Seismic Design

EQK3 – Seismic Code

- มาตรฐานแผ่นดินไหว
- แรงเฉือนที่ฐานอาคาร
- ชนิดการออกแบบแผ่นดินไหว
- ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง
- ตัวอย่างการคำนวณแรงแผ่นดินไหว

Asst. Prof. Dr. Mongkol JIRAVACHARADET

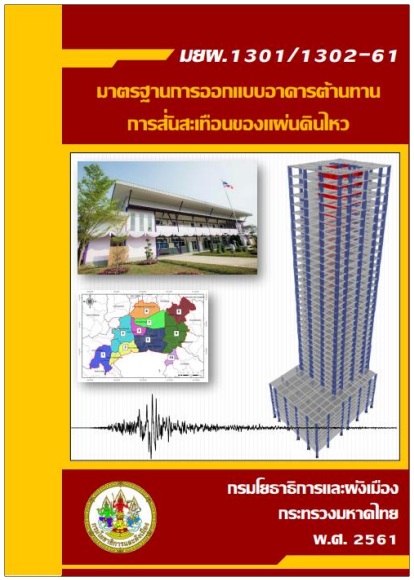
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
INSTITUTE OF ENGINEERING
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

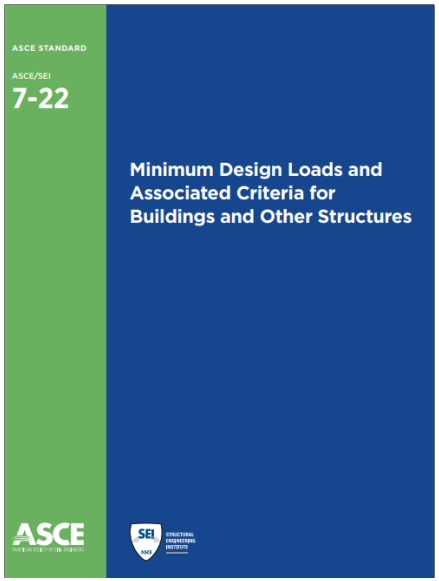
มาตรฐานแผ่นดินไหว

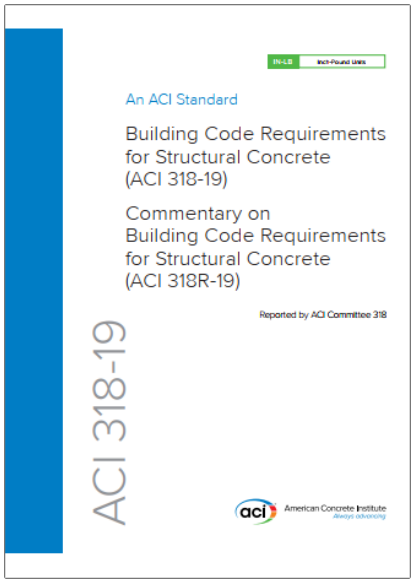
(1) มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย **มยผ. 1301/1302** (2561)

(2) Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures : **ASCE/SEI 7-22**
American Society of Civil Engineers

(3) Building Code Requirements for Structural Concrete : **ACI 318-19**
American Concrete Institute





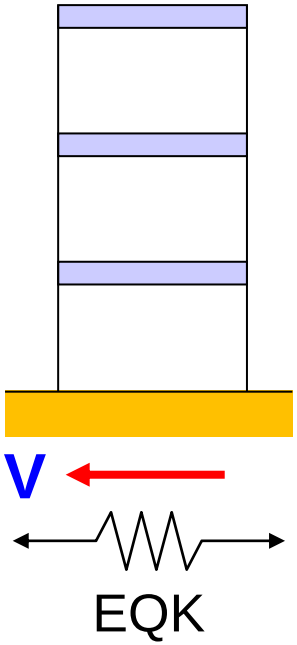


แรงเฉือนฐานอาคาร (Base Shear, V)

UBC 1985: V = Z I K C S W → กฎกระทรวง 2550

มยผ.1302 อ้างอิงมาตรฐาน ASCE7-05 → IBC 2006

คำนวณหาแรงเฉือนที่ฐานอาคารโดยแสดงอยู่ในรูปแบบของผลคูณระหว่างค่าความเร่งตอบสนองแรงแผ่นดินไหวและน้ำหนักอาคารประสิทธิผล



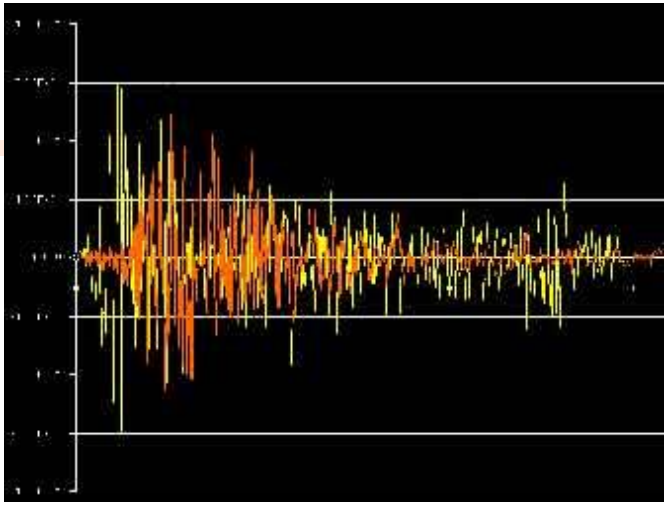
แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (วิธีแรงสถิตเทียบเท่า) :

$$V = C_s W$$

เมื่อ C_s คือ สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว

W คือ น้ำหนักอาคารประสิทธิผล

ความเร่งตอบสนองสเปคตรัม (S_a)



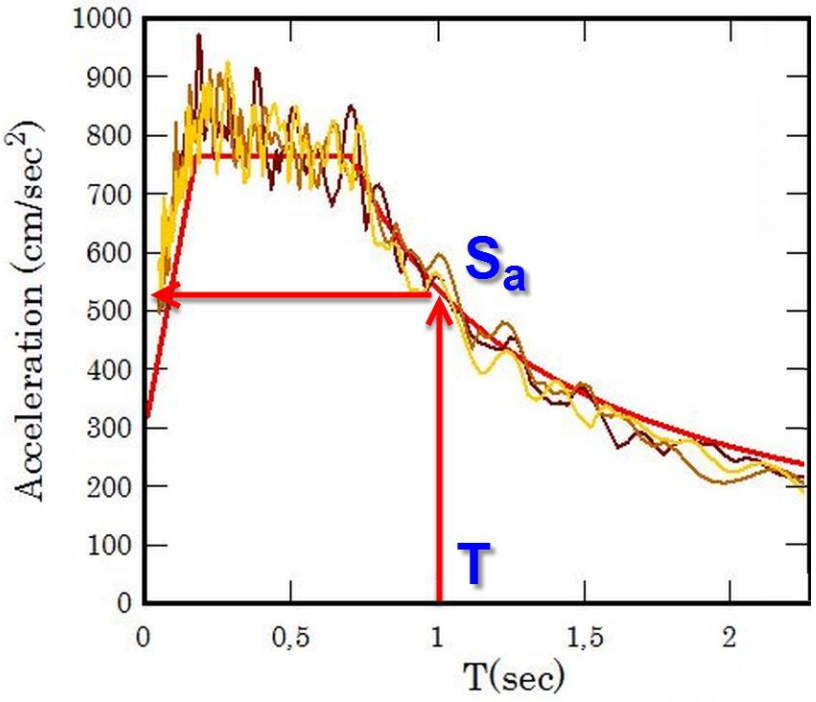
สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแผ่นดินไหว C_s คำนวณได้จาก

$$C_s = S_a\left(\frac{I}{R}\right) \geq 0.01$$

โดยที่ S_a คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ

R คือ ตัวคูณปรับผลตอบสนอง

I คือ ตัวคูณความสำคัญของอาคาร



คาบการสั่นพื้นฐาน (T)

ค่าคาบการสั่นพื้นฐาน (fundamental period) **T** (หน่วยเป็นวินาที) ในทิศทางที่พิจารณาออกแบบสำหรับอาคาร สามารถคำนวณได้โดยวิธีดังต่อไปนี้

วิธี ก. คำนวณคาบการสั่นพื้นฐานโดยใช้สูตรการประมาณ

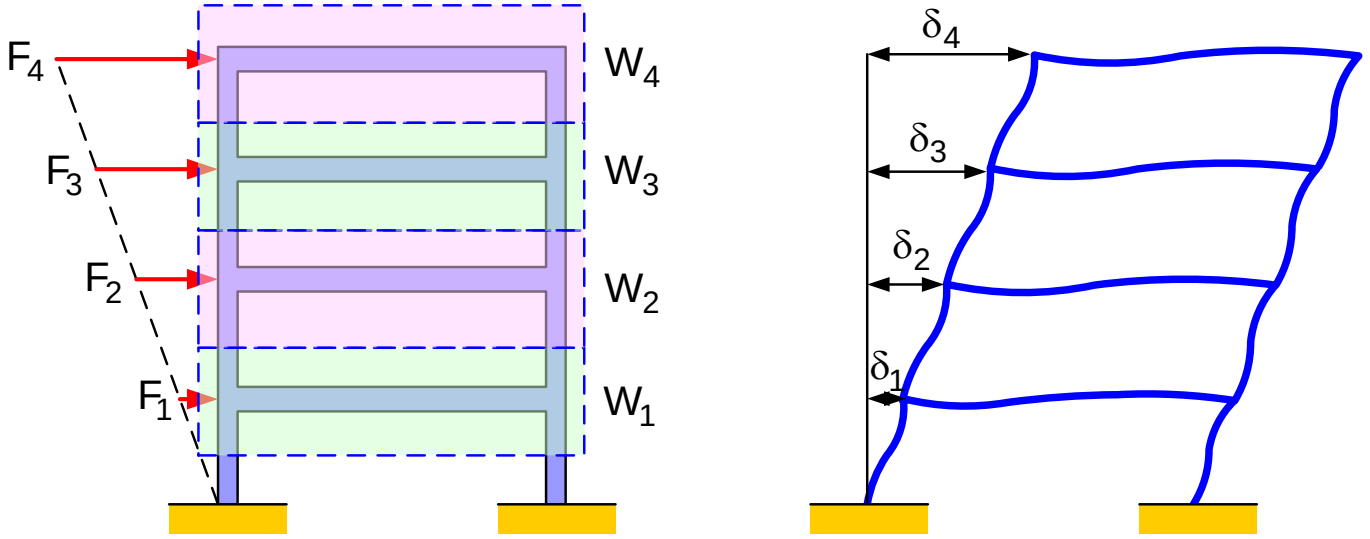
อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	T = 0.02H
อาคารโครงเหล็ก	T = 0.03H

โดยที่ H คือความสูงของอาคารวัดจากพื้นดิน มีหน่วยเป็นเมตร

วิธี ข. การคำนวณค่าคาบการสั่นพื้นฐานโดยใช้หลักการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์

ค่า T ที่คำนวณได้จากวิธี ข. ต้องไม่เกิน 1.5 เท่าของค่าที่คำนวณได้จากวิธี ก.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(W_i \delta_i^2\right)}{g\sum_{i=1}^{n}\left(F_i \delta_i\right)}}$$



$$V = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{1}{g}\left[\frac{W_1\delta_1^2 + W_2\delta_2^2 + W_3\delta_3^2 + W_4\delta_4^2}{F_1\delta_1 + F_2\delta_2 + F_3\delta_3 + F_4\delta_4}\right]}$$

โดยที่ δ_i คือ การเคลื่อนตัวในแนวราบของจุดศูนย์กลางมวลที่ระดับ **i** โดยไม่รวมผลของการบิด (เมตร)

F_i คือ แรงที่กระทำที่ระดับ **i** (นิวตัน)

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

i คือ ระดับชั้นที่พิจารณาของโครงสร้าง

n คือ จำนวนชั้นของโครงสร้าง

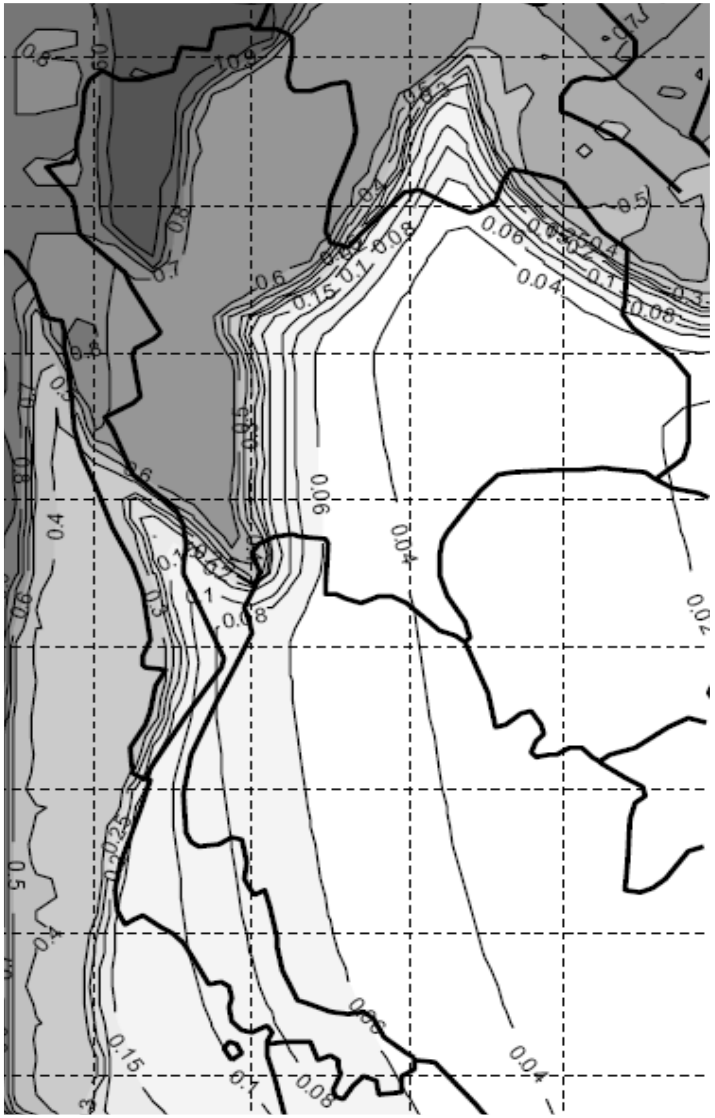
W_i คือ น้ำหนักที่ใช้พิจารณาแผ่นดินไหวของชั้นที่ **i** (นิวตัน)

ความเร่งตอบสนองสเปคตรัม (S_S , S_1)

พื้นที่ทั่วประเทศไทยยกเว้นแอ่งกรุงเทพ

เมื่อ S_{DS} และ S_{D1} คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่นในช่วงสั้นและที่คาบการสั่น **1.0** วินาทีตามลำดับ

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ จะแบ่งเป็นสำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} \leq S_{DS}$ และสำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$ ในมยผ.1302 ตารางที่ 1.4-1



มยผ.1302 ตารางที่ 1.4-1

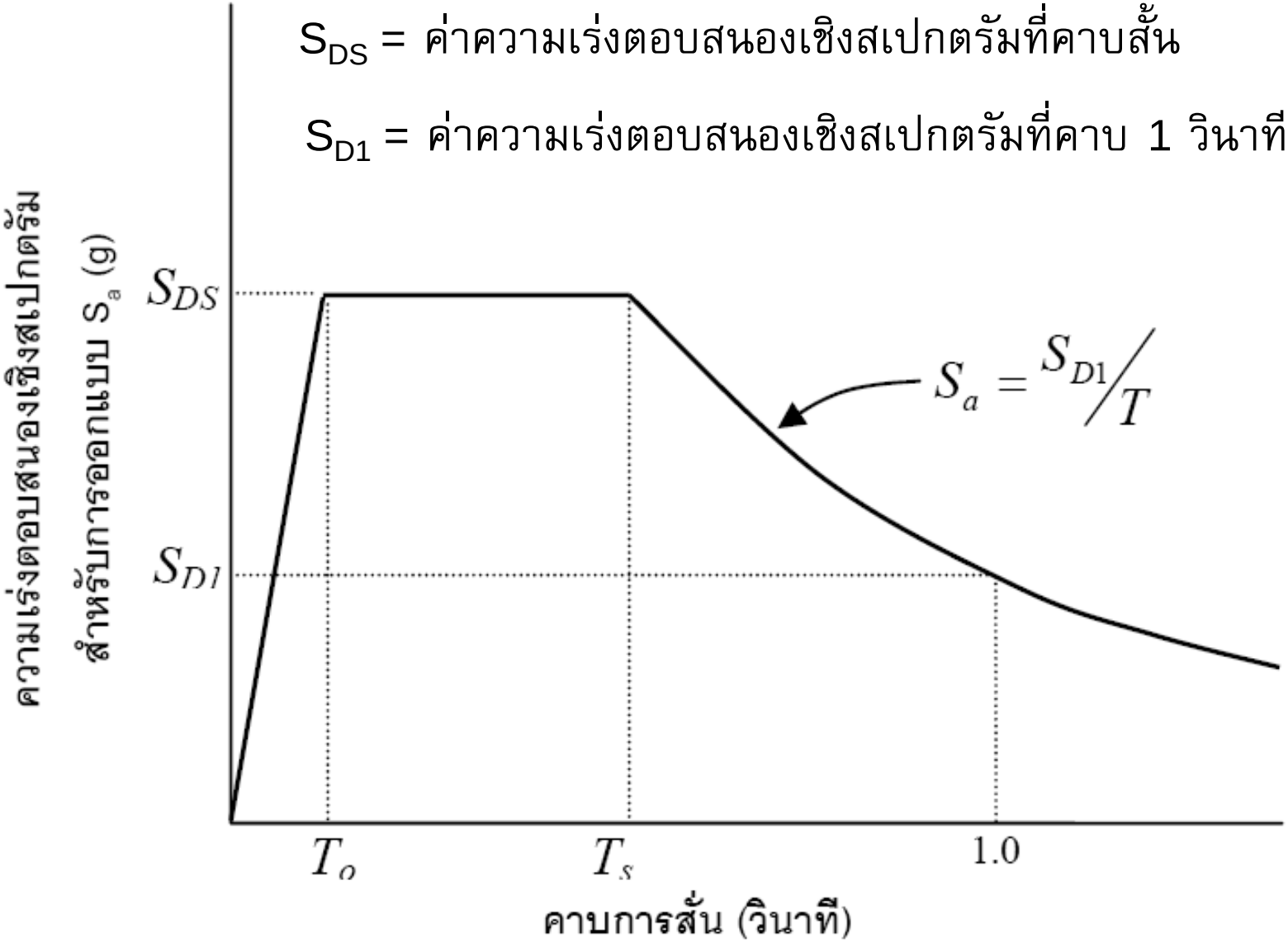
ตารางที่ 1.4-1 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้น (S_S) และ ที่คาบ 1 วินาที (S_1) ของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
กระบี่	กิ่งอำเภอเหนือคลอง	0.113	0.102
	เกาะลันตา	0.110	0.108
	เขาพนม	0.105	0.097
	คลองท่อม	0.099	0.099
	ปลายพระยา	0.110	0.100
	เมืองกระบี่	0.123	0.105
	ลำทับ	0.089	0.092
	อ่าวลึก	0.160	0.113
กำแพงเพชร	กิ่งอำเภอโกสัมพีนคร	0.479	0.131
	กิ่งอำเภอบึงสามัคคี	0.219	0.074
	ขาณุวรลักษบุรี	0.374	0.105
	คลองขลุง	0.345	0.102
	คลองลาน	0.499	0.144
	ทรายทองวัฒนา	0.266	0.085
	ไทรงาม	0.266	0.083
	ร่องคำ	0.045	0.027
	สมเด็จ	0.053	0.030
	สหัสขันธ์	0.055	0.030
	หนองกุงศรี	0.056	0.030
	ห้วยผึ้ง	0.052	0.029
	ห้วยเม็ก	0.054	0.030

ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ

S_{DS} = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้น

S_{D1} = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบ 1 วินาที



ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ

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

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

โดยที่ S_S = ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบ 0.2 วินาที

S_1 = ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบ 1.0 วินาที

F_a และ F_v เป็นสัมประสิทธิ์สำหรับดิน ตามตาราง 1.4-2 และ 1.4-3

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				

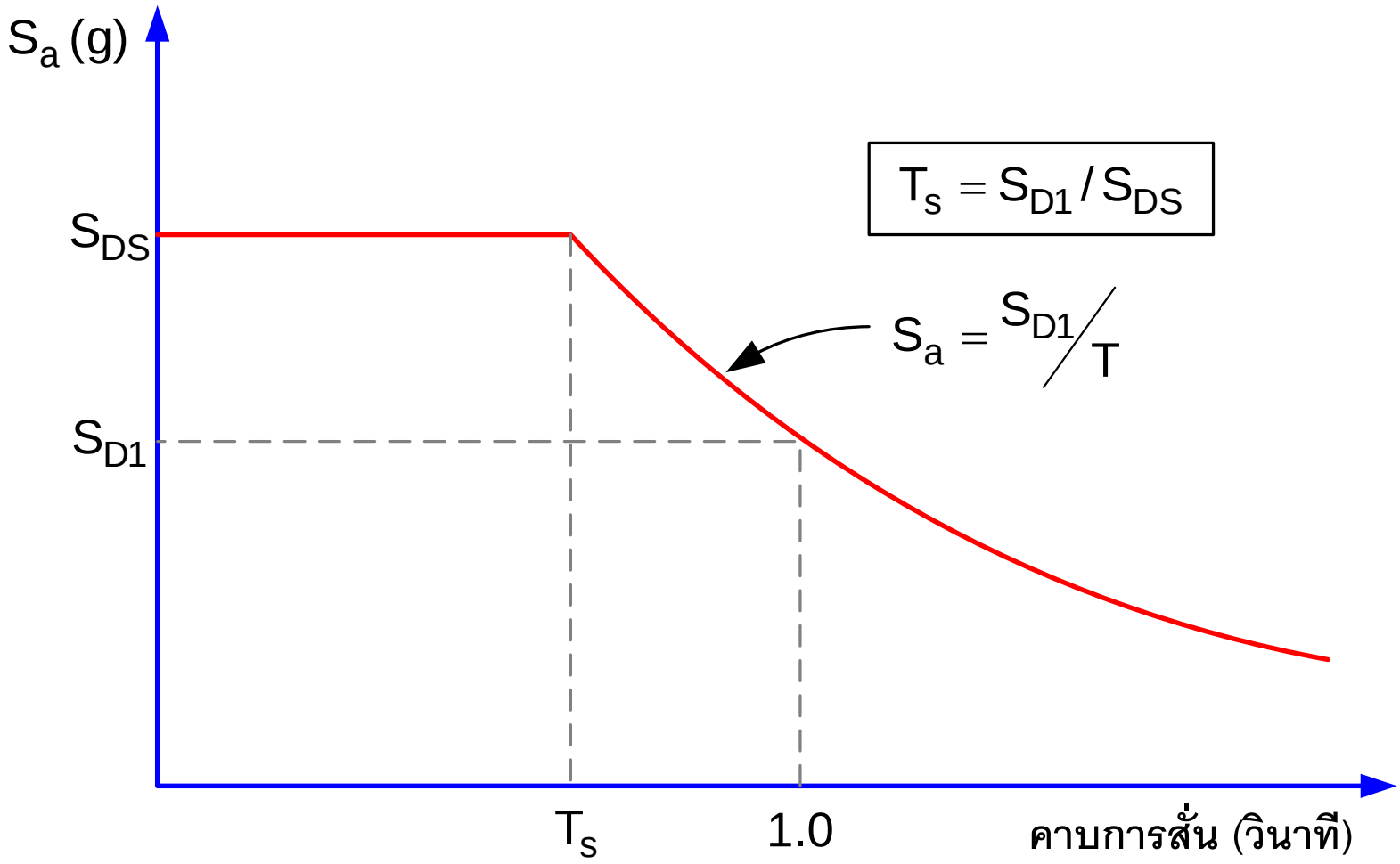
ประเภทของดิน บริเวณที่ตั้งของโครงสร้างแบ่งออกเป็น 6 ประเภทคือ A, B, C, D, E, หรือ F โดยใช้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนหรือคุณสมบัติอื่นๆ ของดินตามวิธีในภาคผนวก ก หากไม่มีข้อมูลดินเพียงพอให้ใช้ประเภทของดินดังนี้

- กทม และปริมณฑล ให้ใช้ดินประเภท E ในการออกแบบ
- จังหวัดที่ไม่ใช่กทม และปริมณฑล ให้ใช้ดินประเภท D ในการออกแบบ

สเปกตรัมการออกแบบ (S_a)

พื้นที่ทั่วประเทศไทยยกเว้นแอ่งกรุงเทพ กรณี $S_{D1} \leq S_{DS}$

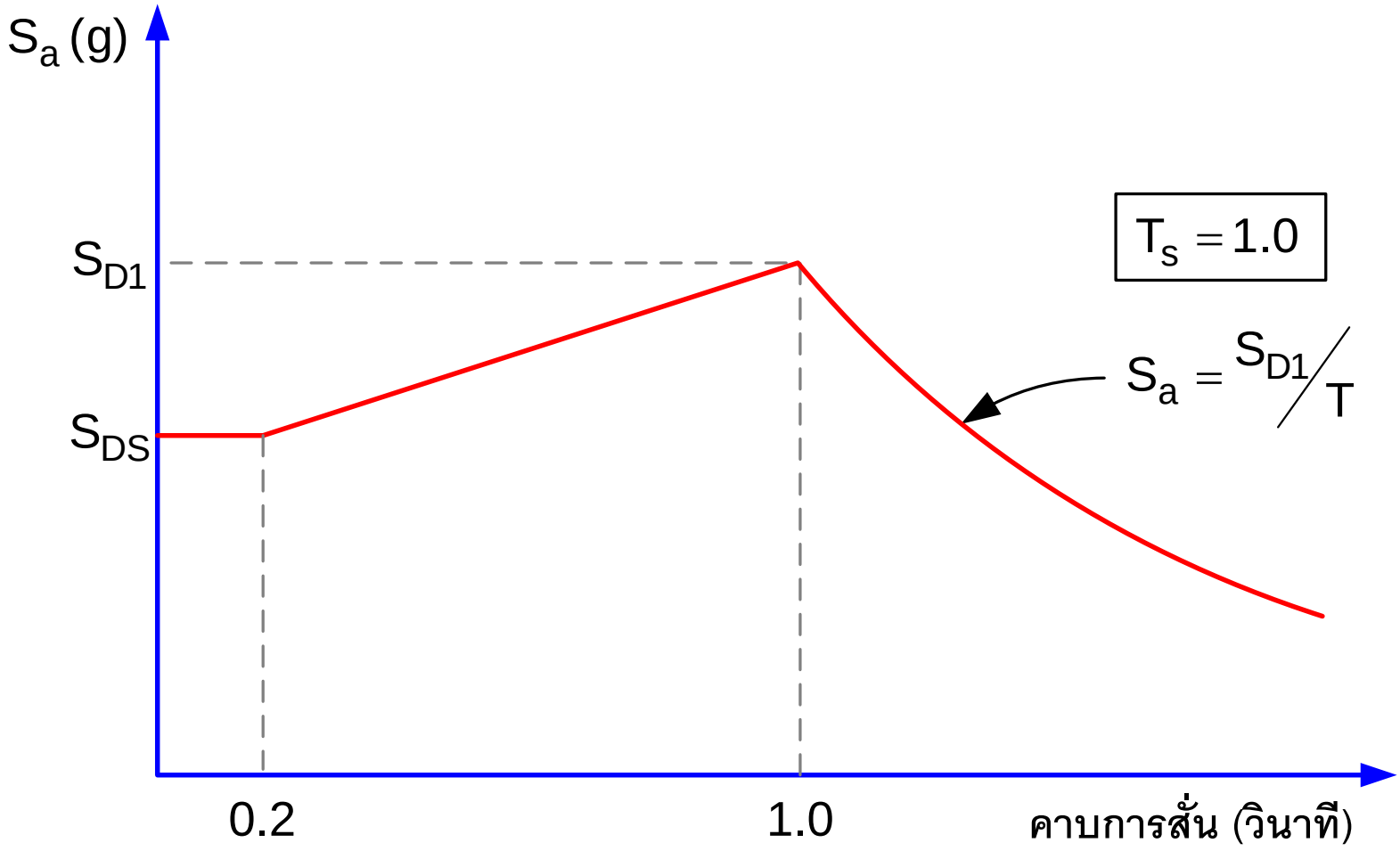
สำหรับการออกแบบด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า



สเปกตรัมการออกแบบ (S_a)

พื้นที่ทั่วประเทศไทยยกเว้นแอ่งกรุงเทพ กรณี $S_{D1} > S_{DS}$

สำหรับการออกแบบด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า



สเปกตรัมการออกแบบ (S_a)

พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ

โซน 1: เพชรบุรี, ราชบุรี

โซน 2: ราชบุรี, นครปฐม

โซน 3: สมุทรสงคราม, สมุทรสาคร

โซน 4: นนทบุรี

โซน 5: กรุงเทพมหานคร, สมุทรปราการ

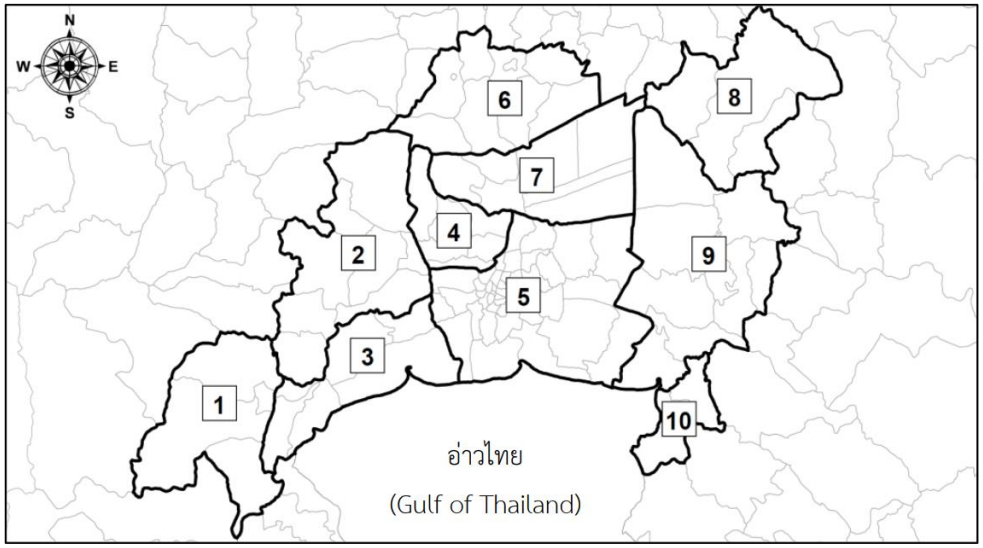
โซน 6: พระนครศรีอยุธยา

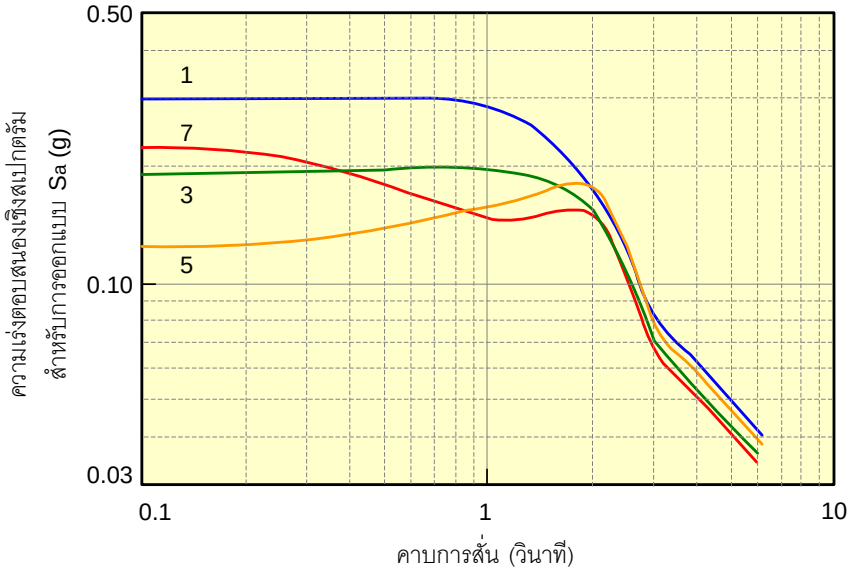
โซน 7: ปทุมธานี

โซน 8: นครนายก

โซน 9: นครนายก, ปราจีนบุรี, ฉะเชิงเทรา

โซน 10: ชลบุรี



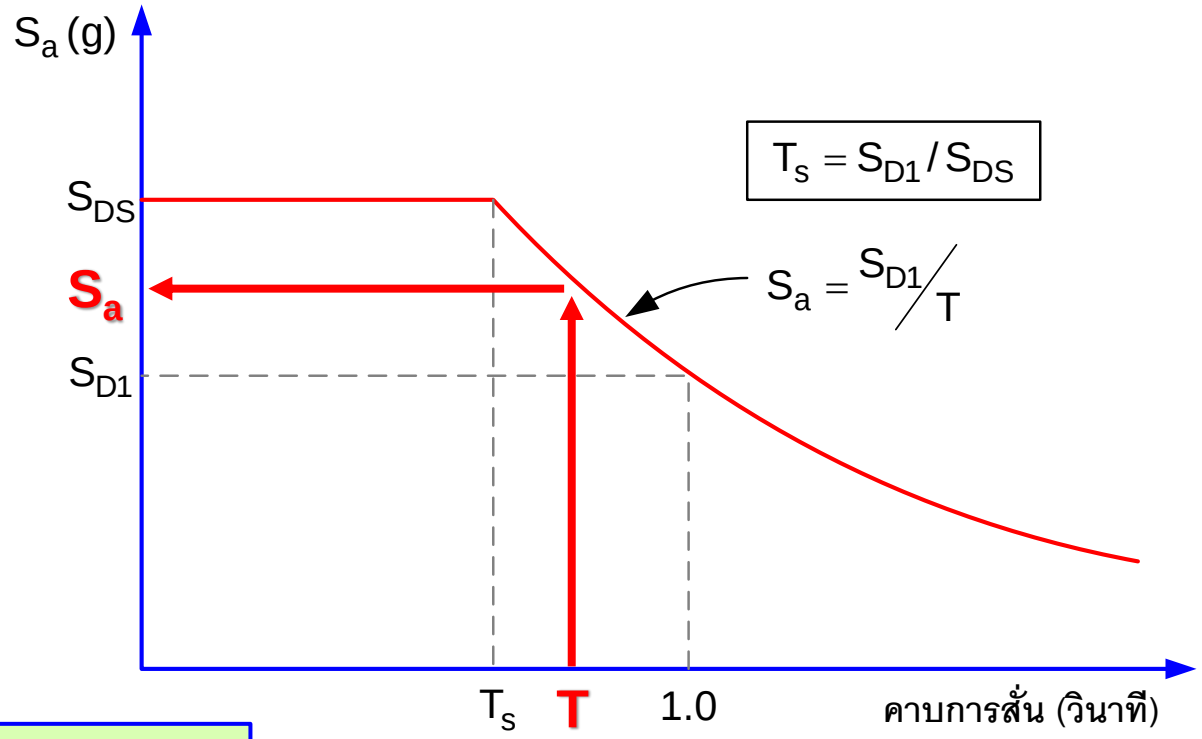


สเปกตรัมการออกแบบ (S_a)

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

การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ (C_s)



ค่าสัมประสิทธิ์

$$C_s = S_a\left(\frac{I}{R}\right) = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \leq \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

โดยที่ C_s ที่คำนวนได้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.01

ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร (I)

ตารางที่ 1.5-1 การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร และค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

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

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

ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (R)

ตารางที่ 2.3-1

ระบบโครงสร้าง	ระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้าง	R	Ω_o	C_d
1. ระบบกำแพงรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งBearing 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
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precaset Shear Wall)	4	2.5	4

		R		
2. ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	โครงเหล็กยึดรั้งเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงดัดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	8	2	4
	โครงเหล็กยึดรั้งเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment-Resisting Connections)	7	2	4
	โครงเหล็กยึดรั้งเหล็กแบบตรงศูนย์แบบให้รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5
	โครงเหล็กยึดรั้งเหล็กแบบตรงศูนย์แบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	3.5	2	3.5
	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
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall)	5	2.5	4.5

R

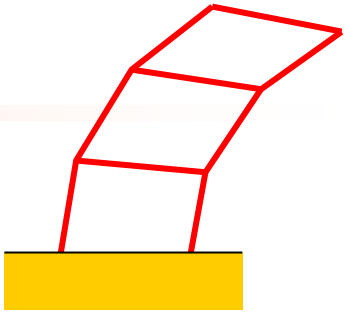
3. ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Steel Moment Resisting Frame)	8	3	5.5
	โครงถักต้านแรงดัดที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	7	3	5.5
	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีการให้รายละเอียดเพื่อความเหนียวปานกลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	4.5	3	4
	โครงต้านแรงดัดเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	8	3	5.5

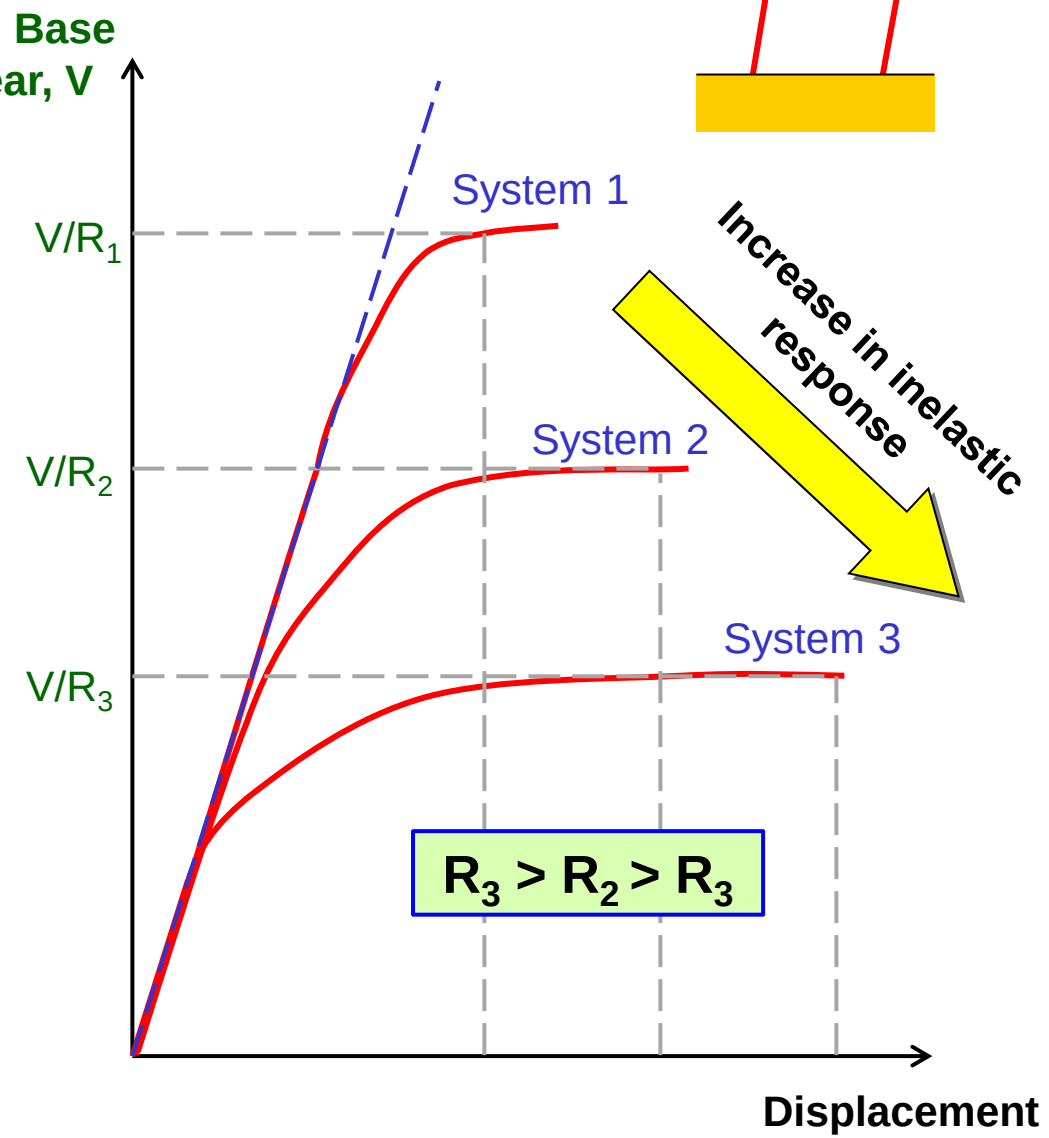
R

3. ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	5	3	4.5
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	3	3	2.5
4. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษและสามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคาร (Dual System with Special Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงเหล็กยึดรั้งแบบตรงศูนย์แบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	7	2.5	5.5
	ร่วมกับโครงเหล็กยึดรั้งเยื้องศูนย์ (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

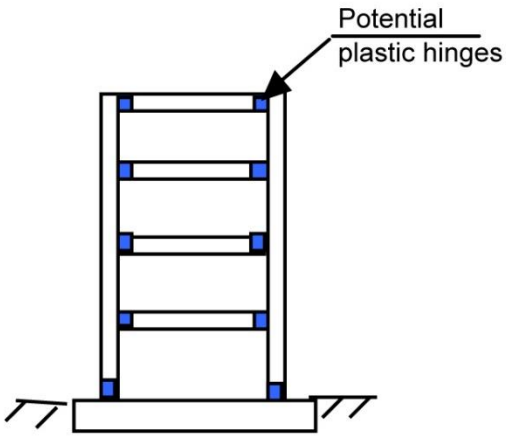
ความเหนียวของโครงสร้าง

- โครงสร้างธรรมดา
  (Ordinary structure)
- โครงสร้างเหนียวปานกลาง
  (Intermediate structure)
- โครงสร้างเหนียวพิเศษ
  (Special structure)

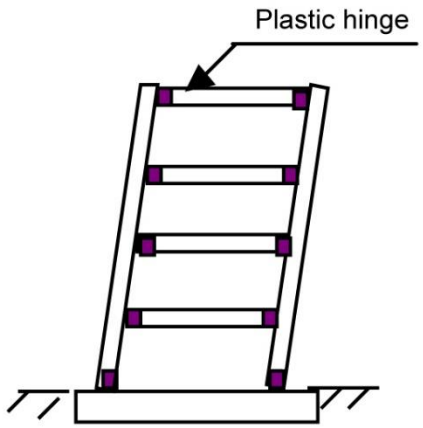




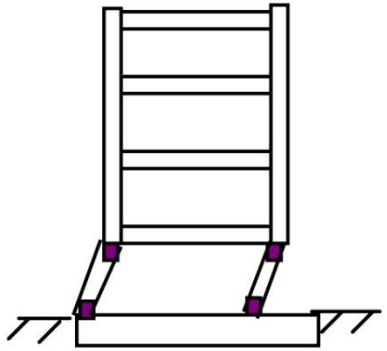
ผลของความเหนียวต่อการโยกตัวของโครงสร้าง



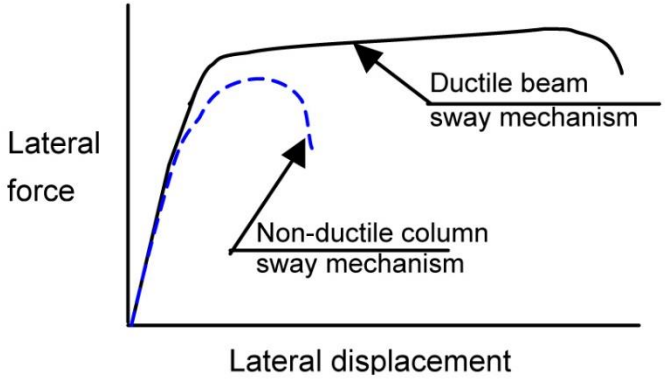
(a) Location of potential plastic hinges



(b) Ductile beam sway mechanism



(c) Non-ductile column sway mechanism



(d) Lateral force versus displacement

ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว

มยผ. 1302

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)
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	ข	ข	ค
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	ค	ค	ง
$0.50 \leq S_{DS}$	ง	ง	ง

ตารางที่ 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)
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	ข	ข	ค
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	ค	ค	ง
$0.20 \leq S_{D1}$	ง	ง	ง

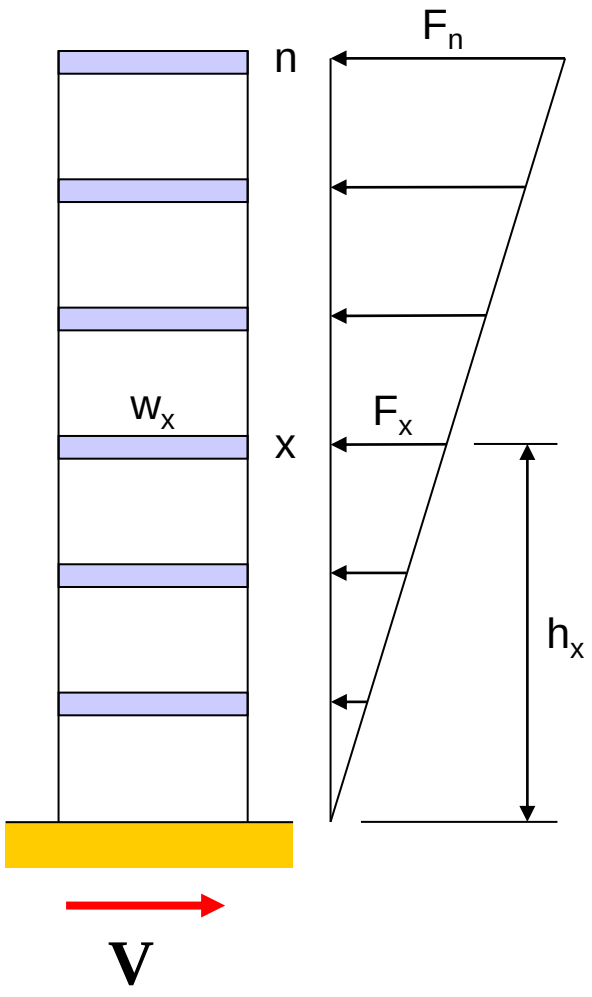
น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล (W)

คือน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมดของโครงสร้าง แต่ในบางกรณีจะมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกชนิดอื่นเข้าไปด้วยดังนี้

1. สำหรับอาคารที่ใช้เก็บพัสดุ ให้เพิ่มน้ำหนักอีกอย่างน้อยร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกจร
2. สำหรับพื้นที่ซึ่งมีการกั้นห้องเป็นส่วนๆให้รวมน้ำหนักที่กั้นห้อง หรือน้ำหนักอย่างน้อย 480 นิวตัน/ตร.ม.ของพื้นที่ชั้น โดยใช้ค่าที่มากกว่า
3. น้ำหนักของเครื่องมือ เครื่องจักรกล และอุปกรณ์ซึ่งติดตั้งถาวร

การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำทางด้านข้าง

แรงกระทำด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว F_x ที่แต่ละระดับชั้นอาคาร คำนวณจาก



$$F_x = C_{vx} V \quad \text{เมื่อ} \quad C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k}$$

เมื่อ

C_{vx} คือ ตัวประกอบการกระจายในแนวดิ่ง

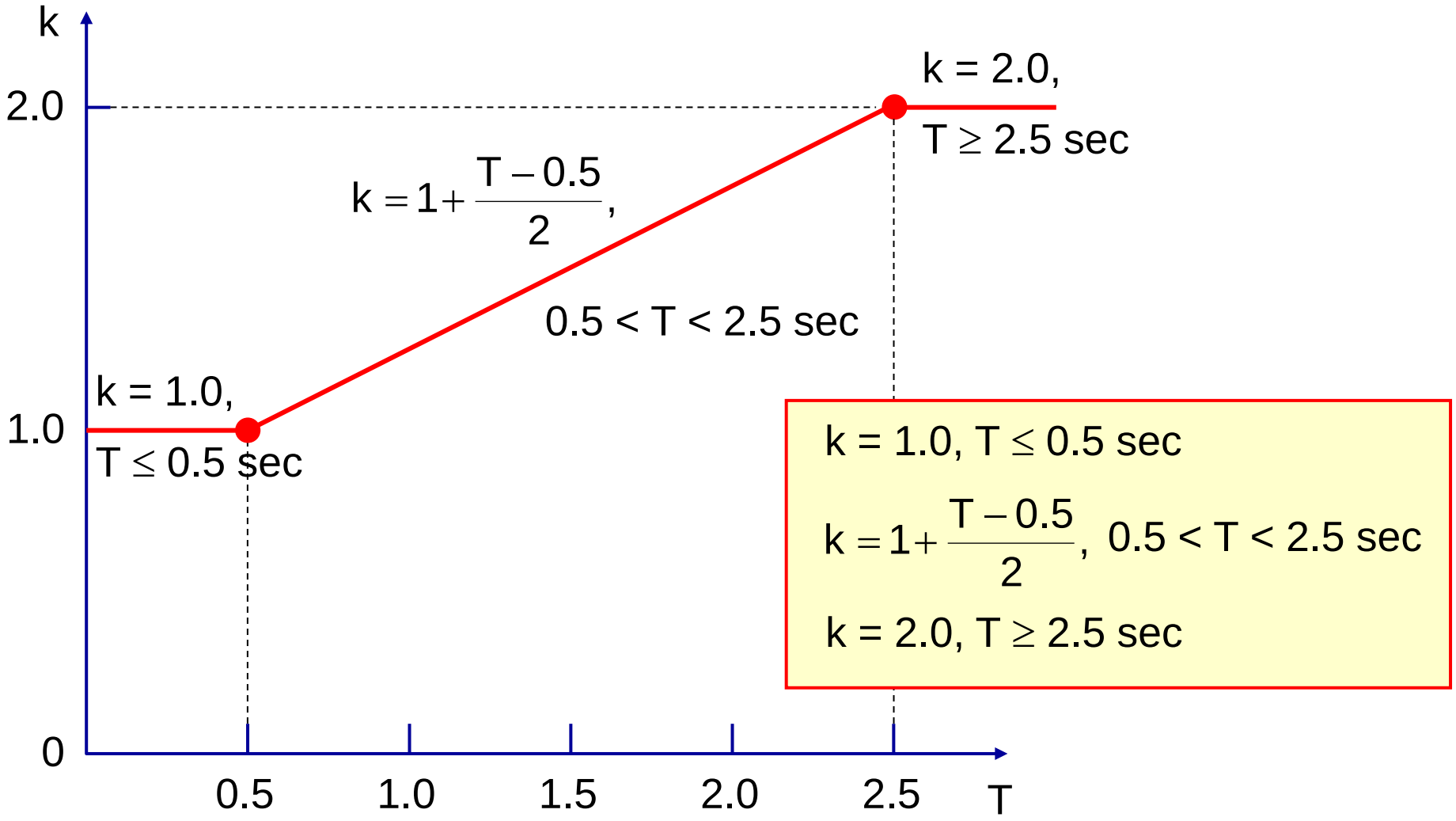
V คือ แรงเฉือนที่ฐานอาคาร

w_i และ w_x คือ น้ำหนักอาคารประสิทธิผลสำหรับชั้นที่ i และ x ตามลำดับ

h_i และ h_x คือ ความสูงวัดจากฐานอาคารไปยังระดับชั้นที่ i และ x ตามลำดับ

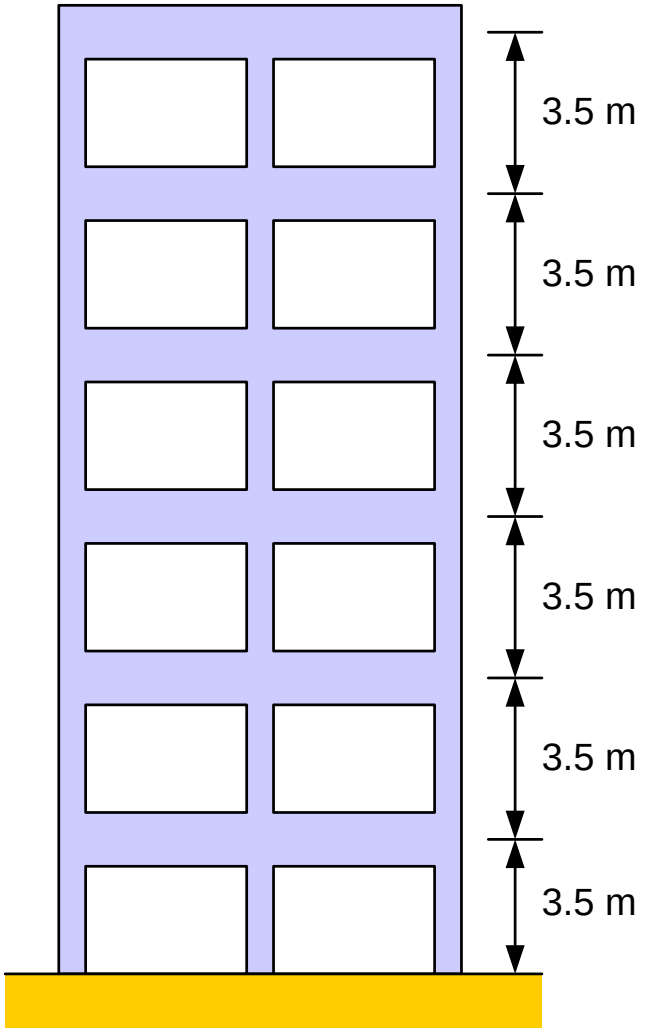
k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง

ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง, k



ตัวอย่างการคำนวณแรงเฉือนที่ฐาน (นอกเขต กทม. และ $S_{D1} \le S_{DS}$)

อาคารสำนักงานคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 6 ชั้น ตั้งอยู่ใน อ.เมือง จังหวัดเชียงใหม่



วิธีทำ จาก มยผ.1302 ตารางที่ 1.4-1

ความเร่งตอบสนอง $S_S = 0.878g$ และ $S_1 = 0.248g$

สำหรับชั้นดินปกติประเภท D จากตาราง 1.4-2 และ 1.4-3

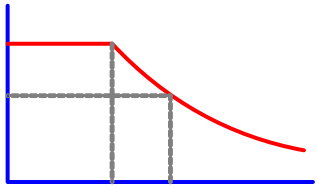
สัมประสิทธิ์ชั้นดิน $F_a = 1.15$ และ $F_v = 1.90$

ความเร่งตอบสนองสำหรับการออกแบบ

$$S_{DS} = \frac{2}{3}F_aS_S = \frac{2}{3}\times 1.15 \times 0.878g = 0.673g$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3}F_vS_1 = \frac{2}{3}\times 1.90 \times 0.248g = 0.314g$$

เนื่องจากค่า $S_{D1} < S_{DS}$ ใช้สเปกตรัมรูป



$$T_s = S_{D1} / S_{DS} = 0.314 / 0.673 = 0.467 \text{ sec}$$

คาบการสั่นพื้นฐาน $T = 0.02H = 0.02 \times 6 \times 3.5 = 0.42$ วินาที $> [\, 0.8T_s = 0.37$ วินาที $]$

อาคารสำนักงานความสำคัญปกติค่า $I = 1.0$

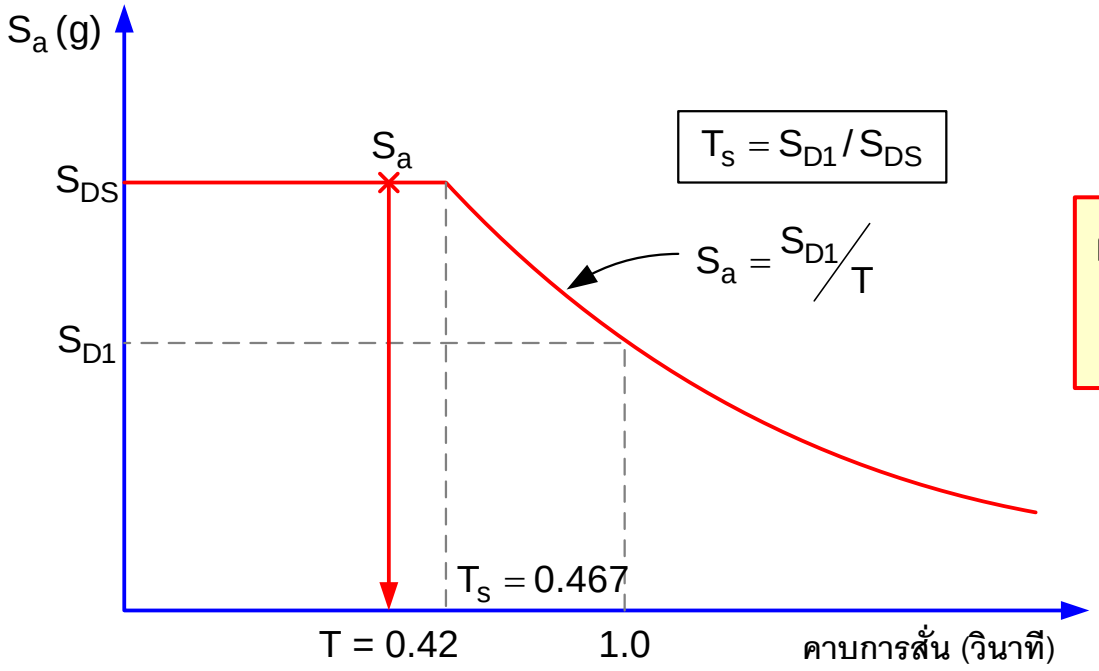
จากตารางที่ **1.6-1** เมื่อค่า $S_{DS} \geq 0.50$ ออกแบบแผ่นดินไหวเป็นประเภท ง

จากตารางที่ **1.6-2** เมื่อค่า $S_{D1} \geq 0.20$ ออกแบบแผ่นดินไหวเป็นประเภท ง

ดังนั้นเลือกประเภทการออกแบบแผ่นดินไหว **ง** จัดเป็นประเภทรุนแรง

จากตารางที่ **2.3-1** เลือกชนิดโครงสร้างเป็นโครงคอนกรีตเสริมเหล็กต้านการดัดแบบเหนียวพิเศษ

ค่าตัวประกอบ $R = 8$, $\Omega_0 = 3$ และ $C_d = 5.5$



ค่าสเปกตรัมที่คาบ $T = 0.42$ วินาที

$S_a = S_{DS} = 0.673$g

สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแผ่นดินไหว:

$$C_s = S_a\left(\frac{I}{R}\right) = 0.673g\left(\frac{1}{8}\right) = 0.084g > 0.01g$$

OK

แรงเฉือนที่ฐาน $V = C_sW = 0.084W$ (8.4% ของน้ำหนักอาคาร)

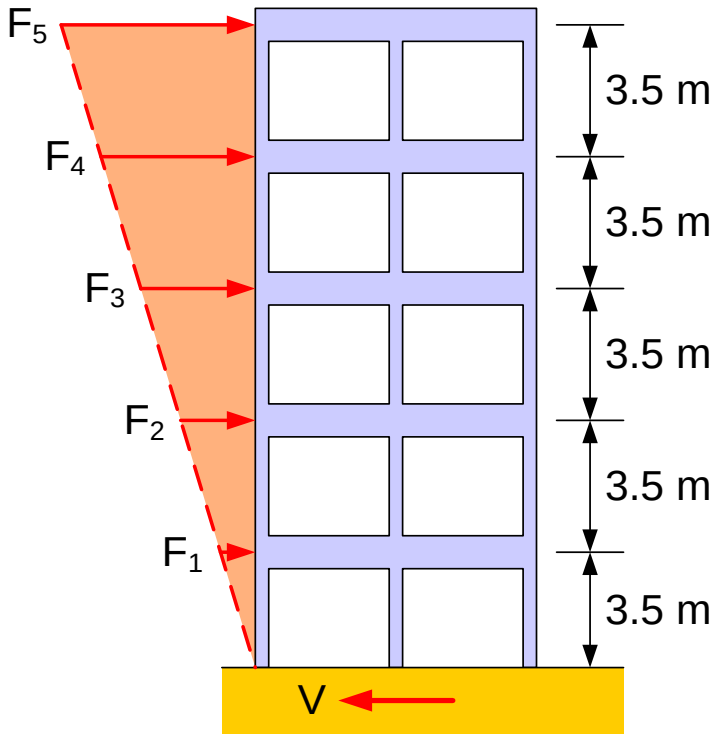
การกระจายแรงเฉือนเป็นแรงด้านข้าง: (สมมุติอาคารหนักชั้นละ 20 ตัน)

$$F_x = C_{vx}V \quad \text{เมื่อ} \quad C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k}$$

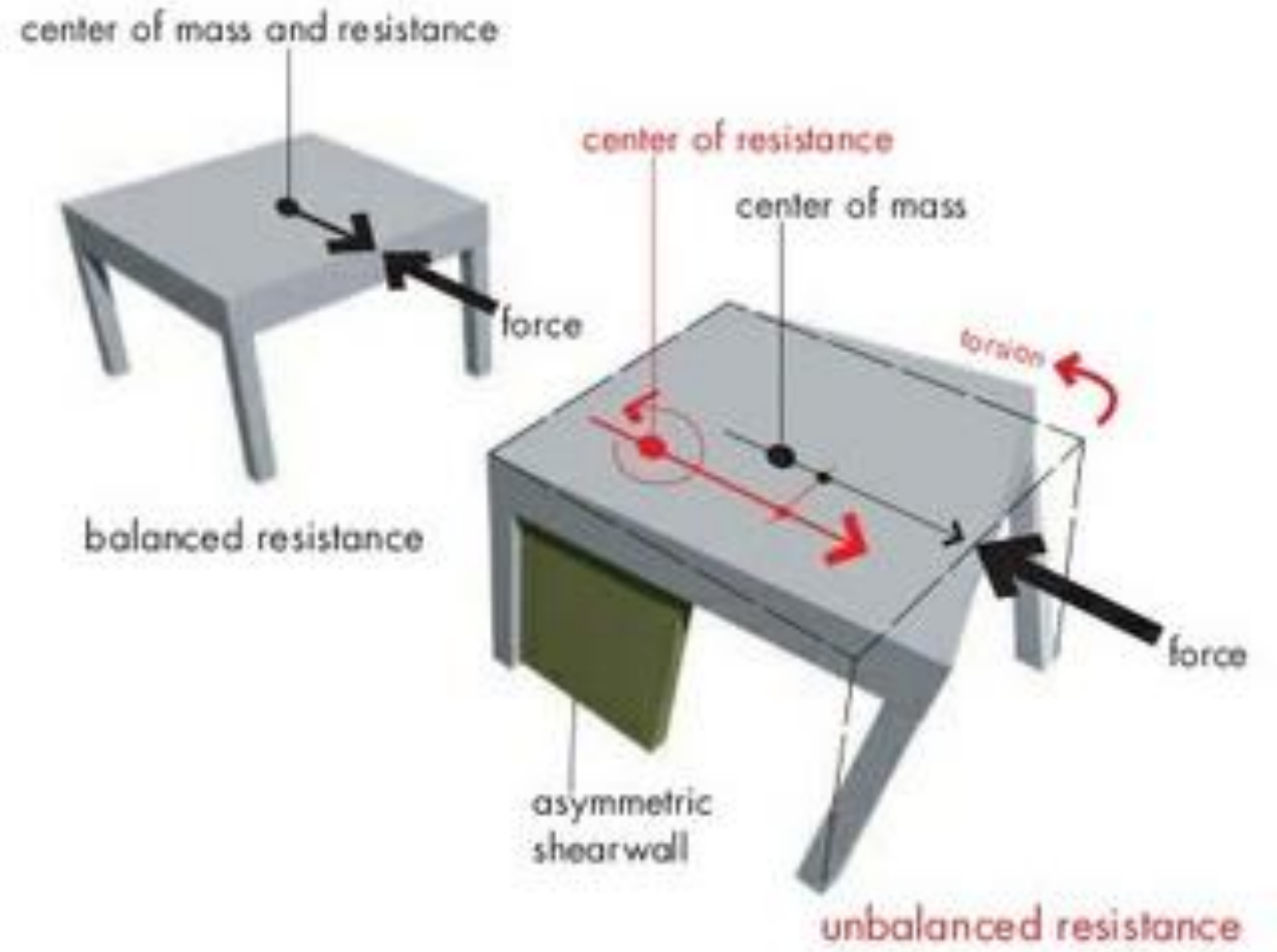
$V = C_sW = 0.084\times6(20) = 10.08$ ตัน

จาก $T = 0.42 < 0.5$ sec → $k = 1.0$

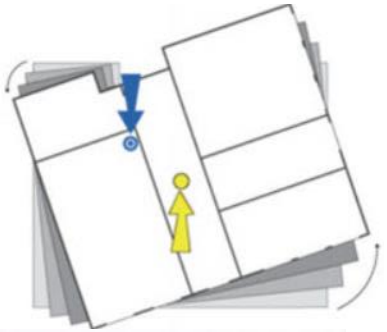
ชั้นที่	w_x	h_x	w_xh_x	C_{vx}	F_x
1	20	3.5	70	0.048	0.484
2	20	7.0	140	0.095	0.958
3	20	10.5	210	0.143	1.441
4	20	14.0	280	0.191	1.925
5	20	17.5	350	0.238	2.399
6	20	21.0	420	0.286	2.883
Σ = 120			**1,470**	**1.001**	**10.09**

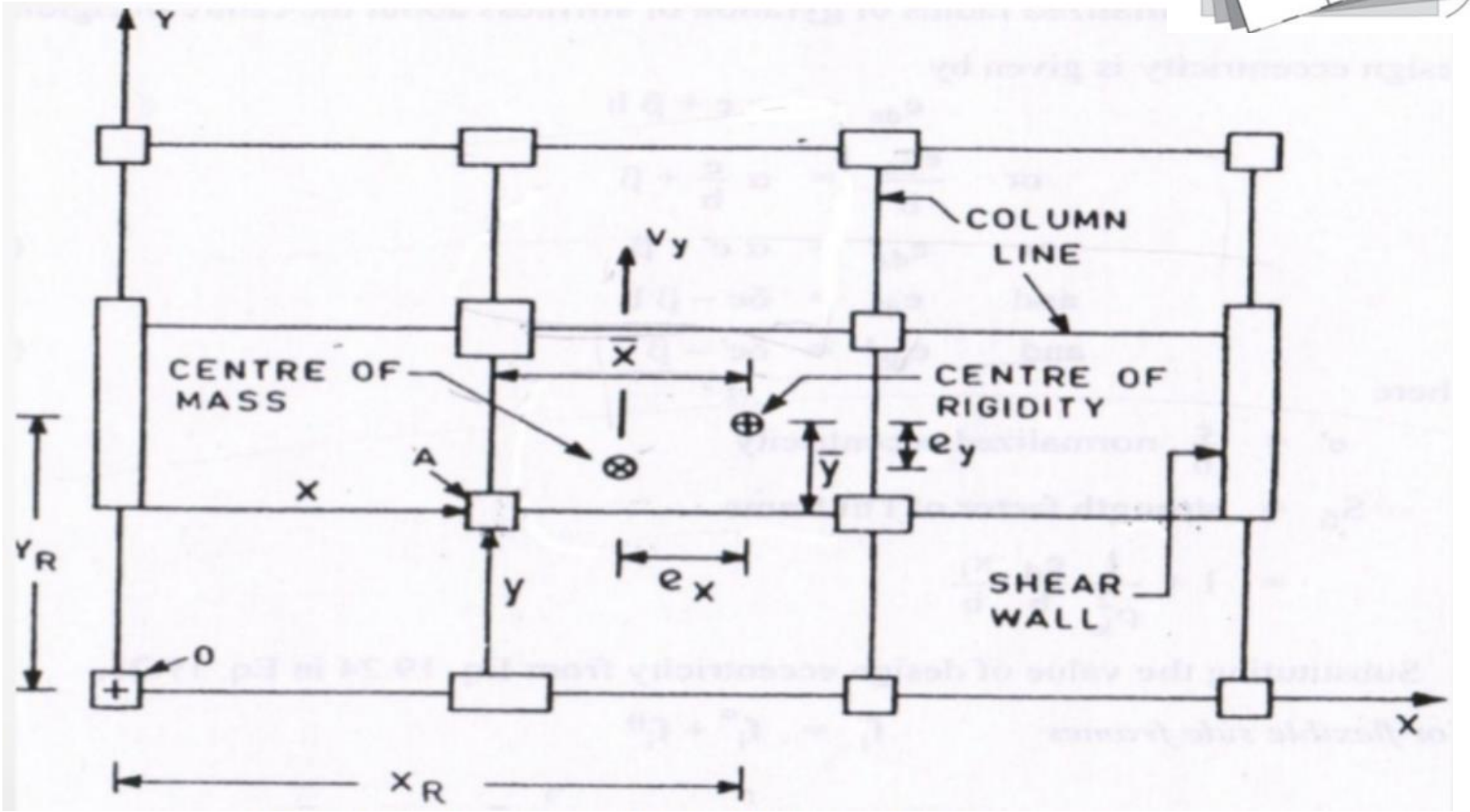


Torsional Eccentricity

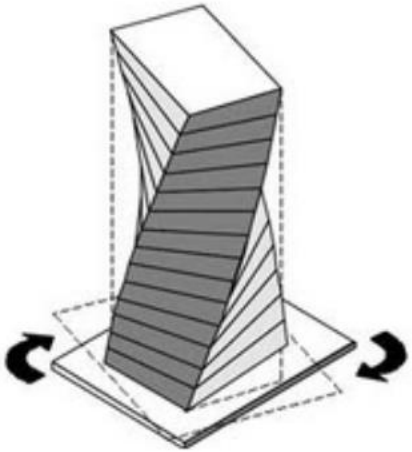


Center of Mass (CM) and Center of Rigidity (CR)

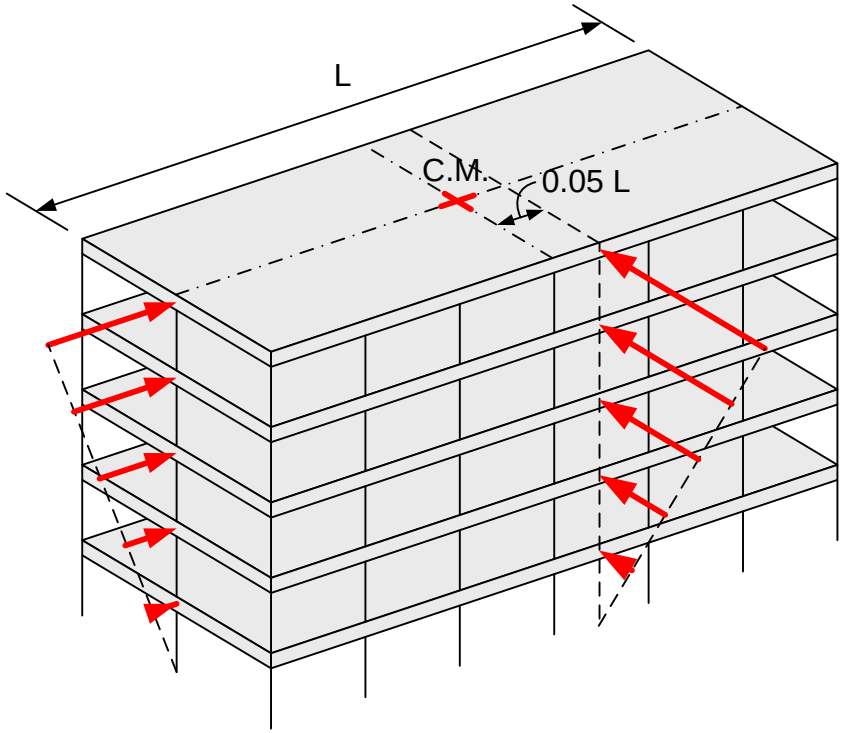




แรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion)



มยผ.1302 กำหนดให้ในกรณีที่ไดอะแฟรมมิได้เป็นไดอะแฟรมอ่อน การคำนวณออกแบบจะต้องพิจารณาผลของแรงบิดจากลักษณะโครงสร้าง (M_t) รวมกับแรงบิดโดยบังเอิญ (M_{ta})



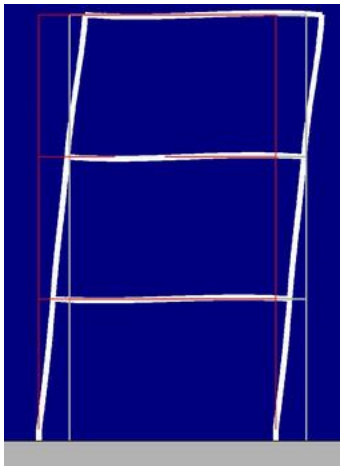
โดยที่แรงบิดโดยบังเอิญนี้สร้างขึ้นด้วยการสมมุติให้จุดศูนย์กลางมวลเยื้องศูนย์ 5% ของขนาดอาคารในทิศทางของแรงเฉือน

ในกรณีที่แรงแผ่นดินไหวกระทำสองทิศทางที่ตั้งฉากกัน การเยื้องศูนย์มวล 5% ให้ทำในทิศทางที่สร้างแรงบิดมากกว่า

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift)

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสำหรับการออกแบบ (Design Story Drift, Δ) คำนวณจากผลต่างระหว่างการเคลื่อนตัวของชั้นที่พิจารณาและชั้นที่อยู่ต่ำกว่า โดยการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ศูนย์กลางมวลของชั้น x (δ_x) ที่จะใช้ในการคำนวณค่า Δ พิจารณาได้จากสมการ

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I}$$

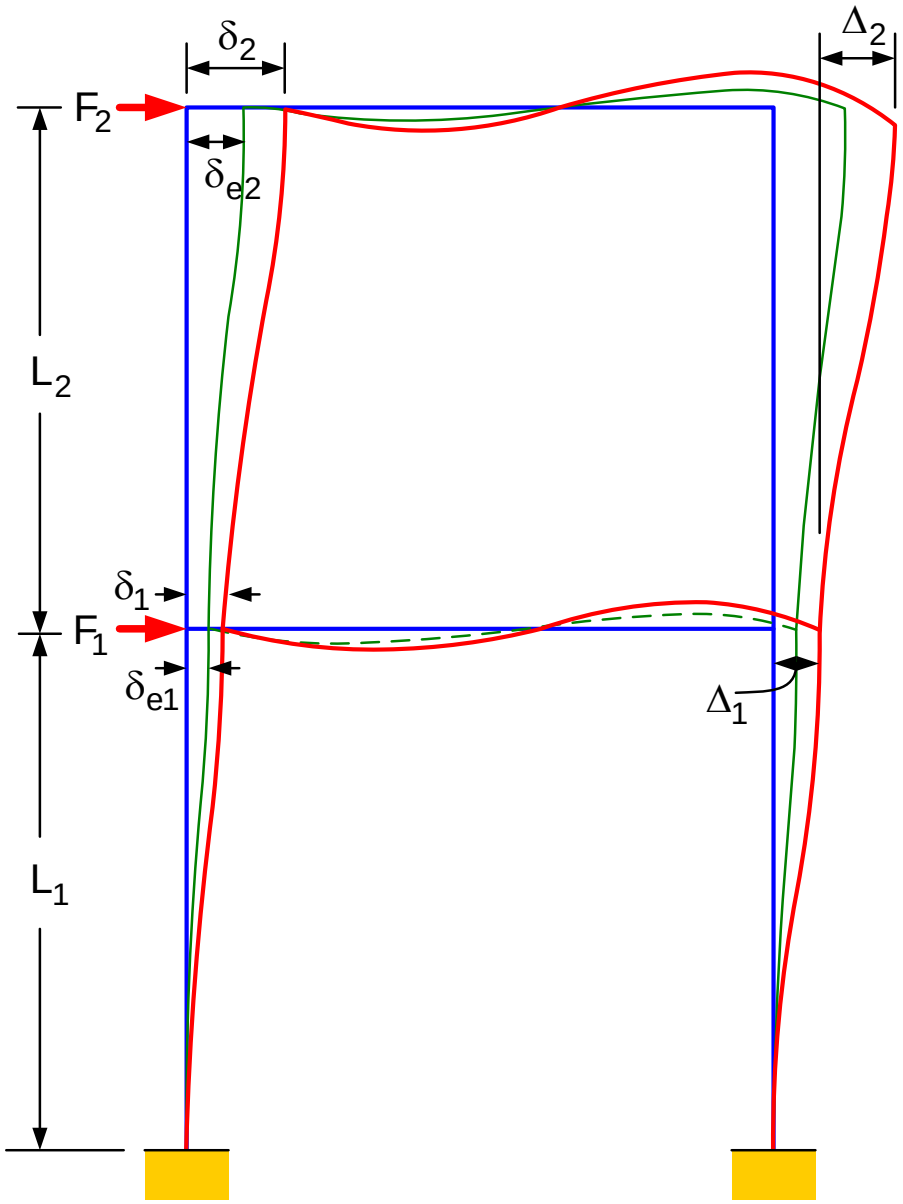


โดยที่ C_d = ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว

δ_{xe} = ค่าการเคลื่อนตัวของชั้น x จากการวิเคราะห์แบบอิลาสติก

I = ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift)



ระดับชั้นที่ 2 :

F_2 = แรงด้านข้างที่ชั้น 2

δ_{e2} = การเคลื่อนตัวแบบอิลาสติก

$\delta_2 = C_d\,\delta_{e2} / I$ = การเคลื่อนตัวที่ชั้น 2

$\Delta_2 = \delta_2 - \delta_1$ = การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ชั้น 2

Δ_2 / L_2 = อัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ชั้น 2

ระดับชั้นที่ 1 :

F_1 = แรงด้านข้างที่ชั้น 1

δ_{e1} = การเคลื่อนตัวแบบอิลาสติก

$\delta_1 = C_d\,\delta_{e1} / I$ = การเคลื่อนตัวที่ชั้น 1

$\Delta_1 = \delta_1$ = การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ชั้น 1

Δ_1 / L_1 = อัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ชั้น 1

สติฟเนสองค์อาคารแตกร้าว

ในการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาค่า δ_{xe} จะต้องพิจารณาถึงผลของการแตกร้าวขององค์อาคารคอนกรีตและอิฐก่อที่มีต่อสติฟเนสขององค์อาคารเหล่านั้น โดยประมาณค่าสติฟเนส จากค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผล I_{eff} และค่าพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล A_{eff} ดังต่อไปนี้

คาน :	$I_{eff} = 0.35\, I_g$
เสา :	$I_{eff} = 0.70\, I_g$
	$A_{eff} = 1.00\, A_g$
ผนังไม่แตกร้าว :	$I_{eff} = 0.70\, I_g$
ผนังแตกร้าว :	$I_{eff} = 0.35\, I_g$
แผ่นพื้นไร้คาน :	$I_{eff} = 0.25\, I_g$

โดยที่ I_g และ A_g คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยและพื้นที่หน้าตัดของหน้าตัดเต็ม

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a)

ลักษณะโครงสร้าง	ประเภทความสำคัญอาคาร		
	I หรือ II	III	IV
โครงสร้างที่ไม่ใช่ผนังก่ออิฐรับแรงเฉือนและสูงไม่เกิน 4 ชั้น ซึ่งผนังภายใน ฉากกั้นห้อง ฝ้าเพดาน และผนังภายนอกถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้มาก	$0.025h_{sx}$	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$
โครงสร้างผนังก่ออิฐรับแรงเฉือนแบบยื่นจากฐานรองรับ	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$
โครงสร้างผนังก่ออิฐรับแรงเฉือนแบบอื่นๆ	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$
โครงสร้างอื่นๆทั้งหมด	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.010h_{sx}$

<u>หมายเหตุ</u> h_{sx} คือความสูงระหว่างชั้นที่อยู่ใต้พื้นชั้นที่ x

Earthquake Analysis

ASCE 7 → มยผ. 1302

EQK LOAD

Base Shear

Story Forces

Analysis ↓ **SAP2000**
ETABS
STAAD.Pro

Displacements

Internal Forces

Seismic Design

ACI 318 → มยผ. 1301-54

Column Design & Detailing

Beam Design & Detailing

Beam-Column Joint Design

Flat Slab Design

Structural Wall Design

…

End of Lecture