สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สื่อการสอนเพื่อการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว

Studying for Earthquake Resistance Building Design

โดย

นายฉัตรชัย หล่อศิริ

นายวัชรินทร์ เหลืองอักษร

นายเอกรินทร์ สุวรรณางษ์

เลขหมู่.....
หมายเลขเบียน 83306
วัน,เดือน,ปี 11 ส.ค. 2551

b 11962444
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Studying for Earthquake Resistance Building Design

MR.CHATCHAI LORSIRI

MR.WATCHARIN LUENGAKSORN

MR.EKKARIN SUWANNAWONG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ สื่อการสอนเพื่อออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว

Studying For Earthquake Resistance Building Design

นักศึกษา
1. นายฉัตรชัย หล่อศิริ รหัสนักศึกษา 47010128
2. นายวัชรินทร์ เหลืองอักษร รหัสนักศึกษา 47010686
3. นายเอกรินทร์ สุวรรณวงษ์ รหัสนักศึกษา 47011012

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	
ผศ.สุพจน์ ศรีนิล	
ผศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	
ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร	
รศ.ดร.ศรีกริช หิรัญมาส	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ. อำนวย ฟานิชกุลพงศ์)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่ เดือน พ.ศ. 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	**สื่อการสอนเพื่อการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว**			
	Studying For Earthquake Resistance Building Design			
นักศึกษา	นายฉัตรชัย	หล่อศิริ	รหัสนักศึกษา	47010128
	นายวัชรินทร์	เหลืองอักษร	รหัสนักศึกษา	47010686
	นายเอกรินทร์	สุวรรณวงษ์	รหัสนักศึกษา	47011012
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. สมเกียรติ	ขวัญพฤกษ์		
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา			
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ปีการศึกษา	2550			

บทคัดย่อ

การออกแบบอาคารในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินไหวของประเทศไทย ผู้ออกแบบต้องมีความรู้ความเข้าใจในหลักการ และขั้นตอนการคำนวณออกแบบ รวมถึงมาตรฐานต่างๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งความรู้ความเข้าใจดังกล่าวยังไม่แพร่หลายในกลุ่มวิศวกรผู้ออกแบบอาคารทั้งในปัจจุบันได้มีกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2550 ซึ่งเป็นกฎกระทรวงที่ประกาศใช้ล่าสุดทำให้ผู้ออกแบบอาคารต้องตระหนักถึงความสำคัญของการออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหวในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินไหวของประเทศไทย เพื่อความปลอดภัยของผู้พักอาศัยในอาคารที่คนเป็นผู้ออกแบบการออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าที่ได้นำเสนอในโครงงานนี้ ได้เน้นเนื้อหาสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับการเลือกรูปร่างอาคาร การคำนวณแรงเฉือนที่ฐาน และการตรวจสอบความมั่นคงอาคาร ส่วนที่สองจะเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้างที่เกิดจากแผ่นดินไหวรวมถึงการออกแบบเหล็กเสริมที่อ้างอิงตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินไหว โดยจัดทำเป็นโปรแกรมสื่อซึ่งบรรจุข้อมูลความรู้ต่างๆ เพื่อช่วยในการศึกษาเพิ่มเติมด้วยตนเอง ในแผ่นดีวีดีรอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	STUDYING FOR EARTHQUAKE RESISTANCE BUILDING DESIGN
Name	:	MR.CHATCHAI LORSIRI MR.WATCHARIN LUENGAKSORN MR.EKKARIN SUWANNAWONG
Field	:	CIVIL ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	ASST.PROF. SOMKIAT KWANPRUEK

ABSTRACT

The building design in the risk area of earthquake in Thailand. The Design engineer must have the knowledge of principle, the method of calculation and the related regulation. They're not widespread in the design engineer group.Nowadays the ministerial regulations of 2007 that's recently law caused the designer have to realize of the important of the resistance to earthquake calamity. For the safety of resisdent in designed building. The resistance earthquake building design by using balanced force consist of two important things. First is about the building shape, Calculation of base shear, and check stability of building. Second is about design structure for side resisting from earthquake and including the design of reinforce steel, which is related regulation reference about the building design in the risk area of earthquake.Presented by program to contain data for self-studying in DVD - ROM.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆฝ่ายด้วยกัน ทางคณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลผู้ที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงงานพิเศษนี้ สามารถสำเร็จตามวัตถุประสงค์ดังนี้

ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ผู้ให้ข้อมูลอันสำคัญชี้แนะแนวทาง และเสนอความคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาโครงงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

รศ.ดร.ศรีกริช หิรัญมาศ สำหรับโปรแกรม MICROSOFT EXCELL การออกแบบอาคารส่วนต่างๆ ที่ได้นำมาใช้ศึกษาในการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณบุพการีผู้ให้กำเนิดที่สร้างให้มีวันนี้และคอยเป็นกำลังใจรวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ที่ให้ความร่วมมือ เป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ทางคณะผู้จัดทำหวังว่าโครงงานพิเศษฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ต้องการศึกษาการออกแบบอาคารด้านแผ่นดินไหวทั้งแก่วิศวกรและบุคคลทั่วไปคุณความดีจากโครงงานพิเศษนี้ขอมอบแด่อาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาสน์วิชาความรู้อบรมสั่งสอนแก่คณะผู้จัดทำตลอดจนจบการศึกษา

นายนัครชัย หล่อศิริ
นายวัชรินทร์ เหลืองอักษร
นายเอกรินทร์ สุวรรณวงษ์

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง		หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)		ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)		ข
	หน้าอนุมัติ		ค
	บทคัดย่อภาษาไทย		ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
	กิตติกรรมประกาศ		ฉ
	สารบัญ		ช
	สารบัญรูป		ฎ
	สารบัญตาราง		ฌ
1	บทนำ		
	1.1	บทนำ	1
	1.2	ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3	วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
	1.4	ขอบเขตโครงการวิจัย	2
	1.5	ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
	1.6	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2.	วรรณกรรมปริทัศน์		
	2.1	บทนำ	4
	2.2	สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว	4
	2.3	การแบ่งชนิดของแผ่นดินไหว	5
	2.4	คลื่นแผ่นดินไหว	5
	2.5	มาตราในการวัดแผ่นดินไหว	6
	2.6	ผลกระทบจากแผ่นดินไหว	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง		หน้า
3.	**ข้อพิจารณารูปแบบของอาคารต้านทานแผ่นดินไหว**		
	3.1	บทนำ	9
	3.2	ลักษณะรูปร่างของอาคาร (Building configuration)	9
	3.3	ผลกระทบต่ออาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Effects of Configuration Irregularities)	14
	3.4	ระบบของโครงสร้าง (Structural system)	23
	3.5	ข้อเสนอแนะในการเลือกรูปร่างโครงสร้างอาคาร	27
4.	**การออกแบบอาคารโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า**		
	4.1	บทนำ	33
	4.2	ข้อกำหนดของ UBC 1985	33
	4.3	ข้อกำหนดของ UBC 1997	50
5.	**การออกแบบความแข็งแรงของโครงข้อแข็ง**		
	5.1	บทนำ	67
	5.2	ขั้นตอนการออกแบบ	67
	5.3	การตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้างอาคาร	69
	5.4	การรวมแรงกระทำ (Combined Load Cases)	74
	5.5	การจำแนกประเภทของโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์	76
	5.6	การออกแบบโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยหลักการเสาแข็งแรง – คานอ่อน	85
		5.6.1 การออกแบบเหล็กเสริมตามยาวในเสาและคาน	87
		5.6.2 การออกแบบเหล็กปลอกต้านทานแรงเฉือนในคาน	89
		5.6.3 การออกแบบเหล็กปลอกต้านทานแรงเฉือนในเสา	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง		หน้า
		5.6.4 ข้อกำหนดของปริมาณเหล็กปลอกในเสา	92
		5.6.5 การจัดรายละเอียดเหล็กเสริมในคานและเสา	94
6.	**การออกแบบโครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือน**		
	6.1	บทนำ	108
	6.2	โครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือนแบบอิสระ	109
	6.3	การคำนวณออกแบบกำแพงระบบที่มีการเปลี่ยนขนาดเป็นสัดส่วนกัน	111
		6.3.1 โครงสร้างสมมาตร (Symmetric Structure)	111
		6.3.2 โครงสร้างไม่สมมาตร (Asymmetric Structure)	112
	6.4	โครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือนแบบควบคู่	116
		6.4.1 การวิเคราะห์กำแพงคู่ควบโดยวิธีตัวกลางเชื่อมต่อเนื่อง	117
		6.4.2 การวิเคราะห์กำแพงคู่ควบสำหรับแรงแผ่นดินไหวแบบแรงสถิตเทียบเท่า	120
	6.5	ข้อกำหนดของการออกแบบกำแพง	127
7.	**โครงยึด(Braced frame)**		
	7.1	โครงยึด	150
	7.2	การกระจายแรงโครงยึด	151
	7.3	การเคลื่อนตัวแนวราบ	153
8..	**บทสรุปและข้อเสนอแนะ**		
	8.1	บทสรุป	154
	8.2	ข้อเสนอแนะ	155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	บรรณานุกรม	157
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก	
	เมนูโปรแกรมสื่อการสอน	ผก1
	ภาคผนวก ข	
	กฎกระทรวง	ผข1
	มยผ.1301-50	ผข2
	กฎกระทรวงฉบับที่ 6 (2527)	ผข3
	กฎกระทรวงฉบับที่ 49 (2540)	ผข4
	ภาคผนวก ค	
	ตารางเปรียบเทียบการรวมน้ำหนักบรรทุกประลัย	ผค1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.1	รูปแบบอาคารที่ดีในการต้านทานแผ่นดินไหว	10
3.2	อาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอตามข้อกำหนด UBC1997 และ NEHRP1997	13
3.3	พฤติกรรมการรับแรงกระทำทางด้านข้างของอาคารรูปทรง L	15
3.4	การแก้ปัญหาของอาคารรูปทรง L	16
3.5	การแก้ปัญหาของอาคารรูปทรง L โดยการเพิ่มผ่ารองรับมุมตัดคล้ายกับช่องเปิดในคาน	16
3.6	การเกิดแรงบิดเนื่องจากศูนย์กลางมวลของอาคารไม่ตรงกับศูนย์กลางมวลของแรงต้านทาน	17
3.7	การโก่งตัวเนื่องจากแรงบิดเป็นสัดส่วนกับค่ากำลังสองของความยาวอาคาร	17
3.8	ผังอาคารห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่งในรัฐอลาสกา สหรัฐอเมริกา มีการจัดตำแหน่งของกำแพงที่ขอบอาคารไม่สมดุล	18
3.9	การแก้ปัญหาแรงบิดที่กระทำต่ออาคารที่มีช่องเปิด	19
3.10	ผลกระทบของชั้นอ่อน	20
3.11	รูปแบบของการเกิดชั้นอ่อน	21
3.12	ผลกระทบของการเปลี่ยนค่าสติฟเนสของเสา	22
3.13	ระบบโครงสร้างโครงข้อแข็ง	24
3.14	โครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือน	25
3.15	โครงสร้างโครงข้อแข็ง – กำแพงรับแรงเฉือน	26
3.16	รูปแบบแรงขาคณิตในผังอาคารที่ดีและไม่ดี	27
3.17	รูปแบบอาคารที่มีการกระจายตัวของมวลและสติฟเนสที่ดีและไม่ดี	28
3.18	รูปทรงอาคารในแนวดิ่งที่มีลักษณะดีและไม่ดี	29
3.19	รูปทรงอาคารที่มีการกระจายของสติฟเนสและมวลในแนวดิ่งที่ดีและไม่ดี	30
3.20	รูปทรงอาคารที่มีเสาสั้นเนื่องจากผนังก่อบางส่วนจะเกิดแรงกระทำมากเป็นพิเศษ	31
3.21	อาคารที่มีเสาสั้นเนื่องจากเป็นส่วนของชั้นลอย จะเกิดแรงกระทำมากเป็นพิเศษ	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.1	การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำทางด้านข้างในแต่ละชั้นอาคาร	41
4.2	การคำนวณแรงเฉือนในแต่ละชั้นอาคาร	42
4.3	ค่าระยะการเลื่อนตัวในระหว่างชั้นของอาคาร	43
4.4	การกระจายแรงด้านข้างอาคาร ในแนว N-S	46
4.5	การกระจายแรงด้านข้างอาคาร ในแนว E-W	47
4.6	ผังอาคารและรูปตัดของอาคารคลังเก็บสินค้า	60
4.7	การกระจายแรงกระทำทางด้านข้างอาคาร	63
5.1	การโก่งตัวทางด้านข้างของโครงสร้างอาคาร	70
5.2	แรงกระทำให้เกิดการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์	72
5.3	การคำนวณผลกระทบของ P-Δ	73
5.4	การรวมโมเมนต์กระทำจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจรและแรงแผ่นดินไหว	75
5.5	ข้อกำหนดขนาดหน้าตัดของคานและเสา	77
5.6	รายละเอียดการเสริมเหล็กสำหรับโครงสร้าง OMRF	78
5.7	Intermediate Moment Frame frame Requirements	79
5.8	Intermediate Moment Frame Longitudinal Reinforcement	80
5.9	Intermediate Moment Frame Splices in Reinforcement	81
5.10	Intermediate Moment Frame Transverse Reinforcement	82
5.11	Intermediate Moment Frame Girder Web Reinforcement	83
5.12	Intermediate Moment Frame Transverse Reinforcement	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.13	หลักการเสาแข็งแรงและคานอ่อน	86
5.14	โมเมนต์ดัดที่จุดต่อเสาและคาน	87
5.15	โมเมนต์ดัดและแรงเฉือนที่ปลายคาน	89
5.16	โมเมนต์ดัดและแรงเฉือน ก) ที่ปลายเสา และ ข) ที่ข้อต่อเสา-คาน	91
5.17	พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผลของข้อต่อรับแรงเฉือน	92
5.18	รายละเอียดเหล็กเสริมในคานสำหรับโครงสร้าง SMRF	95
5.19	รายละเอียดเหล็กเสริมในเสาสำหรับโครงสร้าง SMRF	96
5.20	รายละเอียดเหล็กปลอกสำหรับคานสำหรับโครงสร้าง SMRF	97
5.21	รายละเอียดเหล็กปลอกสำหรับเสาสำหรับโครงสร้าง SMRF	97
5.22	รูปตัดขวางของอาคารสำหรับตัวอย่างที่ 5.1	98
5.23	แรงกระทำบนคานเพื่อการออกแบบจุดข้อต่อ	101
5.24	โมเมนต์ดัดและแรงเฉือนที่ปลายเสา	104
5.25	พื้นที่หน้าตัดรับแรงเฉือน	105
5.26	รายละเอียดเหล็กเสริมของคานและเสา	107
6.1	โครงสร้างกำแพงแบบที่มีการเปลี่ยนขนาดเป็นสัดส่วนและแบบไม่เป็นสัดส่วนกัน	110
6.2	โครงสร้างกำแพงแบบสมมาตร	112
6.3	การเคลื่อนตัวของโครงสร้างไม่สมมาตร	112
6.4	โครงสร้างไม่สมมาตรซึ่งแนวกำแพงขนานกับแนวแรงกระทำทางด้านข้าง	113
6.5	โครงสร้างไม่สมมาตรซึ่งรวมทั้งกำแพงในแนวตั้งฉาก	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
6.6a	ผังอาคารที่พักอาศัยที่มีกำแพงควบคู่	116
6.6b	พฤติกรรมการรับแรงกระทำทางด้านข้างของกำแพงควบคู่	116
6.7	การทดแทนกำแพงคู่ควบด้วย Continuum model	118
6.8	แรงภายในของ Coupled Shear Wall	119
6.9	การกระจายของแรงกระทำต่อโครงสร้างกำแพงคู่ควบ	120
6.10	การกระจายหน่วยแรงของโครงสร้างกำแพงคู่ควบ	121
6.11	Wall moment factors for concentrated load at top	122
6.12	Wall moment factors for triangularly distributed loading	122
6.13	แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคานเชื่อม	124
6.14	Shear Flow Factor F_2	125
6.15	Deflection F_3	126
6.16	Shear Flow Factor For Triangularly Distributed Loading	126
6.17	Top Deflection Factor For Triangularly Distributed Loading	127
6.18	แรงกระทำต่อกำแพงคู่ควบที่ใช้ในการออกแบบเสาขอบกำแพง	130
6.19	รายละเอียดการเสริมเหล็กในกำแพง	131
6.20	รายละเอียดการเสริมเหล็กในคานเชื่อม	133
6.21	Minimum concrete shear wall reinforcement (two curtains)	134
6.22	Minimum concrete shear wall reinforcement (one curtains)	135
6.23	Boundary zones in a special Reinforced concrete shear wall	136
6.24	Tilt-up end other precast concrete walls-typical details of attachments	137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
6.25	โครงสร้างกำแพงคู่ควบตัวอย่าง	138
6.26	แรงเฉือนที่ฐานและแรงกระทำทางด้านข้างต่อโครงสร้างกำแพงคู่ควบ	140
6.27	หน้าตัดของกำแพงคู่ควบ	142
6.28	หน้าตัดของเสาขอบกำแพง	145
6.29	การเสริมเหล็กของเสาขอบกำแพง	147
7.1	โครงยึดแบบต่างๆ	150
7.2	ตัวอย่างการวางโครงยึด	151
7.3	ลักษณะการกระจายแรงในโครงยึด	152
ผก-1	เมนูหน้าแรก แนะนำโปรแกรมและการใช้งาน	ผก1
ผก-2	เมนูสื่อการสอน	ผก2
ผก-3	เมนูความรู้เบื้องต้น	ผก3
ผก-4	เมนูหลักการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว	ผก4
ผก-5	เมนูแสดงการออกแบบจริง	ผก5
ผก-6	เมนูแสดงกฎหมายและข้อกำหนด	ผก6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
4.1	สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว	34
4.2	ค่าตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร	35
4.3	สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ	35
4.4	สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดิน	38
4.5	แรงกระทำทางด้านข้างและแรงเฉือนในแต่ละชั้น ทั้ง 2 แนว	46
4.6	ค่าสัมประสิทธิ์ R	52
4.7	สัมประสิทธิ์แรงแผ่นดินไหว (C_v)	54
4.8	สัมประสิทธิ์แรงแผ่นดินไหว (C_a)	55
4.9	ประเภทของชั้นดินที่ตั้งอาคาร (Soil Profile Type, S)	55
4.10	ประเภทของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว	56
4.11	ตัวประกอบสำหรับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในระยะใกล้ N_v	57
4.12	ตัวประกอบสำหรับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในระยะใกล้ N_a	57
4.13	แรงกระทำทางด้านข้างและแรงเฉือนในแต่ละชั้น	62
4.14	ระยะการโยกตัวและค่าระยะการโยกตัวสูงสุดของแต่ละชั้น	64
4.15	การคำนวณค่าคาบการสั่นธรรมชาติ โดยใช้ Rayleigh's formula	64
4.16	การคำนวณค่า Overturning Moment	65
4.17	การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคง	66
ผค-1	ตารางเปรียบเทียบการรวมน้ำหนักบรรทุกประลัย	ผค1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

1.1 บทนำ

แผ่นดินไหวเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดขึ้น ได้สร้างความเสียหายและอันตรายร้ายแรงต่อมนุษย์ ปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีอันทันสมัย ทำให้มนุษย์สามารถคาดการณ์ได้ว่า แผ่นดินส่วนใดของโลกมีแนวโน้มในการเกิดแผ่นดินไหวสูง โดยคาดการณ์จากรอยแยกของเปลือกโลกส่วนต่างๆ ทำให้มนุษย์ต้องค้นหาวิธีการป้องกันแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นได้ทุกเมื่อ นอกจากการเตรียมตัวป้องกันเมื่อแผ่นดินไหวเกิดขึ้นแล้ว

การออกแบบอาคารทางวิศวกรรมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการป้องกันอันตรายจากแผ่นดินไหวก่อนแผ่นดินไหวจะเกิดขึ้น ด้วยการศึกษาและคิดค้นทางวิศวกรรม จึงสามารถออกแบบอาคารเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวได้ โดยทำให้เกิดอันตรายต่อผู้อยู่อาศัยน้อยที่สุด สามารถรักษาสภาพอาคารให้คงอยู่ได้ โดยเกิดความเสียหายไม่มากนัก

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากข้อมูลผลการสำรวจและงานวิจัยใหม่ๆที่เกี่ยวกับแผ่นดินไหวภายในประเทศพบว่าพื้นที่บางส่วนของประเทศไทยได้แก่ ภาคเหนือและภาคตะวันตก มีโอกาสที่จะเกิดภัยจากแผ่นดินไหวที่มีขนาดปานกลางถึงรุนแรงได้ ซึ่งรวมทั้งเมืองใหญ่ๆที่ตั้งอยู่ในรัศมีของแหล่งกำเนิดเหล่านี้ด้วย หลังจากการเกิดแผ่นดินไหวทำให้เกิดสึนามิตามมาที่ภาคใต้ของไทย และการเกิดแผ่นดินไหวที่ต่อเนื่องบ่อยครั้ง ทำให้มีผู้ที่สนใจและเล็งเห็นความสำคัญของการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว แต่เนื่องจากในอดีตอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่น้อยและไม่รุนแรงทำให้ขาดผู้ที่สนใจและพัฒนาองค์ความรู้ ดังจะเห็นได้จากในระดับปริญญาตรี ไม่มีการสอนในเรื่องการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว ทั้งที่ในความเป็นจริงอาคารที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือบ้านพักอาศัยและอาคารขนาดเล็ก

เนื่องจากปัจจุบันได้มีกฎกระทรวงเกี่ยวกับการออกแบบอาคาร ให้สามารถต้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้ ซึ่งเป็นข้อกำหนดต่างๆที่ใช้สำหรับควบคุมในการออกแบบอาคาร ทางกลุ่มจึงเล็งเห็นความสำคัญ ในการจัดทำสื่อการเรียนการสอนเพื่อรวบรวมองค์ความรู้เกี่ยวกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นดินไหว ตั้งแต่ความรู้พื้นฐาน หลักการ ข้อกฎหมายและข้อกำหนด รวมทั้งทฤษฎีในการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว ให้วิศวกรและผู้ที่สนใจสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงานวิจัย

1.3.1 เพื่อรวบรวมข้อมูล สถิติเกี่ยวกับแผ่นดินไหว ประเด็นปัญหาที่น่าเรียนรู้และศึกษา

1.3.2 เพื่อจัดทำรูปแบบโปรแกรมในการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว สำหรับการศึกษาได้อย่างเป็นระบบ

1.3.3 เพื่อให้วิศวกรและผู้สนใจในเรื่องแผ่นดินไหว สามารถค้นคว้าหาข้อมูล และศึกษาวิธีหาทางป้องกันแผ่นดินไหวได้

1.3.4 จัดทำข้อมูลในรูปแบบดีวีดีรอม (DVD-ROM) เพื่อการศึกษา

1.4 ขอบเขตของโครงงานวิจัย

รวบรวมข้อมูล สาเหตุ สถิติ ปัญหา เกี่ยวกับการเกิดแผ่นดินไหว ประเด็นที่น่าศึกษาต่างๆอย่างเป็นระบบ ภาพตัวอย่างการเกิดแผ่นดินไหวสำคัญๆ ที่เกิดในที่ต่างๆของโลก นำเสนอหลักการ และทฤษฎีเบื้องต้นในการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว วิธีการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลักมาตรฐานวิศวกรรม จัดทำฐานข้อมูลในรูปแบบดีวีดีรอม (DVD-ROM) ที่สามารถเปิดและพร้อมใช้งานศึกษาได้ทันที

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการเกิดแผ่นดินไหว ลักษณะการเกิดแผ่นดินไหวต่างๆ

1.5.2 ศึกษาพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหว ความหมายของคำต่างๆที่เกี่ยวกับการเกิดแผ่นดินไหว

1.5.3 ศึกษามาตรฐานต่างๆที่นำมาใช้อ้างอิงในการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว กฎเกณฑ์และข้อบังคับของแต่ละมาตรฐาน

1.5.4 ศึกษาวิธีการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว พร้อมทดลองออกแบบอาคารที่ใช้ต้านทานแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐานข้อบังคับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.5 นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้ศึกษารวบรวม จัดทำในรูปแบบที่ศึกษาง่าย คัดแยกเป็นหมวดๆอย ในรูปของดีวีดีรอม (DVD-ROM)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เป็นฐานข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้สนใจในเรื่องแผ่นดินไหว ทั้งเรื่องที่มา สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว รูปแบบต่างๆของการเกิดแผ่นดินไหว รวมถึงคำถามที่น่าสนใจ

1.6.2 เป็นฐานข้อมูลสำหรับวิศวกรที่ต้องการศึกษาวิธีการออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหวอย่างถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนด

1.6.3 เพื่อให้วิศวกรสามารถศึกษาและนำไปใช้ออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 บทนำ

แรงแผ่นดินไหวเกิดจากการที่ชิ้นส่วนของโลกเกิดการเคลื่อนตัวและเกิดการชนกันระหว่างชิ้นผิวเปลือกโลกที่อยู่ติดกัน โดยการเคลื่อนตัวมีทั้งการเคลื่อนตัวแนวดิ่งและแนวราบ แต่การเคลื่อนตัวแนวราบเป็นผลกระทบสำคัญ ซึ่งมีผลให้เกิดคลื่นความสั่นสะเทือนที่มีผลต่อโครงสร้างอาคาร คลื่นความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจะกระจายรอบตำแหน่งเป็นวงกลม และความสามารถในการกระจายคลื่นความสั่นสะเทือน ขึ้นกับสภาพทางธรณี เช่นลักษณะของชั้นดิน โดยดินอ่อนอย่างดินเหนียวสามารถส่งต่อคลื่นพลังงานการสั่นสะเทือนได้ดี จึงเกิดผลกระทบจากแผ่นดินไหวในปริมาณที่มาก ซึ่งตรงข้ามกับลักษณะชั้นดินที่เป็นหินหรือดินแข็ง พลังงานที่เคลื่อนผ่านจะลดลงมาก ผลกระทบที่เกิดจึงไม่มากนัก

โดยในขณะที่เกิดคลื่นความสั่นสะเทือน อาคารจะได้รับผลกระทบเป็นแรงเฉือนที่กระจายเข้าสู่อาคารเกิดการแกว่งและการเคลื่อนไหวของอาคารและโครงสร้างต่างๆที่สร้างขึ้น ย่อมต้องคำนึงถึงหน่วยแรงและผลกระทบต่างๆที่เพิ่มขึ้นจากภาวะปกติ

2.2 สาเหตุของการเกิดแผ่นดินไหว

สาเหตุของการเกิดแผ่นดินไหวมีหลายทฤษฎี แต่ที่สำคัญ มี 2 ทฤษฎี คือ

2.2.1 ทฤษฎีการยืด - หด (The elastic – rebound theory)

ตั้งขึ้นโดยนักธรณีวิทยาชาวอเมริกันชื่อ เอช. เอฟ. เรอิด (H.F.Reid) เมื่อปี พ.ศ. 2453 หลังจากที่เขาได้ศึกษาการเกิดแผ่นดินไหวที่แคลิฟอเนียร์ เมื่อปี พ.ศ. 2449 อธิบายว่า พลังงานที่ทำ ให้เกิดแผ่นดินไหวเกิดจากพลังงานความเครียด เนื่องจากการยืดหยุ่นของหินซึ่งเปลี่ยนรูปอย่างช้า ๆ คือหินบริเวณรอยเลื่อน (fault) จะสะสมความเครียด (Strain) เอาไว้เรื่อย ๆ เนื่องจากการเปลี่ยนรูปร่างจนมากถึงขีดจำกัดของความยืดหยุ่นของมันก็จะหักโดยทันที และพลังงานจากการยืดหยุ่นที่สะสมอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนมากก็จะทำ ให้เกิดคลื่นแผ่นดินไหวขึ้นหินส่วนนั้นก็จะคืนกลับสู่รูปเดิมแต่ได้เลื่อนไปจากตำแหน่งเดิม

2.2.2 ทฤษฎีแผ่นเปลือกโลกเลื่อน (The plate tectonic theory)

โดย อัลเฟรด เวกเนอร์ (Alfred Wegener) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันได้ตั้งสมมติฐานว่า เมื่อ 200 ล้านปีแล้วทวีปต่างๆ เคยอยู่รวมชิดติดกันโดยดูจากลักษณะตามโค้งเว้าของแต่ละทวีป ซึ่งหากนำ มาประกบกันจะรวมติดกันเป็นชิ้นเดียวได้ นักวิทยาศาสตร์สมัยนั้นไม่เชื่อในทฤษฎีนี้นักเพราะต่างก็ค้าน ว่าคงไม่มีแรงอันมหาศาลขนาดใด ที่จะสามารถเคลื่อนแผ่นทวีปเหล่านี้ออกจากกันได้ และปรากฏให้เห็นเช่นปัจจุบันว่าอยู่ห่างไกลกันนับพันกิโลเมตร ต่อมาอีกหลายสิบปีได้มีการรวบรวมหลักฐานทางด้านธรณีวิทยา และการพิสูจน์ด้วยทิศทางของแม่เหล็กโลกในอดีต ผลปรากฏว่าทฤษฎีของเวกเนอร์มีเหตุผลตามหลักฐานใกล้เคียงความจริงมากที่สุด และปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป การเกิดแผ่นดินไหวก็เป็นผลมาจากการเกิดพื้นมหาสมุทรใหม่ และค่อยๆดันแผ่นพื้นทวีปให้ห่างจากกันโดยใช้เวลานับล้าน ๆ ปีจึงสามารถทำให้ทวีปแยกตัวจากกันได้ พลังงานที่เกิดจากการกดดันนี้จะถูกปลดปล่อยมาในรูปของการสั่นไหว ตามแนวรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกที่เป็นพื้นมหาสมุทรชนกับขอบของแผ่นเปลือกโลกที่เป็นทวีป

2.3 การแบ่งชนิดของแผ่นดินไหว

2.3.1 การแบ่งชนิดของแผ่นดินไหว ตามลักษณะการเกิด มี 4 แบบ คือ

1.TECTONIC EARGHQUAKE เกิดจากการปล่อยพลังงานภายใต้พิภพ(ทฤษฎี แผ่นเปลือกโลกเลื่อน)

2. COLLAPSE EARGHQUAKE เกิดจากการพังทลายของถ้ำ เหมือง แผ่นดิน เลื่อน แผ่นดินถล่ม

3. VOLCANIC EARTHQUAKE เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ

4. EXPLOSION เกิดจากการระเบิดโดยการกระทำ ของมนุษย์

2.3.2 การแบ่งชนิดของแผ่นดินไหว ตามความลึก มี 3 ระดับ คือ

1. SHALLOW EARTHQUAKE คือ แผ่นดินไหวซึ่งเกิดที่ความลึกระหว่าง 0 - 70 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. INTERMEDIAT คือ แผ่นดินไหวซึ่งเกิดที่ความลึกระหว่าง 70 – 300 กิโลเมตร

3. DEEP EARTHQUAKE คือ แผ่นดินไหวซึ่งเกิดที่ความลึกระหว่าง 300 – 700 กิโลเมตร

2.3.3. การแบ่งชนิดของแผ่นดินไหว ตามขนาด (MAGNITUDE)แบ่งเป็น 5 ขนาด คือ

1. MICRO EARTHQUAKE ขนาดเล็กมากขนาดน้อยกว่าหรือระหว่าง2.0-3.4 ริคเตอร์

2. SMALL EARTHQUAKE ขนาดเล็กมีขนาดระหว่าง 3.5 - 4.8 ริคเตอร์

3. MINOR OR MODERATE ขนาดปานกลางมีขนาดระหว่าง 4.9 – 6.1 ริคเตอร์

4. MAJOR EARTHQUAKE ขนาดใหญ่มีขนาดระหว่าง 6.2 - 7.3 ริคเตอร์

5. GREAT EARTHQUAKE ขนาดใหญ่มากมีขนาดตั้งแต่ 7.4 ริคเตอร์

2.3.4. การแบ่งชนิดของแผ่นดินไหว ตามระยะทาง มี 3 ระยะ คือ

1. LOCAL EARTHQUAKE คือ แผ่นดินไหวซึ่งเกิดห่างจากสถานีตรวจวัด น้อยกว่า 100 กม.

2. DISTANT EARTHQUAKE คือ แผ่นดินไหวซึ่งเกิดห่างจากสถานีตรวจวัดระหว่าง 100 – 1000 กม.

3. TELESEIS คือ แผ่นดินไหวซึ่งเกิดห่างจากสถานีตรวจวัดตั้งแต่ 1000 กม.ขึ้นไป

2.4 คลื่นแผ่นดินไหว (Seismic wave)

แบ่งเป็น 3 ประเภท

2.4.1 P-waves หรือ Primary waves (คลื่นปฐมภูมิ)

มีความเร็วสูง ส่งผลให้เกิดแรงบีบอัด และแรงกระแทก

2.4.2 S-waves หรือ Secondary waves (คลื่นทุติยภูมิ)

มีความเร็วรองจาก P-waves ส่งผลให้เกิดแรงยกขึ้น-ลง

2.4.3 Surface waves (คลื่นพื้นผิว)

เดินทางช้าที่สุด แต่จะมีแรงสั่นสะเทือนสูง และเป็นคลื่นที่ก่อให้เกิดความเสียหายมากที่สุด

2.5 มาตราในการวัดแผ่นดินไหว

แบ่งการวัดออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.5.1 มาตราวัดขนาด (Magnitude)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นค่าของพลังงานที่แผ่นดินไหวปลดปล่อยออกมาในแต่ละครั้ง ผู้เสนอแนวความคิดเรื่องขนาดของแผ่นดินไหวคนแรกคือ"ริคเตอร์"(C.F.Richter) ชาวอเมริกัน เมื่อ พ.ศ. 2473 เราจึงนิยมเรียกว่า " ขนาดแผ่นดินไหวตามมาตราริคเตอร์ " ขนาดมีหลายมาตรา ได้แก่

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

มาตราคลื่นหลัก (Body-wave Magnitude: MB) ใช้แสดงขนาดของแผ่นดินไหวที่คำนวณจากคลื่นหลัก (คลื่นแรก) โดยทั่วไปใช้กับแผ่นดินไหวไกลที่มีระยะทางมากกว่า1200 กม.

มาตราคลื่นผิวพื้น (Surface – wave Magnitude : MS) ใช้แสดงขนาดของแผ่นดินไหวที่คำนวณจากคลื่นผิวพื้น (คลื่นเลิฟหรือคลื่นเรย์เลห์) โดยทั่วไปใช้กับแผ่นดินไหวไกลที่มีความลึกไม่เกิน 50 กิโลเมตร

มาตราขนาดโมเมนต์ (Moment magnitude:Mw) แสดงถึงปริมาณพลังงานของคลื่นแผ่นดินไหวได้ดีกว่าขนาดอื่นสามารถวิเคราะห์ได้จากโมเมนต์แผ่นดินไหว (Mo. Seismic Moment) โดยที่สามารถคำนวณได้หลายวิธี เช่น จากการวิเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหวซึ่งค่อนข้างซับซ้อนหรือจากการสำรวจทางธรณีวิทยา เพื่อหาผลคูณของการขจัดของรอยเลื่อนเมื่อเกิดแผ่นดินไหว (Fault displacement) และปริมาณพื้นที่ของรอยเลื่อน (Fault surface area) ส่วนใหญ่ขนาดของ Mw ใช้สำ หรับกรณีแผ่นดินไหวไกล ที่มีขนาดใหญ่ซึ่งขนาดของ ML MB และ MS สามารถนำ มาเปรียบเทียบกันได้โดยสูตรคำนวณซึ่ง Gutenberg และ Richter เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1956 ดังนี้

$$MS - MB = 0.4 (MS - 7)$$

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

$$ML - MB = 0.4 (MB - 6)$$

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

2.5.2 มาตราวัดความรุนแรง (Intensity)

วัดจากความรู้สึกของคนและสัตว์ หรือผลกระทบที่เกิดขึ้นกับอาคารสิ่งก่อสร้างสภาพภูมิประเทศที่เปลี่ยนไปเนื่องจากแผ่นดินไหว โดยเทียบหาอันดับความรุนแรงได้จากตารางสำเร็จที่บอกรายละเอียดของผลกระทบไว้เรียบร้อยแล้ว ความรุนแรงมีหลายมาตรา ได้แก่

มาตรารอสซี – ฟอเรล (Rossi - Forel:Rf Scale) แบ่งออกเป็น 10 อันดับ

มาตราเจเอ็มเอ (Japan Meteorological Agency : JMA Scale) แบ่งออกเป็น 8อันดับ (0 - 7)

มาตราเมอร์แคลลีที่ปรับปรุงแล้ว (Modified Mercalli : MM Scale) แบ่งออกเป็น 12 อันดับ (I – XII) ตั้งแต่อันดับ I เป็นแผ่นดินไหวที่ไม่สามารถรู้สึกได้นอกจากตรวจวัดได้ด้วยเครื่องตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นดินไหวเท่านั้น ไปจนถึงอันดับ XII เป็นแผ่นดินไหวที่ทำลายทุกสิ่งทุกอย่างสำหรับประเทศไทยใช้มาตราวัดอันดับความรุนแรงตามมาตราเมอร์แคลลี

มาตราวัดอันดับความรุนแรงของความสั่นสะเทือนโดยเมอร์แคลลี่ (ปรับปรุงใหม่)Modified Mercalli Scale of 1931 Adapted from Seiberg' s Mercalli – Cancani scale,modified and condensed) อันดับที่ ลักษณะความรุนแรงโดยเปรียบเทียบ

I	เป็นอันดับที่อ่อนมาก ตรวจวัดโดยเครื่องมือ
II	พอรู้สึกได้สำ หรับผู้ที่อยู่นิ่ง ๆ ในอาคารสูง ๆ
III	พอรู้สึกได้สำ หรับผู้อยู่ในบ้าน แต่คนส่วนใหญ่ยังไม่รู้สึก
IV	ผู้อยู่ในบ้านรู้สึกว่าของในบ้านสั่นไหว
V	รู้สึกเกือบทุกคน ของในบ้านเริ่มแกว่งไกว
VI	รู้สึกได้กับทุกคนของหนักในบ้านเริ่มเคลื่อนไหว
VII	ทุกคนต่างตกใจ สิ่งก่อสร้างเริ่มปรากฏความเสียหาย
VIII	เสียหายค่อนข้างมากในอาคารธรรมดา
IX	สิ่งก่อสร้างที่ออกแบบไว้อย่างดี เสียหายมาก
X	อาคารพัง รางรถไฟบิดงอ
XI	อาคารสิ่งก่อสร้างพังทลายเกือบทั้งหมด ผิวโลกปูดนูนและเลื่อนเป็นคลื่นพื้นดินอ่อน
XII	ทำลายหมดทุกอย่าง มองเห็นเป็นคลื่นบนแผ่นดิน

2.6 ผลกระทบจากแผ่นดินไหว

เมื่อเกิดแผ่นดินไหวขึ้นผลกระทบของอาการสั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและทำให้เกิดบางสิ่งบางอย่างบนผิวพื้นโลก เช่น

1. การเคลื่อนที่ของแผ่นดิน (Ground Motion)
2. การตอบสนองของแผ่นดินต่อการสั่นสะเทือน (Groundresponse to shaking)
3. การยุบตัวของแผ่นดิน (Subsidence)
4. แผ่นดินถล่ม (Ground failure)
5. แผ่นดินเลื่อน (Landslide)
6. การขยายตัวของหิน (Rock dilatancy)
7. คลื่นใต้ทะเล (Seismic sea wave)หรือTsunami

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ข้อพิจารณารูปแบบของอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

3.1 บทนำ

การกำหนดรูปแบบทางสถาปัตยกรรมของอาคาร เป็นส่วนสำคัญอันดับแรกในการออกแบบ ทั้งนี้เนื่องจากรูปแบบของอาคารมีส่วนช่วยให้การต้านทานแผ่นดินไหวมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น หลังจากการวางรูปแบบอาคารลงตัวแล้ว การเลือกระบบของโครงสร้างจะเป็นสิ่งสำคัญที่ตามมา ซึ่งวิศวกรจะต้องทำงานร่วมกันกับสถาปนิกอย่างใกล้ชิด เพื่อการออกแบบให้รูปแบบของอาคารและระบบโครงสร้างมีความสอดคล้องกลมกลืนกัน นั่นคือ มิให้รูปแบบส่วนใดของสถาปัตยกรรมเป็นจุดที่อาจเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว และมิให้องค์อาคารโครงสร้างชิ้นใดกีดขวางการใช้งานของอาคารหรือยื่นล้ำไม่สวยงามได้ ดังนั้นรูปแบบของอาคารควรจะมีการพิจารณาถึงองค์ประกอบดังนี้

ก) ลักษณะรูปร่างของอาคาร (Building configuration) ได้แก่ ขนาด สัดส่วนและรูปทรงของอาคาร รวมถึงขนาดรูปร่าง และตำแหน่งขององค์อาคารหลักของโครงสร้างด้วย

ข) ระบบของโครงสร้าง (Structural system) ที่ใช้ในการรับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งและต้านทานแรงกระทำทางด้านข้าง

3.2 ลักษณะรูปร่างของอาคาร (Building configuration)

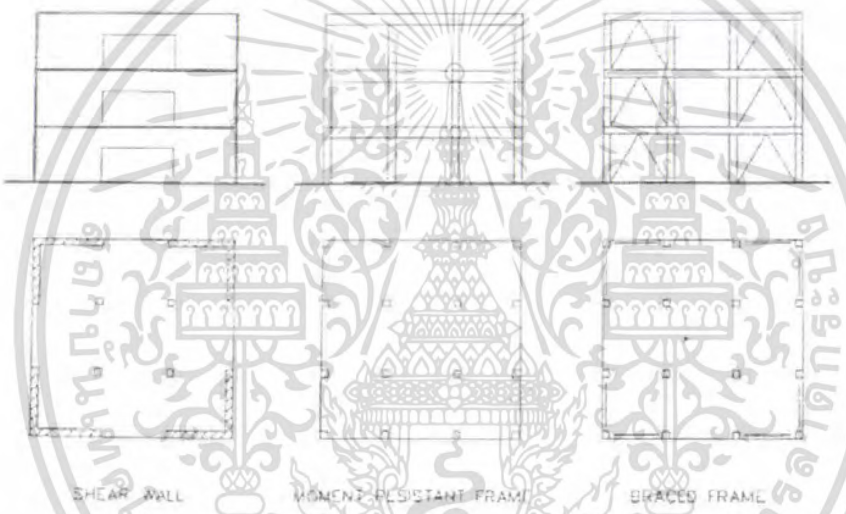
3.2.1 อาคารรูปทรงสม่ำเสมอ (Regular Building)

ลักษณะอาคารที่มีประสิทธิภาพในการต้านทานแผ่นดินไหวที่ดี มีดังนี้

- อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้างฐานอาคารมีค่าต่ำ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์ (Overturning moment)
- ขนาดเสาและความสูงของระดับชั้นในแต่ละชั้นควรมีค่าเท่ากัน เพื่อให้เสาในแต่ละชั้นมีค่าสติฟเนสที่ใกล้เคียงกัน เป็นการป้องกันการวิบัติแบบชั้นอ่อน (Soft story failure) ที่ชั้นใดชั้นหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จัดวางแบบให้องค์อาคารมีความแข็งแรงในการต้านทานแรงด้านข้างเท่ากันทั้งสองทิศทางที่ตั้งฉากกัน (x-y axis)
- จัดวางแบบให้องค์อาคารมีกำลังต้านทานต่อการบิดตัวให้มากที่สุด โดยการจัดให้มีกำแพงที่มุมหรือขอบของอาคาร
- หลีกเลี่ยงการวางช่วงคานที่ยาว เพื่อลดหน่วยแรงในองค์อาคารของคานและเสา
- หลีกเลี่ยงการออกแบบคานยื่น เพื่อลดหน่วยแรงที่บริเวณรอยต่อคาน – เสา ซึ่งอาจสูงเกินไป



รูปที่ 3.1 รูปแบบอาคารที่ดีในการต้านทานแผ่นดินไหว

อาคารที่มีรูปแบบตามข้อกำหนดข้างต้น ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.1 เรียกว่าอาคารรูปทรงสม่ำเสมอ (Regular building) ซึ่งสามารถใช้ออกแบบโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าได้ เนื่องจากในกรณีของอาคารรูปทรงสม่ำเสมอใช้สมมติฐานว่า ก) การกระจายแรงกระทำทางด้านข้างแปรเปลี่ยนเป็นเส้นตรงจากฐานไปสู่ยอดอาคาร และ ข) ค่าความเหนียวของโครงสร้างกระจายเท่ากันสม่ำเสมอตลอดทุกองค์อาคาร การคำนวณแรงในช่วงอินอิลาสติกจึงใช้ค่าการลดกำลัง R_w (UBC – 1994) หรือค่า R (UBC – 1997) หลักการนี้ใช้ได้กับอาคารรูปทรงสม่ำเสมอเท่านั้น หากเป็นอาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอจะใช้วิธีแรงสถิตย์เทียบเท่าไม่ได้เนื่องจากสมมติฐานข้างต้นจะไม่เป็นจริง อย่างไรก็ตาม ข้อกำหนดของ Ubc – 1997 ยอมให้ใช้วิธีแรงสถิตย์เทียบเท่ากับอาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอได้ในบางกรณี และยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำกัดการออกแบบอาคารรูปทรงสม่ำเสมอไว้ในบางกรณี โดยกำหนดให้ใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่าได้กับโครงสร้างอาคารที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ก) โครงสร้างทั้งหมด ที่อยู่ในเขต Seismic Zone 1 และโครงสร้างรูปทรงสม่ำเสมอทั่วไปที่อยู่ในเขต Zone 2 ส่วนอาคารที่อยู่ในเขต Zone 3 และ 4 จะต้องจำกัดความสูง ซึ่งแตกต่างกันไปตามประเภทของโครงสร้าง

ข) โครงสร้างรูปทรงสม่ำเสมอที่มีผังอาคารสมมาตร และมีความสูงน้อยกว่า 73 เมตร

ค) โครงสร้างอาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอเช่น ผังอาคารมีรูปร่างไม่สมมาตร โครงสร้างอาคารที่มีมวล หรือ สติฟเนสที่แปรเปลี่ยนในระหว่างชั้น เป็นต้น ซึ่งมีความสูงน้อยกว่า 5 ชั้น หรือ 20 เมตร

ง) โครงสร้างซึ่งมีส่วนบนมีลักษณะยืดหยุ่นเช่น หอสูง เป็นต้น ซึ่งตั้งอยู่บนฐานที่แข็งแรงมั่นคง สำหรับโครงสร้างอาคารที่มีคุณสมบัตินอกเหนือจากข้อกำหนดนี้ให้ใช้การคำนวณออกแบบโดยวิธีพลศาสตร์ (dynamic method)

3.2.2 อาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Irregular Building)

อาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

ก) อาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอในแนวดิ่ง (Vertical Structural Irregularities) UBC-1997 กำหนดรูปความไม่สม่ำเสมอเป็น 5 แบบดังนี้

แบบที่ 1 สติฟเนสไม่สม่ำเสมอหรือพฤติกรรมชั้นอ่อน (Stiffness Irregularity-Soft story)

โครงสร้างที่มีพฤติกรรมชั้นอ่อนขึ้นในชั้นใดชั้นหนึ่ง เกิดจากเสาชั้นล่างมีความสูงกว่าชั้นบนถัดขึ้นไป ทำให้ค่าสติฟเนสของเสาชั้นนั้นน้อยกว่า 70 % ของเสาในชั้นที่อยู่เหนือกว่าถัดขึ้นไปหรือน้อยกว่า 80% ของค่าสติฟเนสเฉลี่ยของเสาจำนวน 3 ชั้นที่อยู่เหนือกว่าถัดขึ้นไป

แบบที่ 2 มวลไม่สม่ำเสมอ (Mass Irregularity)

โครงสร้างที่มีขนาดความหนาหรือมวลของพื้นอาคารไม่สม่ำเสมอ คือ มีมวลมากกว่า 150% ของมวลชั้นที่อยู่เหนือกว่าถัดขึ้นไปหรือชั้นที่อยู่ต่ำกว่าลงมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 3 รูปทรงเรขาคณิตในแนวดิ่งไม่สม่ำเสมอ (Vertical geometric Irregularity)

โครงสร้างที่มีขนาดในแนวราบของระบบโครงสร้างต้านทานแรงทางด้านข้างในชั้นใดชั้นหนึ่งมีค่ามากกว่า 130% ขององค์อาคารระบบเดียวกันนั้นในชั้นข้างเคียง ยกเว้นส่วนที่เป็น Penthouses ซึ่งสูงเพียงชั้นเดียว

แบบที่ 4 ความไม่ต่อเนื่องขององค์อาคารรับแรงด้านข้าง (In-plane discontinuity in vertical lateral-force-resisting element)

โครงสร้างที่มีรูปลักษณะขององค์อาคารรับแรงด้านข้างไม่ต่อเนื่องคือ ระยะเยื้องในแนวดิ่งในระนาบขององค์อาคารรับแรงด้านข้างมีค่ามากกว่าความยาวขององค์อาคารนั้น

แบบที่ 5 ความไม่ต่อเนื่องของกำลังต้านทาน (Discontinuity in capacity-Weak story)

โครงสร้างที่มีชั้นอ่อนแอบางชั้นคือ เสาอาคารหรือโครงสร้างที่ออกแบบให้รับแรงกระทำด้านข้างมีกำลังรับแรงเฉือนน้อยกว่า 80% ของกำลังรับแรงเฉือนของเสาที่อยู่เหนือขึ้นไป

ข) อาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอในผังอาคาร (Plan Sturctural Irregularities)

แบบที่ 1 ความไม่สม่ำเสมอเนื่องจากการบิดตัว (Torsional Irregularity)

ความไม่สม่ำเสมอแบบนี้เกิดขึ้นเฉพาะกรณีของแผ่นพื้นแบบแข็งเกร็ง (rigid diaphragm) เนื่องจากค่าการโยกตัวของชั้น (Story drift) สูงสุดที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งของโครงสร้างมีค่ามากกว่า 1.2 เท่าของค่าเฉลี่ยของการโยกตัวของโครงสร้าง

แบบที่ 2 อาคารมีส่วนเว้าหรือมีส่วนตัดที่มุม (Reentrant corners)

เมื่อบางส่วนของโครงสร้างมีส่วนเว้าหรือมีส่วนตัดที่มุมของอาคารมากกว่า 15% ของขนาดความยาวของผังอาคารส่วนนั้น

แบบที่ 3 แผ่นพื้นที่ไม่สม่ำเสมอ (Diaphragm discontinuity)

โครงสร้างแผ่นพื้นที่มีค่าสติฟเนสในแผ่นพื้นเดียวกันไม่สม่ำเสมอต่อเนื่องกัน หรือมีช่องเปิดซึ่งมีพื้นที่มากกว่า 50% ของแผ่นพื้นทั้งหมดหรือเมื่อสติฟเนสของแผ่นพื้นเปลี่ยนแปลงไปเกินกว่า 50% ของแผ่นพื้นในชั้นข้างเคียงกัน

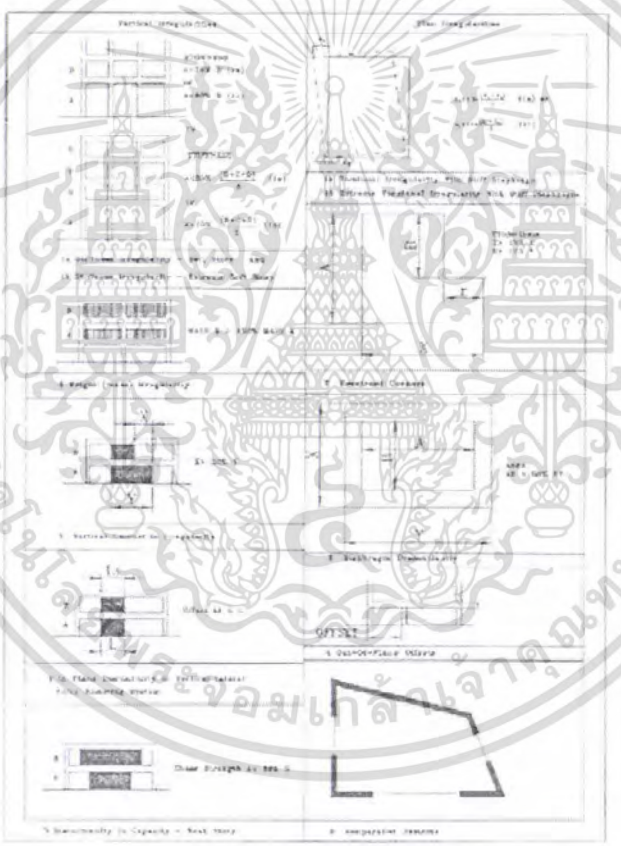
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 4 ผังอาคารยื่นล้ำ (Out-of-plane offsets)

โครงสร้างที่มีผังอาคารบางส่วนยื่นล้ำออกนอกขอบเขตอาคาร ทำให้แรงกระทำด้านข้างจากแรงแผ่นดินไหวแปรเปลี่ยนอย่างไม่ต่อเนื่อง

แบบที่ 5 ระบบโครงสร้างไม่ขนานกัน (Nonparallel systems)

โครงสร้างที่มีองค์อาคารรับแรงทางด้านข้างบางส่วนไม่ขนานกับทิศทางขององค์อาคารรับแรงทางด้านข้างหลัก



รูปที่ 3.2 อาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอตามข้อกำหนด UBC1997 และ NEHRP1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ NEHRP-1997 ยังกำหนดการใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่า(ELF) สำหรับอาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอเป็นพิเศษดังนี้

ก) วิธีแรงสถิตเทียบเท่า สามารถใช้กับโครงสร้างอาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอได้ทุกแบบซึ่งอยู่ในกลุ่มการออกแบบ A (Seismic Design Category A)

ข) โครงสร้างอาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอเหล่านี้คือ แบบที่ 2 อาคารที่มีส่วนเว้าที่มุม (Reentrant corners) แบบที่ 3 แผ่นพื้นที่ไม่สม่ำเสมอ (Diaphragm discontinuity) และแบบที่ 4 ผังอาคารยื่นล้ำ (Out-of-plane offsets) ซึ่งอยู่ในกลุ่มการออกแบบ D,E,F (Seismic Design Categories D,E,F) จะต้องเพิ่มแรงออกแบบอีก 25% สำหรับการเชื่อมยึดแผ่นพื้นกับองค์อาคารในแนวดิ่ง

ค) อาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอแบบที่ 5 ระบบโครงสร้างไม่ขนานกัน (Nonparallel systems) ซึ่งอยู่ในกลุ่มการออกแบบ C , D , E , F (Seismic Design Categories C,D,E,F) จะต้องวิเคราะห์แรงกระทำรวมเท่ากับ 100% ของแรงในแนวแกน x บวกกับ 30% ของแรงในแนวแกน y สำหรับกลุ่มการออกแบบ (Seismic Design Categories) แบ่งเป็น 6 กลุ่ม คือ A-F กำหนดใน UBC-1997 ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทเรื่องการออกแบบโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

3.3 ผลกระทบต่ออาคารรูปทรงไม่สม่ำเสมอ (Effects of Configuration Irregularities)

3.3.1 อาคารที่มีส่วนเว้าหรือมีส่วนตัดที่มุม (Reentrant corners)

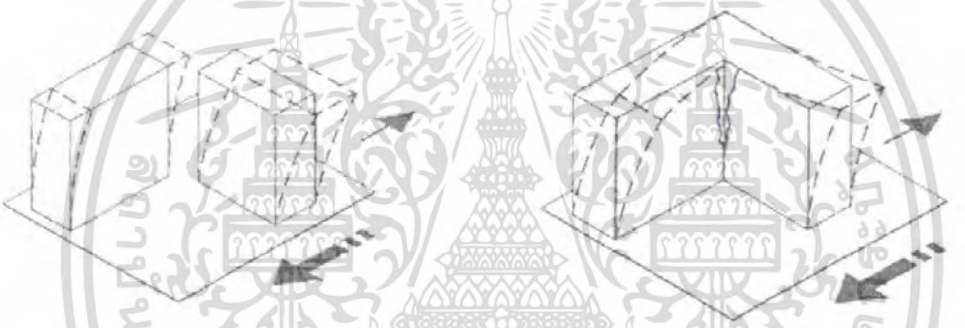
อาคารที่มีส่วนเว้าหรือมีส่วนตัดที่มุมจะมีรูปร่างแบบ L , T , H หรือเป็นการรวมกันของแบบเหล่านี้ ซึ่งจะมีพฤติกรรมการรับแรงกระทำทางด้านข้างดังแสดงในรูป จะมีปัญหาเกิดขึ้น 2 ประการคือ

1) เนื่องจากชิ้นส่วนทั้งสองนี้มีความแข็งเชิงดัดไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการโก่งตัวไม่เท่าเทียมกัน กล่าวคือ หากมีแรงกระทำในทิศทางแนวเหนือ – ใต้ ชิ้นส่วนที่อยู่ในแนวเหนือ – ใต้ซึ่งมีค่าความแข็งเชิงดัดมากกว่าจะเกิดการโก่งตัวน้อยกว่าชิ้นส่วนที่อยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตกซึ่งมีค่าความแข็งเชิงดัดน้อย จึงส่งผลให้เกิดการวิบัติที่บริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เนื่องจากศูนย์กลางของมวล และศูนย์กลางของความแข็งเชิงตัดไม่ตรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดกระทำต่อปีกอาคาร ทำให้เกิดการวิบัติที่บริเวณรอยต่อได้เช่นกัน ซึ่งความรุนแรงของการวิบัติขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของ

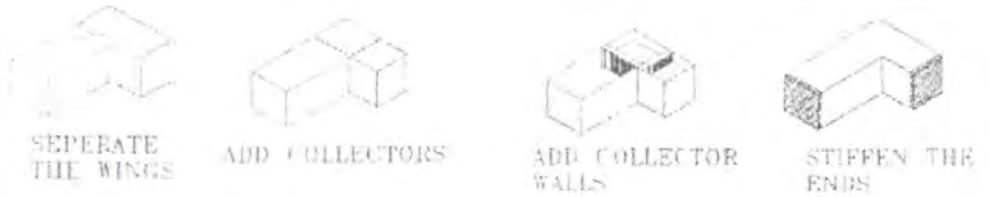
- ขนาดของมวลอาคาร
- ระบบโครงสร้าง
- ความยาวของปีกอาคารและค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความหนาของปีกอาคาร
- ความสูงของปีกอาคารและค่าอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความลึกของปีกอาคาร



รูปที่ 3.3 พฤติกรรมการรับแรงกระทำทางด้านข้างของอาคารรูปทรง L

วิธีแก้ปัญหาอาจกระทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรกเป็นการแยกปีกอาคารให้เป็นอิสระออกจากกัน หากใช้วิธีการนี้จะต้องคำนวณค่าการโก่งตัวของอาคารอย่างดี ซึ่งต้องคำนึงถึงกรณีที่ยอดบนของอาคารอาจโยกเอนเข้าหากันได้ จึงต้องเผื่อระยะห่างของอาคารให้เพียงพอ ส่วนวิธีที่สองเป็นการเสริมกำลังบริเวณรอยต่อของปีกอาคาร ซึ่งกระทำได้หลายแบบดังแสดงในรูปที่ 3.4 ส่วนการเสริมกำลังแบบรูปที่ 3.5 เป็นการลดทอนหน่วยแรงในลักษณะเป็นบ่ารองรับมุมตัด ซึ่งคล้ายกับการลดหน่วยแรงในคานซึ่งมีช่องเปิดภายในเป็นมุมตัดฉาก โดยการปรับขอบของช่องเปิดให้กลมมนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การแก้ปัญหาของอาคารรูปทรง L

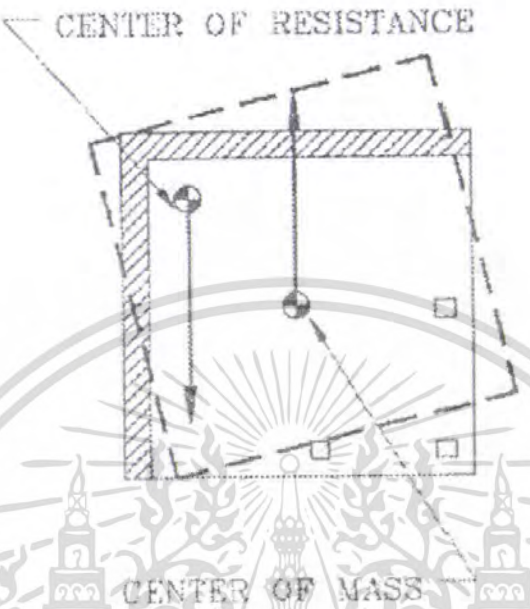
รูปที่ 3.5 การแก้ปัญหาของอาคารรูปทรง L โดยการเพิ่มผ่ารองรับมุมตัดคล้ายกับช่องเปิดในคาน

3.3.2 อาคารที่มีการแปรเปลี่ยนค่ากำลังและสติฟเนสที่ขอบอาคาร
(Variation in Perimeter Strength and Stiffness)

ในกรณีที่โครงสร้างอาคารมีการจัดวางกำแพงในการรับแรงกระทำทางด้านข้างอยู่ที่ขอบใดขอบหนึ่งของอาคาร จะทำให้ตำแหน่งศูนย์กลางมวลของอาคารไม่ตรงกับตำแหน่งศูนย์กลางของแรงต้านทานได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เนื่องจากแรงกระทำจากแผ่นดินไหวจะกระทำตรงตำแหน่งศูนย์กลางมวลของอาคาร จึงส่งผลให้เกิดแรงบิดกระทำต่ออาคารรอบจุดศูนย์กลางของแรงต้านทาน

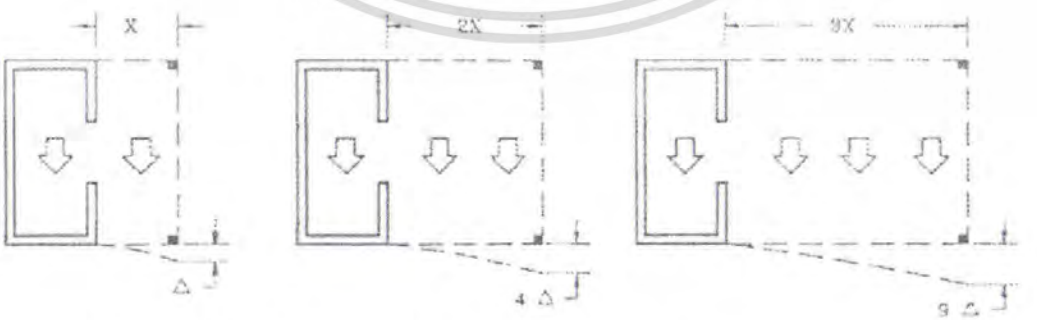
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.6 การเกิดแรงบิดเนื่องจากศูนย์กลางมวลของอาคารไม่ตรงกับศูนย์กลางมวลของแรงต้านทาน

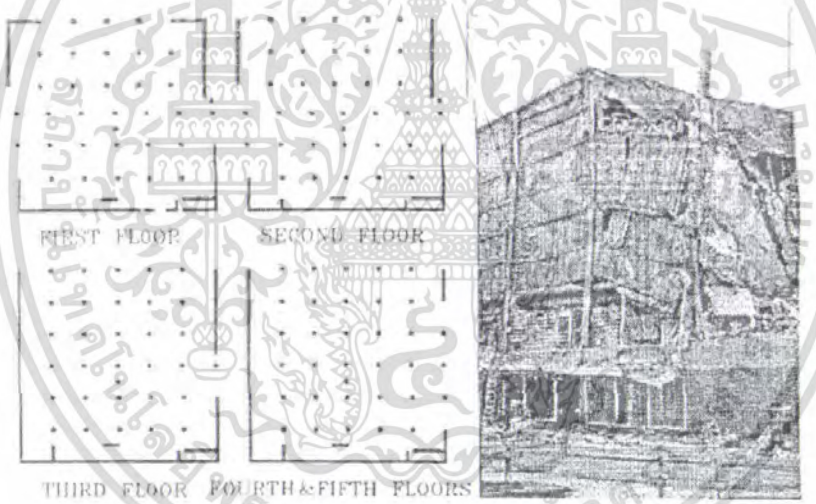
ในกรณีที่โครงสร้างมีการจัดวางผนังรับแรงเฉือนอยู่ตรงขอบอาคาร และขนาดความยาวของอาคารต่างกันดังแสดงในรูปที่ 3.7 ขนาดของแรงบิดจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความยาวของอาคาร เนื่องจากระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของมวลและศูนย์กลางของแรงต้านทานเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ค่าการโก่งตัวจากแรงบิดที่ปลายของอาคารจะเป็นสัดส่วนกับค่ากำลังสองของความยาวอาคาร



รูปที่ 3.7 การโก่งตัวเนื่องจากแรงบิดเป็นสัดส่วนกับค่ากำลังสองของความยาวอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
83306

ตัวอย่างที่เห็นเรื่องความเสียหายจากการบิดตัวได้ชัดเจน เป็นอาคารห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่งในรัฐอลาสกา สหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีความสูง 5 ชั้นและมีผังอาคารดังในรูป 3.8 ผนังโดยรอบอาคารประกอบด้วยคอนกรีตหล่อในที่ คอนกรีตบล็อก และชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ซึ่งมีน้ำหนักมาก แต่รับหน่วยแรงอัดได้น้อย อาคารชั้นล่างมีผนังกำแพงรับแรงเฉือนที่มุมทั้งสี่ด้าน ชั้นบนถัดขึ้นไปมีช่องเปิดขนาดใหญ่ด้านทิศเหนือ ทำให้มีรูปร่างแบบ U-shape ซึ่งจุดศูนย์กลางของแรงต้านทานทางด้านข้าง (center of resistance) จะอยู่ค่อนมาทางด้านทิศใต้ เมื่อเกิดแรงแผ่นดินไหวกระทำในทิศตะวันออก-ตะวันตก กระทำที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลซึ่งอยู่ตรงกลาง ทำให้เกิดแรงบิดกระทำต่อตัวอาคารมาก และอาคารนี้เกิดความเสียหายอย่างมากจนเกือบจะพังทลายในเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อปี ค.ศ. 1964



รูปที่ 3.8 ผังอาคารห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่งในรัฐอลาสกา สหรัฐอเมริกา มีการจัดตำแหน่งของกำแพงที่ขอบอาคารไม่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

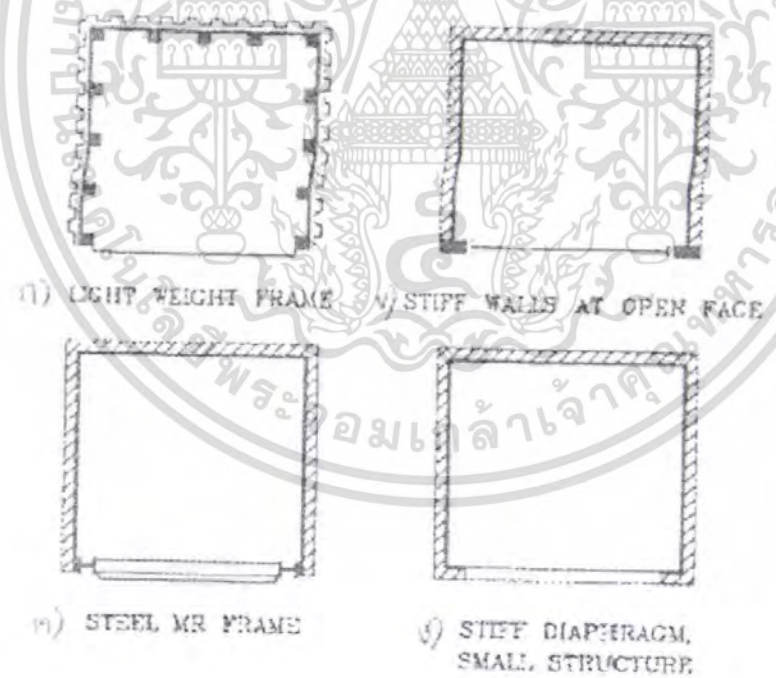
วิธีการแก้ปัญหาการบิดของอาคาร จะต้องจัดตำแหน่งกำแพงให้สมดุลเพื่อลดค่าระยะการเยื้องศูนย์ระหว่างจุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางแรงต้านทาน ซึ่งอาจกระทำได้หลายวิธีคือ

ก) การออกแบบโครงสร้างเป็นโครงข้อแข็งซึ่ง มีกำลังและสติฟเนสใกล้เคียงกันจัดวางโดยรอบอาคาร ทดแทนผนังกำแพงรับแรงเฉือนเดิม สำหรับผนังอาคารใหม่อาจใช้วัสดุผนังมวลเบาซึ่งไม่มีส่วนร่วมในการรับแรงต้านทานทางด้านข้าง

ข) การเพิ่มค่าสติฟเนสของช่องเปิด โดยการเพิ่มผนังกำแพงรับแรงเฉือนที่บริเวณช่องเปิด ดังแสดงในรูปที่ 3.9ข

ค) การเสริมกำลังที่ช่องเปิดด้วยโครงสร้างเหล็กต้านทานโมเมนต์หรือใช้โครงเหล็กค้ำยัน ซึ่งจะช่วยให้กำแพงมีลักษณะเป็นแบบผนังทึบโดยรอบ ดังแสดงในรูป 3.9ค

ง) การออกแบบให้โครงสร้างสามารถต้านทานแรงบิดได้ ซึ่งเหมาะกับโครงสร้างขนาดเล็กซึ่งค่าแรงบิดไม่มากเกินไป โดยการออกแบบแผ่นพื้นให้แข็งขึ้นและรวมพฤติกรรมการรับแรงของแผ่นพื้นและผนังกำแพงเข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.9ง



รูปที่ 3.9 การแก้ปัญหาแรงบิดที่กระทำต่ออาคารที่มีช่องเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 อาคารที่มีชั้นอ่อนและชั้นอ่อนแอ (Soft and Weak Stories)

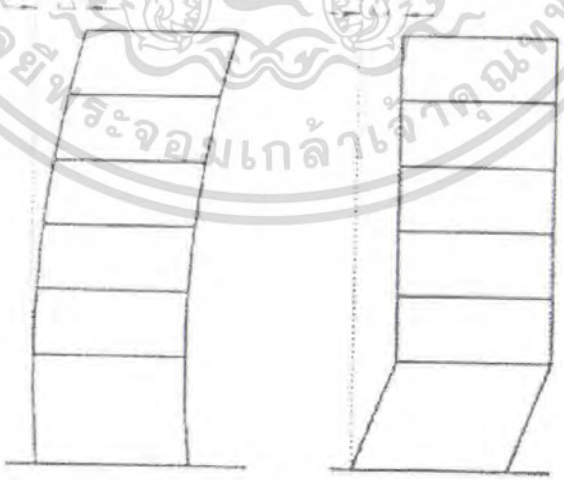
อาคารที่มีชั้นอ่อนหมายถึงเสาในชั้นนั้นมีการลดค่าสติฟเนส น้อยลงกว่าเสาที่อยู่ชั้นบนถัดขึ้นไปมาก ส่วนอาคารที่มีชั้นอ่อนแอหมายถึงเสาในชั้นนั้นมีค่ากำลังการรับแรงทางด้านขาง (Strength) ลดน้อยลงกว่าเสาที่อยู่ชั้นถัดขึ้นไปมาก สภาพของอาคารเหล่านี้อาจเกิดขึ้นบนระดับชั้นใดก็ได้ แต่การวิบัติอย่างรุนแรงจะเกิดขึ้นในกรณีสำหรับเสาชั้นล่างสุด เนื่องจากแรงเฉือนที่ฐานมีค่ามาก หากอาคารแต่ละชั้นมีค่ากำลังและสติฟเนสเท่าเทียมกันทุกชั้น ค่าการโก่งตัวของอาคารจะกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความสูงของอาคาร แต่ถ้าหากเสาชั้นล่างนี้จะมีค่ามากและผลที่ตามมาคือเกิดแรงกระทำที่ระดับรอยต่อเสาชั้นที่สองเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 3.10

การเกิดชั้นอ่อนอาจเกิดจากสาเหตุเหล่านี้ คือ

ก) ระดับความสูงของชั้นล่างมีค่าความสูงมากกว่าระดับชั้นบนมาก ทำให้ชั้นล่างมีค่าสติฟเนสน้อยและค่าโก่งตัวสูงดังแสดงในรูปที่ 3.11ก

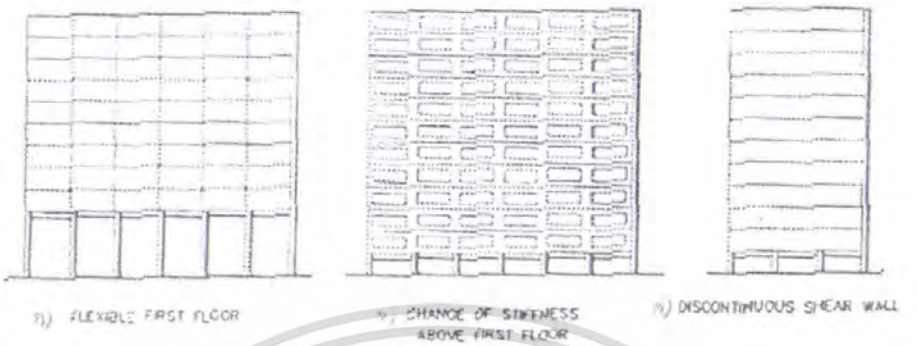
ข) เสาชั้นที่สองมีการเปลี่ยนค่าสติฟเนสเป็นอย่างมาก แม้ว่าค่าระดับความสูงของแต่ละชั้นจะเท่ากันก็ตาม เนื่องจากใช้วัสดุที่แตกต่างไปจากชั้นล่าง อาทิเช่น การใช้ชิ้นส่วนเสาหล่อสำเร็จขนาดใหญ่เหนือตั้งแต่ชั้นสองขึ้นไปดังแสดงในรูปที่ 3.11ข

ค) การใช้แผ่นผนังกำแพงเป็นองค์อาคารรับแรงเฉือนอย่างไม่ต่อเนื่อง คือใช้ไม่ตลอดไปถึงฐานราก



รูปที่ 3.10 ผลกระทบของชั้นอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 รูปแบบของการเกิดชั้นอ่อน

ปัญหาเหล่านี้เกิดจากการจัดรูปแบบและประโยชน์ใช้สอยของอาคารตามการออกแบบทางสถาปัตยกรรม ลักษณะนี้จึงต้องมีการแก้ไขปัญหาร่วมกันระหว่างวิศวกรและสถาปนิก อาทิเช่น ในกรณีที่ระดับชั้นล่างยังคงต้องการรักษาความสูงไว้ อาจหาทางแก้ไขได้หลายวิธีคือ

ก) เพิ่มค้ำยันเสริมค่าสติฟเนสของเสาไปจนถึงระดับชั้นบน

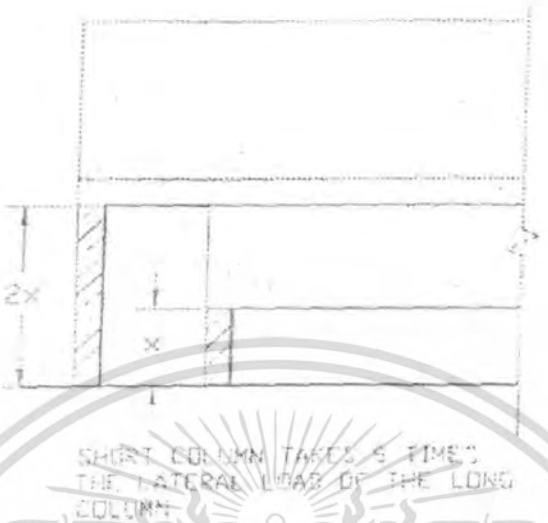
ข) เพิ่มจำนวนเสาที่ชั้นล่างเพื่อเสริมค่าสติฟเนสของเสา

ค) เปลี่ยนรูปแบบของเสาชั้นล่างเพื่อออกแบบให้มีค่าสติฟเนสเพิ่มมากขึ้น

3.3.4 อาคารที่มีสติฟเนสของเสาแปรเปลี่ยนและเสาอ่อน-คานแข็งแรง (Variation of Colume Stiffness and Weak Column-Strong Beam)

อาคารที่มีสติฟเนสของเสาแปรเปลี่ยนหมายถึง ในชั้นเดียวกัน ความยาวของเสาอาจไม่เท่ากันเนื่องจากมีแผ่นผนังเชื่อมต่อเสาไม่ตลอดทุกต้นเนื่องจากแรงกระทำด้านข้างจากแรงแผ่นดินไหวกระจายเป็นสัดส่วนกับค่าสติฟเนสของเสา ดังนั้นหากเสามีค่าสติฟเนสไม่เท่ากัน เสาที่แข็งกว่าจะรองรับแรงกระทำทางด้านข้างได้มากกว่า เนื่องจากค่าสติฟเนสแปรผกผันกับความยาวของเสายกกำลังสาม (h^3) ดังนั้นเสาที่สั้นกว่า (x) จะรองรับแรงกระทำทางด้านข้างเป็น $2^3 = 8$ เท่าของเสายาว 2x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ผลกระทบของการเปลี่ยนค่าสติฟเนสของเสา

ส่วนอาคารที่มีเสาอ่อน-คานแข็งแรง หมายถึงการที่คานเชื่อมระหว่างเสามีขนาดลึกและแข็งมากกว่าเสา ทำให้เสามีความอ่อนแอกว่าคานมาก การออกแบบอย่างนี้ขัดกับหลักการของการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว ซึ่งจะต้องออกแบบให้คานมีการโก่งตัวแบบไม่ยืดหยุ่นก่อนเสา โดยมีหลักการว่า ขณะที่คานโก่งตัวจากจุดอิลาสติกไปยังจุดอินอิลาสติก จะมีการดูดซับและกระจายพลังงานแผ่นดินไหวที่ปลายคานบริเวณรอยต่อระหว่างคานและเสา เมื่อคานค่อยๆ โก่งตัวลงในช่วงอินอิลาสติก ในขณะเดียวกันอาคารจะมีการโยกตัวแบบอิลาสติก ทำให้โครงสร้างอาคารยังคงสภาพอยู่ได้ด้วยเสาที่รองรับอยู่ แต่ถ้าหากมีการยอมให้เสาโก่งตัวแบบไม่ยืดหยุ่นก่อนคาน เสาจะเกิดการโก่งเดาะและน้ำหนักบรรทุกที่กดเสาจะทำให้เสาอาคารพังทลายได้เร็วยิ่งขึ้น

การแก้ไขอาคารที่มีสติฟเนสของเสาแปรเปลี่ยนอาจเสริมค้ำยันทางด้านข้างในแนวราบที่เสาต้นยาว เพื่อทำให้สติฟเนสของเสาสมดุลกัน ส่วนกรณีที่มีเสาอ่อน - คานแข็งแรง จะต้องมีการออกแบบเสริมขนาดเสาให้มีการรับกำลังมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ระบบของโครงสร้าง (Structural system)

ระบบโครงสร้างที่เหมาะสมในการออกแบบคือ จะต้องสามารถต้านทานแรงกระทำทางด้านข้างได้โดยไม่มีการดก่งตัวมากเกินไป และสามารถโยกตัวไปมาได้อย่างเหนียวแน่นโดยไม่พังทลาย หลักในการเลือกระบบโครงสร้างที่ดี มีดังนี้

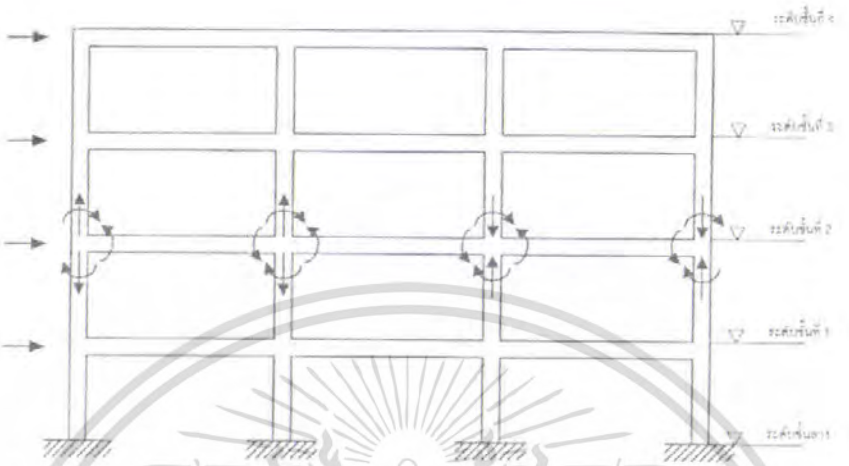
- โครงสร้างมีความเรียบง่าย สมมาตร และมีความสม่ำเสมอในผังอาคารและในแนวดิ่ง
- โครงสร้างสามารถต้านทานแรงกระทำทางด้านข้างได้ทั้งสองทิศทางหลักที่ตั้งฉากกัน
- โครงสร้างสามารถต้านทานแรงบิดได้
- พื้นอาคารสามารถต้านแรงกระทำทางด้านข้างได้
- ฐานรากสามารถต้านแรงระทำทางด้านข้างได้

สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

ก) ระบบโครงข้อแข็ง (Rigid Frame system)

ระบบโครงสร้างโครงข้อแข็ง เป็นการออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกคงที่น้ำหนักบรรทุกจร และแรงกระทำทางด้านข้างจากแผ่นดินไหวได้ โดยมีการออกแบบให้รอยต่อระหว่างเสา - คานมีความเหนียวเพียงพอต่อพฤติกรรมการรับแรงแบบอินอิลาสติก ซึ่งจะต้องใช้การออกแบบโดยหลักการเสาแข็งแรง-คานอ่อน โครงข้อแข็งมีลักษณะการออกแบบที่สำคัญคือบริเวณข้อต่อของเสาและคานจะได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทาน โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อขององค์อาคารได้ และมีการออกแบบให้ยึดเชื่อมกันอย่างดี ค่าสติฟเนสของโครงข้อแข็งซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการรับแรงกระทำทางด้านข้างจะขึ้นอยู่กับค่าสติฟเนสของเสา คาน และการเชื่อมยึดบริเวณข้อต่อของเสาและคานนี้ ข้อดีของโครงสร้างระบบนี้คือ ไม่มีโครงสร้างค้ำยันกีดขวาง ทำให้มีความอิสระในการวางผังภายใน การจัดตำแหน่งประตู หน้าต่าง ทำได้โดยง่าย โดยทั่วไปหากจัดระยะความกว้างของช่วงเสาของโครงสร้างระหว่าง 6.0-9.0 เมตร โครงข้อแข็งนี้จะให้ความประหยัดในการก่อสร้างอาคารสำหรับช่วงความสูงไม่เกิน 25 ชั้น แต่ถ้าหากอาคารสูงเกินกว่านี้แล้ว โครงสร้างประเภทนี้มักจะมีค่าเฟล็กซิบิลิตีทางด้านข้าง (Lateral Flexibility) ที่สูงมาก ทำให้ต้องเพิ่มขนาดองค์อาคารให้ใหญ่ขึ้นมาก เพื่อควบคุมระยะโยกไหว (Lateral drift) ไม่ให้เกินค่าที่กำหนด โครงข้อแข็งนี้แสดงในรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ระบบโครงสร้างโครงข้อแข็ง

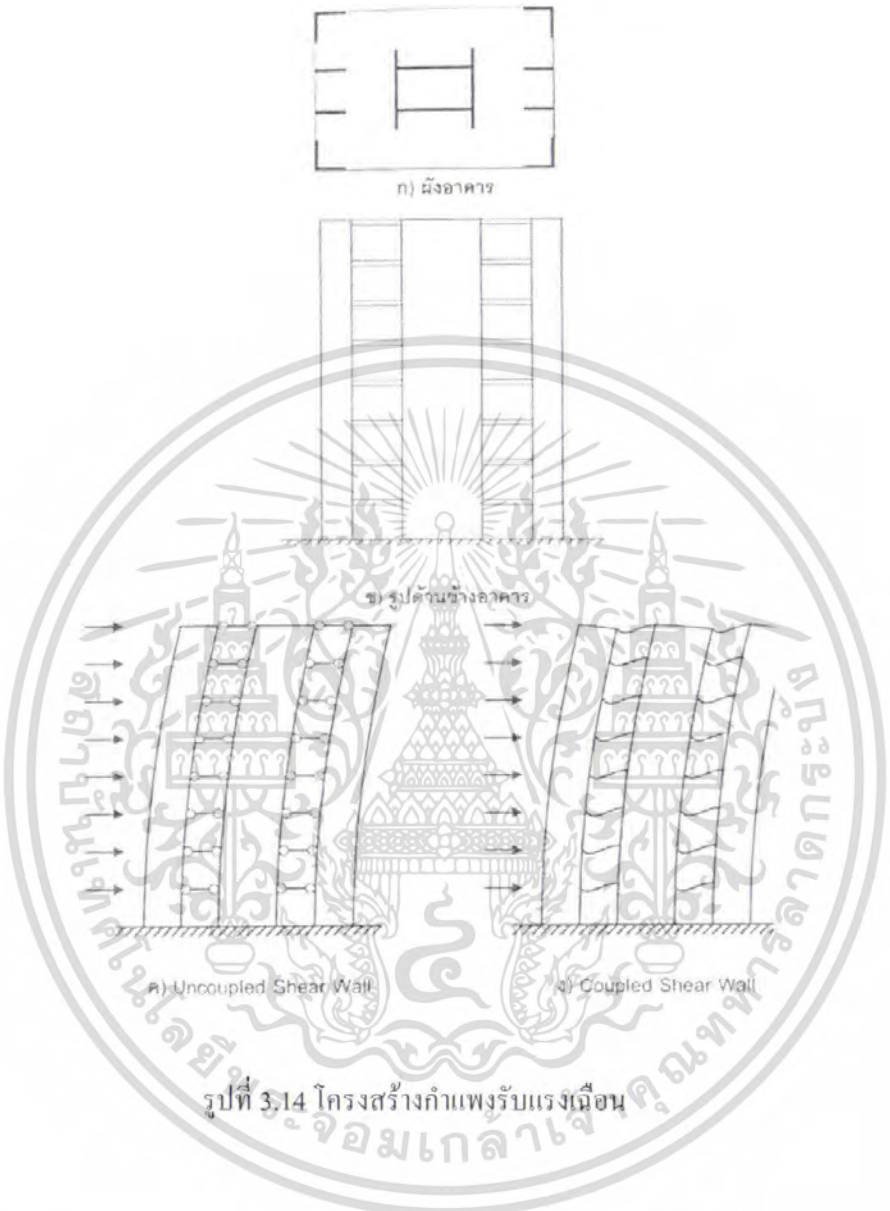
การก่อสร้างโครงข้อแข็งนี้เหมาะสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เนื่องจากการยึดต่อขององค์อาคารมีความแข็งเกร็งที่ดีมาก สำหรับอาคารโครงสร้างเหล็ก การทำรอยต่อให้ดีสามารถต้านทานโมเมนต์ได้จะมีราคาแพง

ในการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในองค์อาคารของโครงข้อแข็ง เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งนั้น จะเกิดโมเมนต์ลบ (negative moment) ที่คานตรงตำแหน่งใกล้เสา จึงเป็นการลดค่าโมเมนต์บวก (positive moment) ที่กึ่งกลางคานทำให้ค่าโมเมนต์บวกนี้น้อยกว่าค่าที่เกิดในคานช่วงเดียว

ข) ระบบกำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall system)

ได้แก่ ระบบกำแพงที่มีการออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงกระทำทางด้านข้างจากแผ่นดินไหวได้ โดยกำแพงอาจออกแบบให้มีพฤติกรรมแบบอิสระ (uncoupled) หรือเป็นแบบพฤติกรรมควบคู่ (coupled) ซึ่งพิจารณาคานเป็นตัวเชื่อมระหว่างกำแพงก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

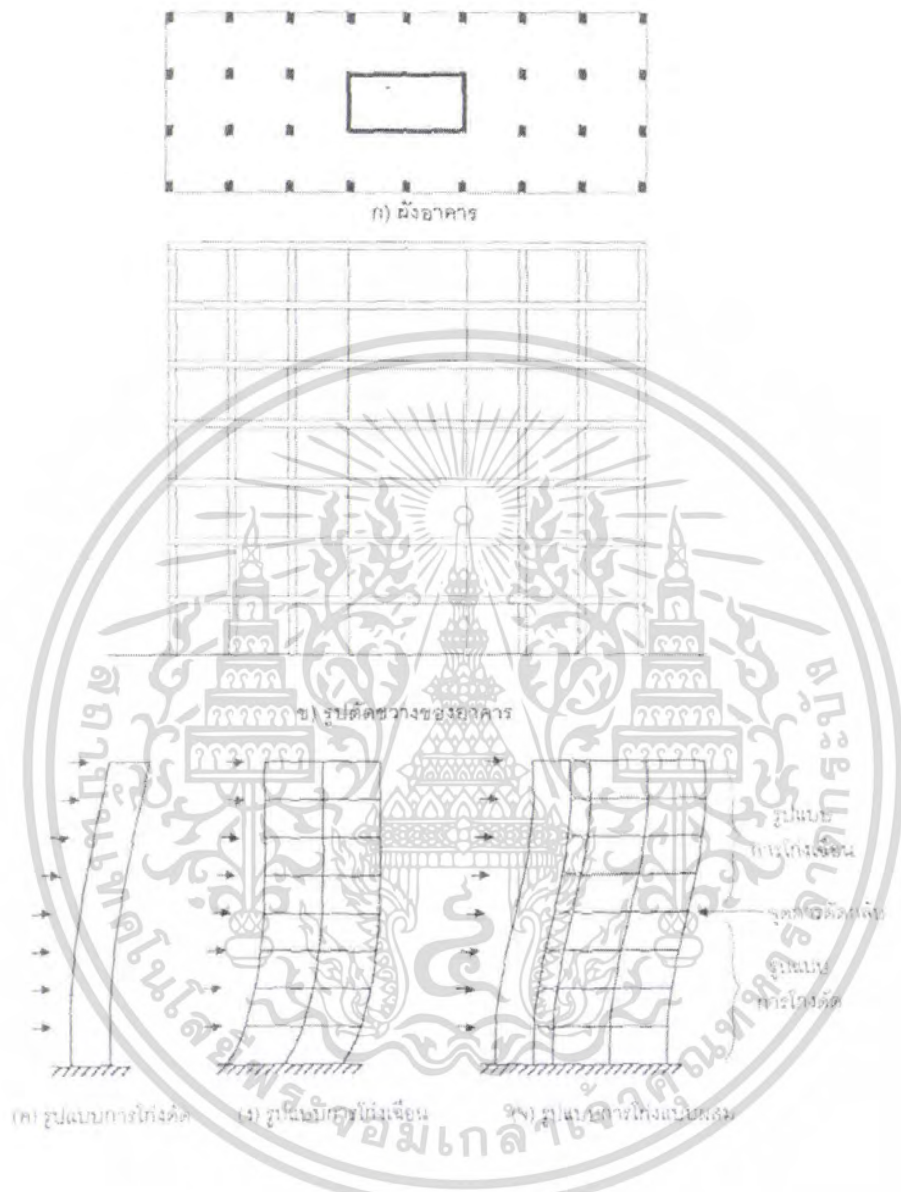


รูปที่ 3.14 โครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือน

ค) ระบบโครงข้อแข็ง-กำแพงรับแรงเฉือน (Frame-Shear Wall or dual system)

ได้แก่ ระบบโครงสร้างที่มีโครงข้อแข็งและกำแพงรับแรงเฉือนทำหน้าที่รับแรงร่วมกัน เพื่อรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงกระทำทางด้านข้างจากแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 โครงสร้างโครงข้อแข็ง - กำแพงรับแรงเฉือน

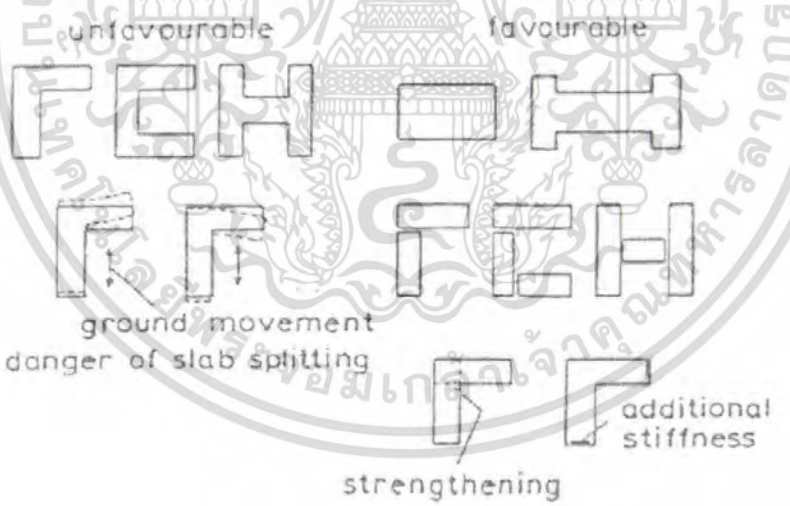
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างระบบนี้เป็นการรวมโครงข้อแข็งและกำแพงรับแรงเฉือนเข้าด้วยกัน โดยกำแพงมีพฤติกรรมการโก่งตัวในรูปแบบการดัด (flexural configuration) และโครงข้อแข็งจะมีการโก่งตัวในรูปแบบการเฉือน (Shear mode) ดังนั้นระบบโครงข้อแข็งและผนังกำแพงจะมีพฤติกรรมการรับแรงร่วมกันโดยให้โครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น สามารถออกแบบก่อสร้างอาคารได้สูงกว่าระบบโครงข้อแข้งหรือโครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือนอย่างเดียว โครงสร้างระบบนี้สามารถออกแบบและก่อสร้างได้สูงถึง 40-60 ชั้น

3.5 ข้อเสนอแนะในการเลือกรูปร่างโครงสร้างอาคาร

ในการเลือกรูปร่างโครงสร้างอาคารที่ดี ควรเลือกอาคารที่มีลักษณะดังนี้

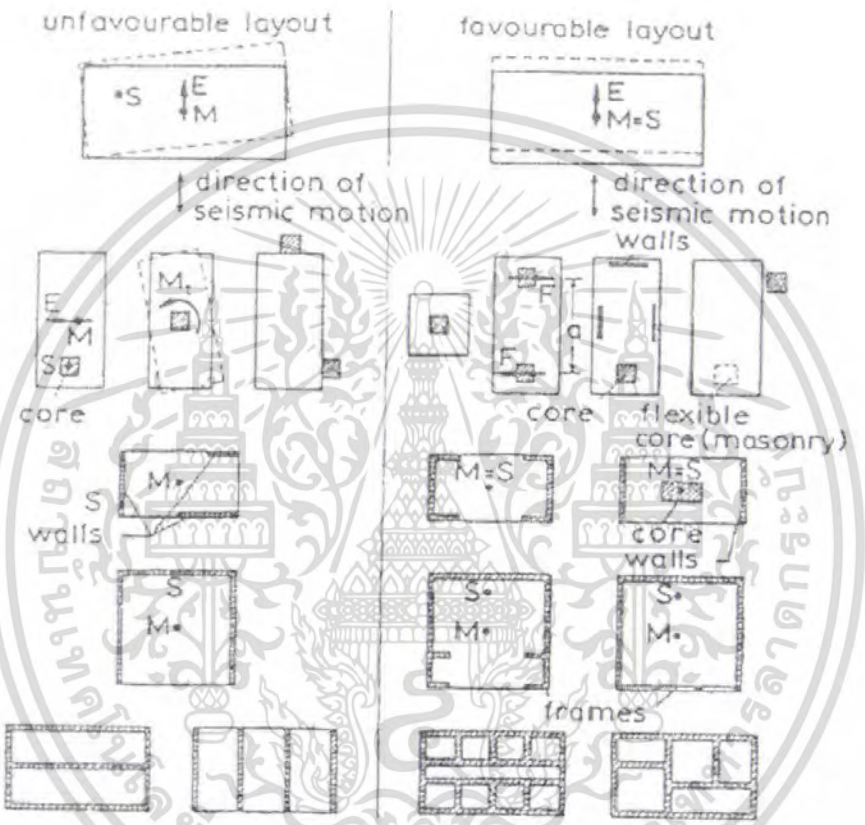
ก) เลือกอาคารที่มีความสม่ำเสมอในส่วนผังและแนวดิ่ง ควรหลีกเลี่ยงรูปแบบอาคารที่มีส่วนเว้าหรือมีส่วนตัดที่มุม (Reentrant corners) อาจเกิดหน่วยแรงที่จุดใดจุดหนึ่งมากเป็นพิเศษได้หากหลีกเลี่ยงอาคารรูปทรงแบบนี้ไม่ได้ จะต้องมีการออกแบบแก้ไขเป็นพิเศษ ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 รูปแบบแรงขาคณิตในผังอาคารที่ดีและไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) เลือกอาคารที่มีองค์อาคารต้านทานแรงทางด้านข้างกระจายสม่ำเสมอ นั่นคือ อาคารที่มีตำแหน่งจุดศูนย์กลางของความแข็งเชิงดัดใกล้เคียงกันกับจุดศูนย์กลางของมวล เพื่อลดการเกิดแรงบิดจากแรงกระทำทางด้านข้างที่เยื้องศูนย์จากตำแหน่งของแรงต้านทาน ดังแสดงในรูปที่ 3.17

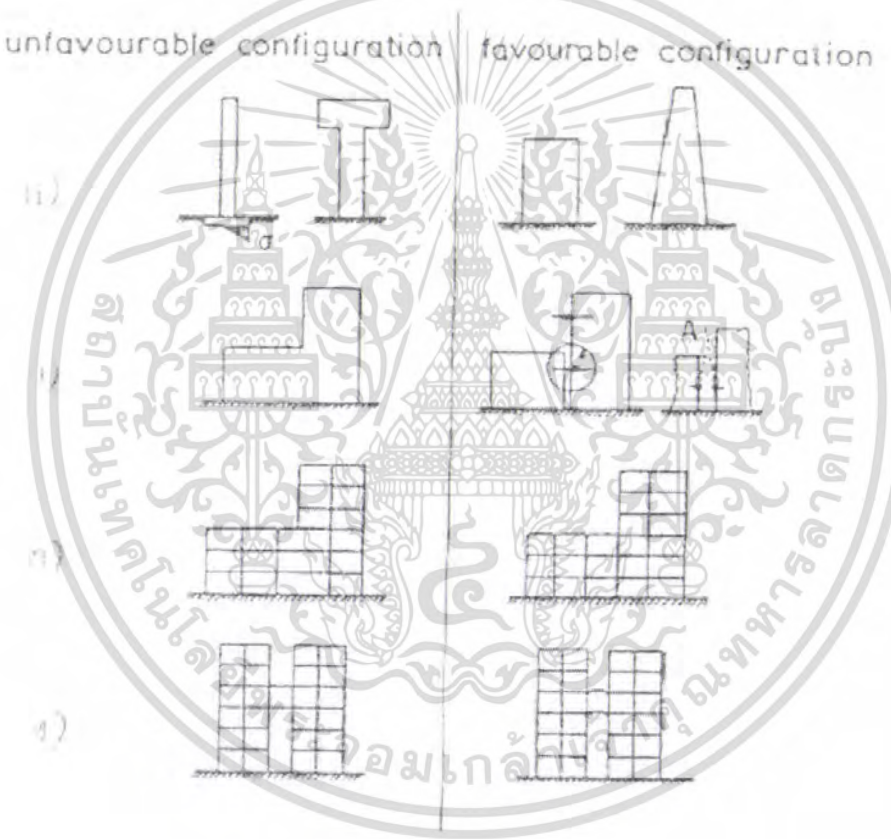


รูปที่ 3.17 รูปแบบอาคารที่มีการกระจายตัวของมวลและสติฟเนสที่ดีและไม่ดี

ค) เลือกอาคารที่มีความสม่ำเสมอในแนวดิ่ง และมีความต่อเนื่องขององค์อาคารต้านทานแรงทางด้านข้าง จากรูปที่ 3.18ก โครงสร้างที่มีชั้นล่างฐานกว้างและค่อยๆแคบลงเมื่อมีความสูงขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะแบบหอคอย จะมีความมั่นคงมากกว่าโครงสร้างที่มีส่วนยอดกว้าง (เป็นลักษณะแบบหอถังน้ำ) กรณีสำหรับรูปที่ 3.18ข เป็นอาคารที่ประกอบด้วยส่วนอาคารเตี้ย (podium) และส่วนอาคารสูง (tower) อันมีความสูงแตกต่างกันมาก เนื่องจากค่าการโก่งตัวของอาคารส่วนอาคารสูง (tower) มากกว่าส่วนอาคารเตี้ย (podium) ทำให้เกิดแรงดึงบริเวณรอยต่อระหว่างอาคารส่วนสูงและเตี้ย ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

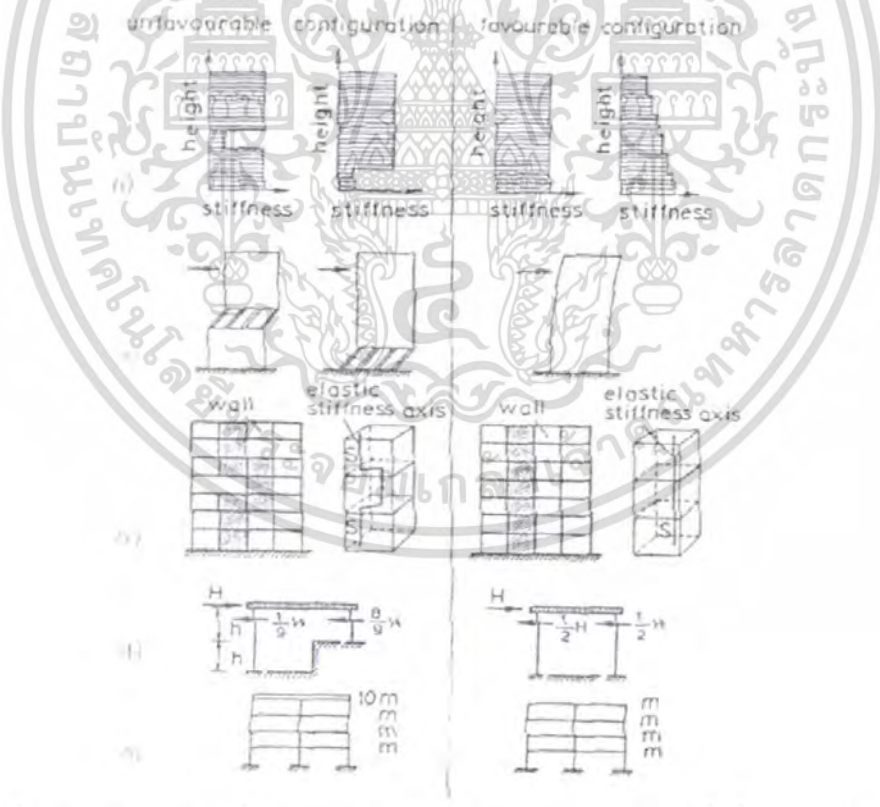
กรณีสำหรับรูปที่ 3.18ค เสาอาคารซึ่งเป็นส่วนรับแรงกระทำทางด้านข้างไม่ต่อเนื่องไปยังฐาน ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนสในแนวดิ่ง ส่วนในกรณีสำหรับรูปที่ 3.18ง อาคารประกอบด้วยส่วนอาคารสูงแฝดสองหลัง (Twin Towers) เชื่อมด้วยคาน ลักษณะนี้จะเกิดโมเมนต์ดัดในคานเชื่อมมากเนื่องจากต้องถ่ายแรงในการสมดุลค่าการโยกตัวของอาคารทั้งสอง ซึ่งอาจโยกตัวไปในทิศทางเดียวกันหรือตรงข้ามกันก็ได้ จุดต่อระหว่างคานเชื่อมกับเสาอาคารควรเป็นข้อหมุนเพื่อลดโมเมนต์ดัดในคาน และทำให้เกิดการถ่ายแรงในแนวแกนได้อย่างเดียว



รูปที่ 3.18 รูปทรงอาคารในแนวดิ่งที่มีลักษณะดีและไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

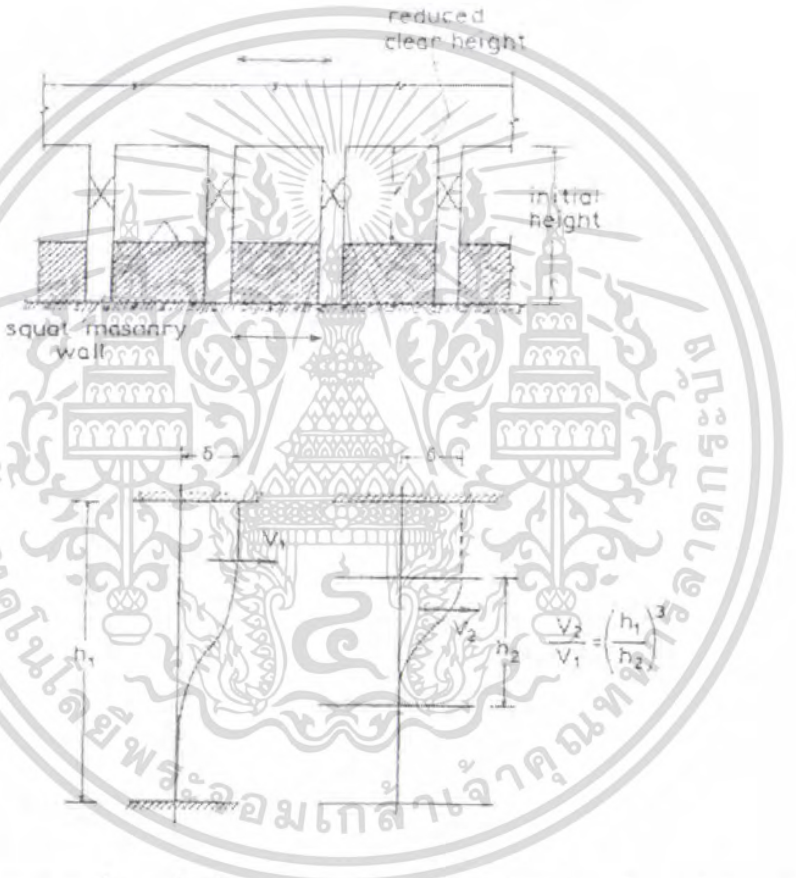
ง) เลือกอาคารที่มีค่าสติฟเนสและมวลสม่ำเสมอในแนวดิ่ง อาคารที่มีค่าสติฟเนสเท่ากันสม่ำเสมอตลอดความสูงของอาคารหรือมีการลดค่าสติฟเนสเมื่อความสูงของอาคารมากขึ้น จะมีความมั่นคงมากกว่าอาคารที่มีสติฟเนสในชั้นใดชั้นหนึ่งลดน้อยกว่าในชั้นถัดขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 3.19ก-ข เนื่องจากอาคารที่มีค่าสติฟเนสไม่สม่ำเสมอเหล่านี้มีโอกาสเกิดการวิบัติแบบชั้นอ่อน (soft story) ได้ สำหรับอาคารที่ประกอบด้วยโครงข้อแข็ง และกำแพงรับแรงเฉือน เป็นรูปแบบที่มีสมรรถนะในการต้านทานแรงกระทำด้านข้างได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 3.19ค กำแพงรับแรงแอนที่ดีควรกระจายตัวในแนวดิ่งแนวเดียวเพื่อให้ค่าสติฟเนสต่อเนื่องตลอดความสูงของอาคาร ควรหลีกเลี่ยงการวางกำแพงเยื้องศูนย์ ซึ่งทำให้เกิดชั้นอ่อนได้ ในกรณีสำหรับรูปที่ 3.19ง ควรออกแบบเสาให้มีความยาวเท่ากัน หากเสายาวต่างกันจะทำให้เสาสั้นต้องรับแรงกระทำทางด้านข้างมากกว่าเสายาว นอกจากนี้หากมวลของอาคารในชั้นใดชั้นหนึ่งมีค่ามากกว่าชั้นอื่นมากดังแสดงในรูปที่ 3.19จ จะทำให้เกิดแรงกระทำทางด้านข้างในชั้นที่มีมวลมาก (10m) สูงกว่าชั้นอื่นได้



รูปที่ 3.19 รูปทรงอาคารที่มีการกระจายของสติฟเนสและมวลในแนวดิ่งที่ดีและไม่ดี

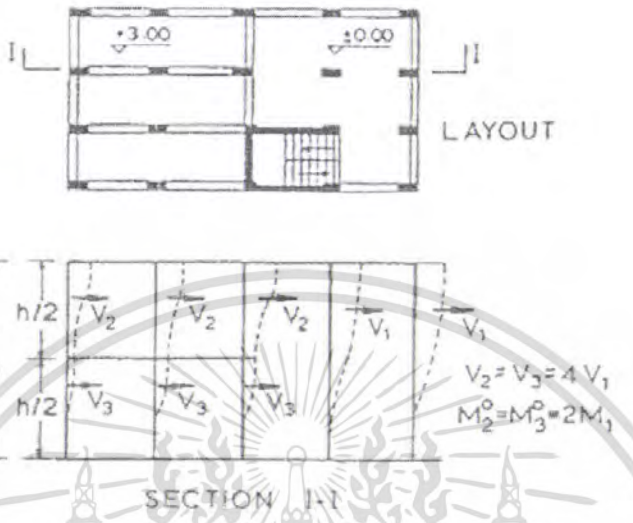
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ) ควรหลีกเลี่ยงการใช้เสาสั้นที่เกิดจากการก่อผนังกำแพงอย่างหนาบางส่วนชิดเสา ดังแสดงในรูปที่ 3.20 เมื่อความสูงของเสาลดลง จะทำให้ค่าสติฟเนสของเสาสูงขึ้น เนื่องจากแรงกระทำต่อเสาแปรผันตามค่าสติฟเนสซึ่งเป็นสัดส่วนกับความสูงยกกำลังสาม ส่งผลให้เสาที่สั้นจะรับแรงมากกว่าเสายาวมาก ในทำนองเดียวกันกับอาคารที่มีชั้นลอยบางส่วนในชั้นเดียวกัน ค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในเสาสั้นที่รับชั้นลอย จะมีค่ามากกว่าเสายาวในชั้นเดียวกันนั้นดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.20 รูปทรงอาคารที่มีเสาสั้นเนื่องจากผนังก่อบางส่วนจะเกิดแรงกระทำมากเป็นพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 อาคารที่มีเสาสั้นเนื่องจากเป็นส่วนของชั้นลอย จะเกิดแรงกระทำมากเป็นพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบอาคารโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

4.1 บทนำ

ข้อกำหนด Uniform Building code ถือหลักการออกแบบว่าจะต้องป้องกันมิให้อาคารพังทลายภายใต้แรงแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ หากแต่ยอมให้โครงสร้างมีความเสียหายในระดับที่ยอมรับได้ ตามหลักการนี้ แรงกระทำทางด้านข้างที่ใช้ในการออกแบบจะกำหนดให้มีค่าต่ำกว่าค่าแรงกระทำที่อาจเกิดขึ้นจากแรงแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ แรงกระทำที่มีค่าเกินกว่าแรงที่ใช้ออกแบบนี้จะรองรับด้วยค่าความเหนียวของโครงสร้าง (Ductility factor , R_μ) ค่ากำลังสำรองของโครงสร้าง (Reserve strength factor , R_s) และค่ากำลังส่วนเกินของโครงสร้าง (Redundancy factor , R_R) ทั้งนี้แรงกระทำทางด้านข้างจาก UBC 1985 และ UBC 1994 เป็นการกำหนดที่ระดับหน่วยแรงใช้งาน (Working stress level) ส่วนแรงกระทำทางด้านข้างจาก UBC 1997 เป็นการกำหนดที่ค่าระดับกำลัง (Strength level) ในการคำนวณออกแบบอาคาร สามารถใช้การออกแบบได้ทั้งวิธีหน่วยแรงปลอดภัย (ASD) และวิธีกำลัง (LRFD) โดยการใช้ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกตามข้อกำหนดการรวมแรงกระทำ ของ ACI 2002 สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือ AISC (1999) สำหรับโครงสร้างเหล็ก

4.2 ข้อกำหนดของ UBC 1985

ข้อกำหนดของกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ.2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร เสนอวิธีการคำนวณแรงเฉือนที่ฐานอาคารตามข้อกำหนดของ UBC1985 ดังนี้

การคำนวณแรงเฉือนที่ฐานอาคาร

แรงเฉือนที่ฐานอาคารโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าคำนวณดังนี้

$$V = ZIKCSW$$

โดยที่ V คือ แรงเฉือนที่ฐานอาคาร

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์อื่นๆมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์ความเข้มแผ่นดินไหว (Z)

ค่าสัมประสิทธิ์ Z แสดงความเสี่ยงภัยของอาคารจากแรงแผ่นดินไหว โดยขึ้นอยู่กับเขตแผ่นดินไหวอันแสดงในแผนที่แบ่งเขตแผ่นดินไหว และมีค่าดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว

เขตความเข้มของแผ่นดินไหว	เขตในแผนที่	ค่า Z	PGA/g
ไม่เสี่ยงภัย	0	0	0
ไม่รุนแรง	1	0.1875	0.075
ปานกลาง	2A	0.375	0.15
ปานกลางค่อนข้างแรง	2B	0.50	0.20
รุนแรง	3	0.75	0.30
รุนแรงมาก	4	1.00	0.40

เมื่อ PGA/g คือ ค่าอัตราเร่งสูงสุดประสิทธิผลของพื้นดินซึ่งมีโอกาสที่ค่าจะเกินไปกว่าที่กำหนดนี้เพียง 10% ในคาบเวลา 50 ปี

เนื่องจาก พื้นที่ซึ่งกฎกระทรวงฉบับที่ 40 บังคับใช้จัดอยู่ในเขต 2A , 2B และเขต 3 ดังนั้นค่า Z จึงกำหนดให้ใช้ตั้งแต่ 0.38 ขึ้นไป

ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร (I)

ค่า I แสดงความสำคัญของอาคารที่แตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน แบ่งดังนี้

ประเภทที่1 อาคารที่จำเป็นต่อสาธารณะชน เป็นอาคารที่มีความจำเป็นต้องใช้ในกรณีฉุกเฉินซึ่งต้องสามารถใช้งานได้ภายหลังเกิดแผ่นดินไหว เช่น โรงพยาบาล สถานีตำรวจดับเพลิง ที่ทำการรัฐบาล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทที่2 อาคารที่มีการใช้งานเป็นพิเศษใช้สำหรับอาคารที่จุคนจำนวนมากกว่า 300 คน เช่น โรงเรียน มหาวิทยาลัย เป็นต้น

ประเภทที่3 อาคารอื่นๆ เป็นอาคารเบ็ดเตล็ดอื่นๆ

ตารางที่ 4.2 ค่าตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร

ชนิดของอาคาร	ค่าของ I
1) อาคารที่จำเป็นต่อสาธารณะชน	1.50
2) อาคารที่มีการใช้งานเป็นพิเศษ	1.25
3) อาคารอื่นๆ	1.00

สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ (K)

ค่าสัมประสิทธิ์นี้เป็นตัวปรับแรงเฉือนที่ฐานตามค่าความเหนียวของระบบโครงสร้างรับแรงกระทำทางด้านข้าง

ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ

ระบบและชนิดของโครงสร้างรับแรงในแนวราบ	ค่าของ K
1) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้กำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงค้ำยันรับแรงทั้งหมดในแนวราบ	1.33
2) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงข้อแข็งซึ่งมีความเหนียว รับแรงทั้งหมดในแนวราบ	0.67
3) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงข้อแข็งซึ่งมีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงค้ำยันต้านแรงในแนวราบ โดยมีข้อกำหนดในการคำนวณออกแบบดังนี้ ก) โครงข้อแข็งซึ่งมีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงในแนวราบทั้งหมด ข) กำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงค้ำยันเมื่อแยกเป็นอิสระจากโครงข้อแข็ง ซึ่งมีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ทั้งหมด	0.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) โครงข้อแข็งซึ่งมีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือน หรือโครงค้ำยันต้องสามารถต้านทานแรงในแนวราบได้ทั้งหมด โดยสัดส่วนของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง แต่ละระบบให้เป็นไปตามสัดส่วนความแข็ง โดยคำนึงถึงการถ่ายเทของแรงระหว่างโครงสร้างทั้งสอง	
4) หอถังน้ำรองรับด้วยเสาไม่น้อยกว่า 4 ต้น มีค้ำยันยึดและไม่ได้ตั้งอยู่บนอาคาร หมายเหตุ ผลคูณระหว่างค่า K กับค่า C ให้ใช้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.12 และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.25	2.5
5) โครงอาคารระบบอื่นๆ นอกจากโครงอาคารตาม 1), 2), 3) หรือ 4)	1.0

สำหรับโครงข้อแข็งซึ่งมีความเหนียว เป็นระบบโครงสร้างซึ่งออกแบบให้สามารถรับแรงกระทำทั้งในแนวดิ่งและแนวราบได้ ในการรับแรงทางด้านข้างอาคารองค์อาคารมีการออกแบบให้จุดต่อมีลักษณะแข็ง เพื่อให้รับโมเมนต์ที่เกิดในเสาและคานได้ โครงสร้างชนิดนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

ก) Ordinary Moment-Resisting Frame (OMRF) เป็นโครงสร้างโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัด ปกติทั่วไป ที่มิได้มีการออกแบบให้โครงสร้างมีความเหนียวเป็นพิเศษ โครงสร้าง OMRF สำหรับโครงสร้างเหล็กใช้ได้กับทุกเขตความเสี่ยงภัย แต่โครงสร้าง OMRF สำหรับค.ส.ล. ใช้สำหรับ Zone 1 ไม่สามารถใช้ได้กับ Zone 2 3 4 ได้

สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก K = 1.5

สำหรับโครงสร้างเหล็ก K = 1.0

ข) Intermediate Moment-Resisting Frame (IMRF) เป็นโครงสร้างโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัด ใช้กับคอนกรีตเสริมเหล็กที่ออกแบบให้โครงสร้างมีความเหนียวปานกลางโดยมีค่า K = 1.0 โครงสร้างนี้ใช้สำหรับ Zone 1 และ 2 ไม่สามารถใช้กับ Zone3 และ 4

ค) Special Moment - Resisting Frame (SMRF) เป็นโครงสร้างโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัดที่มีการออกแบบโครงสร้างให้มีความเหนียวเป็นพิเศษตามมาตรฐานของ UBC ทั้งคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็ก โดยมีค่า K = 0.67 โครงสร้างประเภทนี้ใช้กับ Zone 3 และ 4 ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนโครงข้อแข็งที่มีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือน เป็นระบบโครงสร้างผสมระหว่างโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัดและกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงค้ำยัน ซึ่งระบบโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัดจะต้องออกแบบให้สามารถรับแรงได้อย่างน้อย 25 % ของแรงเฉือนทั้งหมด

สำหรับโครงสร้าง SMRF ร่วมกับ Shear wall K = 0.8

สำหรับโครงสร้าง IMRF ร่วมกับ Shear wall K = 1.0

สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน (C)

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน C มีพื้นฐานการคำนวณมาจากค่า Elastic Design Spectra ดังนั้นจึงแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานอาคารกับค่าการสั่นไหวธรรมชาติ T โดยค่า C คำนวณได้ดังนี้

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

ค่า C ตามสมการให้ใช้ได้ไม่เกิน 0.12 ซึ่งตรงกันกับค่าคาบการสั่นไหวธรรมชาติ T ในช่วงไม่เกิน 0.3 วินาที

คาบการสั่นธรรมชาติของอาคาร(T)

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ C จำเป็นต้องคำนวณหาค่าคาบการสั่นพื้นฐานของอาคารก่อน แต่ค่าคาบการสั่นธรรมชาติของอาคารที่แท้จริงจะยังไม่ทราบ เนื่องจากยังไม่ได้ออกแบบขนาดองค์อาคารเพื่อต้านทานแรงกระทำทางด้านข้าง ดังนั้นข้อกำหนด UBC จึงเสนอสูตรอย่างง่ายเพื่อคำนวณค่าคาบการสั่นธรรมชาติของอาคารดังนี้

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

โดยที่ h_n เป็นความสูงอาคาร , เมตร

D เป็นขนาดของอาคารในทิศทางที่พิจารณาคาบการสั่นธรรมชาติของอาคาร , เมตร

สำหรับโครงข้อแข็งที่มีความเหนียว อาจคำนวณตามสูตร ดังนี้

T = 0.10N

โดยที่ N คือ จำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ในขณะคำนวณการออกแบบอาจมีการปรับค่า T ให้ละเอียดยิ่งขึ้นด้วยสูตร Rayleigh's Formula ดังนี้

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} W_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^{n} f_i \delta_i}}$$

โดยที่ f_i คือ ค่าแรงกระทำด้านข้างที่ระดับชั้น i

W_i คือ น้ำหนักอาคารที่กระทำระดับชั้น i

δ_i คือ ค่าการเคลื่อนที่ของโครงสร้างที่ถูกกระทำโดย f_i

g คือ แรงโน้มถ่วงโลก (เมตร/วินาที^{2})

สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S)

เนื่องจากชั้นดินแต่ละชนิด มีคาบการสั่นธรรมชาติแตกต่างกันไปหากคาบการสั่นธรรมชาติของชั้นดินนั้นสอดคล้องกันกับคาบการสั่นธรรมชาติของอาคาร จะทำให้เกิดปรากฏการณ์กำทอนขึ้นได้ ส่งผลให้อาคารนั้นเกิดการสั่นไหวที่รุนแรงยิ่งขึ้น ค่า S จึงแปรผันตามลักษณะความอ่อนของชั้นดินใน UBC 1985 กำหนดลักษณะของชั้นดิน 3 ประเภท คือ ชั้นหิน ชั้นดินแข็ง และชั้นดินอ่อน โดยมีค่าดังนี้

ตารางที่ 4.4 สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดิน

ลักษณะของชั้นดิน	ค่าของ S
1) หิน (S1)	1.0
2) ดินแข็ง (S2)	1.2
3) ดินอ่อน (S3)	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ลักษณะของชั้นดินต่างๆจำแนกได้ดังนี้

หิน หมายถึง หินทุกลักษณะไม่ว่าจะเป็นหินคล้ายหินเชล หรือเป็นผลิตตามธรรมชาติ จำแนกโดยค่าความเร็วคลื่น Shear wave เกินกว่า 750 เมตร/วินาที หรือดินลักษณะแข็งซึ่งมีความลึกของชั้นดินไม่เกิน 60 เมตร และชนิดของดินที่ทับอยู่เหนือชั้นหินเป็นดินที่มีเสถียรภาพดีเช่น ทราย กรวด หรือดินเหนียวแข็ง

ดินแข็ง หมายถึง ดินลักษณะแข็งซึ่งความลึกของชั้นดินมากกว่า 60 เมตร และชนิดของดินที่ทับอยู่เหนือชั้นหินเป็นดินที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือ ดินเหนียวแข็ง

ดินอ่อน หมายถึง ดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลาง และดินเหนียวแข็งหนามากกว่า 9 เมตร อาจจะมีชั้นทรายคั่นอยู่หรือไม่ก็ได้

ในกรณีที่มีการศึกษาเพื่อหาค่าคาบการสั่นของชั้นดิน Ts มาได้ค่าสัมประสิทธิ์ S สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างคาบการสั่นของโครงสร้างและคาบการสั่นของชั้นดิน ดังนี้

สำหรับ $\frac{T}{T_s} \le 1.0$ $\quad S = 1.0 + \frac{T}{T_s} - 0.5(\frac{T}{T_s})^2 \ge 1.0$

$\frac{T}{T_s} > 1.0$ $\quad S = 1.2 + 0.6\frac{T}{T_s} - 0.3(\frac{T}{T_s})^2 \ge 1.0$

โดยมีข้อจำกัดดังนี้

$0.5 \le T_s \le 2.5$

$T \ge 0.3$

$CS \le 0.14$

เนื่องจากในการคำนวณหาค่า T และ Ts อาจได้ค่าไม่น่าเชื่อถือได้ ดังนั้นวิธีการหาค่า S ดังกล่าว จึงถูกยกเลิกในข้อกำหนด UBC ใหม่

น้ำหนักของตัวอาคาร (W)

โดยทั่วไป ค่า W เป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมดของโครงสร้าง แต่ในบางกรณีจะมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกชนิดอื่นเข้าไปด้วยดังนี้

ก) สำหรับคลังเก็บพัสดุให้เพิ่มน้ำหนักอีก 25 % ของน้ำหนักบรรทุกจร

ข) สำหรับพื้นที่ซึ่งมีการตบแต่งกั้นห้องเป็นส่วนๆ ต้องเพิ่มน้ำหนักอีก 48 กก/ตร.ม.

ค) น้ำหนักของเครื่องมือ เครื่องจักรกลซึ่งติดตั้งถาวรจะต้องรวมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำทางด้านข้างในแต่ละชั้นอาคาร (Fx)

แรงเฉือนที่ฐานอาคาร V สามารถกระจายเป็นแรงกระทำในแต่ละชั้นดังนี้

$F_t = 0.07TV$ (T > 0.7 วินาที)

$= 0$ ($T \leq 0.7$ วินาที)

โดยที่ F_t เป็นแรงกระทำพิเศษที่ยอดอาคาร ซึ่งเป็นค่าที่พิจารณาถึงผลกระทบของ Higher mode ต่อผลตอบสนองของโครงสร้างในช่วงคาบการสั่นธรรมชาติที่ยาว

ส่วนแรงที่เหลือจะกระจายเป็นแรงกระทำทางด้านข้างตลอดความสูงของอาคารดังนี้

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

โดยที่ F_x คือ แรงกระทำทางด้านข้างกระทำอยู่ชั้นอาคาร x

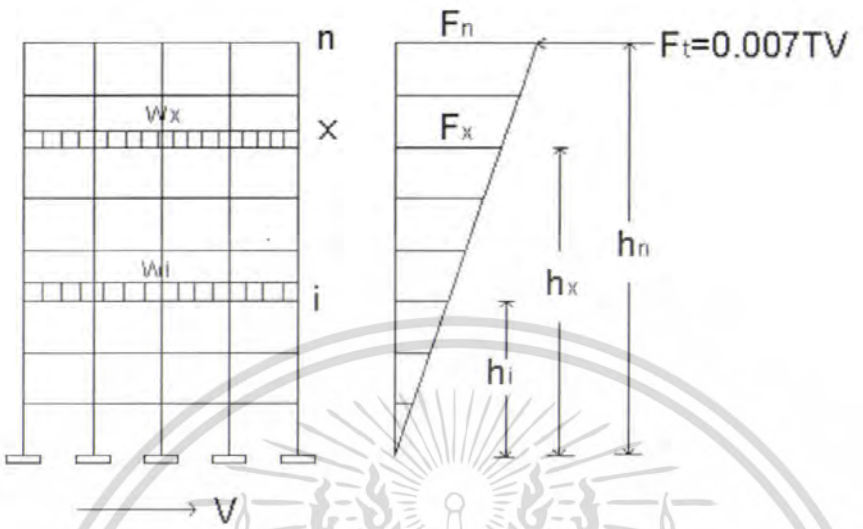
h_x, h_i คือ ความสูงของระดับพื้น x และ i จากฐานอาคาร ตามลำดับ

w_x, w_i คือ น้ำหนักอาคารที่ระดับพื้น x และ i ตามลำดับ

n คือ จำนวนชั้นอาคารเหนือฐานอาคาร

แรงกระทำ Fx นี้จะตรงกับจุดศูนย์กลางมวลที่แต่ละชั้นของอาคาร สำหรับอาคารรูปทรงสม่ำเสมอ แรงทางด้านข้างจะกระจายเป็นเส้นตรงในลักษณะสามเหลี่ยมกลับหัว จากฐานถึงยอดอาคาร หากการกระจายไม่เป็นไปตามนี้แสดงว่าอาคารมีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำทางด้านข้างในแต่ละชั้นอาคาร

แรงเฉือนในชั้นอาคารและโมเมนต์การพลิกคว่ำ (Vx,Mx)

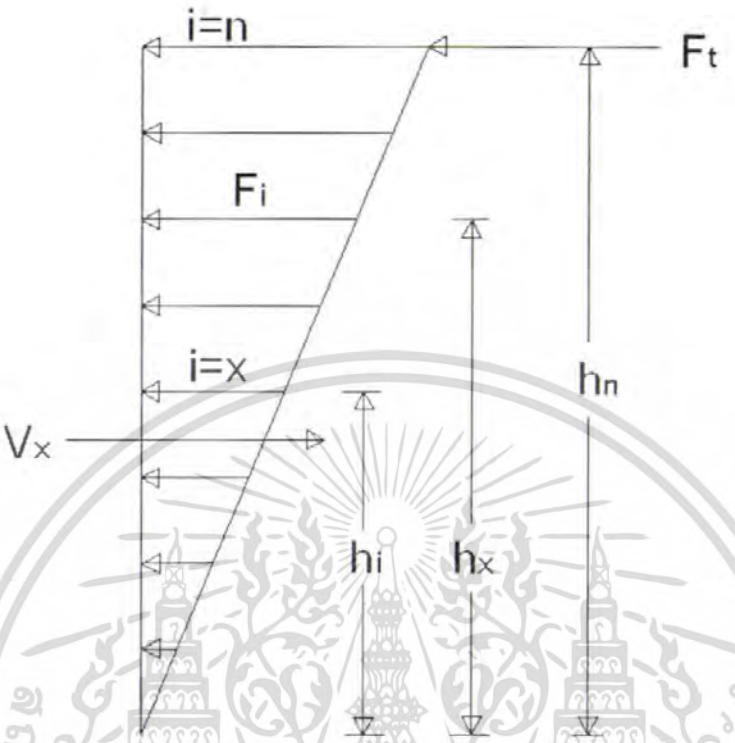
แรงเฉือนในระดับชั้น x เป็นผลรวมของแรงกระทำทางด้านข้างที่ระดับชั้นนั้นและเหนือระดับชั้นนั้นขึ้นไป คำนวณดังนี้

$$V_x = F_i + \sum_{i=x}^{n} F_i .$$

โดยที่ V_x คือ แรงเฉือนในระดับชั้นอาคาร x

F_i คือ แรงกระทำทางด้านข้างที่ระดับชั้น i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การคำนวณแรงเฉือนในแต่ละชั้นอาคาร

สำหรับโมเมนต์พลิกคว่ำที่ระดับชั้น x Mx เป็นผลรวมของโมเมนต์ของแรงกระทำที่อยู่เหนือระดับชั้น x โดยคำนวณรอบระดับชั้น x ดังนี้

$$M_x = F_t(h_n - h_x) + \sum_{i=x}^{n} F_i(h_i - h_x)$$

แรงบิดและผลกระทบของโมเมนต์ลำดับสอง

ข้อกำหนด UBC คำนึงถึงความไม่สอดคล้องกันของตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางสติฟเนส ที่อาจเกิดขึ้นในทางปฏิบัติได้ แม้ในโครงสร้างที่มีรูปทรงสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้เกิดการบิดโดยมิได้ตั้งใจ โดยการพิจารณาว่าจุดศูนย์กลางมวลอาจมีการเยื้องศูนย์ไป 5 % ของขนาดผังอาคารในทิศทางตั้งฉากกับแรงกระทำนั้น

สำหรับผลกระทบของโมเมนต์ลำดับสองนั้น ข้อกำหนด UBC1985 ไม่ได้ระบุจะนำค่านี้มาคำนวณ แต่ในอาคารที่ผลกระทบจากโมเมนต์ลำดับสองมีค่ามาก จะต้องนำมาคำนวณเพิ่มด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะจำกัดของการโยกตัว

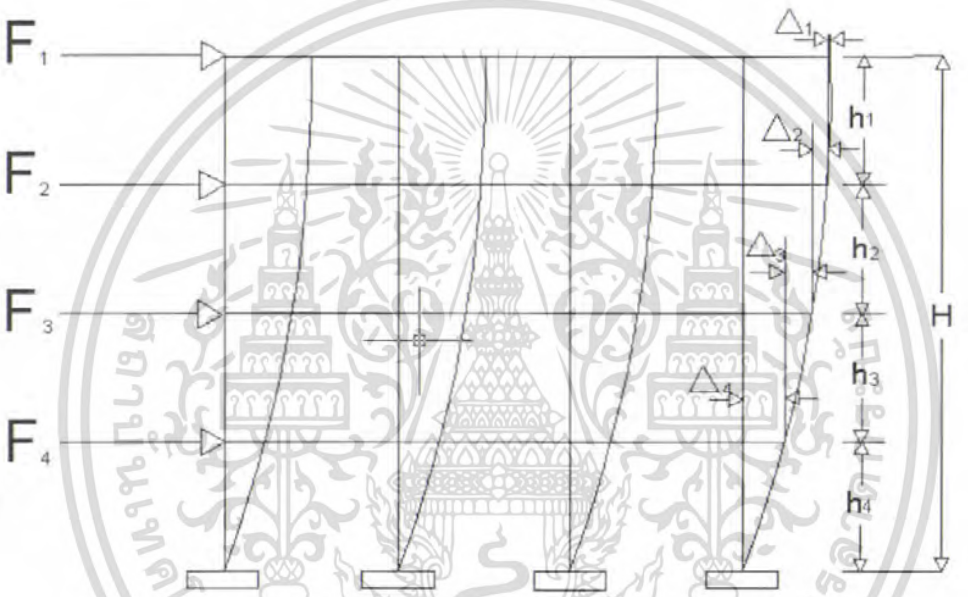
ค่าระยะการเลื่อนตัวในระหว่างชั้นอาคารกำหนดไม่เกินค่าดังนี้

$$\Delta_i \leq 0.005Kh$$

โดยที่ Δ_i คือ ค่าระยะการเลื่อนตัวระหว่างชั้นอาคาร

K คือ สัมประสิทธิ์โครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ

h คือ ความสูงระหว่างชั้น



รูปที่ 4.3 ค่าระยะการเลื่อนตัวในระหว่างชั้นของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณน้ำหนักอาคาร

ตัวอย่าง การคำนวณโดยใช้ข้อกำหนด UBC1985 มีข้อมูลดังนี้

หอพักสูง 5 ชั้น ความสูงของชั้น1 3.50 เมตร ชั้น 2,3,4,5 และดาดฟ้า สูง 3.00 เมตร อาคารนี้ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย เป็นเขต Seismic Zone1 และชั้นดินใต้ฐานรากเป็นหินแข็ง

ข้อมูลโครงสร้างอาคาร

คาน หน้าตัดคอนกรีต b=0.20 m h=0.40 m

เสา หน้าตัดคอนกรีต 0.30 x 0.40 m^2

พื้นหนา 15 cm

คำนวณหา

1 แรงเฉือนที่ฐาน

2 แรงกระทำด้านข้างแต่ละชั้นของอาคารทั้ง 2 แนว และแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

3 ตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้างอาคารทั้ง 2 แนว

น้ำหนักบรรทุกคงที่

น้ำหนักชั้น ดาดฟ้า 5,4,3,2,

พื้นหนา 15 cm	=	(0.15 x 24 x 14.5) x 2400	=	125.25	tons	
สมมติ คาน 0.2 x 0.4 m	=	(0.2 x 0.4 x((24 x 4) + (14.5 x 7))) x 2400	=	37.92	tons	
ผนัง 180 kg/m^2	=	(3.00-0.4) x ((24x4) + (14.5x7)) x 180	=	92.43	tons	
สมมติ เสา 0.3x0.4x3.00	=	(0.3 x0.4x300) x2400 x28	=	24.19	tons	
		รวม	=	280	tons/ชั้น	

น้ำหนักชั้น 1

พื้น	=	125.25	tons
คาน	=	37.92	tons
ผนัง	=	92.43	tons
เสา 0.3 x 0.4 x3.5	=	28.84	tons

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวม = 283.84 tons/ชั้น

รวมน้ำหนักอาคารทั้งหมด = 5(280) + 283.84

= 1683.84 tons

1. คำนวณหาแรงเฉือนที่ฐานในแนว N-S และ E-W

จาก

$V = ZIK(CS)W$

Z = 0.19

I = 1.00

K = 0.67

C = $1/15\sqrt{T}$ = 0.094 < 0.12 ใช้ 0.94

T = 0.10N = 0.5

N = 5 ชั้น

S = 100 C x S = 0.94 < 0.14 ใช้ 0.94

W = 1,683.84 tons

แทนค่าต่างๆจะได้ แรงเฉือนที่ฐานอาคารคือ

V = (0.19)(100)(0.67)(0.94)(1403.84) ton

= 201.49 tons ทั้งแนว N-S และ E-W

เนื่องจากในแนว N-S และ E-W เป็นระบบต้านแรงแผ่นดินไหว แบบโครงข้อแข็งที่มีความเหนียวเหมือนกัน ทำให้ค่า K เท่ากัน

2. กระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำด้านข้างของแต่ละชั้น และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นจาก

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

และ

$$V = F_t + \sum F_x$$

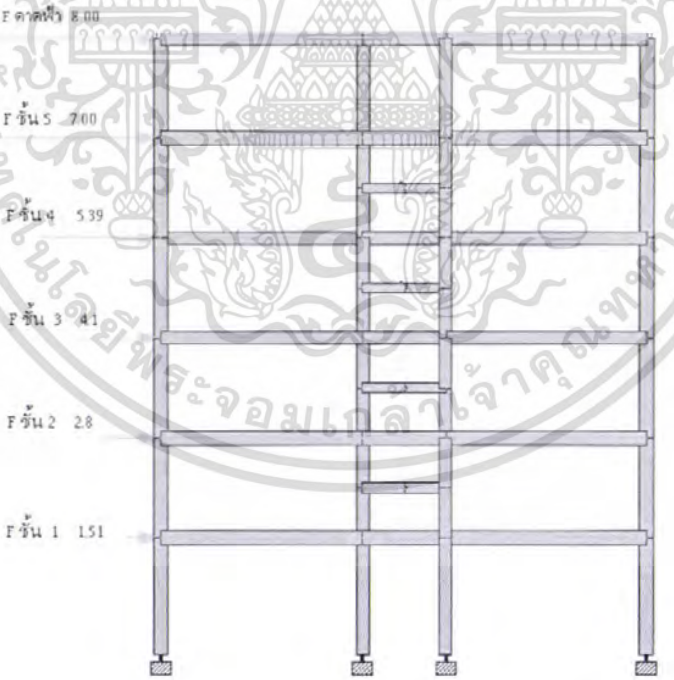
แต่ T = 0.5 < 0.7 ดังนั้น $F_t = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แรงกระทำทางด้านข้างและแรงเฉือนในแต่ละชั้น ทั้ง 2 แนว

ระดับชั้น	W_x (tons)	h_x (m)	$W_x h_x$ (ton-m)	F_x (ton)	V_x (ton)	$F_x/7$ ด้าน N-S	$F_x/4$ ด้าน E-W
ดาดฟ้า	280	18.50	5,180	55.87	55.87	8.00	14.00
5	280	15.50	4,540	48.97	104.84	7.00	12.24
4	280	12.50	3,500	37.75	142.59	5.39	9.43
3	280	9.50	2,660	28.70	171.29	4.1	7.20
2	280	6.50	1,820	19.63	190.92	2.8	4.90
1	283.84	3.50	980	10.57	201.49	1.51	2.64
$\sum_{i=1}^{n} W_x h_x$ =			18,680				

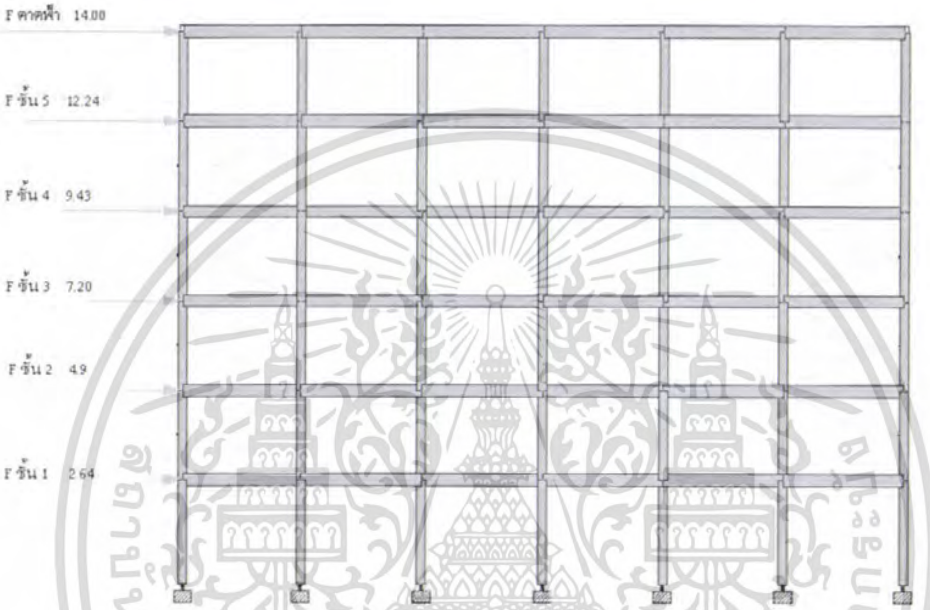
การกระจายแรงด้านข้างอาคาร ในแนว N-S และ E-W



รูปที่ 4.4 การกระจายแรงด้านข้างอาคาร ในแนว N-S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข้อแข็งของแข็ง N-S มี 4 โครงที่เหมือนกัน ทิศใต้แรงกระทำทางข้างที่กระทำต่อโครงข้อแข็งหนึ่งโครง จะถูกแบ่งเป็นสัดส่วนที่เท่าๆกัน



รูปที่ 4.5 การกระจายแรงด้านข้างอาคาร ในแนว E-W

โครงข้อแข็งของแนว E-W มี 7 โครงที่เหมือนกัน จะได้แรงกระทำทางข้างที่กระทำต่อหนึ่งโครงมีค่าเป็นสัดส่วน 1/7 ของแรงกระทำ

3. ตรวจสอบความมั่นคงของอาคาร

3.1) คำนวณระยะเคลื่อนตัวแต่ละชั้น

1. ค่าสติฟเนสของเสา $K_i = 12EI/h^3$

เนื่องจากเสาที่ออกแบบมีขนาดเท่ากันทั้งอาคาร จะได้ค่า K ในแนว N-S

- ชั้น 1 $K = \left[\frac{12(2.3x10^5)(30x40^3)/12}{350^3}\right]x28$

$= 2.88 \times 10^5$ kg/cm

E-W $= 1.62 \times 10^5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชั้นอื่นๆ K = $\left[\frac{12(2.3x10^5)(30x40^3)/12}{300^3}\right]x28$

= $4.57x10^5$ kg/cm

E-W = $2.57x10^5$ kg/cm

2. ระยะการโยกตัวในแต่ละชั้น โดยพื้นอาคารเป็นแบบแข็ง

$$\Delta_x = \frac{1/x}{k_i}$$

โดย ผลรวมของการโยกตัวในแต่ละชั้น

$$\delta_x = \sum \Delta_x$$

ซึ่ง UBC กำหนดค่าระยะการโยกตัวไม่เกิน

$$\Delta_{max} = 0.005h_i$$

ตามกฎกระทรวง 2550 ได้กำหนด Δ_{max} = 0.5 % ของความสูงระหว่างชั้น ซึ่งเป็นค่าที่เท่ากับ UBC กฎกระทรวง 2550 ในข้อ 13

3.2) ค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์ คำนวณจาก

$$M_x = \sum_{i=x+1}^{n} F_x(h_i - h_x)$$

Accidental Torsional Moments T_x = $0.05DV_x$, D = 24 m แนว N-S

= 14.5 m แนว E-W

ค่าความปลอดภัย SF = $M_{react}/M_{act} > 1.5$

3.3) ผลกระทบของโมเมนต์ลำดับที่สอง ($P\Delta Effect$)

$$\theta = P_x\Delta_x / V\,h_x$$

θ < 0.1 ไม่ต้องออกแบบเสาโดยคำนึงผลของ $P\Delta$

θ > 0.1 ออกแบบเสาโดยคำนึงผลของ $P\Delta$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น	W_x (ton)	h_x(m)	F_x (ton)	V_x (ton)	K_i(kg/cm)		Δ (cm)		δ_x		M_x (ton-m)	T_x		P_x(ton)	θ	
					N-S x 10^5	E-W x 10^5	N-S	E-W	N-S	E-W		N-S	E-W		N-S	E-W
ดาดฟ้า	280	3.00	55.87	55.87	4.57	2.57	0.12	0.21	0.12	0.21	-	67.0	40.5	280	0.002	0.0035
5	280	3.00	48.97	104.84	4.57	2.57	0.22	0.40	0.34	0.55	167.61	125.8	76.0	560	0.0039	0.0071
4	280	3.00	37.75	142.59	4.57	2.57	0.31	0.55	0.65	1.1	482.13	171.1	103.3	840	0.0060	0.010
3	280	3.00	28.70	171.29	4.57	2.57	0.37	0.66	1.02	1.76	909.90	205.5	124.1	1120	0.0080	0.0143
2	280	3.00	19.63	190.92	4.57	2.57	0.41	0.74	1.43	2.5	1423.77	229.1	138.4	1400	0.0010	0.0180
1	280	3.50	10.57	201.49	2.88	1.62	0.69	1.24	2.12	3.74	1996.53	241.7	146.0	1683.84	0.0164	0.0296
										ฐาน	2701.74					

1 การโยกตัว

Δ_{max} = 1.24 cm ในแนว E-W ชั้น < 0.005(350) = 1.75 cm OK

2 ค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ

แนว N-S	=	1683.84(12) / 2701.74	=	7.47 > 1.5 OK
แนว E-W	=	1683.84(725) /2701.74	=	4.51 > 1.5 OK

3 ผลกระทบของโมเมนต์ลำดับสอง

$\theta_{max} = 0.0296 < 0.1$ ไม่ต้องคิดผลกระทบ PΔ Effect ในการออกแบบเสา

4.3 ข้อกำหนดของ UBC 1997

การคำนวณแรงเฉือนที่ฐานอาคาร

การคำนวณแรงเฉือนที่ฐานอาคารโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าตามข้อกำหนด UBC 1997 คำนวณได้ดังนี้

$$V = \frac{C_v I}{RT} W$$

โดยที่ V คือแรงเฉือนที่ฐานอาคารโดยมีข้อกำหนดดังนี้

$$V \le \frac{2.5 C_a I}{R} W$$

$$V \ge 0.11 C_a I W$$

$$V \ge \frac{0.8 Z N_v I}{R} W$$ สำหรับ Seismic Zone 4

สัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว (Seismic zone factor, Z)

ค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหวใช้เกณฑ์เดียวกับข้อกำหนด UBC1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร (Important factor, I)

ค่าตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคารใช้เกณฑ์เดียวกับข้อกำหนด UBC1994

คาบการสั่นธรรมชาติของอาคาร (Building Period ,T)

การคำนวณคาบการสั่นธรรมชาติของอาคารใช้วิธีการข้อกำหนดเดียวกับ UBC 1994

สัมประสิทธิ์ของระบบโครงสร้าง (Structural System Coefficient,R)

ค่าสัมประสิทธิ์ R คำนึงถึงคุณสมบัติการดูดซับพลังงานที่แตกต่างกันของโครงสร้างแต่ละชนิด ซึ่งใช้เป็นค่าลดกำลังจาก Elastic Design Spectrum มาที่การออกแบบในช่วงอินอิลาสติก โดยค่า R ประกอบด้วยค่าความเหนียวของโครงสร้าง (R_μ) ค่ากำลังสำรองของโครงสร้าง(R_s) และค่ากำลังจากองค์อาคารส่วนเกินของโครงสร้าง (R_R) และเนื่องจากข้อกำหนด UBC1997 เป็นการกำหนดแรงที่ระดับค่ากำลัง จึงไม่มีการเพิ่มค่าความปลอดภัยดังข้อกำหนด UBC1994

ATC-19 ได้แสดงส่วนประกอบของค่า R ไว้ดังนี้

$$R = \frac{V_e}{V} = R_s R_\mu R_R$$

โดยที่ R คือ ตัวลดกำลังจากการออกแบบอิลาสติกมาที่การออกแบบในช่วงอินอิลาสติก

V_e คือ แรงเฉือนที่ฐานอาคารจากผลตอบสนองอิลาสติก (Elastic Design Spectrum)

V คือ แรงเฉือนที่ฐานอาคารจากผลตอบสนองอินอิลาสติก (Inelastic Design Spectrum)

R_s คือ ตัวลดกำลังซึ่งคำนึงถึงค่ากำลังสำรองของโครงสร้างซึ่งเกินจากกำลังที่ออกแบบไว้

R_μ คือ ตัวลำกำลังซึ่งคำนึงถึงค่าความเหนียวของโครงสร้างในช่วงอินอิลาสติก

R_R คือ ตัวลำกำลังซึ่งคำนึงถึงองค์อาคารส่วนเกินของระบบโครงสร้าง

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ R ใน UBC 1997 และค่าตัวประกอบ R_w ใน UBC 1994 อาจคำนวณได้โดยประมาณจาก $R = 0.7 R_w$ ค่าแสดงในตารางดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์ R

ระบบโครงสร้างพื้นฐาน [1]	ระบบการต้านทานแรงกระทำทางด้านข้าง	R [2]	H (ม.) [3]
1. ระบบ Bearing wall	1.กำแพง Light-framed ซึ่งมีผนังรับแรงเฉือน		
	a. กำแพงผนังโครงไม้สำหรับโครงสร้างสูง 3 ชั้น หรือน้อยกว่า	5.5	19.5
	b. กำแพง Light-framed อื่นๆทั้งหมด	4.5	19.5
	2.กำแพงรับแรงเฉือน (Shear wall)		
	a. คอนกรีต	4.5	48.0
	b. ผนังก่อ	4.5	48.0
	3.กำแพง bearing wall โครงเหล็กเบาซึ่งมีการยึดด้วยแรงดึง	2.8	19.5
	4.โครงสร้างค้ำยัน ซึ่งมีโครงค้ำยันรับน้ำหนักบรรทุก		
	a. โครงสร้างเหล็ก	4.4	48.0
	b. คอนกรีต [4]	2.8	-
	c. โครงสร้างไม้	28	19.5
2. ระบบ Building Frame	1.โครงค้ำยันเหล็กรับน้ำหนักเยื้องศูนย์ (EBF)	7.0	72.0
	2. กำแพง Light-framed ซึ่งมีผนังรับแรงเฉือน		
	a. กำแพงผนังโครงไม้สำหรับโครงสร้างซึ่งสูง 3 ชั้นหรือน้อยกว่า	6.5	19.5
	b. กำแพง Light-framed อื่นๆทั้งหมด	5.0	19.5
	3.กำแพงรับแรงเฉือน (Shear wall)		
	a. คอนกรีต	5.5	72.0
	b. ผนังก่อ	5.5	18.4
	4. โครงค้ำยันปกติ (Ordinary braced frames)		
	a. โครงสร้างเหล็ก	5.6	48.0
	b. คอนกรีต [4]	5.6	-
	c. โครงสร้างไม้	5.6	19.5
	5. โครงค้ำยันพิเศษรับน้ำหนักตรงศูนย์		
	a.โครงสร้างเหล็ก	6.4	72.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ระบบ Moment – resisting frame	1.โครงสร้าง moment – resisting frame พิเศษ (SMRF)		
	a.โครงสร้างเหล็ก	8.5	N.L.
	b.คอนกรีต	8.5	N.L.
	2.โครงสร้างกำแพงก่อ moment-resisting wall frame	6.5	48.0
	3.โครงสร้างคอนกรีต intermediate moment-resisting frames (IMRF) [5]	5.5	-
	4. โครงสร้างปกติ Ordinary moment- resisting frames (OMRF)		
	a.โครงสร้างเหล็ก [6]	4.5	48.0
	b.คอนกรีต [7]	3.5	-
	5.โครงสร้างเหล็ก Special Truss Moment Frames (STMF)	6.5	72.0
4.ระบบโครงสร้างผสม	1.กำแพงผนังรับแรงเฉือน (Shear walls)		
	a. คอนกรีตชนิด SMRF	8.5	N.L.
	b. คอนกรีตกับโครงสร้างเหล็ก OMRF	4.2	48.0
	c. คอนกรีตกับคอนกรีต IMRF [5]	6.5	48.0
	d. กำแพงก่อ SMRF	5.5	48.0
	e. กำแพงก่อกับโครงสร้างเหล็ก OMRF	4.2	48.0
	f. กำแพงก่อกับคอนกรีต IMRF [4]	4.2	-
	g. กำแพงก่อกับกำแพงก่อ MMRWF	6.0	48.0
	2.โครงสร้างเหล็ก EBF		
	a. กับโครงสร้างเหล็ก SMRF	8.5	N.L.
	b. กับโครงสร้างเหล็ก OMRF	4.2	48.0
	3.โครงค้ำยันปกติ (Ordinary braced frames)		
	a. โครงสร้างเหล็กกับโครงสร้างเหล็ก SMRF	6.5	N.L.
	b. โครงสร้างเหล็กกับโครงสร้างเหล็ก OMRF	4.2	48.0
	c. คอนกรีตกับคอนกรีต SMRF [4]	6.5	-
	d. คอนกรีตกับคอนกรีต IMRF [4]	4.2	-
	4.โครงค้ำยันพิเศษรับน้ำหนักตรงศูนย์		
	a. โครงสร้างเหล็กกับโครงสร้างเหล็ก SMRF	7.5	N.L.
	b. โครงสร้างเหล็กกับโครงสร้างเหล็ก OMRF	4.2	48.0
5.ระบบอาคารแบบเสาขื่น	องค์อาคารแบบเสาขื่น	2.2	10.5[6]
6.ระบบกำแพงโครงข้อแข็งร่วม	คอนกรีต [8]	5.5	48.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N.L. - ไม่จำกัด

[1] ดูใน UBC section 1630.4 สำหรับระบบโครงสร้างร่วม

[2]ระบบโครงสร้างพื้นฐานซึ่งได้ให้คำจำกัดความใน UBC section 1629.6

[3]ห้ามใช้สำหรับ Seismic Zones 3 – 4

[4]รวมคอนกรีตหล่อสำเร็จตาม UBC section 1921.2.7

[5]ห้ามใช้สำหรับ Seismic Zones 3 – 4 นอกจากที่ยอมให้ใน UBC section 1634.2

[6]Ordinary moment-resisting frames ใน seismic zone1 ซึ่งมีคุณสมบัติตาม UBC section 2211.6 อาจใช้ค่า R=8

[7]ความสูงทั้งหมดของอาคารรวมทั้งส่วนเสาขึ้น

[8]ห้ามใช้สำหรับ Seismic zones 2A, 2B ,3 และ 4 ดูใน UBC section 1633.2.7

น้ำหนักของตัวอาคาร (Building Weight, W)

การคำนวณหาน้ำหนักตัวอาคารใช้เกณฑ์เดียวกับ UBC 1994

ค่าสัมประสิทธิ์แรงแผ่นดินไหว (Seismic Coefficients, C_v, C_a)

ค่าสัมประสิทธิ์แรงแผ่นดินไหว C_v, C_a เป็นค่าอัตราเร่งของพื้นดินซึ่งคำนึงถึงการขยายกำลังคลื่นเนื่องจากสภาพชั้นดินลักษณะต่างๆ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์นี้จึงขึ้นกับความเสี่ยงภัย (Z) และประเภทของชั้นดิน (S) นอกจากนี้ในเขตที่มีความเสี่ยงภัยสูง Zone 4 ค่าสัมประสิทธิ์ยังขึ้นกับประเภทของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว และค่าตัวประกอบสำหรับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวระยะใกล้ อีกด้วย

ตารางที่ 4.7 สัมประสิทธิ์แรงแผ่นดินไหว (C_v)

ประเภทของชั้นดิน	เขตความเสี่ยงภัย Z				
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.20	Z=0.30	Z=0.40
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32\,N_V$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40\,N_V$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	$0.56\,N_V$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	$0.64\,N_V$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$0.96\,N_V$
S_F	สำหรับดินประเภทนี้จะต้องมีการสำรวจสภาพชั้นดินและทำการวิเคราะห์หาผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของชั้นดิน				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 สัมประสิทธิ์แรงแผ่นดินไหว (C_a)

ประเภทของชั้นดิน	เขตความเสี่ยงภัย Z				
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.20	Z=0.30	Z=0.40
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32 N_V
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40 N_V
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40 N_V
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44 N_V
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36 N_V
S_F	สำหรับดินประเภทนี้จะต้องมีการสำรวจสภาพชั้นดินและทำการวิเคราะห์หาผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของชั้นดิน				

ประเภทของชั้นดินที่ตั้งอาคาร (Soil Profile Type, S)

การจำแนกประเภทของชั้นดินที่ตั้งอาคารเป็นการแสดงผลกระทบของลักษณะสภาพชั้นดินต่อคลื่นแผ่นดินไหวโดยใช้สัญลักษณ์ S_A - S_F ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.9 ประเภทของชั้นดินที่ตั้งอาคาร (Soil Profile Type, S)

ประเภทของชั้นดิน	ลักษณะชั้นดิน	คุณสมบัติของชั้นดินโดยเฉลี่ยสำหรับช่วง 30 เมตรแรก		
		ความเร็วคลื่น Shear wave (m/s)	Standard Penetration Test (blows/foot)	Undrained Shear Strength (kpa)
S_A	หินแข็ง	>1,500	-	-
S_B	หิน	760 – 1,500	-	-
S_C	ดินแน่นมากและชั้นหินร่วน	360 – 760	>50	>100
S_D	ชั้นดินแข็ง	180 – 360	15 – 50	50 – 100
S_E	ชั้นดินอ่อน	<180	<15	<50
S_F	สำหรับดินประเภทนี้จะต้องมีการสำรวจสภาพชั้นดินเป็นพิเศษ			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Seismic Source Type A,B,C)

การจำแนกประเภทของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวเป็นการกำหนดขนาดความรุนแรงและลักษณะการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนในบริเวณใกล้โครงสร้าง ซึ่งใช้เฉพาะเขต Zone 4 เท่านั้น

ตารางที่ 4.10 ประเภทของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว

ประเภทของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว	ลักษณะของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว	ข้อกำหนดของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว	
		Moment Magnitude, M_w	Slip rate , SR (มม./ปี)
A	รอยเลื่อนซึ่งให้กำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่และมีระดับการเคลื่อนตัวในเกณฑ์สูง	$M_w \geq 7.0$	SR ≥ 5
B	รอเลื่อนอื่นๆนอกจากประเภท A , C	$M_w \geq 7.0$ $M_w \leq 7.0$ $M_w \geq 6.5$	SR<5 SR>2 SR<2
C	รอยเลื่อนซึ่งไม่สามารถให้กำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้และมีระดับการเคลื่อนตัวในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ	M_w <6.5	SR ≤ 2

ตัวประกอบสำหรับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในระยะใกล้ (Near Source Factor , N_v, N_a)

ค่าตัวประกอบสำหรับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในระยะใกล้ แสดงในตาราง ใช้สำหรับเขตความเสี่ยงภัย 4 ซึ่งใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงแผ่นดินไหว C_v C_a ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ตัวประกอบสำหรับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในระยะใกล้ N_v

ประเภทของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว	ระยะทางใกล้ที่สุดไปยังแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว			
	≤ 2 กม.	5 กม.	10 กม.	≥ 15 กม.
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

ตารางที่ 4.12 ตัวประกอบสำหรับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในระยะใกล้ N_a

ประเภทของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว	ระยะทางใกล้ที่สุดไปยังแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว		
	≤ 2 กม.	5 กม.	≥ 15 กม.
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำทางด้านข้างในแต่ละชั้นอาคาร (F_x) แรงเฉือนในชั้นอาคารและโมเมนต์พลิกคว่ำ (V_x,M_x)

การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำด้านข้างในแต่ละชั้นอาคาร รวมทั้งการคำนวณแรงเฉือนในชั้นอาคารและโมเมนต์พลิกคว่ำ ใช้เกณฑ์เดียวกับข้อกำหนด UBC 1994

แรงบิดและผลกระทบของโมเมนต์ลำดับสอง

ข้อกำหนด UBC 1997 มีการพิจารณา Accidental torsion เช่นเดียวกับ UBC1994 โดยการพิจารณาว่าจุดศูนย์กลางมวลอาจมีการเยื้องศูนย์ไป 5 % ของขนาดผังอาคารในทิศตั้งฉากกับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทำนั้น นอกจากนี้ ยังเพิ่มเติมข้อกำหนดอีกคือ ในกรณีที่ค่าการโก่งตัวที่ปลายใดปลายหนึ่งของโครงสร้างมีค่ามากกว่า 20% ของค่าเฉลี่ยการโก่งตัว จะจัดว่าอาคารนั้นมีความไม่สม่ำเสมอในส่วนการบิด และค่าเยื้องศูนย์ที่มิได้ตั้งใจให้เกิด จะต้องมีการขยายเพิ่มดังนี้

$$A_x = \left[\frac{\delta_{\max}}{1.2\delta_{avg}}\right]^2 \leq 3.0$$

โดยที่ δ_{avg} คือค่าการโก่งตัวเฉลี่ยที่ระดับชั้น x

$\delta_{\max}$ คือค่าการโก่งตัวสูงสุดที่ระดับชั้น x

ส่วนผลกระทบของโมเมนต์ลำดับสอง UBC1997 กำหนดว่าหากดำเนินการคำนวณหาผลกระทบของ PΔ แล้วพบว่ามีความสำคัญ จะต้องนำผลกระทบของ PΔ มาใช้ในการคำนวณหาแรงภายในองค์อาคารและการโก่งตัวของโครงสร้างด้วย

ตัวคูณความน่าเชื่อถือหรือองค์อาคารส่วนเกินของโครงสร้าง (ρ)

UBC1997กำหนดว่าแรงเฉือนที่ฐานอาคารจะต้องมีการคูณด้วยค่าตัวคูณความน่าเชื่อถือหรือองค์อาคารส่วนเกินของระบบโครงสร้างต้านทานแรงกระทำทางด้านข้างดังนี้

$$1 \leq \rho = 2 - \frac{6.1}{r_{\max}\sqrt{A_B}} \leq 1.5$$

โดย A_B คือพื้นที่ชั้นล่างอาคาร ,ตร.ม.

$r_{\max}$ คือค่าอัตราส่วนสูงสุดของแรงเฉือนของเสาในชั้น i โดยคิดจากค่า r_i ที่มากที่สุดในระดับ 2/3 ของส่วนล่างอาคาร

r_i คือค่าอัตราส่วนระหว่างแรงเฉือนในเสาที่มากที่สุดต่อแรงเฉือนของเสาทั้งหมดสำหรับระดับชั้น i

สำหรับโครงค้ำยัน ค่า r_i เท่ากับแรงเฉือนในเสาที่มากที่สุดหารด้วยแรงเฉือนของเสาทั้งหมดในชั้นนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ ค่า r_i เท่ากับผลรวมสูงสุดของแรงเฉือนในเสาสองต้นที่อยู่ใกล้กันในโครงหนึ่งหารด้วยแรงเฉือนของเสาทั้งหมดในชั้นนั้น กรณีสำหรับเสาร่วมกันในโครงติดกันสองโครง ให้ใช้ค่า 70% ของแรงเฉือนในเสาต้นในที่อยู่ติดกัน สำหรับการคำนวณผลรวมของแรงเฉือน

สำหรับกำแพงรับแรงเฉือน ค่า r_i เท่ากับค่าสูงสุดของ $\frac{V_i(3.05/l_w)}{\sum_{i=1}^{n} V_i}$

โดยที่ V_i คือค่าแรงเฉือนในกำแพงชิ้นที่ i

l_w คือความยาวกำแพงชิ้นที่ i , เมตร

$\sum_{i=1}^{n} V_i$ คือผลรวมของแรงเฉือนทั้งหมดในชั้น

สำหรับ Special moment resisting frame หากค่า ρ มีค่าเกินกว่า 1.25 จะต้องเพิ่มจำนวนโครงข้อแข็งมากขึ้นอีก

ส่วนในการคำนวณค่าการเลื่อนตัวของอาคาร สำหรับเขต 1 และ 2 ใช้ค่า ρ =1

ระยะจำกัดของการโยกตัว

ในการคำนวณหาค่าการโยกตัว ให้ใช้แรงกระทำทางด้านข้างโดยไม่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดสำหรับแรงกระทำน้อยสุดสำหรับแรงกระทำน้อยสุดในสมการ และสามารถใช้ค่าคาบการสั่นธรรมชาติ T ตามที่คำนวณจาก Tayleigh's fomula ได้ตามที่คำนวณได้ในความเป็นจริงโดยไม่มีการจำกัดค่า และให้ใช้ค่าตัวคูณความน่าเชื่อถือ = 1

UBC1997 กำหนดค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดระหว่างชั้นจาก

$$\Delta_M = 0.7R\Delta_s$$

โดยที่ Δ_M คือค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด

Δ_s คือค่าการโยกตัวระหว่างชั้น

R คือค่าสัมประสิทธิ์ของระบบโครงสร้าง

การคำนวณการโยกตัวจะต้องรวมทั้งค่าการเลื่อนตัวและการบิดด้วย หากตรวจสอบพบว่าผลกระทบของ PΔ มีค่ามากจะต้องนำผลกระทบนั้นมาคิดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโครงสร้างซึ่งมีค่าคาบการสั่นธรรมชาติน้อยกว่า 0.7 วินาที ค่าการโยกตัวสูงสุดในระหว่างชั้น จำกัดดังนี้

$$\Delta_M \leq \Delta_{allow} = 0.025h$$

สำหรับโครงสร้างมีค่าคาบการสั่นธรรมชาติเท่ากับหรือมากกว่า 0.7 วินาที ค่าการโยกตัวสูงสุดในระหว่างชั้นจำกัดดังนี้

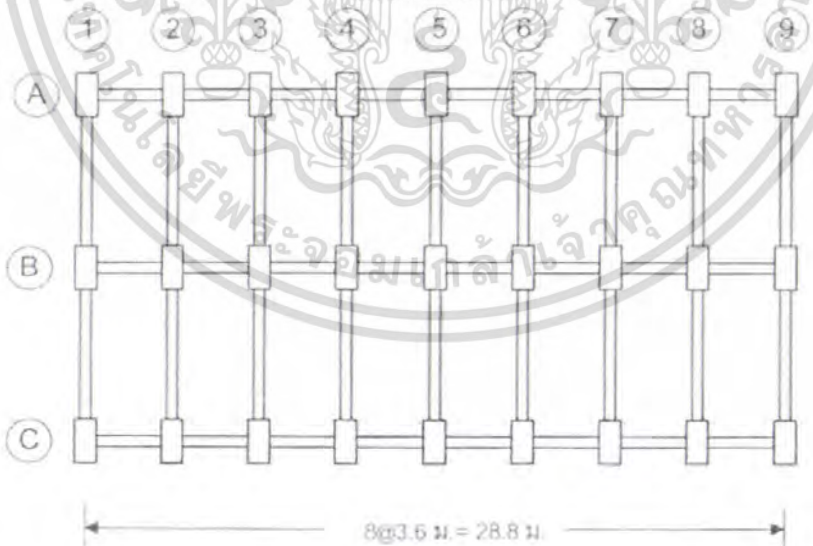
$$\Delta_M \leq \Delta_{allow} = 0.020h$$

ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ UBC1997 อาคารคลังเก็บพัสดุ คอนกรีตเสริมเหล็กสูง 4 ชั้น มีความสูงระหว่างชั้น 3.6 ม. มีค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ 672 กก./ตร.ม. ซึ่งรวมทั้งน้ำหนักพื้น คาน เสาและผนังกำแพง มีค่าน้ำหนักบรรทุกจร 600 กก./ตร.ม. อาคารนี้ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ตอนเหนือของประเทศไทย ซึ่งเป็นเขต 2B และชั้นดินใต้ฐานรากเป็นดินแข็ง

ก) แรงเฉือนที่ฐานอาคารเนื่องจากแผ่นดินไหว

ข) แรงกระทำที่ชั้นอาคารแต่ละชั้นและแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

ค) ตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้างอาคาร



รูปที่ 4.6 ผังอาคารและรูปตัดของอาคารคลังเก็บสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เสาต้นนอก ขนาดเสา สำหรับทุกชั้น 0.30x0.50 ม.

เสาต้นใน ขนาดเสา สำหรับชั้น 1,2 0.30x0.60 ม.

สำหรับชั้น 3 0.30x0.50 ม.

สำหรับชั้น 4 0.30x0.40 ม.

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาน้ำหนัก W

เนื่องจากอาคารนี้เป็นคลังเก็บพัสดุ จึงต้องเพิ่มน้ำหนักอีก 25 % ของน้ำหนักบรรทุกจร

น้ำหนัก W สำหรับชั้น 1 2 3 คือ W_1 W_2 W_3 = 672 + 0.25(600)

= 822 กก./ตร.ม.

ชั้น 4 W_4 = 672 กก./ตร.ม.

พื้นที่ทั้งหมด = 28.8x14.4 = 414.72 ตร.ม.

เมื่อคิดแรงกระทำ

$W_1 = W_2 = W_3$ = $8.22 \times 414.72 \times 10^3$ = 340.9 ตัน

W_4 = $672 \times 414.72 \times 10^3$ = 278.7 ตัน

รวม = 340.9x3 +278.7= 1,301.4 ตัน

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณแรงเฉือนที่ฐาน

$$V = \frac{C_v I}{RT} W$$

โดย Z = 0.2

I = 1

R = 5.5

C_v = 0.4

คำนวณคาบการสั่นธรรมชาติของโครงสร้างโดยประมาณ

$$T_n = C_t h_n^{3/4}$$

เมื่อ C_t = 0.0731 (อาคาร คสล.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h_n = 14.4 ม.

T_n = $0.0731(14.4)^{3/4}$ = 0.54 วินาที

ดังนั้น V = (0.4x1.0x1,301.4) / (5.5x0.54)

= 175.3 ตัน

เทียบกับ V ≤ $\frac{2.5C_a I}{R}W$

≤ $\frac{2.5x0.28x1.0}{5.5}1301.4$ = 165.3 < 175.3

ดังนั้นใช้ V = 165.3 ตัน

เทียบกับ V ≥ $0.11C_a IW$

≥ 0.11x0.28x1.0x1301.4 = 40.34 ตัน ใช้ได้

ขั้นตอนที่ 3 กระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำด้านข้างในแต่ละชั้น และแรงเฉือนที่เกิดขึ้น คำนวณแรงกระทำทางด้านข้างและแรงเฉือน

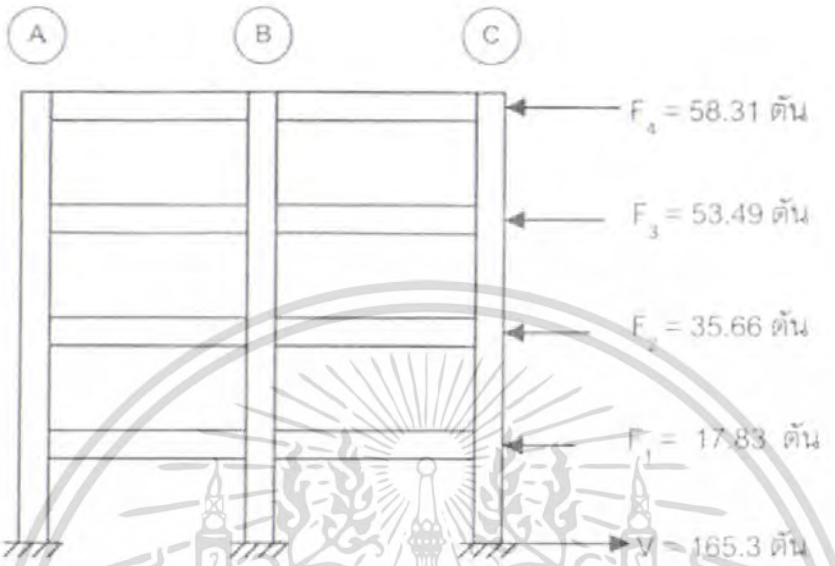
$F_x = \frac{(V - F_t)W_x h_x}{\sum_{i=1}^{n} W_i h_i}$ และ F_t = 0 (T = 0.54 < 0.7)

$V_x = F_t + \sum_{i=x}^{n} F_i$

ตารางที่ 4.13 แรงกระทำทางด้านข้างและแรงเฉือนในแต่ละชั้น

ระดับชั้น	W_i (ตัน)	h_x (ม.)	$W_x h_x$ (ตัน-ม.)	F_x (ตัน)	V_x (ตัน)
4	278.7	14.4	4013.28	58.31	58.31
3	340.9	10.8	3681.72	53.49	111.80
2	340.9	7.2	2454.48	35.66	147.46
1	340.9	3.6	1227.24	17.83	165.29
			$\sum$ = 11367.72		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การกระจายแรงกระทำทางด้านข้างอาคาร

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาระยะการเคลื่อนตัวของแต่ละชั้น

คำนวณค่าสติฟเนสของเสาแต่ละชั้นจาก $K_i = \dfrac{12EI_{cr}}{h^3}$

สำหรับเสาด้นนอก I_{cr} =0.6I_g และเสาด้นใน I_{cr} = 0.8I_g

สำหรับเสาหน้าตัดแตกร้าว

$$K_1 = K_2 = \frac{12(2.3x10^5)}{360^3}\cdot\left[(0.6)\frac{30(50)^3}{12}\cdot(2x9)+(0.8)\frac{30(60)^3}{12}\cdot 9\right] = 4.29x10^5$$

$$K_3 = \frac{12(2.3x10^5)}{360^3}\cdot\left[(0.6)\frac{30(50)^3}{12}\cdot(2x9)+(0.8)\frac{30(50)^3}{12}\cdot 9\right] = 3.22x10^5$$

$$K_4 = \frac{12(2.3x10^5)}{360^3}\cdot\left[(0.6)\frac{30(50)^3}{12}\cdot(2x9)+(0.8)\frac{30(40)^3}{12}\cdot 9\right] = 2.67x10^5$$

สมมติให้พื้นอาคารเป็นแบบแข็งเกร็ง

ระยะการโยกตัวสูงสุดแต่ละชั้นคำนวณจาก

$$\Delta_M = 0.7R\Delta_s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ระยะการโยกตัวและค่าระยะการโยกตัวสูงสุดของแต่ละชั้น

ระดับชั้น	แรงเฉือน Vx ตัน	สติฟเนส Ki (กก/ซม.)	ระยะการโยกตัว Δx ซม.	ค่าระยะการโยกตัวสูงสุด Δ_M ซม.
4	58.31	2.67×10^5	0.218	0.84
3	111.80	3.32×10^5	0.337	1.30
2	147.46	4.29×10^5	0.344	1.32
1	165.29	4.29×10^5	0.385	1.48

UBC กำหนดค่าระยะการโยกตัวสูงสุดไม่เกิน $0.025h_i$

$= 0.025(360) = 9$ ซม.

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณคาบการสั่นธรรมชาติ

$$T = 2\pi\sqrt{\sum_{i=1}^{n} W_i\delta_i^2 / g\sum_{i=1}^{n} f_i\delta_i}$$

ตารางที่ 4.15 การคำนวณค่าคาบการสั่นธรรมชาติ โดยใช้ Rayleigh's formula

ชั้น	น้ำหนัก Wi (ตัน)	การเคลื่อนตัวจากฐาน (ซม.)	แรงกระทำด้านข้าง (ตัน)	$W_i\delta_i^2$ (ตัน-ซม^2)	$f_i\delta$ (ตัน-ซม)
4	278.7	2.169	58.31	1311.16	126.47
3	340.9	1.820	53.49	1129.20	96.35
2	340.9	1.261	35.66	542.07	44.97
1	340.9	0.666	17.83	151.21	11.87
				$\sum$ =3133.64	$\sum$ =280.66

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{3133.64}{9.81x100x280.66}} = 0.67$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่คำนวณได้นี้มากกว่าค่าที่ประมาณ (0.54 วินาที) ดังนั้น หากต้องการคำนวณแรงเฉือนที่ฐานอาคารโดยละเอียด อาจทำการคำนวณโดยใช้ T ใหม่ได้

ขั้นตอนที่ 6 ค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์

$$M_x = \sum_{i=x+1}^{n} F_i(h_i - h_x)$$

$$T_x = 0.05DV_x = 0.05x28.8xV_x$$

ตารางที่ 4.16 การคำนวณค่า Overturning Moment

ชั้น	แรงกระทำด้านข้าง (ตัน)	ความสูงระหว่างชั้น(ม.)	โมเมนต์พลิกคว่ำ (ตัน-ม)	แรงเฉือน (ตัน)	โมเมนต์บิด (ตัน-ม)
4	58.31	3.6	-	58.31	83.97
3	53.49	3.6	209.92	11.80	160.99
2	35.66	3.6	612.40	147.46	212.34
1	17.83	3.6	1143.25	165.29	238.02
ฐาน			1738.30		

ความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ

$$S.F >= \frac{M_{React}}{M_{Act}} = \frac{1301.4x7.2}{1738.30} = 5.39 > 1.5$$

ค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำมากกว่า 1.5 ใช้ได้

ขั้นตอนที่ 7 ผลกระทบของ PΔ

$$\theta = \frac{P_n \Delta_x}{V_x h_x} \quad (h_x = 360 \text{ cm})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคง

ชั้น	น้ำหนัก(ตัน)	น้ำหนักสะสม(ตัน)	การโยกตัว(ซม.)	แรงเฉือน (ตัน)	100
4	278.7	278.7	0.218	58.31	0.0029
3	340.9	619.6	0.337	111.80	0.0052
2	340.9	960.5	0.344	147.46	0.0062
1	340.9	1301.4	0.385	165.29	0.0084

จากข้อกำหนด UBC1997 สำหรับโครงสร้างเขต 2 พบว่า θ น้อยกว่า 0.1 จึงไม่ต้องนำผลกระทบของ $P\Delta$ มาคำนวณ

ขั้นตอนที่ 8 ตัวคูณความน่าเชื่อถือหรือองค์อาการส่วนเกินของโครงสร้าง

จาก $$\rho = 2 - \frac{6.1}{r_{\max}\sqrt{A_B}}$$

คำนวณค่า $r_{\max}$ จากค่า 70% ของแรงเฉือนสำหรับเสาร่วมกันในโครงติดกันสองโครง โดยสมมติว่าเสาภายในอาคารรับแรงเฉือนเท่ากัน ส่วนเสาภายนอกรับแรงเฉือนเท่ากับครึ่งหนึ่งของเสาภายใน ดังนั้น

$$r_{\max} = \frac{0.79\left(\frac{V}{16} + \frac{V}{32}\right)}{V} = 0.075$$

$$\rho = 2 - \frac{6.1}{0.075\sqrt{14.4x28.8}} = -1.99 < 1.0 \text{ ดังนั้นใช้ค่า } \rho = 1.0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การออกแบบความแข็งแรงของโครงข้อแข็ง

5.1 บทนำ

ปัจจุบันนี้ อาคารที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยตามที่กำหนดในกฎกระทรวงฉบับที่ 49 จะต้องมีการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ พื้นที่เสี่ยงภัยดังกล่าวนี้ครอบคลุมพื้นที่ใน 9 จังหวัดทางภาคเหนือ ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ ตาก น่าน พะเยา แพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน และอีก 1 จังหวัดทางภาคตะวันตกคือ กาญจนบุรี พื้นที่เหล่านี้จัดเป็นเขตแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงในระดับปานกลาง การคำนวณออกแบบอาคารจะต้องเริ่มจากการหาแรงเฉือนที่ฐานอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว สูตรการคำนวณตามกฎกระทรวงฉบับที่ 49 ร่างตามข้อกำหนดของ Uniform Building code (UBC,1985) อย่างไรก็ตาม หากกฎกระทรวงมีการปรับปรุงโดยการใช้ข้อกำหนดที่ทันสมัยขึ้น วิศวกรผู้ออกแบบอาคารที่มีความเข้าใจหลักการออกแบบที่สำคัญ ย่อมสามารถนำไปประยุกต์การออกแบบต่อไปได้ สำหรับวิการคำนวณแรงเฉือนที่ฐานอาคาร แรงกระทำทางด้านข้าง แรงเฉือนในชั้น ค่าการโยกตัวระหว่างชั้น โมเมนต์กระทำพลิกคว่ำในชั้น โมเมนต์บิดกระทำในชั้น และผลกระทบของโมเมนต์ลำดับสอง การคำนวณเหล่านี้เป็นการออกแบบนั้น ในบทนี้จะกล่าวถึง การคำนวณออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตามข้อกำหนดของ ACI318-99 ซึ่งประกอบด้วยการออกแบบ คาน เสา และรอยต่อระหว่างคาน-เสา เพื่อให้มีความเหนียวต้านทานแรงกระทำแบบวัฏจักร โดยใช้หลักการเสาแข็งแรง – คานอ่อน (Strong Column – Weak Beam Concept) อันเป็นหลักการที่เป็นที่ยอมรับและใช้กันแพร่หลายในข้อกำหนดการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว

5.2 ขั้นตอนการออกแบบ

ในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว มีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

1) พิจารณาลักษณะของโครงสร้างอาคารว่าจะใช้การออกแบบโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าหรือวิธีพลศาสตร์ พิจารณาตำแหน่งที่ตั้งของอาคารว่าอยู่ในเขตพื้นที่ความเสี่ยงภัยแบบใด และสภาพดินที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองรับอาคารนั้นจัดเป็นดินชนิดใด ซึ่งจะเป็นการกำหนดการใช้ค่า Seismic Zone Factor,Z และค่า Subsoil Factor,S ที่เหมาะสม

2) พิจารณาตำแหน่งที่ตั้งของอาคารว่าอยู่ในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยแบบใด และสภาพดินที่รองรับอาคารจัดเป็นแบบใด

3) พิจารณาความสำคัญของอาคารว่าจัดอยู่ในประเภทของการใช้งานแบบใด และเลือกระบบโครงสร้างของอาคารซึ่งจะเป็นการกำหนดการใช้ค่า Important Factor, I และค่า Structural Type Factor,K (UBC – 1985) หรือค่า R_w (UBC -1994) หรือค่า R (UBC -1997) ที่เหมาะสม ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับเขตพื้นที่ความเสี่ยงภัยด้วย โดยเฉพาะในกรณีของโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัด

4) พิจารณาเลือกการใช้สูตรในการคำนวณหาค่าคาบการสั่นตามธรรมชาติของโครงสร้าง ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของโครงสร้าง เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน Base Shear Coefficient, C (UBC-1985,1994)

5) คำนวณหาน้ำหนักของอาคารทั้งหมด Building Weight,W ซึ่งคิดเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่เท่านั้น ยกเว้นในบางกรณีจะมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกชนิดอื่นเข้าไปด้วยตามที่กล่าวไว้ข้างต้น ในขั้นตอนนี้ ต้องมีการสมมติขนาดหน้าตัดขององค์อาคารต่างๆก่อนเพื่อใช้ในการประเมินน้ำหนักของอาคาร

6) คำนวณหาแรงเฉือนที่ฐานอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าหรือแรงกระทำแบบพลศาสตร์ และกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำด้านข้างในแต่ละชั้นอาคาร และคำนวณแรงเฉือนในชั้น ค่าการโยกตัวระหว่างชั้น โมเมนต์กระทำพลิกคว่ำในชั้น โมเมนต์บิดกระทำในชั้น และผลกระทบของโมเมนต์ลำดับสอง

7) ตรวจสอบความมั่นคงอาคาร จากค่าระยะการโยกตัวในแต่ละชั้น ค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์ และผลกระทบของโมเมนต์ลำดับที่สอง

8) วิเคราะห์หาแรงภายในของโครงสร้างอาคาร เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงกระทำทางด้านข้าง และคำนวณหาแรงภายในรวมจากการรวมกรณีของน้ำหนักบรรทุกและแรงกระทำทางด้านข้าง โดยพิจารณาใช้ค่าสูงสุดของการรวมแรงตามข้อกำหนดของการออกแบบ ACI 381-99

9) ออกแบบหน้าตัดขององค์อาคารต่างๆ คือ พื้น คาน เสา และฐานราก จากแรงภายในรวมที่คำนวณได้ข้างต้น องค์อาคารที่สำคัญคือ

- เสาและคาน จะต้องออกแบบให้สามารถต้านทานโมเมนต์ดัดและเฉือนเนื่องจากแรงกระทำทางด้านข้างได้ รวมทั้งการรับน้ำหนักบรรทุกปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฐานราก จะต้องออกแบบให้สามารถต้านทานโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนกระทำที่ฐาน รวมทั้งการรับน้ำหนักบรรทุกปกติ และจะต้องสามารถต้านทานการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์ (Overturning Moment) ได้

10) ออกแบบความแข็งแรงของคานและเสา โดยหลักการเสาแข็งแรงคานอ่อน (Strong column-Weak Beam Concept)

สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเฉพาะขั้นตอนที่ 7 และการตรวจสอบความมั่นคงขออาคาร ขั้นตอนที่ 8 การรวมแรงกระทำ และขั้นตอนที่ 10 การออกแบบความแข็งแรงของคานและเสา โดยหลักการเสาแข็งแรง-คานอ่อน เท่านั้น เนื่องจากขั้นตอนเหล่านี้มีรายละเอียดพิเศษแตกต่างจากการออกแบบโดยทั่วไป

5.3 การตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้างอาคาร

การคำนวณหาความมั่นคงของโครงสร้างอาคารต่อแรงกระทำด้านข้างตามข้อกำหนดของ UBC เพื่อตรวจสอบว่า อาคารมีรูปทรง สัดส่วนที่ดี และมีขนาดหน้าตัดเสาที่พอเหมาะที่จะทำให้มีเสถียรภาพต่อแรงกระทำทางด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ซึ่งมีขั้นตอนในการตรวจสอบ 3 ขั้น คือ

5.3.1 การตรวจสอบค่าระยะการโยกตัวในแต่ละชั้น (Interstory Drift)

หากตั้งสมมติฐานว่าพื้นอาคารเป็นพื้นแข็ง (rigid floor) ไม่มีการยืดหดตัวหรือโก่งตัวเนื่องจากแรงกระทำทางด้านข้าง ดังนั้นแรงกระทำด้านข้างที่แต่ละระดับชั้นอาคารจะต้านทานด้วยแรงเฉือนในเสาแต่ละชั้น และระยะโยกไหวระหว่างชั้น (interstory drift) ของอาคาร คำนวณได้จาก

$$\Delta_i = \frac{V_i}{K_i} \tag{5.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Δ_i คือ ค่าระยะโยกไหวระหว่างชั้น (interstory drift) ของอาคาร

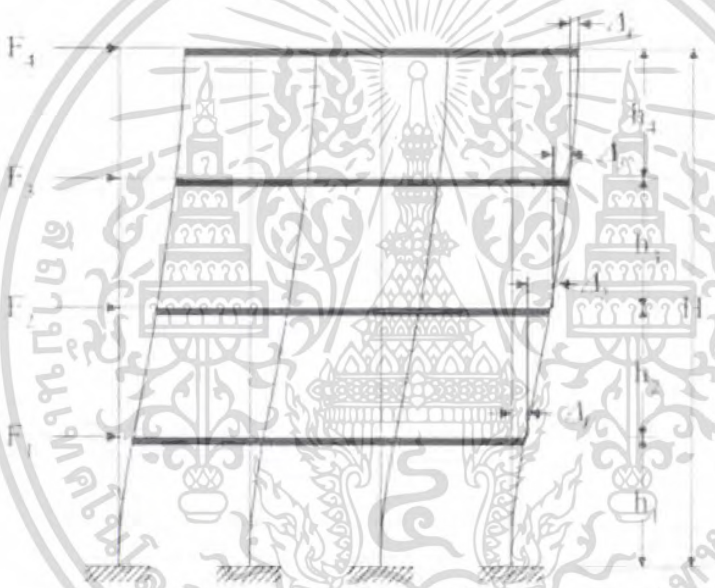
V_i คือ แรงเฉือนที่เสาสำหรับชั้นที่ i เนื่องจากแรงกระทำทางด้านข้าง

K_i คือ ค่าสติฟเนสของเสาสำหรับชั้นที่ i มีค่าเท่ากับ $\frac{12EI_i}{K_i}$

E คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเสา

I_i คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของเสาสำหรับชั้นที่ i

h_i คือ ค่าความสูงของเสาสำหรับชั้นที่ i



รูปที่ 5.1 การโก่งตัวทางด้านข้างของโครงสร้างอาคาร

ค่าระยะการเลื่อนตัวในระหว่างชั้นของอาคาร กำหนดให้ไม่เกินค่าดังนี้

ข้อกำหนด UBC 1985

$$\Delta_i \leq 0.005Kh$$

โดยที่ Δ_i คือ ค่าระยะการเลื่อนตัวในระหว่างชั้นของอาคาร

K คือ สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ (Structural type Factor)

h คือ ระดับความสูงระหว่างชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนด UBC 1994

- สำหรับโครงสร้างซึ่งมีคาบการสั่นธรรมชาติน้อยกว่า 0.7 วินาที ค่า story drift, Δ_i ไม่เกิน $0.04h/R_w$ หรือไม่เกิน $0.005h_i$
- สำหรับโครงสร้างซึ่งมีคาบการสั่นธรรมชาติเท่ากับหรือมากกว่า 0.7 วินาที ค่า story drift, Δ_i ไม่เกิน $0.03h/R_w$ หรือไม่เกิน $0.004h_i$

ข้อกำหนด UBC 1997

- สำหรับโครงสร้างซึ่งมีคาบการสั่นธรรมชาติน้อยกว่า 0.7 วินาที ค่า story drift, Δ_i ไม่เกิน $0.025h_i$
- สำหรับโครงสร้างซึ่งมีคาบการสั่นธรรมชาติเท่ากับหรือมากกว่า 0.7 วินาที ค่า story drift, Δ_i ไม่เกิน $0.020h_i$

หากค่าระยะโยกไหวระหว่างชั้น เกินจากที่กำหนดนี้แสดงว่า ขนาดเสาปีกหน้าตัดเล็กเกินไป ควรขยายขนาดเสาใหม่ให้ใหญ่ขึ้น และตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งจนกว่าจะผ่าน

5.3.2 การตรวจสอบค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์ (Safety Factor Against Overturning Moment, SF)

ค่าความปลอดภัยต่อโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำ คำนวณจาก

$$SF = \frac{M_{react}}{M_{act}} = \frac{W_T \cdot L/2}{\sum_i^n F_i H_i} \tag{5.2}$$

โดยที่

M_{react} คือ โมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำของอาคาร

M_{act} คือ โมเมนต์ที่กระทำให้เกิดการพลิกคว่ำของอาคาร

F_i คือ แรงกระทำด้านข้างที่ระดับชั้น i

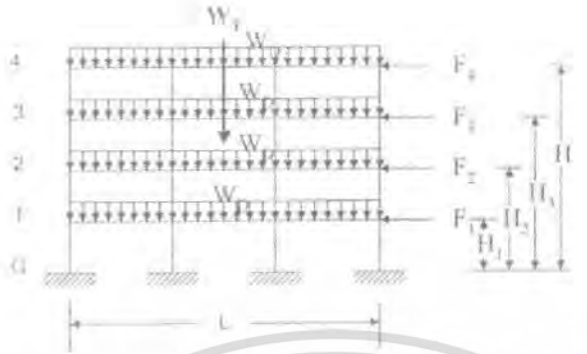
H_i คือ ความสูงจากฐานของอาคารไปยังระดับชั้น i

W_T คือ น้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมดของอาคาร

L คือ ความกว้างของอาคาร

SF คือ ค่าความปลอดภัยซึ่งจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แรงกระทำให้เกิดการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์

หากค่าความปลอดภัยนี้น้อยกว่าค่าที่กำหนดแสดงว่า อาคารมีรูปทรงสัดส่วนที่ไม่ดีทำให้ไม่มีเสถียรภาพเพียงพอต่อแรงกระทำทางด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ซึ่งควรปรับแก้ขนาดรูปทรงใหม่ โดยอาจขยายส่วนฐานของอาคารให้กว้างขึ้น หรือหากรูปทรงไม่สามารถขยายได้จำเป็นต้องมีการออกแบบฐานรากเสาเข็มให้สามารถต้านทานแรงดึงไม่ให้พลิกคว่ำได้ ลักษณะอาคารแบบนี้เป็นกรณีที่อาคารมีค่าความชะลูดสูงมาก

5.3.3 การตรวจสอบผลกระทบของโมเมนต์ลำดับที่สอง (PΔ Effect)

ผลกระทบของโมเมนต์ลำดับที่สอง หมายถึงโมเมนต์ดัดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลคูณระหว่างน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งและระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของเสา โมเมนต์นี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า โมเมนต์เนื่องจากผลกระทบของ PΔ ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อความมั่นคงของโครงสร้างได้หากมีค่ามากเกินไป ผลกระทบของ PΔ นี้ UBC กำหนดโดยค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคง (Stability Coefficient, θ) ดังนี้

$$\theta = \frac{P_x \Delta_x}{V_x h_x} \tag{5.3}$$

โดยที่ P_x คือ น้ำหนักอาคารทั้งหมด ที่ระดับชั้น x และเหนือขึ้นไป

Δ_x คือ ระยะโยกของระดับชั้น x (story drift)

V_x คือ แรงเฉือนที่ระดับชั้น x

h_x คือ ความสูงของระดับชั้น x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่5.3 การคำนวณผลกระทบของ P Δ

ข้อกำหนด UBC 1985

ข้อกำหนด UBC 1985 ไม่ได้ระบุที่จะนำผลกระทบนี้มาคำนวณด้วย แต่อาจใช้เกณฑ์การพิจารณาผลกระทบของ P Δ ดังนี้คือ หากค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคง (Stability Coefficient, θ) $\theta < 0.10$ ก็ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบจาก P Δ แต่ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นเกินจากที่กำหนด จะต้องมีการคำนวณออกแบบเสาเป็นพิเศษเพื่อให้สามารถต้านทานโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นนี้ได้ ซึ่งอาจใช้การขยายขนาดเสาให้มีค่าสติฟเนสมากขึ้น หรือเสริมปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนด UBC 1994

UBC 1994 กำหนดเกณฑ์การพิจารณาผลกระทบของ PΔ ดังนี้

- สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในเขต Zone 1 และ 2 ค่า Stability Coefficient, $\theta < 0.10$
- สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในเขต Zone 3 และ 4 ค่า Story drift ratio, $\frac{\Delta_i}{h_i} < \frac{0.02}{R_w}$

ข้อกำหนด UBC 1997

UBC 1997 กำหนดเกณฑ์การพิจารณาผลกระทบของ PΔ ดังนี้

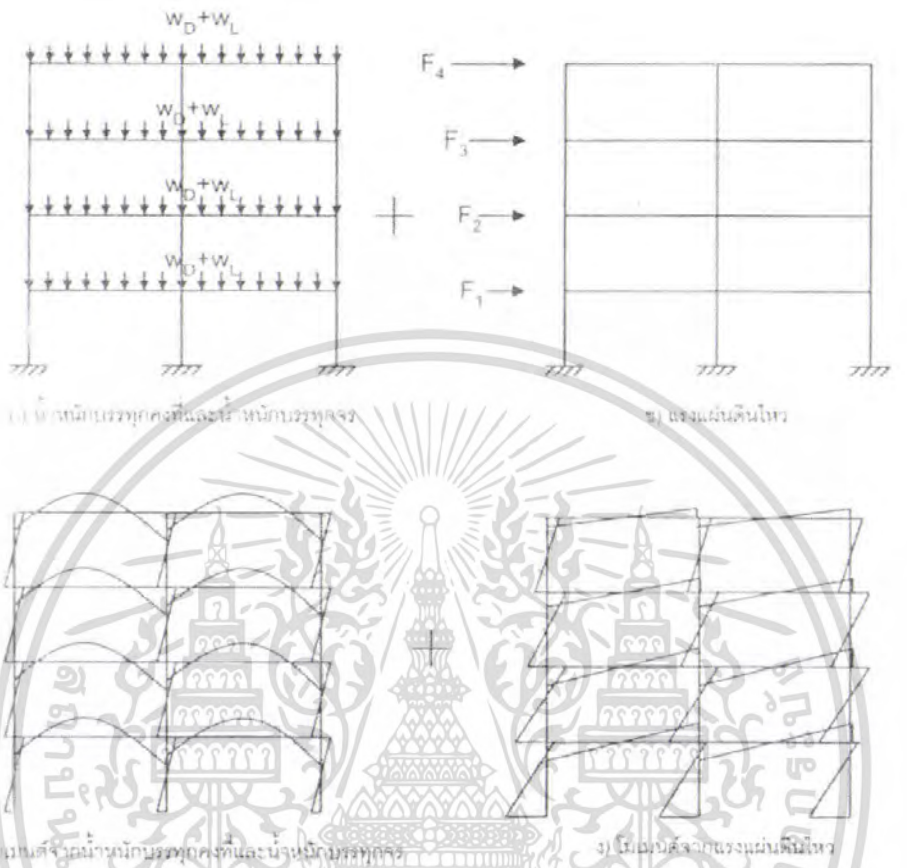
- สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในเขต Zone 1 และ 2 ค่า Stability Coefficient, $\theta < 0.10$
- สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในเขต Zone 3 และ 4 ค่า Story drift ratio, $\frac{\Delta_i}{h_i} < \frac{0.02}{R}$

ถ้าหากค่า Stability Coefficient หรือค่า Story drift ratio มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดนี้ หมายถึง ผลกระทบของ PΔ มีค่าน้อยมากจึงไม่จำเป็นต้องนำมาคำนวณด้วย ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้เกินจากที่กำหนด จะต้องมีการคำนวณออกแบบเสาเป็นพิเศษเพื่อให้สามารถต้านทานโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นนี้

5.4 การรวมแรงกระทำ (Combined Load Cases)

การกำหนดน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำต่อโครงสร้างและแรงกระทำจากแผ่นดินไหวแสดงในรูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่5.4 การรวมโมเมนต์กระทำจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจรและแรงแผ่นดินไหว

ค่าน้ำหนักและแรงกระทำดังกล่าว เป็นไปตามข้อกำหนดของการรวมแรงกระทำ สำหรับค่าที่ใช้ออกแบบให้ใช้ค่าสูงสุดจากการรวมน้ำหนักกระทำต่อไปนี้

$$U = 0.75(1.4D + 1.7L + 1.87E) \quad (5.4)$$

$$U = 0.9D + 1.43E \quad (5.5)$$

โดยที่ U คือ น้ำหนักบรรทุกประลัย

D คือ น้ำหนักบรรทุกคงที่

L คือ น้ำหนักบรรทุกจร

E คือ แรงกระทำทางด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การจำแนกประเภทของโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์

ข้อกำหนด UBC 1994 – 1997 จำแนกลักษณะการออกแบบโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

5.5.1 Ordinary Moment-Resisting Frame (OMRF)

เป็นโครงสร้างโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัด (คอนกรีตเสริมเหล็กหรือโครงสร้างเหล็ก) ที่มิได้มีการออกแบบให้โครงสร้างมีความเหนียวเป็นพิเศษ โครงสร้างOMRFสำหรับโครงสร้างเหล็กใช้ได้กับทุกเขตความเสี่ยงภัย แต่โครงสร้าง OMRF สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กใช้เฉพาะสำหรับเขตที่แผ่นดินไหวมีขนาดเบา ได้แก่ Zone 1 เท่านั้น ไม่สามารถใช้กับ Zone 2 ,3 ,4 ได้

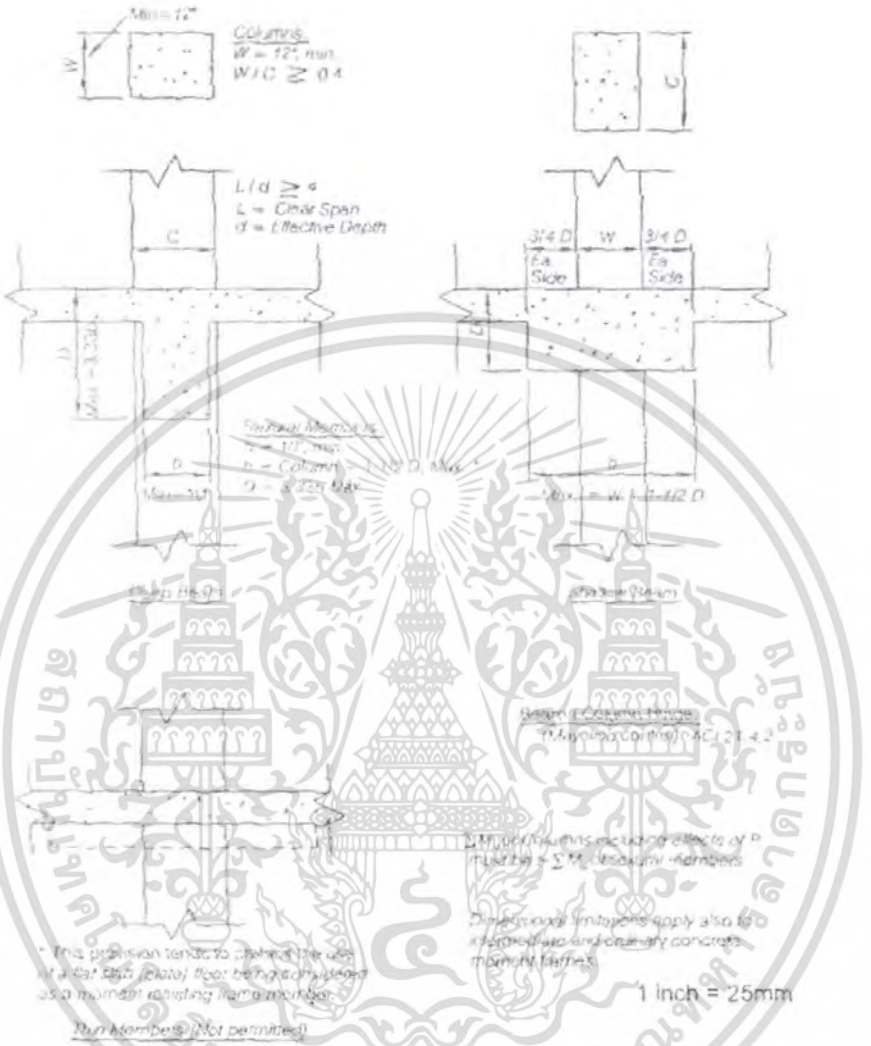
สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก การออกแบบองค์อาคารใช้ข้อกำหนดของการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปตาม ACI318-0.2 บทที่ 1 – 12 นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

1) ขนาดหน้าตัดขององค์อาคาร ดูจากรูปที่ 5.5

2) โครงสร้างอาคารสำหรับพื้นและเสา โครงสร้าง OMRF ยอมให้ใช้แผ่นพื้นไร้คาน (Flat plate) เป็นระบบคานของโครงอาคารได้ แต่จะต้องมีการออกแบบป้องกันแรงเฉือนทะลุบริเวณหัวเสา เนื่องจากการรวมแรงกระทำระหว่างน้ำหนักบรรทุกปกติ และแรงกระทำทางด้านข้างจากแผ่นดินไหว

3) เหล็กปลอก จะต้องมีการเสริมเหล็กปลอกตลอดความยาวของคาน และปริมาณเหล็กปลอกจะต้องไม่น้อยกว่า $0.005b_v s$ โดยที่ b_v คือความกว้างของเหล็กปลอก และ s คือระยะห่างของเหล็กปลอก เหล็กปลอกชุดแรกจะต้องห่างจากขอบเสา 5 ซม. และเหล็กปลอกอีก 6 ชุดถัดไปจะต้องวางห่างกันไม่เกิน d/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ข้อกำหนดขนาดหน้าตัดของคานและเสา

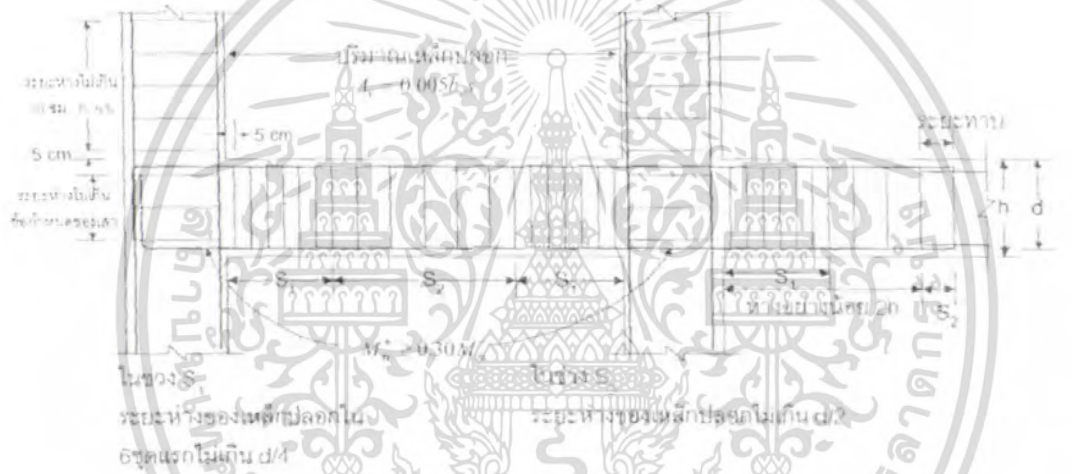
4) เหล็กเสริมส่วนล่างของคาน เหล็กเสริมส่วนล่างของคานบริเวณหัวเสาจะต้องมีการฝังยึดอย่างเพียงพอเพื่อการต้านทานโมเมนต์บวกจากแรงกระทำที่กลับทิศทางได้ โดยจะต้องออกแบบให้ $M_n^+ \geq 0.30M_n^-$ โดยที่ M_n^+ และ M_n^- คือ กำลังต้านทานโมเมนต์บวกและลบของหน้าตัดคานบริเวณหัวเสา ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การต่อทาบเหล็ก ระยะการต่อทาบเหล็กแต่ละชุดในคานจะต้องยาวอย่างน้อยเท่ากับระยะห่างระหว่างเหล็กปลอก

6) เหล็กปลอกของเสา เหล็กปลอกบริเวณปลายเสาจะต้องมีระยะห่างไม่เกิน 10 ซม. หรือไม่เกินด้านแคบของเสา หรือไม่เกิน 1/6 ของความสูงสุทธิของเสา และเหล็กปลอกชุดแรกจะต้องห่างจากขอบรอยต่อระหว่างเสาและคาน 5 ซม.

7) ข้อต่อระหว่างคานและเสา ข้อต่อของเสาที่อยู่ขอบภายนอกและที่มุมอาคารจะต้องมีการเสริมเหล็กปลอกตลอดช่วงข้อต่อ ตามข้อกำหนดของเหล็กปลอกในเสา



รูปที่ 5.6 รายละเอียดการเสริมเหล็กสำหรับโครงสร้าง OMRF

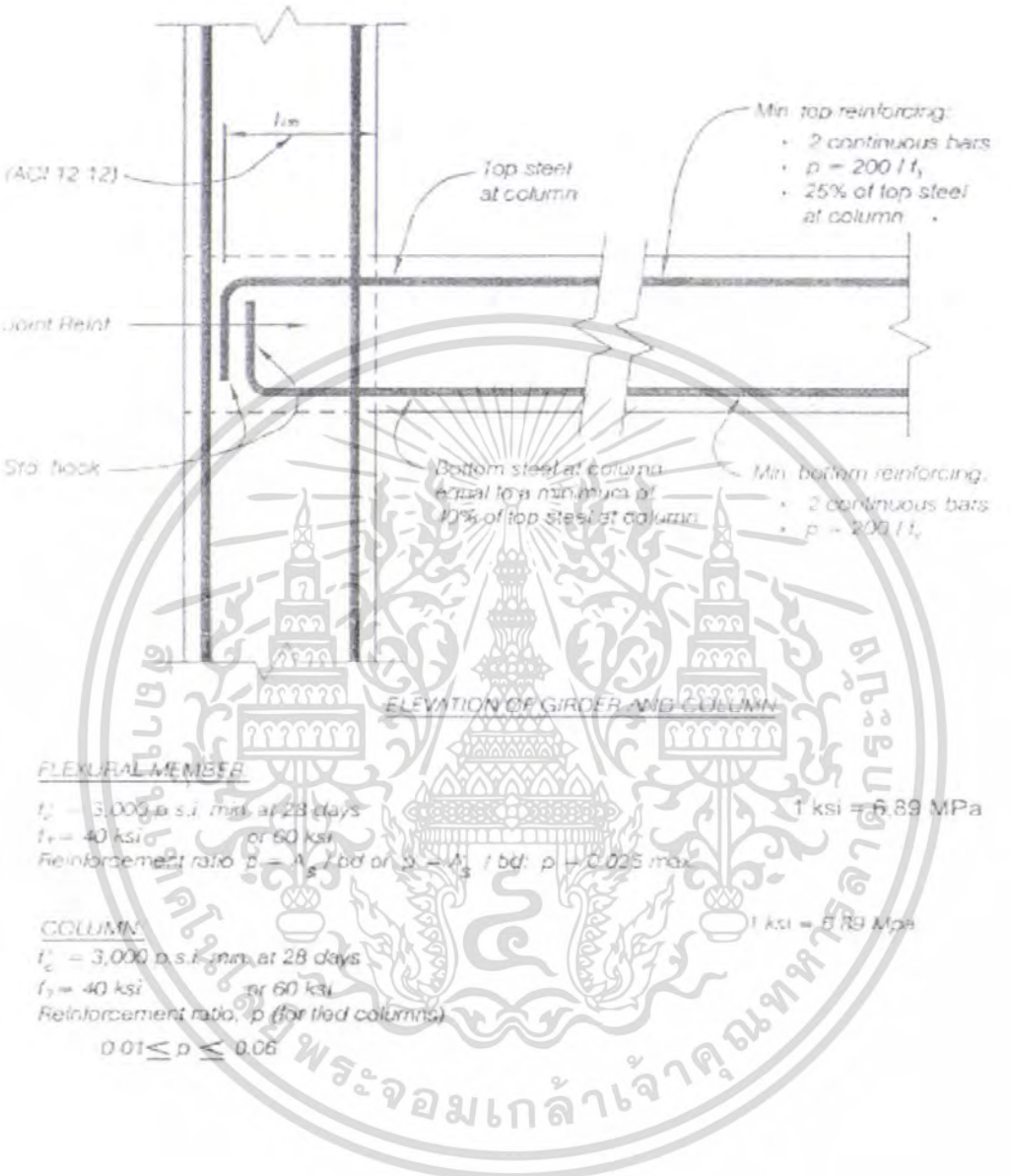
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 Intermediate Moment-Resisting Frame (IMRF)

เป็นโครงสร้างโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัด ใช้กับคอนกรีตเสริมเหล็กที่ออกแบบให้โครงสร้างมีความเหนียวปานกลาง โครงสร้างชนิดนี้ใช้สำหรับเขตที่แผ่นดินไหวมีขนาดความรุนแรงระดับปานกลางได้แก่ Zone 1 และ Zone 2 ไม่สามารถใช้ได้กับ Zone 3 และ 4 โครงสร้างประเภทนี้มีรายละเอียดตามรูปที่ 5.7-5.12

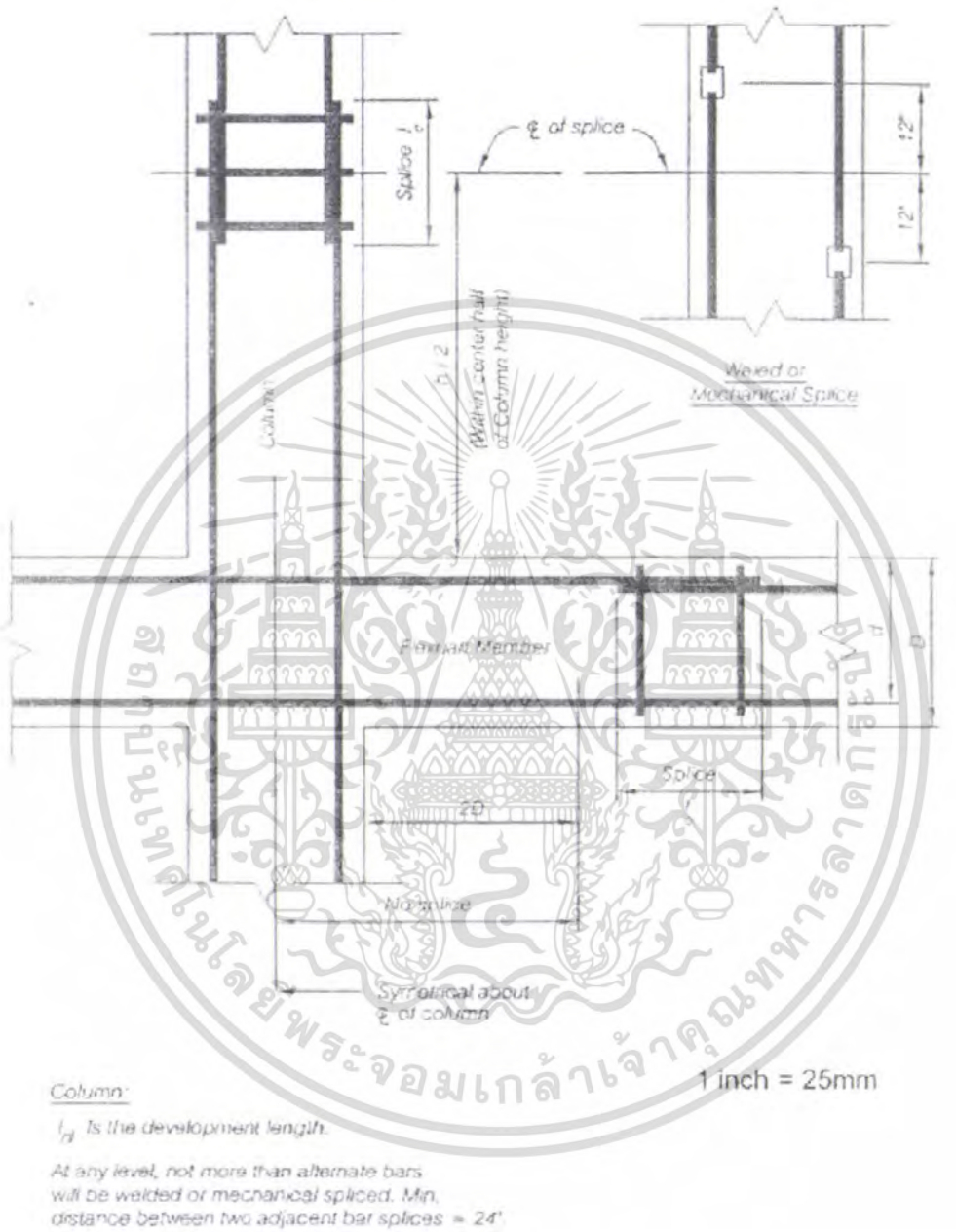
รูปที่ 5.7 Intermediate Moment Frame frame Requirements

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



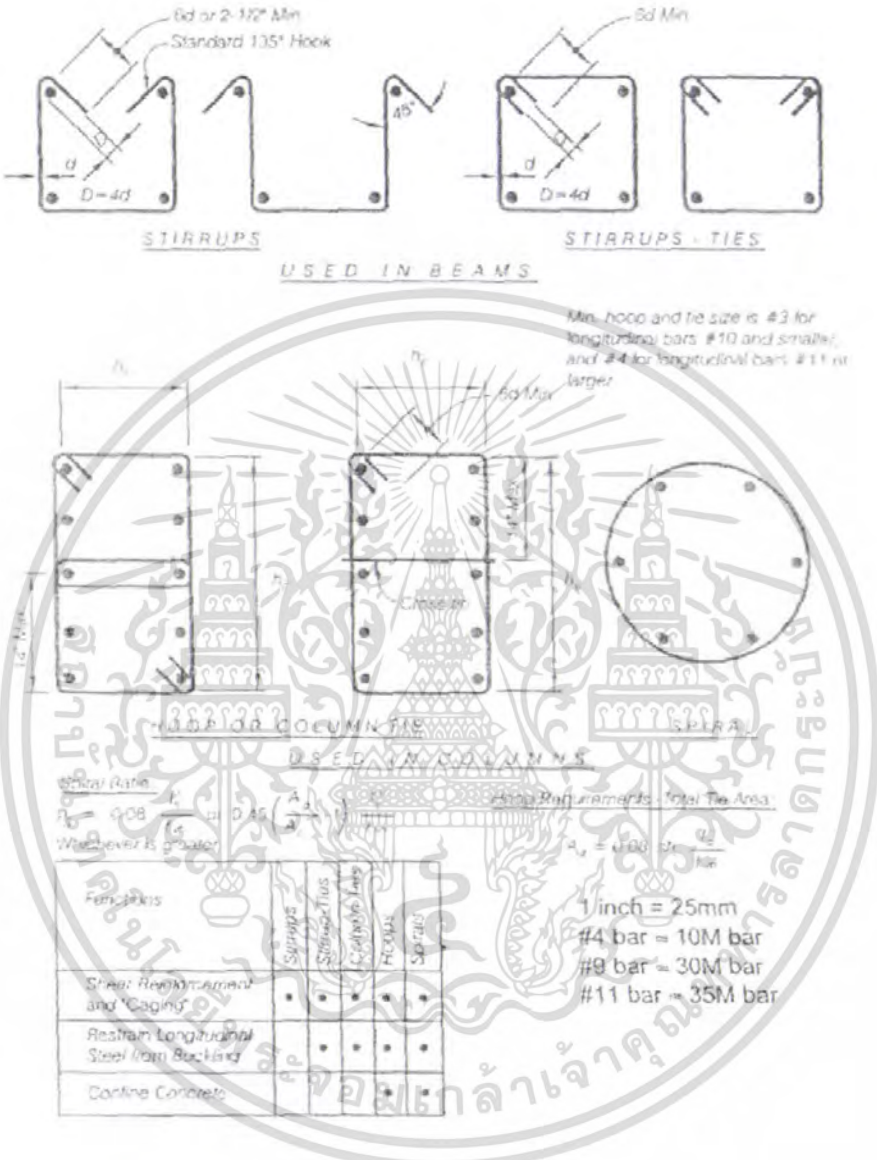
รูปที่ 5.8 Intermediate Moment Frame Longitudinal Reinforcement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



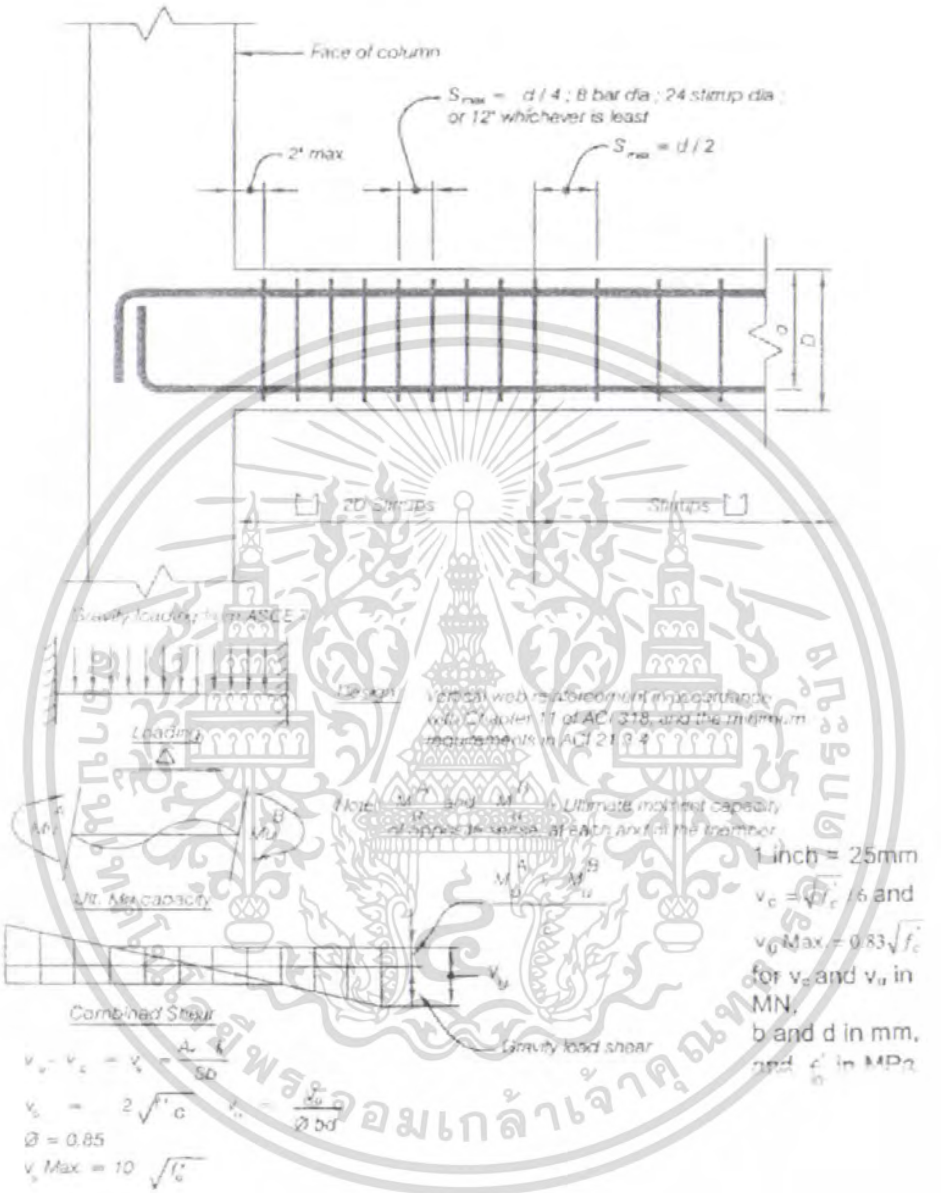
รูปที่ 5.9 Intermediate Moment Frame Splices in Reinforcement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



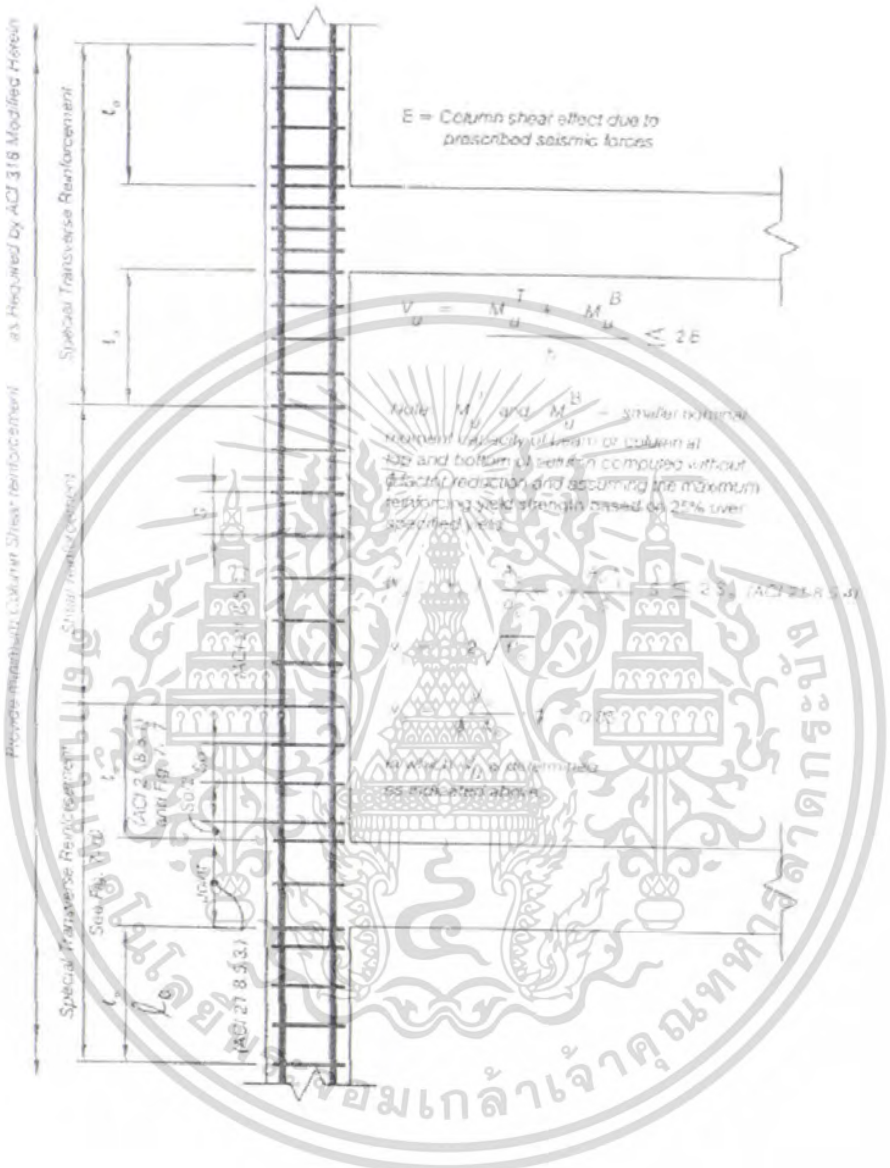
รูปที่5.10 Intermediate Moment Frame Transverse Reinforcement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 Intermediate Moment Frame Girder Web Reinforcement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 Intermediate Moment Frame Transverse Reinforcement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3 Special Moment-Resisting Frame (SMRF)

เป็นโครงสร้างโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัดที่มีการออกแบบโครงสร้างให้มีความเหนียวเป็นพิเศษตามมาตรฐานของ UBC ทั้งคอนกรีตเสริมเหล็ก และโครงสร้างเหล็ก โครงสร้างประเภทนี้ใช้กับ Zone 3 และ 4 ได้

หลักการออกแบบโครงสร้างประเภทนี้คือ การออกแบบให้คานสามารถดูดซับพลังงานจากแรงแผ่นดินไหว โดยยอมให้มีการโก่งตัวเกินจากจุดอิลาสติกไปสู่ในช่วงอินอิลาสติก ที่ตำแหน่งจุดข้อหมุนพลาสติกบริเวณปลายคานซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างคานและเสา ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบเสาให้มีกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดมากกว่าคาน อันเป็นหลักการของเสาแข็งแรง-คานอ่อน สำหรับในบทนี้จะเน้นเฉพาะการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีความเหนียวเป็นพิเศษ เนื่องจากโครงสร้าง IMRF มีวิธีการออกแบบที่แตกต่างจากสองประเภทแรก

5.6 การออกแบบโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กโดยหลักการเสาแข็งแรง – คานอ่อน

การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยหลักการเสาแข็งแรง - คานอ่อนนี้ ใช้ข้อกำหนด ACI318-99 ซึ่งมีหลักการดังนี้

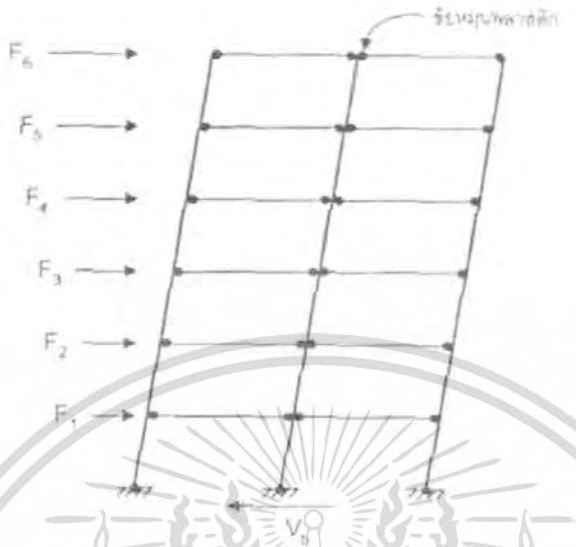
หลักการออกแบบ

5.6.1 จะต้องออกแบบเสาให้มีกำลังความแข็งและมั่นคง (strength & stability) ต่อแรงกระทำทางด้านข้าง โดยมีพฤติกรรมการรับแรงแบบยืดหยุ่น

5.6.2 จะต้องออกแบบคานให้มีความแข็งแรงน้อยกว่าเสา แต่ให้คานมีความเหนียวต่อการดัดโค้ง (curvature ductility) ได้ และจัดวางตำแหน่งของการดัดโค้งหรือข้อหมุนพลาสติก ให้เกิดขึ้นบริเวณปลายคานที่ต่อกับเสา เพื่อให้คานมีการหมุนในบริเวณนี้ได้ ดังนั้น พลังงานจากแรงแผ่นดินไหวจะถูกดูดซับและกระจายไปในบริเวณข้อหมุนพลาสติกที่ปลายคาน

เนื่องจากเสามีความแข็งแรงกว่าคาน ดังนั้น ข้อหมุนพลาสติกจะไม่เกิดในระหว่างชั้นของเสา ทำให้โครงสร้างอาคารโยกไหวไป–มา ได้อย่างเหนียวแน่นมั่นคงไม่พังทลายลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 หลักการเสาแข็งแรงและคานอ่อน

หลักการเสาแข็งแรงและคานอ่อนนี้ จะกระทำได้ก็ต่อเมื่อมีการออกแบบให้กำลังโมเมนต์ดัดต้านทานของเสามีค่ามากกว่ากำลังโมเมนต์ดัดต้านทานของคาน ดังนี้

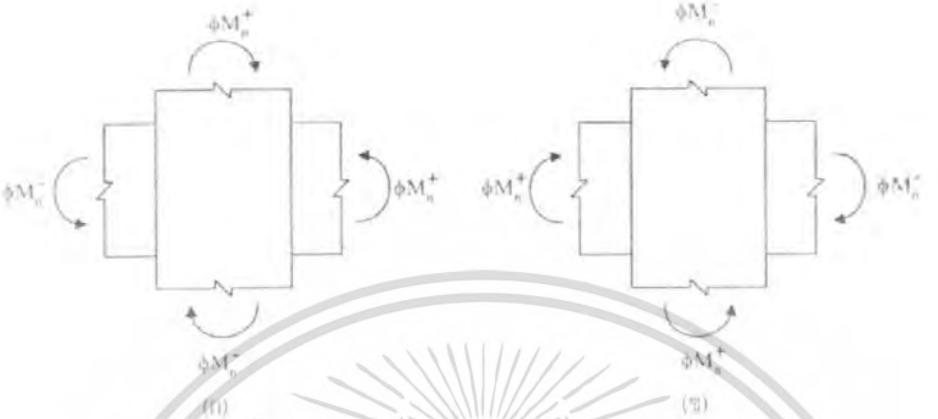
$$\sum M_{column} \geq \left(\frac{6}{5}\right) \sum M_{beam} \tag{5.6}$$

โดยที่ $\sum M_{column}$ คือ ผลรวมของกำลังโมเมนต์ดัดระบุ (norminal moment) ของเสารอบจุดต่อ

$\sum M_{beam}$ คือ ผลรวมของกำลังโมเมนต์ดัดระบุ (norminal moment) ของคานรอบจุดต่อ

เนื่องจากแรงกระทำจากแผ่นดินไหว มีลักษณะกระทำกลับไป-มา ดังนั้นค่าโมเมนต์ดัดบริเวณจุดรอยต่อเสาและคาน อาจกลับทิศทางได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 โมเมนต์ดัดที่จุดต่อเสาและคาน
ก) การเซด้านข้างไปทางซ้าย ข) การเซด้านข้างไปทางขวา

ดังนั้น สมการที่ 5.6 จึงเขียนใหม่ได้ ดังนี้

$$\left(\phi M_n^+ + \phi M_n^-\right)_{column} \geq \frac{6}{5}\left(\phi M_n^+ + \phi M_n^-\right)_{beam} \qquad (5.7)$$

โดยที่ ϕ = 0.9 สำหรับคาน
= 0.70 สำหรับเสาปลอกเดี่ยว
= 0.75 สำหรับเสาปลอกเกลียว

5.6.1 การออกแบบเหล็กเสริมตามยาวในเสาและคาน

ก) เหล็กเสริมตามยาวในเสาและคานจะต้องออกแบบตามหลักการของเสาแข็งแรงและคานอ่อน นั่นคือ

$$\sum M_{column} \geq \frac{6}{5}\sum M_{beam}$$

ข) อัตราส่วนปริมาณเหล็กเสริมตามยาวในคาน-เสาต้องอยู่ในช่วง $0.01 \leq \rho_g \leq 0.06$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\rho_g = A_s/A_g$ ในทางปฏิบัติ ค่า ρ_g สูงสุดไม่ควรเกิน 0.035 เพื่อป้องกันมิให้ปริมาณเหล็กเสริมมีแน่นเกินไป

ค) ปริมาณเหล็กเสริมตามยาวต่ำสุดในคาน ต้องไม่น้อยกว่า

สำหรับหน้าตัดคานทั่วไป

$$\rho_{min} \geq \frac{0.79\sqrt{f'_c}}{f_y} \geq \frac{14}{f_y} \qquad (5.8ก)$$

สำหรับหน้าตัดคานรูป T ซึ่งปีกคานรับแรงดึง (โมเมนต์ลบ)

$$\rho_{min} \geq \frac{1.85\sqrt{f'_c}}{f_y} \geq \frac{14}{f_y} \qquad (5.8ข)$$

ค่าปริมาณเหล็กเสริมตามยาว ρ ใช้ได้ไม่เกิน 0.025

ง) กำลังโมเมนต์ดัดระบุที่จุดต่อเสา-คาน

$$M_n^+ \geq \frac{1}{2}M_n^- \qquad (5.9ก)$$

กำลังโมเมนต์ดัดระบุที่หน้าตัดใดๆ

$$M_a^+ \geq \frac{1}{4}\left(M_u^-\right)_{max} \qquad (5.9ข)$$

$$M_a^- \geq \frac{1}{4}\left(M_a^+\right)_{max} \qquad (5.9ค)$$

โดยที่ M_n^+ คือกำลังโมเมนต์ดัดระบุมีค่าเป็นบวกที่จุดต่อเสา-คาน

M_n^- คือกำลังโมเมนต์ดัดระบุมีค่าเป็นลบที่จุดต่อเสา-คานเดียวกัน

M_a^+ M_a^- คือกำลังโมเมนต์ดัดระบุที่หน้าตัดใดๆมีค่าเป็นบวกและลบ

$\left(M_a^+\right)_{max}$ $\left(M_a^-\right)_{max}$ คือ กำลังโมเมนต์ดัดระบุสูงสุดที่หน้าตัดใดๆ มีค่าเป็นบวกและลบตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.2 การออกแบบเหล็กปลอกต้านทานแรงเฉือนในคาน

แรงเฉือนที่ปลายคานคำนวณจากกำลังโมเมนต์ต้านทานที่เกิดขึ้น บริเวณข้อหมุนพลาสติก ดังนี้

$$V_L = \frac{M^-_{prL} + M^+_{prR}}{l_c} + 0.75\frac{1.4W_D + 1.7W_L}{2} \qquad (5.10ก)$$

$$V_L = \frac{M^+_{prL} + M^-_{prR}}{l_c} + 0.75\frac{1.4W_D + 1.7W_L}{2} \qquad (5.10ข)$$

โดยที่ V_L คือ แรงเฉือนที่ปลายคานทางซ้าย, กก.

V_R คือ แรงเฉือนที่ปลายคานทางขวา, กก.

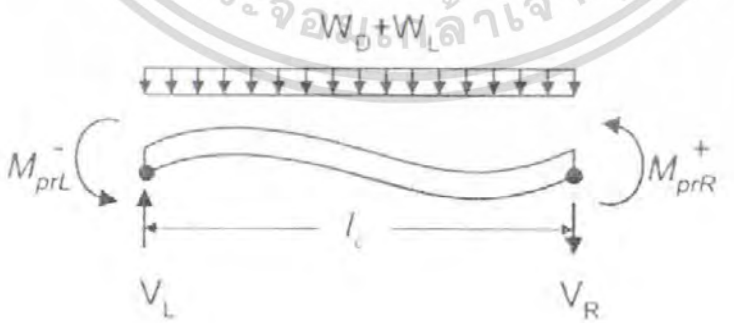
M_{pr} คือ กำลังโมเมนต์ต้านทานที่เป็นไปได้ (Probable moment resistance) ที่ปลายคานคำนวณจากกำลังหน้าตัดเหล็กเสริมตามยาว เท่ากับ $1.25f_y$, กก-ม.

R,L คือ ด้านขวาและด้านซ้ายของคาน ตามลำดับ

l_c คือ ความยาวช่วงคานสุทธิ,ม.

W_D,W_L คือ น้ำหนักบรรทุกเพิ่มส่วนคงที่และน้ำหนักบรรทุกเพิ่มส่วนจรตามลำดับ ,กก.

โมเมนต์ดัดและแรงเฉือนสำหรับคานที่มีการเซไปทางซ้ายแสดงในรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 โมเมนต์ดัดและแรงเฉือนที่ปลายคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีต

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c'}bd \qquad (5.11)$$

กำลังต้านทานแรงเฉือนของเหล็กปลอก

$$V_s = V_n - V_c \qquad (5.12)$$

ระยะห่างเหล็กปลอก $S = A_v f_y d / V_s$ (5.13)

กำหนดการวางเหล็กปลอกในช่วง 2 เท่าของความลึกคาน (2h) จากผิวรอยต่อคาน

ระยะห่างสูงสุดของเหล็กปลอก S_{max} ใช้ค่าต่ำสุดของค่าต่อไปนี้

- 1/4 ของความลึกประสิทธิผล, d/4
- 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาว, $8d_{bf}$
- 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก, $24d_{bh}$
- 0.30 ม.

5.6.3 การออกแบบเหล็กปลอกต้านทานแรงเฉือนในเสา

แรงเฉือนบริเวณรอยต่อเสา-คาน คำนวณจาก

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{h} \qquad (5.14)$$

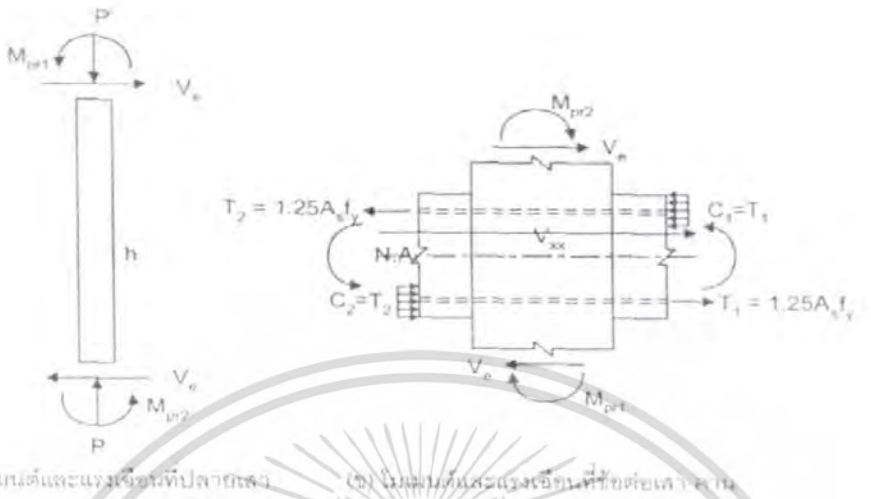
โดยที่ V_e คือ แรงเฉือนแนวราบกระทำที่ตำแหน่งบนสุดและใต้สุดของเสา,กก.

M_{pr1} M_{pr2} คือ กำลังโมเมนต์ต้านทานที่เป็นไปได้ (probable moment resistance) ที่ปลายเสาส่วนบนและเสาส่วนล่าง ตามลำดับ, กก-ม.

h คือ ความสูงของเสา, ม.

โมเมนต์ดัดและแรงเฉือนที่ปลายเสาและข้อต่อระหว่างเสา-คาน แสดงในรูปที่ 5.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โมเมนต์และแรงเฉือนที่ปลายเสา (ข) โมเมนต์และแรงเฉือนที่ข้อต่อเสา-คาน

รูปที่ 5.16 โมเมนต์ดัดและแรงเฉือน ก) ที่ปลายเสา และ ข) ที่ข้อต่อเสา-คาน

จากรูปที่ 5.16ข แรงเฉือนแนวราบสุทธิที่ข้อต่อเสา-คาน ส่วนเหนือแนวแกนสะเทิน คำนวณจาก

$$V_{xx} = T_2 + C_1 - V_e \qquad (5.15)$$

ซึ่งค่าแรงเฉือนที่ข้อต่อ V_{xx} นี้ จะต้องไม่เกิน กำลังต้านทานแรงเฉือนของข้อต่อ คำนวณได้จาก

ก) กรณีที่ข้อต่อมีคานเชื่อมทุกด้าน

$$V_n =\leq 53.76\sqrt{f_c'}A_j \qquad (5.16ก)$$

ข) กรณีข้อต่อมีคานเชื่อมสามด้านหรือเชื่อมบนหน้าตัดตรงข้าม

$$V_n =\leq 39.53\sqrt{f_c'}A_j \qquad (5.16ข)$$

ค) กรณีข้อต่อมีคานเชื่อมแบบอื่น

$$V_n =\leq 31.62\sqrt{f_c'}A_j \qquad (5.16ค)$$

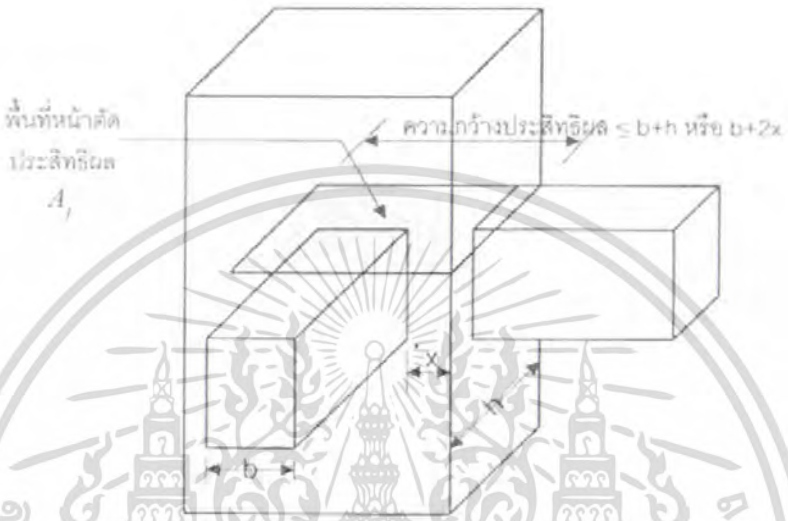
โดยที่ V_n คือ กำลังต้านทานแรงเฉือนของข้อต่อ, กก.

A_j คือ พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผลที่ข้อต่อ,ซม^2 ดังแสดงในรูปที่ 3.17

f_c' คือ กำลังอัดคอนกรีตสำหรับข้อต่อ,กก/ซม^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากค่าแรงเฉือนที่ข้อต่อ V_{ux} มีค่าน้อยกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของข้อต่อ V_n แสดงว่า ขนาดของข้อต่อเพียงพอต่อการต้านทานแรงเฉือนที่เกิดขึ้น



รูปที่ 5.17 พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผลของข้อต่อรับแรงเฉือน

คำนวณกำลังต้านทานแรงเฉือนของเหล็กปลอก Vs จาก

$$V_s = V_n - V_c$$

โดยที่ V_n คือ แรงเฉือนแนวราบสุทธิที่ข้อต่อเสา-คาน เท่ากับ V_{ux} กก.

V_c คือ กำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีต $\left(0.53\sqrt{f'_c}bd\right)$

ระยะห่างของเหล็กปลอก $S = A_v f_y d/V_s$

5.6.4 ข้อกำหนดของปริมาณเหล็กปลอกในเสา

เนื่องจากการเสริมเหล็กปลอกในเสาจะต้องมีการออกแบบให้เพียงพอ ทั้งนี้ก็เพื่อให้เสามีกำลังการโยกตัวที่เพียงพอในบริเวณข้อหมุนขีดหยุ่น (elastic hinge) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ดังนั้น จะต้องมีการเสริมปริมาณเหล็กปลอก ดังนี้

ก) สำหรับเสาปลอกเกลียว ค่าอัตราส่วนของปริมาตรของเหล็กปลอกต่อปริมาตรของแกนเสาคอนกรีต จะต้องไม่น้อยกว่าค่าต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho_s \geq \frac{0.12 f_c'}{f_{yh}} \qquad (5.18ก)$$

หรือ $$\rho_s \geq 0.45\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right)\frac{f_c'}{f_{yh}} \qquad (5.18ข)$$

โดยที่ ρ_s คือ อัตราส่วนของปริมาตรของเหล็กปลอกเกลียวต่อปริมาตรของแกนเสาคอนกรีต โดยวัดจากขอบนอกสุดของแกนเสาที่ล้อมรอบด้วยเหล็กปลอก

A_g คือ พื้นที่หน้าตัดเสาทั้งหมด, ซม^2

A_{ch} คือ พื้นที่หน้าตัดแกนเสาโดยวัดจากขอบนอกสุดของแกนเสาที่ล้อมรอบด้วยเหล็กปลอก,ซม^2

f_{yh} คือ กำลังครากของเหล็กปลอกเกลียว ,กก/ซม^2

ข) สำหรับเสาปลอกเดี่ยว พื้นที่หน้าตัดของเหล็กปลอกทั้งหมดภายในระยะห่าง s จะต้องไม่น้อยกว่า ค่าต่อไปนี้

$$A_{sh} \geq 0.09 s h_c \frac{f_c'}{f_{yh}} \qquad (5.19ก)$$

หรือ $$A_{sh} \geq 0.03 s h_c \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right)\frac{f_c'}{f_{yh}} \qquad (5.19ข)$$

โดยที่ A_{sh} คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กปลอกทั้งหมดภายในระยะห่าง s ,ซม^2

h_c คือ ความกว้างของหน้าตัดแกนเสาด้านยาวสุด วัดจากระยะห่างของศูนย์กลางเหล็กปลอก ,ซม

A_{ch} คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเสา วัดจากขอบนอกสุดของเหล็กปลอก

s คือ ระยะห่างของเหล็กปลอก วัดตามความยาวของเสา, ซม.

ค) เหล็กปลอกบริเวณหัวเสาทั้งส่วนบนและส่วนล่างของจุดต่อเสา-คาน จะต้องมีการเสริมเหล็กปลอกบริเวณนี้เป็นระยะความยาว l_0 และมีระยะห่าง s_x ไม่เกินค่าต่อไปนี้

- $s_x \leq 1/4$ ของด้านแคบของเสา, b/4 หรือไม่เกิน 10 ซม.
- $s_x \leq 6$ เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กยืน
- $s_x \leq 10 + (.5 - h_x)/3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ S_x คือ ระยะห่างของเหล็กปลอกภายในระยะความยาว l_0 ,ซม.

h_x คือ ระยะห่างสูงสุดของเหล็กปลอกในทุกหน้าตัดของเสา, ซม.

สำหรับระยะความยาว l_0 คำนวณจากระยะสูงสุดของค่าต่อไปนี้

- $l_0 \geq$ ความลึกของเสา
- $l_0 \geq$ 1/6 ของความกว้างสุทธิของช่วงคาน
- $l_0 \geq 45$ ซม. สำหรับบริเวณเสาที่รับน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดมาก เช่น เสาชั้นล่างของอาคาร ให้เพิ่มความยาว l_0 อีก50% เป็นอย่างน้อย 67.5 ซม.

5.6.5 การจัดรายละเอียดเหล็กเสริมในคานและเสา

5.6.5.1 เหล็กเสริมในคาน

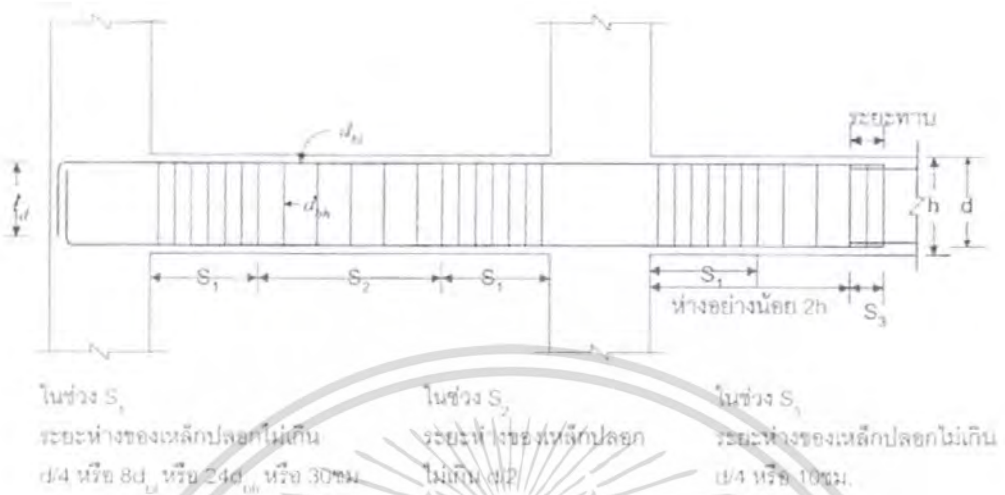
การจัดรายละเอียดเหล็กเสริมในคาน มีดังนี้

ก) การหยุดเหล็กเสริมตามยาวของคานที่เสาต้นนอก จะต้องขึ้นเหล็กเสริมจนถึงแกนเสาส่วนนอกสุด และงอเหล็กเสริมเผื่ออีกเป็นระยะอย่างน้อย 1_d เพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้ดี

ข) จุดต่อทาบเหล็กเสริมตามยาว จะต้องอยู่ห่างจากผิวรอยต่อของคานและเสาอย่างน้อย 2 เท่าของความลึกคาน ห้ามต่อทาบเหล็กภายในบริเวณข้อหมุนพลาสติกและบริเวณจุดต่อเสา-คาน ทั้งนี้เพราะเหล็กเสริมในบริเวณนี้อาจจะรับแรงดึงสูงเกินจุดครากได้ และมีแรงกระทำซ้ำในลักษณะกลับไป-มา ด้วย

ค) เหล็กปลอกเสริมรับแรงเฉือนมีอยู่ 2 ช่วงคือ S_1 บริเวณข้อหมุนพลาสติก ซึ่งจะต้องเสริมเหล็กปลอกที่แน่นเป็นพิเศษตามข้อกำหนด เป็นระยะอย่างน้อย 2 เท่าของความลึกคาน และ S_2 บริเวณนอกเขตข้อหมุนพลาสติก ซึ่งจัดเหล็กปลอกตามแบบปกติดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 5.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 รายละเอียดเหล็กเสริมในคานสำหรับโครงสร้าง SMRF

5.6.5.2 เหล็กเสริมในเสา

การจัดรายละเอียดเหล็กเสริมในเสา มีดังนี้

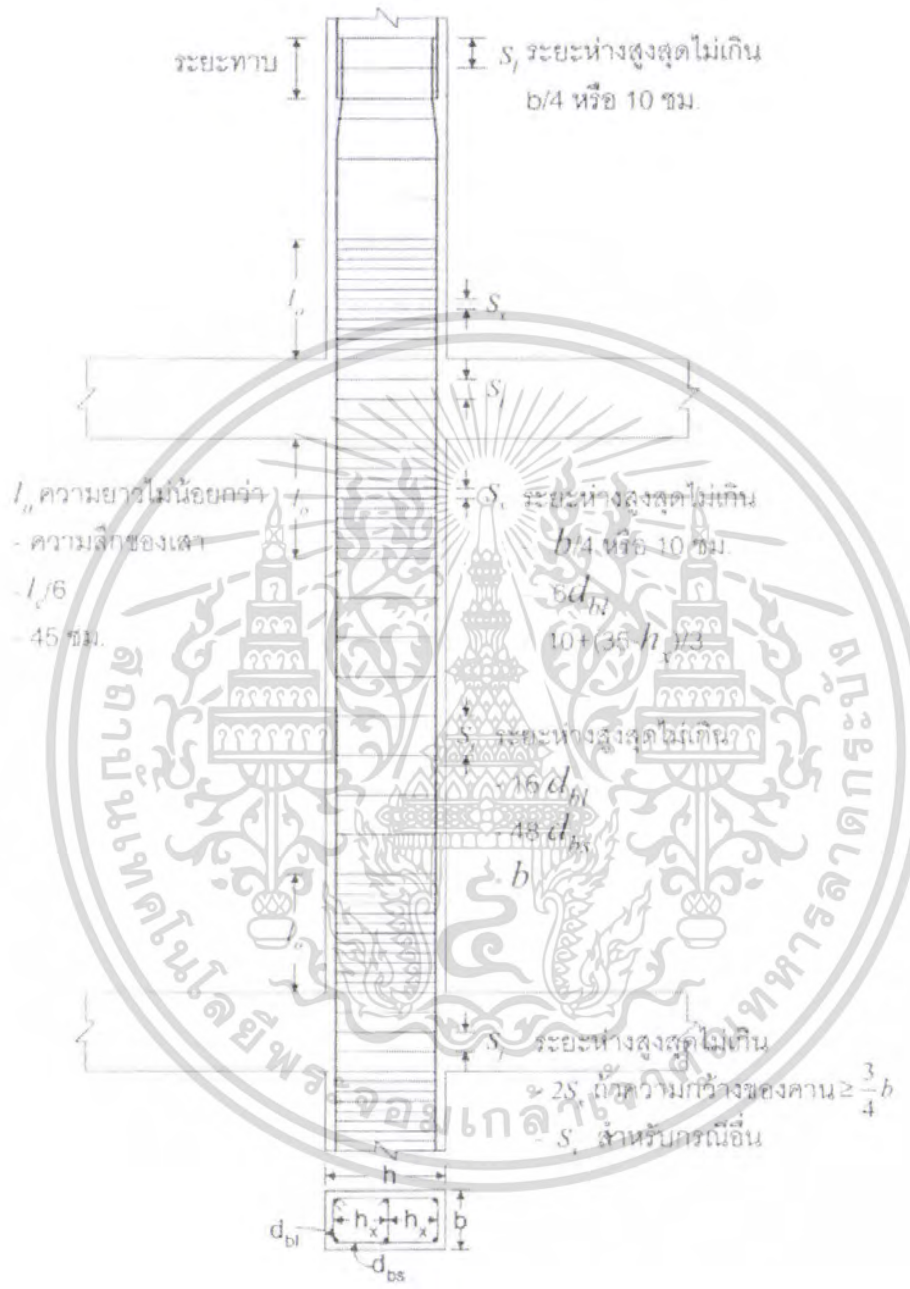
ก) การต่อทาบเหล็กยืน จะต้องต่อภายในช่วงระยะกึ่งกลางเสาเท่านั้น ห้ามต่อทาบเหล็กภายในระยะความยาว l_0 จากข้อต่อเสา-คาน ดังแสดงในรูปที่ 5.19 เนื่องจากที่บริเวณข้อต่อเสานี้มีค่าโมเมนต์ดัดสูง

ข) เหล็กปลอกเสริมรับแรงเฉือนมีอยู่ 2 ช่วงคือ S_x บริเวณส่วนบนและส่วนล่างของข้อต่อเสา-คาน ภายในระยะความยาว l_0 จากผิวรอยต่อ ซึ่งจะต้องเสริมเหล็กปลอกที่แน่นเป็นพิเศษตามข้อกำหนด และ S_t บริเวณช่วงกลางเสานอกเขตระยะความยาว l_0 ซึ่งจัดเหล็กปลอกตามแบบปกติ

ค) สำหรับเสาภายในข้อต่อเสา-คาน จะต้องเสริมเหล็กปลอกตามข้อกำหนด ดังนี้

- หากความกว้างของคานมากกว่าหรือเท่ากับ ¾ เท่าของความกว้างเสา ให้จัดระยะเหล็กปลอกเป็น $2S_x$
- สำหรับกรณีอื่น ใช้ระยะเหล็กปลอกเท่ากับ S_x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

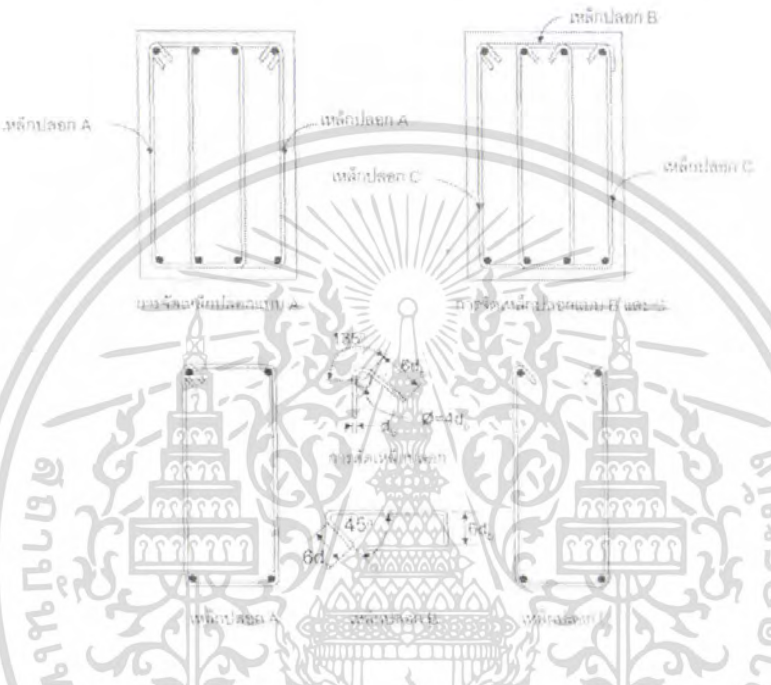


รูปที่ 5.19 รายละเอียดเหล็กเสริมในเสาสำหรับโครงสร้าง SMRF

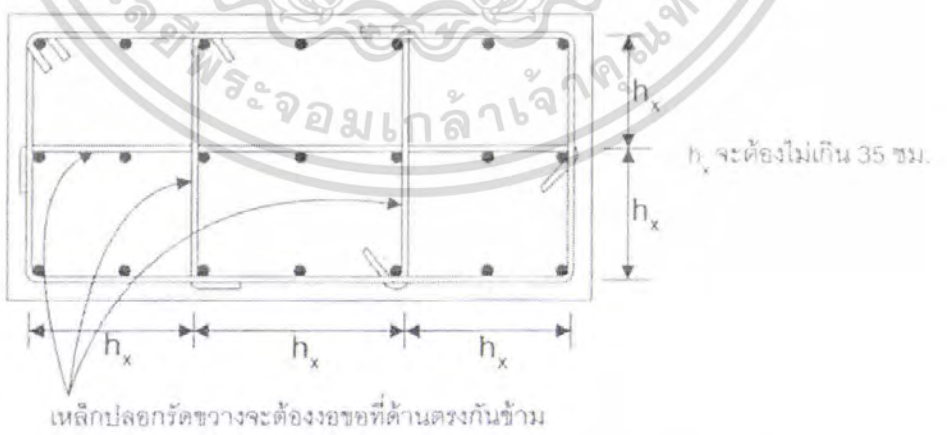
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.5.3 การจัดเหล็กปลอกเสริมในคานและเสาสำหรับโครงสร้างSMRF

การจัดเหล็กปลอกเสริมในคานและเสา มีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 5.20 – 5.21 ดังนี้



รูปที่ 5.20 รายละเอียดเหล็กปลอกสำหรับคานสำหรับโครงสร้าง SMRF



รูปที่ 5.21 รายละเอียดเหล็กปลอกสำหรับเสาสำหรับโครงสร้าง SMRF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ จากโครงสร้างอาคาร โดยกำหนดให้ดังนี้

ขนาดคาน 0.30x0.60 ม. เหล็กเสริม $A_s^+ = A_s^- =$ 4DB28

เสาต้นนอก ขนาดเสา สำหรับทุกชั้นเท่ากับ 0.30 x 0.50 ม. เหล็กยืน 14DB28

เสาต้นใน ขนาดเสา สำหรับชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เท่ากับ 0.30 X 0.60 ม. เหล็กยืน 14DB28

$f_c' = 250$ กก/ซม^2 และ $f_y = 4{,}000$ กก/ซม^2

จงคำนวณออกแบบปริมาณเหล็กเสริมในเสาและคาน โดยแยกเป็น ดังนี้

ก) ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมตามหลักการของเสาแข็งแรงและคานอ่อน

ข) เหล็กปลอกด้านทานแรงเฉือนบริเวณจัดต่อเสาและคาน (Joint E) ดังแสดงในรูปที่ 5.22

รูปที่ 5.22 รูปตัดขวางของอาคารสำหรับตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำ

ก) ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมตามหลักการของเสาแข็งแรงและคานอ่อน จากสมการ

$$\left(\phi M_n^+ + \phi M_n^-\right)_{column} \geq \frac{6}{5}\left(\phi M_n^+ + \phi M_n^-\right)_{beam}$$

คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดของคาน

$$\rho = \rho' = \frac{A_s}{bd} = 4 \text{ x } 4.91/(30-55) = 0.012 > \rho_{min} = 14/4{,}000 = 0.0035$$

$$\rho_b = 0.85\beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \cdot \frac{6120}{6120 + f_y} = 0.027, \rho_{max} = 0.75 \text{ x } 0.027 = 0.02$$

ค่าปริมาณเหล็กเสริมตามยาว $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ แสดงว่าเหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดคราก และ ρ มีค่าไม่เกิน 0.025 จึงใช้ได้

$$\left(\rho - \rho'\right)_{min} = 0.85B_1 \frac{f_c'}{f_y} \cdot \frac{d'}{d} \cdot \frac{6120}{6120 - f_y}$$

$$= 0.85(0.85)\frac{250}{4000} \cdot \frac{5}{55} \cdot \frac{6120}{6120 - 4000} = 0.012$$

เนื่องจาก $\rho - \rho' = 0 < \left(\rho - \rho'\right)_{min} = 0.012$ แสดงว่าเหล็กเสริมรับแรงอัดไม่ถึงจุดคราก ดังนั้น คำนวณหาหน่วยแรงอัดในเหล็กเสริมรับแรงอัด f_s' ที่เกิดขึ้นจริง จาก

$$f_s' = \frac{c - d'}{d} 6120$$

คำนวณค่า C ได้เท่ากับ 7.37 ซม. และ a = 0.85(7.37) = 6.26 ซม.

$$f_s' = \frac{7.37 - 5}{7.37} 6120 = 1986 \text{ กก/ซม}^2$$

$$\left(M_n\right)_{beam} = 0.85 f_c' ab\left(d - a/2\right) + A_s' f_s'\left(d - d'\right)$$

$$= 0.85 \text{ x } 250 \text{ x } 6.26 \text{ x } 30(0.55\text{-}0.0626/2) + (19.64)(1968)(0.55\text{-}0.05)$$

$$= 40{,}026 \quad \text{กก.-ม.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดของเสา

$\rho = \rho' = A_s / bd$ = 6 x 6.16/(30 x 45) = 0.027 > ρ_{min} = 0.0035

ค่าปริมาณเหล็กเสริมตามยาว $\rho > \rho_{max} > \rho_{min}$ ดังนั้น จะคำนวณแบบมีเหล็กเสริมรับแรงอัด

$$(\rho - \rho')_{min} = 0.85(0.85)\frac{250}{4000}\cdot\frac{5}{45}\cdot\frac{6120}{6120-4000} = 0.014$$

เนื่องจาก $\rho - \rho' = 0 < (\rho - \rho')_{min} = 0.014$ แสดงว่าเหล็กเสริมรับแรงอัดไม่ถึงจุดคราก ดังนั้น คำนวณหาหน่วยแรงอัดในเหล็กเสริมรับแรงอัด ที่เกิดขึ้นจริง

คำนวณค่า C ได้เท่ากับ 8.92 ซม. และ a = 0.85 x 8.92 = 7.58 ซม.

$$f_s' = \frac{8.92-5}{8.92}6120 = 2690 \text{ กก/ซม.}^2$$

$$(M_n)_{column} = 0.85 f_c' ab(d - a/2) + A_s' f_s'(d - d')$$

= 0.85 x 250 x 7.58 x 30 (0.45-0.0758/2)+ (36.96)(2690)(0.45-0.05)

= 59,683 กก-ม.

ตรวจสอบกำลังโมเมนต์ดัดตามหลักการเสาแข็งแรงและคานอ่อน

$$(\phi M_n^+ + \phi M_n^-)_{column} \geq \frac{6}{5}(\phi M_n^+ + \phi M_n^-)_{beam}$$

แทนค่า

$(\phi M_n^+ + \phi M_n^-)_{column}$ = 0.7(59,683+59,683) = 83,566 กก-ม.

$\frac{6}{5}(\phi M_n^+ + \phi M_n^-)$ = 6/5(0.9)(40,026 + 40,026) = 86,456 กก-ม.

เนื่องจากกำลังโมเมนต์ดัดของเสามีค่าน้อยกว่ากำลังโมเมนต์ดัดของคาน ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบเสาใหม่ เพื่อให้เสามีกำลังความแข็งแรงมากกว่าคาน ซึ่งจะทำให้ข้อหมุนพลาสติกเกิดขึ้นที่คาน โดยไม่เกิดขึ้นที่เสา

ออกแบบเสาใหม่

ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมในเสาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\rho_g = \frac{A_s}{A_g}$ = (14 x 6.16)/(30 x 90) = 0.032 < 0.035 ใช้ได้

คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัด

$\rho = \rho' = A_s / bd$ = 6 x 6.16(30 x 85) = 0.014 > ρ_{min} = 0.0035

ค่าปริมาณเหล็กเสริมตามยาว $\rho > \rho_{max} > \rho_{min}$ แสดงว่าเหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดคราก และ ρ มีค่าไม่เกิน 0.025 จึงใช้ได้

$$(\rho - \rho')_{min} = 0.85(0.85)\frac{250}{4000}\cdot\frac{5}{85}\cdot\frac{6120}{6120-4000} = 0.0077$$

เนื่องจาก $\rho - \rho' = 0 < (\rho - \rho')_{min} = 0.0077$ แสดงว่าเหล็กเสริมรับแรงอัดไม่ถึงจุดคราก

ดังนั้น คำนวณหาหน่วยแรงอัดในเหล็กเสริมรับแรงอัด f_s' ที่เกิดขึ้นจริง

คำนวณค่า C ได้เท่ากับ 8.92 ซม. และ a = 7.58 ซม. และ f_s' = 1,690 กก/ซม^2

$(M_n)_{column} = 0.85 f_c' ab(d - a/2) + A_s' f_s' (d - d')$

= 0.85 x 250 x 7.58 x 30 (0.85-0.0758/2)+36.96 x 2.690(0.85-0.05)

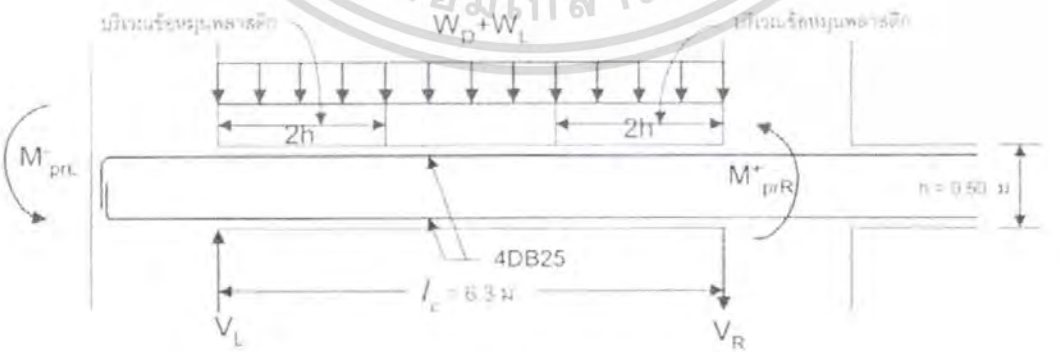
$(M_n)_{column}$ = 118,781 กก-ม.

$(\phi M_n^+ + \phi M_n^-)_{column}$ = 0.7(118,781+118,781)= 166,293 > 86,456 กก-ม.

กำลังรับโมเมนต์ดัดของเสามีค่ามากกว่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของคาน ดังนั้นขนาดเสาใหม่จึงใช้ได้

ออกแบบเหล็กปลอกที่จุดข้อต่อ (Joint E) ที่ปลายคาน บริเวณข้อหมุนพลาสติก

พิจารณาจากรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 แรงกระทำบนคานเพื่อการออกแบบจุดข้อต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณแรงเฉือนที่ปลายคานจาก

$$V_L = \frac{M^-_{prL+}M^+_{prR}}{l_c} + 0.75\frac{1.4W_D + 1.7W_L}{2}$$

$$V_R = \frac{M^+_{prL+}M^-_{prR}}{l_c} - 0.75\frac{1.4W_D + 1.7W_L}{2}$$

$$M^-_{prL} = M^+_{prR} = 1.25A_s f_y\left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$a = \frac{1.25A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{1.25x19.64x4000}{0.85x250x30} = 15.4 \quad \text{ซม.}$$

$M^-_{prL} = M^+_{prR}$ = 1.25 x 19.64 x 4000 (0.60 – 15.4/2) = 51,359 กก-ม.

$1.4W_D$ = 1.4(672x3.6x6.3) = 21,337 กก.

$1.7W_L$ = 1.7(600x3.6x6.3) = 23,134 กก.

$$V_L = \frac{51{,}359 + 51{,}359}{6.3} + 0.75\frac{21{,}337 + 23{,}134}{2} = 32{,}981 \quad \text{กก.}$$

$$V_R = \frac{51{,}359 + 51{,}359}{6.3} - 0.75\frac{21{,}337 + 23{,}134}{2} = -373 \quad \text{กก.}$$

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c}bd = 0.53\sqrt{250}(30)(55) = 13{,}827 \quad \text{กก.}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{23{,}981}{0.85} - 13{,}827 = 24{,}974 \quad \text{กก.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เหล็กปลอก DB12 $A_s = 2 \times 1.13 = 2.26$ ซม.^{2}

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{2.26x4000x55}{24974} = 19.91 \approx 20 \text{ ซม.}$$

กำหนดการวางเหล็กปลอกในช่วง 2 เท่าของความลึกคาน (2h = 1.20 ม.) จากผิวรอยต่อคาน ระยะห่างสูงสุดของเหล็กปลอก ใช้ค่าต่ำสุดของค่าต่อไปนี้

- ¼ ของความลึกประสิทธิผล $d/4 = 55/4 = 13.75$ ซม.
- 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาว $8d_{b1} = 8(2.5) = 20$ ซม.
- 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก $24d_{bh} = 24(1.2) = 28.8$ ซม.
- ไม่เกิน 30 ซม.

ดังนั้น ใช้เหล็กปลอก DB12@0.13ม. วางในช่วงระยะ 1.20 ม. จากผิวรอยต่อคาน

ออกแบบเหล็กปลอกสำหรับแรงเฉือนที่ระยะห่าง 2h จากผิวรอยต่อคาน

$$V_n = \frac{32,981}{0.85} - (21337 + 23134)x\frac{1.2}{6.3} = 30,331 \quad \text{กก.}$$

$$V_s = V_n - V_c = 30,331 - 13,827 = 16,504 \quad \text{กก.}$$

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{2.26x4000x55}{16,504} = 30.13 \approx 30 \quad \text{ซม.}$$

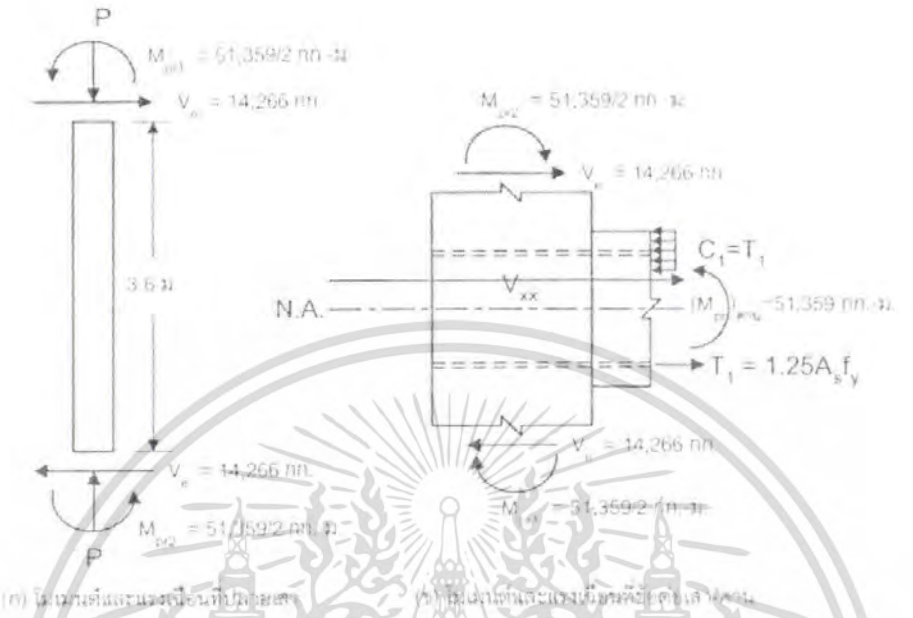
ดังนั้นใช้เหล็กปลอก DB12@0.275 ม. วางในช่วงจากปลายสุดของบริเวณข้อหมุนพลาสติกไปยังกึ่งกลางคาน ซึ่งระยะห่างสูงสุดของเหล็กปลอกไม่เกิน d/2 = 55/2 = 17.5 ซม.

ออกแบบเหล็กปลอกที่จุดข้อต่อ (Joint E) ที่เสา

พิจารณารูปที่ 5.24 คำนวณหาแรงเฉือนที่ปลายเสา จาก

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{h} = \frac{(1/2)(51,359 + 51,359)}{3.6} = 14,266 \quad \text{กก.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 โมเมนต์ดัดและแรงเฉือนที่ปลายเสา

แรงเฉือนแนวราบสุทธิที่ข้อต่อเสา-คาน ส่วนเหนือแนวแกนสะเทิน

$$V_{xx} = C_1 - V_c$$

$$C_1 = T_1 = 1.25A_s f_y = 1.25(19.64)(4000) = 98,200 \text{ กก.}$$

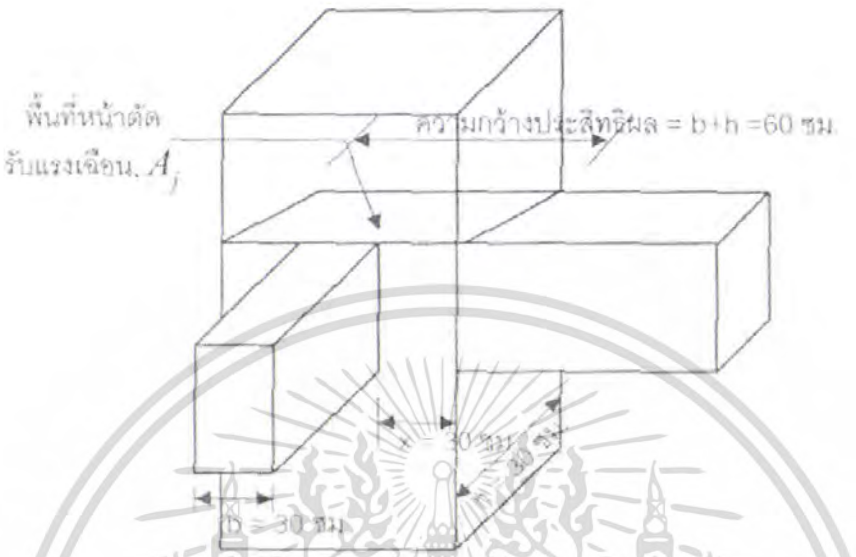
$$V_{xx} = 98,200 - 14,266 = 83,934 \text{ กก.}$$

กำลังต้านทานแรงเฉือนของข้อต่อ กรณีที่ข้อต่อมีคานเชื่อมสามด้าน

$$V_n \le 39.53\sqrt{f_c'}A_j = 39.53\sqrt{250}(60x30) = 1.125x10^6 \text{ กก.}$$

กำลังต้านทานแรงเฉือนของข้อต่อมีค่ามากกว่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นมาก ดังนั้น ขนาดของข้อต่อเพียงพอต่อการต้านทานแรงเฉือนที่เกิดขึ้น สำหรับพื้นที่หน้าตัดรับแรงเฉือนแสดงในรูปที่ 5.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 พื้นที่หน้าตัดรับแรงเฉือน

คำนวณออกแบบเหล็กปลอกบริเวณหัวเสา

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{14,266}{0.85} - 0.53\sqrt{250}(30x85) = -7,103 \quad \text{กก.}$$

หน้าตัดเสาคอนกรีต รับแรงเฉือนได้

ลองใช้เหล็กปลอก DB12@0.10 ม. ในเบื้องต้น

คำนวณพื้นที่หน้าตัดของเหล็กปลอกทั้งหมดภายในระยะห่าง S

$A_{sh} \geq 0.09sh_c f_c^{'} / f_{yh}$

$h_c = 90 - 2(4 + 1.2/2) = 80.8$ ซม. และใช้ S = b/4 = 30/4 = 7.5 ซม.

$A_{sh} = 0.09x7.5x80.8(250/4000) = 3.41$ ตร.ซม.

หรือ $A_{sh} \geq 0.3sh_c\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right)\frac{f_c^{'}}{f_{yh}}$

$A_{ch} = (30 - (20x4))(90 - (2x4)) = 1,804$ ตร.ซม.

$A_g = 30x90 = 2,700$ ตร.ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_{sh} = 0.3x7.5x80.8\left(\frac{2700}{1804}-1\right)\frac{250}{4000} = 5.64 \quad \text{ตร.ซม.}$$

ดังนั้น จัดเหล็กปลอกและเหล็กรัดขวางดังแสดงในหน้าตัดเสา ดังรูปที่ 5.22
รวมพื้นที่เหล็กปลอกทั้งหมด = 7 x1.13 = 7.91 ตร.ซม. > 5.64 ตร.ซม. จึงใช้ได้
จัดเหล็กปลอกบริเวณระยะความยาว l_0 และมีระยะห่าง S_x ไม่เกิน ค่าต่อไปนี้

- $S_x \leq 1/4$ ของด้านแคบของเสา b/4 = 30/4 = 7.5 ซม.
- $S_x \leq 6$ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กยืน = 6(2.8) = 16.8 ซม.
- $S_x \leq 10 + (35 - h_x)/3$, S_x = 10+(35-27)/3 = 12.67 ซม.

สำหรับระยะความยาว l_0 คำนวณจากระยะสูงสุดของค่าต่อไปนี้

- $l_0 \geq$ ความลึกของเสา = 90 ซม.
- $l_0 \geq$ 1/6 ความกว้างสุทธิของช่วงคาน = 6.3/6 = 1.05 ม.
- $l_0 \geq$ 67.5 ซม. สำหรับเสาชั้นล่าง

ดังนั้น ใช้เหล็กปลอก DB12@0.075 ม. เสริมที่เสาในระยะความยาว 1.05 ม. จากผิวรอยต่อของเสาและคาน ทั้งส่วนบนและส่วนล่างของจุดข้อต่อ ดังแสดงในรูปที่ 5.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.26 รายละเอียดเหล็กเสริมของคานและเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การออกแบบโครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือน

6.1 บทนำ

โครงสร้างกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กมีบทบาทที่สำคัญในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว เนื่องจากคุณสมบัติของกำแพงมีค่าสติฟเนสที่สูง จึงทำให้สามารถลดค่าการโก่งตัวของโครงสร้างและเพิ่มค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ รวมทั้งลดระดับความเสียหายของส่วนประกอบอาคารที่มิใช่โครงสร้างได้ ประโยชน์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ พฤติกรรมของโครงสร้างกำแพงมีความน่าเชื่อถือมากกว่าโครงข้อแข็ง เนื่องจากกำแพงมีคุณสมบัติที่แข็งแรงกว่าคานมาก ทำให้ข้อหมุนพลาสติกเกิดขึ้นที่ปลายคานตามบริเวณที่ออกแบบไว้ โดยไม่เกิดที่กำแพง ดังนั้นจึงสอดคล้องกับหลักการเสาแข็งแรง-คานอ่อน

แต่แม้ว่าโครงสร้างกำแพงจะมีประโยชน์มากแต่ข้อกำหนดของการออกแบบ UBC1994 และ UBC1997 ยังคงใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับพลังงานของโครงสร้าง(R_w,R) สำหรับโครงสร้างกำแพงน้อยกว่าโครงข้อแข็งที่มีความเหนียวพิเศษ (SMRF) ถึง 50% เหตุผลที่สำคัญคือโครงสร้างกำแพงมีพฤติกรรม ที่ไม่ค่อยเหนียวโดยเฉพาะมีโอกาสที่จะเกิดการวิบัติแบบความเปราะด้วยแรงเฉือน หากต้องการออกแบบให้มีคุณสมบัติเหนียวยิ่งขึ้น ในปัจจุบันนิยมใช้โครงสร้างผสมระหว่างโครงข้อแข็งและกำแพง ซึ่งข้อกำหนด UBC1997 เพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับพลังงาน R สำหรับโครงสร้างผสมนี้ให้ใกล้เคียงกันกับกรณีโครงข้อแข็ง

โครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือนแบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามพฤติกรรมของการรับแรงกระทำทางด้านข้าง คือ ก) โครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือนแบบอิสระ (independent shear wall) ได้แก่ กำแพงทั่วไป ซึ่งมีรูปร่างต่างๆตามลักษณะการจัดวางผังอาคาร เช่น รูปร่างแบบ L, T , I , U เป็นต้น พฤติกรรมการรับแรงกระทำทางด้านข้างของกำแพงเหล่านี้ จะแยกเป็นอิสระจากกัน โดยจะต้านทานทั้งแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดจากแรงกระทำทางด้านข้าง และ ข) โครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือนแบบควบคู่ (coupled shear wall) ได้แก่ โครงสร้างกำแพงที่ถูกเชื่อมยึดด้วยพื้นหรือคาน ซึ่งมีความหนาหรือความลึกเพียงพอทำให้เกิดแรงต้านทานต่อโมเมนต์ดัดมาก ดังนั้น กำแพงที่วางอยู่ในแนวเดียวกันและยึดเชื่อมเข้าด้วยกันนี้ จะมีพฤติกรรมร่วมในการช่วยกันต้านทานแรงกระทำทางด้านข้าง ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการรับแรงกระทำมากยิ่งขึ้นกว่ากำแพงอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 โครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือนแบบอิสระ

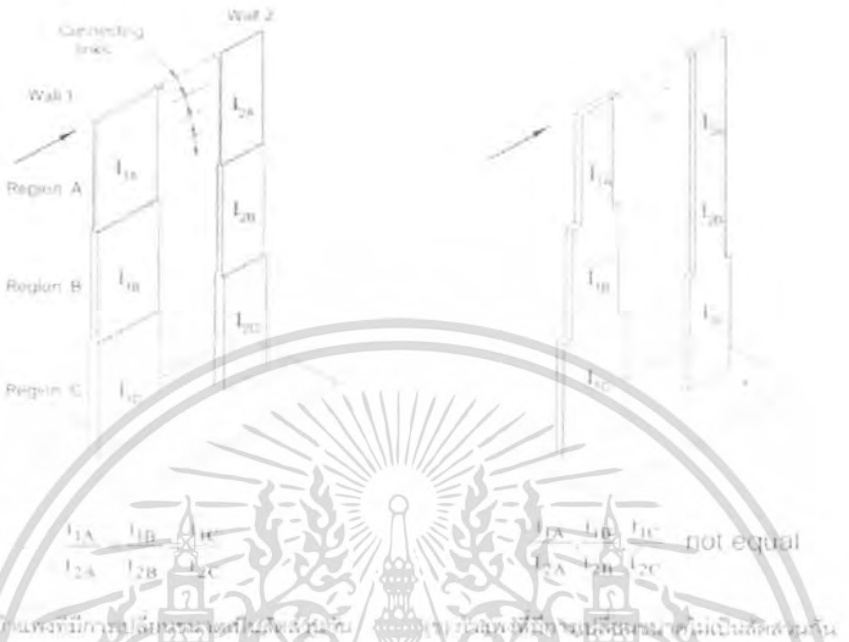
พฤติกรรมการรับแรงของโครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือน เมื่อมีแรงกระทำทางด้านข้างอาคารจะก่อให้เกิดทั้งหน่วยแรงดัดและหน่วยแรงเฉือนในกำแพง ซึ่งหน่วยแรงดัดนี้จะเป็นหน่วยแรงหลักที่ทำให้กำแพงมีการโก่งตัวแบบถูกดัด (flexure mode) ทำให้เกิดหน่วยแรงดึงในด้านถูกแรงกระทำและเกิดหน่วยแรงอัดในด้านหลังแรงกระทำ โดยที่โครงสร้างกำแพงจะทำหน้าที่เสมือนเสา ในการรับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรด้วย หากวางตำแหน่งของกำแพงให้สมมาตรในผังอาคาร น้ำหนักบรรทุกเหล่านี้จะช่วยลดหน่วยแรงดึงในกำแพงได้ ซึ่งจะทำให้ออกแบบเหล็กเสริมในกำแพงได้อย่างประหยัด

โดยทั่วไป โครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือนในอาคารสูง มักใช้ขนาดความยาวและความหนาลดหลั่นกันไป ซึ่งผลจากการใช้ขนาดกำแพงที่เปรเปลี่ยนได้นี้ ทำให้เกิดการกระจายโมเมนต์และแรงเฉือนที่ซับซ้อนในระหว่างรอยต่อการเปลี่ยนขนาดของกำแพง ดังนั้น จึงจำแนกกำแพงอิสระนี้ออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการเปลี่ยนขนาดกำแพง ดังนี้

6.2.1 กำแพงที่มีการเปลี่ยนขนาดเป็นสัดส่วนกัน (Proportionate Shear Wall)

โครงสร้างกำแพงระบบนี้เป็นกำแพงซึ่งมีอัตราส่วนของความแข็งเชิงดัด คงที่ตลอดความสูงอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 6.1ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 โครงสร้างกำแพงแบบที่มีการเปลี่ยนขนาดเป็นสัดส่วนและแบบไม่เป็นสัดส่วนกัน

โครงสร้างกำแพงแบบนี้จะมีค่าแรงเฉือนและโมเมนต์กระจายเป็นสัดส่วนกับค่าความแข็งเชิงดัดของกำแพง และไม่มีการกระจายแรงเฉือนหรือโมเมนต์ที่ระดับการเปลี่ยนขนาดของกำแพง

6.2.2 กำแพงที่มีการเปลี่ยนขนาดไม่เป็นสัดส่วนกัน (Nonproportionate Shear Wall)

โครงสร้างระบบนี้มีค่าอัตราส่วนของความแข็งเชิงดัดไม่คงที่ ตลอดความสูงของอาคารดังแสดงในรูปที่ 6.1 ข ณ ระดับชั้น ซึ่งมีการเปลี่ยนค่าความแข็งจะมีการกระจายแรงเฉือนและโมเมนต์ในกำแพงเกิดขึ้นได้และมักมีแรงเฉือนเกิดขึ้นสูงที่บริเวณชั้นนี้ เนื่องจากการคำนวณหาแรงภายในองค์อาคารของกำแพงแบบนี้ค่อนข้างซับซ้อน สำหรับในที่นี้จะกล่าวในรายละเอียดของการคำนวณออกแบบเฉพาะกำแพงแบบแรกคือ Proportionate Shear Wall เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การคำนวณออกแบบกำแพงระบบที่มีการเปลี่ยนขนาดเป็นสัดส่วนกัน

6.3.1 โครงสร้างสมมาตร (Symmetric Structure)

โครงสร้างซึ่งมีลักษณะสมมาตรในผังอาคารต่อแนวของแรงกระทำ ดังแสดงในรูปที่ 6.2 จะไม่มีการบิดตัวที่ระดับชั้น ใดๆ แรงเฉือนภายนอกทั้งหมด Q_i และโมเมนต์ภายนอกทั้งหมด M_i จะกระจายไปยังกำแพงต่างๆ ตามอัตราส่วนของค่าความแข็งเชิงดัดของกำแพง ดังนี้

แรงเฉือนและโมเมนต์ในกำแพง j ที่ระดับชั้น i

$$Q_{ji} = Q_i \frac{(EI)_{ji}}{\sum (EI)_i} \tag{6.1}$$

$$M_{ji} = M_i \frac{(EI)_{ji}}{\sum (EI)_i} \tag{6.2}$$

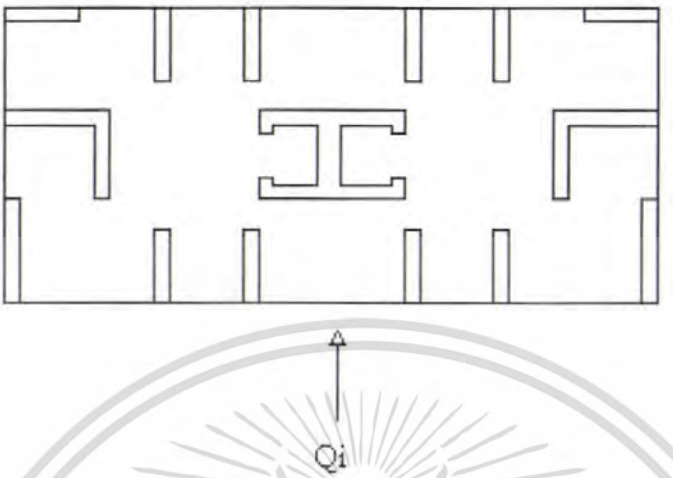
โดยที่ Q_i และ M_i คือแรงเฉือนภายนอกและโมเมนต์ภายนอกทั้งหมดที่กระทำที่ระดับชั้น i ตามลำดับ

Q_{ji} และ M_{ji} คือ แรงเฉือนและโมเมนต์ในกำแพง j ที่ระดับชั้น i ตามลำดับ

$(EI)_{ji}$ คือ ความแข็งเชิงดัดของกำแพง j ที่ระดับชั้น i

$\sum (EI)_i$ คือผลรวมของความแข็งเชิงดัดของกำแพงทั้งหมด ที่ระดับชั้น i

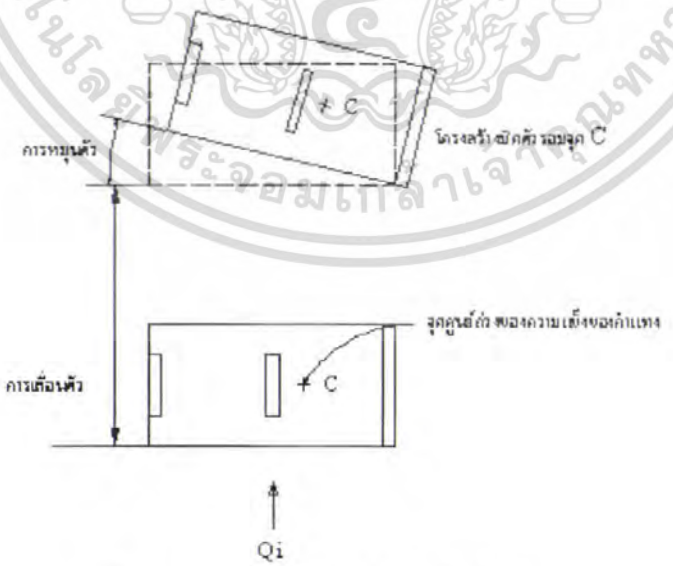
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่6.2 โครงสร้างกำแพงแบบสมมาตร

6.3.2 โครงสร้างไม่สมมาตร (Asymmetric Structure)

โครงสร้างซึ่งไม่สมมาตรต่อแกนของแรงกระทำจะมีการเลื่อนตัวและหมุนตัวด้วยดังแสดงในรูปที่ 6.3 การเคลื่อนที่ในแนวราบของพื้นอาคารจะเท่ากับผลรวมของการเลื่อนตัว และการหมุนตัว รอบจุดศูนย์กลางของการหมุนบิดตัว ซึ่งในที่นี้ก็คือจุดศูนย์ถ่วงของความแข็งเชิงดัดของกำแพง



รูปที่ 6.3 การเคลื่อนตัวของโครงสร้างไม่สมมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากรูปโครงสร้างอาคารซึ่งไม่สมมาตร (รูปที่ 4.4) จุดศูนย์กลางของการหมุนบิดตัว สามารถคำนวณได้จาก

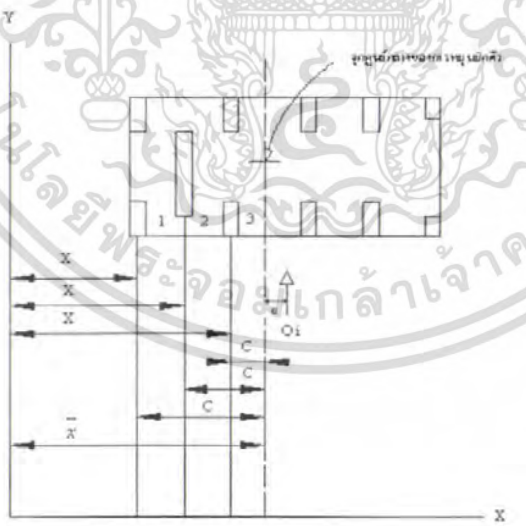
$$\bar{x} = \frac{\sum (EIx_j)_i}{\sum (EI)_i} \tag{6.3}$$

โดยที่ $\bar{x}$ คือ จุดศูนย์กลางของการหมุนบิดตัว

$\sum (EI)_i$ คือ ผลรวมของความแข็งเชิงดัด

$\sum (EIx_j)_i$ คือ ผลรวมของโมเมนต์ความแข็งเชิงดัดรอบจุดศูนย์กลางของการหมุนบิดตัว

สำหรับโครงสร้างกำแพงที่เป็นสัดส่วนกัน จุดศูนย์กลางของการหมุนบิดตัวและจุดศูนย์กลางแรงเฉือน จะทับกัน



รูปที่ 6.4 โครงสร้างไม่สมมาตรซึ่งแนวกำแพงขนานกับแนวแรงกระทำทางด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเฉือนและโมเมนต์ที่กระจายสู่กำแพง j ที่ระดับชั้น i คำนวณจาก

$$Q_{ji} = \frac{Q_i (EI)_{ji}}{\sum (EI)_i} + \frac{Q_i e (EI \cdot c)_{ji}}{\sum (EI \cdot c^2)_i} \tag{6.4}$$

$$M_{ji} = \frac{M_i (EI)_{ji}}{\sum (EI)_i} + \frac{M_i e (EI \cdot c)_{ji}}{\sum (EI \cdot c^2)_i} \tag{6.5}$$

โดยที่ c_{ji} คือระยะจากจุดศูนย์กลางของการหมุนบิดตัวไปยังกำแพง j

e คือระยะจากจุดศูนย์กลางของการหมุนบิดตัวไปยังแนวแรงเฉือนภายนอก

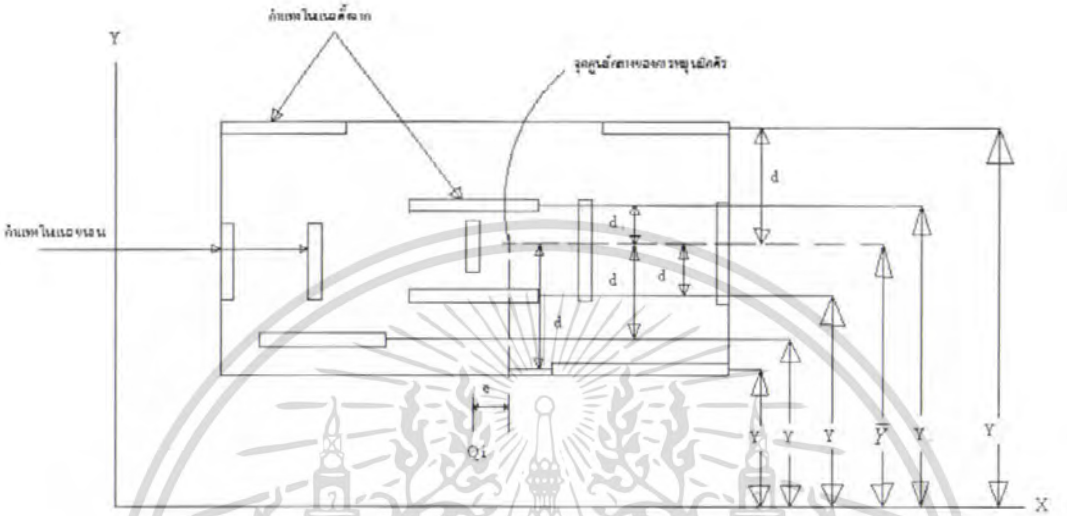
ค่าเทอมแรกทางขวามือของสมการ 6.4 และ 6.5 เป็นแรงเฉือนและโมเมนต์ที่เกี่ยวข้องกับการเลื่อนตัดของโครงสร้าง ส่วนเทอมที่สอง จะเกี่ยวข้องกับการตัดของกำแพงเมื่อโครงสร้างถูกบิดไป สำหรับค่า c_{ji} จะพิจารณาเครื่องหมายเป็นบวกเมื่ออยู่บนด้านเดียวกันกับค่า e จากจุดศูนย์กลางของการหมุนบิดตัว

ถ้าหากโครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือนมีกำแพงซึ่งวางในทิศทางตั้งฉากกับแนวของแรงกระทำ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 จุดศูนย์กลางของการหมุนบิดตัว สามารถคำนวณได้จาก

$$\bar{y} = \frac{\sum (EIy_j)_i}{\sum (EI)_i} \tag{6.6}$$

ซึ่งค่าความแข็งเชิงดัด (flexural rigidity), EI ในที่นี้หมายถึงกำแพงซึ่งวางในทิศทางตั้งฉากกับแนวของแรงกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 โครงสร้างไม่สมมาตรซึ่งรวมทั้งกำแพงในแนวตั้งฉาก

แรงเฉือนและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในกำแพงในแนวตั้งฉากที่ระดับชั้น i จากการบิดตัวของโครงสร้าง คำนวณได้จาก

$$Q_{ri} = Q_i \cdot e \frac{(EI \cdot d)_{ri}}{\left\{\sum (EI \cdot c^2) + \sum (EI \cdot d^2)\right\}_i} \tag{6.7}$$

$$M_{ri} = M_i \cdot e \frac{(EI \cdot d)_{ri}}{\left\{\sum (EI \cdot c^2) + \sum (EI \cdot d^2)\right\}_i} \tag{6.8}$$

โดยที่ Q_{ri} และ M_{ri} คือแรงเฉือนและโมเมนต์ในกำแพงในแนวตั้งฉาก r ที่ระดับชั้น I ตามลำดับ

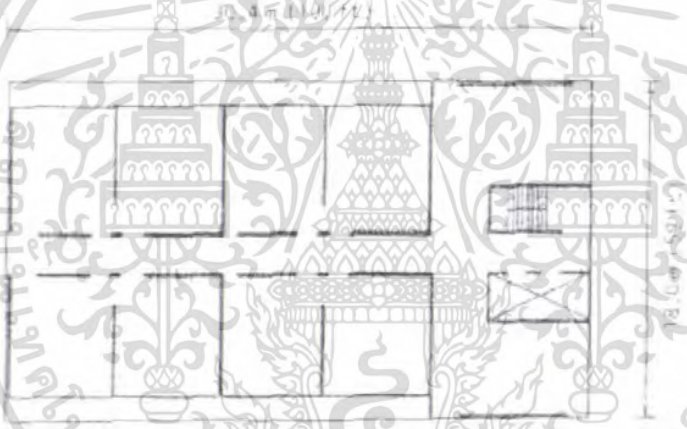
$\sum (EI \cdot c^2)_i$ คือ ผลรวมของโมเมนต์ที่สองของความแข็งเชิงดัดของกำแพงในแนวขนานที่ระดับชั้น i

$\sum (EI \cdot d^2)_i$ คือ ผลรวมของโมเมนต์ที่สองของความแข็งเชิงดัดของกำแพงในแนวตั้งฉากที่ระดับชั้น i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 โครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือนแบบควบคู่ (Coupled Shear Wall Structure)

ในกรณีที่ กำแพงสองชิ้นมีการเชื่อมยึดด้วยคาน โมเมนต์ที่กระทำต่อโครงสร้างนี้จะต้านทานโดยกำแพงทั้งสองซึ่งมีพฤติกรรมการต้านทานเสมือนเป็นโครงสร้างผสมอันหนึ่ง (Single composite unit) มีการดัดรอบจุดศูนย์ถ่วงของกำแพงทั้งสองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 6.6 เมื่อกำแพงมีการโน้มเอียงไปภายในแรงกระทำด้านข้างปลายของคานเชื่อม จะถูกดันให้หมุนและเคลื่อนที่ไปในแนวดิ่ง จนกระทั่งคานถูกดันให้โก่งดัดสองทาง (Double Curvature) เพื่อต้านทานการดัดแบบอิสระของกำแพงแต่ละชิ้น



รูปที่ 6.6a ผังอาคารที่พักอาศัยที่มีกำแพงควบคู่

รูปที่ 6.6b พฤติกรรมการรับแรงกระทำทางด้านข้างของกำแพงควบคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมการดัดของคานเชื่อมนี้จะก่อให้เกิดแรงเฉือนในคาน ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดในทิศทางตรงกันข้างกับโมเมนต์ภายนอกที่มากระทำที่กำแพงแต่ละชิ้นแรงเฉือนเหล่านี้เหนี่ยวนำให้เกิด axial force ในกำแพงทั้งสองโดยมีลักษณะเป็นแรงดึงและแรงอัดในกำแพง ดังนั้น ค่าโมเมนต์ เนื่องจากแรงกระทำภายนอกที่ระดับชิ้นของอาคารใดๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$M = M_1 + M_2 + Nl$$

โดยที่ M_1, M_2 คือ โมเมนต์กระทำต่อกำแพงชิ้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

M คือ โมเมนต์ทั้งหมดที่กระทำต่อกำแพงคู่ควบ

l คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์ถ่วงของกำแพงทั้งสอง

N คือ แรงกระทำในแนวแกนกำแพง

เทอม Nl เป็นโมเมนต์ดัดต้านทานการดัดแบบอิสระของกำแพง ในกรณีที่คานเชื่อมมีการยึดรั้งที่ปลายกับกำแพงเป็นปลายแบบหมุน เทอม Nl จะเป็นศูนย์ และเทอมนี้จะมีค่าสูงสุดเมื่อคานเชื่อมมีลักษณะแข็งเกร็ง ดังนั้นพฤติกรรมการรับแรงของคานเชื่อมนี้จึงช่วยลดโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในกำแพงนี้ได้ ซึ่งทำให้ค่าหน่วยแรงดึงสูงสุดในคอนกรีตลดลง โครงสร้างกำแพงระบบนี้จึงมีประสิทธิภาพในการต้านทานแรงกระทำทางด้านข้างได้ดีกว่าโครงสร้างกำแพงอิสระ

6.4.1 การวิเคราะห์กำแพงคู่ควบโดยวิธีตัวกลางเชื่อมต่อเนื่อง (Continuous Medium Method)

พิจารณาโครงสร้างกำแพงคู่ควบซึ่งมีแรงกระทำทางด้านข้างดังแสดงในรูปที่ 6.7a สมมติฐานที่ใช้มีดังนี้

1. คุณสมบัติของกำแพงและคานเชื่อมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตลอดความสูงของอาคารและความสูงแต่ละชั้นมีค่าคงที่

2. ระนาบของกำแพงหลังจากถูกแรงดัดกระทำยังคงรักษาระนาบไว้โดยไม่เสียรูป

3. คานเชื่อมระหว่างกำแพงใช้เป็น "ตัวกลางเชื่อมต่อเนื่องเทียบท่า" (Equivalent Continuous Connecting Medium) โดยมีค่าความแข็งเชิงดัด (Flexural Rigidity) EI_b/h ต่อหน่วยความสูง เมื่อ h เป็นความสูงของชั้นแต่ละชั้น ดังแสดงในรูปที่6.7b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

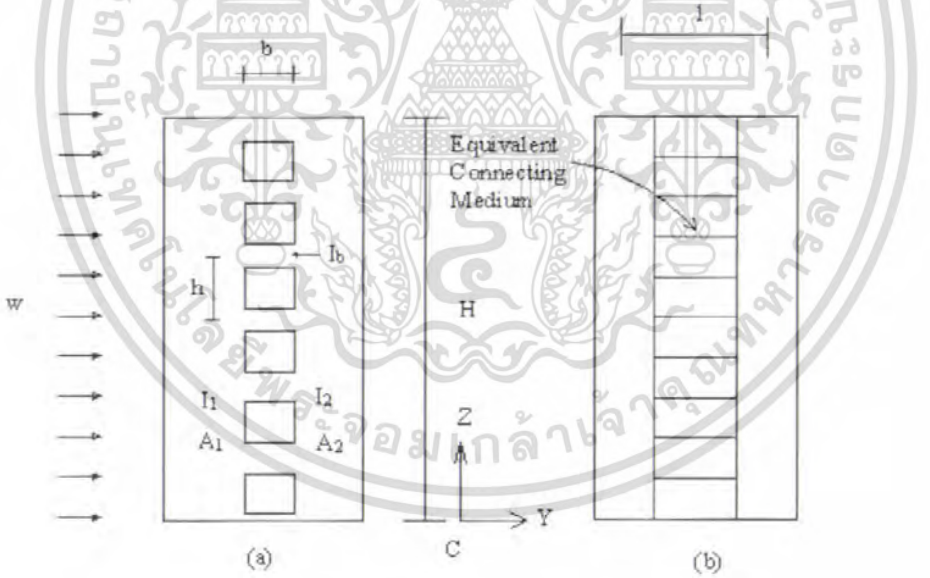
4. กำแพงทั้งสองส่วนมีการโก่งโน้มเอนในทางแนวราบเท่าๆกัน เนื่องจากพื้นอาคารมีความแข็งในแนวราบมากรวมทั้งคานเชื่อมก็มีค่าสติฟเนสในแนวแกนที่สูง ดังนั้น ค่าความชัน (Slope) ของกำแพงทั้งสองส่วนจึงเท่ากันตลอดความสูงของอาคาร เป็นเหตุให้คานเชื่อมบิดไปโดยมีจุดการดัดกลับ (Point of Contraflexure) อยู่ที่กึ่งกลางช่วงคาน จากสมมติฐานนี้ทำให้ค่ามุมของการโก่งตัวของกำแพงทั้งสองส่วนเท่ากันตลอดความสูงอาคาร และค่าโมเมนต์ดัดในแต่ละกำแพงจะเป็นสัดส่วนกับค่าความแข็งเชิงดัดของกำแพงแต่ละชิ้น

5. แรงที่เกิดขึ้นในคานเชื่อม คือ

Axial Forces จะแทนด้วย Equivalent Continuous distribution, n ต่อหน่วยความสูง

Shear Forces จะแทนด้วย Equivalent Continuous distribution, q ต่อหน่วยความสูง

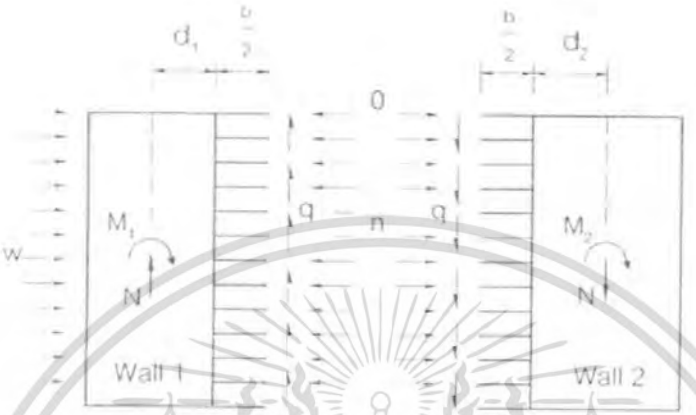
Bending Moment จะแทนด้วย Equivalent Continuous distribution, m ต่อหน่วยความสูง



รูปที่ 6.7 การทดแทนกำแพงคู่ควบด้วย Continuum model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูปตัดของ Connecting Medium ดังแสดงในรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 แรงภายในของ Coupled Shear Wall

ที่หน้าตัดในแนวดิ่งของคานเชื่อม จะมี Shear Flow ขนาด q (z) ต่อหน่วยความสูง

Axial Force ขนาด n (z) ต่อหน่วยความสูง

Axial force, N ในแต่ละกำแพงที่ระดับ Z

$$N = \int_{z}^{H} q\,dz \tag{6.10}$$

หรือ $$q = -\frac{dN}{dz} \tag{6.11}$$

ในการวิเคราะห์เพื่อหา Governing differential equation สำหรับโครงสร้างระบบนี้ จะพิจารณาจาก ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ในแนวดิ่งที่แนวเส้นตัดของจุดตัดกลับที่เกิดขึ้นสำหรับพฤติกรรมของโครงสร้างกำแพงคู่ควบ สรุปได้ดังนี้

Governing Equation for Coupled Walls

$$\frac{d^2N}{dz^2} - (k\alpha)^2 N = -\frac{\alpha^2}{l} M \tag{6.12}$$

โดยที่ $$\alpha^2 = \frac{12 I_c\, l^2}{b^3 h I}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$l_c = \frac{l_b}{1-r} \qquad \text{และ} \qquad r = \frac{12EI_b}{b^2GA}\lambda$$

$$k^2 = 1 + \frac{AI}{A_1 A_2 l^2}$$

$$l = l_1 + l_2 \qquad \text{และ} \qquad A = A_1 + A_2$$

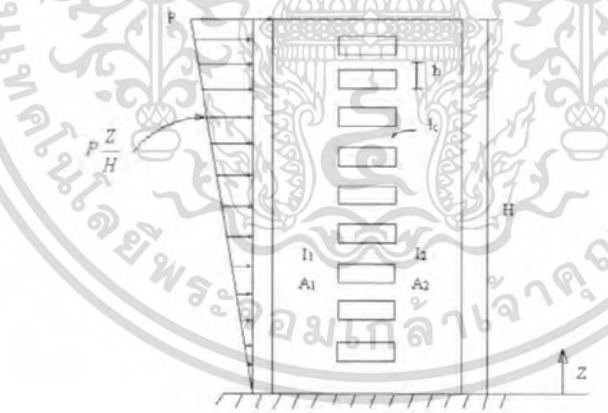
โดยที่ GA คือ ค่าความแข็งเชิงเฉือน (Shear Rigidity) ของคานเชื่อม

I_b คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียของคานเชื่อม

λ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของรูปร่างหน้าตัดคานเชื่อม สำหรับหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า $\lambda = 1.2$

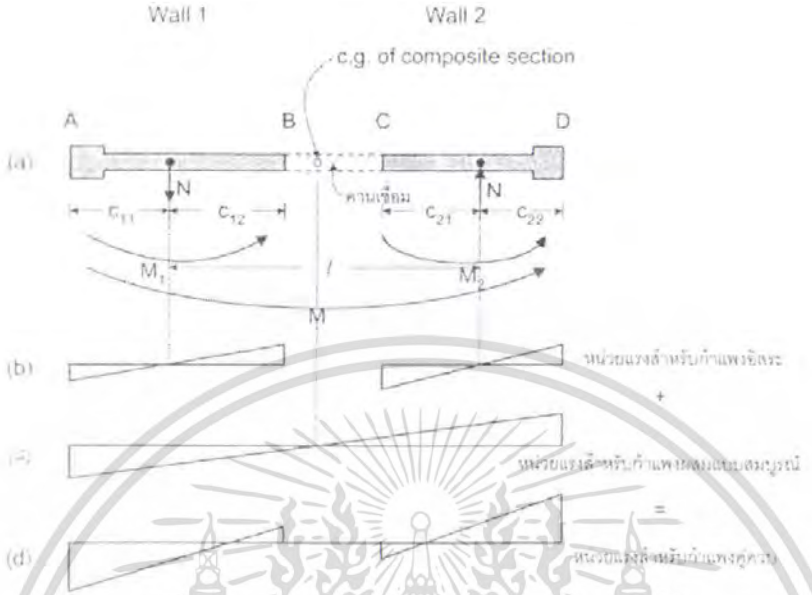
6.4.2 การวิเคราะห์กำแพงคู่ควบสำหรับแรงแผ่นดินไหวแบบแรงสถิตเทียบเท่า

พิจารณาโครงสร้างกำแพงคู่ควบซึ่งมีแรงกระทำดังแสดงในรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 การกระจายของแรงกระทำต่อโครงสร้างกำแพงคู่ควบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10 การกระจายหน่วยแรงของโครงสร้างกำแพงคู่ควบ

โมเมนต์ทั้งหมดที่กระทำต่อกำแพงคู่ควบ

$$M = P(H - z) + 1/6\,p(kH - z)^2(2 - z/H) \tag{6.13}$$

โมเมนต์ในกำแพงแต่ละชิ้น (Independent action)

$$M_1 = M\frac{I_1}{I}\frac{K_1}{100} \tag{6.14ก}$$

$$M_2 = M\frac{I_2}{I}\frac{K_1}{100} \tag{6.14ข}$$

โดยที่ K_1 เป็นเปอร์เซ็นต์ของโมเมนต์ทั้งหมดซึ่งต้านทานโดยพฤติกรรมของกำแพงแบบอิสระ

โมเมนต์ในกำแพงผสมแบบสมบูรณ์ (Composite Cantilever Action)

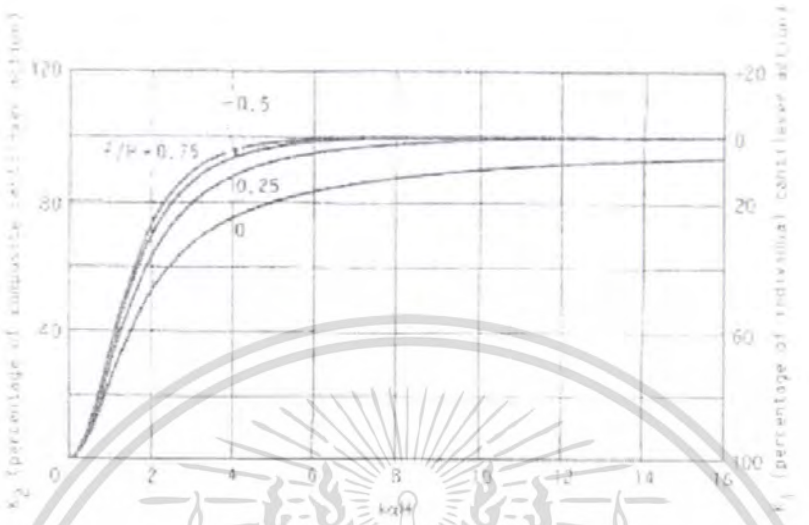
$$M_c = \frac{K_2}{100}M \tag{6.15}$$

โดยที่ K_2 เป็นเปอร์เซ็นต์ของโมเมนต์ซึ่งต้านทานโดยพฤติกรรมของกำแพงแบบ Composite Unit

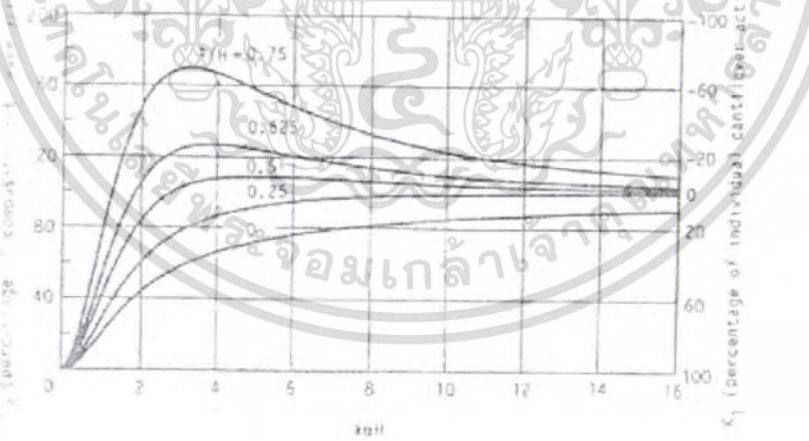
ค่าสัมประสิทธิ์ K_1 และ K_2 สามารถหาได้จากกราฟในรูปที่ 6.11-6.12

โดยที่ $K_1 + K_2 = 100$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 Wall moment factors for concentrated load at top



รูปที่ 6.12 Wall moment factors for triangularly distributed loading

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าหน่วยแรงดัดในกำแพงจะกระจายเป็นสัดส่วนโดยตรงตลอดชิ้นส่วนของโครงสร้าง ผสมนี้ โดยที่ค่าหน่วยแรงดึงและหน่วยแรงอัดจะเกิดขึ้นที่ขอบนอกสุด ดังแสดงในรูปที่ 6.10 ซึ่งจะต้องมีการตรวจสอบหน่วยแรงสูงสุดที่ขอบทั้งสองนี้ ว่าเกินหน่วยแรงปลอดภัยหรือไม่ หน่วยแรงในกำแพงที่แท้จริงจะเป็นการรวมหน่วยแรงสำหรับกรณีกำแพงอิสระสองแผ่นและกรณีกำแพงผสมแบบสมบูรณ์เป็นพฤติกรรมของกำแพงแบบคู่ควบ (Coupled Wall) ดังนั้น พฤติกรรมที่แท้จริงของกำแพงทั้งคู่นี้ ซึ่งเชื่อมยึดด้วยคานที่มีลักษณะยืดหยุ่น จะอยู่ระหว่างกรณีกำแพงอิสระสองแผ่น (6.10b) และกำแพงผสมแบบสมบูรณ์ (Fully Composite Unit, 6.10c)

หน่วยแรงที่ขอบนอกจุด A $$f_A = \frac{N}{A_1} - \frac{M_1 c_{11}}{I_1} - \frac{Mc_{c1}}{I_g} \qquad (6.16ก)$$

หน่วยแรงที่ขอบนอกจุด D $$f_D = \frac{N}{A_1} - \frac{M_2 c_{21}}{I_2} - \frac{Mc_{c2}}{I_g} \qquad (6.16ข)$$

โดยที่ N คือ แรงกระทำในแนวแกนกำแพง

โดยที่ $N = (M - M_1 - M_2)/l$

A_1 , A_2 คือ พื้นที่หน้าตัดกำแพงชิ้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

I_1 , I_2 คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียของกำแพงชิ้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

I_g คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียของกำแพงคู่ควบ

โดยที่ $I_g = I_1 + I_2 + \frac{A_1 A_2}{A} l^2$

แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคานเชื่อม

สำหรับแรงกระทำ P ที่ยอดอาคาร $$q = P\frac{1}{k^2 l}F_2 \qquad (6.17ก)$$

สำหรับแรงกระทำกระจายรูปสามเหลี่ยม $$q = p\frac{H}{k^2 l}F_2 \qquad (6.17ข)$$

แรงเฉือนสูงสุดที่กระทำในคานเชื่อมสำหรับแต่ละระดับชั้นอาคาร

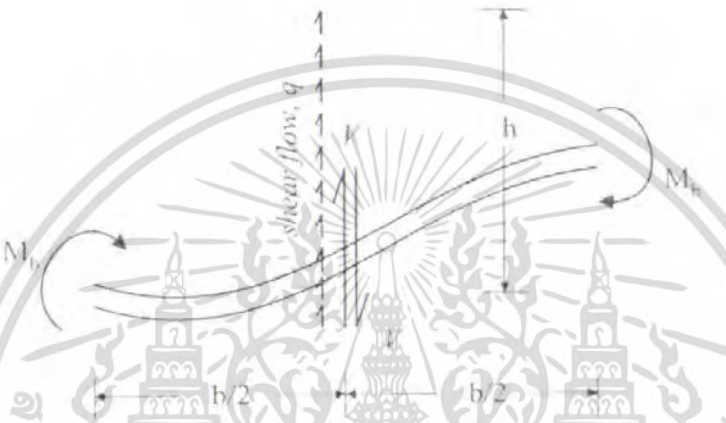
$$V = \int q dz \qquad (6.18)$$

$$= (P\frac{1}{k^2 l} + p\frac{H}{k^2 l})F_{2(\max)} \cdot h$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเมนต์ดัดสูงสุดในคานเชื่อมที่รอยต่อยึดกับกำแพง

$$M_b = V \cdot b/2 \tag{6.19}$$



รูปที่ 6.13 แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคานเชื่อม

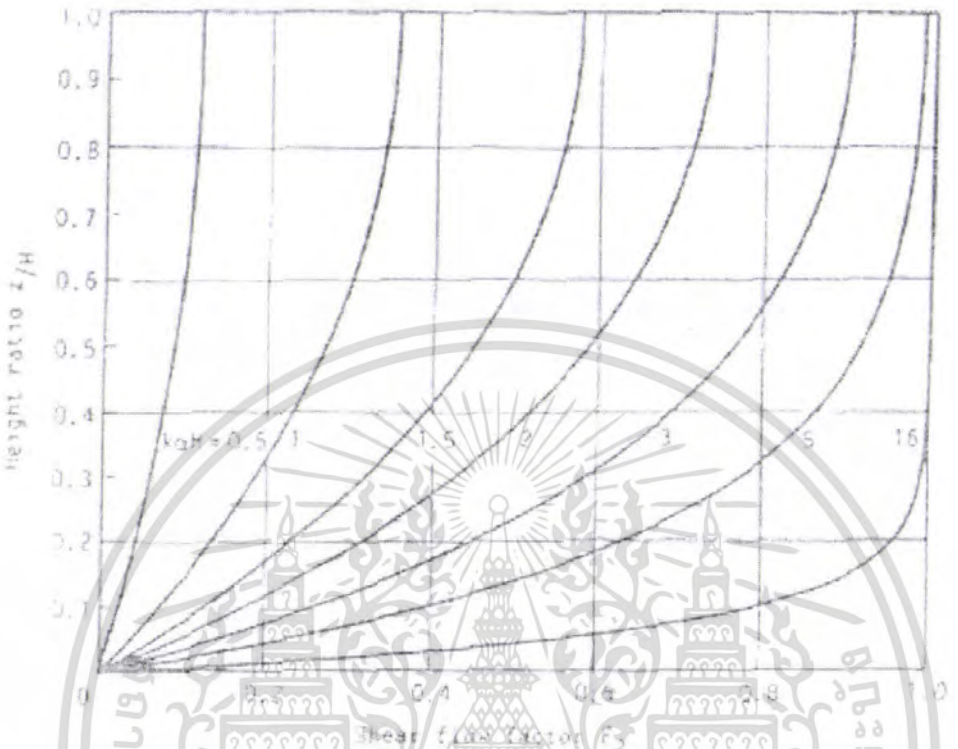
การโก่งตัวของกำแพงที่ยอดอาคาร

สำหรับแรงกระทำ P ที่ยอดอาคาร $y_H = \frac{PH^3}{3EI} F_2$ (6.20ก)

สำหรับแรงกระทำกระจายแบบสามเหลี่ยม $y_H = \frac{11}{120} \frac{PH^4}{3EI} F_3$ (6.20ข)

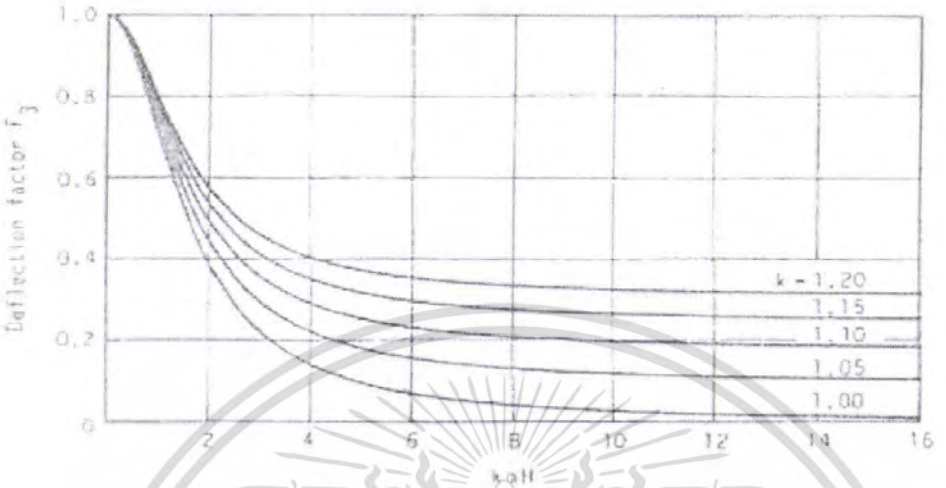
ค่าสัมประสิทธิ์ F_2 และ F_3 สามารถหาได้จากกราฟในรูปที่ 6.14-6.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

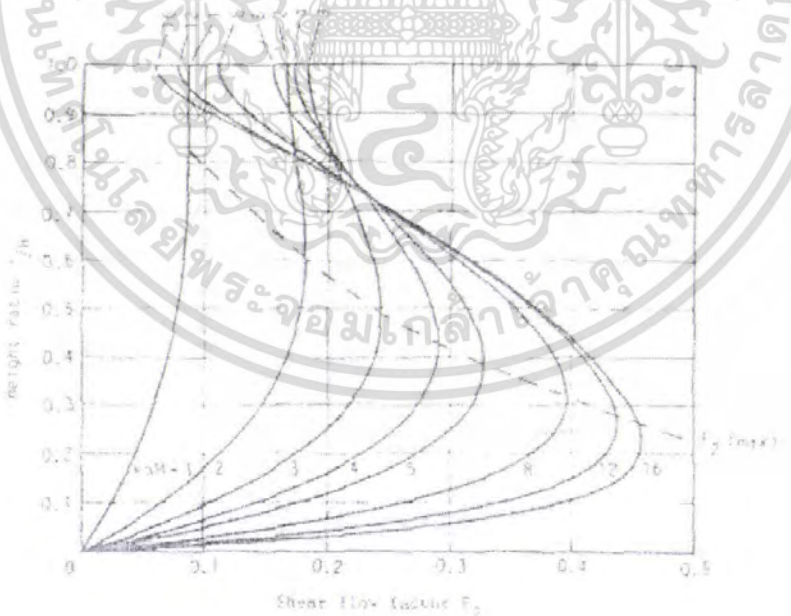


รูป 6.14 Shear Flow Factor F_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

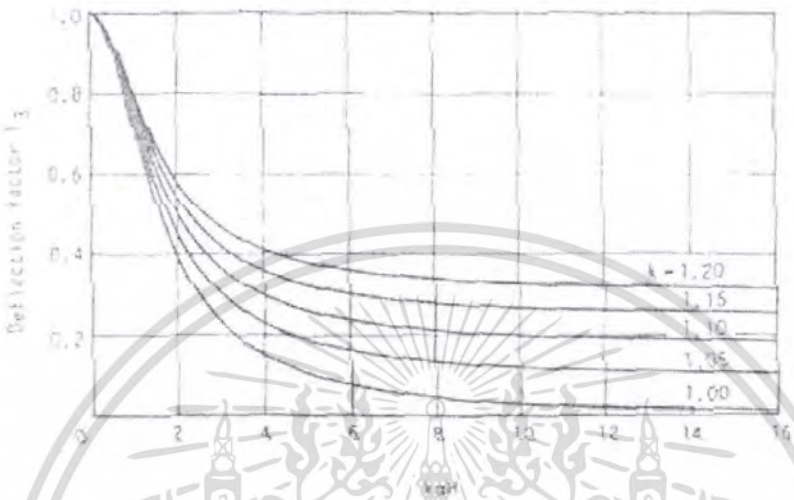


รูปที่ 6.15 Deflection F_3



รูปที่ 6.16 Shear Flow Factor For Triangularly Distributed Loading

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.17 Top Deflection Factor For Triangularly Distributed Loading

6.5 ข้อกำหนดของการออกแบบกำแพง

ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างกำแพงต้านทานแรงแผ่นดินไหวตามข้อกำหนด ACI318-99 มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบต้านทานแรงเฉือน

ขั้นตอนที่ 2 การตรวจสอบและออกแบบกล่องหุ้มขอบกำแพง

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบกำลังรับแรงแนวแกนร่วมกับแรงดัด

ในกรณีกำแพงคู่ควบ จะเพิ่มขั้นตอนที่ 4 การออกแบบคานเชื่อม (Coupling Beam)

ขั้นตอนที่ 5 การเสริมเหล็กในรายละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบต้านทานแรงเฉือน

กำลังรับแรงเฉือนของกำแพง

กำลังรับแรงเฉือนของกำแพงจะต้องต้านทานแรงเฉือนประลัยได้ นั่นคือ

$$\phi V_n \geq V_u \tag{6.21}$$

ในกรณีที่ $h_w / l_w \geq 2.0$

$$\phi V_n = \phi A_{cv}(0.53\sqrt{f_c'} + \rho_n f_y) \leq 2.1\sqrt{f_c'} A_{cv} \tag{6.22ก}$$

ในกรณีที่ $h_w / l_w < 2.0$

$$\phi V_n = \phi A_{cv}(\alpha_c \sqrt{f_c'} + \rho_n f_y) \leq 2.1\sqrt{f_c'} A_{cv} \tag{6.22ข}$$

โดยที่ $\phi = 0.6$

$\alpha_c = 0.8$ เมื่อ $h_w / l_w \leq 1.5$ และ $\alpha_c = 0.53$ เมื่อ $h_w / l_w \geq 2.0$

สำหรับ $1.5 \leq h_w / l_w < 2.0$ ให้พิจารณาเฉลี่ยค่า α_c โดยการแปรเปลี่ยนเชิงเส้น (linear interpolation)

h_w คือ ความสูงของกำแพงในช่วงที่พิจารณา

l_w คือ ความยาวของกำแพงในทิศทางที่แรงเฉือนกระทำ

A_{cv} คือ พื้นที่หน้าตัดกำแพง

เหล็กเสริมในกำแพง

หากแรงเฉือนประลัยมีค่ามากกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีต จะต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน ซึ่งจะต้องจัดเสริมทั้งแนวตั้งและแนวนอนดังนี้

ในกรณีที่ $V_u > 0.53\sqrt{f_c'} A_{cv}$

จะต้องเสริมเหล็กตะแกรงรับแรงเฉือนในกำแพง 2 ชั้น

ในกรณีที่ $V_u > \phi V_c / 2 = \phi 0.26\sqrt{f_c'} A_{cv}$

$$\rho_{v(\min)} = \rho_{h(\min)} = \frac{A_{sv}}{A_{cv}} \geq 0.0025$$

โดยที่ $\rho_{v(\min)}$ และ $\rho_{h(\min)}$ คือ อัตราส่วนระหว่างเหล็กเสริมและหน้าตัดกำแพงอย่างน้อยที่สุดในแนวตั้งและแนวนอน ตามลำดับ

A_{sv} คือ ปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดกำแพงซึ่งมีระยะห่างไม่เกิน 45 ซม.

A_{cv} คือ พื้นที่หน้าตัดกำแพง

V_u คือ แรงเฉือนเพิ่มค่าที่ใช้ในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากแรงเฉือนประลัยมีค่าน้อยกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีต จะต้องเสริมเหล็กอย่างน้อยที่สุดทั้งแนวตั้งและแนวนอน ดังนี้

ในกรณีที่ $V_u \le \phi V_c / 2 = \phi 0.26\sqrt{f_c'} A_{cv}$

เหล็กเสริมในแนวตั้ง

สำหรับเหล็กเสริมขนาด ≤ DB16mm $\rho_{v(min)} \ge 0.0012$ โดยที่ $f_y \ge 4000$ กก./ซม^2

สำหรับเหล็กเสริมขนาด > DB16mm $\rho_{v(min)} \ge 0.0015$

เหล็กเสริมในแนวนอน

สำหรับเหล็กเสริมขนาด ≤ DB16mm $\rho_{hv(min)} \ge 0.0020$ โดยที่ $f_y \ge 4000$ กก./ซม^2

สำหรับเหล็กเสริมขนาด > DB16mm $\rho_{h(min)} \ge 0.0025$

ขั้นตอนที่ 2 การตรวจสอบและออกแบบเสาขอบกำแพง (Boundary Element)

ในกรณีที่หน่วยแรงสูงสุดที่ขอบกำแพงเกินกว่า $0.2\ f_c'$ จะต้องออกแบบเสาที่ขอบตลอดความสูงของกำแพงและรอบช่องเปิดเสาขอบกำแพงนี้ จะต้องออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรในแนวดิ่ง รวมทั้งแรงในแนวแกนที่ต้านทานโมเมนต์พลิกคว่ำ จากแรงแผ่นดินไหวได้ด้วย นั่นคือ

ในกรณีกำแพงอิสระ

$$f_c = \frac{N_u}{A} + \frac{M_u c}{I} > 0.2 f_c' \qquad (6.23)$$

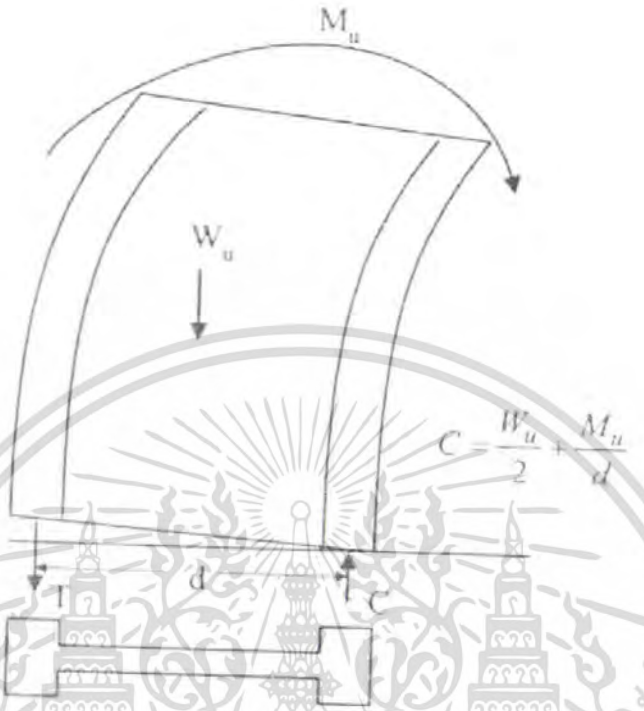
ในกรณีกำแพงคู่ควบ คำนวณหน่วยแรงอัดสูงสุดที่ขอบกำแพง โดยพิจารณาจากรูปที่ 6.10 และปรับจากสมการ 6.16ข

$$f_c = \frac{N_u}{A} + \frac{M_{u2} c_{21}}{I_2} + \frac{M_u c_{c2}}{I_g} > 0.2 f_c'$$

โดยที่ N_u, M_u คือแรงประลัยและโมเมนต์ดัดประลัยกระทำในแนวแกนกำแพง

ในการออกแบบเสาขอบ จะพิจารณาเป็นเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยม โดยสมมติว่า เสานี้รับน้ำหนักทั้งหมดเนื่องจากการรวมแรงจากน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งและแรงในแนวแกนจากโมเมนต์พลิกคว่ำ ดังแสดงในรูปที่ 6.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.18 แรงกระทำต่อกำแพงคู่ควบที่ใช้ในการออกแบบเสาขอบกำแพง

โดยมีข้อกำหนดของการออกแบบดังนี้

ขนาดของเสาขอบกำแพง

- ขนาดความกว้างของเสาขอบ อย่างน้อย $l_w/16$ และความยาวอย่างน้อย 45 ซม. (วัดตามความยาวของแกนกำแพง) ที่แต่ละข้างของกำแพง

- ในกรณีของกำแพงที่มีหน้าตัดรูป I, L, C หรือ T ขนาดหน้าตัดของเสาจะต้องพิจารณารวมความกว้างปีกประสิทธิผลของหน้าตัดนั้นด้วย และจะต้องขยายเข้าไปในแกนกำแพงอย่างน้อย 30 ซม.

กำลังของเสาขอบกำแพง

พิจารณาเป็นเสาสั้นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า คำนวณดังนี้

$$P_u \le \phi P_n \qquad (6.25ก)$$

$$P_n = 0.8\left[0.85 f_c'(A_g - A_{st}) + A_{st} f_y\right] \qquad (6.25ข)$$

โดยที่ P_u คือ น้ำหนักบรรทุกประลัยที่กระทำต่อเสา $= \frac{W_u}{2} + \frac{M_u}{d}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_n คือ กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสา

ϕ คือ ตัวคูณลดกำลัง = 0.7

A_g , A_{st} คือ พื้นที่หน้าตัดของเสาและเหล็กเสริม ตามลำดับ

ปริมาณเหล็กเสริมแนวแกน $\rho_{\min} = 0.01 < \rho_{st} < \rho_{\max} = 0.06$

เหล็กปลอก

- ปริมาณเหล็กปลอกและเหล็กรัดขวางใช้ข้อกำหนดเดียวกันกับเหล็กปลอกในเสาตามรายละเอียดในเรื่องโครงข้อแข็ง

รูปที่ 6.19 รายละเอียดการเสริมเหล็กในกำแพง

ขั้นตอนที่3 การตรวจสอบกำลังรับแรงแนวแกนร่วมกับแรงดัดของกำแพง

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบกำลังของหน้าตัดกำแพงที่ฐานอาคารว่าสามารถรับการรวมแรงกระทำตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดได้โดยปลอดภัยหรือไม่ โดยการใช้ P-M Interaction Diagram หากไม่ปลอดภัยจะต้องมีการขยายหน้าตัดกำแพงหรือการเสริมเหล็กเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่4 การออกแบบคานเชื่อม (Coupling Beam) ในกำแพงคู่ควบ

ขนาดของคานเชื่อมจะต้องออกแบบให้มีกำลังและค่าสติฟเนสพอดี เนื่องจากคานที่มีความแข็งแรงเกินไปจะทำให้พฤติกรรมของกำแพงเป็นกำแพงผสมสมบูรณ์ ซึ่งทำให้หน่วยแรงดึงในตัวกำแพงมีค่าสูงได้ และจะทำให้กำลังรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของกำแพงถูกลดค่าลงไป ในทางกลับกัน หากคานมีความอ่อนแอเกินไป จะทำให้พฤติกรรมของกำแพงเป็นกำแพงอิสระ ซึ่งจะทำให้โมเมนต์ดัดกระทำรวมทั้งค่าการโก่งตัวในแต่ละกำแพงมีค่าสูงมาก ดังนั้นขนาดของคานเชื่อมที่เหมาะสม จะทำให้เกิดพฤติกรรมเป็นกำแพงคู่ควบ โมเมนต์ในกำแพงจะกระจายไปยังคานเชื่อม ซึ่งจะลดหน่วยแรงดึงในตัวกำแพงและโมเมนต์ดัดกระทำรวมทั้งค่าการโก่งตัวลงด้วย ข้อกำหนดการออกแบบของนิวซีแลนด์ (NZS 4203:1992) เสนอแนะค่าอัตราส่วนกำลังของคานเชื่อมต่อกำแพง ดังนี้

$$\frac{1}{3} \le \frac{Nl}{M_1 + M_2 + Nl} \le \frac{2}{3} \tag{6.26}$$

ซึ่งจะให้ค่าขนาดของคานเชื่อมที่ทำให้กำแพงคู่ควบมีประสิทธิภาพที่ดีในการถ่ายแรงกระทำต่อกำแพง

สำหรับการออกแบบเหล็กเสริมในคานเชื่อม ข้อกำหนด UBC1997 และ IBC2000 เสนอแนะการออกแบบเหล็กเสริม ดังนี้

ในกรณีที่ $l_n / d \ge 4$ ใช้การออกแบบเหล็กเสริมในคานตามปกติ

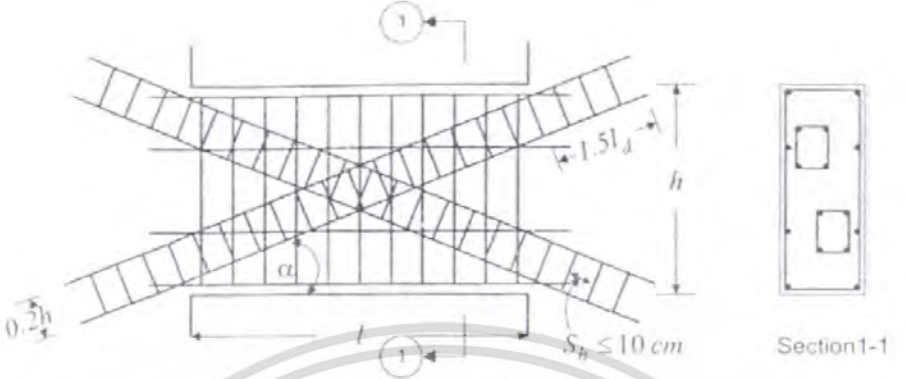
โดยที่ l_n คือ ความยาวสุทธิของคานเชื่อม

d คือ ความลึกของประสิทธิผลของคานเชื่อม

ในกรณีที่ $l_n / d < 4$ และ $V_u > 1.06\sqrt{f'_c}\, b_w d$ จะต้องออกแบบให้มีเหล็กเสริมในแนวทแยงตัดกันที่กลางคาน 2 ชุด โดยกำลังรับแรงเฉือนของเหล็กเสริมพิเศษนี้คำนวณได้จาก

$$V_n = 2 A_{vd} f_y \sin \alpha \le 2.65 \sqrt{f'_c}\, b_w d \tag{6.27}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



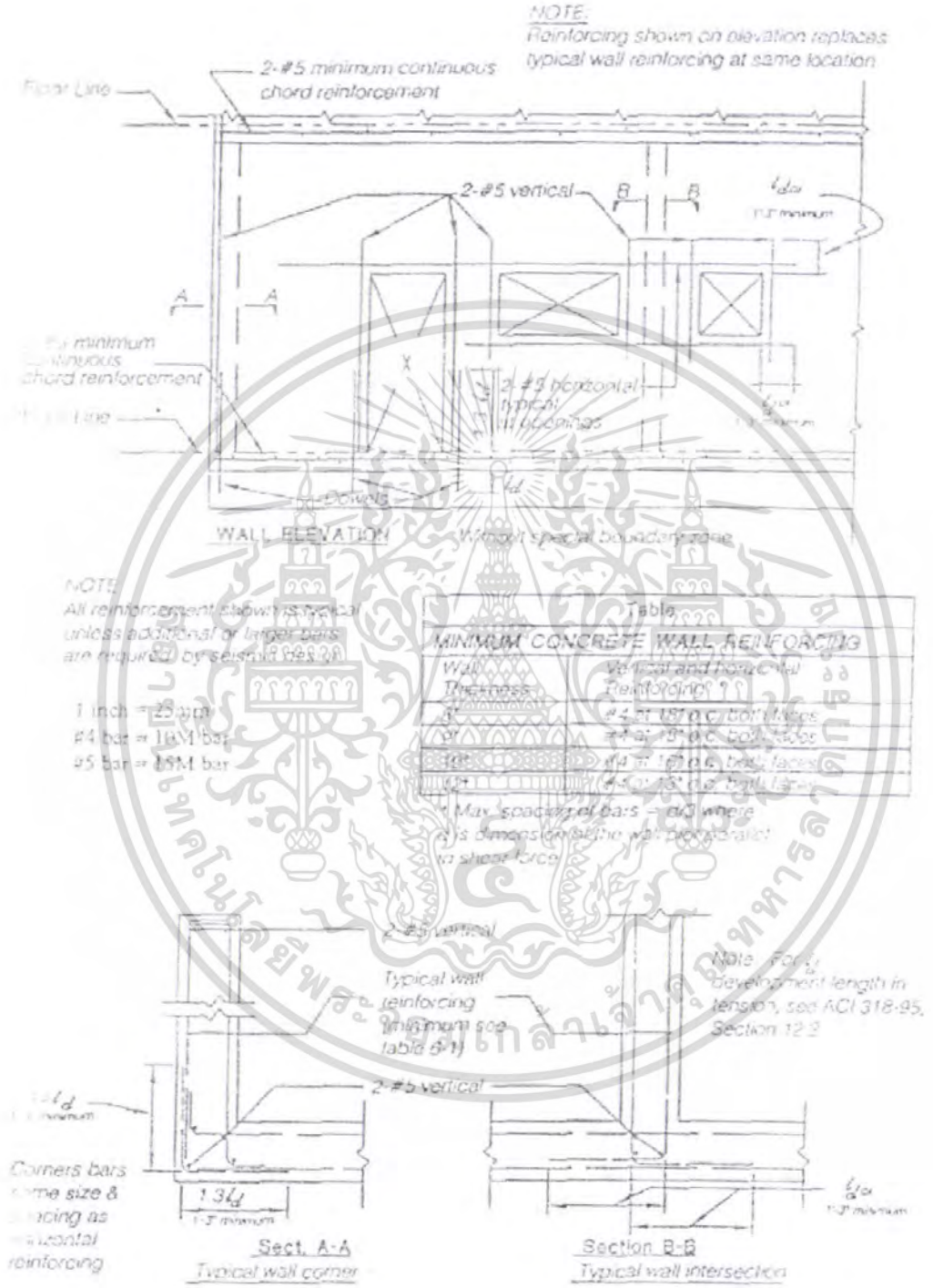
รูปที่ 6.20 รายละเอียดการเสริมเหล็กในคานเชื่อม

การออกแบบเหล็กเสริมแนวทะแยงแบบนี้ก็เพื่อป้องกันการวิบัติจากแรงเฉือนเมื่อมีแรงกระทำแบบวัฏจักร จากผลการทดสอบโดย Paulay และ Binney (1974) สำหรับคานเชื่อมที่มีค่าอัตราส่วนความยาวต่อความลึกระหว่าง 1.0-1.5 พบว่าการจัดเหล็กเสริมแบบนี้ทำให้คานสามารถรับแรงเฉือนได้ดีภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร โดยมีพฤติกรรมการรับแรงและการโก่งตัว (hysteretic behavior) ที่มั่นคงและมีค่าความเหนียวมากกว่าการเสริมเหล็กแบบปกติทั่วไป นอกจากนี้ผลการทดสอบของ Barney และคณะ (1980) ยังพบว่าสำหรับคานเชื่อมที่มีค่าอัตราส่วนความยาวต่อความลึกระหว่าง 2.5-5.0 การจัดเหล็กเสริมแบบนี้ก็ให้ผลการรับกำลังที่ดีแม้ว่าค่าอัตราส่วนนี้จะค่อนข้างสูง

ขั้นตอนที่5 การเสริมเหล็กในรายละเอียด

การเสริมเหล็กสำหรับโครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือน โดยใช้คอนกรีตหล่อในที่มีรายละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 6.21- 6.22 การเสริมเหล็กสำหรับเสาขอบ (boundary zone) แสดงในรูปที่ 6.23 สำหรับกรณีที่กำแพงมีการก่องสร้างด้วยแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป จะต้องมีการต่อเหล็กเป็นพิเศษเพื่อให้ผนังคอนกรีตแต่ละแผ่นมีการยึดเป็นแผ่นเดียวกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.21 Minimum concrete shear wall reinforcement (two curtains)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

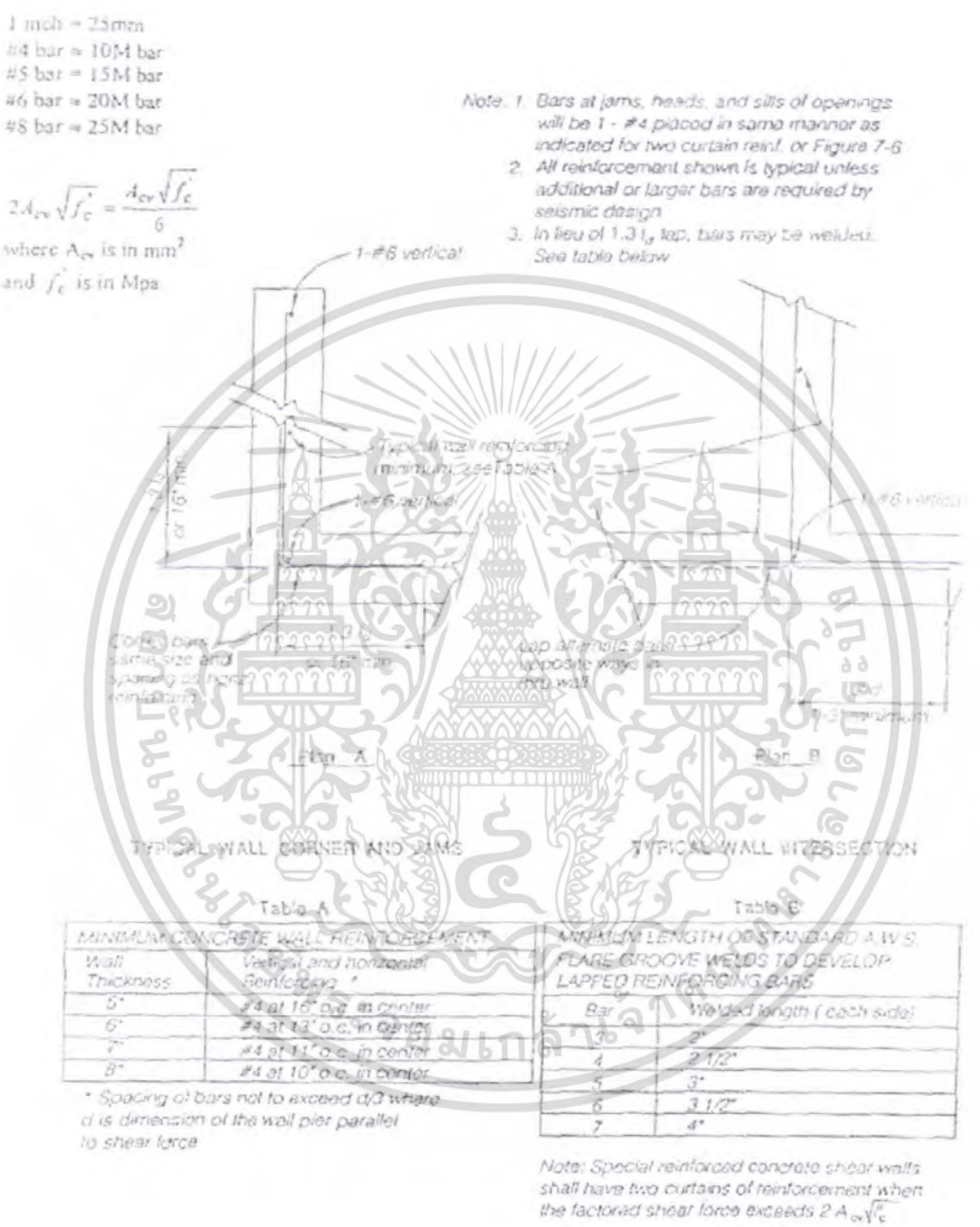


Table A

MINIMUM CONCRETE WALL REINFORCEMENT	
Wall Thickness	Vertical and horizontal Reinforcing *
5"	#4 at 16" o.c. in center
6"	#4 at 13" o.c. in center
7"	#4 at 11" o.c. in center
8"	#4 at 10" o.c. in center

* Spacing of bars not to exceed d/3 where d is dimension of the wall pier parallel to shear force

Table B

MINIMUM LENGTH OF STANDARD A.W.S. FLARE GROOVE WELDS TO DEVELOP LAPPED REINFORCING BARS	
Bar #	Welded length (each side)
3	2"
4	2 1/2"
5	3"
6	3 1/2"
7	4"

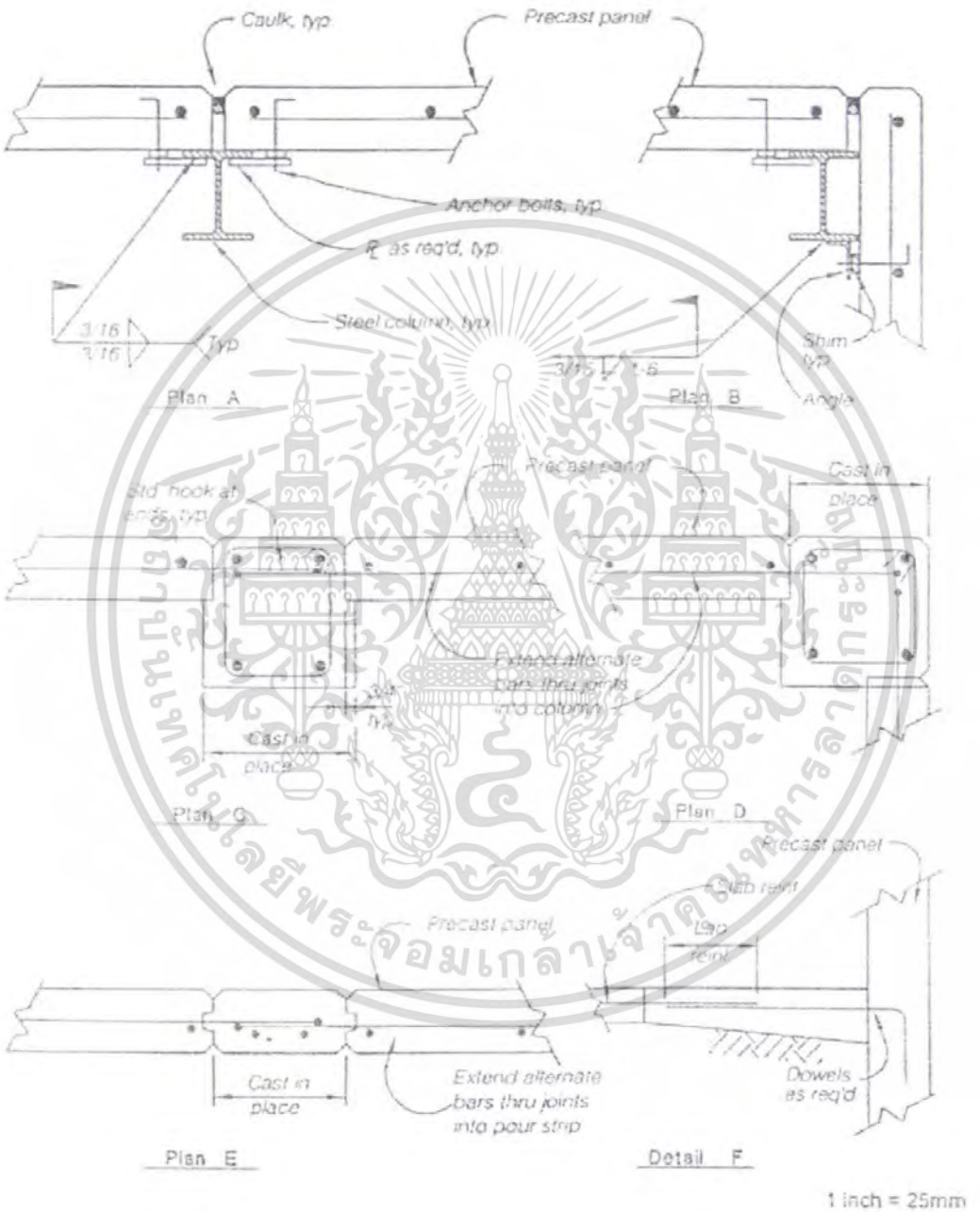
Note: Special reinforced concrete shear walls shall have two curtains of reinforcement when the factored shear force exceeds $2A_{cv}\sqrt{f'_c}$

รูปที่ 6.22 Minimum concrete shear wall reinforcement (one curtains)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.23 Boundary zones in a special Reinforced concrete shear wall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.24 Tilt-up end other precast concrete walls-typical details of attachments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ อาคารคอนโดมิเนียมหลังหนึ่งสูง 20 ชั้น โครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ระบบโครงสร้างในรูปตัดทางขวางเป็นกำแพงคู่ควบ(Coupled Shear Wall) ดังแสดงในรูปข้างล่างนี้

รูป6.25 โครงสร้างกำแพงคู่ควบตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำแพงคู่ควบแต่ละส่วนวางห่างกัน 6.0 ม. โดยมีคานขนาด 0.30x0.40 ม. เชื่อมระหว่างกำแพงแต่ละคู่ อาคารนี้มีค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ 500 กก./ตร.ม. ซึ่งรวมทั้งน้ำหนักพื้น คาน เสาและผนังกำแพง น้ำหนักบรรทุกจร 200กก./ตร.ม. อาคารนี้ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งเป็นเขต Seismic Zone 2B และชั้นดินที่ใต้ฐานรากเป็นดินแข็ง จงออกแบบโครงสร้างกำแพงคู่ควบของอาคารหลังนี้ โดยใช้ข้อกำหนด UBC1985 ตามกฎกระทรวงฉบับที่49 คำนวณหา

ก) แรงเฉือนที่ฐานรากอาคารและการกระจายแรงกระทำทางด้านข้าง

ข) หน่วยแรงในกำแพงที่ฐานอาคาร

ค) แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุดในคานเชื่อม

ง) ออกแบบเหล็กเสริมในกำแพงและคานเชื่อม ($E_c = 2.3x10^5 ksc, f_c' = 250 ksc$)

วิธีคำนวณ

ก) แรงเฉือนที่ฐานรากอาคารและการกระจายแรงกระทำทางด้านข้าง

น้ำหนักอาคารแต่ละชั้น $W_t = 500x18.5x36/1000 = 333$ ตัน

น้ำหนักอาคารทั้งหมด $W = 333x20 = 6,660$ ตัน

$$V = ZIKCSW$$

เมื่อ $Z = 0.50$ (Seismic Zone 2B)

$I = 1.0$ (ประเภทที่3)

$K = 1.33$ (โครงสร้างกำแพง)

$S = 1.2$ (ชั้นดินแข็ง)

คำนวณคาบการสั่นธรรมชาติของโครงสร้าง จาก

$$T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{D}} = \frac{0.09(72)}{\sqrt{18.5}} = 1.51 \text{ วินาที}$$

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}} = \frac{1}{15\sqrt{1.51}} = 0.054$$

เนื่องจาก $KC = 1.33x0.054 = 0.072 < 0.12$ จึงใช้ $KC = 0.12$

ดังนั้น $V = 0.5x1.0x0.12x1.2W = 0.072W$

$= 0.072x6660 = 479.52$ ตัน

$F_t = 0.07TV = 0.07x1.51x479.52$

$= 50.69$ ตัน ไม่เกิน $0.25V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากกำแพงรับแรงเฉือนมีทั้งหมด 7 คู่ ดังนั้นแต่ละคู่จึงรับแรงเฉือน

$$V = 479.52/7 = 68.5 \quad \text{ตัน}$$

แรงกระทำที่ยอดอาคาร $F_t = 50.69/7 = 7.24$ ตัน

คำนวณการกระจายแรงกระทำทางด้านข้างจาก $\frac{1}{2}pH = 68.5$

$$p = \frac{2x68.5}{72} = 1.90 \quad \text{ตัน/เมตร}$$

รูป6.26 แรงเฉือนที่ฐานและแรงกระทำทางด้านข้างต่อโครงสร้างกำแพงคู่ควบ

ข) หน่วยแรงในกำแพงที่ฐานอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณคุณสมบัติของกำแพงคู่ควบ

$$I_1 = I_2 = \frac{0.15x8.0^3}{12} = 6.4 \qquad m^4$$

$$I = I_1 + I_2 = 6.4 + 6.4 = 12.8 \quad m^4$$

$$A_1 = A_2 = 0.15x8.0 = 1.2 \qquad m^2$$

$$A = A_1 + A_2 = 1.2 + 1.2 = 2.4 \quad m^2$$

คำนวณคุณสมบัติของคานเชื่อม

$$I_b = \frac{0.3x0.4^3}{12} = 1.6x10^{-3} \qquad m^4$$

$$G = \frac{E}{2(1+v)} = \frac{E}{2(1+0.15)} = \frac{E}{2.3}$$

$$r = \frac{12EI_b}{b^2GA}\lambda = \frac{12E(1.6x10^{-3})}{2.5^2(E/2.3)(0.3x0.4)}1.2 = 0.0707$$

$$I_c = \frac{I_b}{1+r} = \frac{1.6x10^{-3}}{1+0.0707} = 1.49x10^{-3} \qquad m^4$$

ความยาวคานประสิทธิผล $b_e = b + \frac{d}{2} = 2.5 + \frac{0.4}{2} = 2.7 \quad m$

$$\alpha^2 = \frac{12I_cl^2}{b_e^3hI} = \frac{12x(1.49x10^{-3})10.5^2}{2.7^3x3.6x12.8} = 2.17x10^{-3}$$

$$\alpha = 0.0466$$

$$k^2 = 1 + \frac{AI}{A_1A_2l^2} = 1 + \frac{2.4x12.8}{1.2x1.2x10.5^2} = 1.1935$$

$$k = 1.09$$

$$k\alpha H = 1.09x0.0466x72 = 3.657$$

คำนวณโมเมนต์ในกำแพง

โมเมนต์กระทำทั้งหมดที่ฐานอาคาร

$$M = \frac{1}{2}(1.85x72)(\frac{2}{3}x72) + 7.14x72$$

= 3,196.8+514.08 = 3,710.88 ตัน-เมตร

จากรูปที่ 6.11 โมเมนต์ในกำแพงที่ฐานอาคาร (Z/H = 0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแรงกระทำที่ยอดอาคาร $K_1 = 30\%,\ K_2 = 70\%$

สำหรับแรงกระจายแบบสามเหลี่ยม $K_1 = 40\%,\ K_2 = 60\%$

โมเมนต์ในกำแพงเนื่องจากพฤติกรรมกำแพงอิสระ (Individual cantilever action)

$$M_c = \frac{K_2}{100} M = (0.60x3{,}196.8) + (0.70x514.08) \qquad = 2{,}278 \text{ ตัน-เมตร}$$

โมเมนต์ในคานเชื่อม $Nl = M - M_1 - M_2$

$= 3{,}711\text{-}716.5\text{-}716.5 \qquad = 2{,}278$ ตัน-เมตร

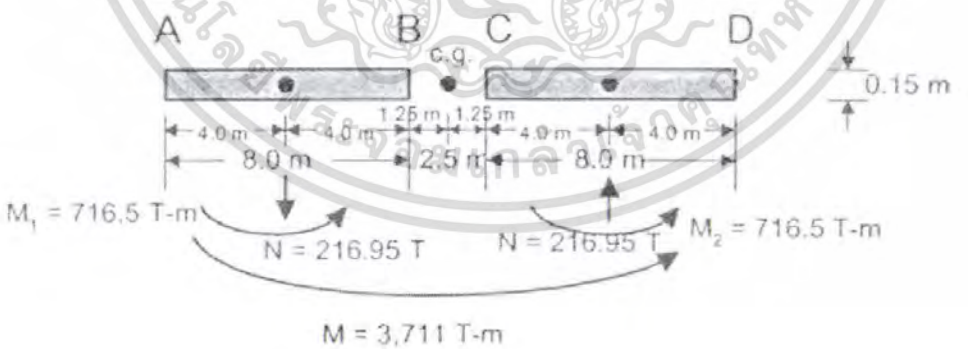
ตรวจสอบอัตราส่วนการรับกำลังของคานเชื่อม $\dfrac{Nl}{M_1 + M_2 + Nl} = \dfrac{2{,}278}{3{,}711} = 0.61$

เนื่องจาก $\dfrac{1}{3} \le 0.61 \le \dfrac{2}{3}$ แสดงว่าขนาดของคานเชื่อมให้ประสิทธิภาพการรับแรงที่ดีสำหรับพฤติกรรมแบบกำแพงคู่ควบ

โมเมนต์อินเนอร์เชียของกำแพงคู่ควบ

$$I_g = I_1 + I_2 + \frac{A_1 A_2}{A} l^2 = 6.4 + 6.4 + \frac{1.2x1.2}{2.4} 10.5^2 = 78.95 \quad m^4$$

พิจารณาหน้าตัดกำแพงคู่ควบดังแสดงในรูปที่ 6.27



รูปที่ 6.27 หน้าตัดของกำแพงคู่ควบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้แรงแนวแกน N คำนวณจากแรงกระทำทางด้านข้างเท่านั้นไม่ได้รวม น.น.บรรทุกคงที่และ น.น. บรรทุกจร ดังนี้

$$N = 2{,}278/10.5 = 216.95 \text{ ตัน}$$

หน่วยแรงที่ขอบนอกจุดA $\quad f_A = -\frac{N}{A} - \frac{M_1 c_{11}}{I_1} - \frac{Mc_{c1}}{I_g}$

$$f_A = -\frac{216.95x10^3}{1.2(100)^2} - \frac{716.5x10^3 x100x400}{6.4(100)^4} - \frac{3{,}711x10^3 x100x925}{78.95(100)^4}$$

$= -106.34$ กก./ซม.^{2} (แรงดึง)

หน่วยแรงที่ขอบนอกจุดD $\quad f_D = \frac{N}{A_2} + \frac{M_2 c_{21}}{I_2} + \frac{Mc_{c2}}{I_g}$

$$f_D = \frac{216.95x10^3}{1.2(100)^2} + \frac{716.5x10^3 x100x400}{6.4(100)^4} + \frac{3{,}711x10^3 x100x925}{78.95(100)^4}$$

$= 106.34$ กก./ซม.^{2} (แรงอัด)

ค) แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุดในคานเชื่อม

คำนวณแรงเฉือนสูงสุดในคานเชื่อม

จาก $V = \left(P\frac{1}{k^2 l} F_{2(\max)} + p\frac{H}{k^2 l} F_{2(\max)} \right) h$

จากตารางรูปที่ 6.14 และ 6.16 สำหรับค่า $k\alpha H = 3.657$ จะได้ $F_{2(\max)}$ ที่ระดับ z/H =0.45 ซึ่งตรงกับระดับชั้นที่9 มีค่าเท่ากับ 0.78 และ 0.27 สำหรับแรงกระทำที่ขอดอาคารและแรงกระทำรูปสามเหลี่ยม ตามลำดับ

แรงเฉือนสูงสุดในคานเชื่อม

$$V_{b(\max)} = \left(7.24\frac{1}{1.09^2 x10.5}0.78 + 1.90\frac{72}{1.09^2 x10.5}0.27 \right) x3.6$$

$= 12.23$ ตัน

โมเมนต์สูงสุดในคานเชื่อม

$$M_{b(\max)} = V_{b(\max.)}\frac{b}{2} = 12.23x\frac{2.5}{2} \quad = 15.29 \text{ ตัน-เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง) ค่าการโก่งตัวสูงสุดที่ระดับชั้นบนสุดของอาคาร

คำนวณจากแรงกระทำที่ยอดอาคารและแรงกระทำกระจายแบบรูปสามเหลี่ยม

$$y_H = \frac{PH^3}{3EI}F_3 + \frac{11}{120}\frac{pH^4}{EI}F_3$$

$$y_H = \frac{7.24x10^3(7200)^3}{3(2.3x10^5)(78.95x100^4)}0.32 + \frac{11}{120}\frac{1.9x10^3(7200)^4}{(2.3x10^5)(78.95x100^4)(100)}0.33$$

$= 1.00$ ซม.

จ) ออกแบบเหล็กเสริมในกำแพงและคานเชื่อม

ขั้นตอนที่ 1 เหล็กเสริมในกำแพง

ตรวจสอบว่าจะต้องเสริมเหล็กตะแกรงรับแรงเฉือน2ชั้นหรือไม่ จาก

$$V_u > 0.53\sqrt{f_c'}A_{cv}$$

คำนวณ V_u จากการรวมน้ำหนักบรรทุกสูงสุดในกรณี

$$V_u = 0.75(1.4V_D + 1.7V_L + 1.87V_E)$$

$$V_u = 0.9V_D + 1.43V_E$$

เนื่องจากค่าแรงเฉือนในกำแพงจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรมีค่าน้อย จึงใช้แรงเฉือนจากแรงแผ่นดินไหวอย่างเดียว และใช้การรวมน้ำหนักบรรทุกกรณีที่2 นั่นคือ

$$V_u = 1.43V_E = 1.43x68,500 = 97,955 \text{ กก.}$$

$$0.53\sqrt{f_c'}A_{cv} = 0.53\sqrt{250}(15x800x2) = 201,120 \text{ กก.} > 97,955 \text{ กก.}$$

ดังนั้น อาจออกแบบเป็นเหล็กเสริมชั้นเดียวได้

เนื่องจาก $V_u > \phi V_c/2 = \phi 0.26\sqrt{f_c'}A_{cv} = 0.6x0.26\sqrt{250}(15x800)x2 = 59,198$ กก.

ดังนั้นใช้ $\rho_{v(mim.)} = \rho_{h(mon.)} = 0.0025$

$$A_{sv} = 0.0025x15x100 = 3.75 \text{ ซม.}^2$$

เนื่องจากกำแพงหนา 15 ซม. จึงใช้เหล็ก 2 ชั้นเพื่อป้องกันการแตกร้าวที่ผิดกำแพงเนื่องจากการยึดหดตัวของคอนกรีตใช้ขนาด DB10@0.30 m จำนวน 2 ชั้น และ S = 0.30 m < 0.45 m ใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนของกำแพงจาก

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{360}{800} = 0.45 < 2.0$$

$$\phi V_n = \phi A_{cv}(\alpha_c \sqrt{f_c'} + \rho_n f_y)$$

$$= 0.6(15x800x2)(0.8250 + 0.0025x4{,}000)$$

$$= 326{,}147 \text{ กก.} < 2.1\sqrt{250}\,(15\text{x}800\text{x}2) = 796{,}894 \text{ กก.} > V_u = 97{,}955 \text{ กก.}$$

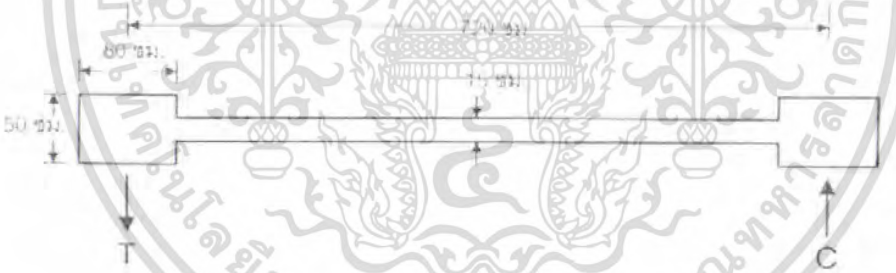
แสดงว่า กำลังต้านทานแรงเฉือนของกำแพงสามารถต้านทานแรงเฉือนประลัยได้

ขั้นตอนที่2 ตรวจสอบและออกแบบเสาขอบกำแพง (Boundary element)

จากการคำนวณหน่วยแรงอัดในกำแพง $f_c = 106.34 > 0.2f_c' = 0.2x250 = 50$ กก./ซม.^{2}

ดังนั้น จะต้องออกแบบเสาขอบกำแพง

ขนาดความกว้างของเสาขอบ $l_w/16 = 800/16 = 50$ ซม. ใช้ความยาว 80 ซม. ดังนี้



รูปที่6.28 หน้าตัดของเสาขอบกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณแรงกระทำต่อเสาขอบกำแพง จาก $C = \frac{W_u}{2} + \frac{M_u}{d}$

$$W_u = [1.4(500) + 1.7(200)]\left(6.0x\frac{18.5}{2}\right)x20 = 1{,}154{,}400 \text{ กก.}$$

$$M_u = 1.43M_E = 1.43x716{,}500 = 1{,}024{,}595 \text{ กก.-ม.}$$

$$C = \frac{1{,}154{,}400}{2} + \frac{1{,}024{,}595}{7.2} = 719{,}505 \text{ กก.}$$

คำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาขอบกำแพง

$$P_n = 0.8[0.85f_c'(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y]$$

ใช้ปริมาณเหล็กเสริม $\rho = 0.03$ ดังนั้น $A_{st} = 0.03x50x80 = 120$ ซม.^{2}

$$P_n = 0.8[0.85x250(50x80 - 120) + 120x4{,}000] = 1{,}043{,}600 \text{ กก.}$$

$$\phi P_n = 0.7x1{,}043{,}600 = 730{,}520 > P_u = 719{,}505 \text{ ใช้ได้}$$

ดังนั้น ใช้เหล็กเสริมขนาด 20DB28

ออกแบบเหล็กปลอก โดยสมมุติว่า ใช้ขนาด DB12@0.10m

จาก $A_{sh} \geq 0.09sh_c\frac{f_c'}{f_{yh}}$ หรือ $A_{sh} \geq 0.3sh_c\left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right]\frac{f_c'}{f_{yh}}$

เหล็กปลอกทางด้านสั้น

$h_c = 80\text{-}2(4+1.2/2) = 70.8$ ซม. $\quad b_c = 50\text{-}2(4+1.2/2) = 40.8$ ซม.

$$A_{sh} = 0.09x10x70.8\frac{250}{4{,}000} = 3.98 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{sh} = 0.3x10x70.8\left(\frac{50x80}{40.8x70.8} - 1\right)\frac{250}{4{,}000} = 5.11 \text{ ซม.}^2 \text{ ใช้ 5DB12 } A_{sh} = 5.65 \text{ ซม.}$$

เหล็กปลอกทางด้านยาว

$h_c = 50 - 2(4 + 1.2/2) = 40.8$ ซม. $\quad b_c = 80 - 2(4 + 1.2/2) = 70.8$ ซม.

$$A_{sh} = 0.09x10x40.8\frac{250}{4{,}000} = 2.3 \text{ ซม.}^2$$

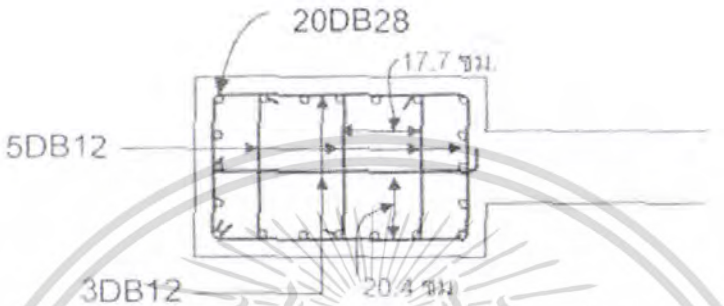
$$A_{sh} = 0.3x10x40.8\left(\frac{50x80}{40.8x70.8} - 1\right)\frac{250}{4{,}000} = 2.94 \text{ ซม.}^2 \text{ ใช้ 3DB12 } A_{sh} = 3.39 \text{ ซม.}^2$$

$$S_{max.} \leq \frac{b}{4} = \frac{50}{4} = 12.5 \text{ หรือ } 10 \text{ ซม.}$$

$$S_{max.} \leq 6d_b = 16.8 \text{ ซม.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{max.} \le 10 + \frac{35 - 20.4}{3} = 15 \text{ ซม.}$$



รูปที่6.29 การเสริมเหล็กของเสาขอบกำแพง

ขั้นตอนที่3 การตรวจสอบกำลังรับแรงแนวแกนร่วมกับแรงดัด

น้ำหนักบรรทุกประลัย $P_u = \frac{57,720x20}{2} = 577,200$ กก.

โมเมนต์ดัดประลัย $M_u = 716,500x1.43 = 1,024,595$ กก.-ม.

ค่าการเยื้องศูนย์ $e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{1,024,595}{577,200} = 1.775$ ม.

ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมในกำแพง

$$A_{st} = (20x6.16)2 + (5.2x8) = 288 \text{ ซม.}^2$$

$$A_g = (50x80)2 + (15x(800 - 160)) = 17,600 \text{ ซม.}^2$$

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_g} = \frac{288}{17,600} = 0.016, \qquad 0.01 < \rho_t < 0.06 \qquad \text{ใช้ได้}$$

ตรวจสอบจากกราฟ M-P Interaction Diagram

$$\frac{e}{l_w} = \frac{1.775}{800} = 0.22$$

$$\frac{M_u}{\phi b h^2 f_c'} = \frac{M_u}{\phi A_g l_w f_c'} = \frac{1,024,595x100}{0.9(17,600)(800)(250)} = 0.032$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{P_u}{\phi bhf_c^{'}} = \frac{P_u}{\phi A_g f_c^{'}} = \frac{577{,}200}{0.7(17{,}600)(250)} = 0.187$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c^{'}} = \frac{4{,}000}{0.85x250} = 18.82$$

$$\rho_t m = 0.016x18.82 = 0.30$$

$\frac{d}{h} = \frac{800-40}{800} = 0.95$ ใช้ในกรณี d/h = 0.9 อ่านค่าจากกราฟ M-P Interaction Diagram

$\frac{M_u}{\phi A_g l_w f_c^{'}} = 0.145 > 0.032$ และ $\frac{P_u}{\phi A_g f_c^{'}} = 0.67 > 0.187$ ใช้ได้

ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบคานเชื่อม (Coupling Beam)

ตรวจสอบความต้องการเหล็กเสริมแนวทแยง

$\frac{l_n}{d} = \frac{250}{35} = 7.14$

$1.06\sqrt{f_c^{'}}bd = 1.06\sqrt{250}(30x35) = 17{,}598$ กก.

$V_u = 1.43V_{b\max} = 1.43x12{,}230 = 17{,}490$ กก.

เนื่องจาก $l_n/d > 4$ และ $V_u 1.06\sqrt{f_c^{'}}bd$ ดังนั้น ใช้การออกแบบเหล็กเสริมในคานตามปกติ

$M_u = 1.43M_{b(\max)} = 1.43 \times 15{,}290 = 21{,}865$ กก.-ม.

$M_R = \phi R_u bd^2 = 0.9x66.07x0.30x35x35 = 21{,}852$ กก.-ม.

คำนวณปริมาณเหล็กเสริมตามยาว

$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j_u d} = \frac{21{,}865x100}{0.9x4{,}000x0.807x35} = 21.50$ ตร.ซม. ใช้ 5-DB 25mm

ตรวจสอบแรงเฉือน

$V_c = 0.53\sqrt{f_c^{'}}bd = 0.53\sqrt{250}(30x35) = 8{,}799$ กก.

$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{17{,}490}{0.85} - 8{,}799 = 11{,}777$ กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เหล็กปลอกขนาด DB12, A_s = 2 x 1.13 = 2.26 ตร.ซม.

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{2.26x4{,}000x35}{11{,}777} = 26.87 \approx 27 \quad \text{ซม.}$$

ตรวจสอบระยะห่างของเหล็กปลอกในช่วงข้อหมุนพลาสติก

กำหนดการวางเหล็กปลอกในช่วง 2 เท่าของความลึกคาน (2h = 0.80 m) จากผิวรอยต่อคาน

ระยะห่างสูงสุดของเหล็กปลอก S_{max} ใช้ค่าต่ำสุดของค่าต่อไปนี้

- 1/4 ของความลึกประสิทธิผล,	d/4	= 35/4	= 8.75	ซม.
- 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาว,	$8d_{bl}$	= 8(2.5)	= 20	ซม.
- 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก,	$24d_{bh}$	= 24(1.2)	= 28.8	ซม.
- ไม่เกิน0.30 ม.			= 30	ซม.

ดังนั้นใช้เหล็กปลอก DB 12mm.@0.085 ม. วางในช่วงระยะ 0.80 ม. จากผิวรอยต่อคาน และใช้เหล็กปลอก DB 12mm.@0.175 ม. วางในช่วงจากปลายสุดของบริเวณข้อหมุนพลาสติกไปยังกึ่งกลางคาน ซึ่งระยะห่างสูงสุดของเหล็กปลอกไม่เกิน d/2 = 35/2 = 17.5 ซม.

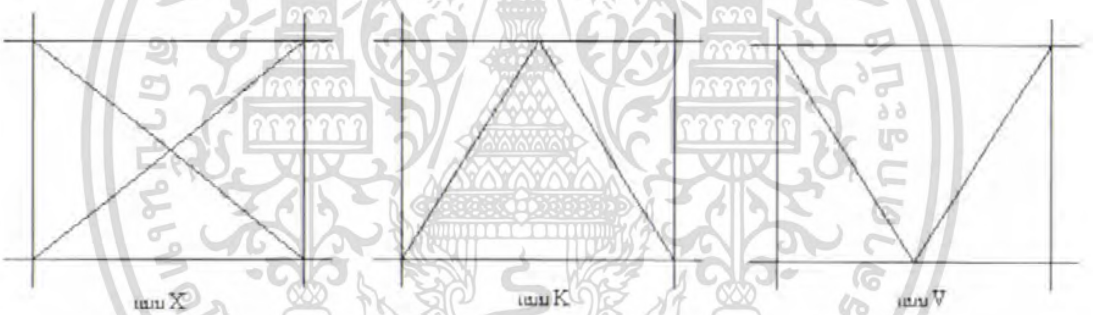
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

โครงยึด(Braced frame)

7.1 โครงยึด

โครงยึดถือเป็นการยึดโยงอาคารไม่ให้เคลื่อนตัวในแนวราบระหว่างชั้นมากเกินไป โดยอาศัยหลักการถ่ายแรงสู่ชิ้นส่วนย่อย ซึ่งเป็นการดึงรั้งของโครงยึดและกระจายแรงสู่เสา โครงยึดที่ใช้อยู่ทั่วไปแบ่งเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ X,V และ แสดงดังรูปที่ 7.1



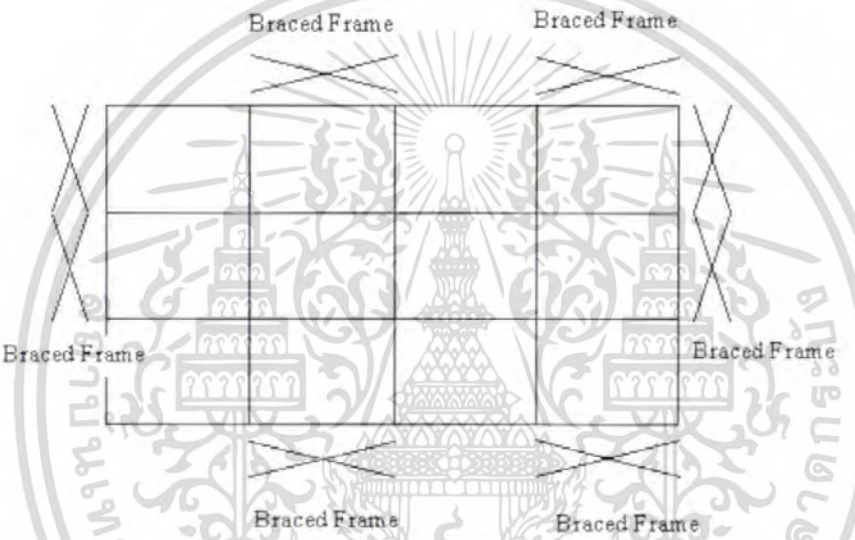
รูปที่ 7.1 โครงยึดแบบต่างๆ

ในการออกแบบโครงยึดแบบ X เป็นที่นิยมใช้และเป็นการกระจายแรงที่ดีเนื่องจากมีความสมมาตรทั้ง 2 แนว สามารถคำนวณแรงได้สะดวก จุดตัดขององค์ประกอบของโครงยึดแบบ X จะต้องเป็นอิสระไม่ยึดติดกัน เนื่องจากเมื่อมีแรงมากระทำทางด้านข้างองค์ประกอบชิ้นเดียวจะรับแรงดึง , ส่วนอีกชิ้นจะไม่รับแรง เมื่อแรงกระทำกลับทิศทางองค์ประกอบซึ่งไม่รับแรงจะทำหน้าที่รับแรงดึง ในขณะที่องค์ประกอบที่รับแรงจะเปลี่ยนเป็นไม่รับแรง ส่วนโครงสร้าง K หรือ V จะใช้ในกรณีจำเป็นเท่านั้น อาจเป็นความจำเป็นเรื่องสถาปัตยกรรมของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวางโครงยึดมีข้อควรปฏิบัติดังนี้ (แสดงในรูปที่ 7.2)

1. วางที่ขอบนอกของอาคาร
2. จำนวนโครงยึดบนแต่ละด้านของอาคารที่ขนานกับแนวตรงควรเท่ากัน
3. จำนวนโครงยึดในแต่ละทิศทางของแรงควรเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน



รูปที่ 7.2 ตัวอย่างการวางโครงยึด

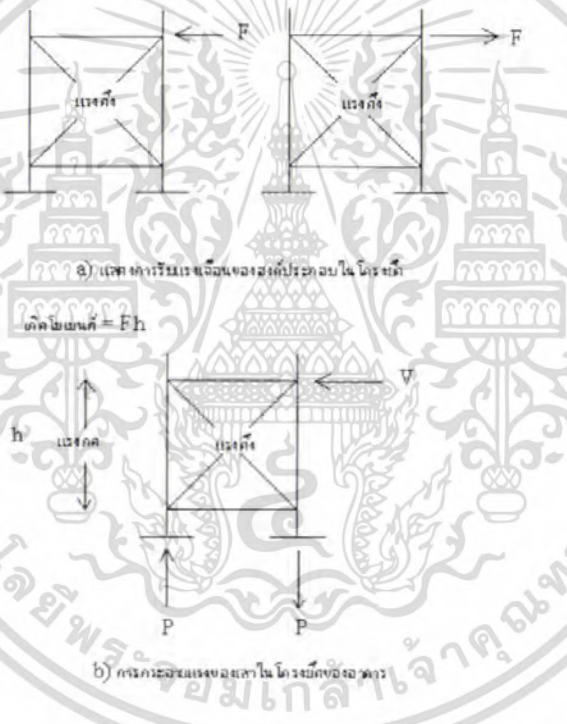
7.2 การกระจายแรงโครงยึด

การกระจายแรงในโครงยึดที่กล่าวถึงเป็นโครงยึดในแนวดิ่ง โดยใช้หลักการต้านแรงที่ทำให้โครงสร้างเสียการทรงตัวในทิศทางที่ขนานกันกับระนาบของโครงยึด ซึ่งเป็นการออกแรงของโครงยึดเพื่อลดการเคลื่อนตัวเหมือนโครงยึดทั่วไป ทำให้เกิดการกระจายแรงไปยังส่วนย่อยในโครงยึด แรงเหล่านี้จะถ่ายลงสู่เสา ทำให้เสามีโอกาสเกิดขึ้นได้ทั้งแรงอัดและแรงดึง วิเคราะห์แรงที่เกิดได้โดยการวิเคราะห์โครงสร้างปกติ

การกระจายแรงสู่โครงยึดแต่ละตัวมีค่าเท่ากับแรงเฉือนในชั้นนั้นหารด้วยจำนวนแถวของโครงยึด สำหรับโครงยึดรูป X คิดการรับแรงซึ่งเป็นแรงดึงในโครงยึด (ชิ้นส่วนที่เอียง) เพียงด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวขณะเกิดแรงเฉือนไปด้านใดด้านหนึ่ง ชิ้นส่วนในการยึดที่เหลือซึ่งต้องรับแรงอัดแต่ในการแบบสมมติว่าไม่รับแรงที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการคิดแรงและเป็นการคิดที่เผื่อความปลอดภัย ตัวอย่างโครงยึดรับแรงแสดงในรูปที่ 7.3 หากเกิดการเปลี่ยนทิศทางของแรงด้านข้างที่กระทำค่าแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนจะเปลี่ยนไป โดยที่ส่วนที่รับแรงอัดจะเปลี่ยนเป็นรับแรงดึงได้ ดังนั้น ในการออกแบบต้องให้ความสามารถในการรับแรงเกิดขึ้นได้ทั้ง 2 กรณี เนื่องจากโครงยึดจำเป็นต้องรับทั้งแรงดึงและแรงอัด ดังนั้นการออกแบบโครงยึดส่วนมากนิยมโครงยึดที่เป็นเหล็ก



รูปที่ 7.3 ลักษณะการกระจายแรงในโครงยึด

ค่าแรงกระจายที่เกิดขึ้นจะถ่ายทอดลงสู่ระดับล่างลงมาทำให้มีการรับแรงสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยในการออกแบบต้องออกแบบให้โครงมีขนาดรับแรงสูงสุดที่เกิดขึ้น ในการออกแบบอาจสร้างโครงยึดเป็นกรอบนอกรูปขั้นบันได ซึ่งเป็นลักษณะการลดจำนวนโครงยึดในระดับที่สูงขึ้นไปซึ่งมีแรงเฉือนเกิดขึ้นน้อย ทำให้ประหยัดแต่การวิเคราะห์จะยุ่งยากมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 การเคลื่อนตัวแนวราบ

การเคลื่อนตัวของโครงยึดเกิดจากการยืดและหดตัวชิ้นส่วนในการยึดโยงระหว่างเสา เป็นสำคัญ ดังนั้นการคำนวณการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น ต้องมีการปรับค่าการยืดหดตัวของชิ้นส่วนยึด ตามมุมที่เกิดขณะยืดตัว แต่เพื่อความสะดวกจึงสมมติมุมเป็น 45 องศา

การคำนวณการเคลื่อนตัวคือ

$$\delta = \frac{PL}{AE}$$

$$\Delta = \frac{1}{\sin 45} x\delta$$

$$= 1.414\ \delta$$

- จากความฝืดที่ผิวสัมผัสระหว่างดินกับโครงสร้าง ขึ้นกับความเสียดทานและน้ำหนักคงที่ของอาคารที่ลงสู่ฐานราก

- แรงด้านของดินและเสาเข็มในแนวนอน ขึ้นกับลักษณะของดินที่รองรับฐานรากหากเป็นฐานรากประเภทเสาเข็ม ความลึกจะเป็นปัจจัยอีกส่วนหนึ่งที่ช่วยให้การรับแรงดีขึ้น

จากระบบการรับและการกระจายแรงสู่องค์อาคารที่กล่าว วิศวกรต้องออกแบบอาคารที่ใช้ในการรับแรง เช่น เสา คาน กำแพงรับแรงเฉือน และฐานรากเป็นต้น ให้สามารถรับแรงที่เกิดขึ้น รวมถึงคำนึงเสถียรภาพและสัดส่วนความปลอดภัยโดยรวมของอาคาร ทั้งความสามารถการรับน้ำหนัก การเลื่อนไถล และการเคลื่อนตัวในแนวราบ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 บทสรุป

เนื้อหาส่วนใหญ่ของโครงงานที่ได้จัดทำขึ้น จะถูกบันทึกลงในสื่อการสอนในรูปของแผ่นโปรแกรม ซึ่งในแผ่นโปรแกรมสื่อการสอนเพื่อการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว ที่ได้จัดทำขึ้น จะประกอบไปด้วยเนื้อหา 7 ส่วนดังนี้

1) ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแผ่นดินไหว

เนื้อหาส่วนนี้จะเป็นการกล่าวถึงองค์ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการเกิดแผ่นดินไหว ประเภทของแผ่นดินไหว เครื่องมือวัดความรุนแรงของแผ่นดินไหวในประเทศไทย

2) หลักการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว

ในส่วนของหลักการคำนวณออกแบบจะกล่าวถึงหลักการออกแบบ โดยอ้างอิงตามมาตรฐานต่างๆทั้งเกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคาร ในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินไหว เช่น กฎกระทรวงปี 2550 มยผ. 1301-50 UBC1985 , 1997 ACI318-05

3) ในส่วนของการออกแบบในตัวอย่างจะประกอบไปด้วยเนื้อหา 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 จะเป็นเนื้อหาในส่วนของการคำนวณแรงกระทำในโครงสร้าง

ส่วนที่ 2 จะเป็นการออกแบบเหล็กเสริม ในส่วนของระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้าง ซึ่งในเนื้อหาทั้ง 2 ส่วนนี้ จะมี วีดีโอการสอนขั้นตอนการออกแบบเป็นตัวอย่างไว้ด้วย

4) มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบ

ในการออกแบบอาคารในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย มีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องในการออกแบบหลายมาตรฐาน ซึ่งในส่วนนี้จะมีตารางแสดงข้อเปรียบเทียบ ของการคำนวณรวมน้ำหนักบรรทุก เพื่อใช้ในการออกแบบไว้ด้วย

5) วิดีโอบันทึกเหตุการณ์จริงของการเกิดแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อหาในส่วนนี้ จะเป็นการประมวลภาพของความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเมื่อเกิดแผ่นดินไหว

6) วิดีโอบันทึกการทดลองที่เกี่ยวกับการก่อสร้างอาคารต้านแผ่นดินไหว

วีดีโอในส่วนของเนื้อหาในสื่อการสอนในส่วนนี้ จะเป็นการทดลองต่างๆที่เป็นเทคโนโลยีระบบการก่อสร้างอาคารต้านแผ่นดินไหวแบบต่างๆ

7) โปรแกรมช่วยคำนวณออกแบบโครงข้อแข็ง

โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข้อแข็งที่อ้างอิงมาตรฐาน มยผ. 1301-50 ในการออกแบบ

ทั้งนี้เนื่องจากมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ในการอ้างอิงการออกแบบอาคารในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินไหว มีการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้โครงงานที่ได้จัดทำในบางส่วนยังใช้มาตรฐานอ้างอิงที่ยังเป็นฉบับเดิม ดังนั้นผู้ออกแบบต้องพิจารณาใช้มาตรฐานในการอ้างอิง เพื่อออกแบบอาคารในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินไหวให้เหมาะสมกับสถานการณ์ในปัจจุบัน

8.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากมาตรฐานที่เกี่ยวข้องในการออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหว มีหลายมาตรฐาน และในแต่ละมาตรฐานจะมีข้อกำหนดในการออกแบบแตกต่างกันไป ดังนั้นผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้พักอาศัยในอาคารที่ตนเป็นผู้ออกแบบเป็นสิ่งสำคัญ โครงงานนี้จึงให้ข้อเสนอแนะในการออกแบบดังนี้

1) พื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย เป็นความเสี่ยงระดับปานกลาง ในการออกแบบควรใช้มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหวในประเทศไทยเป็นมาตรฐานในการออกแบบ ร่วมกับมาตรฐานการออกแบบอาคารตามวิธีกำลัง หรือหน่วยแรงใช้งาน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ

2) เลือกวิธีการออกแบบอาคารให้เหมาะสมกับรูปร่างของอาคาร โดยอาคารที่มีรูปร่างสมมาตรอย่างง่าย และมีความสูงไม่เกิน 75 เมตร ให้ใช้วิธีการคำนวณแรงตามวิธีแรงสถิตเทียบเท่า และสำหรับอาคารที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอและสูงมากกว่า 75 เมตร ต้องใช้วิธีการคำนวณโดยวิธีพลศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) จากมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหวในประเทศไทย มีหลายมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบ ซึ่งในแต่ละมาตรฐานจะมีข้อกำหนดที่เกี่ยวกับการรวมน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบในส่วนขององค์อาคารส่วนต่างๆ ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการออกแบบอาคารเป็นหลัก โดยเลือกกรณีของการรวมน้ำหนักบรรทุกที่พิจารณานำมาออกแบบ ต้องเป็นน้ำหนักบรรทุกที่มีค่าสูงสุด ทั้งนี้ต้องพิจารณาเปรียบเทียบแรงลมกับแรงแผ่นดินไหวในการออกแบบด้วย โดยนำค่าที่ทำให้น้ำหนักบรรทุกมีค่าสูงสุดมาใช้ในการออกแบบอาคาร

4) ความประหยัดของการก่อสร้างอาคารต้านแรงแผ่นดินไหว เนื่องจากการออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหว ทำให้ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคารสูงกว่าอาคารที่ออกแบบโดยไม่คำนึงถึงแรงแผ่นดินไหว ดังนั้นผู้ออกแบบ ต้องเลือกระบบของโครงสร้างอาคารที่เหมาะสมกับรูปร่างของอาคารในการรับแรงด้านข้างที่มีโอกาสเกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นแรงแผ่นดินไหวหรือแรงลม

5) ในการออกแบบอาคารขนาดเล็กอาจไม่ต้องใช้มาตรฐานในการออกแบบเพื่อต้านแผ่นดินไหว แต่มีข้อแนะนำดังนี้

5.1) ออกแบบคานยึดฐานรากของอาคารทั้งหมดเข้าด้วยกัน เพื่อที่เวลาเกิดแผ่นดินไหว ฐานรากทั้งหมดจะเคลื่อนที่ไปพร้อมๆกัน และช่วยกระจายแรงทั่วทั้งกลุ่มฐานราก ทำให้ไม่เกิดการแตกร้าวเนื่องจากฐานรากเคลื่อนที่ไม่พร้อมกัน

5.2) ออกแบบหน้าตัดเสาให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อลดผลของความชะลูด เพราะเสาขนาดเล็กจะมีความชะลูดสูง เมื่อเกิดแผ่นดินไหว ทำให้วิบัติได้โดยง่าย

5.3) เพิ่มปริมาณเหล็กปลอกให้มากขึ้น โดยออกแบบให้มีระยะห่างของเหล็กปลอกเสาลดลงครึ่งหนึ่ง และในข้อต่อของโครงสร้างเสาและคาน ให้ออกแบบระยะห่างของเหล็กปลอกลดลงครึ่งหนึ่งของการออกแบบปกติ เช่นกัน

5.4) เสริมเหล็กรับโมเมนต์ในทิศทางตรงข้ามกับโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจริง ในปริมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณเหล็กเสริมรับโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจริง

ข้อแนะนำที่ได้กล่าวไว้ทั้งหมดนี้ ให้ไว้เพื่อความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้อยู่อาศัยเป็นหลัก ดังนั้นผู้ออกแบบต้องมีความรอบคอบและรัดกุมเพื่อช่วยให้เพิ่มความมั่นใจให้กับอาคารที่ตนออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ไพบูลย์ ปัญญาคะโป, 2545. การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว .กรุงเทพฯ: Tumcivil จำกัด

ไพบูลย์ ปัญญาคะโป, 2545. การออกแบบอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่ .กรุงเทพฯ: บริษัทไลบรารี่ นายจำกัด

เป็นหนึ่ง วานิชชัย และ อาเด ลิชานโตโน, 2537. การวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2537, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ, หน้า 30-52.

ปริญญา นุตาลัย และ ประกาศ มานเศรษฐา ,2533. ความสั่นสะเทือนและความเสี่ยงภัยเนื่องจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย, เอกสารการประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรมประจำปี 2533, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศ ไทยฯ, หน้า 57-77.

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, 2541. หลักการพื้นฐานของการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว, การสัมมนาเรื่อง การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, หน้า 215-247

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และ นพดล ภูหาทัสนะดีกุล , 2536. เขตแผ่นดินไหวและสัมประสิทธิ์แผ่นดินไหว สำหรับประเทศไทย, เอกสารการประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรมประจำปี 2536, วิศวกรรมสถานแห่ง ประเทศไทยฯ, หน้า 268-287.

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ ,กฎกระทรวงฯ กับการออกแบบอาคารต้านภัยแผ่นดินไหว , โยธาสาร มกราคม - มีนาคม2543 :จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, หลักการพื้นฐานของการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว, หน่วยวิจัยแผ่นดินไหวและการสั่นสะเทือน, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ

สัจจา บุญยฉัตร, 2544. การออกแบบโครงสร้างเพื่อรับแรงแผ่นดินไหว. กรุงเทพฯ: บริษัท พี.เอ.ลิฟวิ่ง จำกัด

วินิต ช่อวิเชียร, 2540. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง, กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กฎกระทรวงฉบับที่ 6 , พ.ศ. 2527. ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

กฎกระทรวง ฉบับที่ 49 , พ.ศ. 2540. ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กฎกระทรวง ฉบับที่ 50 ,พ.ศ. 2550. ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1301-50 กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย

ศรีกริช หิรัญมาศ, คอนกรีตเสริมเหล็ก พฤติกรรมและการออกแบบ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สิริวัฒน์ ไชยชนะ, เอกสารประกอบการบรรยาย Seismic Design, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรม ราชูปถัมภ์, ครั้งที่ 2

หนังสืออบรมเชิงปฏิบัติการหลักสูตรออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหว ครั้งที่ 2 ,2540 คู่มือโครงการอบรมการออกแบบอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ และอาคารต้านแผ่นดินไหว "ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.,กฎกระทรวง"

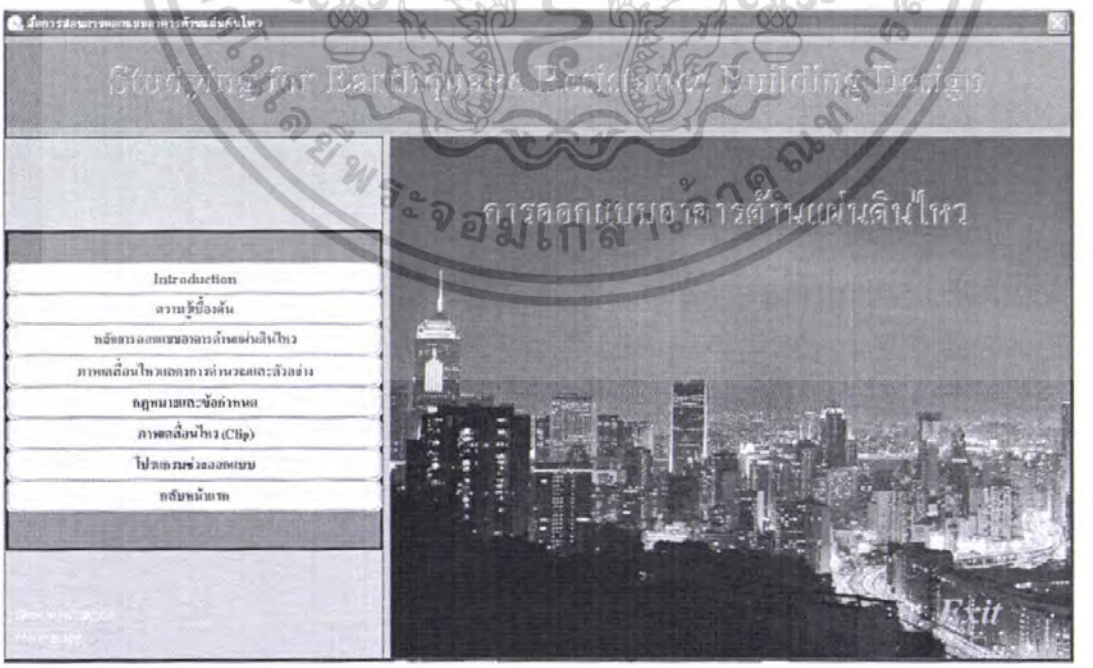
Lagorio, Henry J, 1990. Earthquakes Resistance Design an architect's guide to nonstructural seismic hazards, New York : John Wiley

American Concrete Institude Committee 318-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมนูของโปรแกรมสื่อการสอน

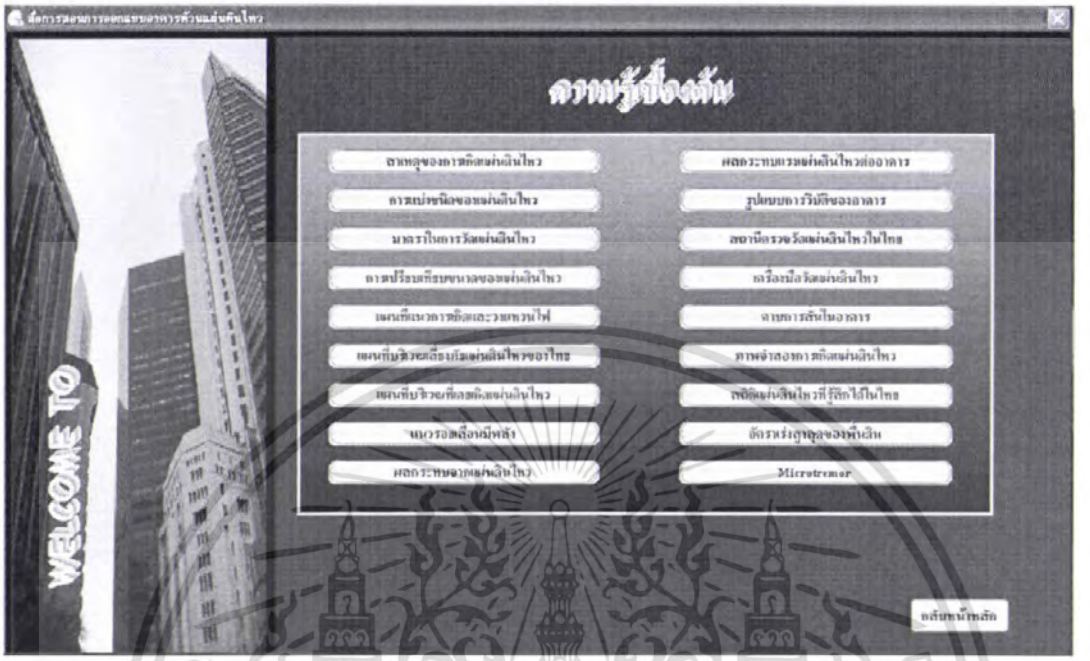
รูป ผก-1 เมนูหน้าแรก แนะนำโปรแกรมและการใช้งาน



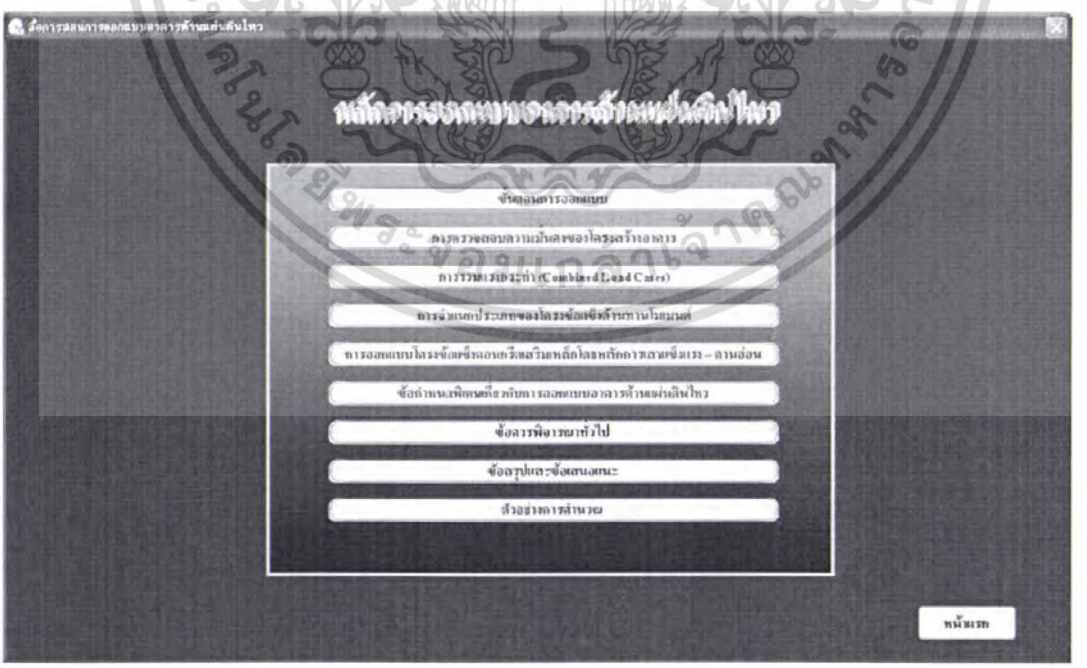
รูป ผก-2 เมนูสื่อการสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมนูของโปรแกรมสื่อการสอน



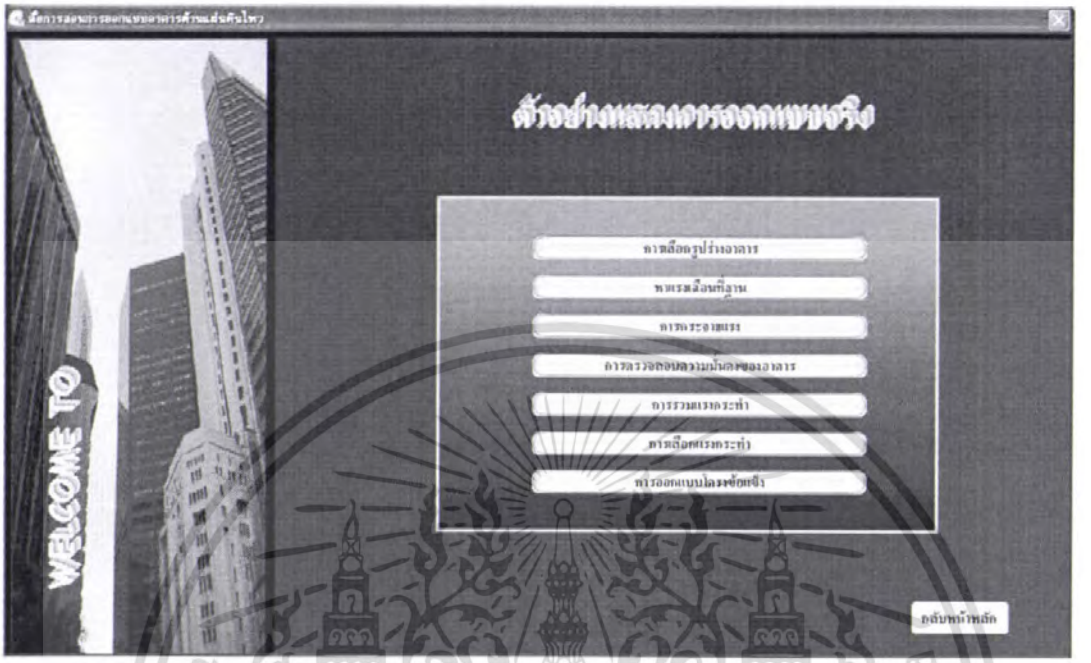
รูป ผก-3 เมนูความรู้เบื้องต้น



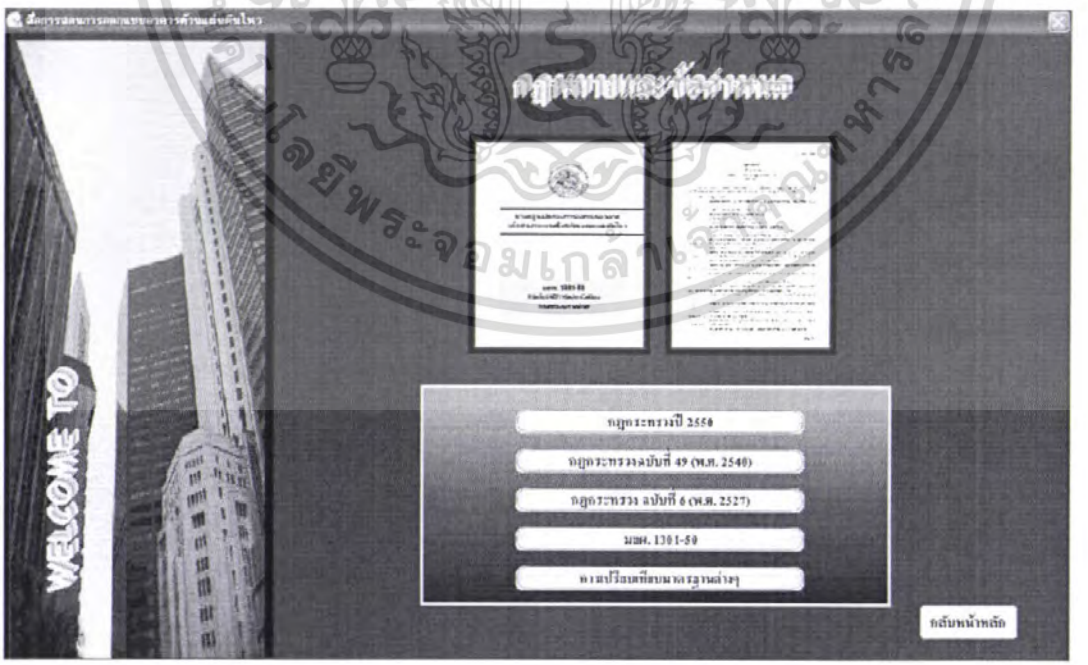
รูป ผก-4 เมนูหลักการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมนูของโปรแกรมสื่อการสอน



รูป ผก-5 เมนูแสดงการออกแบบจริง



รูป ผก-6 เมนูแสดงกฎหมายและข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎกระทรวง

กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร
และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
พ.ศ. ๒๕๕๐

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ และมาตรา ๘ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๔๓ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๖ ประกอบกับมาตรา ๓๒ มาตรา ๓๓ มาตรา ๔๑ มาตรา ๔๒ และมาตรา ๔๓ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคารออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิกกฎกระทรวง ฉบับที่ ๔๘ (พ.ศ. ๒๕๔๐) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒

ข้อ ๒ ในกฎกระทรวงนี้

"บริเวณเฝ้าระวัง" หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกระบี่ จังหวัดชุมพร จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดระนอง จังหวัดสงขลา และจังหวัดสุราษฎร์ธานี

"บริเวณที่ ๑" หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่เป็นดินอ่อนมากที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวระยะไกล ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"บริเวณที่ ๒" หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดตาก จังหวัดน่าน จังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง และจังหวัดลำพูน

ข้อ ๓ กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับในบริเวณและอาคารดังต่อไปนี้

(๑) บริเวณเฝ้าระวังและบริเวณที่ ๑

(ก) อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน เช่น สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ท่าอากาศยาน โรงไฟฟ้า โรงผลิตและเก็บน้ำประปา

(ข) อาคารเก็บวัตถุอันตราย เช่น วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ วัตถุกัมมันตรังสี หรือวัตถุที่ระเบิดได้

(ค) อาคารสาธารณะที่มีผู้ใช้อาคารได้ตั้งแต่สามร้อยคนขึ้นไป ได้แก่ โรงมหรสพ หอประชุม หอศิลป์ พิพิธภัณฑสถาน หอสมุด ศาสนสถาน สนามกีฬา อัฒจันทร์ ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานีรถ และโรงแรม

(ง) สถานศึกษาที่รับนักเรียนหรือนักศึกษาได้ตั้งแต่สองร้อยห้าสิบคนขึ้นไป

(จ) สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อนที่รับเด็กอ่อนได้ตั้งแต่ห้าสิบคนขึ้นไป

(ฉ) อาคารที่มีผู้ใช้อาคารได้ตั้งแต่ห้าพันคนขึ้นไป

(ช) อาคารที่มีความสูงตั้งแต่สิบห้าเมตรขึ้นไป

(ซ) สะพานหรือทางยกระดับที่มีช่วงระหว่างศูนย์กลางตอม่อยาวตั้งแต่สิบเมตรขึ้นไป

(ฌ) เขื่อนเก็บกักน้ำ เขื่อนทดน้ำหรือฝายทดน้ำ ที่ตัวเขื่อนหรือตัวฝายมีความสูงตั้งแต่สิบเมตรขึ้นไป

(๒) บริเวณที่ ๒

(ก) อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน เช่น สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ท่าอากาศยาน โรงไฟฟ้า โรงผลิตและเก็บน้ำประปา

(ข) อาคารเก็บวัตถุอันตราย เช่น วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ วัตถุกัมมันตรังสี หรือวัตถุที่ระเบิดได้

(ค) อาคารสาธารณะ ได้แก่ โรงมหรสพ หอประชุม หอศิลป์ พิพิธภัณฑสถาน หอสมุด ศาสนสถาน สนามกีฬา อัฒจันทร์ ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานีรถ โรงแรม สถานบริการ และอาคารจอดรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ง) สถานศึกษา

(จ) สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อน

(ฉ) อาคารที่มีผู้ใช้อาคารได้ตั้งแต่ห้าพันคนขึ้นไป

(ช) อาคารที่มีความสูงตั้งแต่สิบห้าเมตรขึ้นไป

(ซ) สะพานหรือทางยกระดับที่มีช่วงระหว่างศูนย์กลางตอม่อยาวตั้งแต่สิบเมตรขึ้นไป

(ฌ) เขื่อนเก็บกักน้ำ เขื่อนทดน้ำหรือฝายทดน้ำ ที่ตัวเขื่อนหรือตัวฝายมีความสูงตั้งแต่สิบเมตรขึ้นไป

ข้อ ๔ การออกแบบโครงสร้างอาคารในข้อ ๓ ให้ผู้คำนวณออกแบบคำนึงถึงการจัดรูปแบบเรขาคณิตให้มีเสถียรภาพในการต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว การกำหนดรายละเอียดปลีกย่อยชิ้นส่วนโครงสร้าง รวมทั้งบริเวณรอยต่อระหว่างปลายชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ และการจัดให้โครงสร้างทั้งระบบอย่างน้อยให้มีความเหนียวเทียบเท่าความเหนียวจำกัด (Limited Ductility) ตามมาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของกรมโยธาธิการและผังเมือง หรือมาตรฐานว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่สภาวิศวกรรับรอง

การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารแต่ละชิ้นส่วน ให้ใช้ค่าหน่วยแรงของผลจากแผ่นดินไหว หรือผลจากแรงลมตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ฉบับที่ ๖ (พ.ศ. ๒๕๒๗) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ที่มีต่อชิ้นส่วนโครงสร้างนั้น ค่าใดค่าหนึ่งที่มากกว่า

ข้อ ๕ การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ หรือโครงสร้างอาคารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่อาคารตามที่กำหนดในข้อ ๖ และไม่อยู่ในบริเวณเฝ้าระวัง ผู้คำนวณออกแบบต้องเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมตั้งแต่ระดับสามัญวิศวกรขึ้นไป และต้องคำนวณให้อาคารสามารถรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์หรือวิธีอื่นที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานทางทฤษฎีเชิงพลศาสตร์

การคำนวณตามวรรคหนึ่งต้องเป็นไปตามมาตรฐานว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่สภาวิศวกรรับรอง หรือที่จัดทำโดยส่วนราชการหรือนิติบุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ซึ่งมีวิศวกรระดับวุฒิวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธาตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร เป็นผู้ให้คำแนะนำปรึกษาและลงลายมือชื่อรับรองวิธีการคำนวณนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ ๖ การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีลักษณะเป็นตึก บ้าน เรือน โรง หรือสิ่งก่อสร้างอย่างอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน และไม่อยู่ในบริเวณเฝ้าระวัง ให้ผู้คำนวณออกแบบคำนวณให้อาคารสามารถรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้ โดยคำนวณแรงเฉือนตามวิธีการดังต่อไปนี้

(๑) ให้คำนวณแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน ดังนี้

$$V = ZIKCSW$$

V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

Z คือ สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหวตามที่กำหนดในข้อ ๗

I คือ ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคารตามที่กำหนดในข้อ ๘

K คือ สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบตามที่กำหนดในข้อ ๙

C คือ สัมประสิทธิ์ หาค่าได้จากสูตรในข้อ ๑๑

S คือ สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคารตามที่กำหนดในข้อ ๑๒

W คือ น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุอุปกรณ์ซึ่งยึดตรึงกับที่โดยไม่รวมน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับอาคารทั่วไป หรือน้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมกับร้อยละ ๒๕ ของน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับโกดังหรือคลังสินค้า

(๒) ให้กระจายแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดินออกเป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(ก) แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร ให้คำนวณ ดังนี้

$$F_t = 0.07\ TV$$

ค่าของ F_t ที่ได้จากสูตรนี้ไม่ให้ใช้เกิน ๐.๒๕ V และถ้าหาก T มีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า ๐.๗ วินาที ให้ใช้ค่าของ F_t เท่ากับ ๐

(ข) แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ ของอาคาร รวมทั้งชั้นบนสุดของอาคารด้วย ให้คำนวณ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

F_t คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร

F_x คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นที่ x ของอาคาร

T คือ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร มีหน่วยเป็นวินาที หาค่าได้ตามสูตรในข้อ ๑๐

V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

w_x, w_i คือ น้ำหนักของพื้นอาคารชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ

h_x, h_i คือ ความสูงจากระดับพื้นดินถึงพื้นชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ

i = 1 สำหรับพื้นชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างของอาคาร

x = 1 สำหรับพื้นชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างของอาคาร

$\sum_{i=1}^{n} w_i h_i$ คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างน้ำหนักกับความสูงจากพื้นชั้นที่ ๑ ถึงชั้นที่ n

n คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคารที่อยู่เหนือระดับพื้นชั้นล่างของอาคาร

ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีรูปทรงตามที่ระบุในวรรคหนึ่ง ผู้คำนวณออกแบบอาจใช้วิธีอื่นได้ แต่วิธีการคำนวณออกแบบต้องเป็นไปตามมาตรฐานว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่สภาวิศวกรรับรอง หรือที่จัดทำโดยส่วนราชการหรือนิติบุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ซึ่งมีวิศวกรระดับวุฒิวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร เป็นผู้ให้คำแนะนำปรึกษาและลงลายมือชื่อรับรองวิธีการคำนวณนั้น

ข้อ ๗ ค่าสัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว (Z) ของบริเวณที่ ๑ ให้ใช้เท่ากับ ๐.๑๕ หรือมากกว่า และบริเวณที่ ๒ ให้ใช้เท่ากับ ๐.๓๘ หรือมากกว่า

ข้อ ๘ ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร (I) ให้ใช้ ดังต่อไปนี้

ชนิดของอาคาร	ค่าของ I
(๑) อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน ตามข้อ ๓	๑.๕๐
(๒) อาคารที่เป็นที่ชุมนุมคนครั้งหนึ่ง ๆ ได้มากกว่าสามร้อยคน	๑.๒๕
(๓) อาคารอื่น ๆ	๑.๐๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ ๙ ค่าสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ (K) ให้ใช้ ดังต่อไปนี้

ระบบและชนิดโครงสร้างรับแรงในแนวราบ	ค่าของ K
(๑) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้กำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall) หรือโครงแกงแนง (Braced Frame) ต้านแรงทั้งหมดในแนวราบ	๑.๓๓
(๒) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียว (Ductile Moment-Resisting Frame) ต้านแรงทั้งหมดในแนวราบ	๐.๖๗
(๓) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกงแนงต้านแรงในแนวราบ โดยมีข้อกำหนดในการคำนวณออกแบบ ดังนี้ (ก) โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ ๒๕ ของแรงในแนวราบทั้งหมด (ข) กำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกงแนงเมื่อแยกเป็นอิสระจากโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ทั้งหมด (ค) โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกงแนงต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ทั้งหมด โดยสัดส่วนของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างแต่ละระบบ ให้เป็นไปตามสัดส่วนความคงตัว (Rigidity) โดยคำนึงถึงการถ่ายเทของแรงระหว่างโครงสร้างทั้งสอง	๐.๘๐
(๔) หอถังน้ำ รองรับด้วยเสาไม่น้อยกว่า ๔ ต้น และมีแกงแนงยึดและไม่ได้ตั้งอยู่บนอาคาร หมายเหตุ ผลคูณระหว่างค่า K กับค่า C ให้ใช้ค่าต่ำสุดเท่ากับ ๐.๑๒ และค่าสูงสุดเท่ากับ ๐.๒๕	๒.๕
(๕) โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดและโครงอาคารระบบอื่น ๆ นอกจากโครงอาคารตาม (๑) (๒) (๓) หรือ (๔)	๑.๐

ข้อ ๑๐ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร (T) ถ้าไม่สามารถคำนวณหาคาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคารได้ถูกต้องโดยวิธีอื่น ให้คำนวณตามสูตร ดังต่อไปนี้

(๑) สำหรับอาคารทั่วไปทุกชนิดให้คำนวณตามสูตร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(๒) สำหรับอาคารที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียว ให้คำนวณตามสูตร

$$T = 0.10\ N$$

h_n คือ ความสูงของพื้นอาคารชั้นสูงสุดวัดจากระดับพื้นดิน มีหน่วยเป็นเมตร

D คือ ความกว้างของโครงสร้างของอาคารในทิศทางขนานกับแรงแผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นเมตร

N คือ จำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

ข้อ ๑๑ ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ให้คำนวณตามสูตร ดังต่อไปนี้

$$C = \frac{I}{15\sqrt{T}}$$

ถ้าคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ได้มากกว่า ๐.๑๒ ให้ใช้เท่ากับ ๐.๑๒

ข้อ ๑๒ ค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S) มีดังต่อไปนี้

ลักษณะของชั้นดิน	ค่าของ S
(๑) หิน	๑.๐
(๒) ดินแข็ง	๑.๒
(๓) ดินอ่อน	๑.๕
(๔) ดินอ่อนมาก	๒.๕

"หิน" หมายถึง หินทุกลักษณะไม่ว่าจะเป็นหินคล้ายหินเชล (Shale) หรือที่เป็นผลึกตามธรรมชาติ หรือดินลักษณะแข็งซึ่งมีความลึกของชั้นดินไม่เกิน ๖๐ เมตร ที่ทับอยู่เหนือชั้นหิน และต้องเป็นดินที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือดินเหนียวแข็ง

"ดินแข็ง" หมายถึง ดินลักษณะแข็งซึ่งมีความลึกของชั้นดินมากกว่า ๖๐ เมตร ที่ทับอยู่เหนือชั้นหิน และต้องเป็นดินที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือดินเหนียวแข็ง

"ดินอ่อน" หมายถึง ดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลางที่หนามากกว่า ๙ เมตร อาจจะมีชั้นทรายคั่นอยู่หรือไม่ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"ดินอ่อนมาก" หมายถึง ดินเหนียวอ่อนที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินในสภาวะไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ไม่มากกว่า ๒๔ กิโลปาสกาล (๒,๔๐๐ กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร) และมีความหนาชั้นดินมากกว่า ๘ เมตร เช่น สภาพดินในท้องที่กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร

ถ้าผลคูณระหว่างค่า C กับค่า S มากกว่า ๐.๑๔ ให้ใช้เท่ากับ ๐.๑๔ เว้นแต่กรณีดินอ่อนมาก ถ้าผลคูณดังกล่าวมากกว่า ๐.๒๖ ให้ใช้เท่ากับ ๐.๒๖

ข้อ ๑๓ ในการคำนวณการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของอาคาร (Story Drift) ที่เกิดจากแรงในแนวราบตามที่ระบุในข้อ ๖ (๑) และ (๒) การเคลื่อนตัวดังกล่าวต้องไม่เกินร้อยละ ๐.๕ ของความสูงระหว่างชั้น

ข้อ ๑๔ อาคารที่ได้รับใบอนุญาตหรือได้รับใบรับแจ้งการก่อสร้างหรืออาคารที่มีอยู่ก่อนวันที่กฎกระทรวงนี้ใช้บังคับ ให้ได้รับยกเว้นไม่ต้องปฏิบัติตามกฎกระทรวงนี้

ให้ไว้ ณ วันที่ ๑๘ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๕๐
พลเอก สุรยุทธ์ จุลานนท์
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ :- เหตุผลในการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับนี้ คือ เนื่องจากผลการศึกษาพบว่าพื้นที่บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเป็นชั้นดินอ่อน จึงส่งผลให้เกิดการขยายแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ทำให้อาคารในบริเวณดังกล่าวมีความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวในระยะไกล ประกอบกับพื้นที่ภาคใต้บางส่วนของประเทศไทยตั้งอยู่ในบริเวณรอยเลื่อนระนองและรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ซึ่งมีการสั่นสะเทือนอยู่บ่อยครั้ง ทำให้อาคารในบริเวณดังกล่าวมีความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว ประกอบกับหลักเกณฑ์การรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ตามกฎกระทรวง ฉบับที่ ๔๘ (พ.ศ. ๒๕๔๐) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ที่ใช้บังคับอยู่ในปัจจุบัน ไม่ครอบคลุมบริเวณเสี่ยงภัยดังกล่าว และไม่สามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้ตามมาตรฐานสากล ดังนั้น เพื่อให้เกิดความปลอดภัย จึงสมควรขยายพื้นที่การควบคุมอาคารในบริเวณดังกล่าว รวมทั้งปรับปรุงหลักเกณฑ์การรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวเสียใหม่ จึงจำเป็นต้องออกกฎกระทรวงนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคาร เพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

มยผ. 1301-50

กรมโยธาธิการและผังเมือง

กระทรวงมหาดไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ในช่วงระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมามีเหตุการณ์แผ่นดินไหวเกิดขึ้นทั้งภายในและภายนอกประเทศหลายครั้ง ซึ่งในแต่ละครั้งได้ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ ในประเทศไทยมาโดยตลอด และนับวันจะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ดังตัวอย่างจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในทะเลอันดามัน เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2547 ที่ก่อให้เกิดคลื่นสึนามิ และสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินในพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านตะวันตกของประเทศอย่างรุนแรง นำความโศกเศร้ามาสู่ผู้ที่เกี่ยวข้องมากมาย ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้เป็นสิ่งย้ำเตือนว่าภัยแผ่นดินไหวไม่ใช่สิ่งที่ไกลตัวสำหรับประเทศไทยอีกต่อไป กรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีภารกิจในการกำหนดมาตรฐานการก่อสร้างอาคาร จึงได้จัดทำมาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวขึ้น ให้หน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ปฏิบัติให้การออกแบบและก่อสร้างอาคารเป็นไปตามหลักวิชาการ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดโดยไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากนัก รวมทั้งเป็นการสอดรับกับประมวลข้อบังคับอาคาร (Building Code) ประจำชาติที่กำลังดำเนินการจัดทำอยู่และจะมีบทบาทต่อการควบคุมอาคารในอนาคตด้วย

มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว หรือ มยผ.1301-50 นี้ เป็นมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมืองที่จัดทำขึ้นเพื่อเพิ่มเติมรายละเอียดการคำนวณออกแบบอาคารในกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในพื้นที่ที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวให้มีความสมบูรณ์และชัดเจนยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้ปฏิบัติในการก่อสร้างอาคารได้อย่างเหมาะสม โดยเนื้อหาของมาตรฐานดังกล่าวประกอบด้วย เกณฑ์กำหนดสำหรับการจำแนกอาคารตามลักษณะและรูปทรงของโครงสร้าง และรายละเอียดการเสริมเหล็กโครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กให้มีความเหนียวจำกัด

ท้ายนี้ กรมโยธาธิการและผังเมืองขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวในคณะทำงานทุกท่านที่ได้อุทิศเวลาอันมีค่าช่วยจัดทำมาตรฐาน มยผ. 1301-50 จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า การปฏิบัติตามมาตรฐานดังกล่าวจะทำให้การก่อสร้างอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวมีความมั่นคงแข็งแรงยิ่งขึ้น อันจะนำมาซึ่งความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนสืบไป

(นายฐิระวัตร กุลละวณิชย์)
อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

กฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในพื้นที่ที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ให้ข้อกำหนดเกี่ยวกับหลักการกว้างๆ และการคำนวณแรงจากแผ่นดินไหวแต่ไม่มีรายละเอียดบางอย่างที่จำเป็น เช่น ลักษณะของอาคารที่จัดว่ามีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ การให้รายละเอียดการเสริมเหล็กเพื่อให้อาคารมีความเหนียวเป็นต้น ดังที่ทราบกันดี การออกแบบอาคารให้มีความต้านทานผลจากแผ่นดินไหวจะพิจารณาเฉพาะแรงอย่างเดียวไม่ได้ หากอาคารไม่ได้รับการออกแบบรายละเอียดให้มีความเหนียวที่เหมาะสม จะไม่สามารถมีพฤติกรรมที่ดีได้เมื่อถูกสั่นไหวกลับไปกลับมาจากแผ่นดินไหว

มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวนี้ จัดทำขึ้นเพื่อกำหนดข้อพึงปฏิบัติสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้ผลของแผ่นดินไหวที่กำหนดในกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540)ฯ โดยอิงข้อกำหนดใน Uniform Building Code 1997 (UBC 1997) เป็นหลัก โดยทั่วไปข้อกำหนดที่ให้เป็นข้อกำหนดขั้นต่ำ ในกรณีที่มาตรฐานระบุว่า ควรกระทำสิ่งใด หมายความว่าสิ่งที่กล่าวนั้นเป็นข้อแนะนำจากคณะผู้ทำงานจัดทำมาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว ซึ่งจะเป็นการปฏิบัติที่ให้ระดับพฤติกรรมอาคารที่ดีกว่าที่กำหนดใน UBC 1997 จึงเป็นวิจารณญาณของวิศวกรที่จะเลือกปฏิบัติได้ตามความเหมาะสม

ในฐานะประธานคณะทำงานจัดทำมาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กและพิจารณาแก้ไขสูตรการคำนวณสำหรับการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหว ขอขอบคุณกรรมการทุกท่านที่เสียสละในการดำเนินงานให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของกรมโยธาธิการและผังเมืองได้แก่ ดร.เสถียร เจริญเหรียญ นายศักดิรัตน์ แก้วอุ่นเรือน และนายกิตติ เหลืองจิรโณทัย ที่ได้มีส่วนร่วมในการจัดการประชุมและจัดทำต้นฉบับของมาตรฐานนี้อย่างดียิ่ง

(ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)
ประธานคณะทำงานจัดทำมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ ที่ปรึกษา

วิศวกรใหญ่ สุรพล พงษ์ไทยพัฒน์
กรมโยธาธิการและผังเมือง

นายอดิศร มโนมัยธำรงกุล
กรมโยธาธิการและผังเมือง

■ ประธานคณะทำงาน

ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

■ คณะทำงานผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ชูชีพสกุล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.เป็นหนึ่ง วานิชชัย
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.อมร พิมานมาศ
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร

■ คณะทำงานและเลขานุการ

ดร.เสถียร เจริญเหรียญ
กรมโยธาธิการและผังเมือง

■ คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

นายศักดิรัตน์ แก้วอุ่นเรือน
กรมโยธาธิการและผังเมือง

นายกิตติ เหลืองจิรโณทัย
กรมโยธาธิการและผังเมือง

ISBN 974 -

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537

โดย สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร
กรมโยธาธิการและผังเมือง
ถ.พระราม 6 แขวงสามเสนใน
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร 0-2299-4351 โทรสาร 0-2299-4366

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

ส่วนที่	หน้า
1. ขอบข่าย	1
2. นิยามและสัญลักษณ์	1
3. ลักษณะและรูปทรงของโครงสร้าง	4
4. รายละเอียดการเสริมเหล็กโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	8
บรรณานุกรม	18
ภาคผนวก	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง	4
2. ความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง	6

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1. ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง	5
2. ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง	6-7
3. ตัวอย่างการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือน	9
4. รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน	10
5. รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสา	11
6. การคำนวณแรงเฉือนในแนวนอนที่กระทำต่อข้อต่อ	12
7. ประเภทข้อต่อต่าง ๆ สำหรับการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนระบุ	13
8. แสดงพื้นที่ต้านแรงเฉือนประสิทธิผลของข้อต่อระหว่างคานและเสา	14
9. รายละเอียดการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางไร้คาน	15-16
10. รายละเอียดของอสำหรับโครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหว	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มยผ. 1301-50
มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ส่วนที่ 1 ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวนี้เป็นข้อกำหนดเพิ่มเติมจากกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 เพื่อให้การออกแบบโครงสร้างอาคารควบคุมตามกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ฯ มีความมั่งคงแข็งแรงและปลอดภัย

1.2 ข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ไม่ครอบคลุมถึงงานก่อสร้างถนน สะพาน เขื่อน อุโมงค์และงานก่อสร้างอาคารชั่วคราว

1.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับลักษณะและรูปทรงของโครงสร้างเป็นข้อกำหนดสำหรับการจำแนกอาคารตามลักษณะและรูปทรงของอาคาร เพื่อให้สอดคล้องกับการกำหนดรูปทรงของอาคารในกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ฯ ซึ่งข้อกำหนดนี้ได้นำมาจากข้อกำหนดว่าด้วยลักษณะและรูปทรงของโครงสร้าง (Configuration Requirements) ของ Uniform Building Code พ.ศ. 2534 และ พ.ศ. 2540

1.4 ข้อกำหนดการเสริมเหล็กของโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดในส่วนที่ 4 เป็นข้อกำหนดขั้นต่ำสำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารควบคุมตามกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ฯ ที่ใช้โครงต้านแรงดัดเป็นโครงสร้างต้านแรงด้านข้าง และเป็นข้อกำหนดที่นอกเหนือจากข้อกำหนดคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ซึ่งข้อกำหนดส่วนใหญ่เป็นไปตามข้อกำหนดการเสริมเหล็กสำหรับรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวในเขตพื้นที่รุนแรงปานกลางของ Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318)

1.5 ข้อกำหนดการเสริมเหล็กของโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดในส่วนที่ 4 ไม่ครอบคลุมถึงองค์อาคารที่ไม่ระบุให้เป็นส่วนของระบบรับแรงด้านข้าง (Members not Designated as Part of the Lateral-Force-Resisting System) ยกเว้นแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คานที่ไม่เป็นส่วนของระบบรับแรงด้านข้างจะต้องปฏิบัติตามข้อ 4.7.2 และ 4.8 ตามมาตรฐานนี้ด้วย

1.6 หากไม่ได้มีการระบุเป็นอย่างอื่นแล้ว การรวมน้ำหนักบรรทุก (Load Combinations) ในมาตรฐานนี้ให้เป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 โดยให้แทนผลของแรงลมด้วยแรงแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ฯ

1.7 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System units) เป็นหลักและมีหน่วยเมตริกกำกับในวงเล็บต่อท้าย โดยการแปลงหน่วยของแรงใช้ 1 กิโลกรัมแรงเท่ากับ 9.806 นิวตัน

ส่วนที่ 2 นิยามและสัญลักษณ์

2. 1 นิยาม

"กำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall)" หมายถึง กำแพงที่ได้รับการออกแบบให้ต้านแรงด้านข้างที่ขนานกับระนาบของตัวกำแพง

"โครงแกงแนง (Braced Frame)" หมายถึง ระบบที่ใช้โครงข้อหมุนในระนาบดิ่งทำหน้าที่ต้านแรงด้านข้างโดยรอยต่อเป็นได้ทั้งแบบตรงศูนย์หรือเยื้องศูนย์

"โครงต้านแรงดัด (Moment-Resisting Frame)" หมายถึง โครงที่มีองค์อาคารและรอยต่อซึ่งสามารถต้านแรงโดยการดัดเป็นหลัก

"โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียว (Ductile Moment-Resisting Frame)" หมายถึง โครงต้านแรงดัดของอาคารที่ได้รับการจัดระบบโครงสร้างที่ดี มีการออกแบบเพื่อให้การวิบัติเชิงดัด (Flexure Failure) เกิดขึ้นในคานเป็นสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงต้นฉบับเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ชิ้นส่วนทั้งเสาและคานมีความสามารถด้านความเหนียวเชิงโค้ง (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 และมวลในแนวราบหรือในแนวดิ่งหรือความไม่ต่อเนื่องในระบบต้านแรงด้านข้างอย่างมีนัยสำคัญ ตามรายละเอียดที่ระบุในข้อ 3.1

"โครงสร้างลักษณะสม่ำเสมอ (Regular Structure)" หมายถึง โครงสร้างที่ปราศจากความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของรูปทรง ลักษณะโครงสร้าง และมวลในแนวราบหรือในแนวดิ่งหรือความไม่ต่อเนื่องในระบบต้านแรงด้านข้างอย่างมีนัยสำคัญ ตามรายละเอียดที่ระบุในข้อ 3.1

"ไดอะแฟรม (Diaphragm)" หมายถึง ระบบโครงสร้างที่วางตัวอยู่ในแนวราบหรือใกล้เคียงแนวราบ ทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงด้านข้างไปสู่ชิ้นส่วนในแนวดิ่งซึ่งเป็นส่วนของระบบต้านแรงด้านข้าง คำว่าไดอะแฟรมจะหมายรวมไปถึงระบบค้ำยันในแนวราบด้วย

"ระบบต้านแรงด้านข้าง (Lateral-Force-Resisting System)" หมายถึง ระบบโครงสร้างหรือส่วนของระบบโครงสร้างที่ออกแบบให้ต้านแรงแผ่นดินไหว

"แรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion)" หมายถึง แรงบิดที่อาจจะเกิดขึ้นโดยบังเอิญจากผลของแรงเฉือนรวมในแต่ละชั้น (Story Shear) กระทำเยื้องศูนย์จากจุดศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of Rigidity) ของระบบต้านแรงด้านข้างในแต่ละชั้น โดยระยะเยื้องศูนย์ดังกล่าวจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของมิติอาคารที่มากที่สุดในระดับชั้นนั้น

2.2 สัญลักษณ์

A_g = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (ตารางเซนติเมตร)

A_j = พื้นที่ต้านแรงเฉือนในแนวนอนประสิทธิผลของข้อต่อ หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (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 = ความลึกประสิทธิผลหรือระยะจากขอบบนสุดด้านรับแรงอัดถึงจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมรับแรงดึง หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

d_b = เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงต้นฉบับเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f_c' = หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต หาได้จากการทดสอบแท่งคอนกรีตทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน ∅ 150×300 มิลลิเมตร หน่วยเป็นเมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

f_{pc} = หน่วยแรงอัดเฉลี่ยในคอนกรีตที่เป็นผลจากการอัดแรงและมีการสูญเสียของการอัดแรงเกิดขึ้นแล้ว หน่วยเป็นเมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

f_y = กำลังที่จุดครากของเหล็กเสริม หน่วยเป็นเมกาปาสกาล (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 = ระยะเรียงของเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอก หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

t = ความหนาของแผ่นพื้น หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

U = กำลังที่ต้องการ

V_c = กำลังต้านแรงเฉือนระบุที่รับโดยคอนกรีต หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

V_{col} = แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในเสา ที่ใช้ในการออกแบบข้อต่อระหว่างคานและเสา หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

V_j = แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

V_n = กำลังต้านแรงเฉือนระบุ หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

V_p = แรงเฉือนเนื่องจากแรงดึงประสิทธิผลของเหล็กเสริมอัดแรงที่พิจารณา หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

w_u = น้ำหนักบรรทุกปรับค่า

α_s = ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือน V_c ในแผ่นพื้น

β_c = อัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นของเสา

β_p = ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือน V_c ในแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง

ϕ = ตัวคูณลดกำลัง

γ_f = สัดส่วนของโมเมนต์ดัดไม่สมดุลซึ่งถ่ายผ่านโดยแรงดัดที่จุดต่อระหว่างแผ่นพื้นและเสา

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3 ลักษณะและรูปทรงของโครงสร้าง

3.1 เกณฑ์กำหนดสำหรับการจำแนกอาคารตามลักษณะและรูปทรงของโครงสร้าง

อาคารควบคุมตามกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ฯ จะถือว่ามีลักษณะไม่สม่ำเสมอหากมีความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของลักษณะหรือรูปทรงของโครงสร้างในแนวดิ่งหรือในแนวราบเป็นไปตามข้อใดข้อหนึ่งในตารางที่ 1 หรือตารางที่ 2

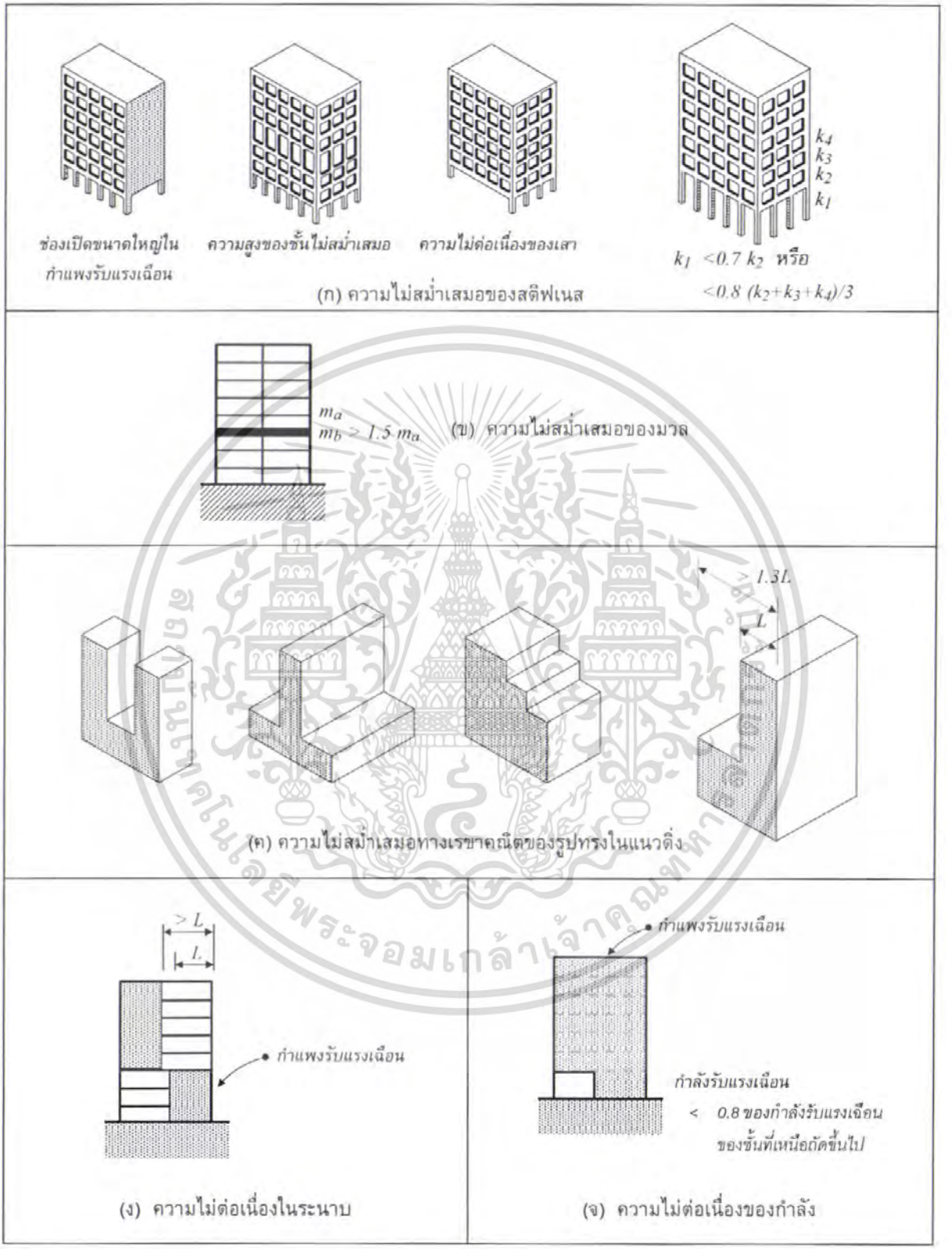
ตารางที่ 1 ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง (Vertical Structural Irregularities)

(ข้อ 3.1)

รูปแบบความไม่สม่ำเสมอและคำจำกัดความ	หมายเหตุ
1. **ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส (Stiffness irregularity) หรือชั้นที่อ่อน (Soft Story)** ชั้นที่อ่อน หมายถึง ชั้นที่มีสติฟเนสทางด้านข้าง (Lateral Stiffness) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 70 ของชั้นที่เหนือถัดขึ้นไปหรือน้อยกว่าร้อยละ 80 ของสติฟเนสเฉลี่ยของสามชั้นที่เหนือขึ้นไป	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1 (ก)
2. **ความไม่สม่ำเสมอของมวล (Mass Irregularity)** ความไม่สม่ำเสมอของมวล หมายถึง มวลประสิทธิผล (Effective Mass) ของชั้นใดๆ มีค่ามากกว่าร้อยละ 150 ของชั้นที่ติดกัน (หลังคาที่มีมวลน้อยกว่าพื้นชั้นถัดลงมาไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา)	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1 (ข)
3. **ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวดิ่ง (Vertical Geometrical Irregularity)** ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวดิ่ง หมายถึง มิติในแนวราบของระบบต้านแรงทางด้านข้างของชั้นใด ๆ มีค่ามากกว่าร้อยละ 130 ของชั้นที่ติดกัน ยกเว้น Penthouse ที่สูง 1 ชั้น ไม่จำเป็นต้องนำพิจารณา	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1 (ค)
4. **ความไม่ต่อเนื่องในระนาบขององค์อาคารต้านแรงด้านข้างในแนวดิ่ง (In-Plane Discontinuity in Vertical Lateral-Force-Resisting Element)** ความไม่ต่อเนื่องในระนาบขององค์อาคารในแนวดิ่งจะพิจารณาเมื่อระยะเยื้องในระนาบขององค์อาคารต้านแรงด้านข้างมีค่ามากกว่าความยาวขององค์อาคารนั้นๆ	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1 (ง)
5. **ความไม่ต่อเนื่องของกำลัง (Discontinuity in Capacity) หรือชั้นที่อ่อนแอ (Weak Story)** ชั้นที่อ่อนแอ หมายถึง ชั้นที่มีผลรวมกำลังของชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ร่วมกันรับแรงแผ่นดินไหวในทิศทางที่พิจารณาทั้งหมด มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80 ของชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1 (จ)

ข้อยกเว้น: โครงสร้างจะไม่จัดอยู่ในรูปทรงแบบที่ 1 หรือ 2 ตามตารางที่ 1 เมื่อไม่มีค่าอัตราส่วนการเคลื่อนตัวด้านข้างระหว่างชั้นของชั้นใด ๆ ภายใต้แรงด้านข้างสถิตเทียบเท่าที่สูงกว่า 1.3 เท่าของชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป ทั้งนี้ค่าอัตราส่วนดังกล่าวของสองชั้นบนสุดไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา รวมถึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของการบิดในการคำนวณการเคลื่อนตัวดังกล่าวด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



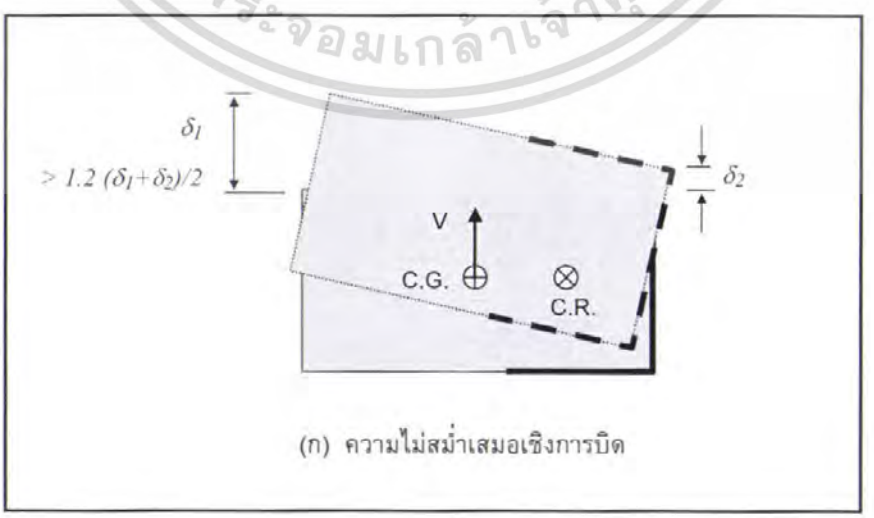
รูปที่ 1 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงลิขสิทธิ์ของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง (Plan Structural Irregularities)

(ข้อ 3.1)

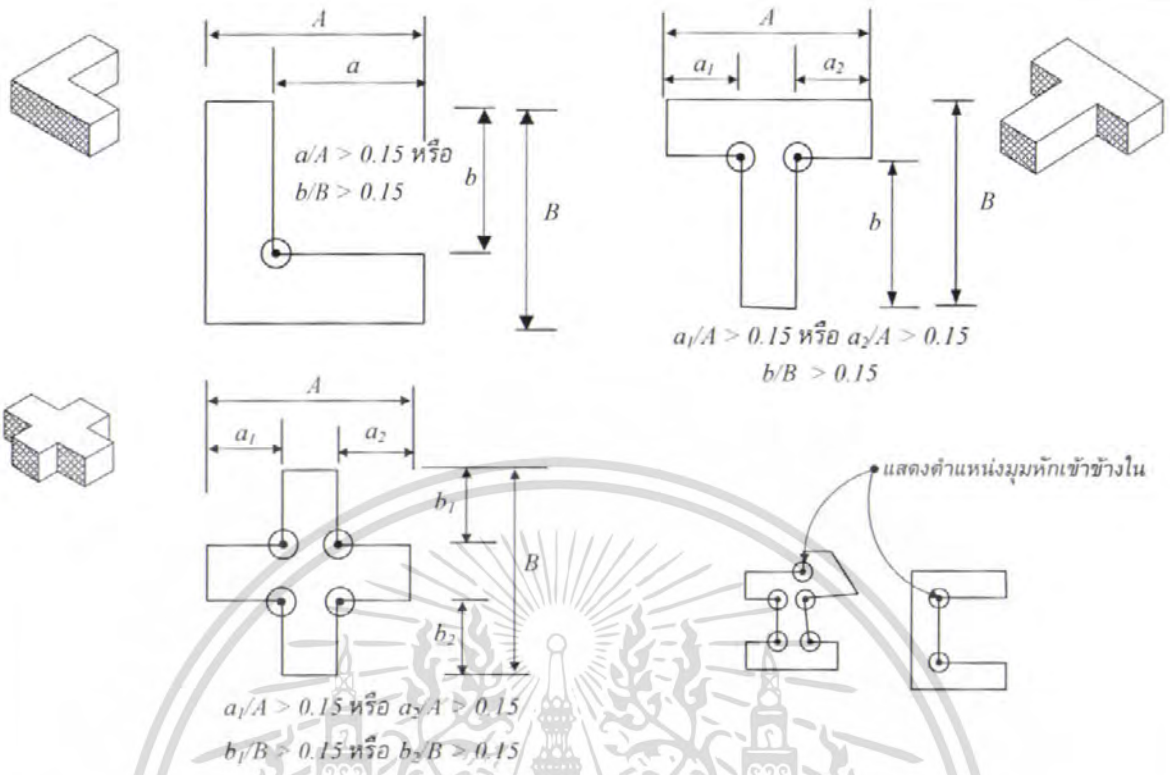
รูปแบบความไม่สม่ำเสมอและคำจำกัดความ	หมายเหตุ
1. **ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด (Torsional Irregularity)-พิจารณากรณีที่ไดอะแฟรมเป็นประเภทไม่อ่อนตัว (Not Flexible)** โครงสร้างจะถือว่ามีความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิดเมื่อค่าสูงสุดของการเคลื่อนตัวด้านข้างระหว่างชั้นในแนวตั้งฉากกับแนวแกน [คำนวณจากแรงด้านข้างที่รวมผลของแรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion)] ที่ปลายด้านหนึ่งของโครงสร้างมีค่ามากกว่า 1.2 เท่าของค่าเฉลี่ยที่ปลายทั้งสองด้าน	ดูตัวอย่างในรูปที่ 2 (ก)
2. **ความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน (Re-Entrant Corners)** โครงสร้างจะถือว่ามีความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน เมื่อผังโครงสร้างและระบบต้านแรงด้านข้างมีลักษณะหักเข้าข้างใน ทำให้เกิดส่วนยื่น โดยที่ส่วนยื่นนั้นมีระยะฉายในแต่ละทิศทางมากกว่าร้อยละ 15 ของมิติของผังในทิศทางนั้น	ดูตัวอย่างในรูปที่ 2 (ข)
3. **ความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม (Diaphragm Discontinuity)** โครงสร้างจะถือว่ามีความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม เมื่อไดอะแฟรมมีความไม่ต่อเนื่องหรือมีการเปลี่ยนค่าสติฟเนสอย่างทันทีทันใด รวมถึงการเจาะช่องหรือมีช่องเปิดมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ไดอะแฟรมหรือสติฟเนสประสิทธิผลของไดอะแฟรมของชั้นใดชั้นหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับชั้นถัดไป	ดูตัวอย่างในรูปที่ 2 (ค)
4. **การเยื้องออกนอกระนาบ (Out-of-Plane Offsets)** โครงสร้างจะถือว่ามีความไม่สม่ำเสมอจากการเยื้องออกนอกระนาบเมื่อเส้นทาง การถ่ายแรงของแรงด้านข้างมีความไม่ต่อเนื่อง เช่น กรณีมีการเยื้องระหว่างระนาบของกำแพงรับแรงด้านข้าง	ดูตัวอย่างในรูปที่ 2 (ง)
5. **ระบบที่ไม่ขนานกัน (Nonparallel Systems)** ระบบที่ไม่ขนานกัน ได้แก่ ระบบที่มีชิ้นส่วนแนวดิ่งที่ต้านแรงด้านข้างวางตัวในแนวที่ไม่ขนานกัน หรือไม่สมมาตรกัน เมื่อเทียบกับแกนหลักของระบบต้านแรงด้านข้าง	ดูตัวอย่างในรูปที่ 2 (จ)



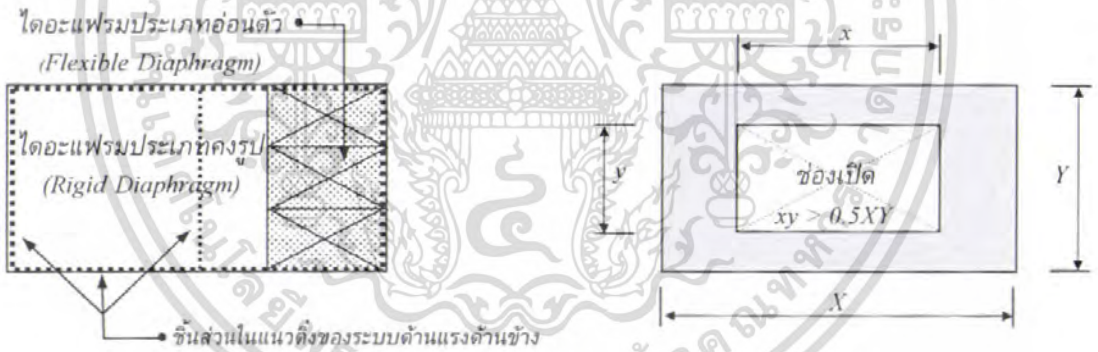
(ก) ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด

รูปที่ 2 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง

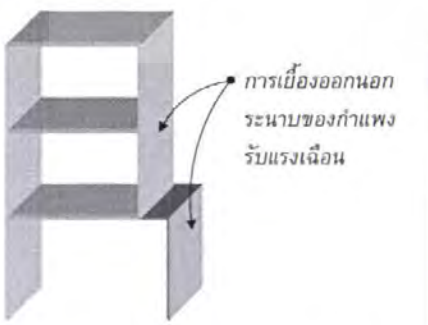
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



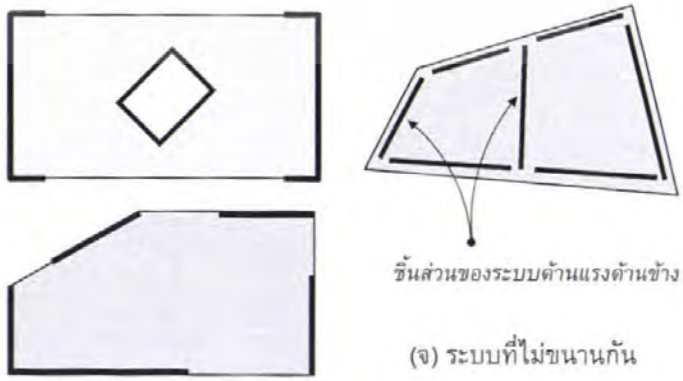
(ข) ความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน



(ค) ความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม



(ง) การเยื้องออกนอกระนาบ



(จ) ระบบที่ไม่ขนานกัน

รูปที่ 2 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 4 รายละเอียดการเสริมเหล็กโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

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

4.2 กำลังต้านแรงเฉือน กำลังต้านแรงเฉือนที่ใช้ออกแบบ คาน เสา และแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน สำหรับต้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวจะต้องไม่น้อยกว่าค่าแรงเฉือนในข้อ 4.2.1 หรือข้อ 4.2.2

4.2.1 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อแรงดัดที่ปลายขององค์อาคารทั้งสองถึงค่าโมเมนต์กำลังระบุรวมกับแรงเฉือนจากน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (ถ้ามี) (รูปที่ 3)

4.2.2 แรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากการรวมน้ำหนักบรรทุกออกแบบ (Design Load Combinations) ที่พิจารณาแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวเป็น 2 เท่าของแรงที่กำหนดในกฎหมายควบคุมอาคารว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

4.3 การเสริมเหล็กในคาน ข้อกำหนดการเสริมเหล็กในคานของโครงต้านแรงดัดมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 4)

4.3.1 กำลังต้านโมเมนต์บวกที่ขอบของข้อต่อจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของกำลังต้านโมเมนต์ลบที่ขอบของข้อต่อเดียวกัน นอกจากนี้กำลังต้านโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบที่หน้าตัดใดๆ ตลอดความยาวคานจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในห้าของกำลังต้านโมเมนต์สูงสุดที่ขอบของข้อต่อที่ปลายทั้งสองของคาน

4.3.2 ภายในบริเวณปลายคานที่ห่างจากขอบของจุดรองรับเป็นระยะ 2 เท่าของความลึกคานจะต้องเสริมเหล็กปลอกที่มีระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่มากกว่าค่าดังต่อไปนี้

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

และเหล็กปลอกแรกจะอยู่ห่างจากขอบของจุดรองรับเป็นระยะไม่มากกว่า 50 มิลลิเมตร

4.3.3 ระยะเรียงของเหล็กปลอกในบริเวณอื่นที่นอกเหนือจากข้อ 4.3.2 จะต้องไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิผล

4.3.4 ควรหลีกเลี่ยงการทาบเหล็กเสริมตามยาวทั้งบนและล่างภายในระยะ 2 เท่าของความลึกคาน เมื่อวัดจากขอบของจุดรองรับ

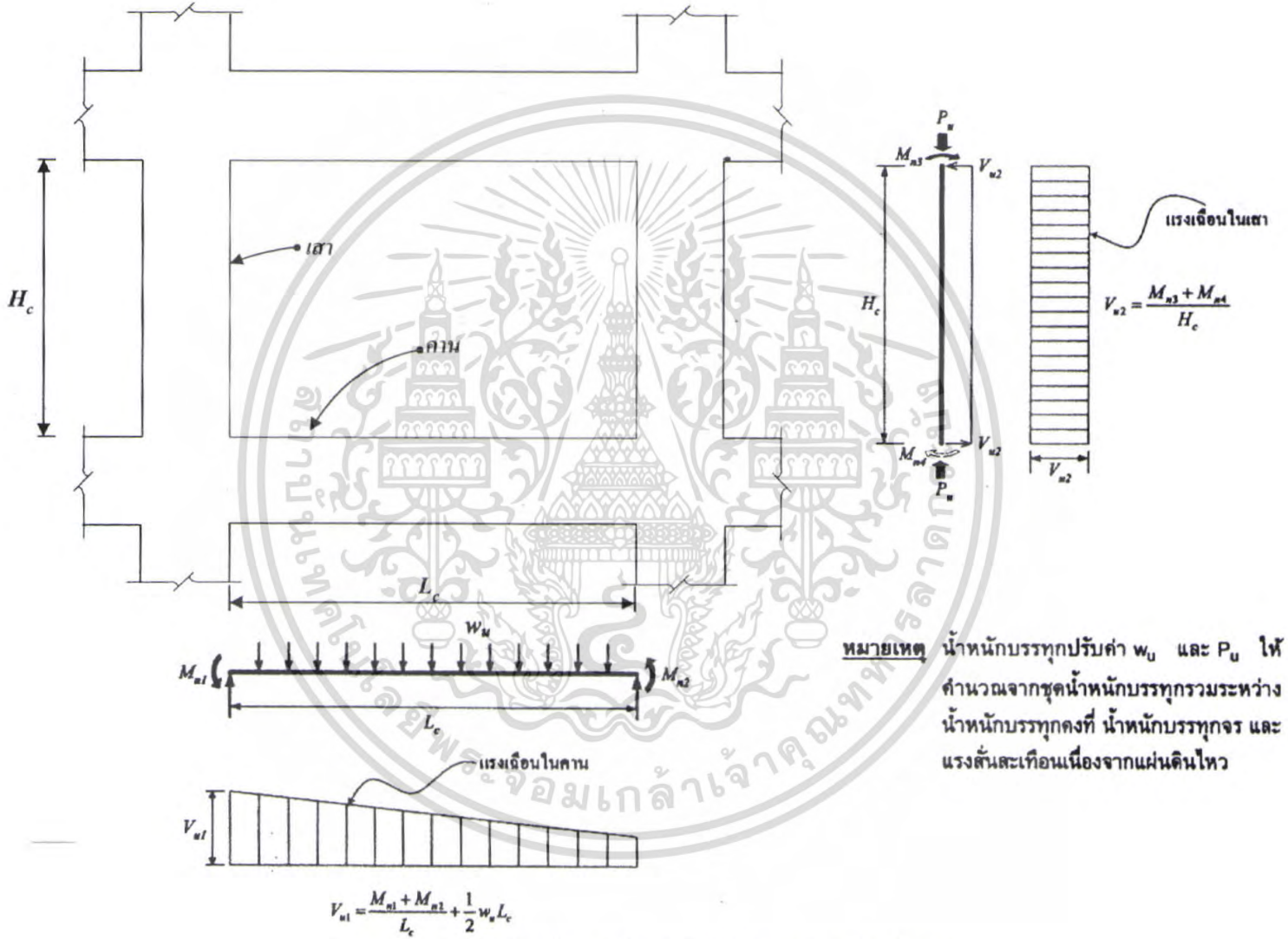
4.4 การเสริมเหล็กในเสา ข้อกำหนดการเสริมเหล็กในเสาของโครงต้านแรงดัดมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 5)

4.4.1 ในกรณีเหล็กปลอกเดี่ยว จะต้องเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวที่มีระยะไม่มากกว่าระยะ s_0 ตลอดความยาว l_0 ที่วัดจากขอบของข้อต่อเสา โดยที่ระยะ s_0 จะต้องไม่มากกว่าระยะดังต่อไปนี้

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

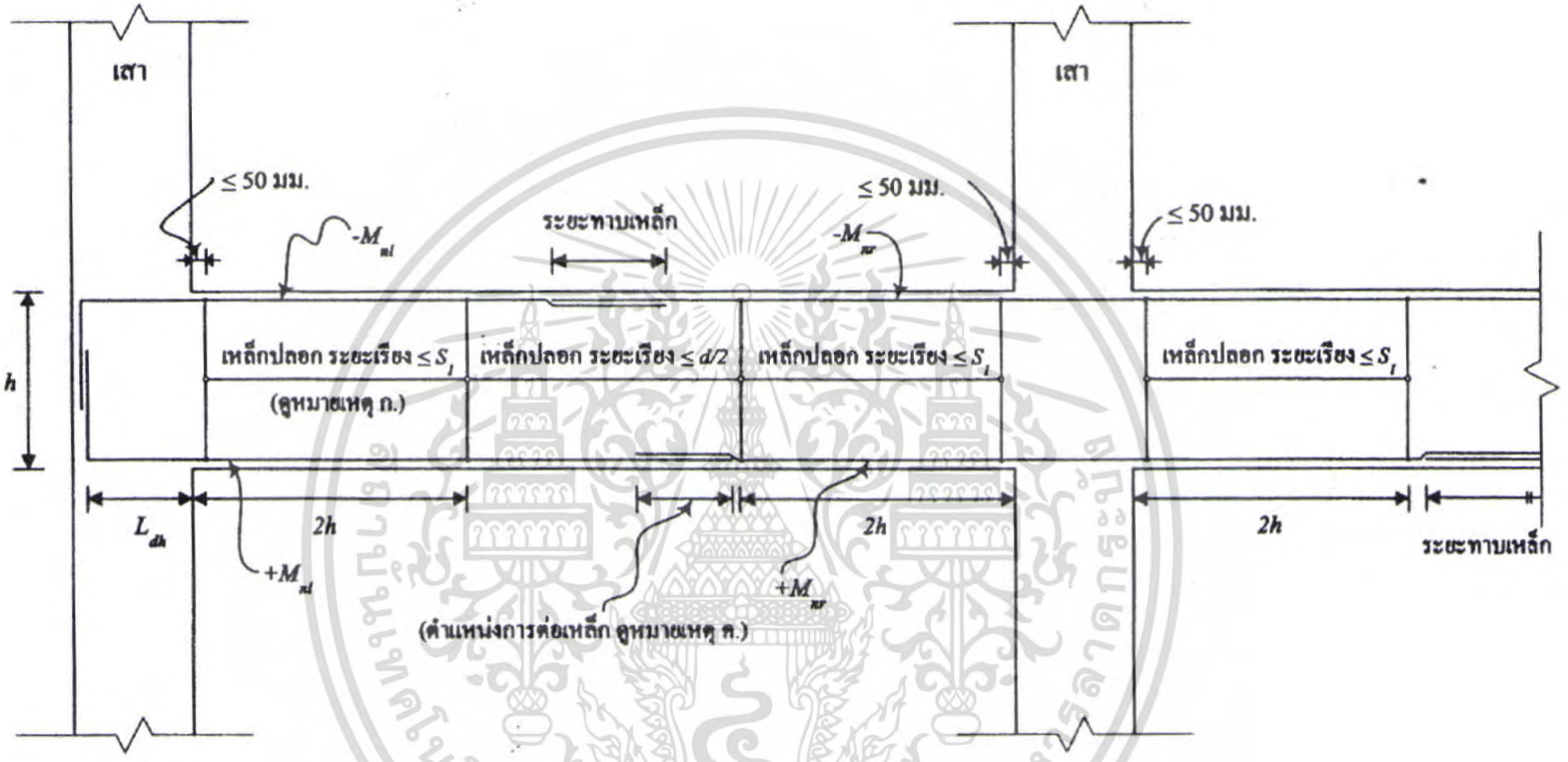
และเหล็กปลอกแรกจะต้องอยู่ห่างจากขอบของข้อต่อเป็นระยะไม่มากกว่า $0.5 s_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ น้ำหนักบรรทุกปรับค่า w_u และ P_u ให้คำนวณจากชุดน้ำหนักบรรทุกรวมระหว่างน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว

รูปที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนตามข้อ 4.2.1



หมายเหตุ

ก.) ระยะเรียง S_1 ต้องไม่มากกว่า (1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิผล; (2) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามความยาวที่มีขนาดเล็กสุด; (3) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก; และ (4) 300 มิลลิเมตร

ข.) โมเมนต์ดัดระบุ (1) $+M_{nl} \geq (1/3)(-M_{nl})$; (2) $+M_{nr} \geq (1/3)(-M_{nr})$; และ (3) $+M_n$ และ $-M_n$ ที่หน้าตัดใดๆ $\geq$ (1/5) ของค่าสูงสุดระหว่าง $-M_{nl}$ และ $-M_{nr}$

ค.) ไม่ทาบเหล็กเสริมทั้งบนและล่างภายในระยะ 2h จากขอบของที่รองรับ

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

รูปที่ 4 รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน

หมายเหตุ

ก.) ระยะเรียง s_0 ต้องไม่มากกว่า

(1) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กสุด;

(2) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก;

(3) $C_2/2$; และ (4) 300 มิลลิเมตร

ข.) ระยะ l_0 ต้องไม่น้อยกว่า

(1) H/6; (2) c_1; และ (3) 500 มิลลิเมตร

ค.) การต่อเหล็กเสา ให้ต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา

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

จ.) อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด A_v/A_g ของเสา ต้องไม่น้อยกว่า

รูปที่ 5 รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 สำหรับความยาว l_0 ในข้อ 4.4.1 จะต้องไม่น้อยกว่าความยาวดังนี้

(1) 1 ใน 6 ของความสูงจากขอบถึงขอบของเสา

(2) มิติที่มากที่สุดของหน้าตัดเสา

(3) 500 มิลลิเมตร

4.4.3 ในกรณีเหล็กปลอกเกลียว การเสริมเหล็กให้เป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับการเสริมเหล็กองค์อาคารรับแรงอัดในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

4.4.4 ยกเว้นข้อต่อระหว่างเสาและคานที่ไม่ได้เป็นส่วนหลักของระบบรับแรงแผ่นดินไหวและมีการยึดโคนเสาทั้ง 4 ด้านด้วยแผ่นพื้นหรือคานที่มีความลึกเท่ากันโดยประมาณ ข้อต่อต้องมีการเสริมเหล็กปลอกเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า

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

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

โดยที่เหล็กเสริมนี้จะต้องเสริมภายในเสาเป็นความลึกไม่น้อยกว่าความลึกของคานที่ลึกที่สุดที่ข้อต่อนั้น

4.4.5 ระยะเรียงของเหล็กปลอกเดี่ยวในส่วนที่นอกเหนือจากข้อ 4.4.1 จะต้องไม่มากกว่า 2 เท่าของระยะ s_0

4.4.6 พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามยาวของเสาต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และไม่มากกว่า 0.06 ของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

4.4.7 การต่อเหล็กเสริมในเสาให้ต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา

4.5 การออกแบบข้อต่อระหว่างคานและเสา

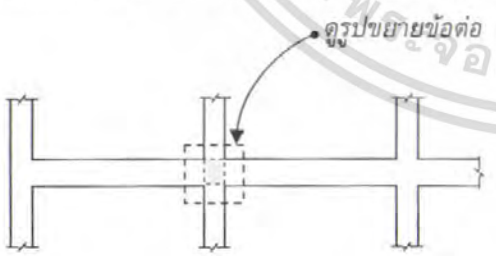
ข้อต่อระหว่างคานและเสาต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อมิให้แรงภายในข้อต่อมีค่าเกินกว่ากำลังของข้อต่อ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.5.1 แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ (V_j) จะต้องไม่มากกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนออกแบบ (ϕV_n) หรือ

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

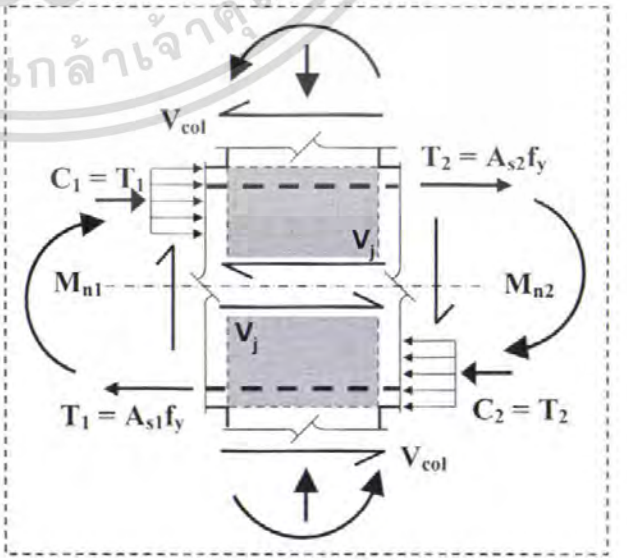
โดยที่ตัวคูณลดกำลังของข้อต่อ (ϕ) ให้ใช้เท่ากับ 0.85

4.5.2 แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อเป็นแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อหน้าตัดคานที่ปลายคานทั้งสองด้านของข้อต่อมีกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดระบุในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 6



(ก) โครงต้านแรงดัด

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



(ข) รูปขยายข้อต่อ

รูปที่ 6 การคำนวณแรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 กำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n) ของข้อต่อมีค่าดังต่อไปนี้

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

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

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

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

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

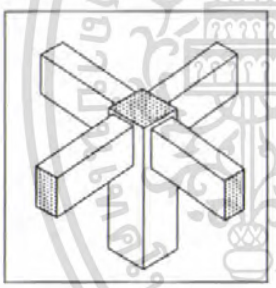
($V_n = 3.9\sqrt{f_c'}A_j$ ในหน่วยเมตริก)

(3) ข้อต่ออื่นๆ [(รูปที่ 7 (ค)]

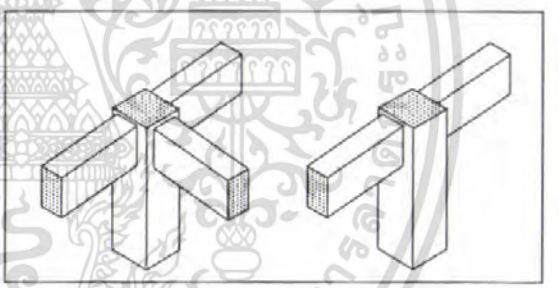
$$V_n = 1.0\sqrt{f_c'}A_j \qquad (4.5.3\text{-ค})$$

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

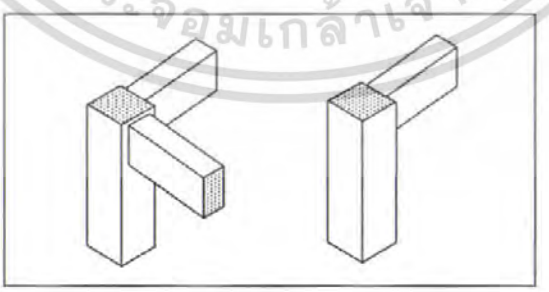
โดยที่ A_j เป็นพื้นที่ต้านแรงเฉือนในแนวนอนประสิทธิผลของข้อต่อ ดังแสดงในรูปที่ 8 และจะถือว่าข้อต่อได้รับการยึดรัดจากคานก็ต่อเมื่อคานที่เข้ามายึดรัดนั้นมีความกว้างไม่น้อยกว่าสามในสี่ของความกว้างเสาด้านที่คานเข้ามาบรรจบ และมีความลึกไม่น้อยกว่าสามในสี่ของความลึกคานตัวที่ลึกที่สุดที่เข้ามาบรรจบกันที่ข้อต่อ



(ก) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคานทั้ง 4 ด้าน



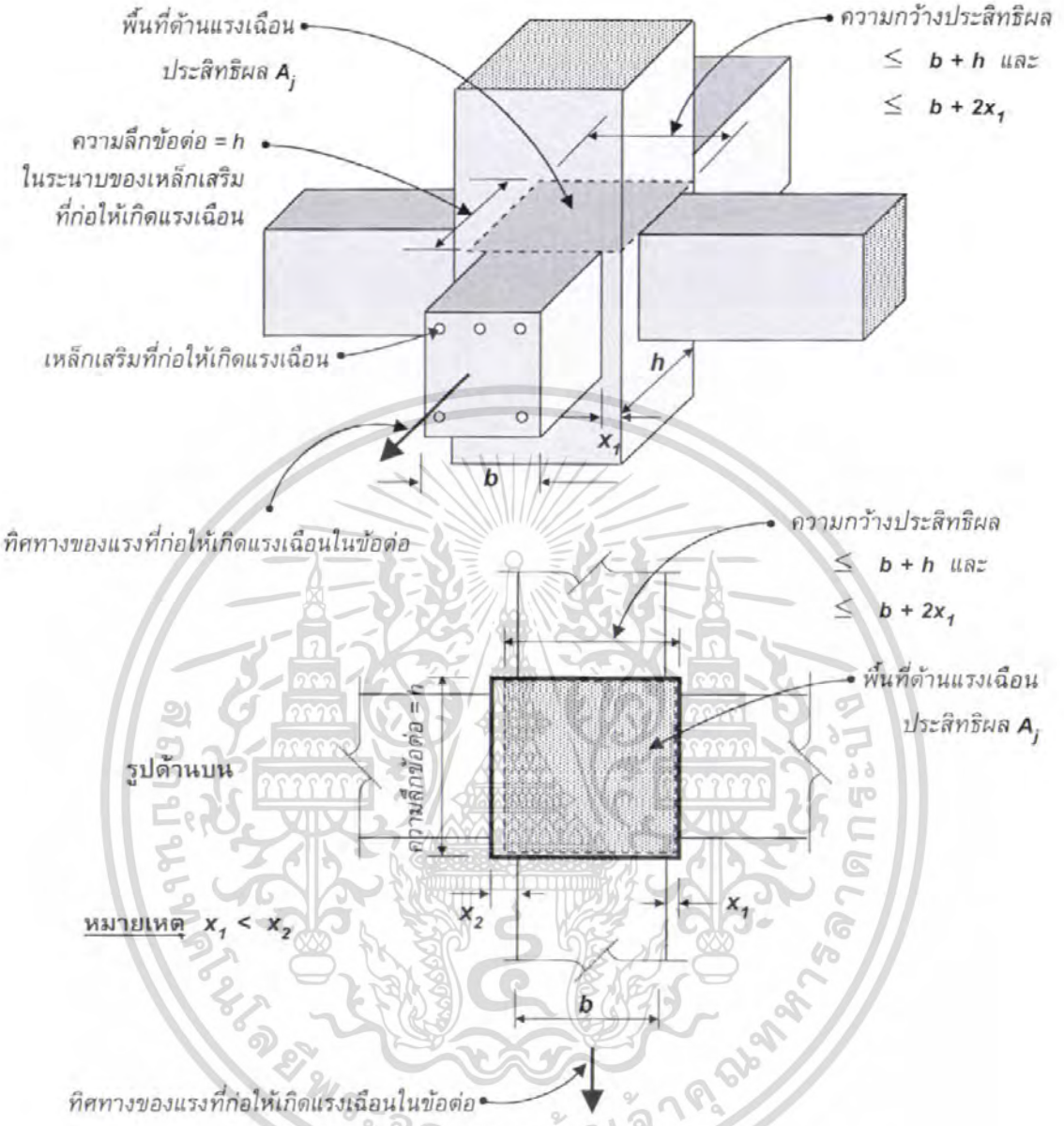
(ข) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคาน 3 ด้าน หรือคาน 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน



(ค) ข้อต่ออื่นๆ

รูปที่ 7 ประเภทข้อต่อต่าง ๆ สำหรับการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 พื้นที่ด้านแรงเฉือนประสิทธิผลของข้อต่อระหว่างคานและเสา

4.6 การเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไร้คาน

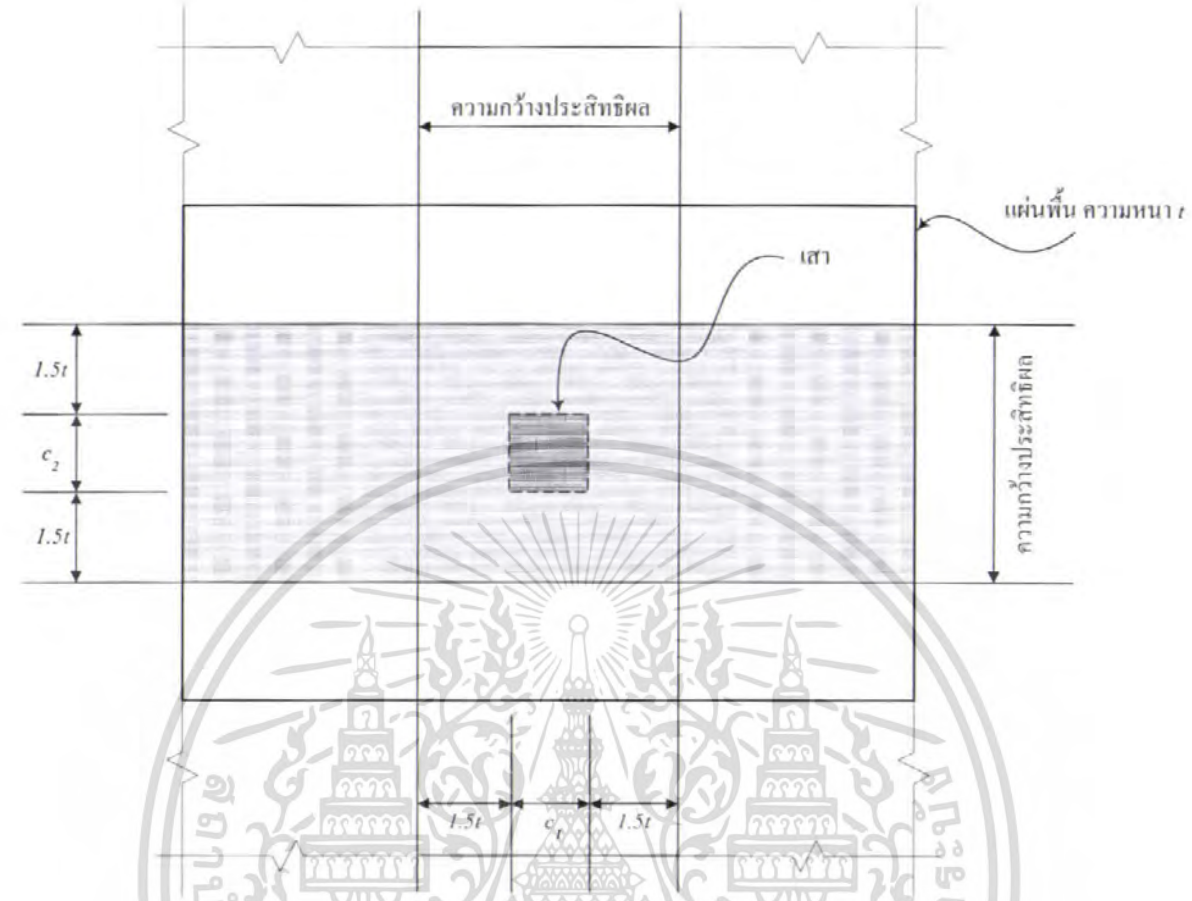
การเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไร้คานที่พิจารณาว่าเป็นส่วนของโครงต้านแรงดัดรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ให้เสริมเหล็กตามรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 9)

4.6.1 ปริมาณเหล็กเสริมที่คำนวณได้สำหรับรับส่วนของโมเมนต์ดัดในแผ่นพื้นที่ถ่ายให้จุดรองรับ (M_s) จะต้องวางอยู่ในแถบเสาทั้งหมด

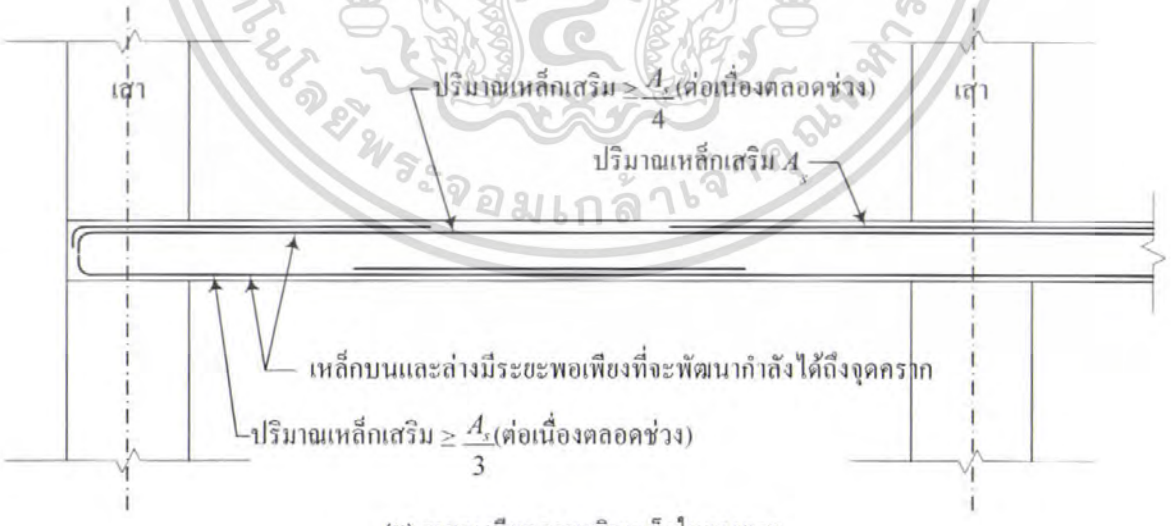
4.6.2 ปริมาณเหล็กเสริมสำหรับต้านทานสัดส่วนโมเมนต์ $\gamma_f M_s$ จะต้องอยู่ภายในความกว้างประสิทธิผล

4.6.3 ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมในแถบเสาบริเวณจุดรองรับจะต้องวางอยู่ภายในความกว้างประสิทธิผลของแผ่นพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



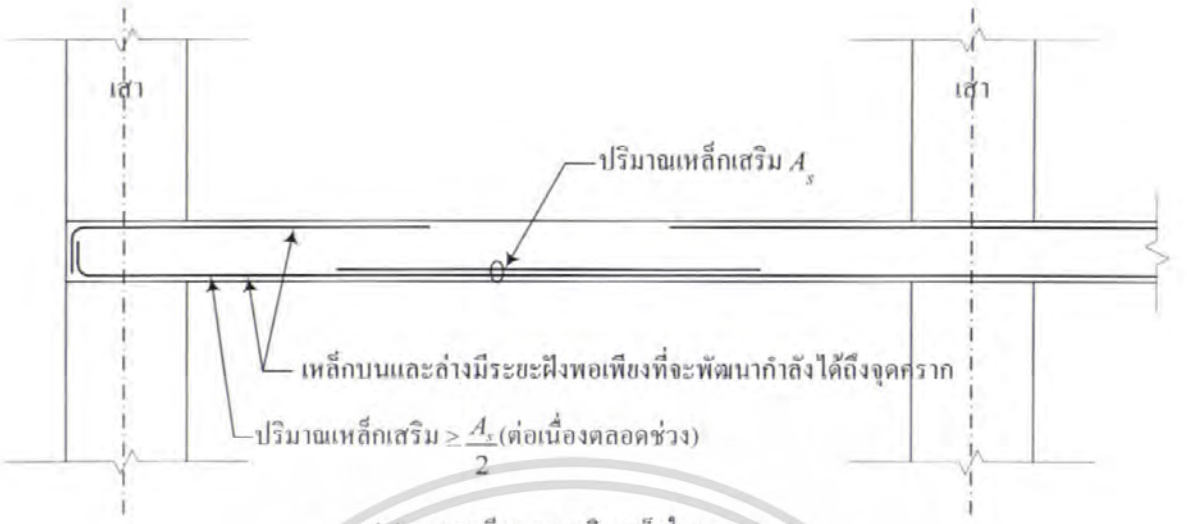
(ก) แสดงความกว้างประสิทธิผล



(ข) รายละเอียดการเสริมเหล็กในแถบเสา

รูปที่ 9 รายละเอียดการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางไร้คาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) รายละเอียดการเสริมเหล็กในแถบกลาง

รูปที่ 9 รายละเอียดการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางไร้คาน (ต่อ)

4.6.4 ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 1 ใน 4 ของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจุดรองรับจะต้องต่อเนื่องตลอดความยาวช่วง และจะต้องมีเหล็กเสริมบนไม่น้อยกว่า 2 เส้นวางผ่านแนวเสาในแต่ละทิศทาง

4.6.5 เหล็กเสริมล่างในแถบเสาที่มีความต่อเนื่องจะต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจุดรองรับ

4.6.6 ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมล่างที่กึ่งกลางช่วงจะต้องต่อเนื่องและสามารถพัฒนาให้เกิดกำลังครากที่ขอบของจุดรองรับได้

4.6.7 ที่ขอบของแผ่นพื้นที่ไม่ต่อเนื่อง เหล็กเสริมบนและล่างที่จุดรองรับจะต้องสามารถพัฒนากำลังครากที่ขอบของจุดรองรับได้

4.7 แรงเฉือนทะลุในแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน

4.7.1 การคำนวณแรงเฉือนเจาะทะลุบนหน้าตัดวิกฤติรอบเสาซึ่งเกิดจากการกระทำร่วมกันของแรงเฉือนโดยตรง และโมเมนต์ไม่สมดุลให้ใช้วิธีการตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และแรงเฉือนปรับค่าที่เกิดขึ้นจะต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดในมาตรฐานดังกล่าว

4.7.2 แรงเฉือนบนหน้าตัดวิกฤตรอบเสาที่เกิดจากน้ำหนักแนวดิ่งซึ่งมีขนาดเท่ากับ 1.2 D+1.0 L จะต้องไม่เกิน $0.4\phi V_c$ โดยตัวคูณน้ำหนักบรรทุกในส่วนของหน่วยน้ำหนักบรรทุกจร (L) สามารถลดจาก 1.0 เป็น 0.5 ได้ ยกเว้นกรณีเป็นที่จอดรถ พื้นที่ที่เป็นส่วนของการชุมนุมคน และทุกพื้นที่ที่มีหน่วยน้ำหนักจรเกินกว่า 4.9 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (500 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร) ตัวคูณลดกำลัง ϕ ในที่นี้ให้ใช้เท่ากับ 0.75 และ V_c ให้คำนวณดังต่อไปนี้

4.7.2.1 สำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก V_c ให้ใช้ค่าที่น้อยที่สุดของค่าต่อไปนี้

(ก) $$V_c = \left[1+\frac{2}{\beta_c}\right]\frac{\sqrt{f_c'}b_0 d}{6} \qquad (4.7.2.1\text{-ก})$$

(หรือ $V_c = 0.27\left[2+\frac{4}{\beta_c}\right]\sqrt{f_c'}b_0 d$ ในหน่วยเมตริก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) $$V_c = \left[\frac{\alpha_s d}{b_0}+2\right]\frac{\sqrt{f_c'}b_0 d}{12} \qquad (4.7.2.1\text{-ข})$$

(หรือ $V_c = 0.27\left[\frac{\alpha_s d}{b_0}+2\right]\sqrt{f_c'}b_0 d$ ในหน่วยเมตริก)

โดยที่ α_s ให้ใช้เท่ากับ 40 สำหรับเสาภายใน 30 สำหรับเสาขอบ และ 20 สำหรับเสามุม

(ค) $$V_c = \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}b_0 d \qquad (4.7.2.1\text{-ค})$$

(หรือ $V_c = 1.06\sqrt{f_c'}b_0 d$ ในหน่วยเมตริก)

4.7.2.2 สำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง V_c ให้ใช้ค่าดังต่อไปนี้

$$V_c = (\beta_p\sqrt{f_c'}+0.3f_{pc})b_0 d + V_p \qquad (4.7.2.2)$$

(หรือ $V_c = (0.27\beta_p\sqrt{f_c'}+0.3f_{pc})b_0 d + V_p$ ในหน่วยเมตริก)

โดยที่ β_p เป็นค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 0.29 และ $(\alpha_s d/b_0+1.5)/12$ [หรือค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 3.5 หรือ $(\alpha_s d/b_0+1.5)$ ในหน่วยเมตริก] และ α_s ให้ใช้เท่ากับ 40 สำหรับเสาภายใน เท่ากับ 30 สำหรับเสาขอบ และเท่ากับ 20 สำหรับเสามุม

4.7.3 ข้อกำหนดในข้อ 4.7.2 ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาหากหน่วยแรงเฉือนปรับค่าแบบสองทาง (Factored Two-Way Shear Stress) ณ ตำแหน่งที่ให้ค่าสูงสุดมีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงเฉือน ϕv_n โดยหน่วยแรงเฉือนปรับค่าดังกล่าวเป็นส่วนของหน่วยแรงเฉือนที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวและส่งถ่ายโดยการเยื้องศูนย์ของแรงเฉือน (Eccentricity of Shear) และ ϕv_n ให้คำนวณดังต่อไปนี้

(ก) สำหรับองค์อาคารที่ไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน

$$\phi v_n = \phi V_c/(b_0 d)$$

(ข) สำหรับองค์อาคารที่เสริมเหล็กรับแรงเฉือนนอกเหนือจากเหล็กหมวกรับแรงเฉือน (Shearhead)

$$\phi v_n = \phi(V_c + V_s)/(b_0 d)$$

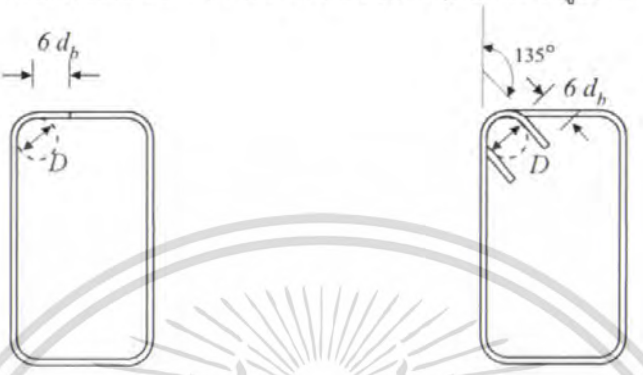
4.8 เพื่อป้องกันการวิบัติอย่างต่อเนื่อง (Progressive Collapse) จุดรองรับภายในจะต้องมีเหล็กเสริมล่างวางผ่านหรือฝังเข้าไปในแกนเสาในแต่ละทิศทางเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า

$$A_{sm} = \frac{0.5 w_u L_1 L_2^2}{0.9 f_y} \qquad (4.8)$$

โดยที่ w_u เป็นน้ำหนักบรรทุกปรับค่ากระจายอย่างสม่ำเสมอ แต่ทั้งนี้จะต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน (Service Dead Load) สำหรับจุดรองรับที่ขอบและที่มุม เหล็กเสริมล่างที่จัดวางผ่านหรือฝังเข้าไปในแกนเสาจะต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าสองในสามและหนึ่งในสองของปริมาณที่กำหนดไว้ในสมการข้างต้นตามลำดับ โดยที่เหล็กเสริมดังกล่าวจะต้องวางผ่านหรือฝังเข้าไปในเสา ทั้งนี้เหล็กเสริมในข้อ 4.6.5 สามารถนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม A_{sm} ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงจามเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 ของอสำหรับโครงสร้างรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ของอของเหล็กปลอกลูกตั้ง (Stirrup) และเหล็กปลอกรัดรอบ (Hoop) โดยทั่วไปอาจดัดเป็นมุม 90 องศา และมีส่วนปลายยื่นต่อไปอีกไม่น้อยกว่า 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก (รูปที่ 10) สำหรับอาคารสาธารณะ เช่น โรงมหรสพ หอประชุม โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา เป็นต้น ของอดังกล่าวควรมีการดัดเป็นมุม 135 องศา หรือในกรณีที่ทำเป็นของอ 90 องศา ควรยึดด้วยคลิปของอ (Hook -Clip) เพื่อรัดขาของอ 90 องศา ในบริเวณใกล้ข้อต่อ (ระยะ 2h ในรูปที่ 4 หรือ l_0 ในรูปที่ 5)



(ก) ของอ 90 องศา (สำหรับอาคารทั่วไป)

(ข) ของอ 135 องศา (สำหรับอาคารสาธารณะ)

รูปที่ 10 รายละเอียดของอสำหรับโครงสร้างรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

บรรณานุกรม

1. Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318M-99, American Concrete Institute, Michigan, 1999.
2. Lukkunaprasit, Panitan, *"Basic Concepts in Earthquake Resistant Design"*, International Seminar on Earthquake Resistant Design of Structures, Chiangmai, 1998.
3. Lukkunaprasit, P., and Sittipunt, C. *"Ductility Enhancement of Moderately Confined Concrete Tied Columns with Hook-Clips"*. ACI Structural Journal, 100(4), 422-429, 2003.
4. Uniform Building Code, 1991ed. International Conference of Building Officials, Whitter, California, 1991.
5. Uniform Building Code, 1997ed. International Conference of Building Officials, Whitter, California, 1997.
6. กฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522
7. กฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522
8. วิโรจน์ บุญญภิญโญ *"การเลือกรูปทรงของอาคารสำหรับการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว"* สัมมนาการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหว ครั้งที่ 4, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2544
9. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง พิมพ์ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2545
10. สุวิทย์ โคสุวรรณ แผนที่รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก แผนที่รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย

(ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎกระทรวง

ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527)

ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร

พ.ศ. 2522

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5(3) และมาตรา 8(2) และ (3) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคารออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในกฎกระทรวงนี้

"แรงประลัย" หมายความว่า แรงขนาดที่จะทำให้วัตถุนั้นแตกแยกออกห่างจากกันเป็นส่วนหรือทลายเข้าหากัน

"แรงดึง" หมายความว่า แรงที่จะทำให้วัตถุแยกออกห่างจากกัน

"แรงอัด" หมายความว่า แรงที่จะทำให้วัตถุทลายเข้าหากัน

"แรงดัด" หมายความว่า แรงที่จะทำให้วัตถุโค้งหรือโก่งตัว

"แรงลม" หมายความว่า แรงของลมที่กระทำต่อโครงสร้าง

"แรงเฉือน" หมายความว่า แรงที่จะทำให้วัตถุขาดออกจากกันตุจากรรไกรตัด

"แรงดึงประลัย" หมายความว่า แรงดึงขนาดที่จะทำให้วัตถุนั้นแยกออกห่างจากกันเป็นส่วน

"แรงอัดประลัย" หมายความว่า แรงอัดขนาดที่จะทำให้วัตถุนั้นทลายเข้าหากัน

"แรงอัดประลัยของคอนกรีต" หมายความว่า แรงอัดตามแกนยาวขนาดที่จะทำให้แท่งคอนกรีตทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร อายุยี่สิบแปดวันทลายเข้าหากัน

"หน่วยแรง" หมายความว่า แรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงนั้น

"หน่วยแรงพิสูจน์" หมายความว่า หน่วยแรงดึงที่ได้จากการลากเส้นตรงที่จุด 0.2 ใน 100 ส่วนของความเครียด ให้ขนานกับส่วนที่เป็นเส้นตรงของเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและความเครียดไปตัดกับเส้นนั้น

"หน่วยแรงฝืด" หมายความว่า หน่วยแรงที่เกิดขึ้นระหว่างผิวเข็มกับดิน

"หน่วยแรงที่ขีดปฏิภาค" หมายความว่า หน่วยแรงที่จุดสูงสุดของส่วนที่เป็นเส้นตรงของเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด

"ความเครียด" หมายความว่า อัตราส่วนของส่วนยืดหรือส่วนหดของวัสดุที่รับแรงต่อความยาวเดิมของวัสดุนั้น

"ทำลังคราก" หมายความว่า หน่วยแรงดึงที่วัสดุเริ่มยืดโดยไม่ต้องเพิ่มแรงดึงขึ้นอีก

"ส่วนปลอดภัย" หมายความว่า ตัวเลขที่ใช้หารหน่วยแรงประลัยลงให้ถึงขนาดที่จะใช้ได้ปลอดภัยสำหรับวัสดุที่มีกำลังครากหรือหน่วยแรงพิสูจน์ ให้ใช้ค่ากำลังครากหรือหน่วยแรงพิสูจน์นั้นแทนหน่วยแรงประลัย

"น้ำหนักบรรทุกจร" หมายความว่า น้ำหนักที่กำหนดว่าจะเพิ่มขึ้นบนอาคารนอกจากน้ำหนักของตัวอาคารนั้นเอง

"น้ำหนักบรรทุกประลัย" หมายความว่า น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่กำหนดให้ใช้ในการคำนวณตามทฤษฎีกำลังประลัย

"ส่วนต่างๆ ของอาคาร" หมายความว่า ส่วนของอาคารที่จะต้องแสดงรายการคำนวณการรับน้ำหนักและกำลังต้านทาน เช่น แผ่นพื้น คาน เสา และรากฐาน เป็นต้น

"คอนกรีต" หมายความว่า วัสดุที่ประกอบขึ้นด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ มวลผสมละเอียด เช่น ทราย มวลผสมหยาบ เช่น หินหรือกรวด และน้ำ

"คอนกรีตเสริมเหล็ก" หมายความว่า คอนกรีตที่มีเหล็กเสริมฝังภายในให้ทำหน้าที่รับแรงได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"คอนกรีตอัดแรง" หมายความว่า คอนกรีตที่มีเหล็กเสริมอัดแรงฝังภายในที่ทำให้เกิดหน่วยแรงที่มีปริมาณพอจะลบล้างหน่วยแรงอันเกิดจากน้ำหนักบรรทุก

"เหล็กเสริม" หมายความว่า เหล็กที่ใช้ฝังในเนื้อคอนกรีตเพื่อเสริมกำลังขึ้น

"เหล็กเสริมอัดแรง" หมายความว่า เหล็กเสริมกำลังสูงที่ใช้ฝังในเนื้อคอนกรีตอัดแรง อาจเป็นลวดเส้นเดียว ลวดพันเกลียว หรือลวดเหล็กกลุ่มก็ได้

"เหล็กข้ออ้อย" หมายความว่า เหล็กเสริมที่มีบั้งและหรือมีครีบที่ผิว

"เหล็กขวั้น" หมายความว่า เหล็กเสริมที่บิดเป็นเกลียว

"เหล็กหล่อ" หมายความว่า เหล็กที่มีธาตุถ่านผสมอยู่ตั้งแต่ร้อยละ 2 ขึ้นไปโดยน้ำหนัก

"เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ" หมายความว่า เหล็กที่ผลิตออกมามีหน้าตัดเป็นรูปลักษณะต่าง ๆ ใช้ในงานโครงสร้าง

"ไม้เนื้ออ่อน" หมายความว่า ไม้ที่ไม่คงทนต่อดินฟ้าอากาศและตัวสัตว์ เช่น มอด ปลวก เป็นต้น และหรือมีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้ในข้อ 14 เช่น ไม้ยาง หรือไม้ตะแบก เป็นต้น

"ไม้เนื้อปานกลาง" หมายความว่า ไม้ที่คงทนต่อดินฟ้าอากาศและตัวสัตว์ เช่น มอด ปลวก เป็นต้น ได้ดีตามสภาพอันสมควร และหรือมีคุณสมบัติตามที่ระบุไว้ในข้อ 14 เช่น ไม้สน เป็นต้น

"ไม้เนื้อแข็ง" หมายความว่า ไม้ที่คงทนต่อดินฟ้าอากาศและตัวสัตว์ เช่น มอด ปลวก เป็นต้น ได้ดีตามสภาพอันสมควร และหรือมีคุณสมบัติตามที่ระบุไว้ในข้อ 14 เช่น ไม้เต็ง หรือไม้ตะเคียนทอง เป็นต้น

"ดิน" หมายความว่า วัสดุธรรมชาติที่ประกอบเป็นเปลือกโลก เช่น หิน กรวด ทราย ดินเหนียว เป็นต้น

"กรวด" หมายความว่า ก้อนหินที่เกิดตามธรรมชาติขนาดโตเกิน 3 มิลลิเมตร

"ทราย" หมายความว่า ก้อนหินเม็ดเล็กละเอียดที่มีขนาดโตไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

"ดินดาน" หมายความว่า ดินตะกอนของกรวด ทราย ดินเหนียว มีน้ำปูนเป็นเชื้อประสาน มีลักษณะแข็งยากแก่การขุด

"หินดินดวน" หมายความว่า หินที่มีเนื้อละเอียดมาก ประกอบด้วยดินเหนียวหรือทรายอัดตัวแน่นเป็นชั้นบางๆ จะมีเชื้อประสานหรือไม่ก็ได้

"หินปูน" หมายความว่า หินเนื้อแน่นละเอียดทึบมีสีต่าง ๆ กัน ประกอบด้วยแร่แคลไซท์

"หินทราย" หมายความว่า หินเนื้อหยาบ ประกอบด้วยเม็ดทรายยึดตัวแน่นด้วยเชื้อประสาน

"หินอัคนี" หมายความว่า หินเนื้อหยาบเกิดจากการเย็นตัวของหินละลายใต้พื้นโลก ประกอบด้วยแร่เฟลด์สปาร์ แร่ควอตซ์ เป็นส่วนใหญ่ มีลักษณะแข็งแกร่ง

"เสาเข็ม" หมายความว่า เสาที่ตอกหรือหล่ออยู่ในดินเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกของอาคาร

"พื้นผิวประสิทธิผลของเสาเข็ม" หมายความว่า ผลคูณของความยาวของเสาเข็มกับความยาวของเส้นล้อมรูปที่สั้นที่สุดของหน้าตัดปกติของเสาเข็มนั้น

"ฐานราก" หมายความว่า ส่วนของอาคารที่ใช้ถ่ายน้ำหนักอาคารลงสู่ดิน

"กำลังแบกทานของดิน" หมายความว่า ความสามารถที่ดินจะรับน้ำหนักได้ โดยมีการทรุดตัวขนาดที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่อาคาร

"กำลังแบกทานของเสาเข็ม" หมายความว่า ความสามารถที่เสาเข็มจะรับน้ำหนักได้โดยมีการทรุดตัวไม่เกินอัตราที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงนี้

[1] *"วัสดุทนไฟ"* หมายความว่า วัสดุก่อสร้างที่ไม่เป็นเชื้อเพลิง

[1] *"วัสดุติดไฟ"* หมายความว่า วัสดุก่อสร้างที่เป็นเชื้อเพลิง

[1] *"พื้น"* หมายความว่า พื้นที่ของอาคารซึ่งบุคคลเข้าอยู่หรือใช้สอยได้ภายในขอบเขตของคานหรือตงที่รับพื้นหรือภายในพื้นนั้น หรือภายในขอบเขตของผนังอาคาร รวมทั้งเฉลียงหรือระเบียงด้วย

---

[1] บทนิยาม บัญญัติเพิ่มโดยข้อ 2 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 48 (พ.ศ. 2540) ออกตามความใน พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[1] *"ฝา"* หมายความว่า ส่วนก่อสร้างในด้านตั้งซึ่งกั้นแบ่งพื้นภายในอาคารให้เป็นห้องๆ

[1] *"ผนัง"* หมายความว่า ส่วนก่อสร้างในด้านตั้งซึ่งกั้นด้านนอกหรือระหว่างหน่วยของอาคารให้เป็นหลังหรือเป็นหน่วยแยกจากกัน

[1] *"โครงสร้างหลัก"* หมายความว่า ส่วนประกอบของอาคารที่เป็นเสา คาน ตง หรือพื้น ซึ่งโดยสภาพถือได้ว่ามีความสำคัญต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารนั้น

[1] *"อาคารสูง"* หมายความว่า อาคารที่บุคคลอาจเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้โดยมีความสูงตั้งแต่ 23.00 เมตรขึ้นไป การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

[1] *"อาคารขนาดใหญ่พิเศษ"* หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารเป็นที่อยู่อาศัยหรือประกอบกิจการประเภทเดียวหรือหลายประเภท โดยมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตรขึ้นไป

[1] *"อาคารขนาดใหญ่"* หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารเป็นที่อยู่อาศัยหรือเป็นที่ประกอบกิจการประเภทเดียวหรือหลายประเภท โดยมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 2,000 ตารางเมตร หรืออาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 15.00 เมตรขึ้นไป และมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 1,000 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 2,000 ตารางเมตร การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

[1] *"โรงแรม"* หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นโรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม

[1] *"อาคารชุด"* หมายความว่า อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

[1] *"โรงมหรสพ"* หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นโรงมหรสพตามกฎหมายว่าด้วยการป้องกันภยันตรายอันเกิดแต่การเล่นมหรสพ

[2] *"สถาบันที่เชื่อถือได้"* หมายความว่า ส่วนราชการหรือบริษัทจำกัดที่มีวัตถุประสงค์ในการให้คำปรึกษาแนะนำด้านวิศวกรรม ซึ่งมีวิศวกรประเภทวุฒิวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพวิศวกรรมเป็นผู้ให้คำปรึกษาแนะนำ และลงลายมือชื่อรับรองผลการตรวจสอบงานวิศวกรรมควบคุม

ข้อ 2 อาคารและส่วนต่างๆ ของอาคารจะต้องมีความมั่นคงแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักตัวอาคารเอง และน้ำหนักบรรทุกที่อาจเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นจริงได้โดยไม่ให้ส่วนใดๆ ของอาคารต้องรับหน่วยแรงมากกว่าที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงนี้เว้นแต่มีเอกสารแสดงผลการทดสอบความมั่นคงแข็งแรงของวัสดุที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้ แต่ทั้งนี้ไม่รวมถึงหน่วยแรงที่กำหนดไว้ในข้อ 6

ข้อ 3 ในการคำนวณส่วนต่างๆ ของอาคารที่ประกอบด้วยอิฐหรือคอนกรีตบล็อกประสานด้วยวัสดุก่อ ให้ใช้หน่วยแรงอัดไม่เกิน 0.8 เมกาปาสกาล (8 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

ข้อ 4 ในการคำนวณส่วนต่างๆ ของอาคารที่ประกอบด้วยคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก ให้ใช้หน่วยแรงอัดได้ไม่เกินร้อยละ 33.3 ของหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต แต่ต้องไม่เกิน 6 เมกาปาสกาล (60 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

ข้อ 5 ในการคำนวณส่วนต่างๆ ของอาคารที่ประกอบด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามทฤษฎีอีลาสติกหรือหน่วยแรงปลอดภัย ให้ใช้ค่าหน่วยแรงอัดของคอนกรีตไม่เกินร้อยละ 37.5 ของหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต แต่ต้องไม่เกิน 6.5 เมกาปาสกาล (65 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

---

[2] บทนิยาม ความเพิ่มถูกยกเลิกโดยข้อ 1 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 48 (พ.ศ. 2540) ออกตามความใน พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และให้ใช้ความใหม่แทนดังที่พิมพ์ไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ 6 ในการคำนวณส่วนต่าง ๆ ของอาคารที่ประกอบด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามทฤษฎีอีลาสติกหรือหน่วยแรงปลอดภัย เหล็กเสริมคอนกรีตที่ใช้ต้องมีกำลังครากตั้งแต่ 240 เมกาปาสกาล (2,400 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) และให้ใช้ค่าหน่วยแรงของเหล็กเสริมคอนกรีตได้ไม่เกินอัตราดังต่อไปนี้

(1) แรงดึง

(ก) เหล็กเส้นกลมผิวเรียบที่มีกำลังครากตั้งแต่ 240 เมกาปาสกาล (2,400 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ขึ้นไป ให้ใช้ไม่เกิน 120 เมกาปาสกาล (1,200 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

(ข) เหล็กข้ออ้อยที่มีกำลังครากตั้งแต่ 240 เมกาปาสกาล (2,400 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 350 เมกาปาสกาล (3,500 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ให้ใช้ร้อยละ 50 ของกำลังคราก แต่ต้องไม่เกิน 150 เมกาปาสกาล (1,500 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

(ค) เหล็กข้ออ้อยที่มีกำลังครากตั้งแต่ 350 เมกาปาสกาล (3,500 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 400 เมกาปาสกาล (4,000 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ให้ใช้ไม่เกิน 160 เมกาปาสกาล (1,600 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

(ง) เหล็กข้ออ้อยที่มีกำลังครากตั้งแต่ 400 เมกาปาสกาล (4,000 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ขึ้นไป ให้ใช้ไม่เกิน 170 เมกาปาสกาล (1,700 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

(จ) เหล็กขวั้น ให้ใช้ร้อยละ 50 ของหน่วยแรงพิสูจน์ แต่ต้องไม่เกิน 240 เมกาปาสกาล (2,400 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ทั้งนี้ จะต้องมีผลการทดสอบการดัดเย็นโดยมีสถาบันที่เชื่อถือได้รับรอง

(2) แรงอัดในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

(ก) เหล็กเส้นกลมผิวเรียบตามเกณฑ์ที่กำหนดใน (1) (ก)

(ข) เหล็กข้ออ้อย ให้ใช้ร้อยละ 40 ของกำลังคราก แต่ต้องไม่เกิน 210 เมกาปาสกาล (2,100 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

(ค) เหล็กขวั้น ให้ใช้ร้อยละ 40 ของกำลังคราก แต่ต้องไม่เกิน 210 เมกาปาสกาล (2,100 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ทั้งนี้ จะต้องมีผลการทดสอบการดัดเย็นโดยมีสถาบันที่เชื่อถือได้รับรอง

(ง) เสาแบบผสมเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ให้ใช้ไม่เกิน 125 เมกาปาสกาล (1,250 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

(จ) เหล็กหล่อ ให้ใช้ไม่เกิน 70 เมกาปาสกาล (700 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

(3) ในการคำนวณคานและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้เหล็กเสริมรับแรงอัด ให้ใช้หน่วยแรงของเหล็กเสริมรับแรงอัดที่คำนวณได้ตามทฤษฎีอีลาสติกหรือหน่วยแรงปลอดภัยได้ไม่เกินสองเท่า แต่หน่วยแรงที่คำนวณได้ต้องไม่เกินหน่วยแรงดึงตาม (1)

ข้อ 7 ในการคำนวณส่วนต่างๆ ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตามทฤษฎีกำลังประลัย ให้ใช้น้ำหนักบรรทุกประลัย ดังต่อไปนี้

(1) สำหรับส่วนของอาคารที่ไม่คิดแรงลม ให้ใช้น้ำหนักบรรทุกประลัย ดังนี้

นป. = 1.7 นค. + 2.0 นจ.

(2) สำหรับส่วนของอาคารที่คิดแรงลมด้วย ให้ใช้น้ำหนักบรรทุกประลัย ดังนี้

นป. = 0.75 (1.7 นค. + 2.0 นจ. + 2.0 รล.)

หรือ นป. = 0.9 นค. + 1.3 รล.

โดยให้ใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่มากกว่า แต่ทั้งนี้ต้องไม่ต่ำกว่าค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยใน (1) ด้วย

นป. = น้ำหนักบรรทุกประลัย

นค. = น้ำหนักบรรทุกคงที่ของอาคาร

นจ. = น้ำหนักบรรทุกจร รวมด้วยแรงกระแทก

รล. = แรงลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ 8 ในการคำนวณส่วนต่าง ๆ ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตามทฤษฎีกำลังประลัย ให้ใช้ค่าหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตไม่เกิน 15 เมกาปาสกาล (150 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

ข้อ 9 ในการคำนวณส่วนต่างๆ ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตามทฤษฎีกำลังประลัย ให้ใช้กำลังครากของเหล็กเสริม ดังต่อไปนี้

(1) เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ ให้ใช้ไม่เกิน 240 เมกาปาสกาล (2,400 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

(2) เหล็กเสริมอื่น ให้ใช้เท่ากำลังครากของเหล็กชนิดนั้น แต่ต้องไม่เกิน 400 เมกาปาสกาล (4,000 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

ข้อ 10 ในการคำนวณส่วนต่าง ๆ ของอาคารคอนกรีตอัดแรงตามทฤษฎีกำลังประลัย ให้ใช้น้ำหนักบรรทุกประลัยเช่นเดียวกับข้อ 7

ข้อ 11 ในการคำนวณส่วนต่างๆ ของอาคารคอนกรีตอัดแรง ให้ใช้ค่าหน่วยแรงอัดของคอนกรีต ดังต่อไปนี้

(1) หน่วยแรงอัดในคอนกรีตชั่วคราวทันทีที่ถ่ายแรงมาจากเหล็กเสริมอัดแรงก่อนการเสื่อมสูญการอัดแรงของคอนกรีต ต้องไม่เกินร้อยละ 60 ของหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต

(2) หน่วยแรงอัดที่ใช้ในการคำนวณออกแบบหลังการเสื่อมสูญการอัดแรงของคอนกรีต ต้องไม่เกินร้อยละ 40 ของหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต

ข้อ 12 ในการคำนวณส่วนต่างๆ ของอาคารที่ประกอบด้วยคอนกรีตอัดแรงให้ใช้ค่าหน่วยแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรง ดังต่อไปนี้

(1) หน่วยแรงขณะดึงต้องไม่เกินร้อยละ 80 ของหน่วยแรงดึงประลัยของเหล็กเสริมอัดแรง หรือร้อยละ 90 ของหน่วยแรงพิสูจน์ แล้วแต่ค่าใดจะน้อยกว่า

(2) หน่วยแรงในทันทีที่ถ่ายแรงไปให้คอนกรีตต้องไม่เกินร้อยละ 70 ของหน่วยแรงดึงประลัยของเหล็กเสริมอัดแรง

(3) หน่วยแรงใช้งานต้องไม่เกินร้อยละ 60 ของหน่วยแรงดึงประลัย หรือร้อยละ 80 ของหน่วยแรงพิสูจน์ของเหล็กเสริมอัดแรง แล้วแต่ค่าใดจะน้อยกว่า

ข้อ 13 ในการคำนวณส่วนต่างๆ ของอาคารที่ประกอบด้วยเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ให้ใช้ค่าหน่วยแรงของเหล็กดังต่อไปนี้

(1) ในกรณีที่ไม่มีผลการทดสอบกำลังสำหรับเหล็กหนาไม่เกิน 40 มิลลิเมตร ให้ใช้กำลังครากไม่เกิน 240 เมกาปาสกาล (2,400 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) สำหรับเหล็กซึ่งหนาเกิน 40 มิลลิเมตร ให้ใช้กำลังครากไม่เกิน 220 เมกาปาสกาล (2,200 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

(2) หน่วยแรงดึง แรงอัด และแรงดัด ให้ใช้ไม่เกินร้อยละ 60 ของกำลังครากตาม (1)

(3) หน่วยแรงเฉือน ให้ใช้ไม่เกินร้อยละ 40 ของกำลังครากตาม (1)

ข้อ 14 ในการคำนวณส่วนต่างๆ ของอาคารที่ประกอบด้วยไม้ชนิดต่างๆ ให้ใช้ค่าหน่วยแรงไม่เกินอัตรา ดังต่อไปนี้

ชนิดไม้	หน่วยแรงดัดและแรงดึง เมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางซม.)	หน่วยแรงอัดขนานเสี้ยน เมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางซม.)	หน่วยแรงอัดขวางเสี้ยน เมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางซม.)	หน่วยแรงเฉือนขนานเสี้ยน เมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางซม.)
(1) ไม้เนื้ออ่อน	8 (80)	6 (60)	1.6 (16)	0.8 (8)
(2) ไม้เนื้อปานกลาง	10 (100)	7.5 (75)	2.2 (22)	1 (10)
(3) ไม้เนื้อแข็ง	12 (120)	9 (90)	3 (30)	1.2 (12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่มีผลการทดสอบของไม้ ให้ใช้ส่วนปลอดภัยโดยใช้กำลังไม่เกิน 1 ใน 8 ของหน่วยแรงดัดประลัย หรือไม่เกิน 1 ใน 6 ของหน่วยแรงที่ขีดปฏิภาค แล้วแต่ค่าใดจะน้อยกว่า

ข้อ 15 หน่วยน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร นอกเหนือจากน้ำหนักของตัวอาคาร หรือเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อย่างอื่น ให้คำนวณโดยประมาณเฉลี่ยไม่ต่ำกว่าอัตรา ดังต่อไปนี้

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

ข้อ 16 ในการคำนวณออกแบบ หากปรากฏว่าพื้นที่ส่วนใดต้องรับน้ำหนักเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ หรือหน่วยน้ำหนักบรรทุกจรอื่น ๆ ที่มีค่ามากกว่าหน่วยน้ำหนักบรรทุกจรซึ่งกำหนดไว้ในข้อ 15 ให้ใช้หน่วยน้ำหนักบรรทุกจรค่าที่มากกว่าเฉพาะส่วนที่ต้องรับหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้น

ข้อ 17 ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคาร ให้คำนึงถึงแรงลมด้วย หากจำเป็นต้องคำนวณและไม่มีเอกสารที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้ ให้ใช้หน่วยแรงลม ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูงของอาคารหรือส่วนของอาคาร	หน่วยแรงลมอย่างน้อย กิโลปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)
(1) ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	0.5 (50)
(2) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	0.8 (80)
(3) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	1.2 (120)
(4) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน 40 เมตร	1.6 (160)

ในการนี้ยอมให้ใช้ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ของอาคาร ตลอดจนความต้านทานของดินใต้ฐานรากเกินค่าที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงนี้ได้ร้อยละ 33.3 แต่ทั้งนี้ต้องไม่ทำให้ส่วนต่างๆ ของอาคารนั้นมีความมั่นคงน้อยไปกว่าเมื่อคำนวณตามปกติโดยไม่คิดแรงลม

ข้อ 18 น้ำหนักบรรทุกบนดินที่ฐานรากของอาคารนั้น ต้องคำนวณให้เหมาะสม เพื่อความมั่นคงและปลอดภัย ถ้าไม่มีเอกสารที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้แสดงผลการทดลองหรือการคำนวณ จะต้องไม่เกินกำลังแบกทานของดินประเภทต่างๆ ดังต่อไปนี้

(1) ดินอ่อนหรือดินถมไว้แน่นตัวเต็มที่ 2 เมตริกตันต่อตารางเมตร
(2) ดินปานกลางหรือทรายร่วน 5 เมตริกตันต่อตารางเมตร
(3) ดินแน่นหรือทรายแน่น 10 เมตริกตันต่อตารางเมตร
(4) กรวดหรือดินดาน 20 เมตริกตันต่อตารางเมตร
(5) หินดินดาน 25 เมตริกตันต่อตารางเมตร
(6) หินปูนหรือหินทราย 30 เมตริกตันต่อตารางเมตร
(7) หินอัคนีที่ยังไม่แปรสภาพ 100 เมตริกตันต่อตารางเมตร

ข้อ 19 ในการคำนวณน้ำหนักที่ถ่ายลงเสา คาน หรือโครงที่รับเสาและฐานราก ให้ใช้น้ำหนักของอาคารเต็มอัตราส่วนหน่วยน้ำหนักบรรทุกจร ให้ใช้ตามที่กำหนดไว้ในข้อ 15 โดยให้ลดส่วนลงได้ตามชั้นของอาคาร ดังต่อไปนี้

การรับน้ำหนักของพื้น	อัตราการลดหน่วยน้ำหนักบรรทุกจร บนพื้นแต่ละชั้น เป็นร้อยละ
(1) หลังคาหรือดาดฟ้า	0
(2) ชั้นที่หนึ่งถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	0
(3) ชั้นที่สองถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	0
(4) ชั้นที่สามถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	10
(5) ชั้นที่สี่ถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	20
(6) ชั้นที่ห้าถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	30
(7) ชั้นที่หกถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	40
(8) ชั้นที่เจ็ดถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้าและชั้นต่อลงไป	50

สำหรับโรงมหรสพ ห้องประชุม หอประชุม ห้องสมุด หอสมุด พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ คลังสินค้า โรงงานอุตสาหกรรม อาคารจอดหรือเก็บรถยนต์หรือรถจักรยานยนต์ ให้คิดหน่วยน้ำหนักบรรทุกจรเต็มอัตราทุกชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ 20 ในการคำนวณฐานรากบนเสาเข็มที่ตอกในชั้นดินอ่อน ถ้าไม่มีเอกสารจากสถาบันที่เชื่อถือได้แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของดินและกำลังแบกทานสูงสุดของเสาเข็ม ให้ใช้ค่าหน่วยแรงฝืดของดิน ดังนี้

(1) สำหรับดินที่อยู่ในระดับลึกไม่เกิน 7 เมตร ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง ให้ใช้ค่าหน่วยแรงฝืดของดินได้ไม่เกิน 6 กิโลปาสกาล (600 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร) ของพื้นผิวประสิทธิผลของเสาเข็ม

(2) สำหรับดินที่มีความลึกเกิน 7 เมตร ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง ให้คำนวณหาค่าหน่วยแรงฝืดของดินเฉพาะส่วนที่ลึกเกิน 7 เมตรลงไป ตามสูตรดังต่อไปนี้

หน่วยแรงฝืดเป็นกิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร = 600 + 220 ย.

ย. = ความยาวของเสาเข็มเป็นเมตร เฉพาะส่วนที่ลึกเกิน 7 เมตร ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง

ข้อ 21 ในการคำนวณฐานรากบนเสาเข็มที่มีเอกสารจากสถาบันที่เชื่อถือได้แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของดินหรือมีการทดสอบหากำลังแบกทานของเสาเข็มในบริเวณก่อสร้างหรือใกล้เคียง ให้ใช้กำลังแบกทานของเสาเข็มไม่เกินอัตรา ดังต่อไปนี้

(1) กำลังแบกทานของเสาเข็มที่คำนวณจากการทดสอบคุณสมบัติของดิน ให้ใช้กำลังแบกทานได้ไม่เกินร้อยละ 40 ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด

(2) กำลังแบกทานของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบ ให้ใช้กำลังแบกทานได้ไม่เกินร้อยละ 50 ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด

ข้อ 22 ในการทดสอบกำลังแบกทานของเสาเข็ม อัตราการทรุดตัวและการทรุดตัวของเสาเข็มเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดจะต้องอยู่ในเกณฑ์ ดังต่อไปนี้

(1) การทรุดตัวทั้งหมดของเสาเข็มจากรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด แล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลายี่สิบสี่ชั่วโมงต้องไม่เกิน 25 มิลลิเมตร

(2) อัตราการทรุดตัวเฉลี่ยของเสาเข็มหลังจากรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด แล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลายี่สิบสี่ชั่วโมงต้องไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

(3) การทรุดตัวสุทธิของเสาเข็มหลังจากปล่อยให้รับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเป็นเวลายี่สิบสี่ชั่วโมง แล้วคลายน้ำหนักบรรทุกจนหมดปล่อยทิ้งไว้โดยไม่รบกวนอีกยี่สิบสี่ชั่วโมง ต้องไม่เกิน 6 มิลลิเมตร

[3] **ข้อ 23** ส่วนประกอบของช่องทางหนีไฟหรือโครงสร้างหลักสำหรับอาคารที่มีความสูงเกิน 3 ชั้น ต้องไม่เป็นวัสดุติดไฟ

[3] **ข้อ 24** โครงสร้างหลักของอาคารดังต่อไปนี้

(1) อาคารสำหรับใช้เป็นคลังสินค้า โรงมหรสพ โรงแรม อาคารชุด หรือสถานพยาบาล

(2) อาคารสำหรับใช้เพื่อกิจการพาณิชยกรรม การอุตสาหกรรม การศึกษา การสาธารณสุข หรือสำนักงานหรือที่ทำการที่มีความสูงตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป และมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 1,000 ตารางเมตร

(3) อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ อาคารขนาดใหญ่ หรืออาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นหอประชุม

ให้ก่อสร้างด้วยวัสดุทนไฟที่มีลักษณะและคุณสมบัติดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[3] ข้อ 23, ข้อ 24, ข้อ 25, ข้อ 26, ข้อ 27 และข้อ 28 บัญญัติเพิ่มโดยข้อ 3 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 48 (พ.ศ. 2540) ออกตามความใน พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

	ชนิดของการก่อสร้างและโครงสร้างหลัก	ความหนาน้อยสุดของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือคอนกรีตหุ้มเหล็ก (มิลลิเมตร)
1.	คอนกรีตเสริมเหล็ก	
	1.1 เสาสี่เหลี่ยมที่มีด้านแคบขนาด 300 มิลลิเมตรขึ้นไป	40
	1.2 เสากลมหรือเสาตั้งแต่ห้าเหลี่ยมขึ้นไปที่มีรูปทรงใกล้เคียงเสากลม ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 300 มิลลิเมตรขึ้นไป	40
	1.3 คานและโครงข้อหมุนคอนกรีต ขนาดกว้างตั้งแต่ 300 มิลลิเมตรขึ้นไป	40
	1.4 พื้นหนาไม่น้อยกว่า 115 มิลลิเมตร	20
2.	คอนกรีตอัดแรง	
	2.1 คานชนิดดึงลวดก่อน	75
	2.2 คานชนิดดึงลวดภายหลัง	
	(1) กว้าง 200 มิลลิเมตร โดยปลายไม่เหนี่ยวรั้ง (UNRESTRAINED)	115
	(2) กว้างตั้งแต่ 300 มิลลิเมตรขึ้นไป โดยปลายไม่เหนี่ยวรั้ง (UNRESTRAINED)	65
	(3) กว้าง 200 มิลลิเมตร โดยปลายเหนี่ยวรั้ง (RESTRAINED)	50
	(4) กว้างตั้งแต่ 300 มิลลิเมตรขึ้นไป โดยปลายเหนี่ยวรั้ง (RESTRAINED)	45
	2.3 พื้นชนิดดึงลวดก่อนที่มีความหนาตั้งแต่ 115 มิลลิเมตรขึ้นไป	40
	2.4 พื้นชนิดดึงลวดภายหลังที่มีความหนาตั้งแต่ 115 มิลลิเมตรขึ้นไป	
	(1) ขอบไม่เหนี่ยวรั้ง (UNRESTRAINED)	40
	(2) ขอบเหนี่ยวรั้ง (RESTRAINED)	20
3.	เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ	
	3.1 เสาเหล็กขนาด 150 x 150 มิลลิเมตร	50
	3.2 เสาเหล็กขนาด 200 x 200 มิลลิเมตร	40
	3.3 เสาเหล็กขนาดตั้งแต่ 300 x 300 มิลลิเมตรขึ้นไป	25
	3.4 คานเหล็ก	50

ในกรณีโครงสร้างหลักมีขนาดระหว่างขนาดที่กำหนดในตาราง ให้คำนวณหาความหนาน้อยสุดของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือคอนกรีตหุ้มเหล็กโดยวิธีเทียบอัตราส่วน

ในกรณีโครงสร้างหลักก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กหรือคอนกรีตอัดแรงที่มีขนาดหรือมีความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือคอนกรีตหุ้มเหล็กน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในตารางข้างต้น จะต้องใช้วัสดุอื่นหุ้มเพิ่มเติมหรือต้องป้องกันโดยวิธีอื่นเพื่อช่วยทำให้เสาหรือคานมีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่าสามชั่วโมง และตงหรือพื้นต้องมีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่าสองชั่วโมง โดยจะต้องมีเอกสารรับรองอัตราการทนไฟจากสถาบันที่เชื่อถือได้ประกอบการขออนุญาต

ในกรณีโครงสร้างหลักที่เป็นเสาหรือคานที่ก่อสร้างด้วยเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่ไม่ได้ใช้คอนกรีตหุ้มต้องป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยวิธีอื่นเพื่อให้มีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่าสามชั่วโมง โดยจะต้องมีเอกสารรับรองอัตราการทนไฟจากสถาบันที่เชื่อถือได้ประกอบการขออนุญาต

[4] โครงหลังคาของอาคารตามวรรคหนึ่งที่ก่อสร้างด้วยเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่ไม่ได้ใช้คอนกรีตหุ้ม หากอาคารดังกล่าวเป็นอาคารชั้นเดียว โครงหลังคาต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าหนึ่งชั่วโมง และหากเป็นอาคารตั้งแต่สองชั้นขึ้นไป โครงหลังคาต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าสองชั่วโมง โดยจะต้องมีเอกสารรับรองอัตราการทนไฟจากสถาบันที่เชื่อถือได้ประกอบการขออนุญาต

โครงหลังคาของอาคารตามวรรคหนึ่งในกรณีดังต่อไปนี้ ไม่ต้องมีอัตราการทนไฟตามที่กำหนดในวรรคห้าก็ได้

(1) เป็นโครงหลังคาของอาคารที่มีพื้นที่อาคารรวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันไม่เกิน 1,000 ตารางเมตร เว้นแต่โรงมหรสพ สถานพยาบาล หรือหอประชุม

(2) เป็นโครงหลังคาของอาคารที่อยู่สูงจากพื้นอาคารเกิน 8.00 เมตร และอาคารนั้นมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติ หรือมีการป้องกันความร้อนหรือระบบระบายความร้อน มิให้เกิดอันตรายต่อโครงหลังคา

วิธีการทดสอบอัตราการทนไฟตามวรรคสาม วรรคสี่ และวรรคห้า ให้เป็นไปตามมาตรฐานไอเอสโอ 834 (ISO 834) หรือมาตรฐานเอเอสทีเอ็ม อี 119 (ASTM E 119)

[3] **ข้อ 25** วัสดุที่ใช้ตกแต่งผิวภายนอกอาคารหรือใช้เป็นผนังอาคารจะต้องยึดเกาะกับตัวอาคารด้วยวิธีที่ไม่ก่อให้เกิดการร่วงหล่น อันอาจจะทำให้เกิดอันตรายหรือความเสียหายได้

[3] **ข้อ 26** วัสดุก่อสร้างที่ใช้ภายในอาคารจะต้องไม่ทำให้เกิดสารแขวนลอยในอากาศอันอาจเกิดอันตรายต่อสุขภาพ เช่น ใยหิน ซิลิกา หรือใยแก้ว เว้นแต่จะได้ฉาบหุ้มหรือปิดวัสดุนั้นไว้เพื่อป้องกันมิให้เกิดสารแขวนลอยฟุ้งกระจายและสัมผัสกับอากาศที่บริเวณใช้สอยของอาคาร

[3] **ข้อ 27** วัสดุที่เป็นผิวของผนังภายนอกอาคารหรือที่ใช้ตกแต่งผิวภายนอกอาคารจะต้องมีปริมาณการสะท้อนแสงได้ไม่เกินร้อยละสามสิบ

[3] **ข้อ 28** กระจกที่ใช้ทำผนังภายนอกอาคารที่เป็นอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ และอาคารขนาดใหญ่ต้องเป็นกระจกตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไปประกบกันโดยมีวัสดุคั่นกลางระหว่างชั้นและยึดกระจกแต่ละชั้นให้ติดแน่นเป็นแผ่นเดียวกัน และกระจกแต่ละชั้นต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันหรือลดอันตรายจากการบาดของเศษกระจกเมื่อกระจกแตก และวัสดุคั่นกลางต้องยึดเศษหรือชิ้นกระจกไม่ให้หลุดออกมาเมื่อกระจกแตกร้าวหรือราน

กระจกที่ติดกับราวกันตกและกระจกที่ใช้เป็นฝาของห้องโถงหรือทางเดินร่วมภายในอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ และอาคารขนาดใหญ่ต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันหรือลดอันตรายจากการบาดของเศษกระจกเมื่อกระจกแตก

ให้ไว้ ณ วันที่ 17 กันยายน พ.ศ. 2527
พลเอก สิทธิ จิรโรจน์
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย

หมายเหตุ *เหตุผลในการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับนี้ คือ โดยที่มาตรา 8(2) และ (3) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 กำหนดให้รัฐมนตรีโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคารมีอำนาจออกกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนักความต้านทาน ความคงทน ตลอดจนลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ดัดแปลง หรือซ่อมแซมอาคาร และการรับน้ำหนัก ความต้านทาน และความคงทนของอาคารหรือพื้นดินที่รองรับอาคาร จึงจำเป็นต้องออกกฎกระทรวงนี้*

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 101 ฉบับพิเศษ ตอนที่ 143 วันที่ 11 ตุลาคม 2527

[4] ข้อ 24 ความเดิมถูกยกเลิกโดย กฎกระทรวง ฉบับที่ 60 (พ.ศ. 2549) และให้ใช้ความใหม่แทนดังที่พิมพ์ไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎกระทรวง ฉบับที่ 48 (พ.ศ. 2540)

หมายเหตุ *เหตุผลในการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับนี้ คือ โดยที่ปัจจุบันโครงสร้างหลักของอาคารส่วนใหญ่จะใช้วัสดุที่มีอัตราการทนไฟได้ไม่นาน เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้อาคารดังกล่าวจะเกิดการยุบตัวหรือพังทลายได้ง่ายทำให้ไม่สามารถเข้าช่วยเหลือหรือขนย้ายประชาชนหรือทรัพย์สินออกจากอาคารดังกล่าวได้ทัน อันก่อให้เกิดความเสียหายแก่ชีวิต ร่างกาย หรือทรัพย์สินของประชาชนจำนวนมาก และประกอบกับปัจจุบันมีการใช้กระจกในการก่อสร้างอาคารอย่างแพร่หลายโดยกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารไม่ได้กำหนดคุณสมบัติไว้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ชีวิตหรือร่างกายของประชาชนเมื่อกระจกแตก ร้าวหรือรานหรือรบกวนบุคคลอื่นเนื่องจากแสงสะท้อนของกระจก สมควรกำหนดลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างหลักของอาคาร และกระจกที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นจากเหตุเพลิงไหม้ จึงจำเป็นต้องออกกฎกระทรวงนี้*

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 114 ตอนที่ 52ก วันที่ 2 ตุลาคม 2540

กฎกระทรวง ฉบับที่ 60 (พ.ศ. 2549)

หมายเหตุ *เหตุผลในการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับนี้ คือ โดยที่ข้อ 24 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดย กฎกระทรวง ฉบับที่ 48 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ยังไม่มีการบัญญัติอัตราการทนไฟของโครงสร้างหลักในส่วนที่เป็นโครงหลังคาของอาคารเป็นการเฉพาะทำให้เกิดปัญหาทางปฏิบัติแก่เจ้าพนักงานท้องถิ่นที่เกี่ยวข้อง ประกอบกับในปัจจุบันได้มีมาตรฐานไอเอสโอ 834 (ISO 834) สำหรับการทดสอบอัตราการทนไฟซึ่งเป็นที่ยอมรับเพิ่มขึ้นนอกเหนือไปจากมาตรฐานเอเอสทีเอ็ม อี 119 (ASTM E 119) ดังนั้น สมควรแก้ไขบทบัญญัติดังกล่าวให้เหมาะสมแก่กาลสมัย จึงจำเป็นต้องออกกฎกระทรวงนี้*

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123 ตอนที่ 70ก วันที่ 5 กรกฎาคม 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎกระทรวง
ฉบับที่ ๔๙ (พ.ศ. ๒๕๔๐)
ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ (๓) และมาตรา๘ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคารออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ใช้บังคับกฎกระทรวงนี้ในท้องที่จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดตาก จังหวัดน่าน จังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง และจังหวัดลำพูน

ข้อ ๒ กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับกับอาคารประเภทโรงมหรสพ หอประชุม โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา หอสมุด สนามกีฬากลางแจ้ง สถานกีฬาในร่ม ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานบริการ ท่าอากาศยาน อาคารจอดรถ สถานีรถ คาสิโนสถาน อัฒจันทร์ หอศิลป์ พิพิธภัณฑสถาน อาคารเก็บวัตถุระเบิดได้ วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ หรือวัตถุกัมมันตรังสี และอาคารอื่นที่มีความสูงเกิน ๑๕ เมตร

ข้อ ๓ ในการออกแบบโครงสร้างอาคารให้คำนึงถึงการจัดรูปแบบเรขาคณิตให้มีเสถียรภาพต่อการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว การให้รายละเอียดปลีกย่อยบริเวณรอยต่อระหว่างปลายชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ และการจัดให้โครงสร้างทั้งระบบมีความเหนียว (Ductility) เพื่อป้องกันการวิบัติแบบสิ้นเชิง

การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารแต่ละชิ้นส่วน ให้ใช้ค่าหน่วยแรงของผลจากแผ่นดินไหว หรือผลจากแรงลมที่กำหนดในกฎกระทรวง ฉบับที่ ๖ (พ.ศ. ๒๕๒๗) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ที่มีต่อชิ้นส่วนโครงสร้างนั้น ค่าใดค่าหนึ่งที่มากกว่า

ข้อ ๔ ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ หรือโครงสร้างอาคารอื่นๆ ที่ไม่ใช่อาคารตามที่กำหนดในข้อ ๕ ผู้คำนวณออกแบบต้องเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมตั้งแต่ประเภท สามัญวิศวกรขึ้นไป และต้องคำนวณให้อาคารสามารถรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคาร โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงจลศาสตร์

ข้อ ๕ การออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีลักษณะเป็นตึก บ้าน เรือน โรง หรือสิ่งก่อสร้างขึ้นอย่างอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ให้ผู้ออกแบบอาคารคำนวณให้อาคารสามารถรับแรงสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแผ่นดินไหวได้ โดยคำนวณแรงเฉือนตามวิธีดังต่อไปนี้ เว้นแต่จะใช้วิธีอื่นซึ่งวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย หรือส่วนราชการหรือนิติบุคคลซึ่งมีวิศวกรประเภทวุฒิวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพวิศวกรรมเป็นผู้ให้คำแนะนำปรึกษา และลงลายมือชื่อรับรองผลการตรวจสอบงานวิศวกรรมควบคุม ให้การรับรอง

(๑) ให้คำนวณแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน ดังนี้

$$V = ZIKCSW$$

V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

Z คือ สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหวตามที่กำหนดในข้อ ๖

I คือ ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคารตามที่กำหนดในข้อ ๗

K คือ สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบตามที่กำหนดในข้อ ๘

C คือ ค่าสัมประสิทธิ์ หาค่าได้จากสูตรในข้อ ๑๐

S คือ สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคารตามที่กำหนดในข้อ ๑๑

W คือ น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุอุปกรณ์ซึ่งยึดตรึงกับที่โดยที่ไม่รวมน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับอาคารทั่วไป หรือน้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมกับร้อยละ ๒๕ ของน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับโกดังหรือคลังสินค้า

(๒) ให้กระจายแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน ออกเป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(ก) แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคารให้คำนวณ ดังนี้

$$F_t = 0.07\ TV$$

ค่าของ F_t ที่ได้จากสูตรนี้ไม่ให้ใช้เกิน ๐.๒๕ v และถ้าหาก T มีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า ๐.๗ วินาที ให้ใช้ค่าของ F_t เท่ากับ ๐

(ข) แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ ของอาคาร รวมทั้งชั้นบนสุดของอาคาร

ด้วยให้คำนวณ ดังนี้

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

F_t คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F_x คือ แรงในแนวราบที่จะกระทำต่อพื้นชั้นที่ x ของอาคาร

T คือ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร มีหน่วยเป็นวินาที หาค่าได้ตามสูตร ในข้อ 9

V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

W_x, W_i คือ น้ำหนักของพื้นอาคารชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ

h_x, h_i คือ ความสูงจากระดับพื้นดินถึงพื้นชั้นที่ x และพื้นชั้นที่ I ตามลำดับ

i = 1 สำหรับพื้นชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างของอาคาร

x = 1 สำหรับพื้นชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างของอาคาร

$\sum_{i=1}^{n} w_i h_i$ คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างน้ำหนักกับความสูงจากพื้นชั้นที่ ๑ ถึงชั้นที่ n

n คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคาร

ข้อ ๖ ค่าสัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว (Z) ให้ใช้เท่ากับ ๐.๓๘ หรือ มากกว่า

ข้อ ๗ ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร (I) ให้ใช้ดังนี้

ชนิดของอาคาร	ค่าของ I
(๑) อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน เช่น โรงพยาบาล สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์สื่อสาร หรืออาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย เป็นต้น	๑.๕๐
(๒) อาคารที่เป็นที่ชุมนุมคนครั้งหนึ่ง ๆ ได้มากกว่า ๓๐๐ คน	๑.๒๕
(๓) อาคารอื่น ๆ	๑.๐๐

ข้อ ๘ สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างของอาคารที่รับแรงในแนวราบ (K) ให้ใช้ดังนี้

ระบบและชนิดโครงสร้างรับแรงในแนวราบ	ค่าของ K
(๑) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้กำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall) หรือโครงแกงแนง (Braced Frame) รับแรงทั้งหมดในแนวราบ	๑.๓๓
(๒) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงข้อแข็งซึ่งมีความเหนียว (Ductile Moment – resisting Space Frame) รับแรงทั้งหมดในแนวราบ	๐.๖๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบและชนิดโครงสร้างรับแรงในแนวราบ	ค่าของ K
(๓) โครงการซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงข้อแข็งซึ่งมีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงการแกงแนงต้านแรงในแนวราบโดยมีข้อกำหนดในการคำนวณออกแบบดังนี้ (ก) โครงข้อแข็งซึ่งมีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ ๒๕ ของแรงในแนวราบทั้งหมด (ข) กำแพงรับแรงเฉือนหือโครงแกงแนงเมื่อแยกเป็นอิสระจากโครงข้อแข็งซึ่งมีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ทั้งหมด (ค) โครงข้อแข็งซึ่งมีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกงแนงต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ทั้งหมด โดยสัดส่วนของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างแต่ละระบบให้เป็นไปตามสัดส่วนความคงตัว (Rigidity) โดยคำนึงถึงการถ่ายเทของแรงระหว่างโครงสร้างทั้งสอง	๐.๘๐
(๔) หอถังน้ำ รองรบด้วยเสาไม้น้อยกว่า ๔ ต้น และมีแกงแนงยึดและไม่ได้ตั้งอยู่บนอาคาร	๒.๕
<u>หมายเหตุ</u> ผลคูณระหว่างค่า K กับค่า C ให้ใช้ค่าต่ำสุดเท่ากับ ๐.๑๒ และค่าสูงสุดเท่ากับ ๐.๒๕	
(๕) โครงอาคารระบบอื่น ๆ นอกจากโครงอาคารตาม (๑) (๒) (๓) หรือ (๔)	๑.๐

ข้อ ๙ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร (T) ถ้าไม่สามารถคำนวณหาคาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคารได้ถูกต้องโดยวิธีอื่น ให้คำนวณตามสูตรดังต่อไปนี้

(๑) สำหรับอาคารทั่วไปทุกชนิด ให้คำนวณตามสูตร

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

(๒) สำหรับโครงข้อแข็งที่มีความเหนียวให้คำนวณตามสูตร

T = 0.10 N

hn คือ ความสูงของพื้นอาคารชั้นสูงสุดวัดจากระดับพื้นดินมีหน่วยเป็นเมตร

D คือ ความกว้างของโครงสร้างของอาคารในทิศทางขนานกับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นดินไหวมีหน่วยเป็นเมตร

N คือ จำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

ข้อ ๑๐ ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ให้คำนวณตามสูตรดังนี้

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

ถ้าคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ได้มากกว่า ๐.๑๒ ให้ใช้เท่ากับ ๐.๑๒

ข้อ ๑๑ ค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งของอาคาร (S) มีดังนี้

ลักษณะของชั้นดิน	ค่าของ S
(๑) หิน	๑.๐
(๒) ดินแข็ง	๑.๒
(๓) ดินอ่อน	๑.๕

"หิน" หมายถึง หินทุกลักษณะไม่ว่าจะเป็นหินคล้ายหินเชล (shale) หรือที่เป็นผลึกตามธรรมชาติ หรือดินลักษณะแข็งซึ่งมีความลึกของชั้นดินไม่เกิน ๖๐ เมตร และชนิดของดินที่ทับอยู่เหนือชั้นหินเป็นดินที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือดินเหนียวแข็ง

"ดินแข็ง" หมายถึง ดินลักษณะแข็งซึ่งความลึกของชั้นดินมากกว่า ๖๐ เมตร และชนิดของดินที่ทับอยู่เหนือชั้นหินเป็นดินที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือดินเหนียวแข็ง

"ดินอ่อน" หมายถึง ดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลาง และดินเหนียวแข็งหนามากกว่า ๙ เมตร อาจจะมีชั้นทรายคั่นอยู่หรือไม่ก็ได้

ถ้าผลคูณระหว่างค่า C กับค่า S มากกว่า ๐.๑๔ ให้ใช้เท่ากับ ๐.๑๔

ข้อ ๑๒ อาคารที่ได้รับใบอนุญาตหรือได้รับใบรับแจ้งการก่อสร้างหรืออาคารที่มีอยู่ก่อนวันที่กฎกระทรวงฉบับนี้ใช้บังคับ ให้ได้รับยกเว้นไม่ต้องปฏิบัติตามกฎกระทรวงนี้

ให้ไว้ ณ วันที่ ๕ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๔๐

เสนาะ เทียนทอง

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ:- เหตุผลในการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับนี้ คือ โดยที่เป็นการสมควรกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทานและความคงทนของอาคารหรือพื้นดินที่รองรับอาคาร สำหรับการก่อสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว เพื่อให้อาคารต้านทานแรงสั่นสะเทือนดังกล่าวได้ ประกอบกับมาตรา ๘(๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ได้บัญญัติให้การกำหนดดังกล่าวต้องกระทำโดยกฎกระทรวง จึงจำเป็นต้องออกกฎกระทรวงนี้

ประกาศ ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม ๑๑๔ ตอนที่ ๖๗ ก ลงวันที่ ๑๑ พฤศจิกายน ๒๕๔๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผค1 ตารางเปรียบเทียบการรวมน้ำหนักบรรทุกประลัย

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงเพื่อการออกแบบ	รูปแบบการรวมน้ำหนักบรรทุกประลัย				
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5
มยผ. 1301 – 50	U = 1.7D + 2.0 L	U = 1.275D + 1.5L + 1.5W	U = 1.275D + 1.5L + 1.5E	U = 0.9D + 1.3W	U = 0.9D + 1.3E
ACI 318 – 05	U = 1.4D + 1.7L	U = 1.05D + 1.275L + 1.6W	U = 1.05D + 1.275L + 1.0E	U = 0.9D + 1.6W	U = 0.9D + 1.0E
วสท. 1008-38	U = 1.7D + 2.0L	U = 1.05D + 1.275L + 1.275W	U = 1.05D + 1.275L + 1.87E	U = 0.9D + 1.3W	U = 0.9D+1.43E
UBC 1997	U = D + L + (Lr หรือ S)	U = 1.0D + 0.75L + 0.75 (Lr หรือ S) + 0.75W	U = 1.0D +0.75L + 0.75(Lr หรือ S)	U = 1.0D + 1.0W	U = 1.0D + 0.714E

* Lr หมายถึง น้ำหนักของหลังคา , S หมายถึง น้ำหนักบรรทุกของหิมะ , D หมายถึงน้ำหนักบรรทุกคงที่

L หมายถึงน้ำหนักบรรทุกจร , W หมายถึงแรงลม , E หมายถึงแรงจากแผ่นดินไหว

** ในการออกแบบอาคารในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินไหว ผู้ออกแบบต้องเลือกมาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิงเพื่อออกแบบโดยในแต่ละมาตรฐานจะมีการรวมน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ใช้ในการออกแบบที่แตกต่างกัน ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องเลือกรูปแบบของการรวมน้ำหนักบรรทุกที่ให้ค่าค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยสูงสุดมาเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ