การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า

ศาสตราจารย์ ดร. สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.จิรวัฒน์ จันทร์เรือง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

โครงการพัฒนาหลักสูตรการเรียนรู้เรื่องการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) พ.ศ. 2568

ผลลัพธ์การเรียนรู้

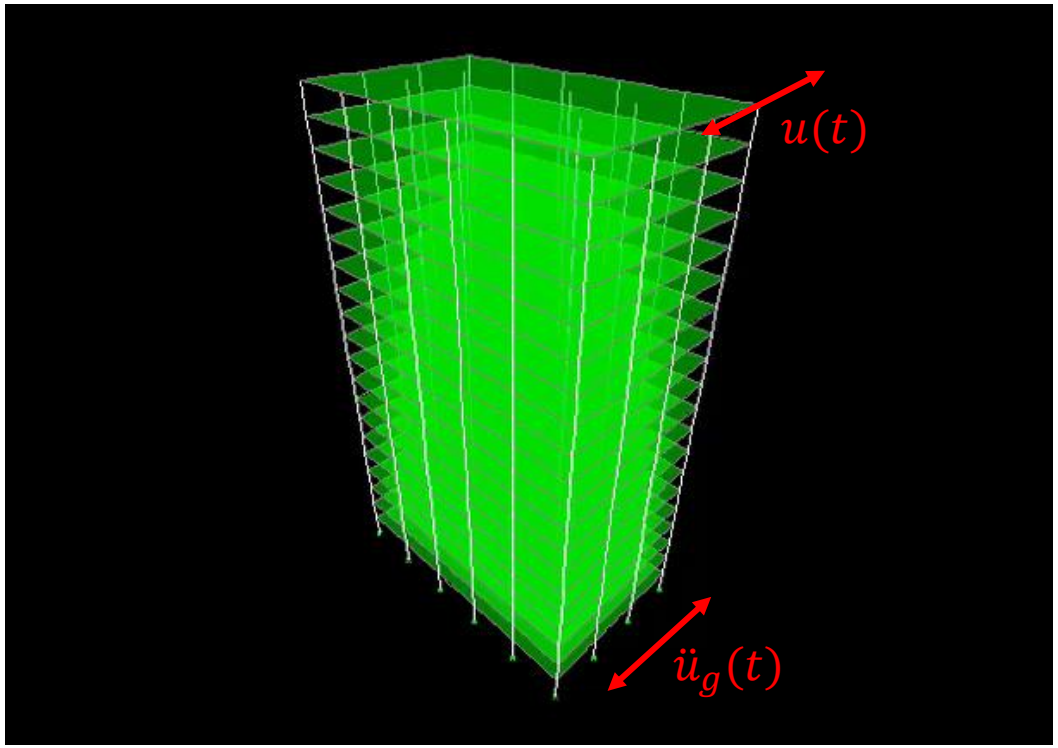
- เข้าใจในหลักการของการคำนวณด้วยวิธี สถิตเทียบเท่า
- สามารถเลือกใช้ค่าตัวประกอบในการออกแบบที่เหมาะสม
- สามารถคำนวณแรงแผ่นดินไหว สำหรับโครงอาคารขนาดเล็กด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า

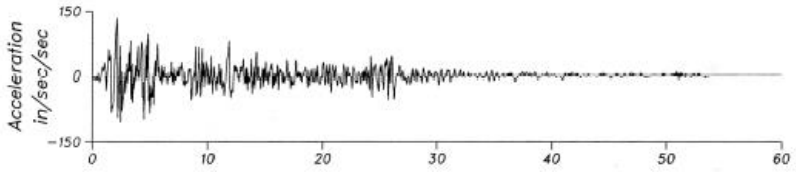
หัวข้อในการบรรยาย

- หลักการคำนวณแรงสถิตเทียบเท่า และตัวประกอบในการออกแบบ
- ขั้นตอนในการคำนวณ
  - (1) การกำหนดภัยแผ่นดินไหว และประเภทการออกแบบ
  - (2) การเลือกระบบโครงสร้างและ ตัวประกอบสำหรับการออกแบบ
  - (3) การคำนวณแรงสถิตเทียบเท่า
  - (4) การตรวจสอบการเคลื่อนตัวและเสถียรภาพอาคาร

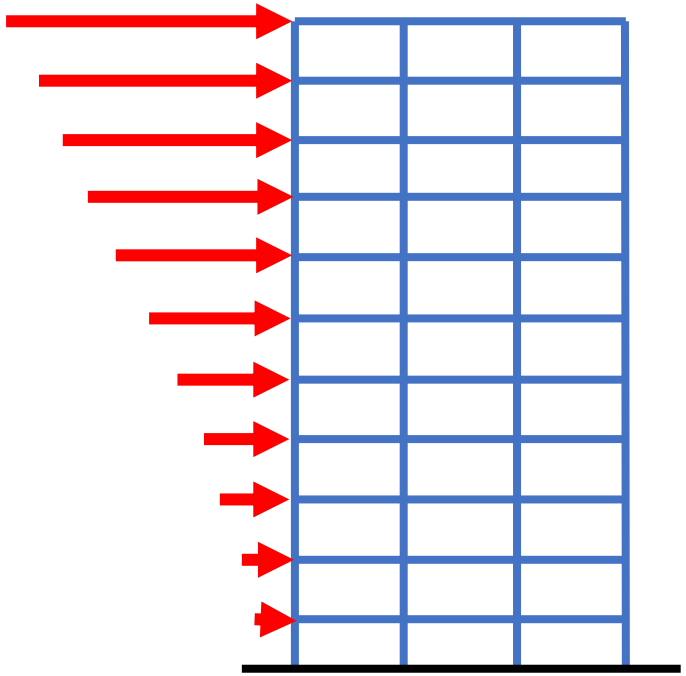
- ตัวอย่างการคำนวณ

หลักการของวิธีสถิยเทียบเท่า





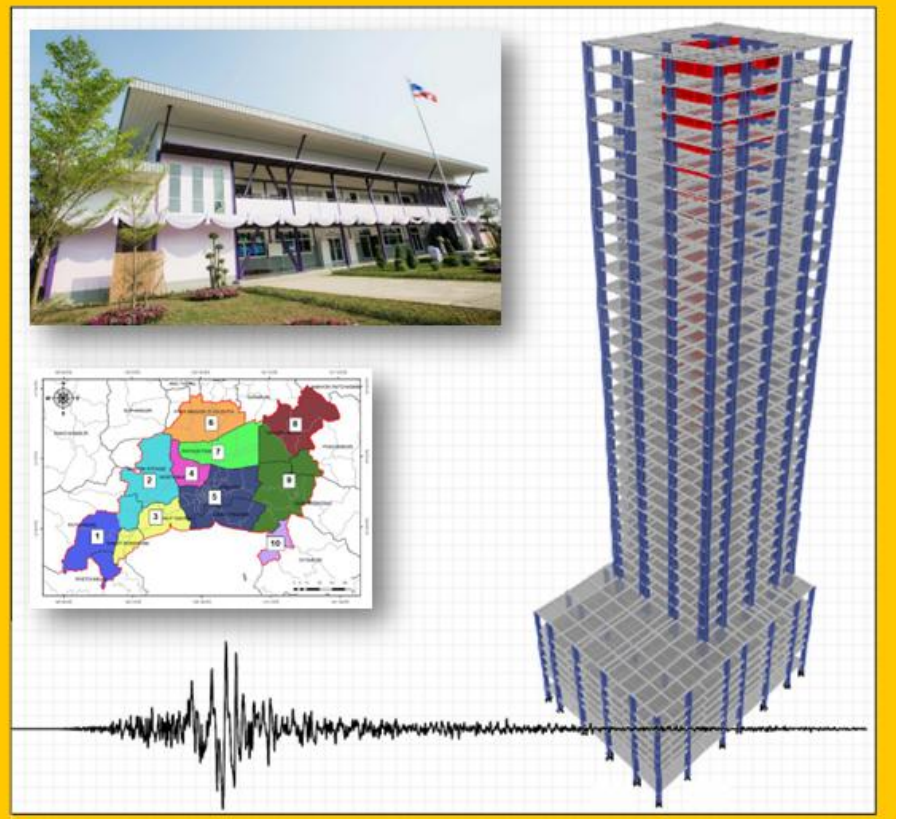
Equivalent Static Forces



มยผ.1301/1302-61

(ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1)

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทาน การสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว



กรมโยธาธิการและผังเมือง

กระทรวงมหาดไทย

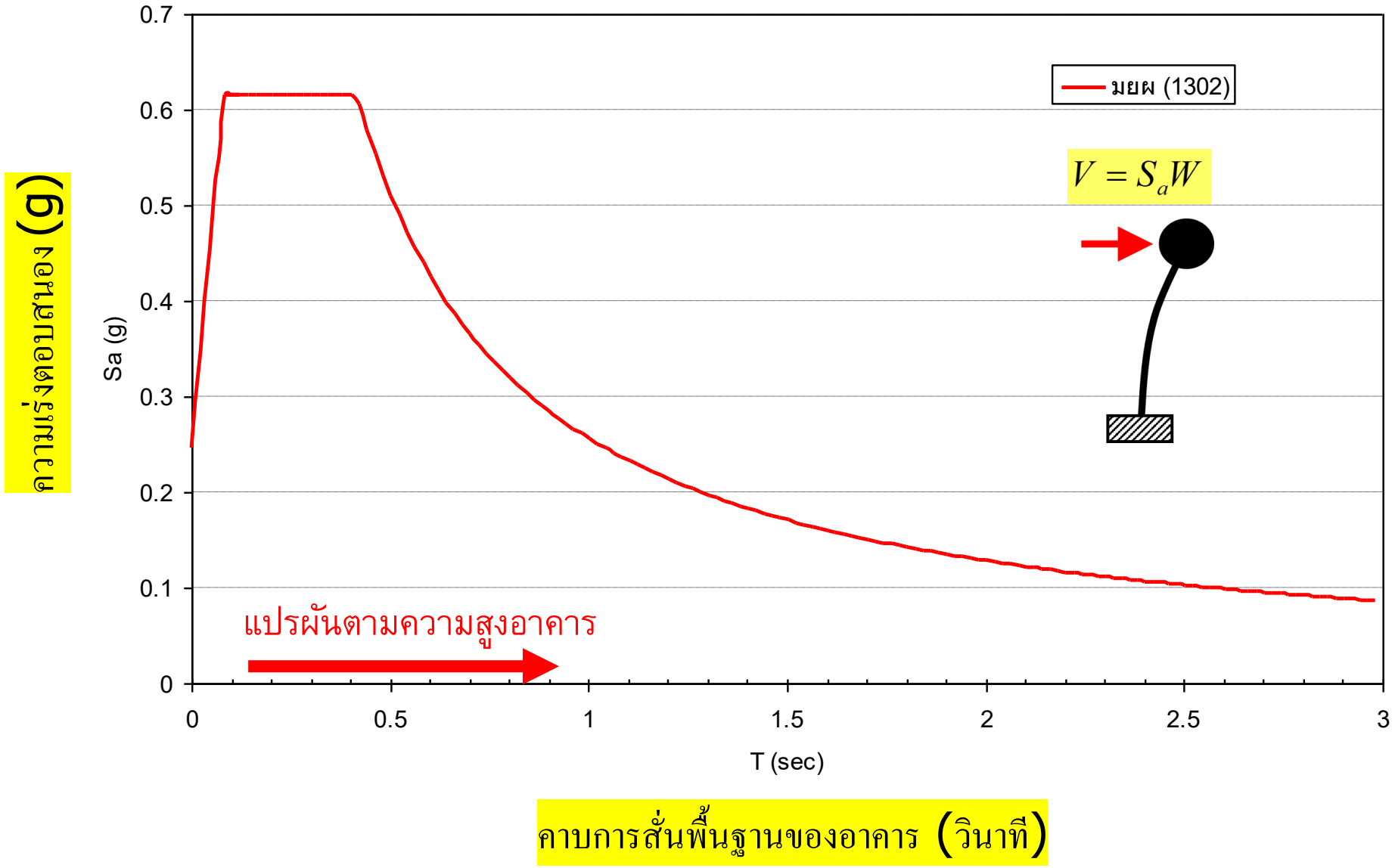
พ.ศ. 2564

มาตรฐาน มยผ

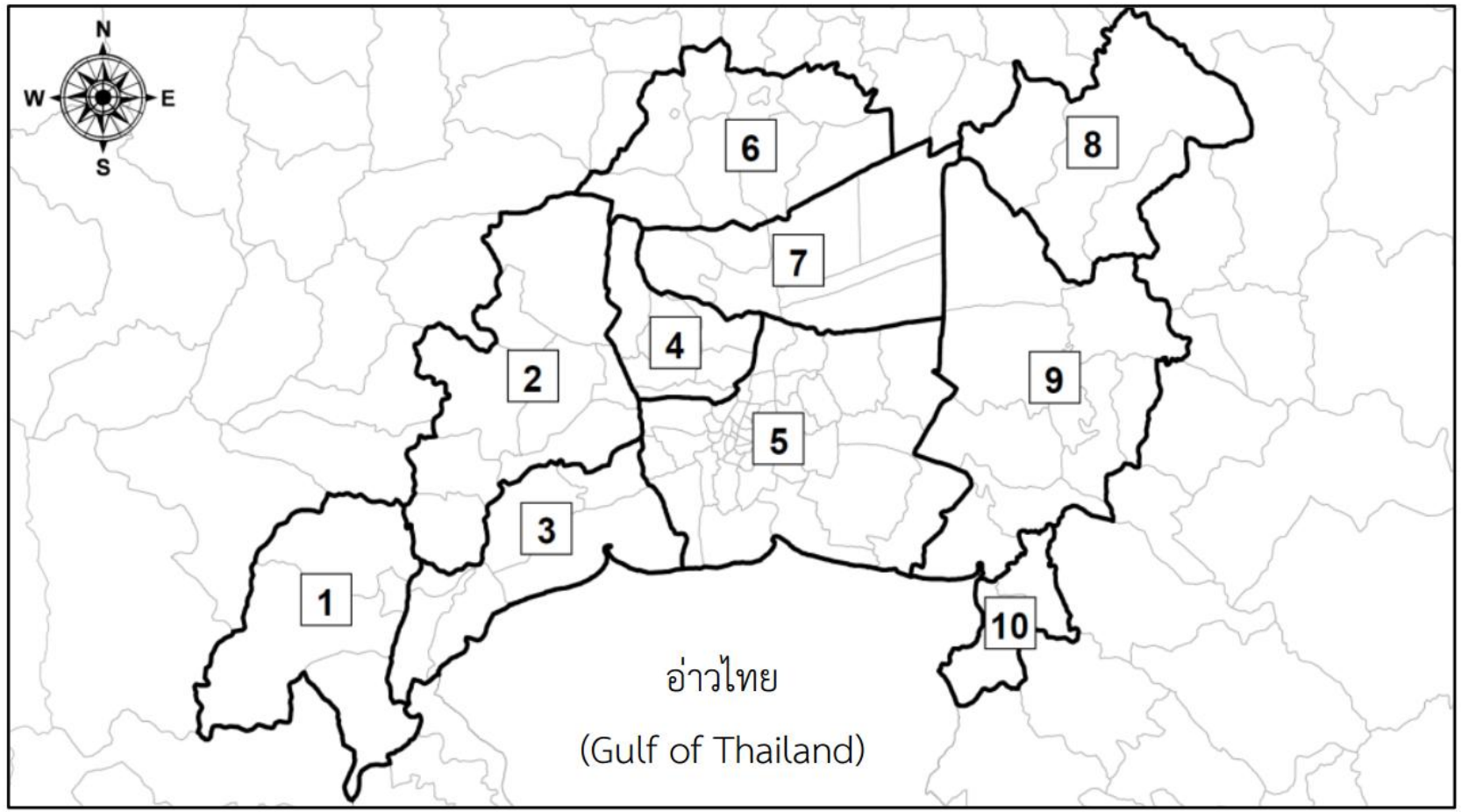
การออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหว

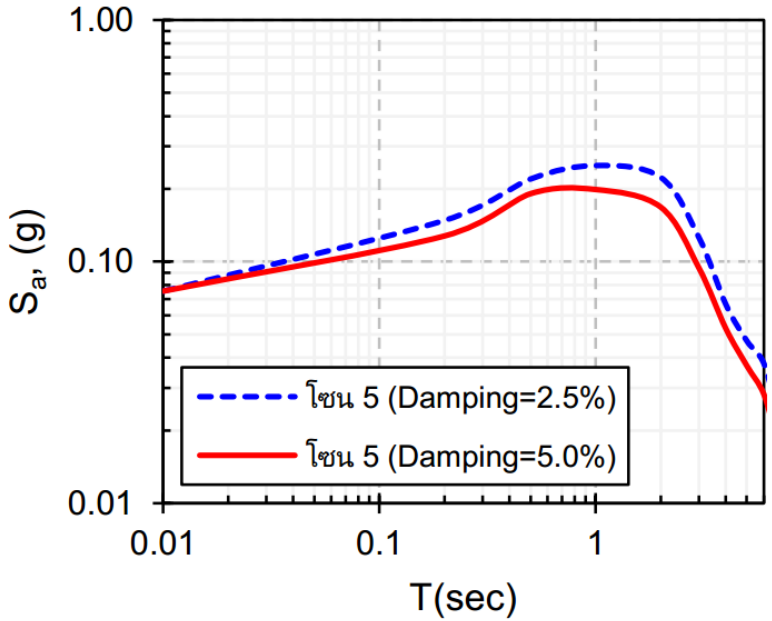
- ภัยแผ่นดินไหวในแต่พื้นที่
- มีการกำหนดแรงในการออกแบบในรูปแบบของ สเปกตรัมผลตอบสนอง
- วิธีคำนวณแรงแผ่นดินไหว ด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า และวิธีพลศาสตร์
- กำหนดการให้รายละเอียดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และมาตรฐานอ้างอิงด้านการให้รายละเอียดอื่นๆ

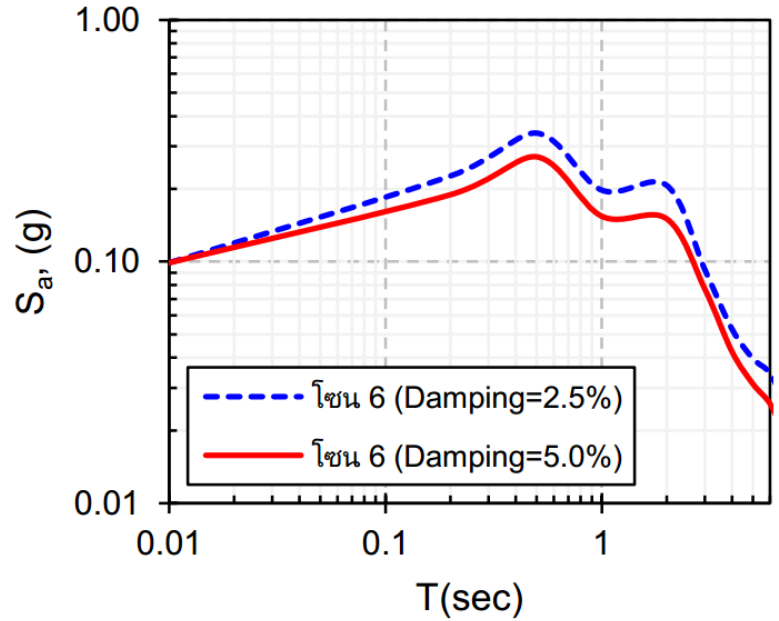
กราฟสเปกตรัมผลตอบสนอง



พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ







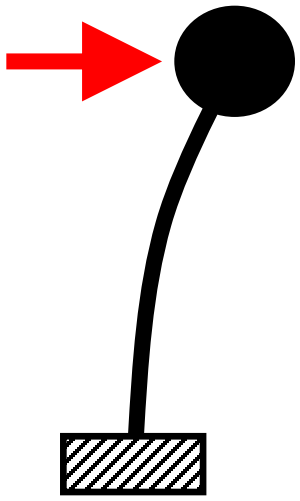
ตารางที่ 1.4-4 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าสำหรับพื้นที่ในโซนต่าง ๆ (อัตราส่วนความหน่วง 2.5%) ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ

S_a / โซน	S_a (0.01s)	S_{DS} (0.2 s)	S_a (0.5 s)	S_{D1} (1.0s)	S_a (2.0 s)	S_a (3.0 s)	S_a (4.0 s)	S_a (5.0 s)	S_a (6.0 s)
1	0.451	0.451	0.451	0.233	0.110	0.053	0.042	0.031	0.029
2	0.439	0.439	0.439	0.249	0.196	0.108	0.058	0.038	0.030
3	0.320	0.320	0.320	0.353	0.217	0.109	0.064	0.044	0.034
4	0.330	0.330	0.330	0.264	0.218	0.100	0.039	0.029	0.027
5	0.220	0.220	0.220	0.250	0.223	0.126	0.067	0.047	0.038
6	0.340	0.340	0.340	0.198	0.207	0.093	0.053	0.040	0.035
7	0.291	0.291	0.291	0.231	0.177	0.103	0.064	0.046	0.040
8	0.210	0.210	0.210	0.097	0.055	0.033	0.018	0.012	0.011
9	0.269	0.269	0.269	0.194	0.144	0.061	0.026	0.017	0.013
10	0.225	0.225	0.225	0.059	0.047	0.031	0.017	0.012	0.010

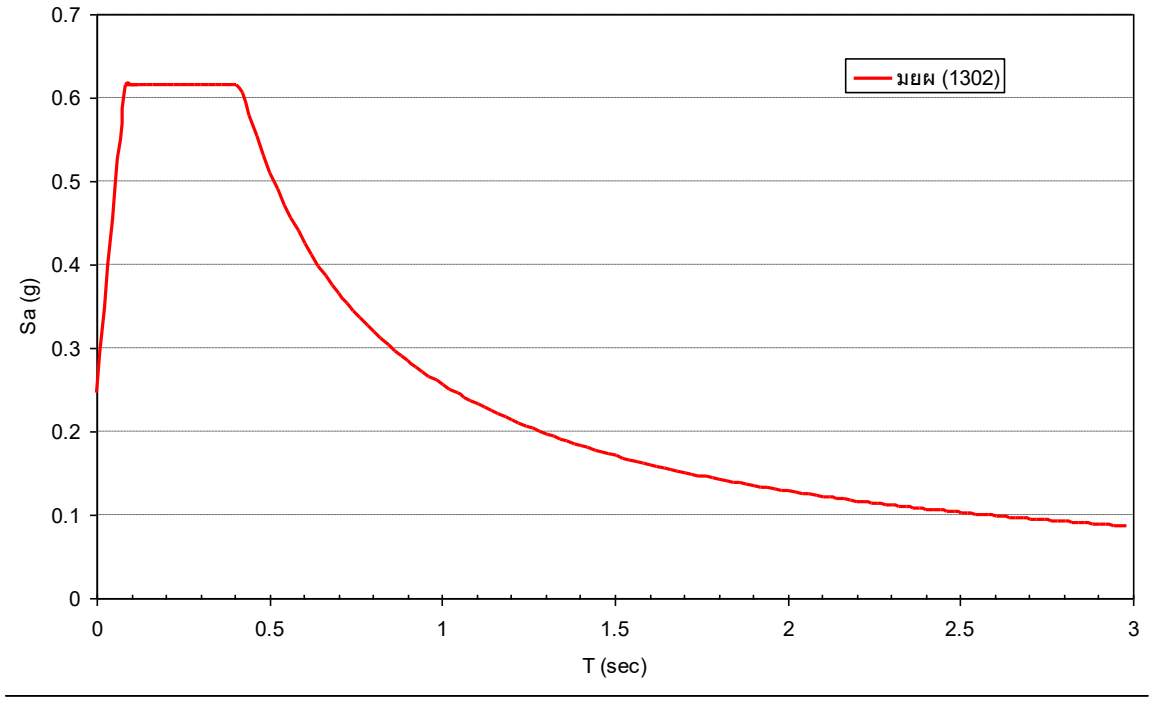
Design Response Spectrum

- EQ Force and Natural Period

$$V = S_a W$$

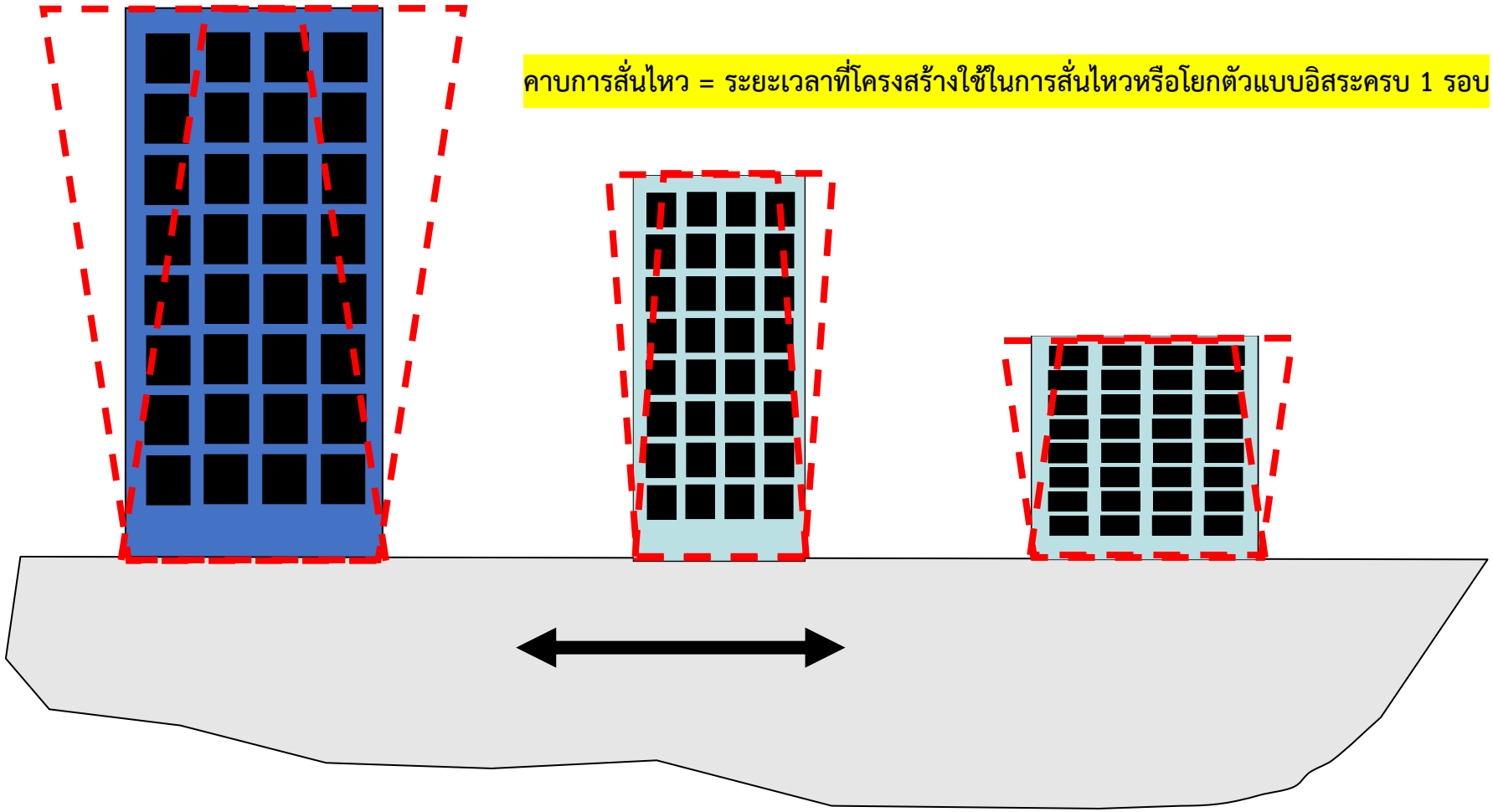


S_a



T

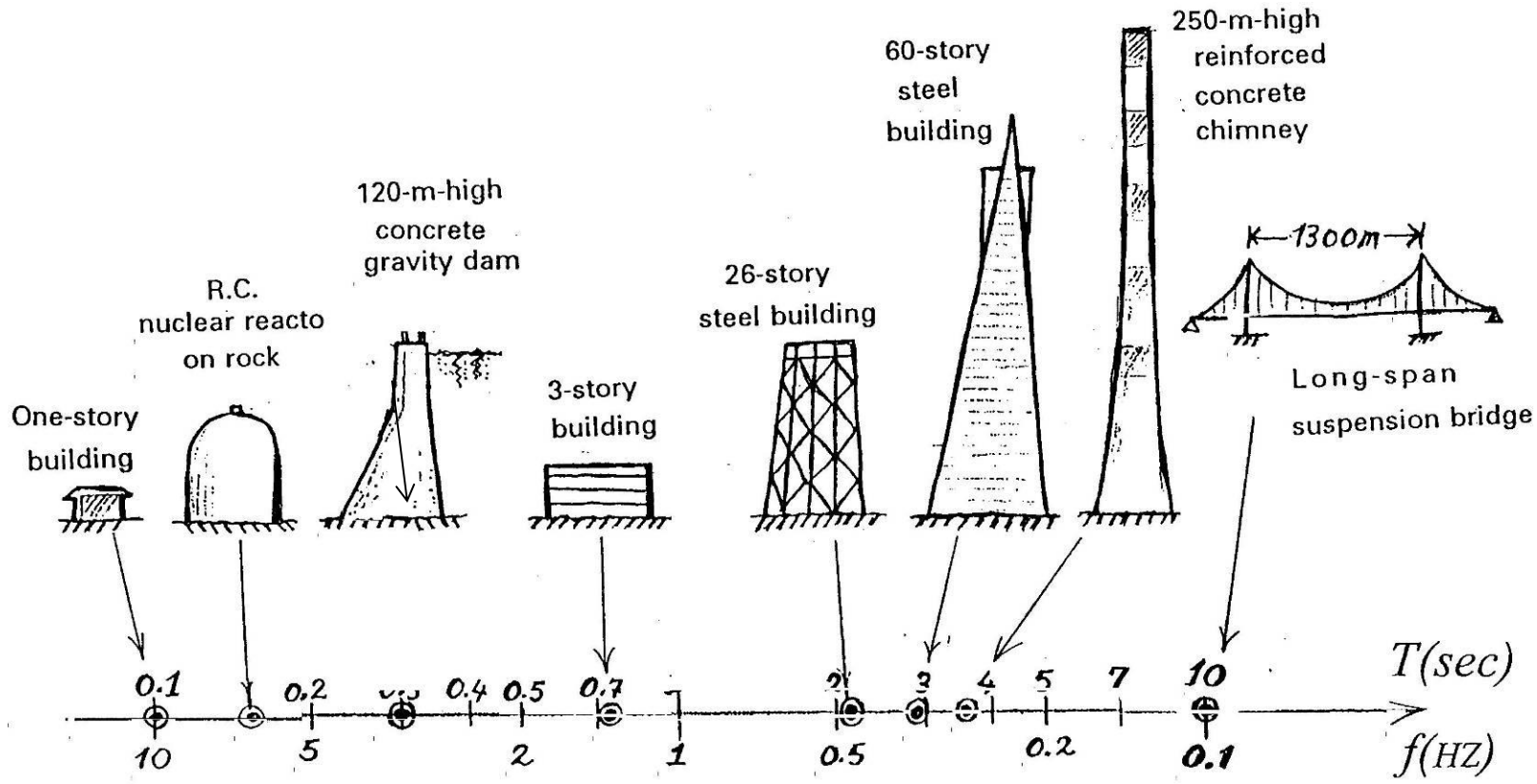
คาบการสั่นไหว (Vibration Period)



คาบการสั่นไหว = ระยะเวลาที่โครงสร้างใช้ในการสั่นไหวหรือโยกตัวแบบอิสระครบ 1 รอบ

https://www.youtube.com/watch?v=HB2jgJJG2is

คาบการสั่นไหว (Vibration Period)



คาบการสั่นตามมาตรฐาน มยผ

วิธี ก

คาบการสั่นพื้นฐาน (หน่วยเป็นวินาที) สามารถคำนวณจากสูตรการประมาณค่าดังนี้

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	$T = 0.02H$	(3.3-1)
อาคารโครงสร้างเหล็ก	$T = 0.03H$	(3.3-2)

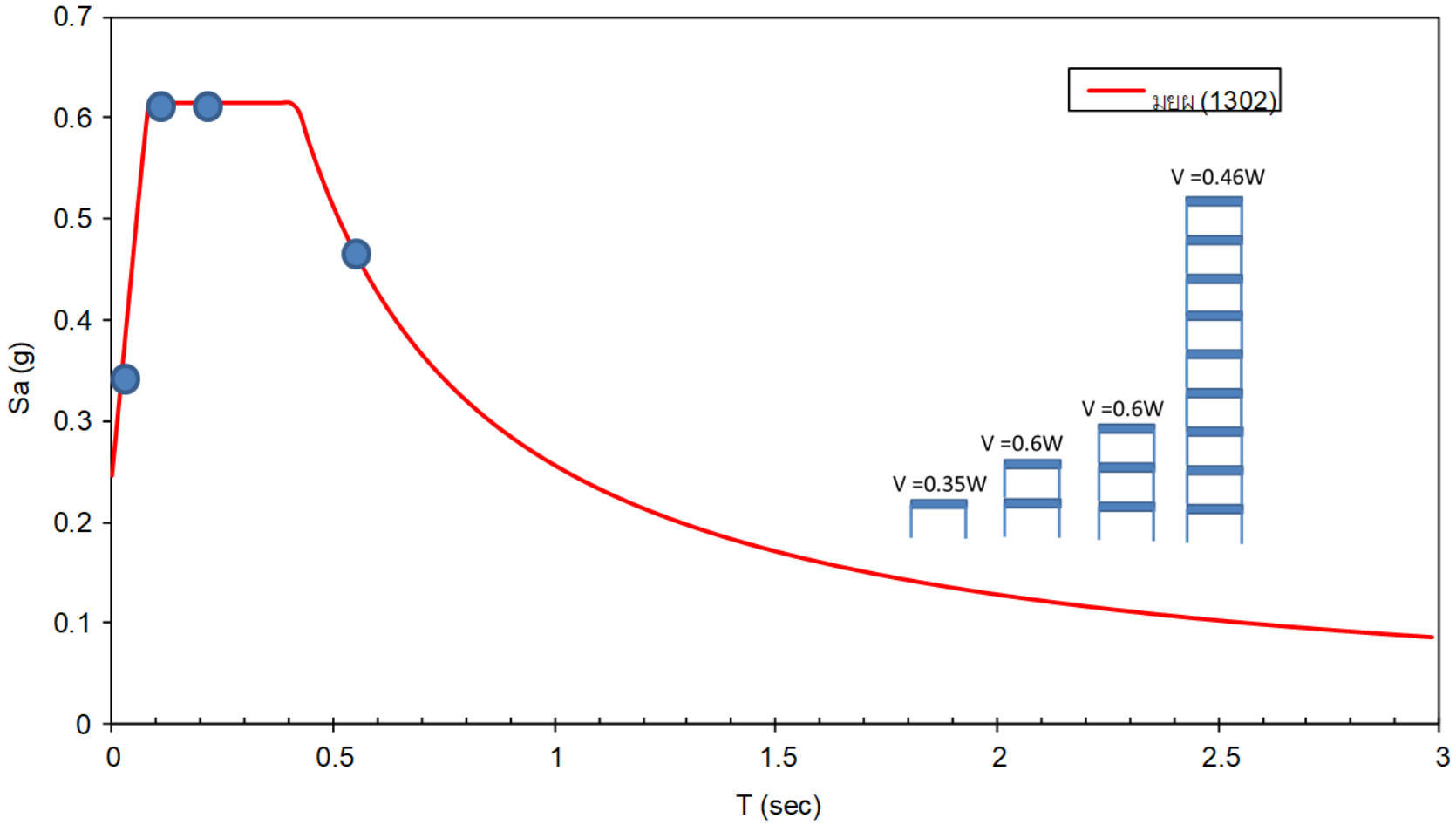
โดยที่ H คือความสูงของอาคารวัดจากพื้นดิน มีหน่วยเป็นเมตร

วิธี ข

คาบการสั่นพื้นฐาน (หน่วยเป็นวินาที) สามารถคำนวณจากลักษณะการกระจายมวล (หรือน้ำหนัก) ภายในอาคาร และสติฟเนสของระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้างของอาคาร ด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม และค่าคาบการสั่นพื้นฐานที่คำนวณได้จากวิธี ข. จะต้องไม่เกิน 1.5 เท่าของค่าที่คำนวณได้จากวิธี ก.

แรงแผ่นดินไหวกับความสูงอาคาร

V/W



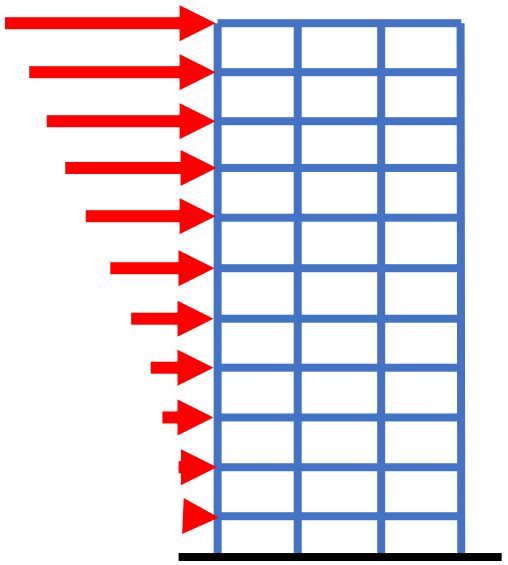
T = 0.02H

แนวคิดในการกำหนดแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ

Magnitude of EQ Forces

- ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่พิจารณา

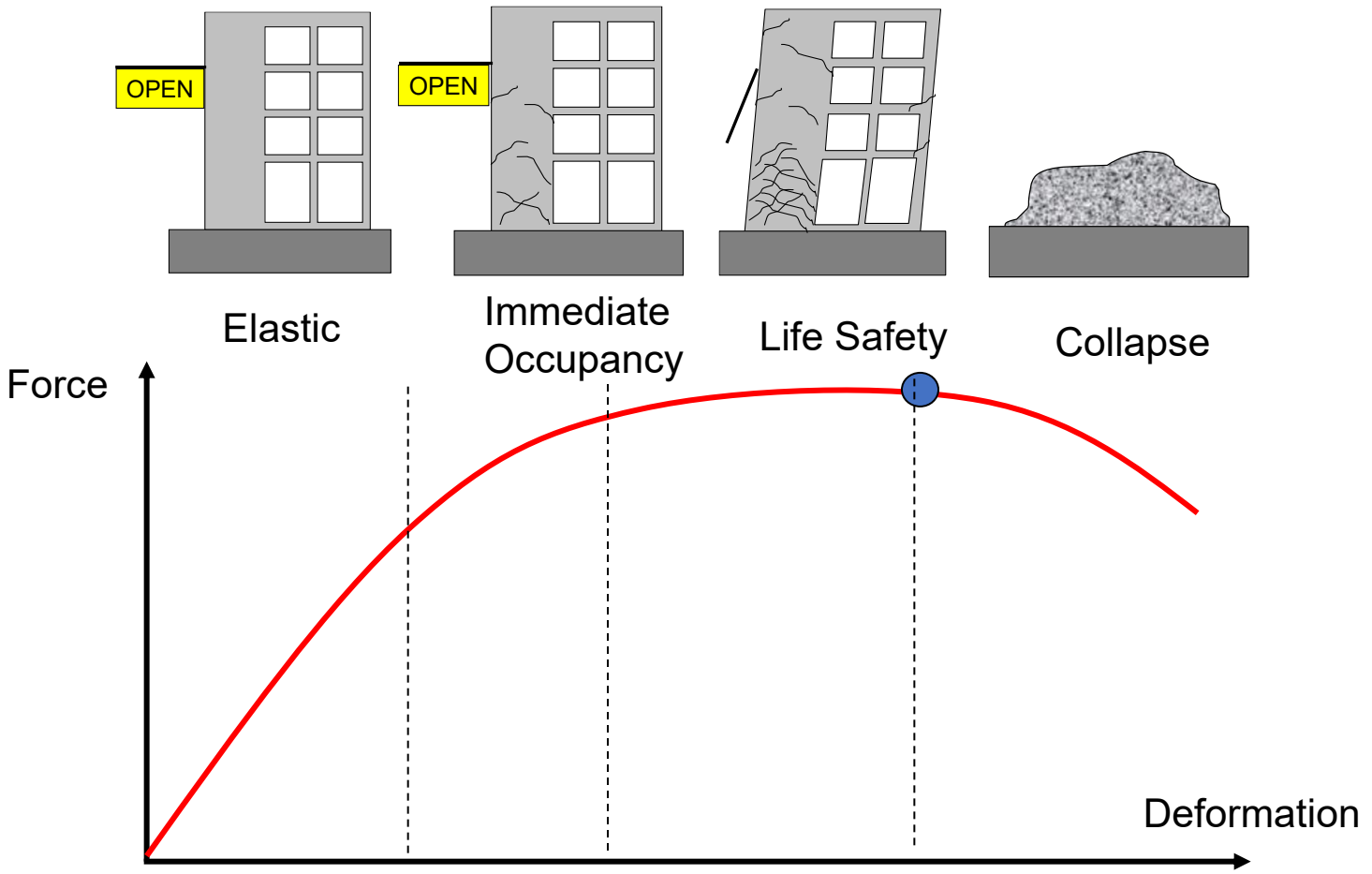
ประเทศ	ระดับความรุนแรงแผ่นดินไหว
สหรัฐอมริกา	2475 ปี และลดทอนลง 2/3 สำหรับการออกแบบ
สหภาพยุโรป	475 ปี
จีน	Frequent 50 ปี Moderate 475 ปี Rare 2000-2475 ปี
ญี่ปุ่น	Service 50 ปี Life Safety 500 ปี



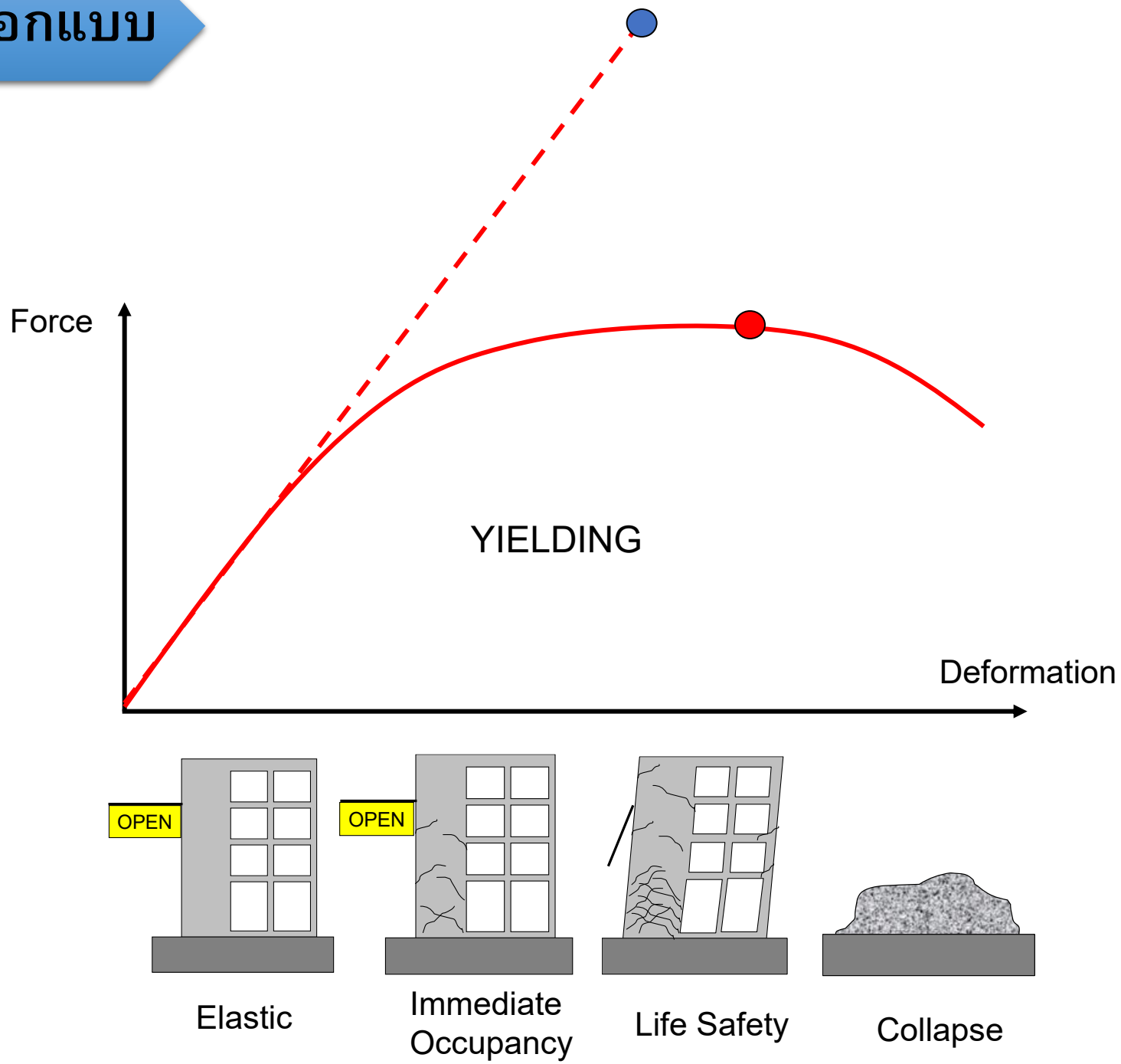
มาตรฐาน มยผ1302 ใช้คาบการเกิด 2475 ปีและลดทอน 2/3

แรงสำหรับการออกแบบ

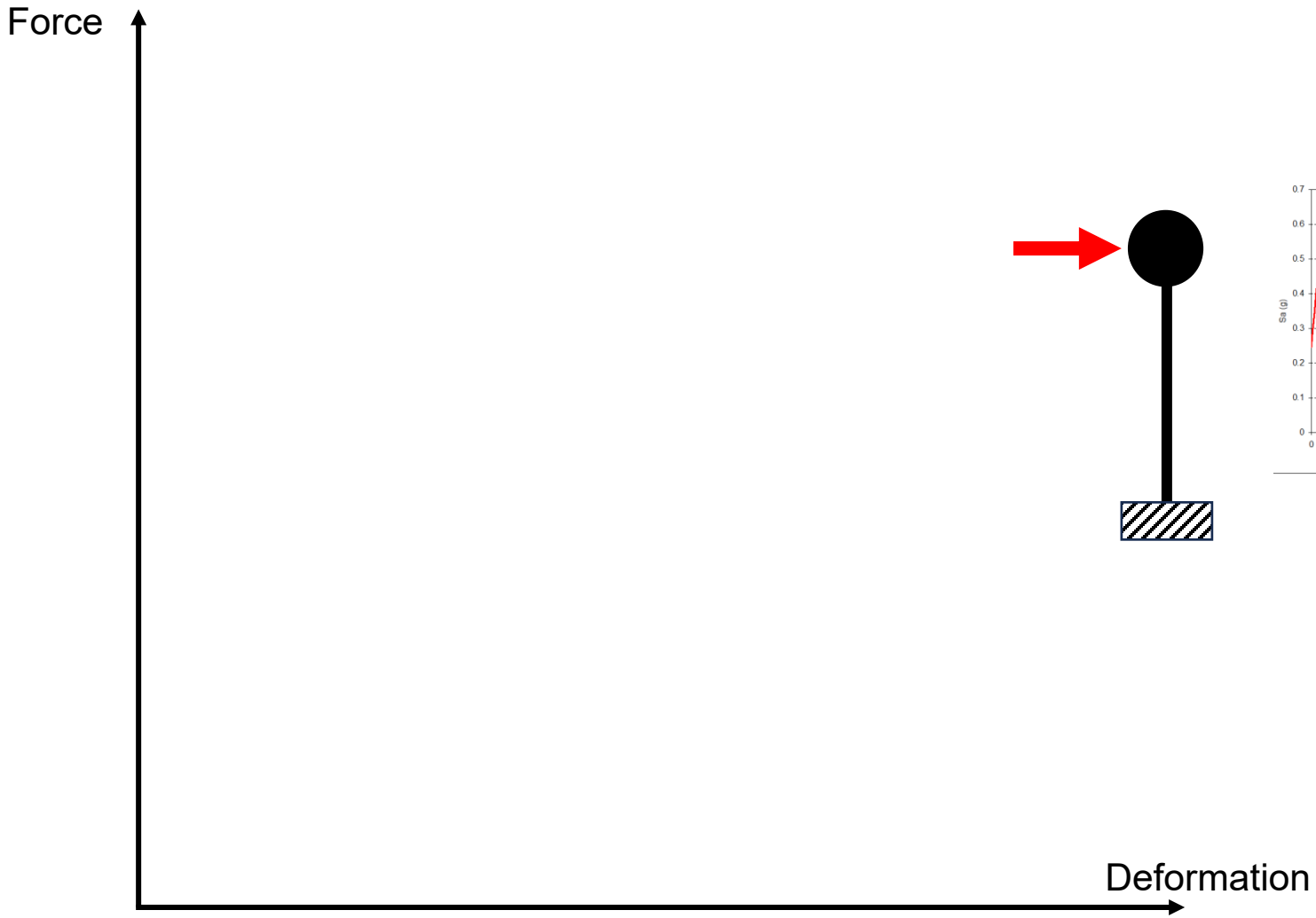
การออกแบบอาคารจะยอมให้อาคาร เกิดการเสียรูปเกินพิกัดยืดหยุ่นเมื่อเกิดแผ่นดินไหวระดับที่ออกแบบไว้ และจะอาศัยความสามารถในการสลายพลังงานของโครงสร้างในช่วงอินอีลาสติก

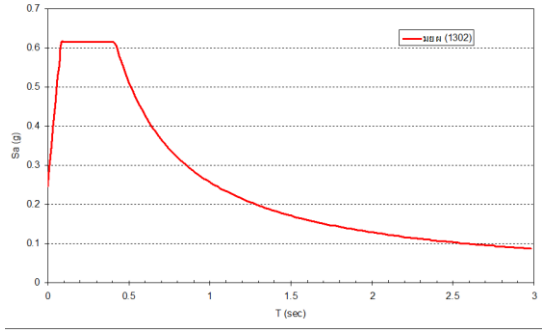


แรงสำหรับการออกแบบ

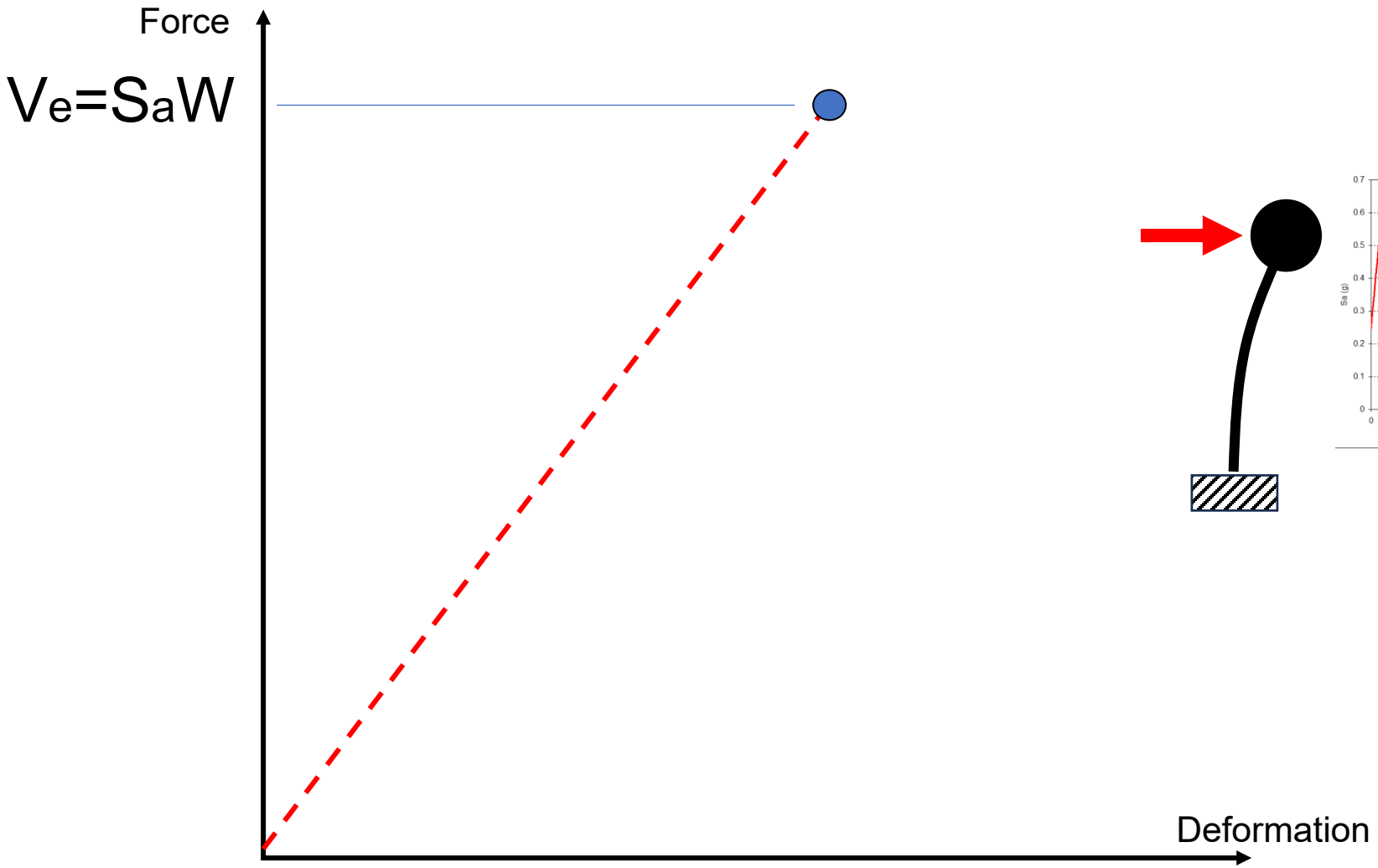


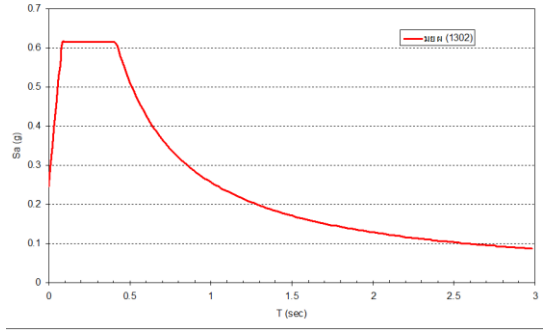
แรงสำหรับการออกแบบ



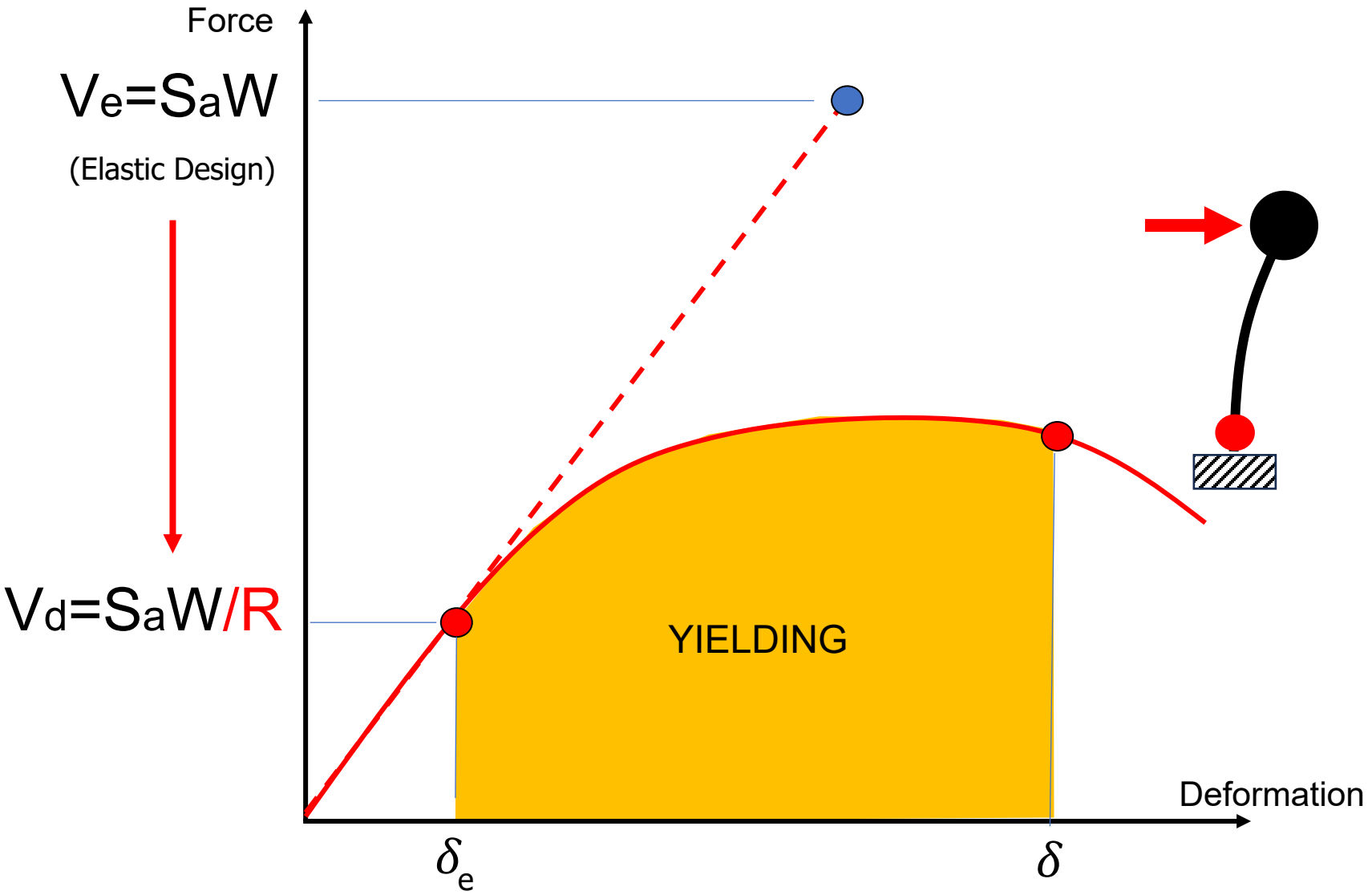


แรงสำหรับการออกแบบ

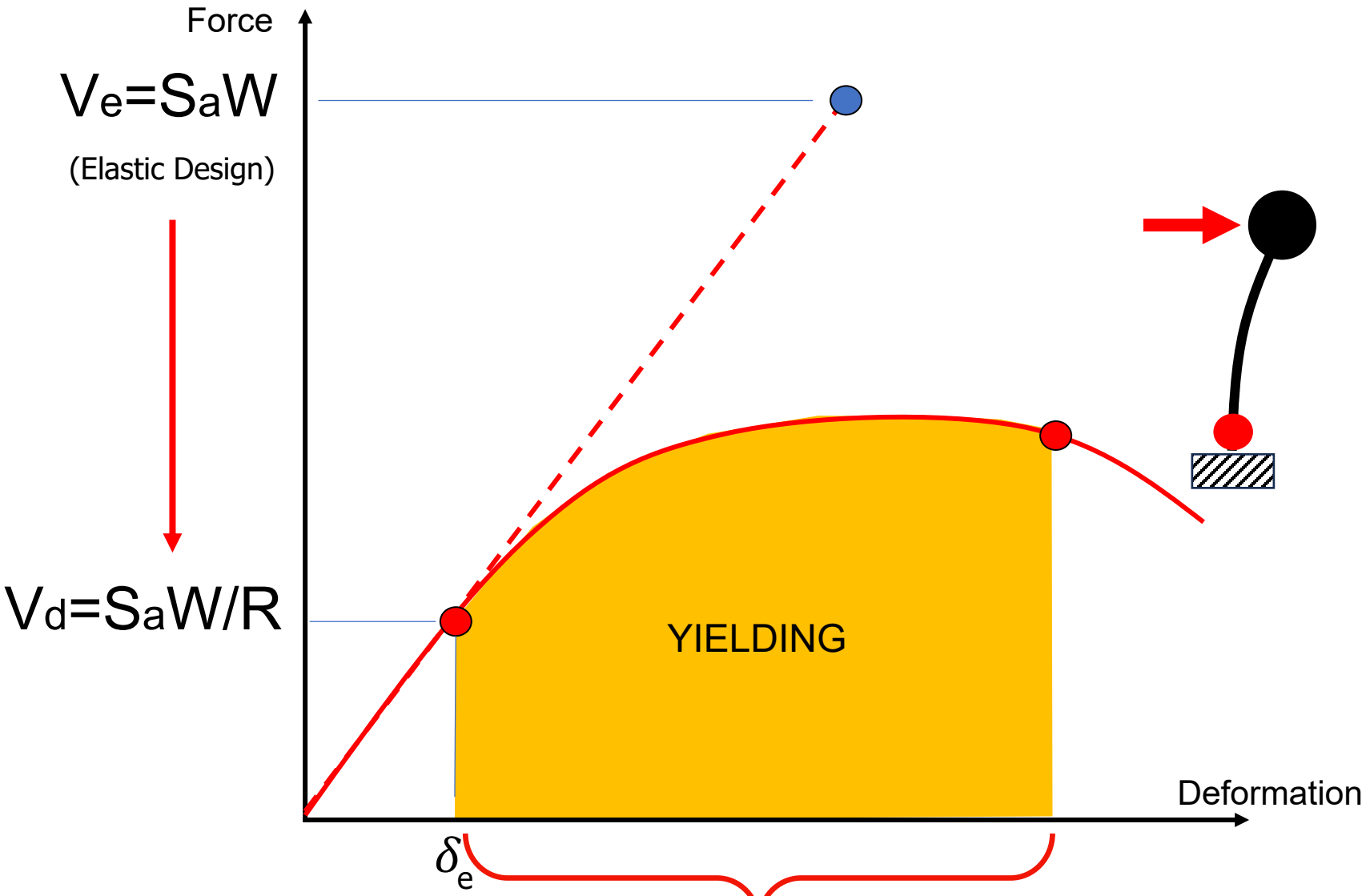




แรงสำหรับการออกแบบ



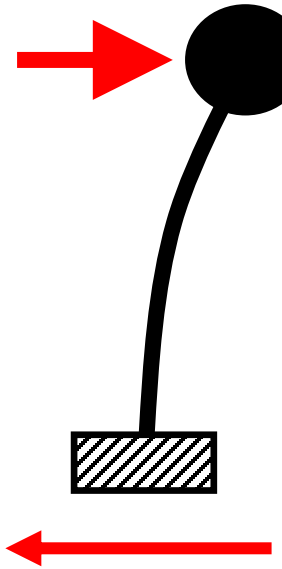
แรงสำหรับการออกแบบ



โครงสร้างต้องมีความเหนียวสามารถรองรับการเสียรูปได้สูง

แรงสำหรับการออกแบบตามมาตรฐาน มยผ

$$V = \frac{S_a(T) \cdot I}{R} W$$



V = Design Base Shear
(แรงเฉือนที่ฐานอาคาร)

Spectral Acceleration as a Function of Period

Importance Factor (=1 -1.5)

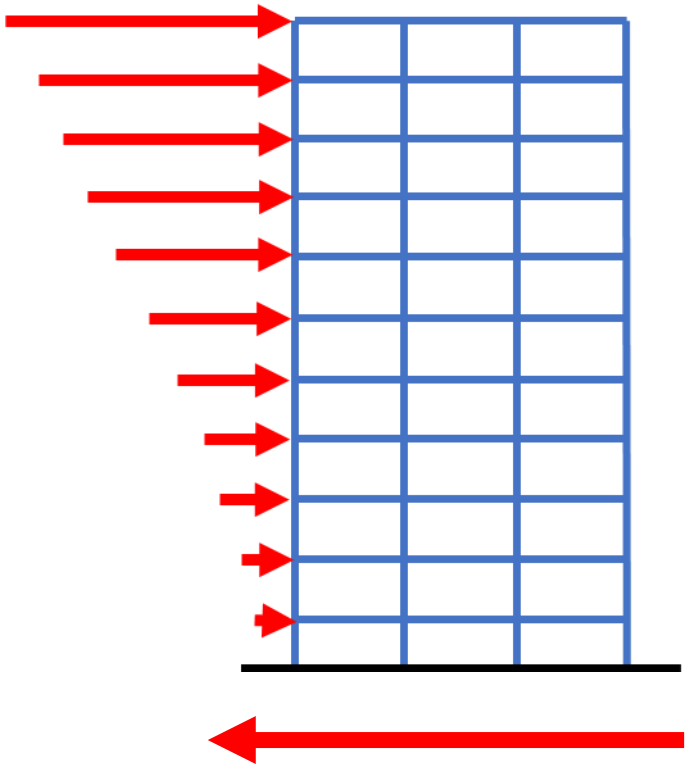
$$V = \frac{S_a(T) \cdot I}{R} W$$

Design Base Shear

Response Modification Factor

Weight

แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (V)



V = BASE SHEAR

Spectral Acceleration as a Function of Period

Importance Factor (=1 -1.5)

$$V = \frac{S_a(T) \cdot I}{R} W$$

Design Base Shear

Response Modification Factor

Weight

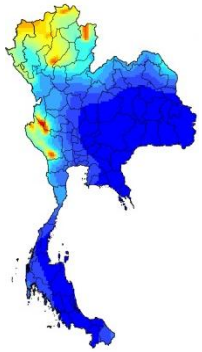
ตัวประกอบความสำคัญ (Importance Factor)

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ	ตัวประกอบความสำคัญ
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้น ๆ เช่น - อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร - อาคารชั่วคราว - อาคารเก็บของเล็ก ๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ	I (น้อย)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภท ความสำคัญ น้อย มาก และสูงมาก	II (ปกติ)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น - อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่ง ๆ มากกว่า 300 คน - โรงเรียนประถมหรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน - มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย ที่มีความจุมากกว่า 500 คน - สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ	III (มาก)	1.25
อาคารและโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน หรือ อาคารที่จำเป็นต่อการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุ เช่น - โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และโรงเก็บรถฉุกเฉินต่าง ๆ - โรงไฟฟ้า - โรงผลิตน้ำประปา ถังเก็บน้ำ และสถานีสูบจ่ายน้ำที่มีความดันสูงสำหรับการดับเพลิง - อาคารศูนย์สื่อสาร - อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย - ท่าอากาศยาน ศูนย์บังคับการบิน และโรงเก็บเครื่องบิน ที่ต้องใช้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน - อาคารศูนย์บัญชาการแห่งชาติ อาคารและโครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ การจัดเก็บ หรือการใช้สารพิษ เชื้อเพลิง หรือสารเคมีอันอาจก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นได้	IV (สูงมาก)	1.5

ขั้นตอนการคำนวณแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

ขั้นตอนการคำนวณด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า

(1)
กำหนดภัยแผ่นดินไหว



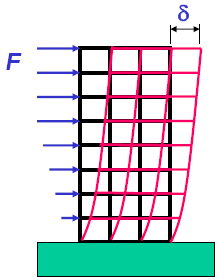
ประเภทอาคาร



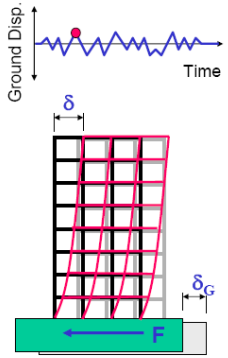


(2)
เลือกระบบโครงสร้าง
และ ตัวประกอบสำหรับ
การออกแบบ

(3)
วิธีแรงสถิตเทียบเท่า



(4)
วิธีเชิงพลศาสตร์



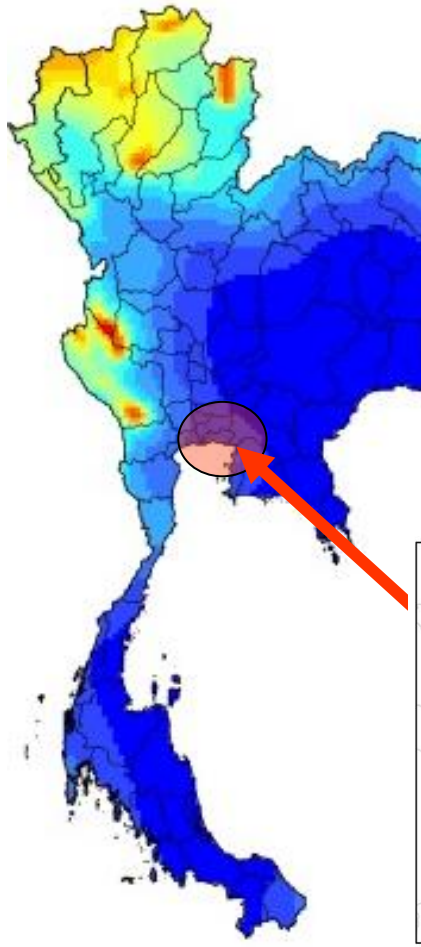
(5)
การให้
รายละเอียด
เหล็กเสริม
โครงสร้าง

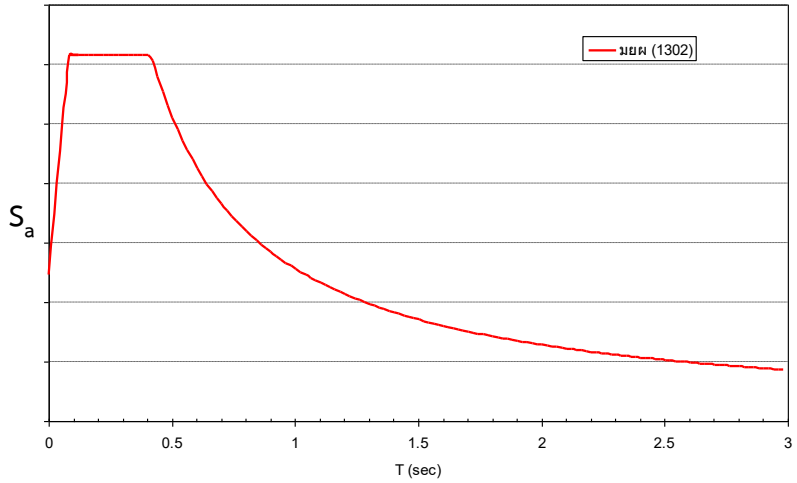
(1)

การกำหนดภัยแผ่นดินไหวสำหรับการคำนวณออกแบบ

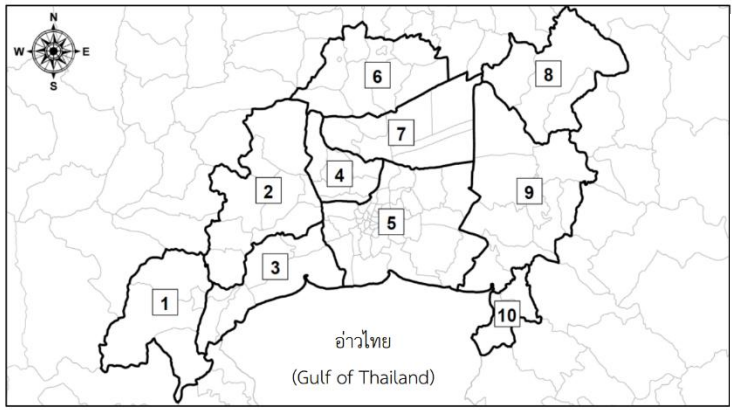
การกำหนดภัยแผ่นดินไหวสำหรับการคำนวณออกแบบ

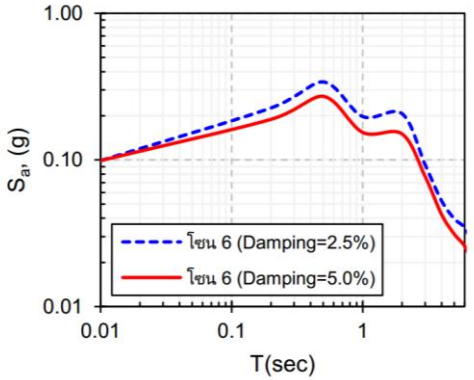
พื้นที่นอกแอ่ง กทม กำหนดตามที่ตั้งและลักษณะชั้นดิน





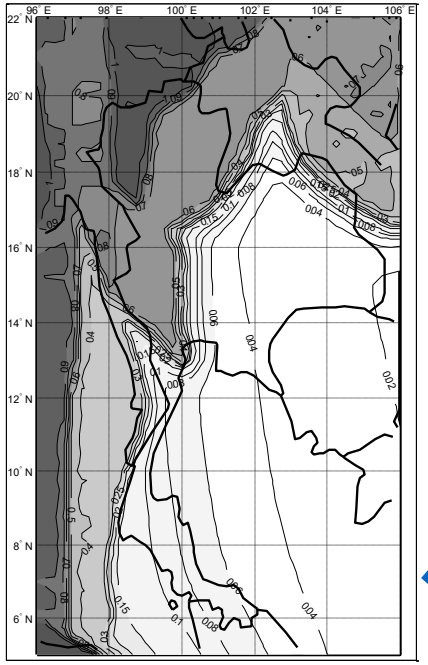
พื้นที่บริเวณแอ่ง กทม



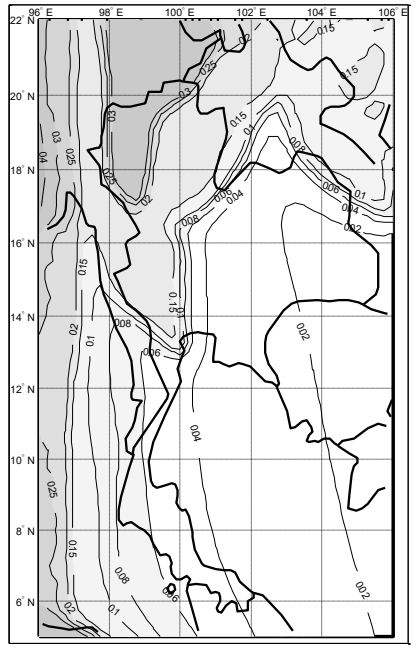


การกำหนดภัยแผ่นดินไหวสำหรับการคำนวณออกแบบ

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา (Maximum Considered Earthquake) ที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_s) และ คาบการสั่น 1 วินาที (S_1)

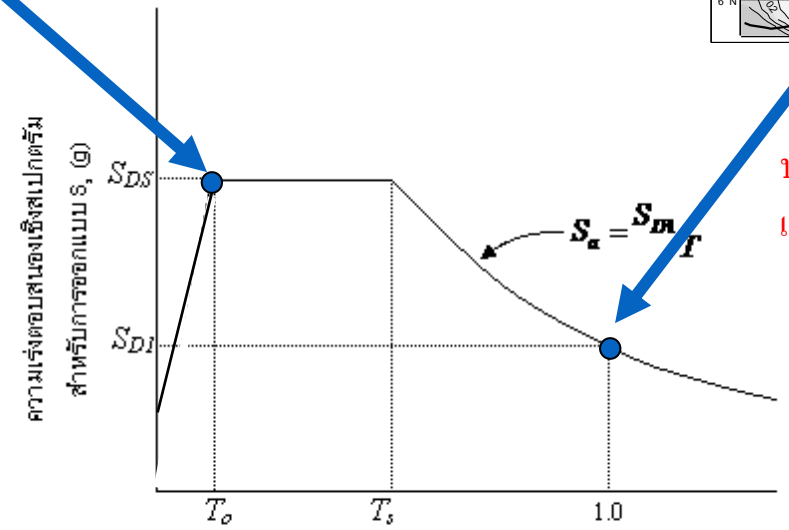


T = 0.2s
S_s



T = 1.0s
S_1

ปรับผลของชั้นดิน
และลดทอน 2/3



ปรับแก้ผลของชั้นดิน
และลดทอน 2/3

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา (Maximum Considered Earthquake) ที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_S) และ คาบการสั่น 1 วินาที (S_1)

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม	
		S_S	S_1
	เวียงป่าเป้า	0.855	0.195
เชียงใหม่	จอมทอง	0.893	0.243
	เชียงดาว	1.019	0.266
	ไชยปราการ	1.018	0.265
	ดอยเต่า	0.834	0.237
	ดอยสะเก็ด	0.910	0.225
	ดอยหล่อ	0.926	0.248
	ฝาง	1.038	0.282
	พร้าว	0.953	0.238
	เมืองเชียงใหม่	0.963	0.248
	แม่แจ่ม	0.891	0.242
	แม่แตง	0.992	0.260
	แม่ริม	0.984	0.254
	แม่วาง	0.936	0.248
	แม่อาย	1.080	0.317
	แม่ออน	0.867	0.187
	เวียงแหง	1.032	0.274
	สะเมิง	0.967	0.258
	สันกำแพง	0.926	0.230
	สันทราย	0.973	0.251
	สันป่าตอง	0.938	0.244
	สารภี	0.927	0.236
	หางดง	0.931	0.243
	อมก๋อย	0.857	0.244
	ฮอด	0.849	0.237
ตรัง	กันตัง	0.199	0.096

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม	
		S_S	S_1
	คลองใหญ่	0.034	0.023
	บ่อไร่	0.037	0.027
	เมืองตราด	0.036	0.027
	แหลมงอบ	0.037	0.028
ตาก	ท่าสองยาง	0.733	0.185
	บ้านตาก	0.561	0.154
	พบพระ	0.597	0.156
	เมืองตาก	0.543	0.142
	แม่ระมาด	0.635	0.172
	แม่สอด	0.609	0.156
	วังเจ้า	0.535	0.137
	สามเงา	0.577	0.163
	อุ้มผาง	0.607	0.184
นครปฐม	กำแพงแสน	0.279	0.101
นครพนม	ท่าอุเทน	0.307	0.064
	ธาตุพนม	0.087	0.032
	นาแก	0.077	0.031
	นาทม	0.255	0.059
	นาหว้า	0.129	0.040
	บ้านแพง	0.336	0.072
	ปลาปาก	0.125	0.038
	โพนสวรรค์	0.213	0.050
	เมืองนครพนม	0.283	0.060
	เรณูนคร	0.109	0.035
	วังยาง	0.091	0.033
	ศรีสงคราม	0.228	0.053

การปรับแก้ผลจากชั้นดิน

ตารางที่ 1.4-2 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดินที่ ณ ที่ตั้งอาคาร F_a

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

ตารางที่ 1.4-3 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร F_v

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

การจำแนกประเภทของชั้นดิน

หินแข็ง



หิน





ดินอ่อนมาก



ประเภทชั้นดิน	$\bar{v}_s$	$\bar{N}$ หรือ $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$
A	>1500 เมตร/วินาที	-	-
B	750 - 1500 เมตร/วินาที	-	-
C	360 – 750 เมตร/วินาที	>50	> 100 กิโลปาสกาล
D	180 – 360 เมตร/วินาที	15 – 50	50 – 100 กิโลปาสกาล
E	< 180 เมตร/วินาที	< 15	< 50 กิโลปาสกาล
	มีชั้นดินที่มีความหนามากกว่า 3 เมตร ที่มีคุณสมบัติดังนี้ Plasticity Index (PI) > 20 Moisture Content (w) > 40% $\bar{s}_u$ < 25 กิโลปาสกาล		
F	เกณฑ์ตามที่กำหนดในหัวข้อ ก.3.1		

หมายเหตุ ค่าของการทดสอบฝังจมมาตรฐานเฉลี่ย $(\bar{N})$ ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก

ค่าของการทดสอบฝังจมมาตรฐานเฉลี่ยสำหรับชั้นทราย $(\bar{N}_{ch})$

ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย $(\bar{v}_s)$

ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเฉลี่ย $(\bar{s}_u)$

การจำแนกประเภทของชั้นดิน

ก.1 การจำแนกประเภทชั้นดินที่ตั้งอาคาร

การจำแนกประเภทของชั้นดินที่ตั้งอาคาร จะพิจารณาจากคุณสมบัติของชั้นดิน ตั้งแต่ผิวดินลงไปจนถึงความลึก 30 เมตร หากไม่มีข้อมูลดินที่ชัดเจนเพียงพอที่จะนำมาใช้จำแนกประเภท และไม่สามารถทำการสำรวจดิน ให้สมมุติว่าประเภทของชั้นดิน เป็นประเภท D เว้นแต่กรณีที่มี ผู้เชี่ยวชาญ หรือ หน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้อง กำหนดว่าชั้นดิน ณ ตำแหน่งนั้นเป็นประเภท E หรือ F นอกจากนี้ ในกรณีที่มีชั้นดินที่หนามากกว่า 3 เมตร อยู่ระหว่างฐานรากกับชั้นหิน จะต้องไม่กำหนดให้ชั้นดินเป็นประเภท A หรือ B

ในกรณีที่อาคารตั้งอยู่บนชั้นดินประเภท F จะต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดินต่อคลื่นการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (Site Response Analysis) เพื่อนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ในการออกแบบอาคาร

การปรับแก้ผลเนื่องจากชั้นดิน

$$S_{MS} = F_a S_S \qquad (1.4\text{-}1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \qquad (1.4\text{-}2)$$

โดยที่

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

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

F_a = สัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่น 0.2 วินาที

F_v = สัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่น 1 วินาที

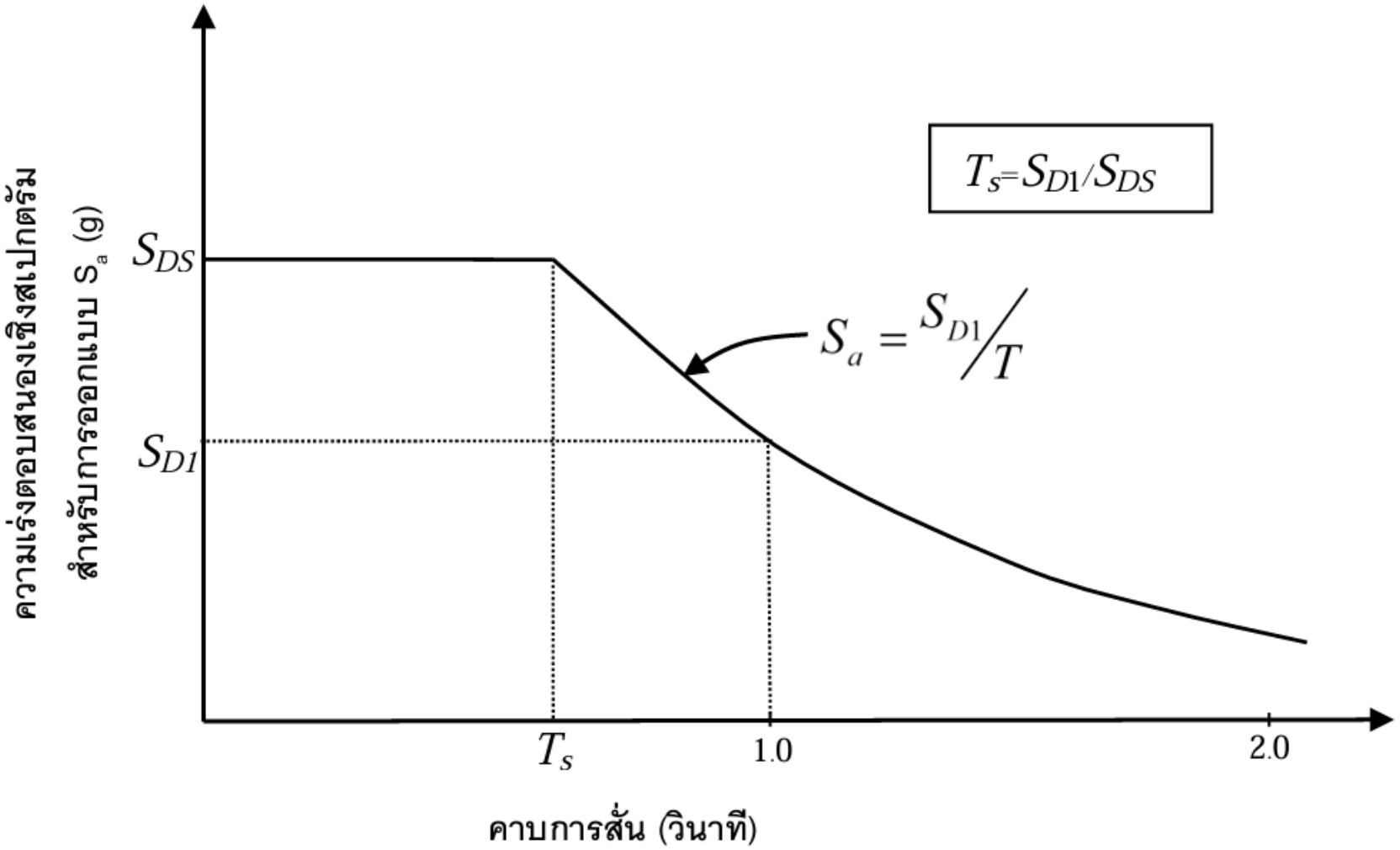
ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ (Design Spectral Acceleration)

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \qquad (1.4\text{-}3)$$

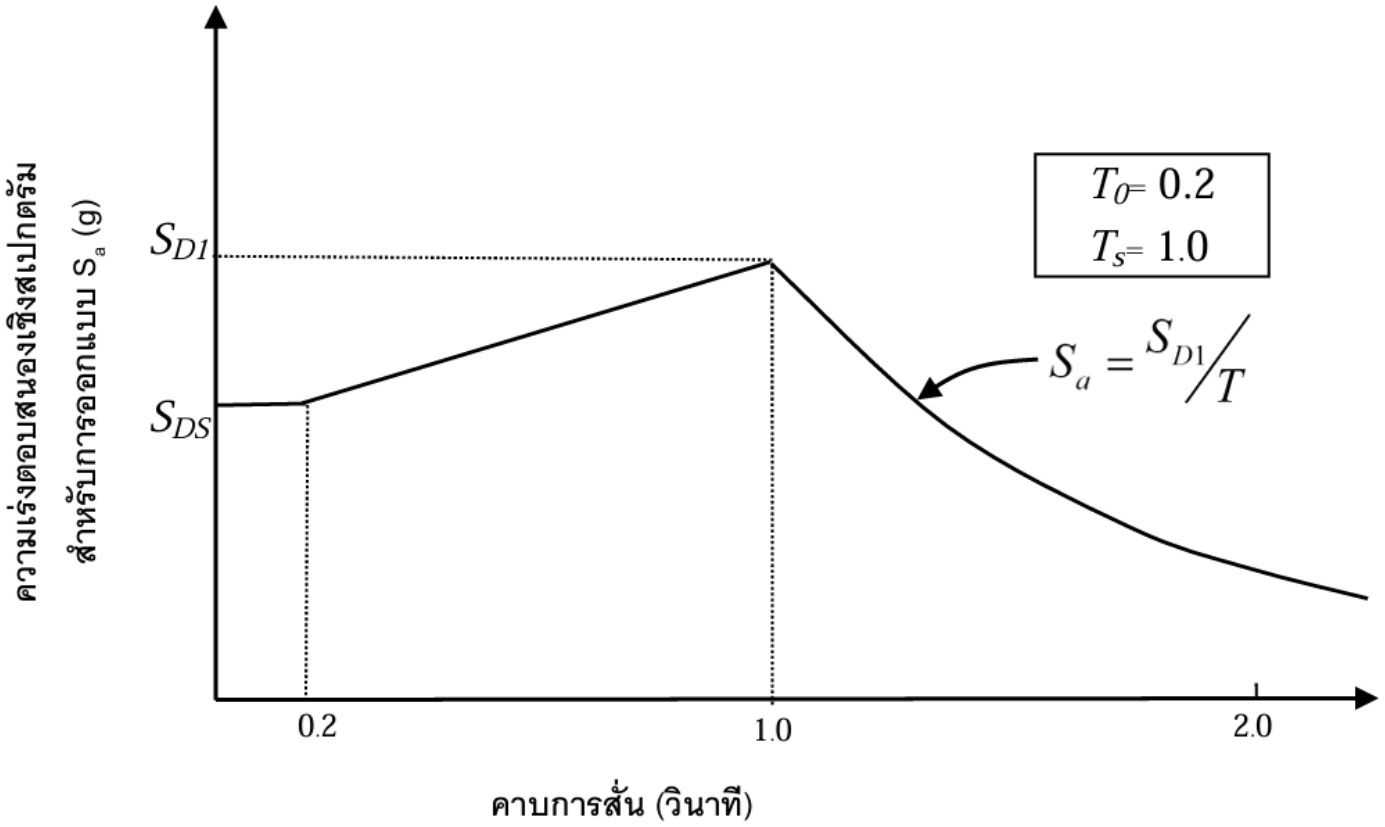
$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \qquad (1.4\text{-}4)$$

สเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีสถิตย์เทียบเท่า



รูปที่ 1.4-1 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศ (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} \leq S_{DS}$

สเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีสถิตย์เทียบเท่า



รูปที่ 1.4-2 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศ (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$

การปรับค่าความหน่วง

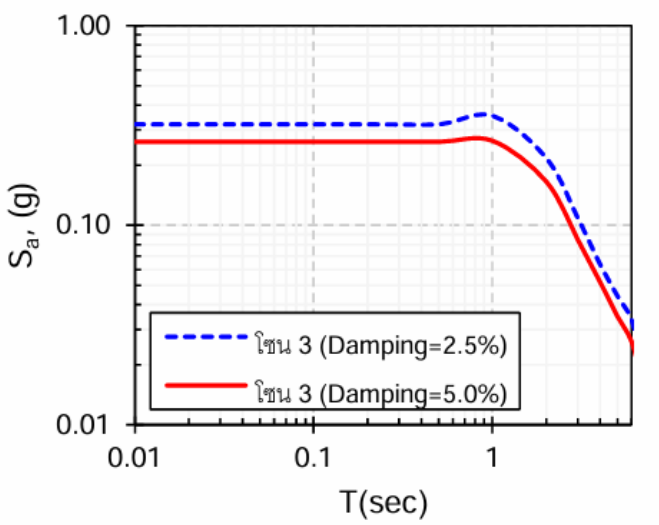
1.4 ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว

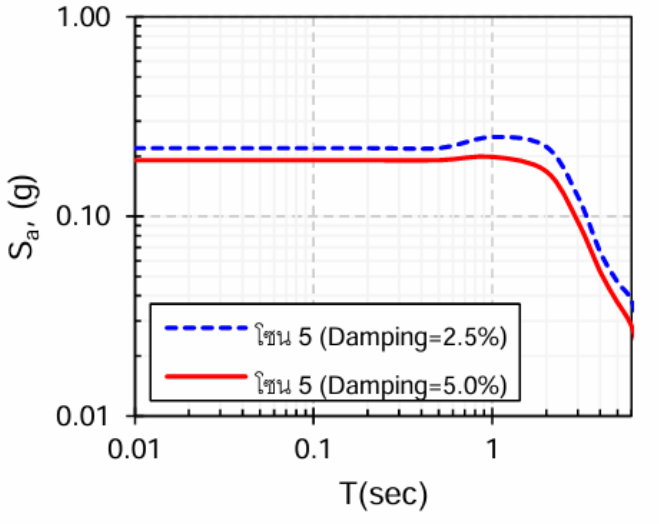
เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว อาคารต่าง ๆ จะมีการตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือ ระดับความรุนแรงจากแผ่นดินไหว คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร อัตราส่วนความหน่วงของอาคาร และปัจจัยประกอบอื่น ๆ ในมาตรฐานนี้ ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวและผลตอบสนองของอาคาร แสดงอยู่ในรูปของ “ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม” ซึ่งเป็นค่าบนพื้นดินและมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามคาบการสั่นและอัตราส่วนความหน่วงของอาคาร

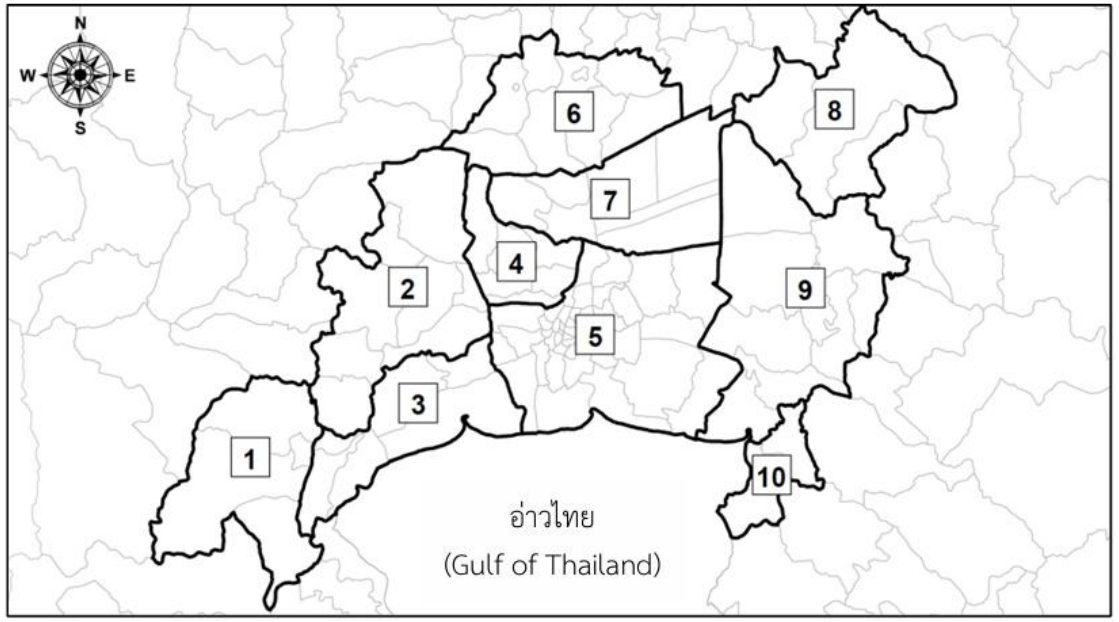
โดยทั่วไปอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่าอัตราส่วนความหน่วงลดลงเมื่ออาคารมีความสูงเพิ่มขึ้น สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมีความสูงไม่เกิน 60 เมตร ให้ใช้ค่าอัตราส่วนความหน่วงไม่เกินร้อยละ 5 ส่วนอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความสูงเกินกว่า 60 เมตร ให้ใช้ค่าอัตราส่วนความหน่วงไม่เกินร้อยละ 2.5 อาคารที่ใช้โครงสร้างเหล็กให้ใช้ค่าอัตราส่วนความหน่วงไม่เกินร้อยละ 2.5

อนุญาตให้ใช้ค่าอัตราส่วนความหน่วงสูงกว่าที่กำหนดข้างต้นเฉพาะในกรณีที่วิศวกรสามารถแสดงข้อมูลที่เชื่อถือได้ว่าโครงสร้างที่กำลังพิจารณามีอัตราส่วนความหน่วงเป็นค่าอื่น เช่น อาคารที่ติดตั้งอุปกรณ์หน่วงการสั่นไหว

สเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีสถิตย์เทียบเท่าในแอ่ง กทม



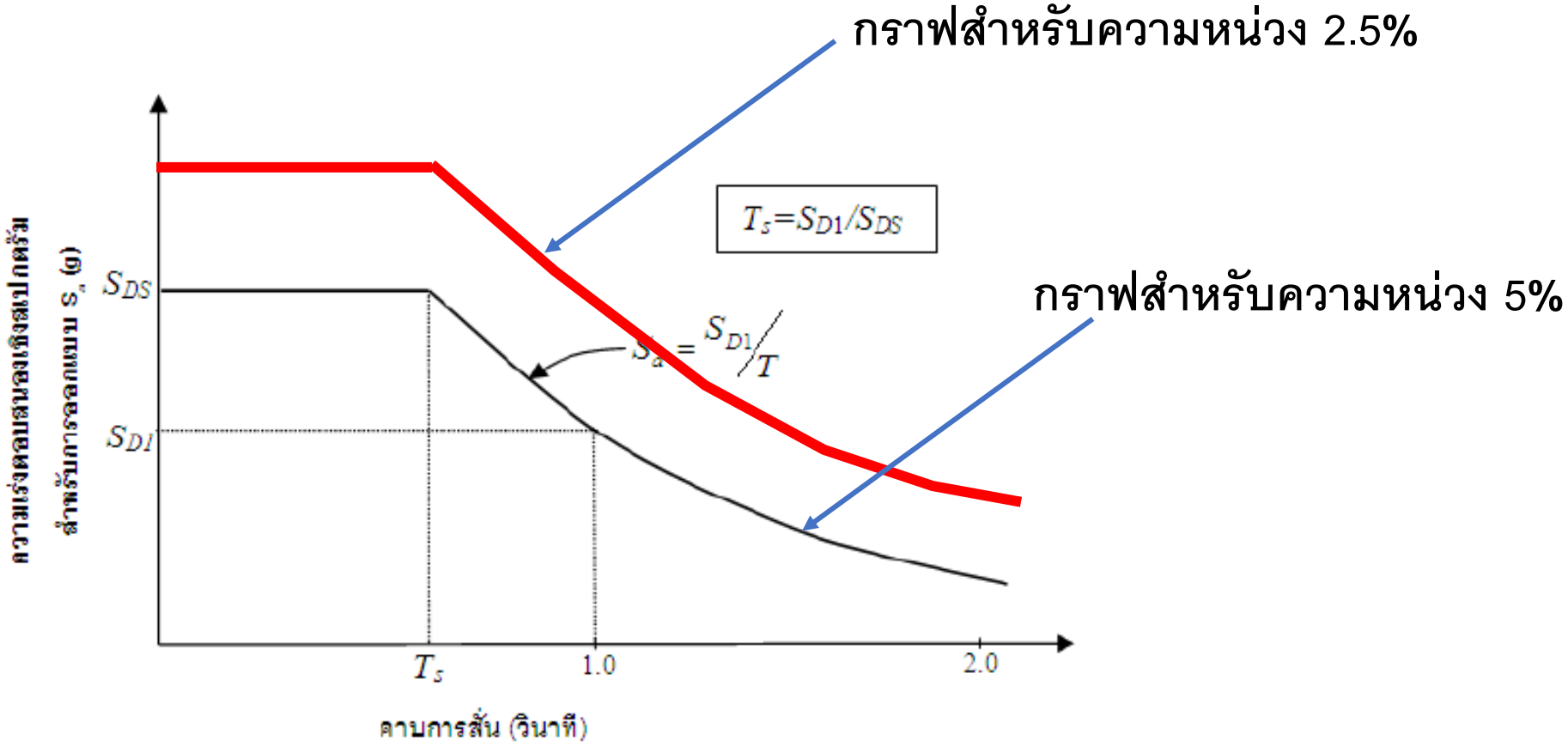




ตารางที่ 1.4-5 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าสำหรับพื้นที่ในโซนต่าง ๆ (อัตราส่วนความหน่วง 5.0%) ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ

S_a / โซน	S_a (0.01s)	S_{DS} (0.2 s)	S_a (0.5 s)	S_{D1} (1.0s)	S_a (2.0 s)	S_a (3.0 s)	S_a (4.0 s)	S_a (5.0 s)	S_a (6.0 s)
1	0.360	0.360	0.360	0.181	0.085	0.041	0.034	0.024	0.022
2	0.352	0.352	0.352	0.193	0.151	0.084	0.047	0.030	0.024
3	0.262	0.262	0.262	0.265	0.166	0.085	0.052	0.035	0.026
4	0.287	0.287	0.287	0.207	0.163	0.078	0.032	0.023	0.020
5	0.191	0.191	0.191	0.199	0.168	0.094	0.053	0.037	0.028
6	0.272	0.272	0.272	0.154	0.150	0.077	0.042	0.031	0.026
7	0.246	0.246	0.246	0.181	0.132	0.084	0.051	0.036	0.030
8	0.162	0.162	0.162	0.075	0.041	0.025	0.015	0.010	0.008
9	0.214	0.214	0.214	0.156	0.107	0.048	0.022	0.014	0.011
10	0.179	0.179	0.179	0.049	0.035	0.023	0.014	0.010	0.008

การปรับค่าความหน่วง



สำหรับวิธีสถิตเทียบเท่า สามารถปรับแก้ได้ด้วยการหารค่าความเร่งตอบสนองเชิงเสปกตรัม ด้วย 0.85

ตัวอย่าง

ความเร่งตอบสนอง อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม	
		S_s	S_1
เชียงใหม่	จอมทอง	0.893	0.243
	เชียงดาว	1.019	0.266
	ไชยปราการ	1.018	0.265
	ดอยเต่า	0.834	0.237
	ดอยสะเก็ด	0.910	0.225
	ดอยหล่อ	0.926	0.248
	ฝาง	1.038	0.282
	พร้าว	0.953	0.238
	เมืองเชียงใหม่	0.963	0.248
	แม่แจ่ม	0.891	0.242

- พื้นที่ อ.เมืองเชียงใหม่
- S_s = 0.963g S_1 = 0.248g
- ชั้นดินประเภท D
- อาคารสูง 17 เมตร

ค่าสัมประสิทธิ์ชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

สมมติชั้นดินปกติประเภท D

S_S = 0.963g

Fa=1.2-(0.963-0.75)(1.2-1.1)/(1.0-0.75)

F_a = 1.11

S_1 = 0.248g

Fv=2.0-(0.248-0.20)(2.0-1.8)/(0.3-0.20)

F_v = 1.90

ตารางที่ 1.4-2 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดินที่ ณ ที่ตั้งอาคาร F_a

ประเภทของชั้นดิน	ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาที่คาบ 0.2 วินาที				
	$S_S \le 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \ge 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของดินเป็นกรณี ๆ ไป				

ตารางที่ 1.4-3 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร F_v

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

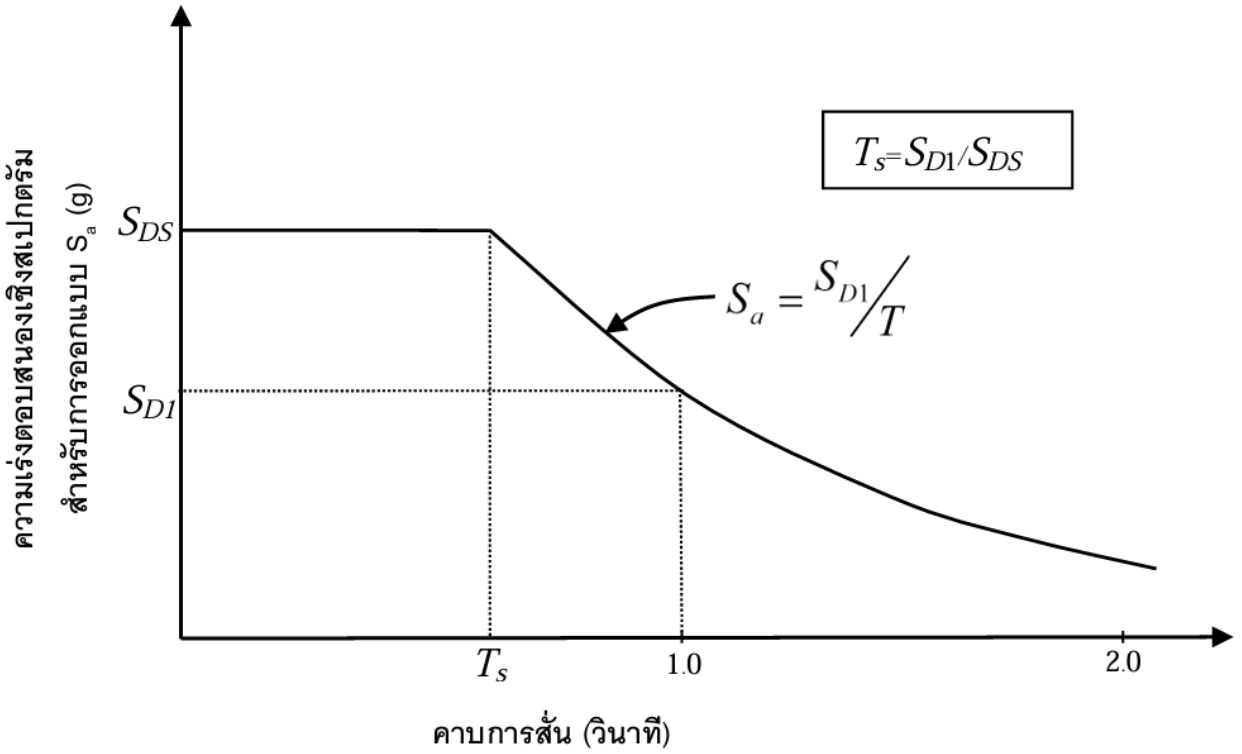
ที่มา: มยผ.1301/1302-61

ความเร่งตอบสนองสำหรับการออกแบบ

$$S_{DS} = \frac{2}{3} F_a S_S = \frac{2}{3} \times 1.11 \times 0.963g = 0.71g$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} F_v S_1 = \frac{2}{3} \times 1.90 \times 0.248g = 0.31g$$

$$T_S = S_{D1}/S_{DS} = 0.31/0.71 = 0.43 \text{ sec}$$

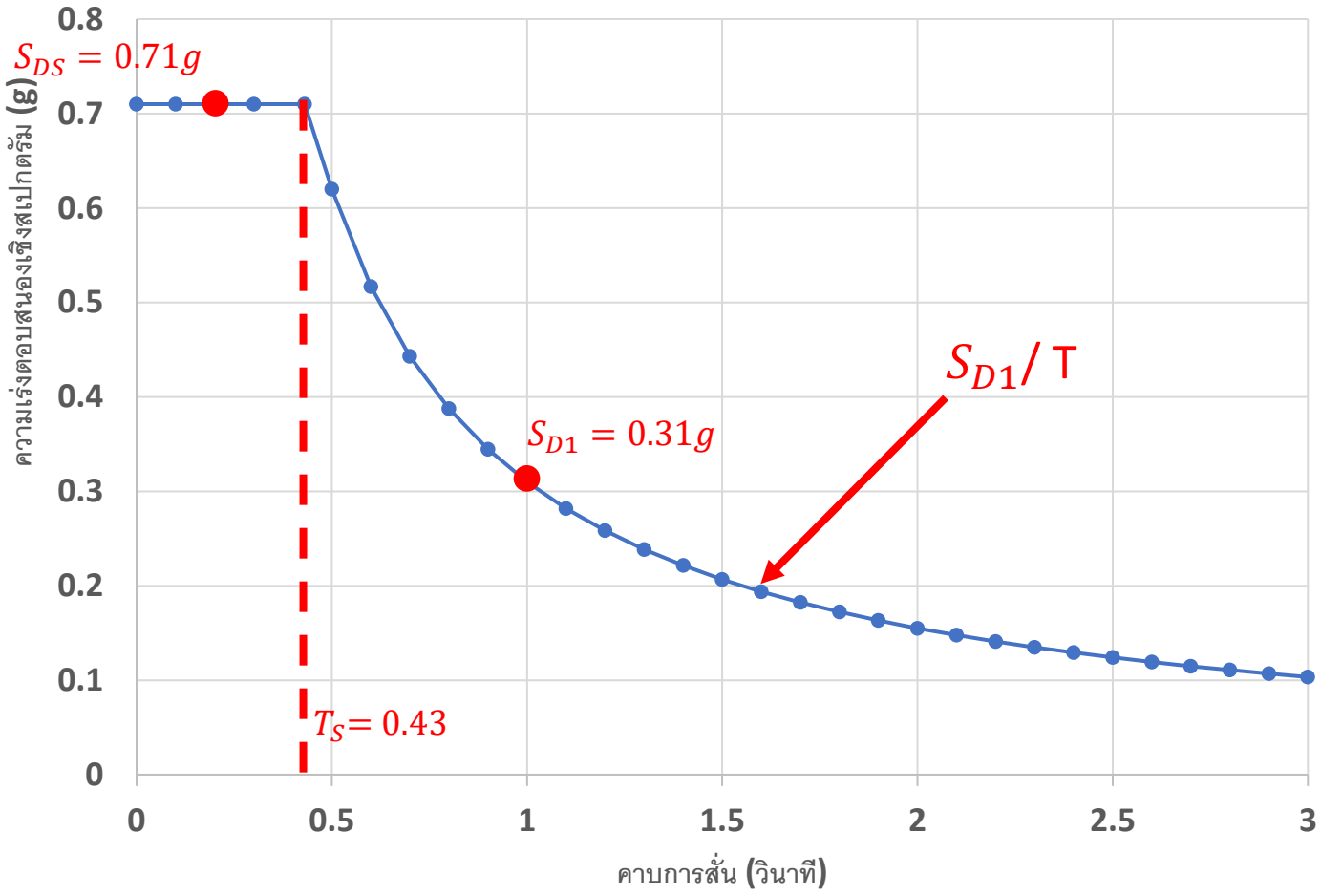


ความเร่งตอบสนองสำหรับการออกแบบ

$$S_{DS} = \frac{2}{3} F_a S_S = \frac{2}{3} \times 1.11 \times 0.963g = 0.71g$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} F_v S_1 = \frac{2}{3} \times 1.90 \times 0.248g = 0.31g$$

$$T_S = S_{D1}/S_{DS} = 0.31/0.71 = 0.43 \text{ sec}$$



(2)

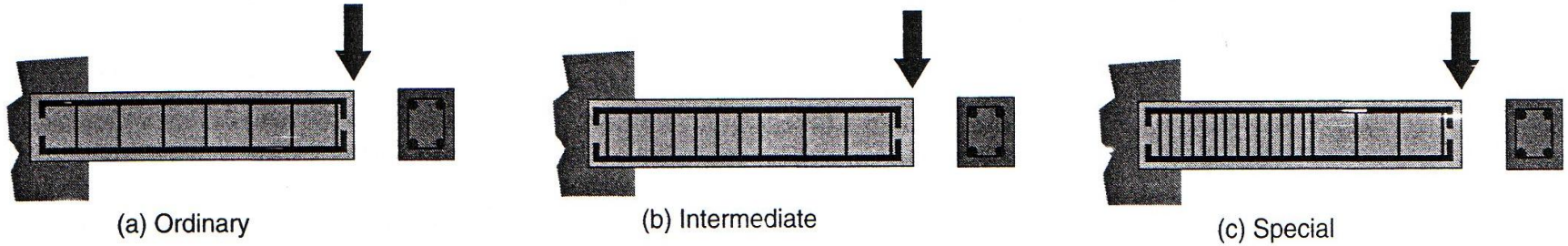
เลือกระบบโครงสร้างและตัวประกอบการออกแบบ

แนวคิดการออกแบบและเลือกรูปแบบโครงสร้าง

- **การออกแบบโครงสร้าง**
  - เพื่อให้ต้านทานแรงแผ่นดินไหว (Earthquake Resistant)
- **ความเสียหายต่อโครงสร้าง**
  - เกิดขึ้นได้ ➔ แต่ต้องไม่เกิดการพังทลายของโครงสร้าง
  - โครงสร้างต้องมีการให้รายละเอียดเพื่อความเหนียว ความเสียหายที่เกิดขึ้นเป็นรูปแบบ Ductile มีขนาดที่ยอมรับได้ในจุดที่ควรจะเกิด (เป็นความเสียหายแบบควบคุม)

แนวคิดการออกแบบและเลือกรูปแบบโครงสร้าง

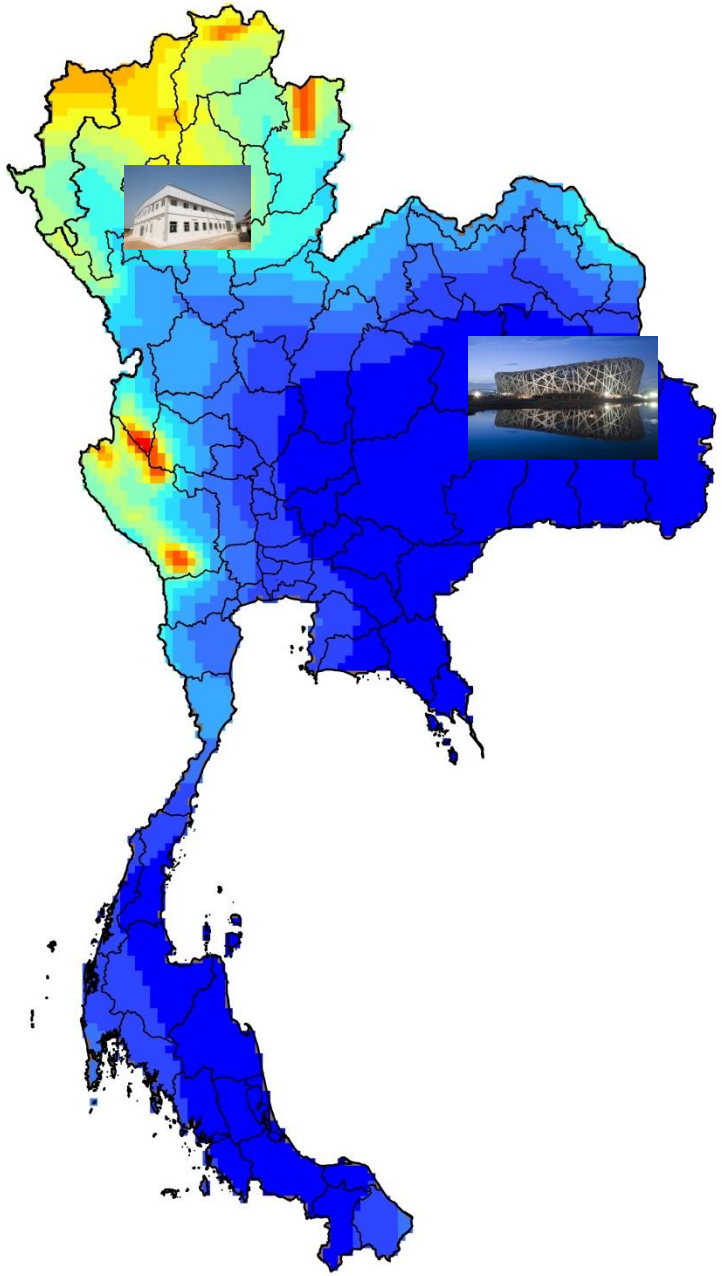
1. ระดับความเหนียวของโครงสร้าง จะขึ้นกับลักษณะการให้รายละเอียด แบ่งได้เป็นความเหนียวธรรมดา ความเหนียวปานกลาง และ ความเหนียวพิเศษ



2. ระบบโครงสร้างที่ใช้ได้ จะขึ้นกับระดับความรุนแรงแผ่นดินไหว เรียกว่า ประเภทการออกแบบ แบ่งเป็น ประเภทการออกแบบ ก ข ค และ ง
   - แบบ ก รุนแรงน้อย (ไม่ต้องคำนวณแรงออกแบบ)
   - แบบ ข และ ค รุนแรงปานกลาง ใช้แบบ Intermediate หรือ Special
   - แบบ ง รุนแรงมาก ใช้แบบ Special หรือแบบ Intermediate แต่มีเงื่อนไข

การกำหนดประเภทการออกแบบ

- ประเภทการออกแบบเป็นตัวกำหนดระบบโครงสร้างและวิธีออกแบบ โดยมีประเภทการออกแบบทั้งหมด 4 ประเภท
  - ก ไม่ต้องออกแบบ
  - ข ค ง ออกแบบและมีข้อจำกัดทางโครงสร้างเข้มงวดขึ้นตามลำดับ
- การกำหนดประเภทการออกแบบ ขึ้นกับความสำคัญของอาคารและที่ตั้งอาคาร



การกำหนดความสำคัญ

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ	ตัวประกอบความสำคัญ
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้น ๆ เช่น - อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร - อาคารชั่วคราว - อาคารเก็บของเล็ก ๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ	I (น้อย)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภท ความสำคัญ น้อย มาก และสูงมาก	II (ปกติ)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น - อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่ง ๆ มากกว่า 300 คน - โรงเรียนประถมหรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน - มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย ที่มีความจุมากกว่า 500 คน - สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ	III (มาก)	1.25

การกำหนดความสำคัญ

อาคารและโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน หรือ อาคารที่จำเป็นต่อการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุ เช่น - โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และโรงเก็บรถฉุกเฉินต่าง ๆ - โรงไฟฟ้า - โรงผลิตน้ำประปา ถังเก็บน้ำ และสถานีสูบจ่ายน้ำที่มีความดันสูงสำหรับการดับเพลิง - อาคารศูนย์สื่อสาร - อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย - ท่าอากาศยาน ศูนย์บังคับการบิน และโรงเก็บเครื่องบิน ที่ต้องใช้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน - อาคารศูนย์บัญชาการแห่งชาติ อาคารและโครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ การจัดเก็บ หรือการใช้สารพิษ เชื้อเพลิง หรือสารเคมีอันอาจก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นได้	IV (สูงมาก)	1.5

การกำหนดประเภทการออกแบบ

- การกำหนดประเภทการออกแบบ ขึ้นกับความสำคัญของอาคารและที่ตั้งอาคาร

ตารางที่ 1.6-1 การแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{DS}

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

ตารางที่ 1.6-2 การแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{D1}

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

การกำหนดประเภทการออกแบบ

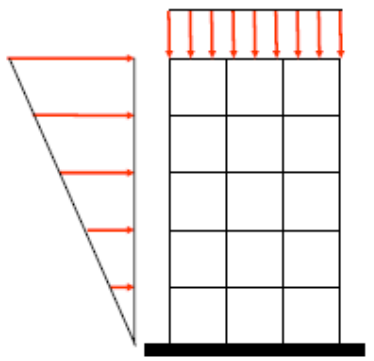
สำหรับพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ ค่า S_{DS} และ S_{D1} มีค่าเท่ากับความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (S_a) ที่คาบการสั่น 0.2 วินาที และ 1.0 วินาที ตามลำดับ (อัตราส่วนความหน่วงร้อยละ 5) ดังแสดงในตารางที่ 1.4-5

สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศยกเว้นแอ่งกรุงเทพ หากประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวที่กำหนดตามเกณฑ์ในตารางที่ 1.6-1 แตกต่างจากที่กำหนดตามเกณฑ์ในตารางที่ 1.6-2 ให้ยึดถือประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวที่เข้มงวดกว่า แต่ในกรณีที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T) ที่คำนวณโดยใช้สมการ 3.3-1 หรือ 3.3-2 มีค่าน้อยกว่า $0.8T_s$ โดยที่ T_s มีค่าเป็นไปตามที่กำหนดในหัวข้อที่ 1.4.5 อนุญาตให้กำหนดประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยใช้เฉพาะเกณฑ์ในตารางที่ 1.6-1 เท่านั้น

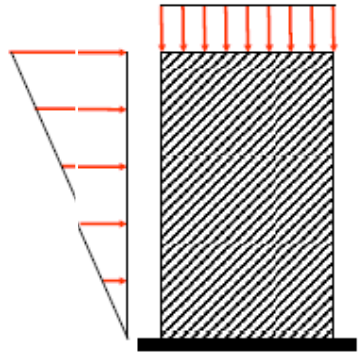
สำหรับพื้นที่แอ่งกรุงเทพ ในกรณีที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T) ที่คำนวณโดยใช้สมการ 3.3-1 หรือ 3.3-2 มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 วินาที ให้กำหนดประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยใช้เฉพาะเกณฑ์ในตารางที่ 1.6-1 เท่านั้น แต่ในกรณีที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T) ดังกล่าวมีค่ามากกว่า 0.5 วินาที ให้กำหนดประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยใช้เฉพาะเกณฑ์ในตารางที่ 1.6-2 เท่านั้น

การเลือกรูปแบบโครงสร้าง

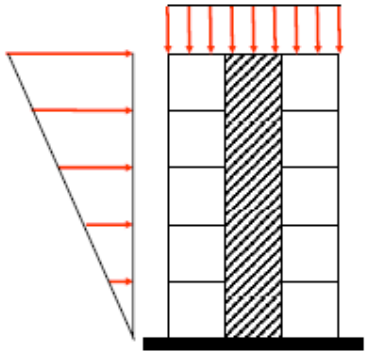
- กำหนดระบบโครงสร้างและเลือกตัวประกอบการออกแบบ



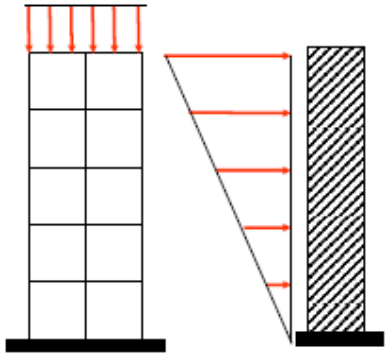
โครงต้านแรงดัด



กำแพงรับแรง



ระบบผสม



ระบบโครงอาคาร

การเลือกรูปแบบโครงสร้าง

- รูปแบบโครงสร้างจะเป็นตัวกำหนดตัวประกอบที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ ได้แก่ ตัวประกอบ R C_d และ Ω_o

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
1. ระบบกำแพงรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง (Bearing Wall System)	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	4	2.5	4	√	√	*
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	5	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall) ++	3	2.5	3	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precaset Shear Wall)++	4	2.5	4	√	√	X
2. ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงดัดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	8	2	4	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment-Resisting Connections)	7	2	4	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบให้รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	3.5	2	3.5	√	√	X
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	4.5	√	√	*
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall) ++	4	2.5	4	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall) ++	5	2.5	4.5	√	√	X

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
3. ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (Ductile/Special Steel Moment-Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงถักต้านแรงดัดที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	7	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	4.5	3	4	√	√	*
	โครงต้านแรงดัดเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3	√	√	X
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (แบบหล่อในที่ หรือ แบบหล่อสำเร็จ) (Precast or Cast-in-Place Ductile/Special Reinforced Concrete Moment Resisting Frame) ++	8	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัด (Ductile RC Moment-Resisting Frame with Limited Ductility/ Intermediate RC Moment-Resisting Frame)	5	3	4.5	√	√	*
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	3	3	2.5	√	X	X
4. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Ductile/Special Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับโครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ (Steel Eccentrically Braced Frame)	8	2.5	4	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	*

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
5. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัดที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Moment Resisting Frame with Limited Ductility / Dual System with Intermediate Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบพิเศษ(Special Steel Concentrically Braced Frame)	6	2.5	5	√	√	X
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6.5	2.5	5	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5.5	2.5	4.5	√	√	*
6. ระบบปฏิสัมพันธ์ (Shear Wall Frame Interactive System)	ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำแพงรับแรงเฉือนและโครงต้านแรงดัดแบบธรรมดาที่ไม่มีการให้รายละเอียดความเหนียว (Shear Wall Frame Interactive System with Ordinary Reinforced Concrete Moment Frame and Ordinary Concrete Shear Wall)	4.5	2.5	4	√	X	X
7. ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว (Steel Systems Not Specifically Detailed for Seismic Resistance)	ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว	3	3	3	√	√	X

* ข้อกำหนดด้านความสูงสำหรับประเภทการออกแบบต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ง

ระบบต้านแรงด้านข้างที่ประกอบด้วย กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัด หรือ โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง สำหรับประเภทการออกแบบต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ง สามารถใช้ได้กับอาคาร ที่มีความสูงไม่เกินค่าต่อไปนี้

(1) 40 เมตร สำหรับ โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัด และโครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง

(2) 60 เมตร สำหรับ กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา

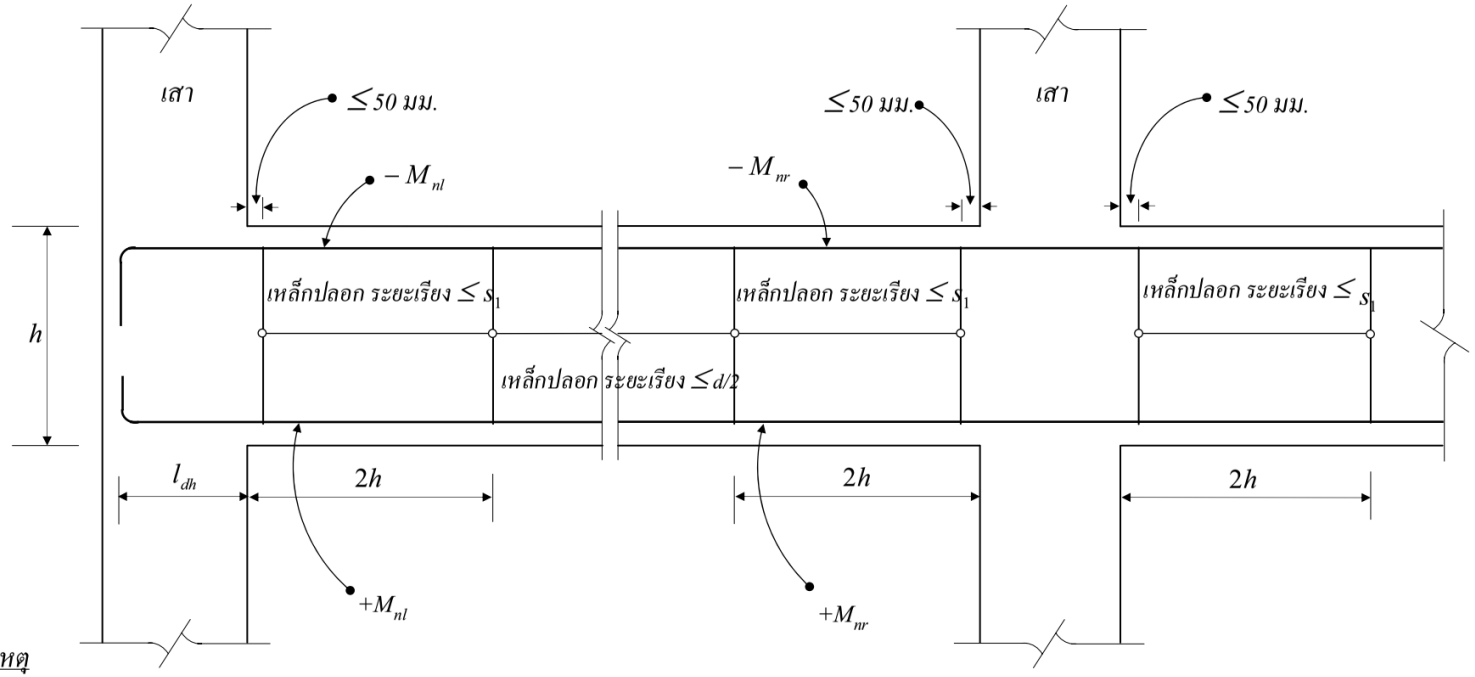
*การออกแบบด้านกำลัง ให้เพิ่มค่าแรงแผ่นดินไหวอีกร้อยละ 40

**การคำนวณค่าการเสียรูป ไม่จำเป็นต้องเพิ่มค่าแรงที่ใช้ในการคำนวณ

ที่มา: มยผ.1301/1302-61

ตัวอย่างระบบโครงสร้าง

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
3. ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัด (Ductile RC Moment-Resisting Frame with Limited Ductility/ Intermediate RC Moment-Resisting Frame)	5	3	4.5	√	√	*



หมายเหตุ

ก) ระยะเรียงของเหล็กปลอก s_1 ต้องไม่มากกว่าค่าที่น้อยสุดของค่าดังต่อไปนี้

(1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิผล

(2) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามความยาวที่มีขนาดเล็กสุด

(3) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก และ

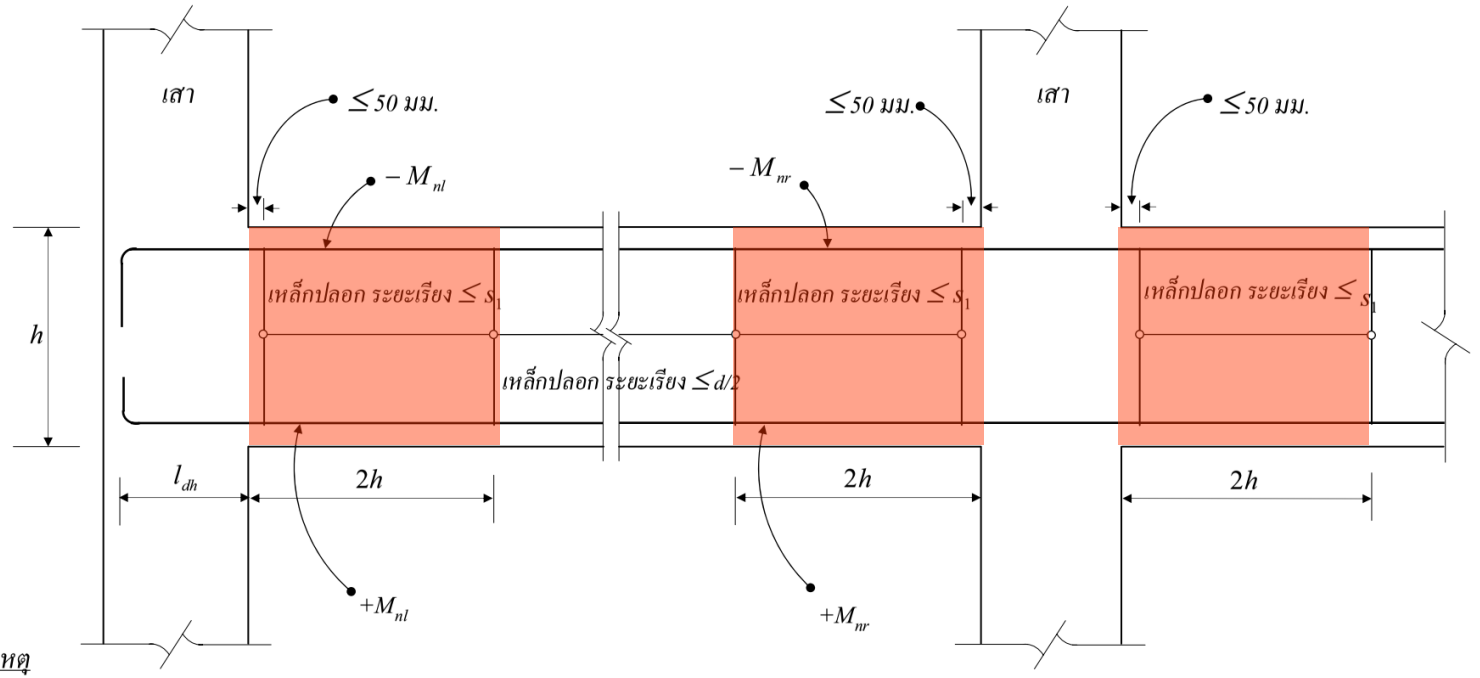
(4) 300 มิลลิเมตร

ข) กำลังต้านโมเมนต์ของคานต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(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 $-M_{nr}$

ตัวอย่างระบบโครงสร้าง



หมายเหตุ

ก) ระยะเรียงของเหล็กปลอก s_1 ต้องไม่มากกว่าค่าที่น้อยสุดของค่าดังต่อไปนี้

(1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิผล

(2) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามความยาวที่มีขนาดเล็กสุด

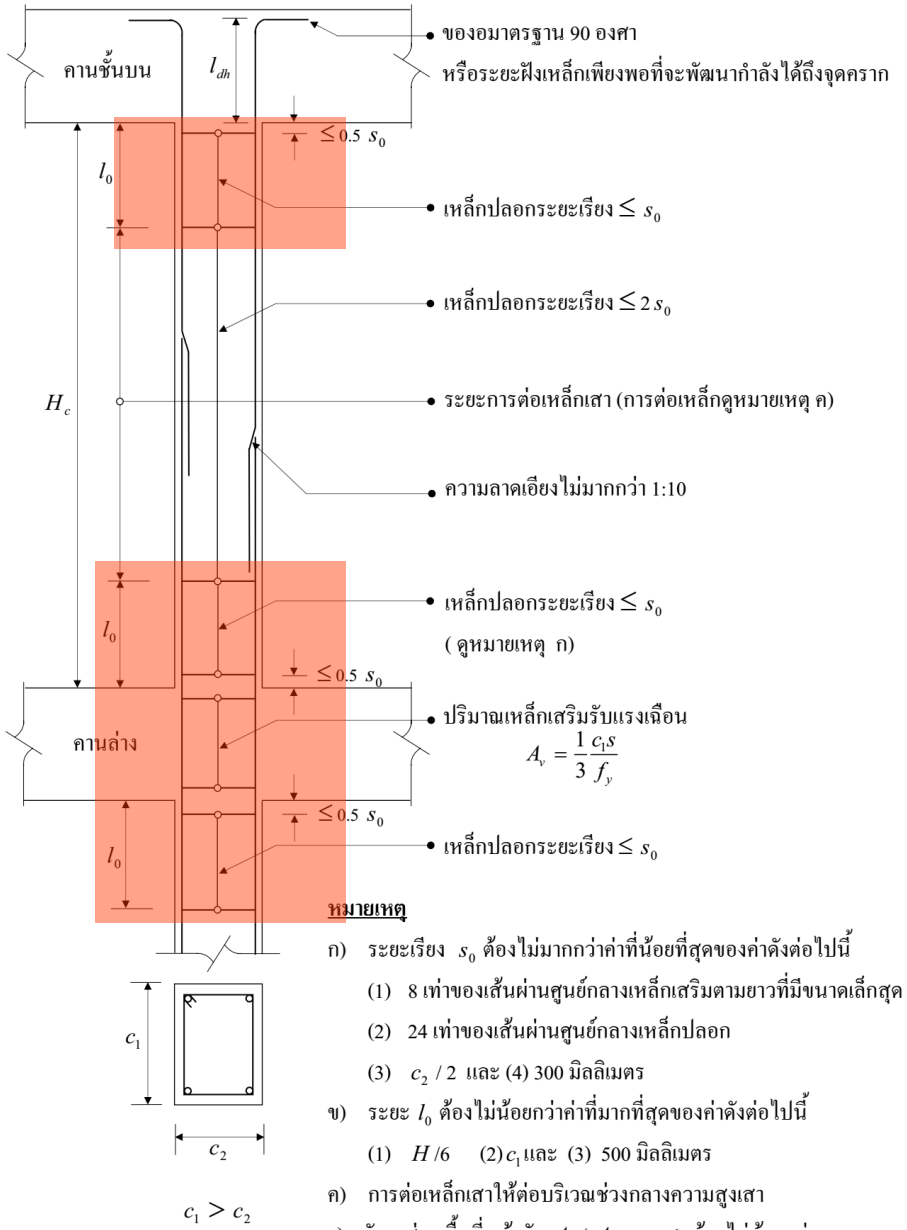
(3) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก และ

(4) 300 มิลลิเมตร

ข) กำลังต้านโมเมนต์ของคานต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้ (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 $-M_{nr}$

ตัวอย่างระบบโครงสร้าง



หมายเหตุ

ก) ระยะเรียง s_0 ต้องไม่มากกว่าค่าที่น้อยที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

(1) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กสุด

(2) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก

(3) $c_2 / 2$ และ (4) 300 มิลลิเมตร

ข) ระยะ l_0 ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

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

ค) การต่อเหล็กเสาให้ต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา

ง) อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด A_s / A_g ของเสา ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 และไม่ควรมากกว่าร้อยละ 6

(3)

กำหนดวิธีการออกแบบ

วิธีการคำนวณออกแบบ

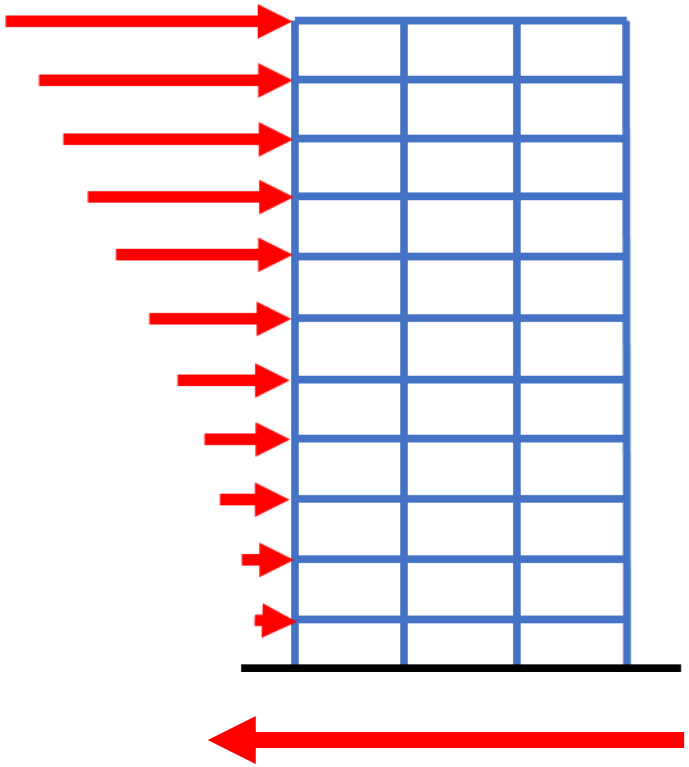
1. การคำนวณออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Force)
2. การคำนวณออกแบบด้วยวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Analysis)

วิธีการคำนวณออกแบบ

- สามารถใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่าได้หลากหลายกรณี
- ใช้ได้รวมทั้งอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอในประเภทการออกแบบ ข และ ค

ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว	ลักษณะโครงสร้าง	วิธีแรงสถิตเทียบเท่า	วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด	วิธีวิเคราะห์การตอบสนองแบบประวัติเวลา
ข, ค	โครงสร้างอาคารทุกรูปแบบ	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
ง	อาคารที่มีประเภทความสำคัญแบบ I หรือ II ที่ใช้โครงสร้างเบา (Light-frame Construction)	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารแบบอื่น ๆ ที่มีประเภทความสำคัญ แบบ I หรือ II และมีความสูงไม่เกิน 2 ชั้น	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างสม่ำเสมอ และมีความสูงไม่เกิน 50 เมตร	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารนอกแอ่งกรุงเทพฯ ที่มีรูปทรงโครงสร้างสม่ำเสมอที่สูงเกิน 50 เมตรและมีคาบการสั่นพื้นฐานน้อยกว่า $3.5T_s$	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 50 เมตร และมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ แบบ 2, 3, 4, หรือ 5 หรือในแนวดิ่ง แบบ 4, 5 ก หรือ 5ข	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารแบบอื่น ๆ	ไม่อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต

แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (V)



V = BASE SHEAR

Spectral Acceleration as a Function of Period

Importance Factor (=1 -1.5)

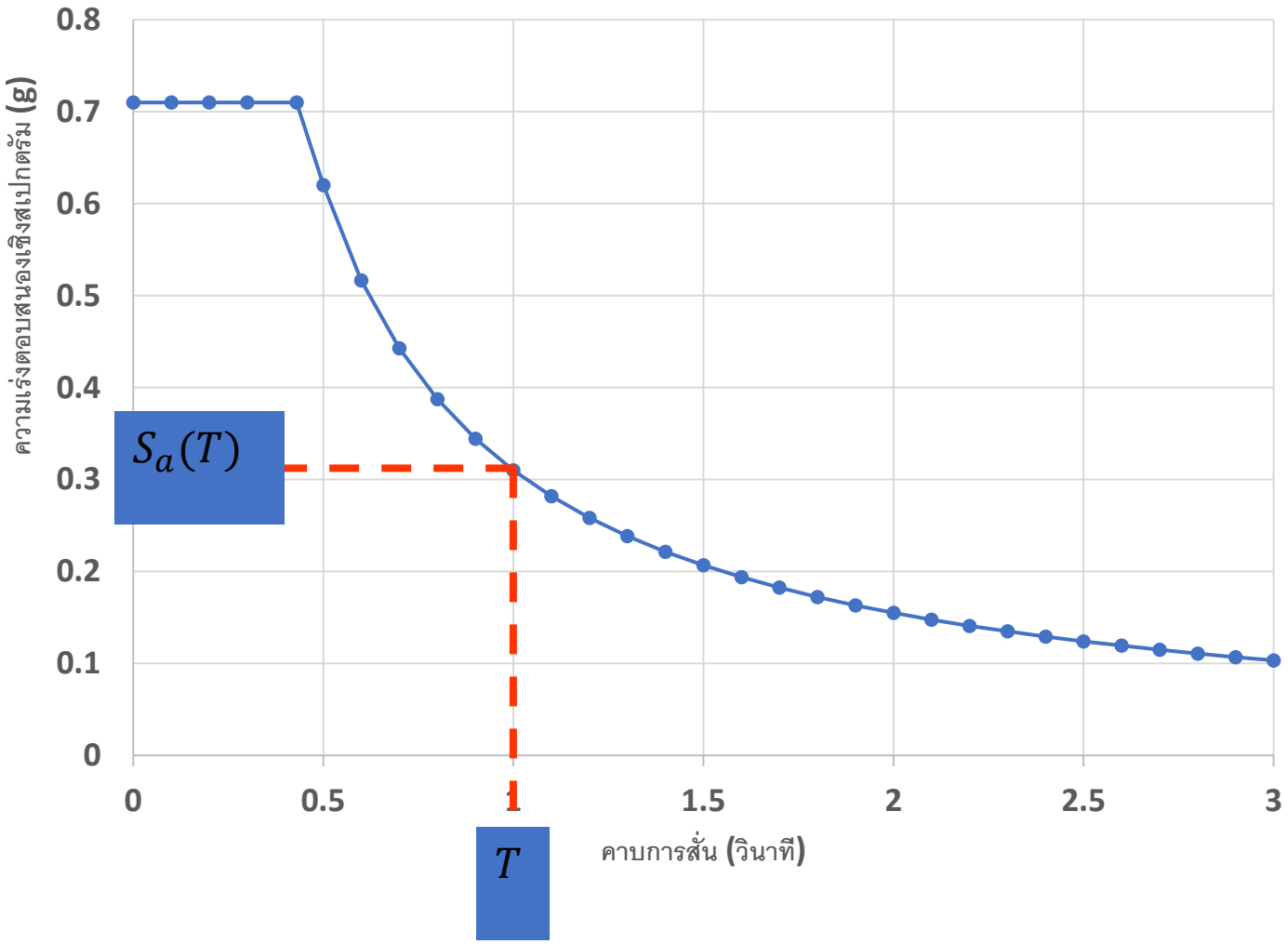
$$V = \frac{S_a(T) \cdot I}{R} W$$

Design Base Shear

Response Modification Factor

Weight

ค่าความเร่งตอบสนองสำหรับการออกแบบ Sa



วิธี ก

คาบการสั่นพื้นฐาน (หน่วยเป็นวินาที) สามารถคำนวณจากสูตรการประมาณค่าดังนี้

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	$T = 0.02H$	(3.3-1)
อาคารโครงสร้างเหล็ก	$T = 0.03H$	(3.3-2)

โดยที่ H คือความสูงของอาคารวัดจากพื้นดิน มีหน่วยเป็นเมตร

วิธี ข

คาบการสั่นพื้นฐาน (หน่วยเป็นวินาที) สามารถคำนวณจากลักษณะการกระจายมวล (หรือน้ำหนัก) ภายในอาคาร และสติฟเนสของระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้างของอาคาร ด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม และค่าคาบการสั่นพื้นฐานที่คำนวณได้จากวิธี ข. จะต้องไม่เกิน 1.5 เท่าของค่าที่คำนวณได้จากวิธี ก.

น้ำหนักอาคารสำหรับการคำนวณแรงแผ่นดินไหว (W)

2.8.2 น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล

น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล คือ น้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งของอาคารที่ต้องนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหว

น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล (W) จะต้องรวมน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมดของอาคาร และน้ำหนักบรรทุกประเภทอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

(1) ร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกจร (Floor Live Load) สำหรับอาคารที่ใช้เก็บพัสดุ ยกเว้นในกรณีที่น้ำหนักจากพัสดุรวมแล้วมีค่าไม่ถึงร้อยละ 5 ของน้ำหนักประสิทธิผลในชั้นที่พิจารณา ในกรณีของอาคารจอดรถยนต์ ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงน้ำหนักในข้อนี้

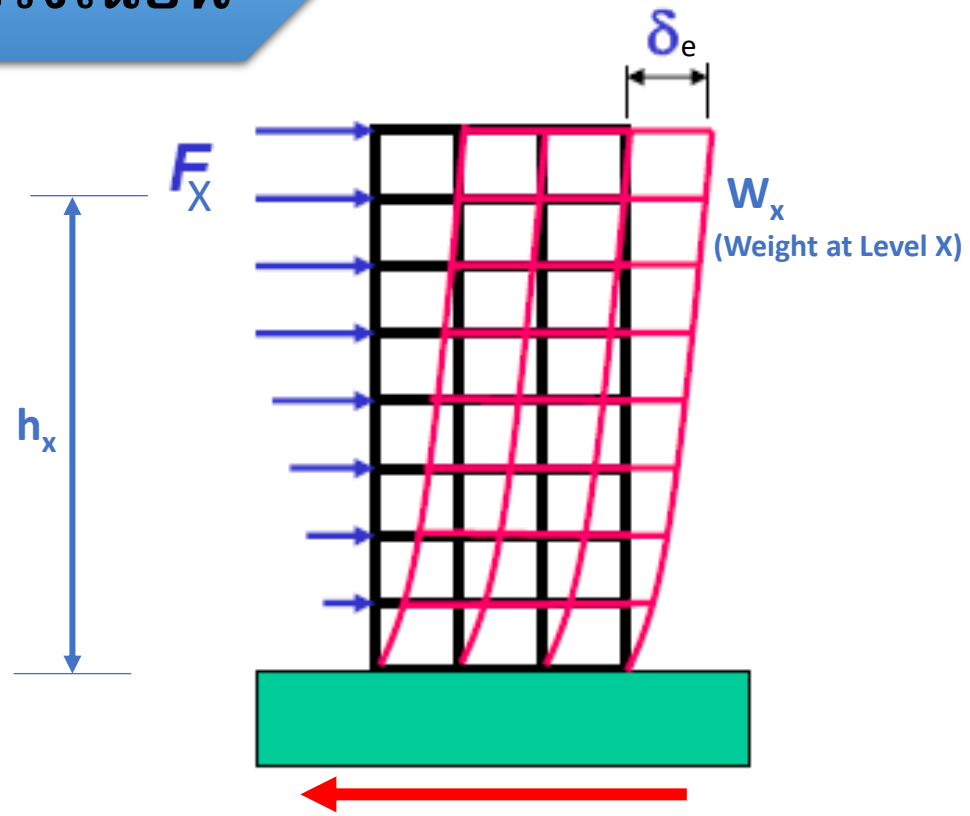
(2) น้ำหนักของผนังอาคาร และผนังกั้นห้องต่าง ๆ หรือน้ำหนักบรรทุกเทียบเท่าจากน้ำหนักของผนังอาคาร ที่กระจายลงพื้นทั่วทั้งชั้นอย่างน้อย 480 นิวตันต่อตารางเมตร โดยให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่า

(3) น้ำหนักของเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ซึ่งติดตั้งถาวรในอาคาร

(4) น้ำหนักของวัสดุและส่วนประกอบต่าง ๆ ของส่วนที่อยู่บนชั้นหลังคาหรือบริเวณอื่นในอาคาร

มวลประสิทธิผล (Effective Mass) คือ ค่าน้ำหนักประสิทธิผลหารด้วยค่าความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก

การกระจายแรงเฉือน



$$V = \frac{S_a(T) \cdot I}{R} W$$

$$F_x = C_{vx} V$$

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

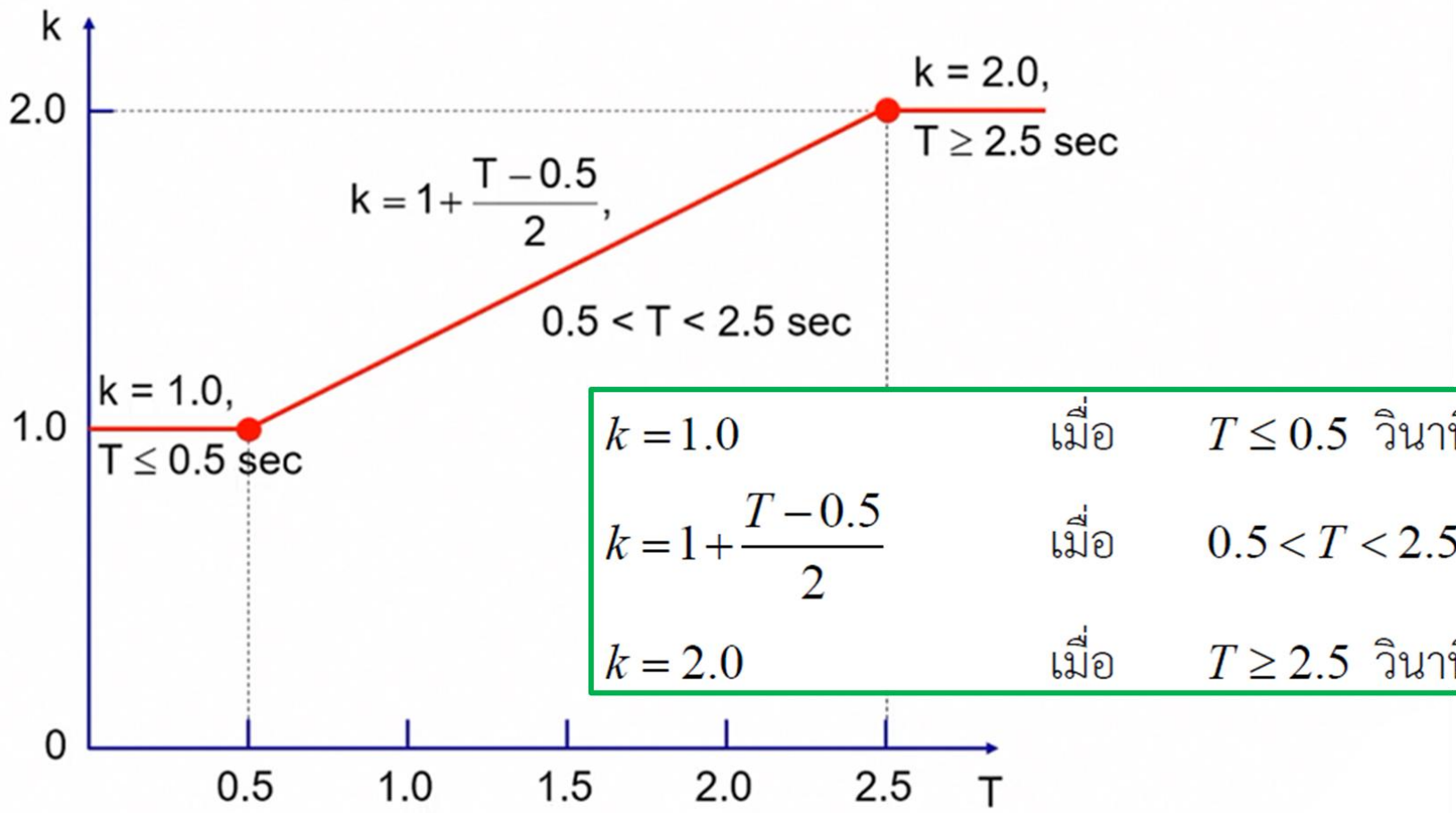
k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง ซึ่งมีค่าดังนี้

$k = 1.0$ เมื่อ $T \le 0.5$ วินาที

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

$k = 2.0$ เมื่อ $T \ge 2.5$ วินาที

ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง, k



$k = 1.0$ เมื่อ $T \le 0.5$ วินาที

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

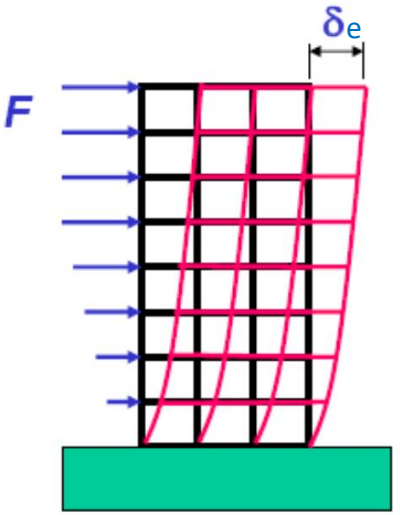
$k = 2.0$ เมื่อ $T \ge 2.5$ วินาที

ตัวประกอบในการคำนวณ

- วิธีการคำนวณแรงสถิตเทียบเท่าอาศัยตัวประกอบในการออกแบบที่สำคัญได้แก่
  - ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง R
  - ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว C_d
  - ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน Ω_o

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
1. ระบบกำแพงรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง (Bearing Wall System)	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	4	2.5	4	√	√	*
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	5	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall) ++	3	2.5	3	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precaset Shear Wall)++	4	2.5	4	√	√	X
2. ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงดัดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	8	2	4	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment-Resisting Connections)	7	2	4	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบให้รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	3.5	2	3.5	√	√	X
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	4.5	√	√	*
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall) ++	4	2.5	4	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall) ++	5	2.5	4.5	√	√	X

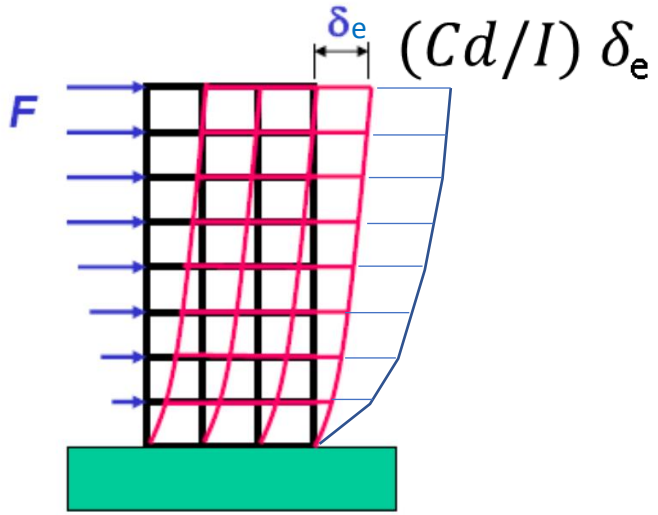
ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง R



$$V = \frac{S_a(T) \cdot I}{R} W$$

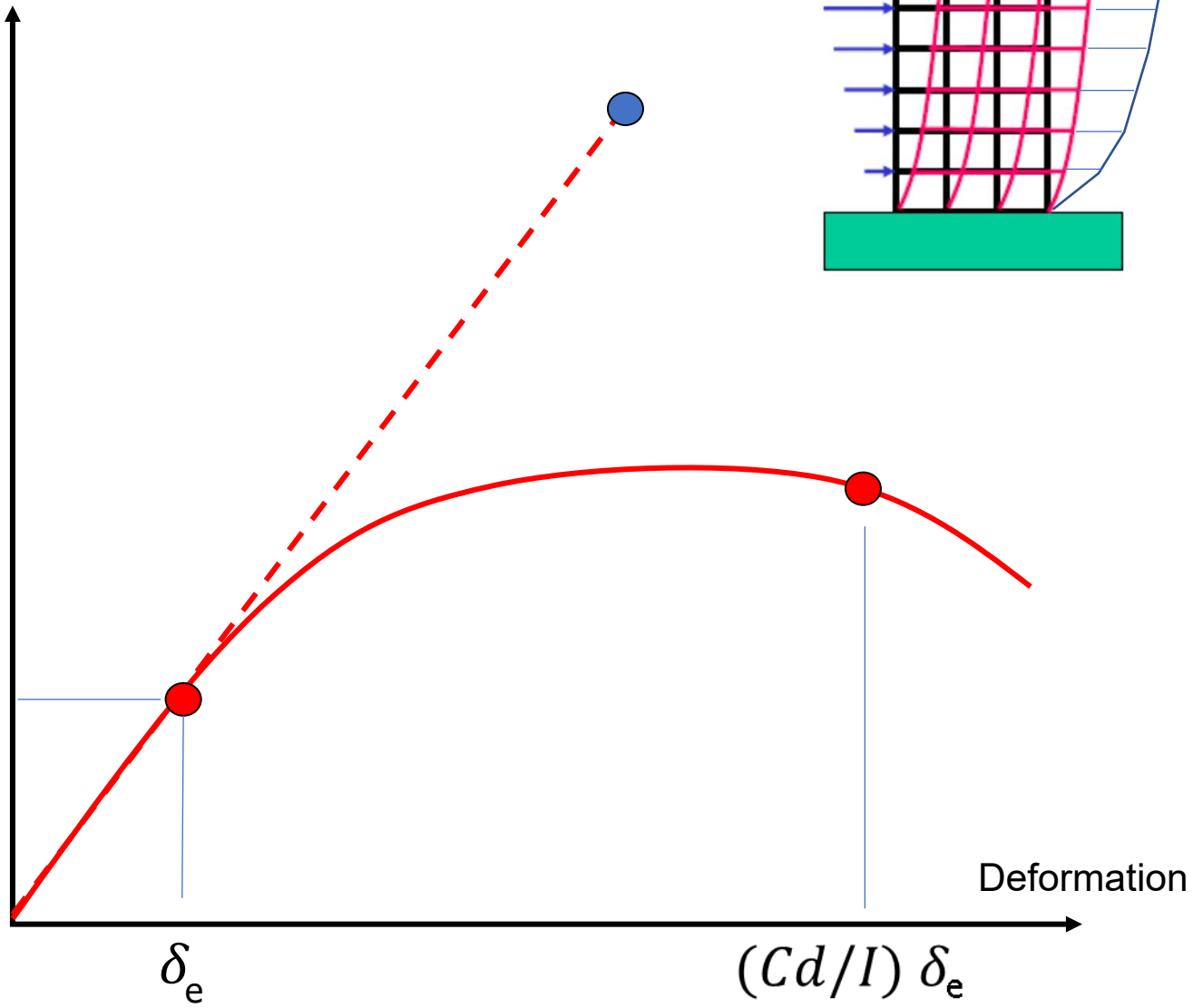
(Static Design)

ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว C_d

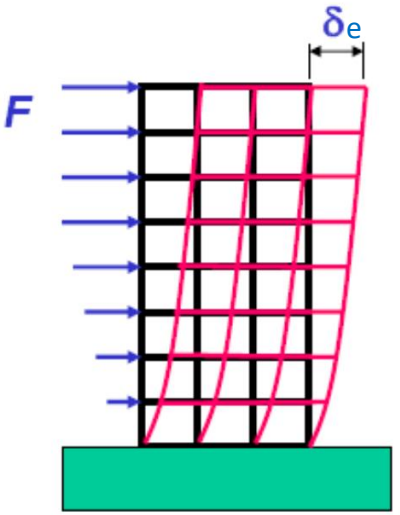


$$V = \frac{S_a(T) \cdot I}{R} W$$

(Static Design)



ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน Ω_o

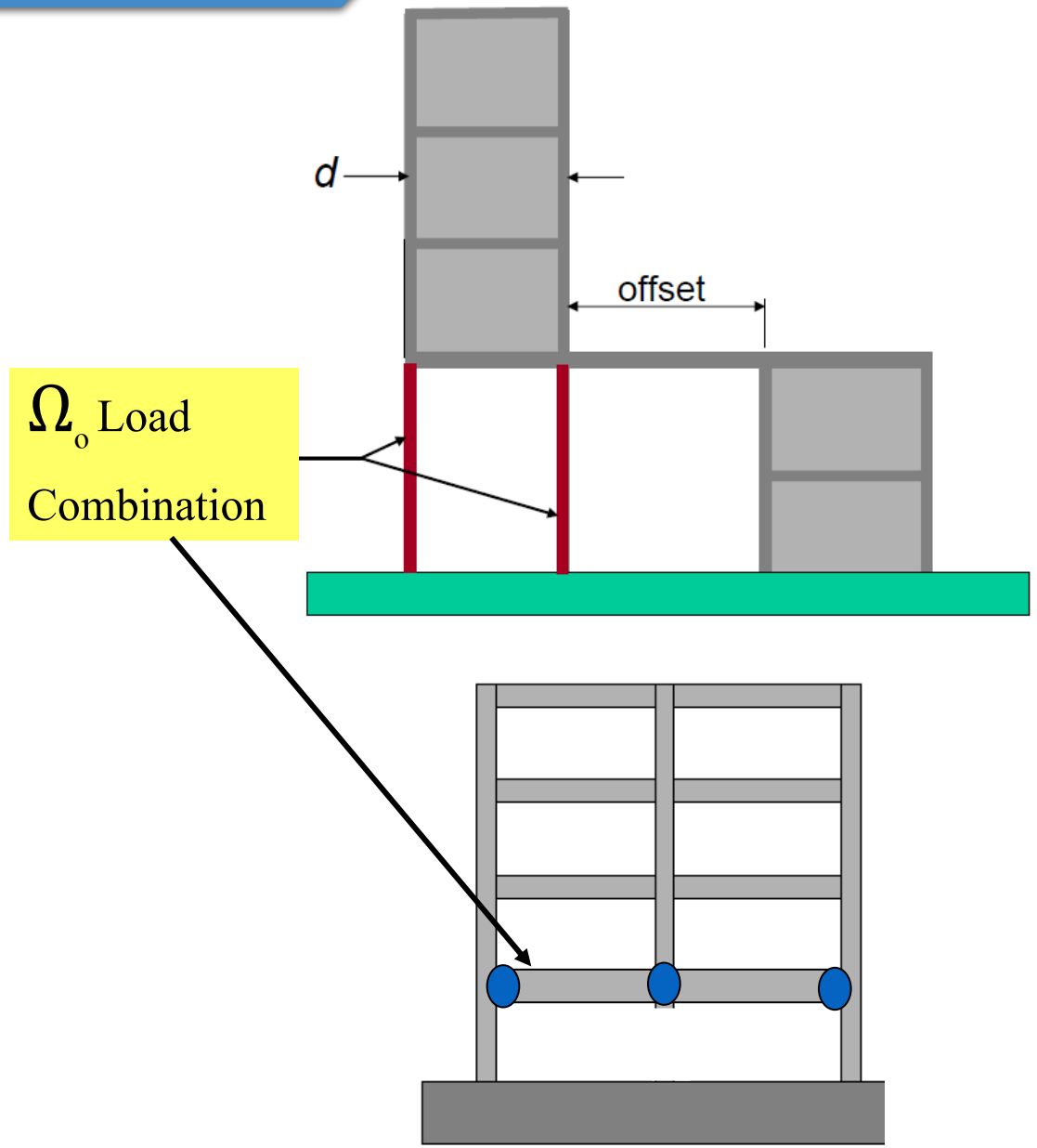


$$V = \frac{S_a(T) \cdot I}{R} W$$

(Static Design)

ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน Ω_o

Overstrength Factor



- Overstrength Factor ใช้สำหรับ ออกแบบองค์อาคาร Critical Element ที่ไม่ต้องการให้เกิดการเสียรูปในช่วง Inelastic หรือเกิดการเสียรูปในช่วง Inelastic เพียงเล็กน้อย
- เพิ่มแรงแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบองค์อาคารด้วยการคูณด้วย Ω_0

การรวมผลของแรง Load Combination

วิธีรวมผลของแรง

(ก) สำหรับการออกแบบโดยวิธีกำลัง ให้ใช้วิธีรวมผลของแรงดังต่อไปนี้

$$0.75(1.4D+1.7L)+1.0E \qquad (2.5\text{-}1)$$

$$0.9D+1.0E \qquad (2.5\text{-}2)$$

โดยที่ E คือ ผลที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว (Seismic Load Effects) ตามที่คำนวณในมาตรฐานนี้

D คือ ผลที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

L คือ ผลที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

(ข) สำหรับการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ให้ใช้วิธีรวมผลของแรงดังต่อไปนี้

$$1.0D+0.7E \qquad (2.5\text{-}3)$$

$$1.0D+0.525E+0.75L \qquad (2.5\text{-}4)$$

$$0.6D+0.7E \qquad (2.5\text{-}5)$$

การรวมผลของแรง Load Combination

ในกรณีที่มาตรฐานกำหนดให้คำนึงถึงกำลังส่วนเกินของโครงสร้าง ให้ใช้วิธีรวมผลของแรงดังต่อไปนี้

(ก) สำหรับการออกแบบโดยวิธีกำลัง

$$0.75\left(1.4D+1.7L\right)+\Omega_0 E \qquad (2.5\text{-}6)$$

$$0.9D+\Omega_0 E \qquad (2.5\text{-}7)$$

(ข) สำหรับการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้

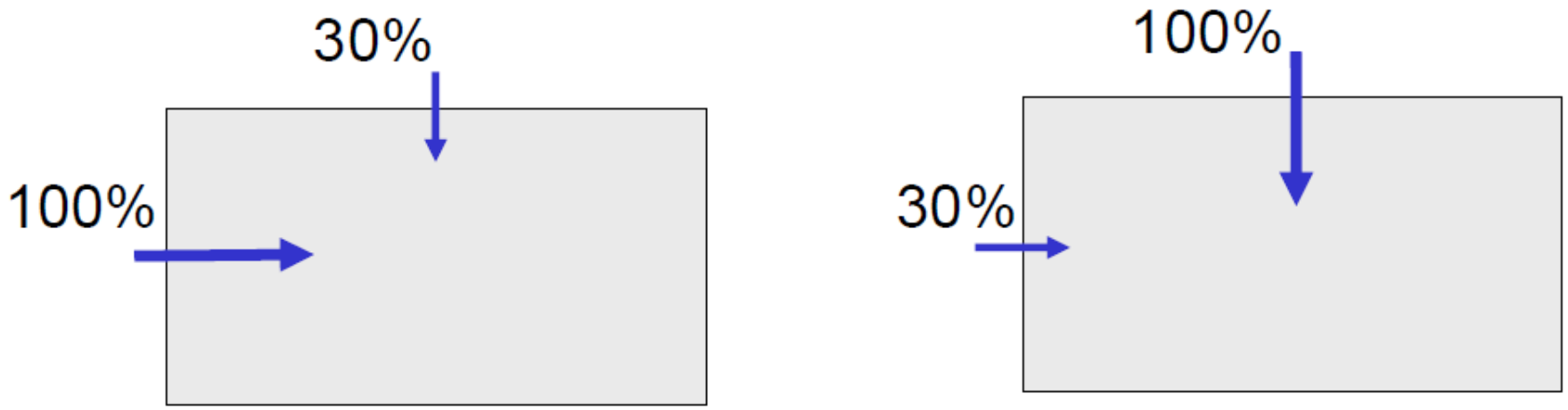
$$1.0D+0.7\Omega_0 E \qquad (2.5\text{-}8)$$

$$1.0D+0.525\Omega_0 E+0.75L \qquad (2.5\text{-}9)$$

$$0.6D+0.7\Omega_0 E \qquad (2.5\text{-}10)$$

การรวมแรงกระทำใน 2 ทิศทางหลัก

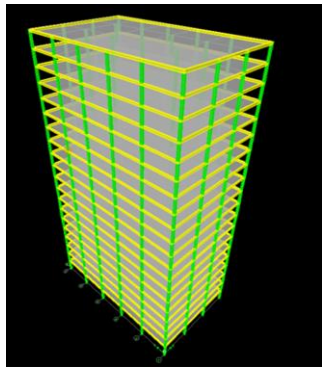
Orthogonal Load Effects



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

แบบจำลองโครงสร้าง

การกำหนดค่าสติฟเนสขององค์อาคารคอนกรีตและอิฐก่อจะต้องคำนึงถึงผลของการแตกร้าวที่มีต่อค่าสติฟเนส โดยในกรณีที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์อย่างละเอียด อนุญาตให้ประมาณค่าสติฟเนส จากค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผล I_{eff} และค่าพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล A_{eff} ดังต่อไปนี้



คาน : $I_{eff} = 0.35 I_g$

เสา : $I_{eff} = 0.70 I_g$

$A_{eff} = 1.0 A_g$

กำแพงที่ไม่แตกร้าว: $I_{eff} = 0.70 I_g$

กำแพงที่มีการแตกร้าว: $I_{eff} = 0.35 I_g$

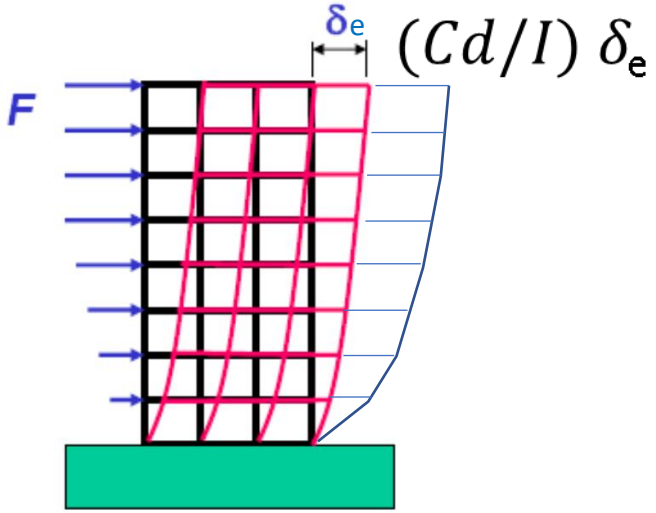
แผ่นพื้นไร้คาน: $I_{eff} = 0.25 I_g$

โดยที่ I_g และ A_g คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย และพื้นที่หน้าตัดที่คำนวณจากหน้าตัดเต็ม

ในกรณีที่อาคารมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ แบบ 1ก, 1ข, 4 หรือ 5 แบบจำลองโครงสร้างจะต้องเป็นแบบ 3 มิติที่สามารถจำลองการเคลื่อนตัวโครงสร้างในแนวราบได้ทั้งทิศทางหลัก 2 ทิศทางที่ตั้งฉากกัน และการบิดตัวรอบแกนในแนวดิ่งของโครงสร้าง

ค่าการเสียรูปที่ยอมให้

- ค่าการเสียรูปที่ยอมให้กำหนดโดยค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (หลังจากคูณด้วย C_d/I)



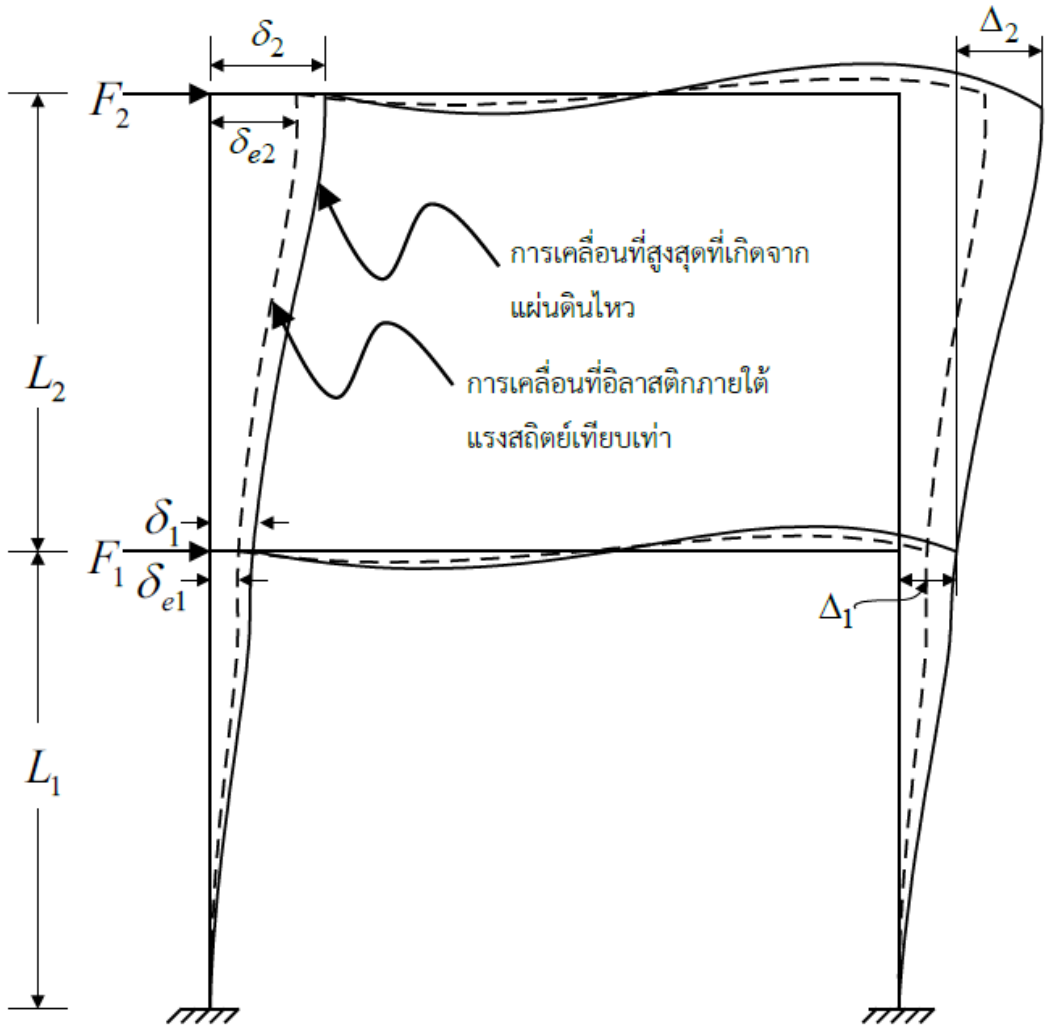
ตารางที่ 2.11-1 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a)

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

หมายเหตุ

1) h_{sx} คือ ความสูงระหว่างชั้นที่อยู่ใต้พื้นชั้นที่ x
2) อาคารชั้นเดียวที่มีผนังภายใน ฉากกั้นห้อง ฝ้าเพดาน และผนังภายนอกที่ถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้มาก จะมีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเท่าใดก็ได้ไม่จำกัด แต่ยังคงต้องพิจารณาการเว้นระยะห่างระหว่างโครงสร้างตามหัวข้อที่ 2.11.3
3) โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบยื่นจากฐานรองรับ หมายถึง อาคารที่ถูกออกแบบให้ใช้กำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างในแนวดิ่งซึ่งยื่นขึ้นมาจากฐานรองรับ และถูกก่อสร้างในลักษณะที่มีถ่ายโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนระหว่างกำแพงข้างเคียง (แบบ Coupling Beam) น้อยมาก

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้



ระดับชั้นที่ 2

F_2 = แรงสถิตเทียบเท่าที่ชั้นที่ 2

δ_{e2} = การเคลื่อนที่อิลาสติกเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า

$\delta_2 = C_d \delta_{e2} / I$ = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ที่ชั้น 2

$$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I \leq \Delta_a$$

ระดับชั้นที่ 1

F_1 = แรงสถิตเทียบเท่าที่ชั้นที่ 1

δ_{e1} = การเคลื่อนที่อิลาสติกเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า

$\delta_1 = C_d \delta_{e1} / I$ = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ที่ชั้น 1

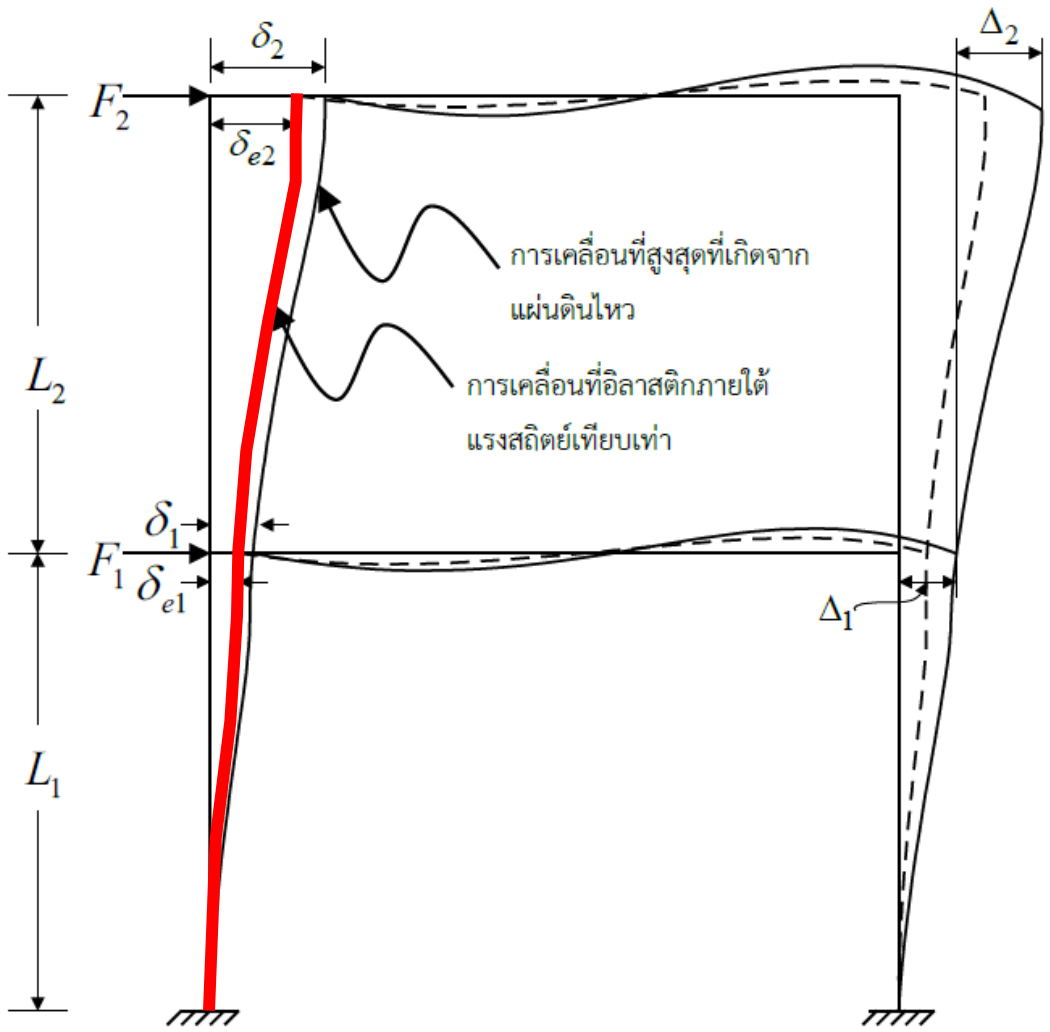
$$\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_a$$

Δ_i = การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ชั้นที่ i

Δ_i / L_i = อัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ชั้นที่ i

δ_i = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ชั้นที่ i

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้



ระดับชั้นที่ 2

F_2 = แรงสถิตเทียบเท่าที่ชั้นที่ 2

δ_{e2} = การเคลื่อนที่อิลาสติกเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า

$\delta_2 = C_d \delta_{e2} / I$ = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ที่ชั้น 2

$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I \leq \Delta_a$

ระดับชั้นที่ 1

F_1 = แรงสถิตเทียบเท่าที่ชั้นที่ 1

δ_{e1} = การเคลื่อนที่อิลาสติกเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า

$\delta_1 = C_d \delta_{e1} / I$ = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ที่ชั้น 1

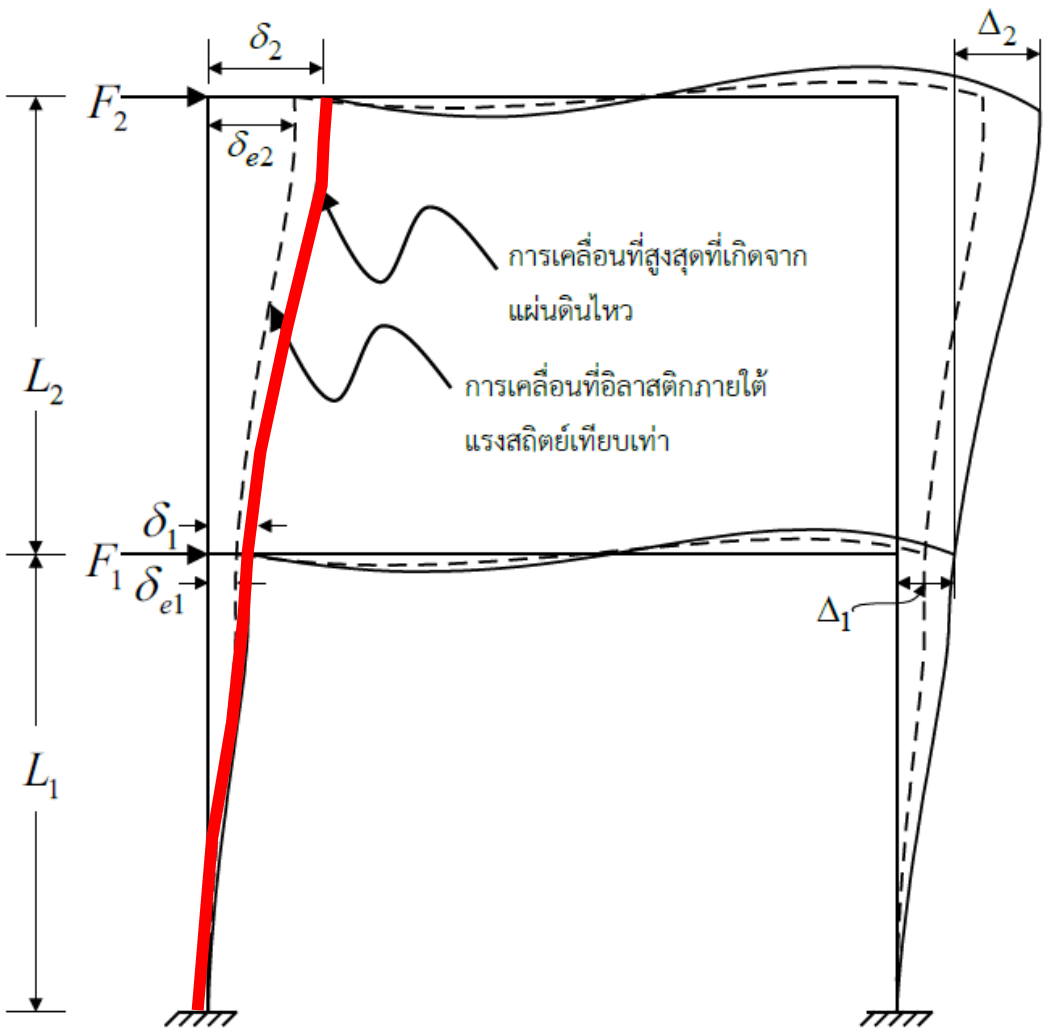
$\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_a$

Δ_i = การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ชั้นที่ i

Δ_i / L_i = อัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ชั้นที่ i

δ_i = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ชั้นที่ i

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้



ระดับชั้นที่ 2

F_2 = แรงสถิตเทียบเท่าที่ชั้นที่ 2

δ_{e2} = การเคลื่อนที่อิลาสติกเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า

$\delta_2 = C_d \delta_{e2} / I$ = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ที่ชั้น 2

$$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I \leq \Delta_a$$

ระดับชั้นที่ 1

F_1 = แรงสถิตเทียบเท่าที่ชั้นที่ 1

δ_{e1} = การเคลื่อนที่อิลาสติกเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า

$\delta_1 = C_d \delta_{e1} / I$ = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ที่ชั้น 1

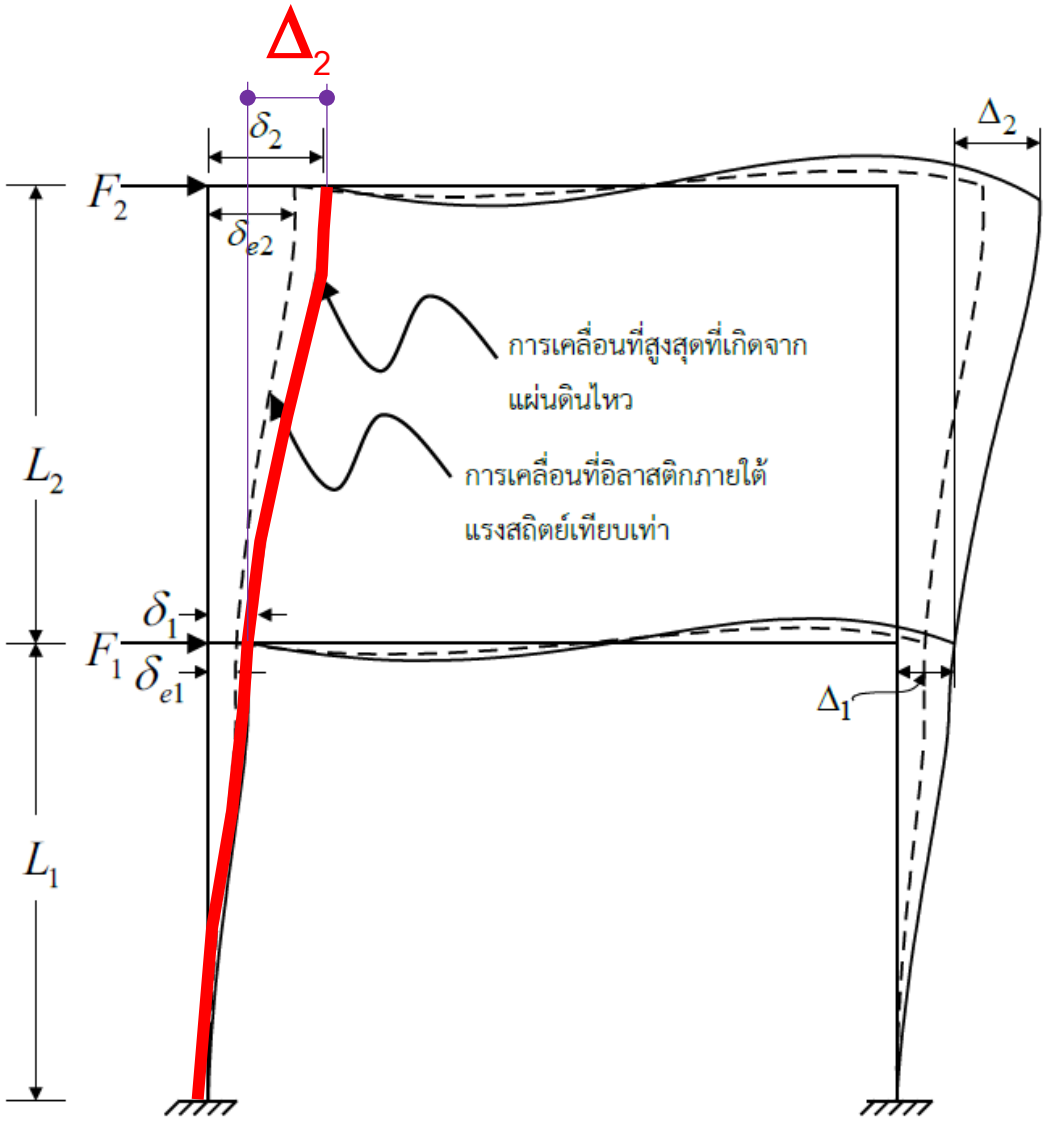
$$\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_a$$

Δ_i = การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ชั้นที่ i

Δ_i / L_i = อัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ชั้นที่ i

δ_i = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ชั้นที่ i

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้



ระดับชั้นที่ 2

F_2 = แรงสถิตเทียบเท่าที่ชั้นที่ 2

δ_{e2} = การเคลื่อนที่อิลาสติกเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า

$\delta_2 = C_d \delta_{e2} / I$ = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ที่ชั้น 2

$$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I \leq \Delta_a$$

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ของชั้นที่ 2

ระดับชั้นที่ 1

F_1 = แรงสถิตเทียบเท่าที่ชั้นที่ 1

δ_{e1} = การเคลื่อนที่อิลาสติกเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า

$\delta_1 = C_d \delta_{e1} / I$ = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ที่ชั้น 1

$$\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_a$$

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ของชั้นที่ 1

Δ_i = การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ชั้นที่ i

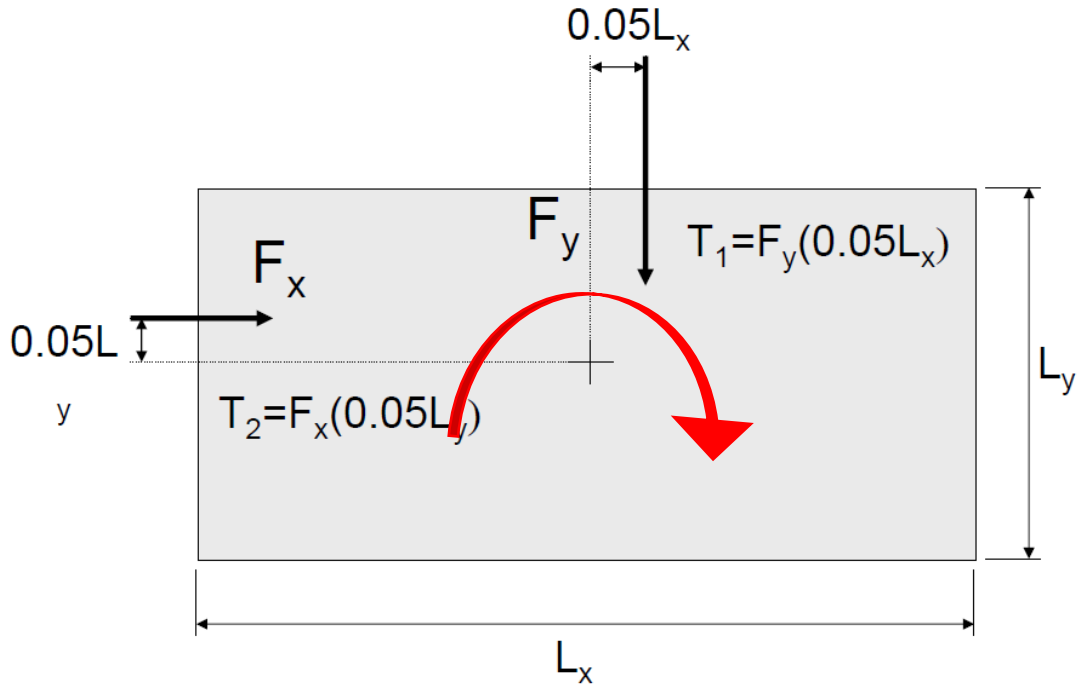
Δ_i / L_i = อัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ชั้นที่ i

δ_i = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ชั้นที่ i

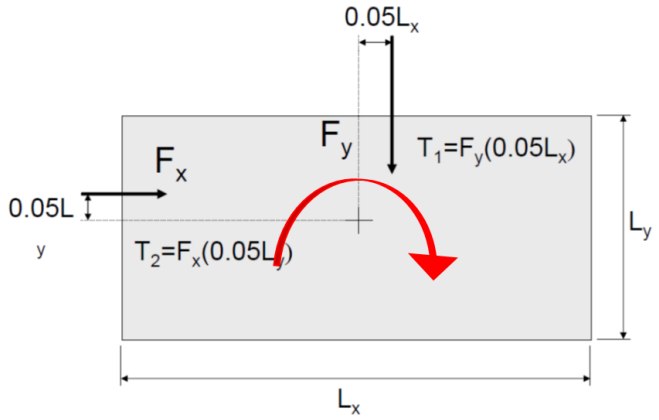
ข้อกำหนดเพิ่มเติมอื่น ๆ

แรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental torsion)

ในกรณีที่ไดอะแฟรมมิได้เป็นแบบไดอะแฟรมอ่อน การออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว จะต้องพิจารณาถึง ผลของแรงบิดจากลักษณะโครงสร้าง (M_t) รวมกับแรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion, M_m) โดยที่แรงบิดโดยบังเอิญนี้สร้างขึ้นด้วยการสมมุติให้จุดศูนย์กลางมวล เยื้องออกจากตำแหน่งเดิม เป็นระยะทางร้อยละ 5 ของมิติของอาคารในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของแรงเฉือน



ข้อกำหนดเพิ่มเติมอื่น ๆ



ในกรณีที่อาคารมีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ค หรือ ง และมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ แบบ 1ก หรือ 1ข จะต้องขยายค่าแรงบิดโดยบังเอิญในทุก ๆ ชั้นโดยการคูณ M_{ta} ด้วยตัวประกอบขยายแรงบิดโดยบังเอิญ (A_x) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$A_x = \left(\frac{\delta_{\max}}{1.2\delta_{avg}} \right)^2 \qquad (3.5\text{-}2)$$

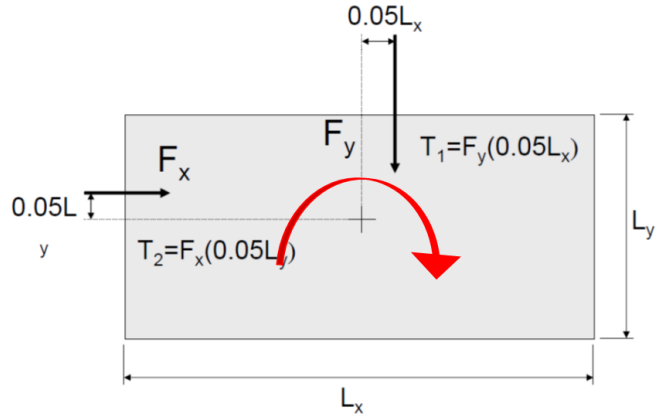
โดยที่ $\delta_{\max}$ คือ ค่าการเคลื่อนที่สูงสุดในแนวราบ ณ ชั้นที่ x ที่คำนวณโดยสมมุติให้ $A_x = 1$ (เมตร)

δ_{avg} คือ ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ในแนวราบที่ขอบของอาคารทั้ง 2 ด้าน ณ ชั้น x ที่คำนวณโดยสมมุติให้ $A_x = 1$ (เมตร)

หากค่า A_x ที่คำนวณจากสมการ 3.5-2 มีค่ามากกว่า 3.0 ให้ใช้ค่า $A_x = 3.0$

ในกรณีของอาคารที่มีโครงอาคารแบบน้ำหนักเบา (เช่นโครงสร้างไม้ หรือโครงเหล็กรีดเย็น) ไม่จำเป็นต้องเพิ่มค่าแรงบิดโดยบังเอิญ

ข้อกำหนดเพิ่มเติมอื่น ๆ



User Seismic Loads on Diaphragms

Story	Diaphragm	FX	FY	MZ
STORY4	D1	10000.	0.	0.
STORY3	D1	16000.	0.	0.
STORY2	D1	11000.	0.	0.

○ User Specified Application Point

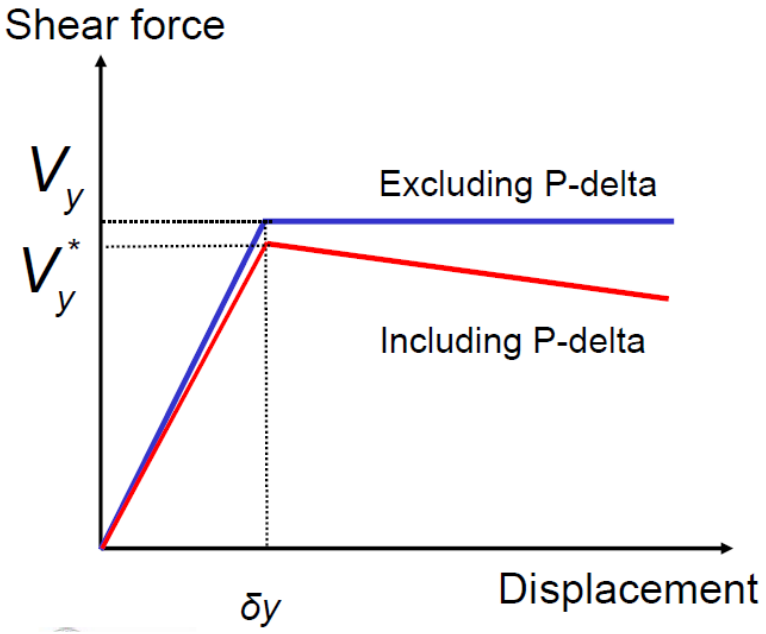
◉ Apply at Center of Mass

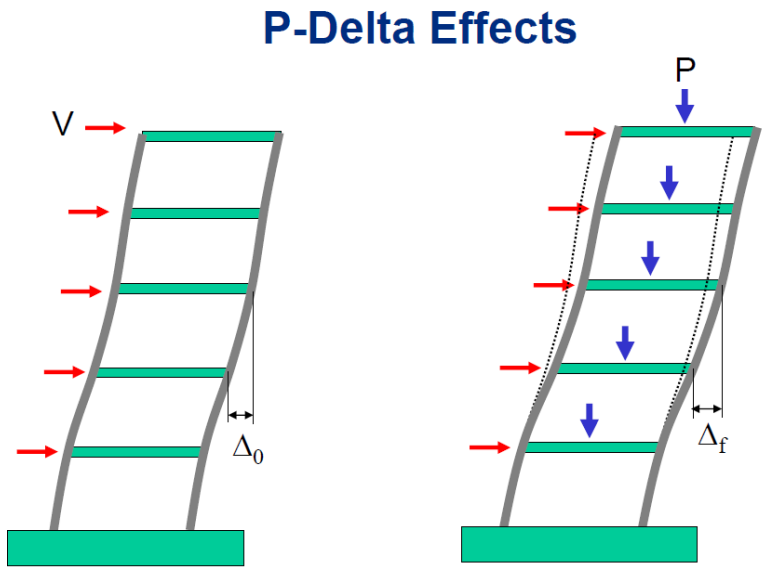
Additional Ecc. Ratio (all Diaph.) 0.05

OK Cancel

ข้อกำหนดเพิ่มเติมอื่น ๆ

P-Delta Effects





ข้อกำหนดเพิ่มเติมอื่น ๆ

P-Delta Effects

$$\theta = \frac{P_x \Delta}{V_x h_{sx} C_d} \qquad (3.8\text{-}1)$$

โดยที่ P_x คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร(หัวข้อที่ 2.8.2) ที่ระดับชั้น x และที่อยู่เหนือชั้น x ทั้งหมดรวมกัน

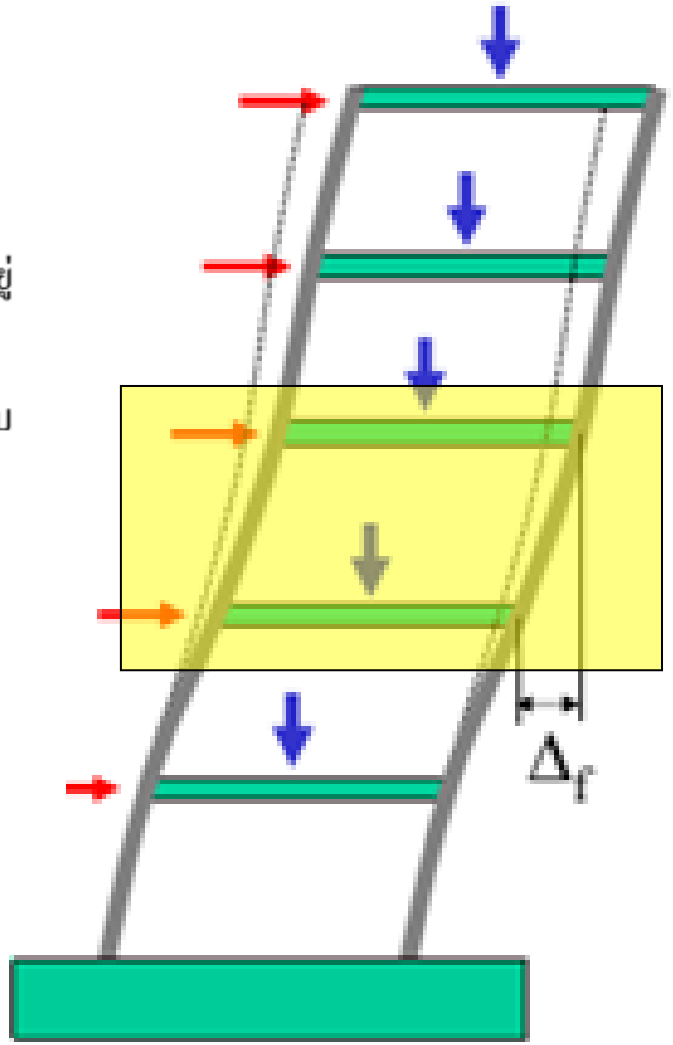
Δ คือ ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ระดับชั้น x ที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (หัวข้อที่ 3.7)

V_x คือ แรงเฉือนในระดับระหว่างชั้น x และชั้น x -1 ที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า (หัวข้อที่ 3.5)

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

C_d คือ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว ตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 2.3

θ น้อยกว่า 0.1 --- ไม่ต้องคิดผล P-Delta



ข้อกำหนดเพิ่มเติมอื่น ๆ

กรณีที่ค่า θ มากกว่า θmax ต้องทำการปรับรูปแบบโครงสร้างใหม่

$$\theta_{\max} = \frac{0.5}{\beta C_d}$$

โดยที่ β คือ อัตราส่วนของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นต่อกำลังต้านทานแรงเฉือนของอาคารที่ระดับระหว่างชั้น x และ $x-1$ ซึ่งอาจกำหนดให้ $\beta = 1$ เพื่อเพิ่มสัดส่วนความปลอดภัยให้กับการออกแบบโครงสร้าง

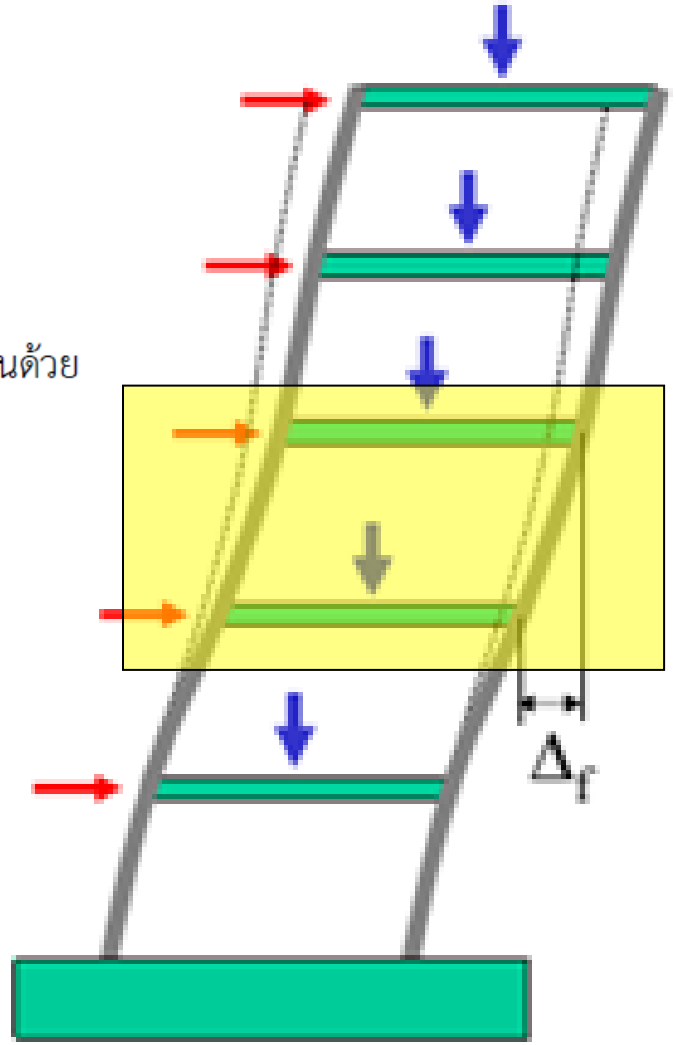
หากค่า $\theta_{\max}$ มีค่ามากกว่า 0.25 ให้กำหนดค่า $\theta_{\max}$ เท่ากับ 0.25

$$\theta = \frac{P_x \Delta}{V_x h_{sx} C_d}$$

θ มากกว่า 0.1 แต่ไม่เกิน θ_{max}

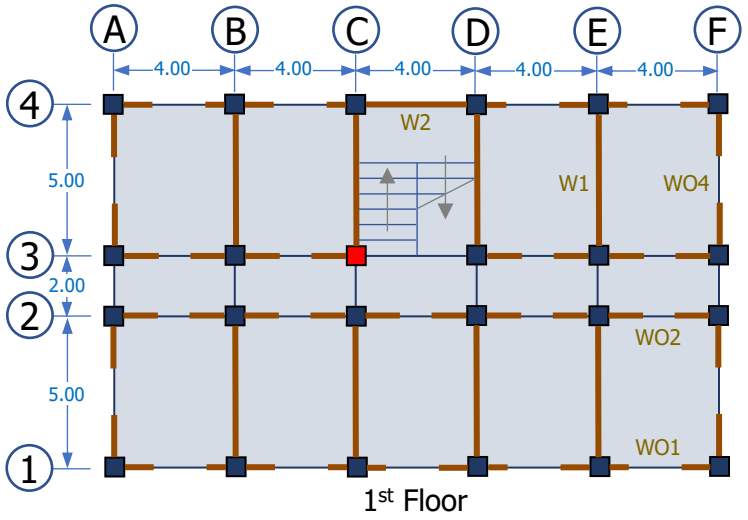
ให้ประมาณการเพิ่มค่าการเคลื่อนตัวและแรงภายในองค์อาคารด้วยการคูณค่าเหล่านั้นด้วย

$$\frac{1}{(1-\theta)}$$

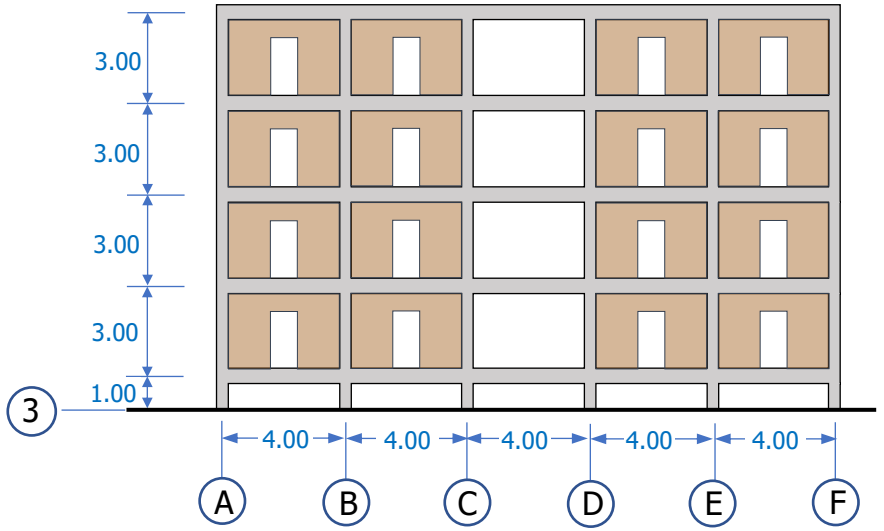


ตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า

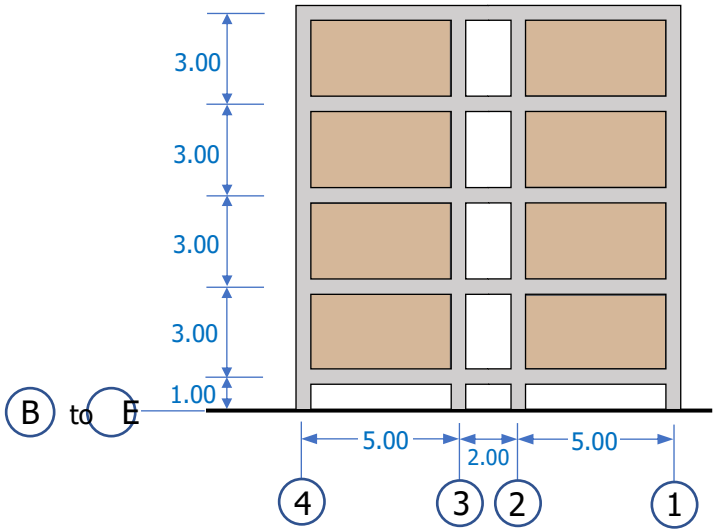
ตัวอย่างการ อาคารอพาร์ทเม้นท์ 4 ชั้น ที่ อ.เมือง จังหวัด เชียงใหม่



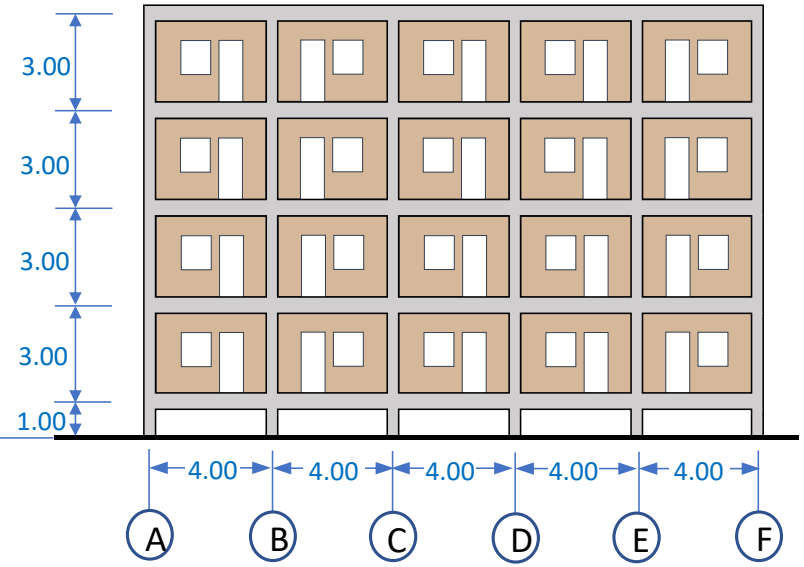
TYPICAL FLOOR



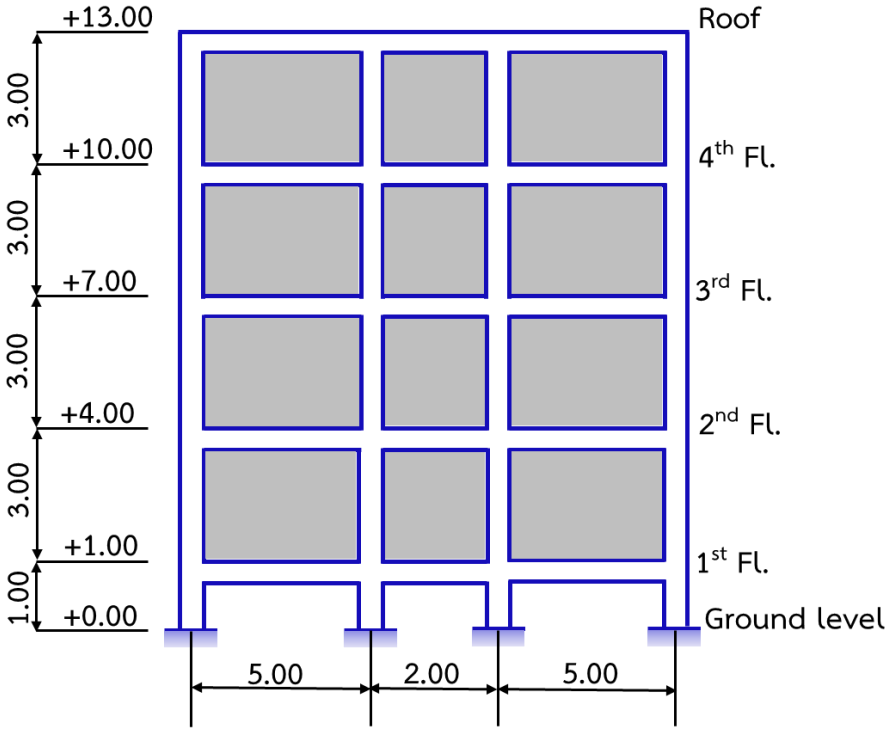
FRONT VIEW



SIDE VIEW



สมมุติฐานน้ำหนักของอาคาร



น้ำหนักของโครงสร้างคำนวณจาก น้ำหนักของพื้น คาน กำแพงอิฐก่อ และเสาทั้งด้านบนและด้านล่างของแต่ละชั้น

(ก) พื้นคอนกรีตหนา 12 ซม. เท่ากับ 288.00 กก./ม.^{2}

(ข) กำแพงอิฐก่อ (สูง 3.00 ม.) เทียบเท่า 315.00 กก./ม.^{2}

(ค) น้ำหนักคาน ประมาณ 154.00 กก./ม.^{2}

(ง) น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม เท่ากับ 120.00 กก./ม.^{2}

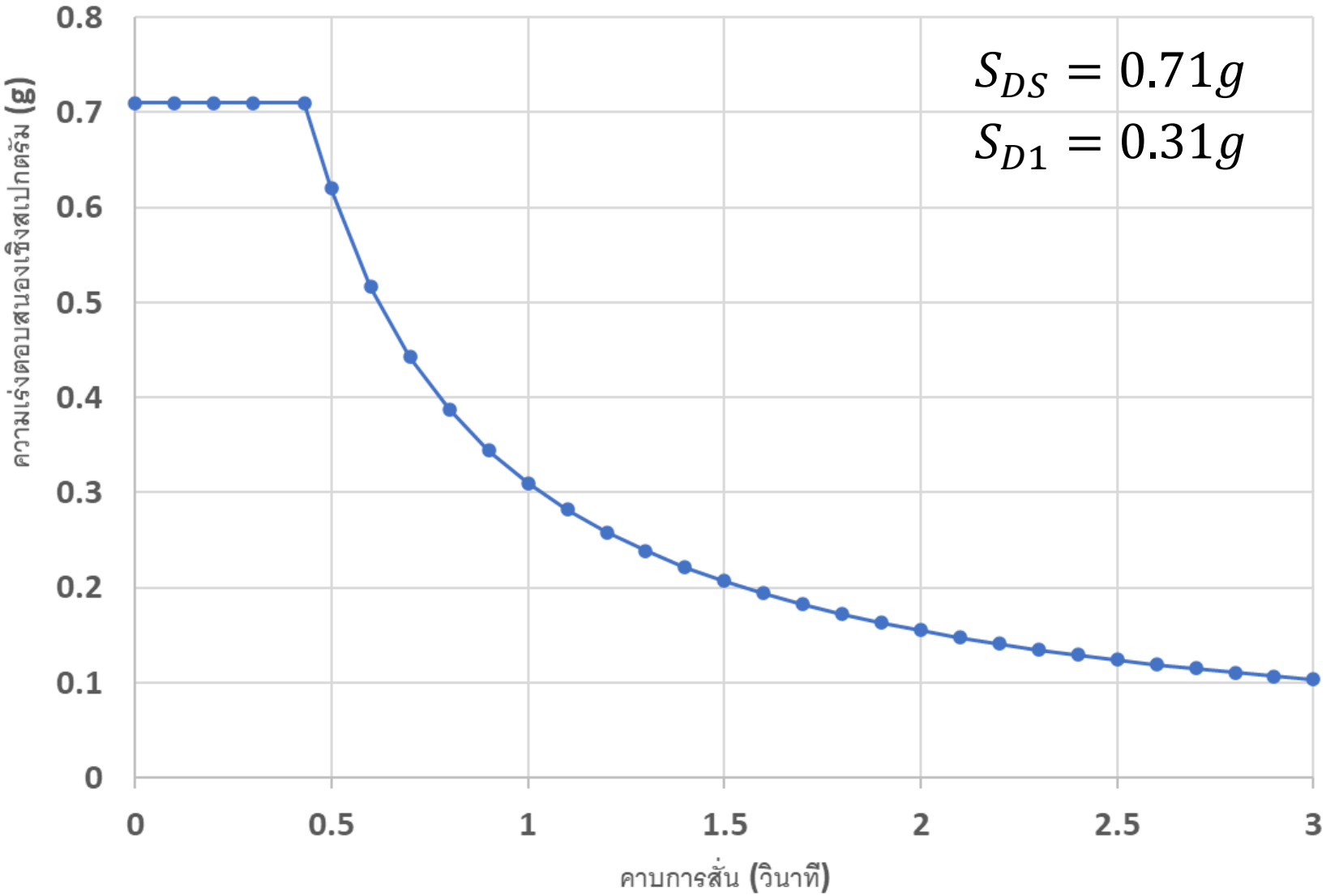
น้ำหนักชั้นหลังคา 0.288+0.154+0.120 = 0.562 ตัน/ม.^{2}

น้ำหนักพื้นทั่วไป 0.288+0.315+0.154+0.120 = 0.877 ตัน/ม.^{2}

การรวมน้ำหนักในแต่ละชั้นและน้ำหนักรวมทั้งหมดของอาคาร

ชั้น	พื้น + กำแพงอิฐก่อ + คาน + SDL			เสา		น้ำหนักรวม (ตัน)	น้ำหนักรวม (kN)
	พื้นที่ ($ม^2$.)	น้ำหนักแผ่ (ตัน/$ม^2$.)	น้ำหนักตัน	สูง ม.	น้ำหนักตัน		
Roof	240	0.562	134.88	1.5	7.77	142.65	1398.83
4^{th} Fl.	240	0.877	210.48	3	15.55	226.03	2216.45
3^{rd} Fl.	240	0.877	210.48	3	15.55	226.03	2216.45
2^{nd} Fl.	240	0.877	210.48	3	15.55	226.03	2216.45
1^{st} Fl.	240	0.877	210.48	2	10.36	220.84	2165.56
รวม						1041.58	10213.73

ความเร่งตอบสนองสำหรับการออกแบบสำหรับอำเภอเมืองเชียงใหม่



ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร

ตารางที่ 1.5-1 การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร และค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ	ตัวประกอบความสำคัญ
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้น ๆ เช่น - อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร - อาคารชั่วคราว - อาคารเก็บของเล็ก ๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ	I (น้อย)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภท ความสำคัญ น้อย มาก และสูงมาก	II (ปกติ)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น - อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่ง ๆ มากกว่า 300 คน - โรงเรียนประถมหรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน - มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย ที่มีความจุมากกว่า 500 คน - สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ	III (มาก)	1.25

ที่มา: มยผ.1301/1302-61

ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว

จากตารางที่ 1.6-1

S_{DS}>0.50 จัดอยู่ในประเภท ง

จากตารางที่ 1.6-2

S_{D1}>0.20 จัดอยู่ในประเภท ง

จัดอยู่ในประเภท

การออกแบบแผ่นดินไหว ง

ประเภทรุนแรง

ที่มา: มยผ.1301/1302-61

ตารางที่ 1.6-1 การแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{DS}

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

ตารางที่ 1.6-2 การแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{D1}

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

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
3. ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (Ductile/Special Steel Moment-Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงถักต้านแรงดัดที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	7	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	4.5	3	4	√	√	*
	โครงต้านแรงดัดเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3	√	√	X
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (แบบหล่อในที่ หรือ แบบหล่อสำเร็จ) (Precast or Cast-in-Place Ductile/Special Reinforced Concrete Moment Resisting Frame) ++	8	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัด (Ductile RC Moment-Resisting Frame with Limited Ductility/ Intermediate RC Moment-Resisting Frame)	5	3	4.5	√	√	*
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	3	3	2.5	√	X	X

<u>หมายเหตุ</u> √ = ใช้ได้ x = ห้ามใช้ * = ดูหัวข้อ 2.3.1.2 ++ = ดูหัวข้อ 2.3.1.3

ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R)

* ข้อกำหนดด้านความสูงสำหรับประเภทการออกแบบต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ง

โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัด และกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา

สามารถใช้ได้กับอาคาร ที่มีความสูงไม่เกินค่าต่อไปนี้

(1) 40 เมตร สำหรับ โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัด และโครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง

(2) 60 เมตร สำหรับ กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา

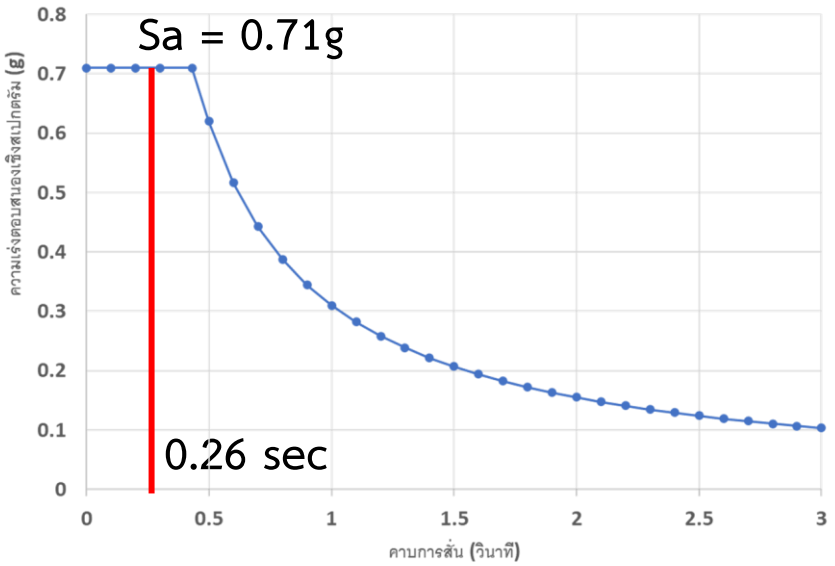
*การออกแบบด้านกำลัง ให้เพิ่มค่าแรงแผ่นดินไหวอีกร้อยละ 40

**การคำนวณค่าการเสียรูป ไม่จำเป็นต้องเพิ่มค่าแรงที่ใช้ในการคำนวณ

ที่มา: มยผ.1301/1302-61

คาบการสั่นพื้นฐาน

T = 0.02H = 0.02x(1+4x3)=0.26 sec



ตัวประกอบความสำคัญ

อาคารความสำคัญปกติ I = 1.0

น้ำหนักอาคาร

W = 10213.73 kN

ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง

R = 5

$$V = \frac{S_a(T) \cdot I}{R} W$$

V = 0.71x1.0x10213.73/5 =1450 kN

ยังไม่รวมการเพิ่มค่าแรงแผ่นดินไหวอีกร้อยละ 40 สำหรับการออกแบบด้านกำลัง เมื่อใช้โครงต้านแรงดัดความเหนียวปานกลาง ในพื้นที่ประเภทการออกแบบ ง

ค่าแรงด้านข้างในแต่ละชั้นและแรงเฉือนในเสาชั้นในพื้น

ระดับชั้น	ความสูง	น้ำหนักแต่ละชั้น		แรงด้านข้าง	แรงเฉือนระหว่างชั้น
	h_x	W_x	$W_x h_x$	F_x	V_x
	(ม.)	(กิโลนิวตัน)	(กิโลนิวตัน-ม.)	(กิโลนิวตัน)	(กิโลนิวตัน)
ROOF	13	1398.83	18,185	394	394
4th Fl.	10	2216.45	22,165	480	875
3rd Fl.	7	2216.45	15,515	336	1211
2nd Fl.	4	2216.45	8,866	192	1403
1st Fl.	1	2165.56	2,166	47	1450
รวม		**10213.73**	**66,896**	**1,450**	

$$F_x = C_{vx} V$$

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

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง ซึ่งมีค่าดังนี้

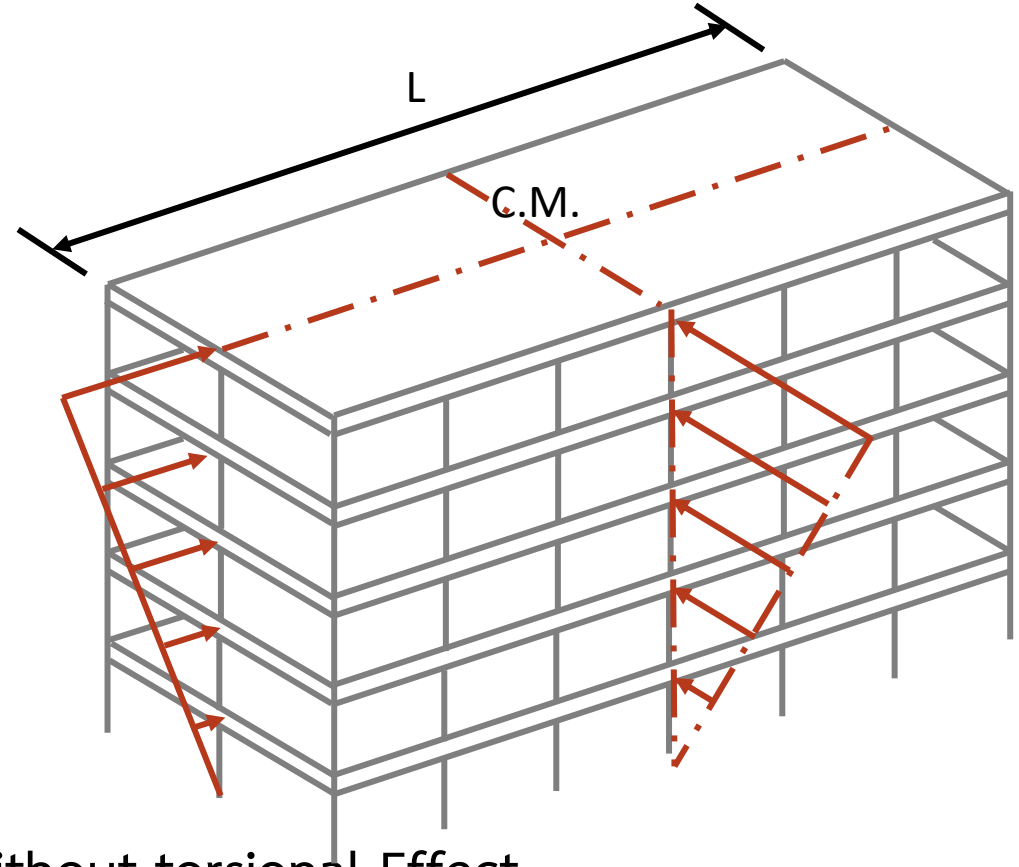
$k = 1.0$ เมื่อ $T \le 0.5$ วินาที

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

$k = 2.0$ เมื่อ $T \ge 2.5$ วินาที

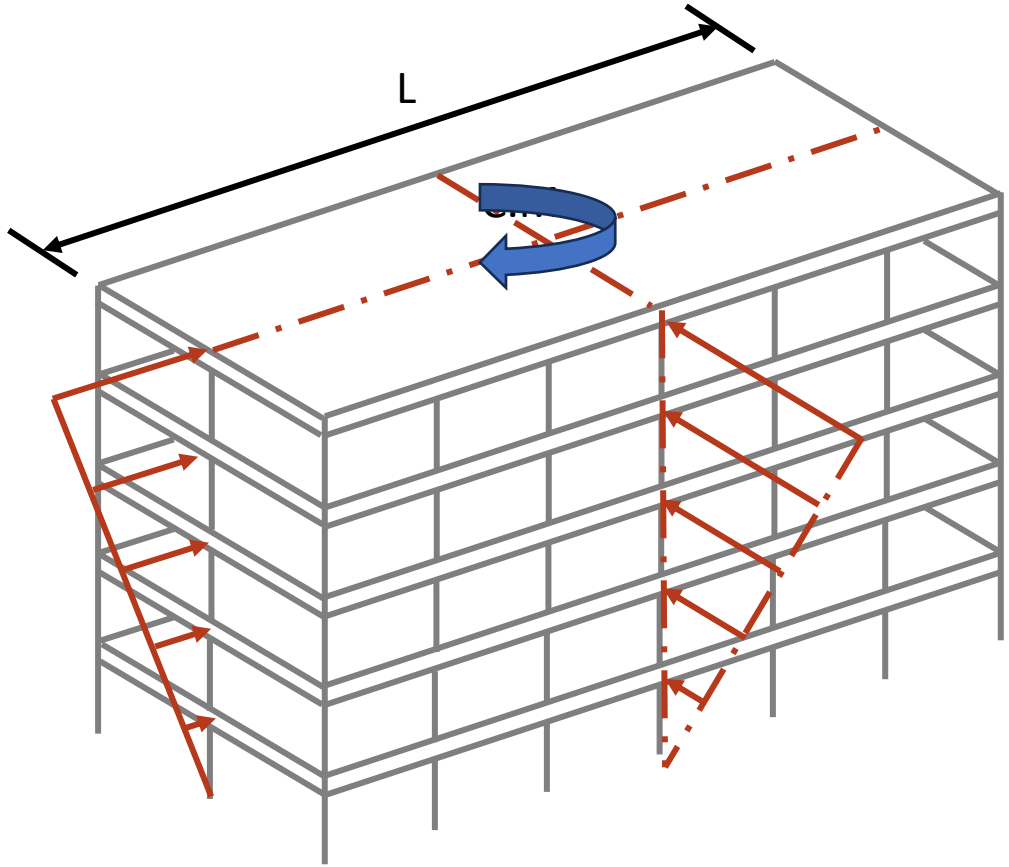
การบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion)

มาตรฐานกำหนดให้พิจารณา การเยื้องศูนย์เป็นระยะ 5% ของความยาวด้านที่ตั้งฉากกับแรง



without torsional Effect

$C_M = C_R$



ทิศทางของแรงแผ่นดินไหว (ต่อ)

(1) วิธีรวมผลของแรงที่กระทำใน 2 ทิศทางที่ตั้งฉากกัน

(วิธีแรงสถิตเทียบเท่า วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด หรือวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา)

กำหนดให้แรงแผ่นดินไหวกระทำในทิศทางของแกนหลักของโครงสร้างทีละทิศทางไม่พร้อมกัน

(ก) ร้อยละ 100 ของผลของแรงในทิศทางที่ 1 + ร้อยละ 30 ของผลของแรงในทิศทางที่ 2

(ข) ร้อยละ 30 ของผลของแรงในทิศทางที่ 1 + ร้อยละ 100 ของผลของแรงในทิศทางที่ 2

การรวมผลของแรงแผ่นดินไหว กับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง

กรณีที่ 1 : $U = 1.4(DL + SDL) + 1.7LL$

กรณีที่ 2ก : $U = 0.75[1.4(DL + SDL) + 1.7LL] \pm 1.0Ex \pm 0.3Ey$

กรณีที่ 2ข : $U = 0.75[1.4(DL + SDL) + 1.7LL] \pm 0.3Ex \pm 1.0Ey$

กรณีที่ 3ก : $U = 0.9(DL + SDL) \pm 1.0Ex \pm 0.3Ey$

กรณีที่ 3ข : $U = 0.9(DL + SDL) \pm 0.3Ex \pm 1.0Ey$

การรวมผลของแรงแผ่นดินไหว กับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง

กรณีการเพิ่มค่าแรงแผ่นดินไหวอีกร้อยละ 40 สำหรับการออกแบบด้านกำลัง เมื่อใช้โครงต้านแรงดัดความเหนียวปานกลาง ในพื้นที่ประเภทการออกแบบ ง

กรณีที่ 1 : $U = 1.4(DL + SDL) + 1.7LL$

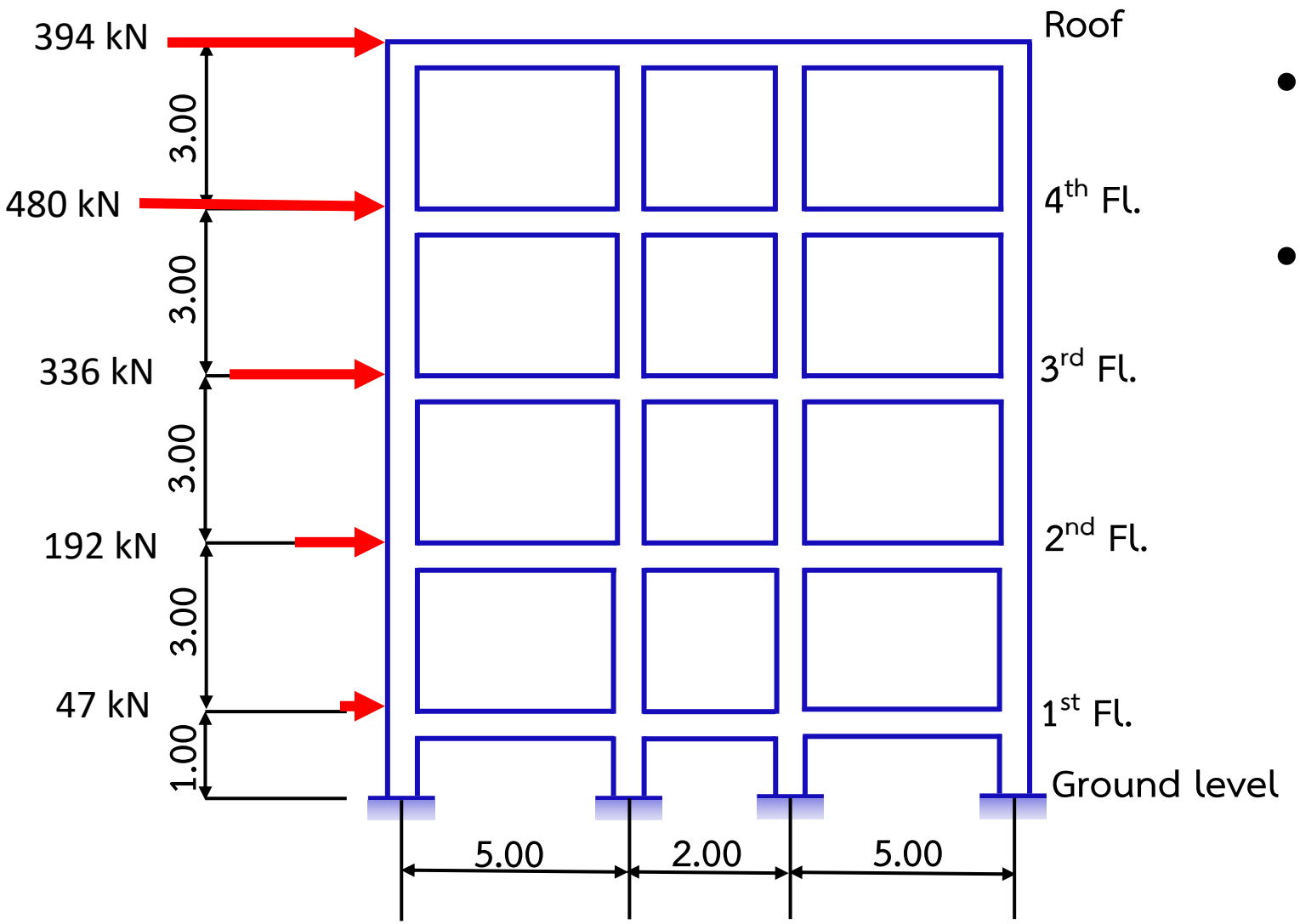
กรณีที่ 2a : $U = 0.75[1.4(DL + SDL) + 1.7LL] \pm 1.4Ex \pm 0.42Ey$

กรณีที่ 2b : $U = 0.75[1.4(DL + SDL) + 1.7LL] \pm 0.42Ex \pm 1.4Ey$

กรณีที่ 3a : $U = 0.9(DL + SDL) \pm 1.4Ex \pm 0.42Ey$

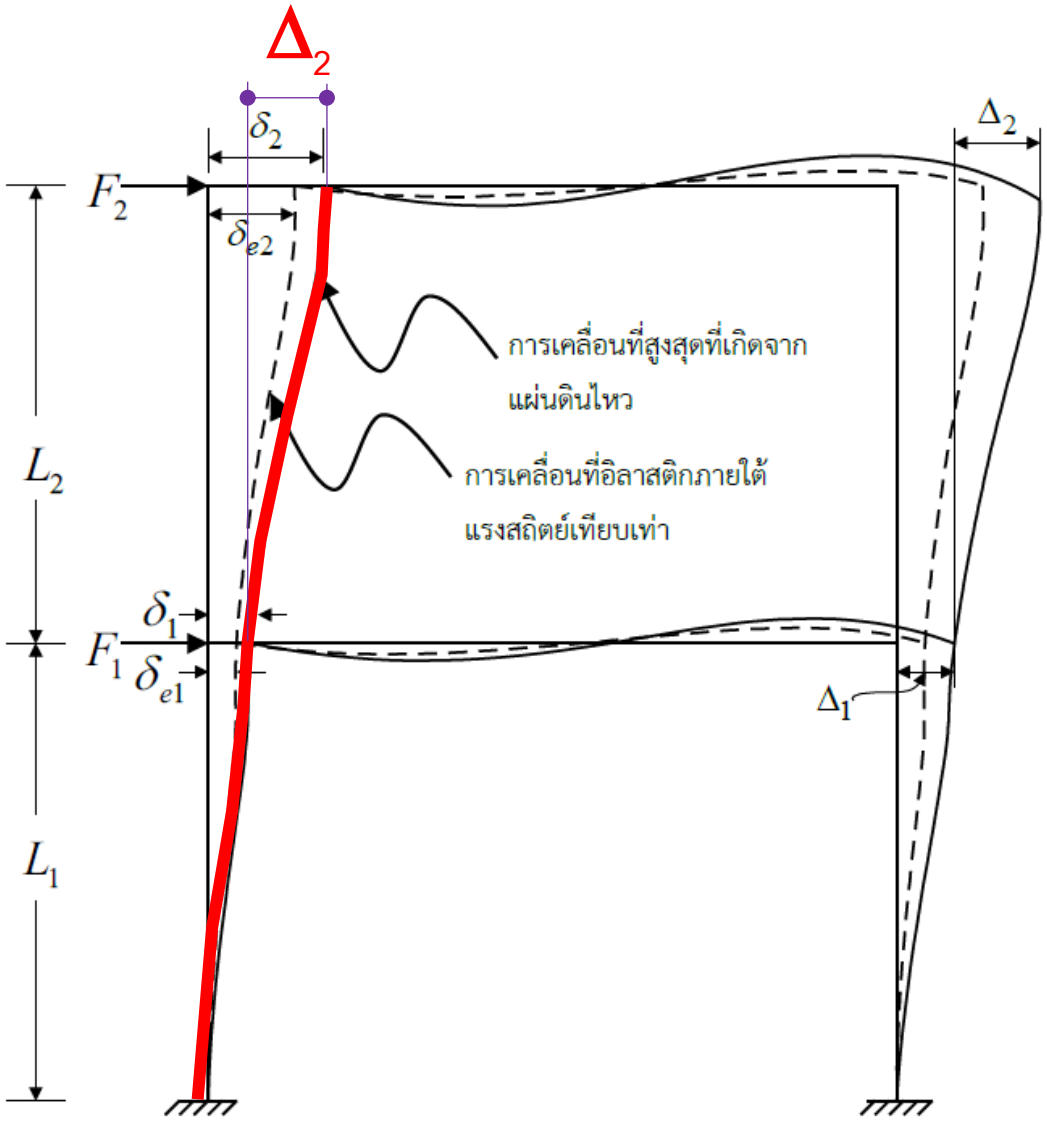
กรณีที่ 3b : $U = 0.9(DL + SDL) \pm 0.42Ex \pm 1.4Ey$

การวิเคราะห์โครงสร้าง



- แรงดัดภายในเสา-คาน ใช้ออกแบบกำลังหน้าตัดเสาและคาน
- การเสียรูป ใช้ตรวจสอบเกณฑ์ค่าการเสียรูปสัมพัทธ์ที่ยอมให้ และตรวจสอบ P-Delta Effect

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้



ระดับชั้นที่ 2

F_2 = แรงสถิตเทียบเท่าที่ชั้นที่ 2

δ_{e2} = การเคลื่อนที่อิลาสติกเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า

$\delta_2 = C_d \delta_{e2} / I$ = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ที่ชั้น 2

$$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I \leq \Delta_a$$

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ของชั้นที่ 2

ระดับชั้นที่ 1

F_1 = แรงสถิตเทียบเท่าที่ชั้นที่ 1

δ_{e1} = การเคลื่อนที่อิลาสติกเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า

$\delta_1 = C_d \delta_{e1} / I$ = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ที่ชั้น 1

$$\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_a$$

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ของชั้นที่ 1

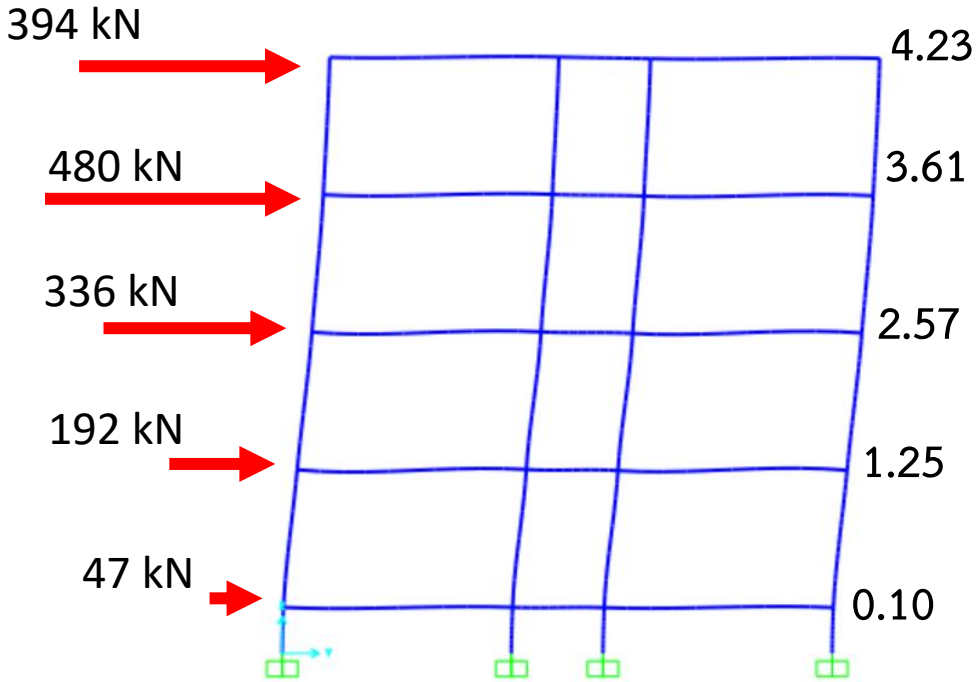
Δ_i = การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ชั้นที่ i

Δ_i / L_i = อัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ชั้นที่ i

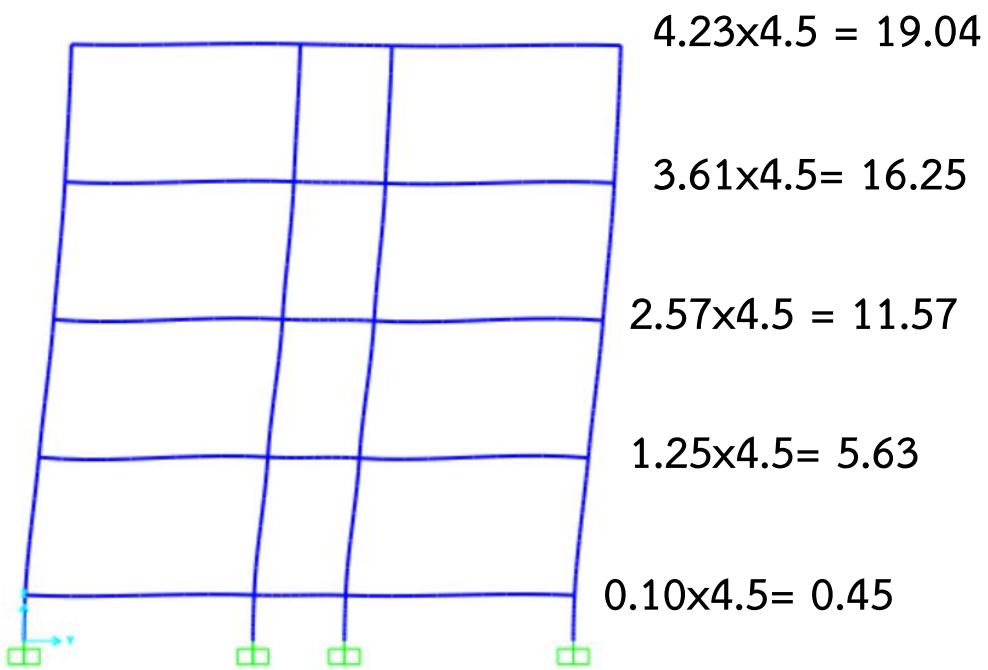
δ_i = การเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว ณ ชั้นที่ i

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นจากการวิเคราะห์โครงสร้าง

การเคลื่อนภายใต้แรงแผ่นดินไหว (cm)



การเคลื่อนภายใต้แรงแผ่นดินไหว x C_d/I (cm)



ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นจากการวิเคราะห์โครงสร้าง

การเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

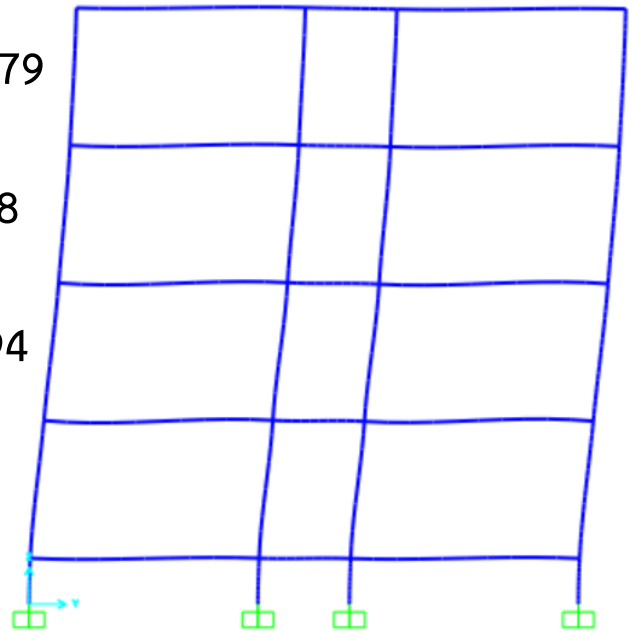
19.04-16.25 = 2.79

16.25-11.57 = 4.68

11.57-5.63 = 5.94

5.63-0.45 = 5.18

0.45-0 = 0.45



ตารางที่ 2.11-1 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a)

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

หมายเหตุ

1) h_{sx} คือ ความสูงระหว่างชั้นที่อยู่ใต้พื้นชั้นที่ x
2) อาคารชั้นเดียวที่มีผนังภายใน ฉากกั้นห้อง ฝ้าเพดาน และผนังภายนอกที่ถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้มาก จะมีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเท่าใดก็ได้ไม่จำกัด แต่ยังคงต้องพิจารณาการเว้นระยะห่างระหว่างโครงสร้างตามหัวข้อที่ 2.11.3
3) โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบยื่นจากฐานรองรับ หมายถึง อาคารที่ถูกออกแบบให้ใช้กำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างในแนวดิ่งซึ่งยื่นขึ้นมาจากฐานรองรับ และถูกก่อสร้างในลักษณะที่มีถ่ายโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนระหว่างกำแพงข้างเคียง (แบบ Coupling Beam) น้อยมาก

จากตารางที่ 2.11-1 ของ มยผ.1301/1302-61 สำหรับโครงสร้างทั่วไป ที่ความสำคัญของอาคารประเภท I

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ Δ ต้องมีค่าไม่เกิน $0.02h_x = 0.02 \times 300 = 6.00$ ซม.

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ Δ_x ในแต่ละชั้นมีค่าไม่เกินขีดจำกัด OK

ตรวจสอบ P-Delta

ระดับชั้น	ความสูงชั้น	น้ำหนักแต่ละชั้น x และเหนือขึ้นไป	แรงด้านข้าง	แรงเฉือนระหว่างชั้น	การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น	$\theta = \frac{P_x \Delta}{V_x h_{sx} C_d}$
	H_{sx}	P_x	F_x	V_x	Δ	
	(ม.)	(กิโลนิวตัน)	(กิโลนิวตัน)	(กิโลนิวตัน)		
4th Story	3	1398.83	394	394	2.79	0.007
3rd Story	3	3615.28	480	875	4.68	0.014
2nd Story	3	5831.73	336	1211	5.94	0.021
1st Story	3	8048.18	192	1403	5.18	0.022
Base	1	10213.74	47	1450	0.45	0.007

θ น้อยกว่า 0.1 ไม่ต้องคิดผล P-Delta

$$\theta = \frac{P_x \Delta}{V_x h_{sx} C_d} \qquad (3.8\text{-}1)$$

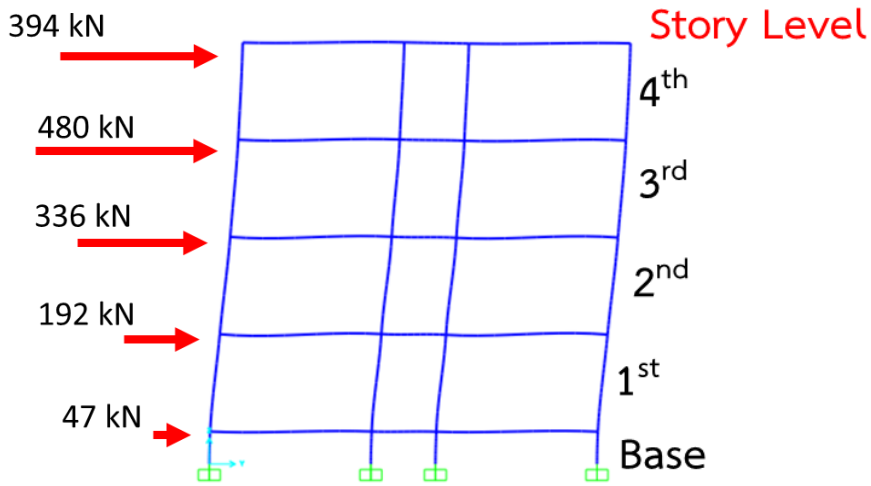
โดยที่ P_x คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร(หัวข้อที่ 2.8.2) ที่ระดับชั้น x และที่อยู่เหนือชั้น x ทั้งหมดรวมกัน

Δ คือ ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ ระดับชั้น x ที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (หัวข้อที่ 3.7)

V_x คือ แรงเฉือนในระดับระหว่างชั้น x และชั้น x -1 ที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า (หัวข้อที่ 3.5)

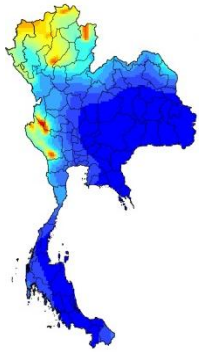
h_{sx} คือ ระยะความสูงระหว่างชั้น x กับ ชั้น x -1

C_d คือ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว ตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 2.3



ขั้นตอนการคำนวณด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า

(1)
กำหนดภัยแผ่นดินไหว



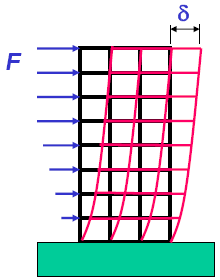
ประเภทอาคาร



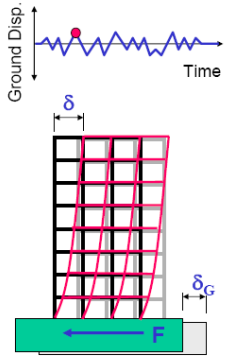


(2)
เลือกระบบโครงสร้าง
และ ตัวประกอบสำหรับ
การออกแบบ

(3)
วิธีแรงสถิตเทียบเท่า



(4)
วิธีเชิงพลศาสตร์



(5)
การให้
รายละเอียด
เหล็กเสริม
โครงสร้าง

การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า

