Case-2
Column: C3
Code: ACI 318-95
Engineer: TC
Units: Metric

Run Option: Investigation
Run Axis: Biaxial
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural
  
```

Material Properties:

```

=====
f'c = 24 MPa
Ec = 23025.2 MPa
fc = 20.4 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85

fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa
Rupture strain = Infinity
  
```

Section:

```

=====
Rectangular: Width = 350 mm
Depth = 400 mm

Gross section area, Ag = 140000 mm^2
Ix = 1.86667e+009 mm^4
Iy = 1.42917e+009 mm^4
Xo = 0 mm
Yo = 0 mm
  
```

Reinforcement:

```

=====
Rebar Database: prEN 10080
Size Diam (mm) Area (mm^2)
# 6 6 28
# 12 12 113
# 20 20 314
# 32 32 801
# 8 8 50
# 14 14 154
# 25 25 491
# 40 40 1256
# 10 10 79
# 16 16 201
# 28 28 616
  
```

Confinement: Tied; #6 ties with #25 bars, #6 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.7

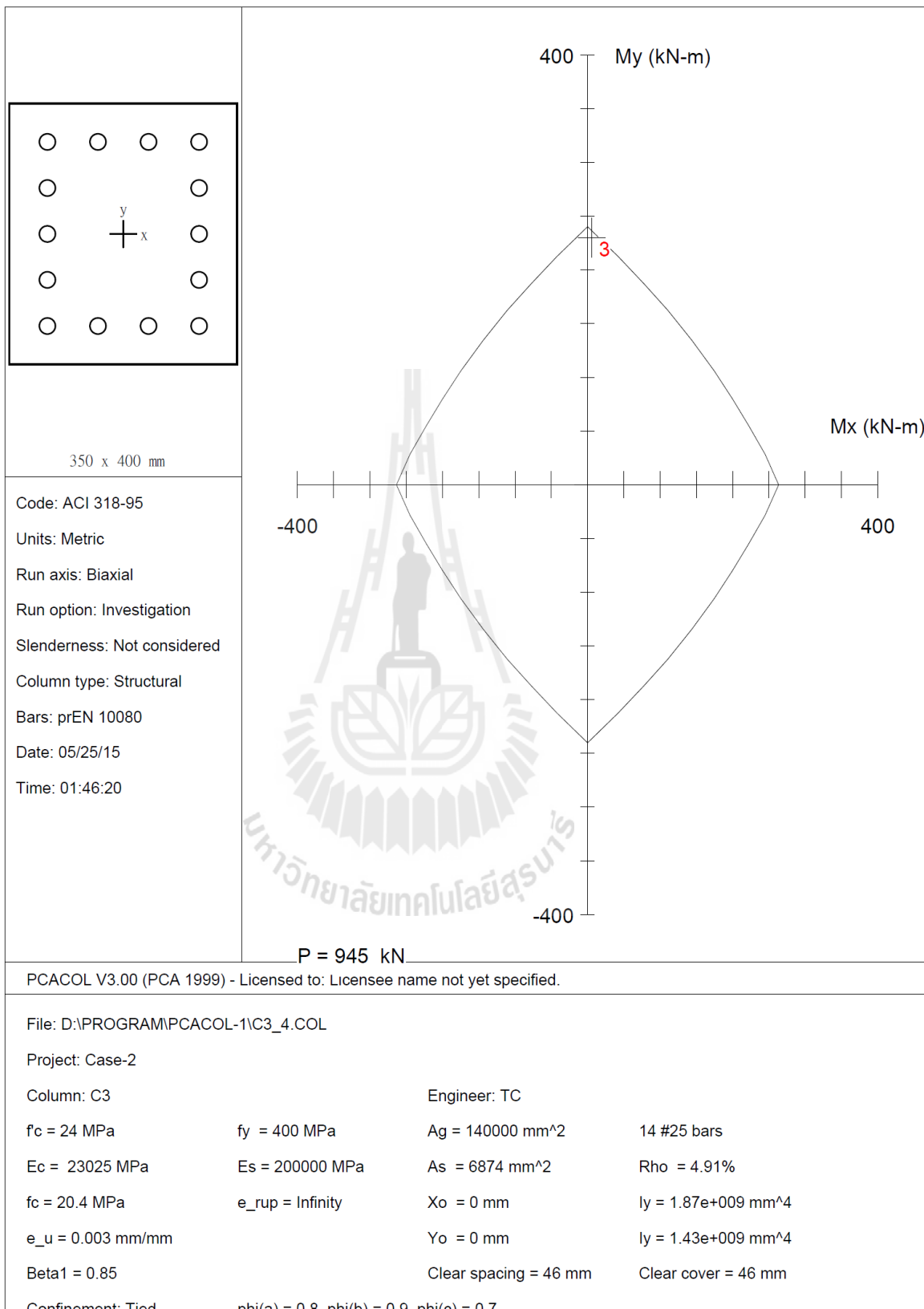
Layout: Rectangular
Pattern: Equal Bar Spacing (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 6874 mm^2 at 4.91%
14 #25 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	1638.2	0.0	0.0	223.4	0.0	999.999
2	589.0	233.8	4.2	266.1	4.7	1.138
3	945.0	5.7	230.0	5.8	237.4	1.032

*** Program completed as requested! ***

รูปที่ ข.24 รายละเอียดการคำนวณหน้าตัดเสา คสล. C3 กรณีที่ 4 คัดแรงแผ่นดินไหวที่ Z=0.38, S=1.5



รูปที่ ข.24 (ต่อ)

ประวัติผู้เขียน

นายทนงชัย พรหมมา เกิดเมื่อวันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2522 ที่อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย สถานที่อยู่ปัจจุบัน 44/78 หมู่ที่ 4 ตำบลคลองสอง อำเภอกองหลวง จังหวัดปทุมธานี ด้านการศึกษาจบการศึกษา ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนอรุณรังษี อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนปทุมเทพวิทยาคาร อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา และระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง วิศวกรโครงสร้างอาวุโส บริษัท เด็มโก้ จำกัด (มหาชน)

