เกร็ดความรู้โยธา
กับสภาวิศวกร

ออกแบบอาคารอย่างไรให้
ปลอดภัยจากแผ่นดินไหว

ผู้ชำนาญการพิเศษ สาขาวิศวกรรมโยธา

กฎกระทรวง

กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร
และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
พ.ศ. ๒๕๖๔

“บริเวณที่ ๑” หมายความว่า บริเวณหรือพื้นที่ที่ต้องเฝ้าระวังเนื่องจากมีความเป็นไปได้ว่าอาคารอาจได้รับผลกระทบทางด้านความมั่นคงแข็งแรงและเสถียรภาพเมื่อมีแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกระบี่ จังหวัดชุมพร จังหวัดตรัง จังหวัดนครพนม จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดบึงกาฬ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดพิษณุโลก จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดเลย จังหวัดสงขลา จังหวัดสตูล จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดหนองคาย

“บริเวณที่ ๒” หมายความว่า บริเวณหรือพื้นที่ที่มีความเป็นไปได้ว่าอาคารอาจได้รับผลกระทบทางด้านความมั่นคงแข็งแรงและเสถียรภาพในระดับปานกลางเมื่อมีแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดชัยนาท จังหวัดนครปฐม จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดระนอง จังหวัดราชบุรี จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดอุทัยธานี

“บริเวณที่ ๓” หมายความว่า บริเวณหรือพื้นที่ที่มีความเป็นไปได้ว่าอาคารอาจได้รับผลกระทบทางด้านความมั่นคงแข็งแรงและเสถียรภาพในระดับสูงเมื่อมีแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดตาก จังหวัดน่าน จังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน จังหวัดสุโขทัย และจังหวัดอุตรดิตถ์

บริเวณที่ 1

ต้องออกแบบให้มีความเหนียวอย่างน้อยตามที่กำหนดในข้อ 26 หรือ ข้อ 27 **โดยไม่จำเป็นต้องคำนวณแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว**

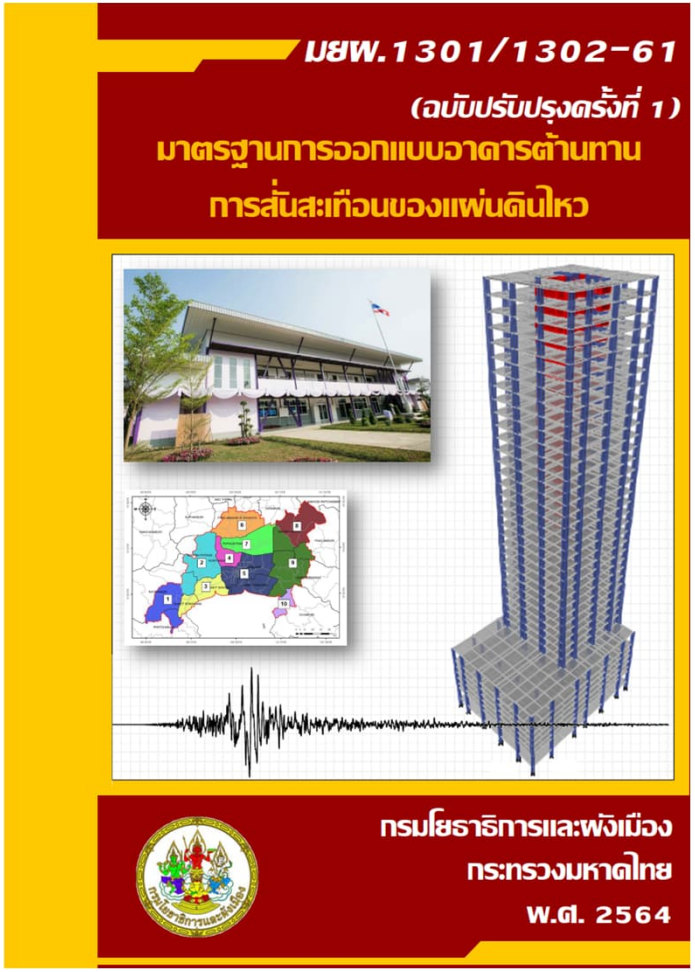
บริเวณที่ 2 และ 3

ต้องออกแบบให้มีความเหนียวอย่างน้อยตามที่กำหนดในข้อ 26 หรือ ข้อ 27 และต้องพิจารณาประเภทความสำคัญของอาคาร และ ความรุนแรงของแผ่นดินไหว ณ ที่ตั้งอาคาร **ต้องคำนวณยกเว้นประเภท ก**

ประกาศกระทรวงมหาดไทย

เรื่อง การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

โดยที่เป็นการสมควรกำหนดหลักเกณฑ์การออกแบบและคำนวณอาคารต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่เป็นรายละเอียดด้านเทคนิคและหลักวิชาการด้านแผ่นดินไหวที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เพื่อให้การก่อสร้างและดัดแปลงอาคารในบริเวณเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวมีความปลอดภัย



ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว

“แผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา” หมายความว่า แผ่นดินไหวที่มีระดับความรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาในมาตรฐานฉบับนี้ ซึ่งความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงกว่าระดับที่พิจารณาเท่ากับร้อยละสองในช่วงเวลาห้าสิบปี

MCE
จะเกิดซ้ำที่ 2475 ปี

“แผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ” หมายความว่า แผ่นดินไหวที่มีระดับความรุนแรงเป็นสองในสามของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา

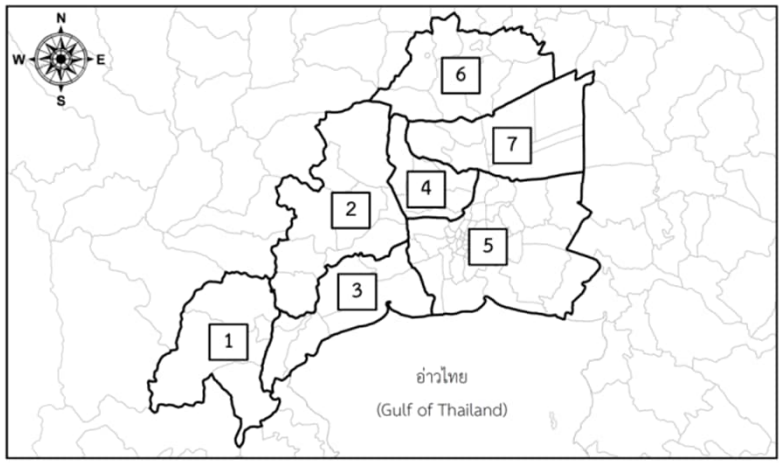
DBE

ข้อ ๖ ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารอยู่ในรูปของค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ซึ่งเป็นค่าบนพื้นดินและแปรเปลี่ยนตามคาบการสั่นพื้นฐานและอัตราส่วนความหน่วงของอาคาร โดยค่าความเร่งดังกล่าวได้จำแนกออกตามพื้นที่ที่ตั้งอาคารประกอบด้วย พื้นที่นอกแอ่งกรุงเทพมหานครและพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพมหานคร ซึ่งในการออกแบบและคำนวณต้องปรับค่าดังกล่าวให้เป็นค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบโดยมีรายละเอียดและหลักเกณฑ์ตามผนวก ก ท้ายประกาศนี้

กำหนดให้ใช้อัตราส่วนความหน่วงเท่ากับร้อยละห้ากับอาคารทุกประเภท

ค่าความเร่งเพื่อการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว

$$F = ma$$



แผนที่แสดงการแบ่งโซนพื้นที่แอ่งกรุงเทพฯ เพื่อการออกแบบ อาคารต้านทานแผ่นดิน

ตารางที่ ก-๑ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้น ๐.๒ วินาที (S_s) และ ที่คาบ ๑ วินาที (S_1) ของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม	
		S_s	S_1
กระบี่	เกาะลันตา	๐.๑๕๓	๐.๐๘๙
	เขาพนม	๐.๒๒๗	๐.๑๐๘
	คลองท่อม	๐.๑๔๗	๐.๑๒๙
	ปลายพระยา	๐.๒๖๓	๐.๑๐๐
	เมืองกระบี่	๐.๒๑๘	๐.๑๐๕
	ลำทับ	๐.๑๕๘	๐.๐๙๐
	เหนือคลอง	๐.๑๙๕	๐.๐๘๘
	อ่าวลึก	๐.๒๖๗	๐.๑๑๐
กรุงเทพมหานคร	(ทั้งจังหวัด)	แอ่งกรุงเทพ โซน ๕	
กาญจนบุรี	ด่านมะขามเตี้ย	๐.๘๖๒	๐.๓๑๖
	ทองผาภูมิ	๐.๗๒๘	๐.๒๐๐
	ท่าม่วง	๐.๘๐๒	๐.๒๗๕
	ท่ามะกา	๐.๕๘๑	๐.๑๕๔

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม	
		S_s	S_1
ชัยนาท (ต่อ)	มโนรมย์	๐.๑๕๐	๐.๐๖๙
	เมืองชัยนาท	๐.๑๗๐	๐.๐๗๕
	วัดสิงห์	๐.๒๐๗	๐.๐๘๓
	สรรคบุรี	๐.๑๖๑	๐.๐๗๓
	สรรพยา	๐.๑๒๖	๐.๐๖๔
	หันคา	๐.๒๒๐	๐.๐๘๘
ชุมพร	ท่าแซะ	๐.๑๐๘	๐.๐๗๘
	ทุ่งตะโก	๐.๑๖๐	๐.๐๗๙
	ปะทิว	๐.๐๙๗	๐.๐๗๕
	พะโต๊ะ	๐.๒๘๖	๐.๐๙๓
	เมืองชุมพร	๐.๑๒๐	๐.๐๘๐
	ละแม	๐.๑๘๘	๐.๐๘๒
	สวี	๐.๑๔๙	๐.๐๘๐
	หลังสวน	๐.๑๘๐	๐.๐๘๒
เชียงราย	ขุนตาล	๐.๗๖๙	๐.๑๗๕
	เชียงของ	๐.๗๙๖	๐.๒๐๒
	เชียงแสน	๐.๗๘๕	๐.๒๙๖

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปคตรัม S_s และ S_1 นอกแอ่ง กทม.

ตารางที่ ก-๑ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้น ๐.๒ วินาที (S_s) และ ที่คาบ ๑ วินาที (S_1) ของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม	
		S_s	S_1
กระบี่	เกาะลันตา	๐.๑๔๓	๐.๐๘๙
	เขาพนม	๐.๒๒๗	๐.๑๐๘
	คลองท่อม	๐.๑๔๗	๐.๑๒๙
	ปลายพระยา	๐.๒๖๓	๐.๑๐๐
	เมืองกระบี่	๐.๒๑๘	๐.๑๐๕
	ลำทับ	๐.๑๕๘	๐.๐๙๐
	เหนือคลอง	๐.๑๙๕	๐.๐๘๘
	อ่าวลึก	๐.๒๖๗	๐.๑๑๐
กรุงเทพมหานคร	(ทั้งจังหวัด)	แอ่งกรุงเทพ โซน ๕	
กาญจนบุรี	ด่านมะขามเตี้ย	๐.๘๖๒	๐.๓๑๖
	ทองผาภูมิ	๐.๗๒๘	๐.๒๐๐
	ท่าม่วง	๐.๘๐๒	๐.๒๗๕
	ท่ามะกา	๐.๔๘๑	๐.๑๕๔
	ไทรโยค	๐.๗๔๗	๐.๒๑๐
	บ่อพลอย	๐.๖๕๙	๐.๑๙๗
	พนมทวน	๐.๔๕๒	๐.๑๓๖

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม	
		S_s	S_1
ชัยนาท (ต่อ)	มโนรมย์	๐.๑๕๐	๐.๐๖๙
	เมืองชัยนาท	๐.๑๗๐	๐.๐๗๕
	วัดสิงห์	๐.๒๐๗	๐.๐๘๓
	สรรคบุรี	๐.๑๖๑	๐.๐๗๓
	สรรพยา	๐.๑๒๖	๐.๐๖๔
	หันคา	๐.๒๒๐	๐.๐๘๘
ชุมพร	ท่าแซะ	๐.๑๐๘	๐.๐๗๘
	ทุ่งตะโก	๐.๑๖๐	๐.๐๗๙
	ปะทิว	๐.๐๙๗	๐.๐๗๕
	พะโต๊ะ	๐.๒๘๖	๐.๐๙๓
	เมืองชุมพร	๐.๑๒๐	๐.๐๘๐
	ละแม	๐.๑๘๘	๐.๐๘๒
	สวี	๐.๑๔๙	๐.๐๘๐
	หลังสวน	๐.๑๘๐	๐.๐๘๒
เชียงราย	ขุนตาล	๐.๗๖๙	๐.๑๗๕
	เชียงของ	๐.๗๙๖	๐.๒๐๒
	เชียงแสน	๐.๙๘๔	๐.๒๙๖
	ดอยหลวง	๑.๐๑๕	๐.๓๒๙
	เทิง	๐.๗๖๓	๐.๑๖๐
	ป่าแดด	๐.๗๗๒	๐.๑๕๗

ค่าความเร่งตอบสนองที่แสดงในตารางนี้ได้มาจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว โดยสมมุติให้สภาพชั้นดินในทุกๆพื้นที่เป็นแบบดินแข็งหรือหิน ที่มีความเร็วคลื่นเฉือนโดยเฉลี่ยในช่วงจากผิวดินถึงความลึก 30 เมตร เท่ากับ 760 เมตรต่อวินาที

ประเภทชั้นดิน แบ่งออกเป็น 6 ประเภท

- A หินแข็ง
- B หิน
- C ดินแข็ง
- D ดินปกติ ใช้ค่านี้ในกรณีไม่มีข้อมูลดิน
- E ดินอ่อน
- F ดินที่มีลักษณะพิเศษ

การปรับค่าแก้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม

$$S_{MS} = F_a S_S \qquad \text{(ก-๑)}$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \qquad \text{(ก-๒)}$$

โดยที่ S_{MS} คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น ๐.๒ วินาที ที่ถูกปรับแก้เนื่องจากผลของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร

S_{M1} คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น ๑.๐ วินาที ที่ถูกปรับแก้เนื่องจากผลของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร

F_a คือ สัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่น ๐.๒ วินาที

F_v คือ สัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่น ๑ วินาที

การปรับค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ

ก๔. การปรับค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น ๐.๒ วินาที (S_{DS}) และที่คาบการสั่น ๑ วินาที (S_{D1}) คำนวณจากสมการ

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \qquad \text{(ก-๓)}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \qquad \text{(ก-๔)}$$

F = ma

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ในแอ่ง กทม.

ตารางที่ ก-๕ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการคำนวณแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าสำหรับพื้นที่ในโซนต่าง ๆ (อัตราส่วนความหน่วง ๕.๐%) ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ

S_a / โซน	S_a (๐.๐๑s)	S_{DS} (๐.๒ s)	S_a (๐.๕ s)	S_{D1} (๑.๐s)	S_a (๒.๐ s)	S_a (๓.๐ s)	S_a (๔.๐ s)	S_a (๕.๐ s)	S_a (๖.๐ s)
๑	๐.๓๖๐	๐.๓๖๐	๐.๓๖๐	๐.๑๘๑	๐.๐๘๕	๐.๐๔๑	๐.๐๓๔	๐.๐๒๔	๐.๐๒๒
๒	๐.๓๕๒	๐.๓๕๒	๐.๓๕๒	๐.๑๙๓	๐.๑๕๑	๐.๐๘๔	๐.๐๔๗	๐.๐๓๐	๐.๐๒๔
๓	๐.๒๖๒	๐.๒๖๒	๐.๒๖๒	๐.๒๖๕	๐.๑๖๖	๐.๐๘๕	๐.๐๕๒	๐.๐๓๕	๐.๐๒๖
๔	๐.๒๘๗	๐.๒๘๗	๐.๒๘๗	๐.๒๐๗	๐.๑๖๓	๐.๐๗๘	๐.๐๓๒	๐.๐๒๓	๐.๐๒๐
๕	๐.๑๙๑	๐.๑๙๑	๐.๑๙๑	๐.๑๙๙	๐.๑๖๘	๐.๐๙๔	๐.๐๕๓	๐.๐๓๗	๐.๐๒๘
๖	๐.๒๗๒	๐.๒๗๒	๐.๒๗๒	๐.๑๕๔	๐.๑๕๐	๐.๐๗๗	๐.๐๔๒	๐.๐๓๑	๐.๐๒๖
๗	๐.๒๔๖	๐.๒๔๖	๐.๒๔๖	๐.๑๘๑	๐.๑๓๒	๐.๐๘๔	๐.๐๕๑	๐.๐๓๖	๐.๐๓๐

บริเวณที่ 2 และ 3

ต้องออกแบบให้มีความเหนียวอย่างน้อยตามที่กำหนดในข้อ 26 หรือ ข้อ 27 และต้องพิจารณาประเภทความสำคัญของอาคาร และ ความรุนแรงของแผ่นดินไหว ณ ที่ตั้งอาคาร **ต้องคำนวณยกเว้นประเภท ก**

(๒) สำหรับบริเวณที่ ๒ และบริเวณที่ ๓ จะแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวออกเป็นสี่ประเภท ได้แก่ ประเภท ก ประเภท ข ประเภท ค และประเภท ง โดยเริ่มจากระดับที่ต้องออกแบบให้มีความเหนียวอย่างน้อยตามที่กำหนดในข้อ ๒๖ หรือข้อ ๒๗ แต่ไม่จำเป็นต้องคำนวณแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (ประเภท ก) ไปจนถึงระดับที่ต้องออกแบบอย่างเข้มงวดที่สุด (ประเภท ง)

การแบ่งประเภทการออกแบบ

ตารางที่ ๑ การแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{DS}

ค่า S_{DS}	ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว		
	ประเภทความสำคัญ I (น้อย) **หรือ II** (ปกติ)	**ประเภทความสำคัญ III** (มาก)	**ประเภทความสำคัญ IV** (สูงมาก)
$S_{DS} <$ ๐.๑๖๗	ก (ไม่จำเป็นต้องคำนวณแรง)	ก (ไม่จำเป็นต้องคำนวณแรง)	ก (ไม่จำเป็นต้องคำนวณแรง)
๐.๑๖๗ $\leq S_{DS} <$ ๐.๓๓	ข	ข	ค
๐.๓๓ $\leq S_{DS} <$ ๐.๕๐	ค	ค	ง
๐.๕๐ $\leq S_{DS}$	ง	ง	ง

การแบ่งประเภทการออกแบบ(ต่อ)

ตารางที่ ๒ การแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{D1}

ค่า S_{D1}	ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว		
	ประเภทความสำคัญ **I** (น้อย) **หรือ II** (ปกติ)	**ประเภทความสำคัญ** **III** (มาก)	**ประเภทความสำคัญ** **IV** (สูงมาก)
$S_{D1} <$ ๐.๐๖๗	ก (ไม่จำเป็นต้องคำนวณแรง)	ก (ไม่จำเป็นต้องคำนวณแรง)	ก (ไม่จำเป็นต้องคำนวณแรง)
๐.๐๖๗ $\leq S_{D1} <$ ๐.๑๓๓	ข	ข	ค
๐.๑๓๓ $\leq S_{D1} <$ ๐.๒๐	ค	ค	ง
๐.๒๐ $\leq S_{D1}$	ง	ง	ง

การแบ่งประเภทการออกแบบ(ต่อ)

สำหรับพื้นที่นอกแอ่งกรุงเทพมหานครหากประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวที่กำหนดตามเกณฑ์ในตารางที่ ๑ แตกต่างจากที่กำหนดตามเกณฑ์ในตารางที่ ๒ ให้ยึดถือประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวที่เข้มงวดกว่า แต่ในกรณีที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T) ที่คำนวณโดยใช้สมการ ๑๓ หรือ ๑๔ มีค่าน้อยกว่า ๐.๘T_s โดยที่ T_s มีค่าเป็นไปตามที่กำหนดในผนวก ก ท้ายประกาศนี้ อนุญาตให้กำหนดประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยใช้เฉพาะเกณฑ์ในตารางที่ ๑ เท่านั้น

การแบ่งประเภทการออกแบบ(ต่อ)

ค่า S_{DS} และ S_{D1} ตามวรรคหนึ่ง สำหรับพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพมหานคร ให้ใช้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (S_a) ที่คาบการสั่น ๐.๒ วินาที และ ๑.๐ วินาที ตามลำดับ โดยพิจารณาที่อัตราส่วนความหน่วงร้อยละห้า

สำหรับพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพมหานคร ในกรณีที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารที่คำนวณโดยใช้สมการ ๑๓ หรือสมการ ๑๔ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ ๐.๕ วินาที ให้กำหนดประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยใช้เฉพาะเกณฑ์ในตารางที่ ๑ เท่านั้น แต่ในกรณีที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารดังกล่าวมีค่ามากกว่า ๐.๕ วินาที ให้กำหนดประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยใช้เฉพาะเกณฑ์ในตารางที่ ๒ เท่านั้น

การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร

ตารางที่ ๓ การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร และค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ
(๑) อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้น ๆ เช่น อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร อาคารชั่วคราว อาคารเก็บของเล็ก ๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ เป็นต้น	I (น้อย)
(๑) อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภทความสำคัญ I (น้อย) III (มาก) และ IV (สูงมาก)	II (ปกติ)

การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร(ต่อ)

(๑) โรงมหรสพ หอประชุม ศาสนสถาน สนามกีฬา อัฒจันทร์ สถานีขนส่งสถานบริการ หรือท่าจอดเรือ ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่หกร้อยตารางเมตรขึ้นไป (๒) หอศิลป์ พิพิธภัณฑสถาน หรือสถานศึกษา ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่หนึ่งพันตารางเมตรขึ้นไป (๓) หอสมุด ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่สองพันตารางเมตรขึ้นไป (๔) ตลาด ห้างสรรพสินค้า หรือศูนย์การค้า ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่หนึ่งพันห้าร้อยตารางเมตรขึ้นไป (๕) สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อน สถานให้บริการดูแลผู้สูงอายุ หรือสถานสงเคราะห์ผู้สูงอายุ ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่สามร้อยตารางเมตรขึ้นไป (๖) สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืนที่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ (๗) เรือนจำตามกฎหมายว่าด้วยราชทัณฑ์ (๘) อาคารที่ทำการของส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือหน่วยงานของรัฐ ที่จัดตั้งขึ้นตามกฎหมาย ที่มีพื้นที่สาธารณะตั้งแต่หนึ่งพันตารางเมตรขึ้นไป (๙) อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่ง ๆ ได้ตั้งแต่สามร้อยคนขึ้นไป (๑๐) อาคารประเภทอื่น ๆ ที่สามารถรองรับผู้มาใช้สอยอาคารได้ตั้งแต่ห้าพันคนขึ้นไป	III (มาก)

การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร(ต่อ)

ประเภทของอาคาร	
(๑) อาคารที่จำเป็นต่อการช่วยเหลือและบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว ได้แก่ สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืนที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ท่าอากาศยาน โรงไฟฟ้า หรือโรงผลิตและเก็บน้ำประปา (๒) คลังสินค้าที่ใช้เป็นสถานที่เก็บรักษาวัตถุอันตรายตามกฎหมายว่าด้วยวัตถุอันตราย ประเภทวัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ หรือวัตถุกัมมันตรังสี	IV (สูงมาก)

ตารางที่ ๒ การแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{D1}

ค่า S_{D1}	ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว		
	ประเภทความสำคัญ I (น้อย) หรือ II (ปกติ)	ประเภทความสำคัญ III (มาก)	ประเภทความสำคัญ IV (สูงมาก)
$S_{D1} < ๐.๐๖๗$	ก (ไม่จำเป็นต้องคำนวณแรง)	ก (ไม่จำเป็นต้องคำนวณแรง)	ก (ไม่จำเป็นต้องคำนวณแรง)
$๐.๐๖๗ \le S_{D1} < ๐.๑๓๓$	ข	ข	ค
$๐.๑๓๓ \le S_{D1} < ๐.๒๐$	ค	ค	ง
$๐.๒๐ \le S_{D1}$	ง	ง	ง

การหาค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง R, C_d, Ω

ผนวก ง

ระบบโครงสร้างตามประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) และตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_0)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ		ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	ข	ค	ง
๑. ระบบกำแพงรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง (Bearing Wall System)	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	๔	๒.๕	√	√	*
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	๕	๒.๕	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	๓	๒.๕	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precaset Shear Wall)	๔	๒.๕	√	√	X
๒.ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงดัดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	๘	๒	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment-Resisting Connections)	๗	๒	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบให้รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	๖	๒	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	๓.๕	๒	√	√	X
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	๖	๒.๕	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	๕	๒.๕	√	√	*

ตารางที่ 2.3-1 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d)

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

ค่าคาบการสั่นพื้นฐาน Fundamental Period, T

วิธี ก

คาบการสั่นพื้นฐาน (หน่วยเป็นวินาที) สามารถคำนวณจากสูตรการประมาณค่า ดังนี้

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก $T = 0.02H$ (สมการ ๑๓)

อาคารโครงสร้างเหล็ก $T = 0.03H$ (สมการ ๑๔)

โดยที่ H คือ ความสูงของอาคารวัดจากพื้นดิน (เมตร)

วิธี ข

คาบการสั่นพื้นฐาน (หน่วยเป็นวินาที) สามารถคำนวณจากลักษณะการกระจายมวล (หรือน้ำหนัก) ภายในอาคาร และสติฟเนสของระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้างของอาคาร ด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม และค่าคาบการสั่นพื้นฐานที่คำนวณได้จากวิธี ข จะต้องไม่เกิน ๑.๕ เท่าของค่าที่คำนวณได้จากวิธี ก

ค่าคาบการสั่นพื้นฐาน อาจคำนวณจากสมการดังนี้

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(w_i \delta_i^2\right)}{g\sum_{i=1}^{n}\left(F_i \delta_i\right)}} \qquad \text{(สมการ ๑๕)}$$

โดยที่ F_i คือ แรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำต่อชั้นที่ i (นิวตัน)

δ_i คือ การเคลื่อนตัวในแนวราบของอาคารที่ชั้นที่ i ไม่รวมผลของการบิด ณ ตำแหน่งศูนย์กลางมวลของชั้นที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า (เมตร)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก เท่ากับ ๙.๘๐๖ เมตร/วินาที^{2}

n คือ จำนวนชั้นของอาคาร

w_i คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของชั้นที่ i (นิวตัน)

การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

แรงเฉือนที่ฐานอาคาร หน่วยเป็นนิวตัน $V = C_s W$

C_s คือ สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว

W คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร (นิวตัน)

การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

ข้อ ๑๙ ค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว (C_s) คำนวณจาก

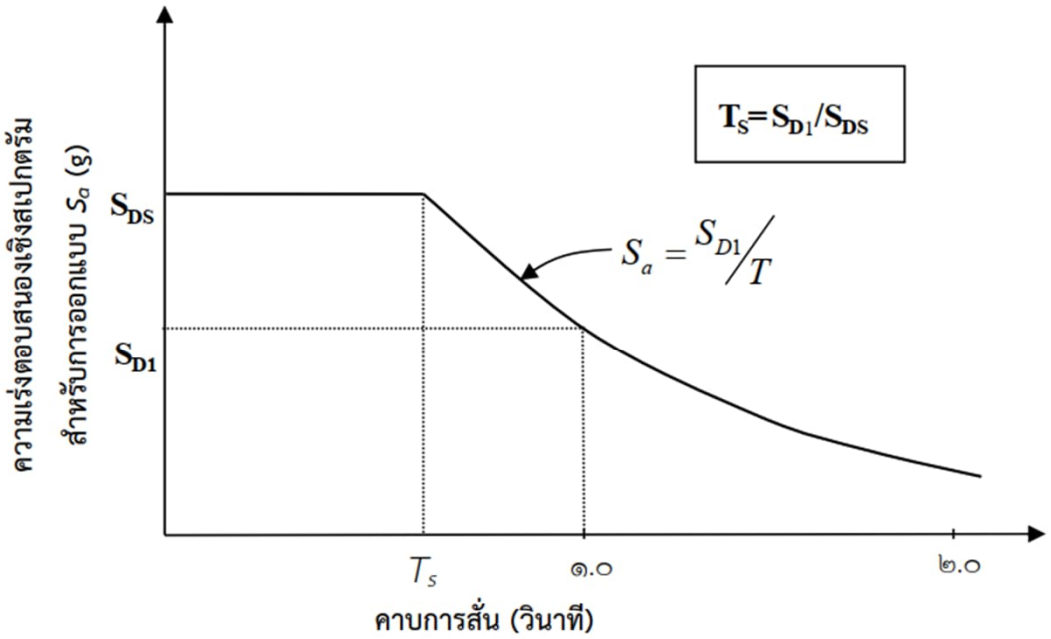
$$C_S = S_a\left(\frac{I}{R}\right) \qquad \text{(สมการ ๑๒)}$$

โดยที่ S_a คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารจากรูปที่ ก-๑ รูปที่ ก-๒ หรือรูปที่ ก-๖

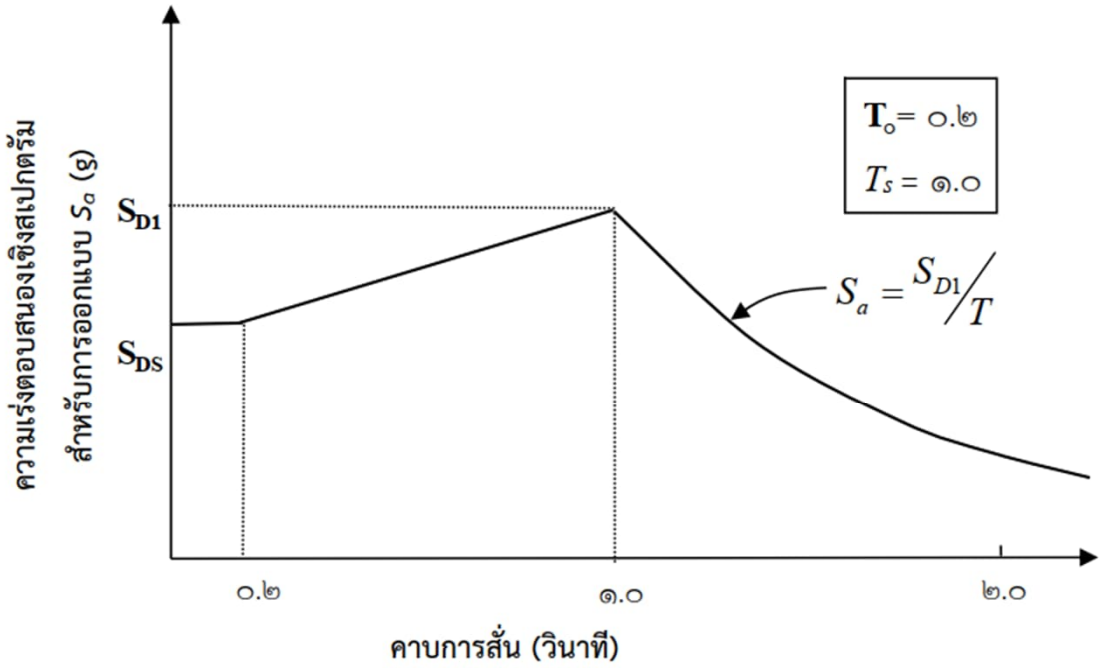
R คือ ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง ตามที่กำหนดในผนวก ง ท้ายประกาศนี้

I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร ตามที่กำหนดในข้อ ๒๓

หาก C_S ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า ๐.๐๑ ให้ใช้ค่า ๐.๐๑

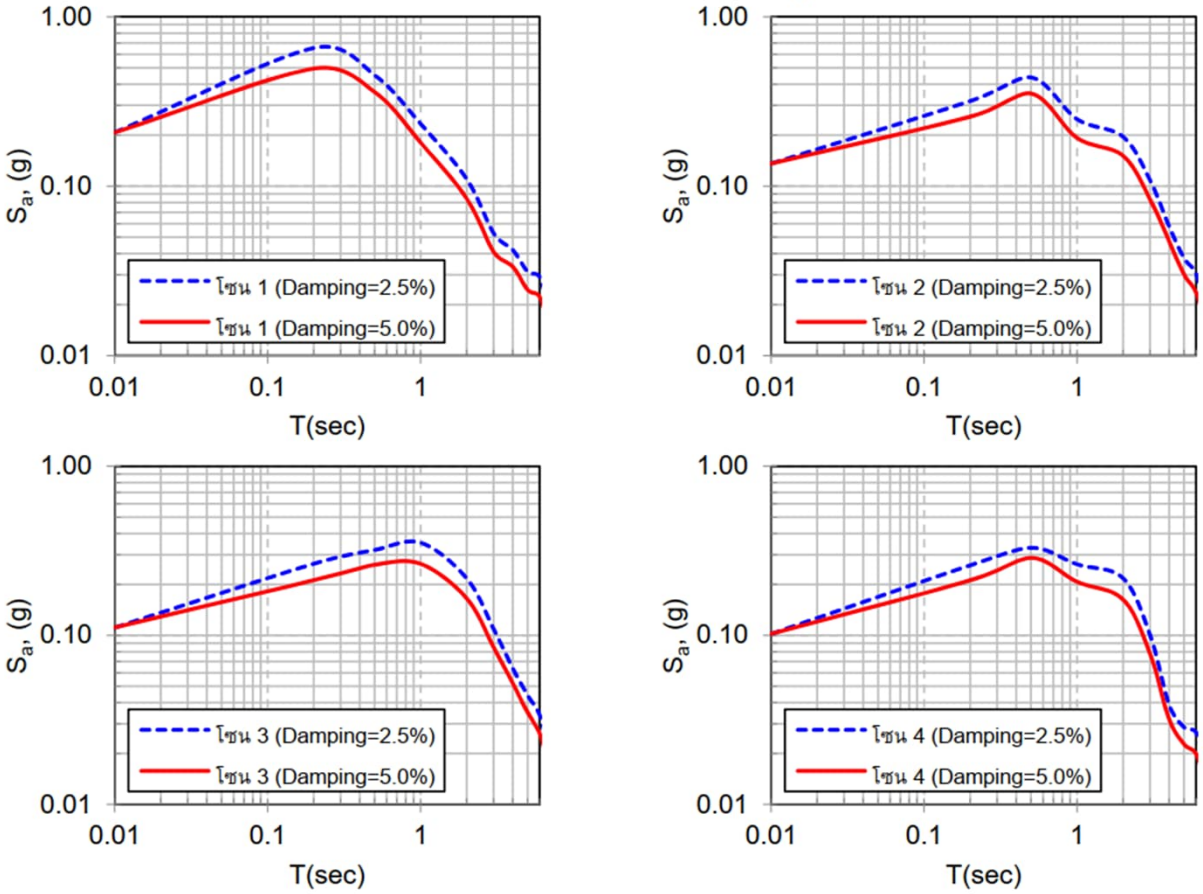


รูปที่ ก-๑ ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการคำนวณแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่นอกแอ่งกรุงเทพ ที่มีค่า $S_{D1} \leq S_{DS}$



รูปที่ ก-๒ ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการคำนวณแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่นอกแอ่งกรุงเทพ ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$

รูปที่ ก-๖ ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการคำนวณแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับโซน ๑-๗ ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ



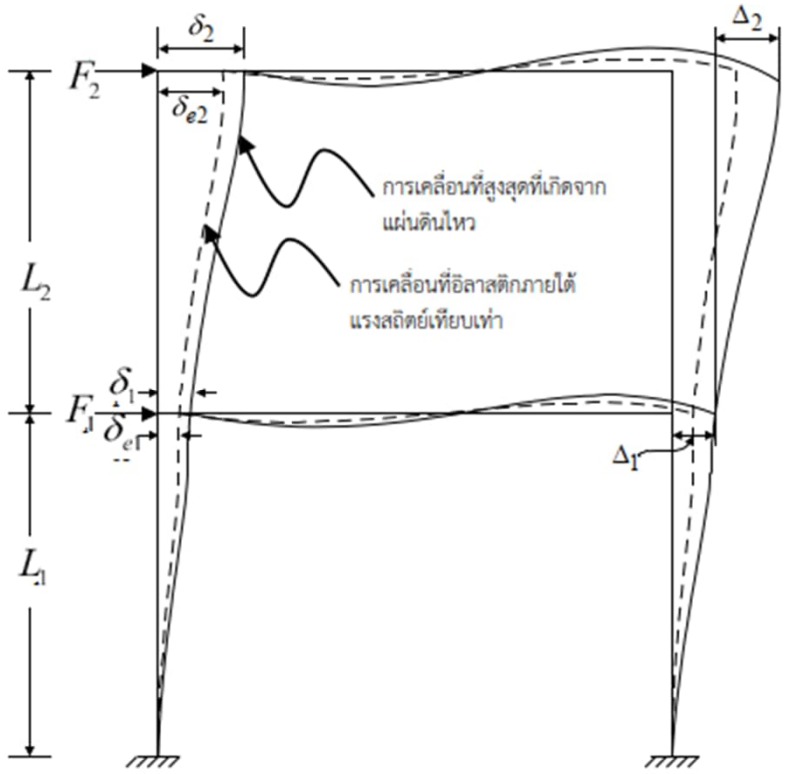
การกำหนดค่าสติฟเนสขององค์อาคารคอนกรีต

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

ตรวจสอบค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

$$\delta_{xe} = \frac{V_x}{k_x}$$



ระดับชั้นที่ 2

F_2 = แรงสลิดเทียบเท่าที่ชั้นที่ 2

δ_{e2} = การเคลื่อนที่อีลาสติกเนื่องจากแรงสลิดเทียบเท่า

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

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

ระดับชั้นที่ 1

F_1 = แรงสลิดเทียบเท่าที่ชั้นที่ 1

δ_{e1} = การเคลื่อนที่อีลาสติกเนื่องจากแรงสลิดเทียบเท่า

$\delta_1 = C_d \delta_{e1} / I$ = 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

ตรวจสอบค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

ตารางที่ 2.11-1 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a)

ลักษณะโครงสร้าง	ประเภทความสำคัญของอาคาร		
	I หรือ II	III	IV
โครงสร้างที่ไม่ใช่ผนังอิฐก่อรับแรงเฉือนและสูงไม่เกิน 4 ชั้น ซึ่งผนังภายในฉากกั้นห้อง 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

ผลของ P-Delta

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

มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1

โดยที่ P_x คือ ผลรวมของน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร (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

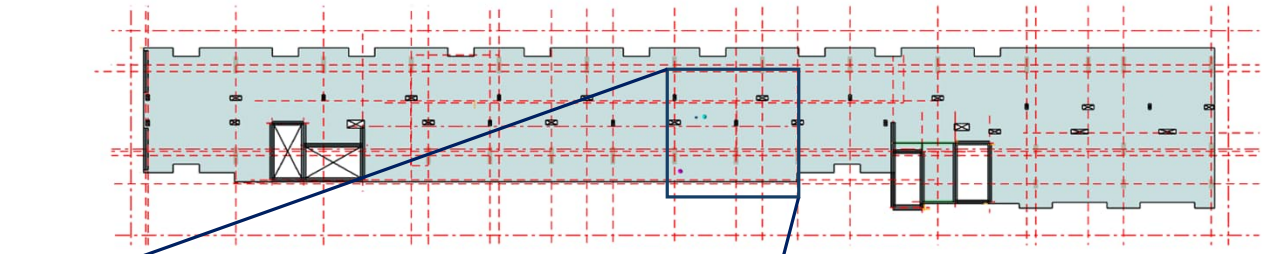
Overturning Moment

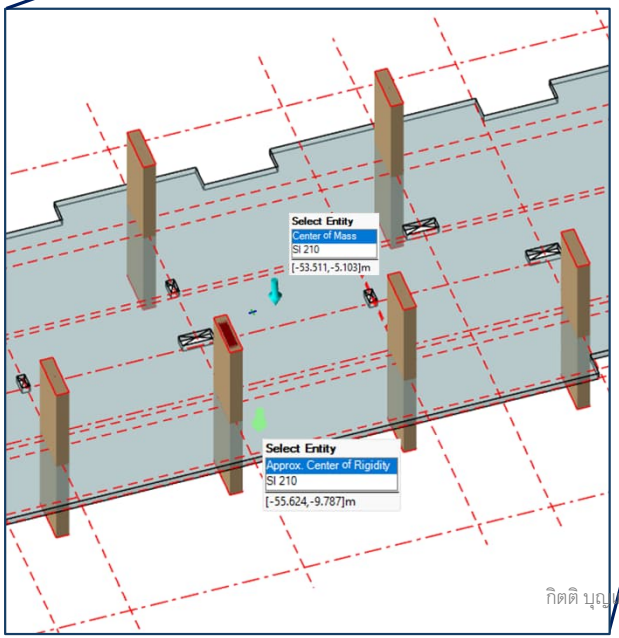
$$M_x = \sum_{i=x+1}^{n} F_i \left(h_i - h_x \right)$$

$$S.F. = \frac{M_{Reaction}}{M_{Action}}$$

S.F. ต้องมากกว่า **1.5**

Center of mass/ Center of Rigidity By Tsd





Floor		AXIS	
FL2-22		X (m.)	Y (m.)
	CM	-53.511	-5.103
	CR	-55.624	-9.787
	Diff	2.113	4.684
FL23		X (m.)	Y (m.)
	CM	-49.200	-5.551
	CR	-44.811	-9.75
	Diff	4.389	4.199
FL25		X (m.)	Y (m.)
	CM	-53.894	-4.992
	CR	-55.784	-9.822
	Diff	1.890	4.830
FL26-RF		X (m.)	Y (m.)
	CM	-56.443	-4.650
	CR	-55.745	-9.822
	Diff	0.698	5.172

การยึดต่อระหว่างฐานราก

2.12.3 การยึดต่อระหว่างฐานราก

ในกรณีที่อาคารมีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว ประเภท ค หรือ ง ฐานรากจะต้องถูกยึดโยงกันด้วยคานยึด (Tie Beam) ซึ่งจะต้องออกแบบให้มีกำลังต้านทานแรงดึงหรือแรงอัดในแรงแนวแกนเท่ากับร้อยละ 10 ของผลคูณค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม S_{DS} กับผลรวมน้ำหนักบรรทุกปรับค่าดังนี้

$$P = 0.10 S_{DS} W_u \qquad (2.12\text{-}1)$$

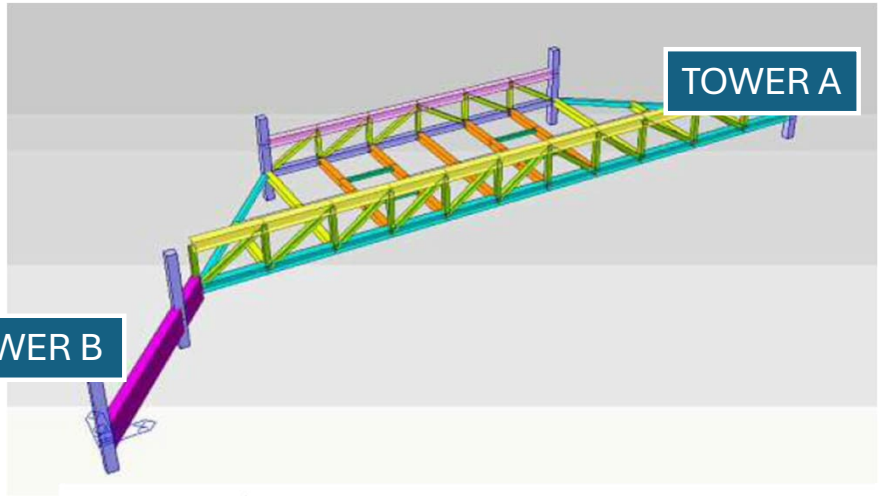
โดยที่ P คือ แรงแนวแกนเป็นแรงอัดหรือแรงดึงในคานยึด (นิวตัน)

S_{DS} คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 0.2 วินาที

W_u คือ ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกคงที่ปรับค่าและน้ำหนักบรรทุกจรปรับค่าที่กระทำลงฐานราก (นิวตัน)

ทางเชื่อมระหว่างอาคาร

BRIDGE TOWER A-B



2.11.4 องค์อาคารที่พาดอยู่ระหว่างสองอาคาร

จุดต่อเพื่อรับแรงในแนวดิ่งขององค์อาคารที่พาดอยู่ระหว่างสองอาคาร หรือพาดกับส่วนโครงสร้างที่แยกออกจากกัน ต้องออกแบบให้สามารถรองรับการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์สูงสุดที่จะเกิดขึ้น โดยคำนวณจากข้อ 1 ถึง 4 ดังนี้

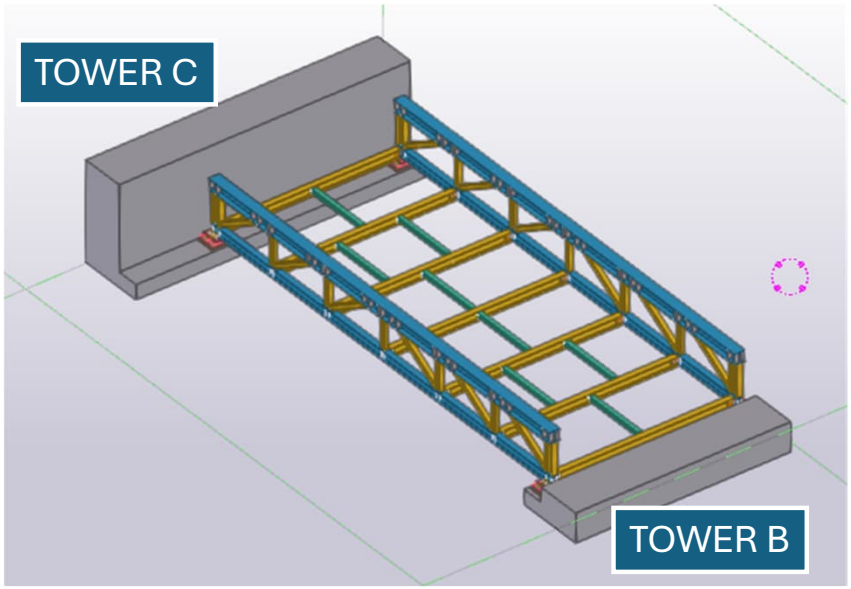
(1) การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์จากสมการที่ 3.7-1 คูณด้วย $1.5R/C_a$

(2) การเคลื่อนตัวที่เกิดจากการบิดตัวของโครงสร้าง ที่รวมค่าการขยายแรงบิดโดยบังเอิญ

(3) การโก่งตัวของไดอะแฟรม

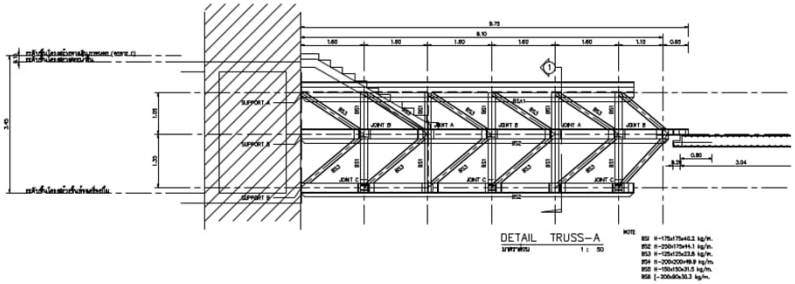
(4) ผลรวมของค่าสัมบูรณ์ของการเคลื่อนตัวโดยสมมุติว่าโครงสร้างเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม

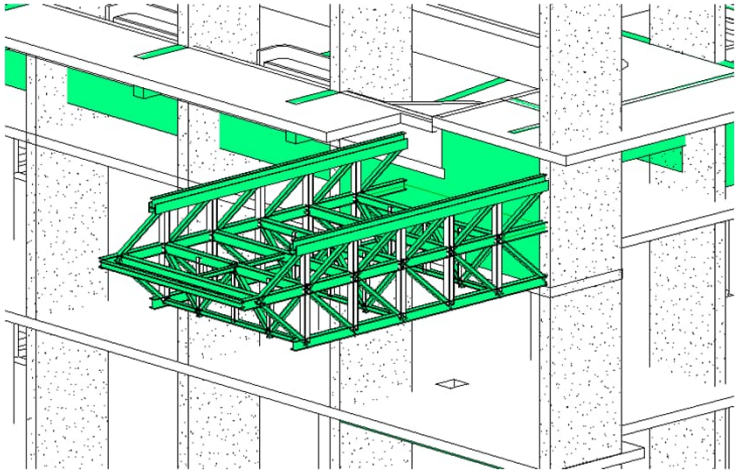
BRIDGE TOWER B-C



Case Study

Case Study





Thank You