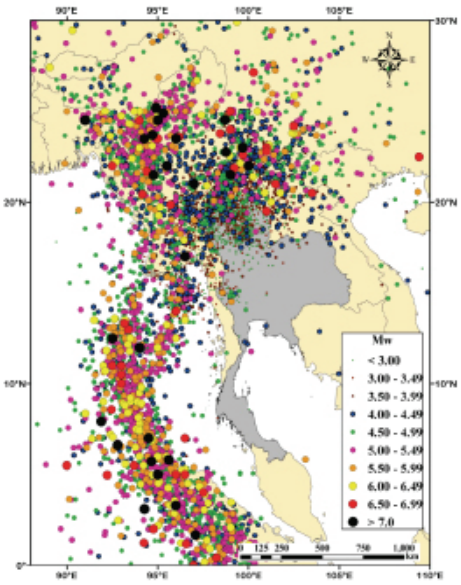
มยผ. 1302

กรมโยธาธิการและผังเมือง ถ.พระราม 6
แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร. 0-2299-4321 โทรสาร 0-2299-4366

มยผ. 1302

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2552

มาตรฐาน
การออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

มยผ. 1302

กรมโยธาธิการและผังเมือง

กระทรวงมหาดไทย

กรมโยธาธิการและผังเมือง
มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว / กรมโยธาธิการและผังเมือง
1. มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ISBN 978-974-458-276-8
สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ.2537
โดย สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร
กรมโยธาธิการและผังเมือง
ถ.พระราม 6 แขวงสามเสนใน
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร. 0-2299-4321 โทรสาร 0-2299-4366

พิมพ์ที่: บริษัท ดิจิตอล ออฟเซท เอเซีย แปซิฟิค จำกัด
37/1 ซอยอร่ามดวงอุทิศ ถนนสาธุประดิษฐ์
แขวงบางโพงพาง เขตยานนาวา กรุงเทพฯ 10120

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2552 จำนวน 2,000 เล่ม

คำนำ

กระทรวงมหาดไทยโดยกรมโยธาธิการและผังเมืองได้ดำเนินการกำหนดมาตรการควบคุม การก่อสร้างอาคารและสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวให้มีความปลอดภัยโดยออกกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนักความต้านทานความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 30 พฤศจิกายน 2550 กฎกระทรวงฉบับดังกล่าวได้ระบุให้ผู้คำนวณและออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ ต้องคำนวณให้อาคารสามารถรับแรงสั่นสะเทือนโดยใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ (Dynamic Method) หรือวิธีอื่นที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานทางทฤษฎีเชิงพลศาสตร์ ซึ่งวิธีการคำนวณต้องเป็นไปตามมาตรฐานว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่สภาวิศวกรรับรอง หรือจัดทำโดยส่วนราชการ หรือ นิติบุคคลที่มีคุณสมบัติตามที่กฎกระทรวงกำหนด

ภายหลังที่กฎกระทรวงดังกล่าวได้ประกาศบังคับใช้มาระยะเวลาหนึ่งแล้ว ปรากฏว่า ไม่มีหน่วยงานใดจัดทำมาตรฐานว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวดังกล่าวขึ้น ทำให้ผู้คำนวณและออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอประสบปัญหา ไม่มีแนวทางการคำนวณเชิงพลศาสตร์ที่ชัดเจนและสอดคล้องกับสภาพความเสี่ยงภัยของแผ่นดินไหว ในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย กรมโยธาธิการและผังเมืองซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีภารกิจในการกำหนดมาตรฐานการก่อสร้างอาคาร จึงได้มอบหมายให้สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์เป็นผู้ยกร่างมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว หรือ มยผ. 1302 ขึ้น เพื่อเพิ่มเติมรายละเอียดการคำนวณออกแบบอาคารตามกฎกระทรวงโดยเฉพาะการคำนวณด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ ให้มีความสมบูรณ์และชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้ผู้คำนวณและออกแบบโครงสร้างอาคารสามารถนำไปใช้ปฏิบัติให้การก่อสร้างอาคารเป็นไปตามหลักมาตรฐานสากล

กรมโยธาธิการและผังเมือง ขอขอบคุณ คณะทำงานด้านข้อบังคับเกี่ยวกับแรงจากแผ่นดินไหวของสถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่เป็นกำลังสำคัญ ในการจัดทำมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว หรือ มยผ. 1302 ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี
และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า การนำมาตรฐานดังกล่าวไปใช้ปฏิบัติ จะทำให้ การก่อสร้างอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทยมีความมั่นคงแข็งแรง ซึ่งจะก่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนต่อไป

(นายอุดม พัวสกุล)
อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

บทนำ

ในปัจจุบัน เป็นที่ตระหนักกันดีแล้วว่า แผ่นดินไหวรุนแรงในระดับที่สร้างความเสียหายแก่อาคาร บ้านเรือน และสิ่งปลูกสร้างต่างๆ จนส่งผลให้ ผู้คนเป็นจำนวนมากบาดเจ็บหรือเสียชีวิตได้นั้น มีโอกาสเกิดขึ้นได้จริงในพื้นที่บางส่วนของประเทศไทย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเตรียมพร้อมเพื่อรับมือกับภัยพิบัติดังกล่าว

มาตรการเตรียมพร้อมที่มีประสิทธิภาพที่สุดมาตรการหนึ่ง คือ การออกแบบก่อสร้างอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวที่รุนแรงได้ ด้วยเหตุนี้ ในปี พศ. 2540 จึงได้มีการออกกฎกระทรวงฉบับที่ 49 ภายใต้ พ.ร.บ ควบคุมอาคารฯ มากำหนดให้มีการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวในพื้นที่จังหวัดภาคเหนือ และ จังหวัด กาญจนบุรี ซึ่งในเวลาต่อมา กฎกระทรวงดังกล่าวได้ถูกแทนที่โดยกฎกระทรวง พ.ศ. 2550 ซึ่งปรับปรุงขยายพื้นที่ควบคุมให้ครอบคลุมถึงกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล และจังหวัดในภาคใต้

กฎกระทรวงดังกล่าวนับได้ว่าเป็นก้าวสำคัญของการดำเนินการลดภัยพิบัติแผ่นดินไหวของประเทศไทย อย่างไรก็ดี ข้อกำหนดต่างๆ ในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว ที่ระบุไว้ในกฎกระทรวงนั้น อ้างอิงมาจากมาตรฐานแม่แบบในต่างประเทศที่ค่อนข้างล้าสมัย ส่งผลให้การออกแบบมีข้อจำกัดหลายประการ และไม่สอดคล้องกับองค์ความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ฉบับนี้จึงได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อให้มีความสมบูรณ์ ทันสมัย และสอดคล้องกับหลักวิชาการในปัจจุบัน ทัดเทียมกับมาตรฐานในระดับสากล โดย คณะทำงานจัดทำมาตรฐาน ได้พิจารณาเลือกมาตรฐาน ASCE7-05 ของประเทศสหรัฐอเมริกามาใช้เป็นมาตรฐานแม่แบบ และได้ดำเนินการปรับแก้ข้อกำหนด สัมประสิทธิ์ ค่าตัวประกอบ สูตรและสมการออกแบบบางส่วน เพื่อให้มาตรฐานฉบับนี้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับสภาวการณ์ของประเทศไทย

ลักษณะเด่นของมาตรฐานฉบับนี้ พอสรุปได้โดยสังเขปดังต่อไปนี้

- มีการกำหนดค่าความรุนแรงของแผ่นดินไหวในรูปแบบมาตรฐานสากล สำหรับทุกๆ อำเภอในประเทศไทย
- มีการกำหนด “ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว” ตั้งแต่ประเภทที่ไม่ต้องออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว ไปจนถึง ประเภทที่ต้องออกแบบอย่างเข้มงวด
- ผู้ออกแบบสามารถเลือกระบบโครงสร้างได้หลากหลายลักษณะ
- สูตรคำนวณ สัมประสิทธิ์ ตัวประกอบ บางส่วน พัฒนามาจากข้อมูลและผลการศึกษาวิจัยภายในประเทศ

- วิธีแรงสถิตเทียบเท่า สามารถนำไปใช้ออกแบบอาคารหลายประเภท รวมทั้ง อาคารที่มีรูปทรงไม่ปกติในบางกรณี
- มีข้อกำหนดการออกแบบอาคารด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ สำหรับอาคารที่ไม่สามารถออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

ในฐานะหัวหน้าคณะทำงานจัดทำมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ฉบับนี้ ผมใคร่ขอขอบคุณคณะทำงานทุกท่านที่ได้ร่วมช่วยกันดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณคณะกรรมการกำกับดูแลการปฏิบัติงานของคณะทำงานทุกท่าน โดยเฉพาะ นายสุรชัย พรภัทรกุล วิศวกรใหญ่ นายสุรพล พงษ์ไทยพัฒน์ อดีตวิศวกรใหญ่ และ ดร.เสถียร เจริญเหรียญ หัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ อันประกอบด้วย นายธีระพันธุ์ ทองประวัติ ศ. ดร.ทักษิณ เทพชาตรี รศ. ดร. พรศักดิ์ พุทธพงษ์ศิริพร และ รศ. ดร. การุณ จันทรางศุ ที่ได้ให้คำชี้แนะในการจัดทำมาตรฐานฉบับนี้

(รองศาสตราจารย์ ดร.เป็นหนึ่ง วานิชชัย)
ภาควิชาวิศวกรรมโครงสร้าง
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
หัวหน้าคณะทำงาน

คณะทำงาน โครงการพัฒนาและปรับปรุงจัดทำประมวลข้อบังคับอาคาร (Building Code)
สำหรับประเทศไทย
โครงการย่อยที่ 2 ด้านน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่ออาคารและอายุการใช้งานของอาคาร

คณะทำงานด้านข้อบังคับเกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกภายในอาคารและจากสิ่งแวดล้อม

1. รศ. เอนก ศิริพานิชกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. ผศ. ดร.ชูชัย สุจิรวรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
3. ดร. ทรงเกียรติ มธุพยนต์	บ. ซีวิล แอนด์ สตรัคเจอรัล เอ็นยิเนียร์ส จำกัด
4. ดร. ธีรวุฒิ มูอำหมัด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
5. รศ. ดร. นคร ภู่วโรดม	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
6. ดร. นครินทร์ สัทธรรมนุวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
7. ผศ. ดร. นภัสถ์ หาญพรชัย	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
8. ผศ. ดร. พรเกษม จงประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
9. ดร. วิมล ลาวัลย์วิสุทธิ์	บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด
10.ผศ. ดร.สมโพธิ์ อยู่ไว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
11.ผศ. ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
12 ดร. อภินัติ อัชกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
13.อ. เอกชัย ภัทรวงศ์ไพบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

คณะทำงานด้านข้อบังคับเกี่ยวกับแรงจากแผ่นดินไหว

1. รศ. ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
2. ผศ. ดร.ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. รศ. ดร. นคร ภู่วโรดม	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
4. รศ. ดร. ไพบูลย์ ปัญญาคะโป	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
5. รศ. ดร. วิโรจน์ บุญญภิญโญ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
6. ผศ. ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
7. รศ. ดร. อมร พิมานมาศ	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
8. ผศ. ดร.อาณัติ เรืองรัศมี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะทำงานด้านข้อบังคับเกี่ยวกับอายุการใช้งานและความคงทนของอาคาร

1. ศ. ดร. สมนึก ตั้งเติมสิริกุล	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
2. ดร. เฉลิมชัย วาณิชย์ล้ำเลิศ	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (สวทช.)
3. ดร. ทวีชัย สำราญวานิช	มหาวิทยาลัยบูรพา
4. ดร. ปิติศานต์ กร้ำมาตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
5. รศ. ดร. พิชัย นิมิตยงสกุล	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
6. ดร. รักติพงษ์ สหมิตรมงคล	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (สวทช.)

คณะทำงานจัดทำมาตรฐานการออกแบบอาคาร
ต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

หัวหน้าคณะทำงาน

รศ. ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

คณะทำงาน

1.	ผศ. ดร.ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2.	รศ. ดร.นคร ภู่วโรดม	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
3.	รศ. ดร. ไพบูลย์ ปัญญาคะโป	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
4.	รศ. ดร.วิโรจน์ บุญญภิญโญ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
5.	ผศ. ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6.	รศ. ดร. อมร พิมานมาศ	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
7.	ผศ. ดร. อาณัติ เรืองรัศมี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการกำกับดูแลการปฏิบัติงานของที่ปรึกษา
เรื่อง มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ประธานกรรมการ

วิศวกรใหญ่ สุรพล พงษ์ไทยพัฒน์
กรมโยธาธิการและผังเมือง

วิศวกรใหญ่ สุรชัย พรภัทรกุล

คณะกรรมการ

นายสินิทธิ์ บุญสิทธิ์
กรมโยธาธิการและผังเมือง

นายเสถียร เข่งวา
กรมโยธาธิการและผังเมือง

นายเกียรติชัย ลิ้มทองคำ
กรมโยธาธิการและผังเมือง

นายวิบูลย์ ลีพัฒนากิจ
กรมโยธาธิการและผังเมือง

นายธนิต ใจสอาด
กรมโยธาธิการและผังเมือง

กรรมการและเลขานุการ

ดร.เสถียร เจริญเหรียญ
กรมโยธาธิการและผังเมือง

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

นายวิโชติ กันภัย
กรมโยธาธิการและผังเมือง

สารบัญ

คำนำ ..... **i**

บทนำ ..... **ii**

บทที่ 1 หลักเกณฑ์การออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหว **1**

1.1 ทั่วไป 1

1.2 นิยาม 2

1.3 สัญลักษณ์ 5

1.4 ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว 9

1.5 ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร 29

1.6 ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว 30

บทที่ 2 ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว **32**

2.1 ทั่วไป 32

2.2 ข้อกำหนดพื้นฐานของการออกแบบโครงสร้าง 32

2.3 การเลือกระบบโครงสร้าง 33

2.4 ความอ่อนของไดอะแฟรมและความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้าง 38

2.5 การรวมผลของแรงแผ่นดินไหว กับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง 45

2.6 ทิศทางของแรงแผ่นดินไหว 47

2.7 วิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง 48

2.8 ข้อกำหนดในการสร้างแบบจำลองโครงสร้าง 49

2.9 การออกแบบไดอะแฟรมและองค์อาคารเชื่อม 50

2.10 กำแพงโครงสร้างและการฝังยึด 52

2.11 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นและการโก่งตัวของโครงสร้าง 54

2.12 การออกแบบโครงสร้างฐานราก 55

บทที่ 3 วิธีแรงสถิตเทียบเท่า **57**

3.1 ทั่วไป 57

3.2 แรงเฉือนที่ฐานอาคาร 57

3.3 การคำนวณค่าคาบการสั่นพื้นฐาน 58

3.4 การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำทางด้านข้างต่ออาคารในชั้นต่างๆ 59

3.5 การกระจายแรงเฉือนในแนวราบ 59

3.6 การพลิกคว่ำ 61

3.7 การคำนวณค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น 61

3.8 ผลของ P-Delta 62
บทที่ 4 การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ 64
4.1 ทั่วไป 64
4.2 วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด 64
4.3 วิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา 67
4.4 วิธีวิเคราะห์การตอบสนองไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา 70
บทที่ 5 การให้รายละเอียดโครงสร้าง 74
5.1 โครงสร้างเหล็ก 74
5.2 โครงสร้างคอนกรีต 75
ภาคผนวก ก การจำแนกประเภทชั้นดินที่ตั้งอาคารสำหรับการออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว 83
ก.1 การจำแนกประเภทชั้นดินที่ตั้งอาคาร 83
ก.2 การวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดิน 83
ก.3 การกำหนดประเภทชั้นดิน 83
ก.4 นิยามของพารามิเตอร์ที่ใช้จำแนกประเภทของชั้นดิน 85
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณแรงแผ่นดินไหว 87
ข.1 ตัวอย่างการคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 88
ข.2 ตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด 102

บทที่ 1
หลักเกณฑ์การออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหว

1.1 ทั่วไป

1.1.1 วัตถุประสงค์

มาตรฐานนี้กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหว โดยที่ค่าแรงแผ่นดินไหวเพื่อใช้ในการออกแบบอาคาร (เช่น ค่าแรงสถิตเทียบเท่าในบทที่ 3) ได้ถูกกำหนดขึ้นโดยสมมุติว่าอาคาร ได้รับการออกแบบให้มีความเหนียว สามารถโยกไหวตัวเกินพิกัดยืดหยุ่นของโครงสร้าง และสามารถสลายพลังงานของการสั่นไหวในระดับที่เหมาะสม ดังนั้นผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องปฏิบัติตาม ข้อกำหนดในการออกแบบรายละเอียดขององค์อาคารและโครงสร้างโดยรวม เพื่อให้อาคารมีพฤติกรรมเป็นไปตามที่สมมุติไว้ ทั้งนี้รวมถึง กรณีที่ผลเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกประเภทอื่นๆที่มีต่อองค์อาคารนั้นๆ หรือโครงสร้างนั้นๆ มีค่าสูงกว่าผลเนื่องจากแผ่นดินไหว

1.1.2 ขอบข่าย

1.1.2.1 มาตรฐานนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบอาคารทั่วไป ซึ่งรวมถึง อาคารขนาดเล็ก อาคารขนาดปานกลาง และ อาคารสูงทั้งที่มีรูปทรงสม่ำเสมอ (Regular) และไม่สม่ำเสมอ (Irregular) แต่มาตรฐานไม่คลอบคลุมถึง การออกแบบโครงสร้างสะพาน เขื่อน โครงสร้างชลประทาน ถังน้ำ เสาส่งไฟฟ้า เสาส่งสัญญาณวิทยุ ป้ายโฆษณา โครงสร้างที่อยู่ใต้ดิน เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ และโครงสร้างอื่นๆ ที่ไม่ได้เป็นลักษณะอาคาร

1.1.2.2 ข้อกำหนดต่างๆ ในมาตรฐานนี้ เป็นขั้นต่ำสุดที่จำเป็นต่อการออกแบบอาคาร เพื่อให้อาคารมีความปลอดภัย และเพื่อจำกัดผลกระทบในรูปแบบต่างๆ ของแรงแผ่นดินไหวที่มีต่ออาคารให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ตามเกณฑ์มาตรฐานสากล

1.1.2.3 อาคารต่อไปนี้ไม่มีความจำเป็นต้องออกแบบให้ต้านทานแรงแผ่นดินไหว ตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้

(1) อาคารที่พักอาศัยแบบหลังเดี่ยว สูงไม่เกิน 2 ชั้น ที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีค่า S_S น้อยกว่า 0.4 หรือที่มีประเภทการออกแบบแรงแผ่นดินไหว (หัวข้อ 1.6) เป็นแบบ ก ข หรือ ค

(2) อาคารที่ใช้เก็บพืชผลการเกษตร

1.1.2.4 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System of Units)

1.1.3 มาตรฐานอ้างถึง

มาตรฐานที่ใช้อ้างถึงประกอบด้วย

1.1.3.1 กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย: มาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าแรงอัดแกนเดียว มยผ. 1242

1.1.3.2 กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย: มาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าแรงอัดสามแกน มยผ. 1243

1.1.3.3 กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย: มาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก มยผ. 1246

1.1.3.4 กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย: มาตรฐานการเจาะสำรวจดิน มยผ. 1249

1.1.3.5 กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย: มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1301

1.1.3.6 สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย: มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดย วิธีกำลัง EIT1008

1.1.3.7 American Concrete Insitute: Building Code Requirements for Structural Concrete, 2005 (ACI 318)

1.1.3.8 American Institute of Steel Construction: Specification for Structural Steel Buildings, 2005 (ANSI/AISC360)

1.1.3.9 American Institute of Steel Construction: Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, 2005 (ANSI/AISC 341)

1.1.3.10 American Iron and Steel Institute: Standard for the Design of Cold Formed Steel Framing, Lateral Design, 2004 (ANSI/AISI Lateral)

1.1.3.11 American Society of Civil Engineers: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 2005 (ASCE7-05)

หากข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับข้อกำหนดในมาตรฐานที่อ้างถึง ให้ถือข้อกำหนดในมาตรฐานนี้เป็นสำคัญ

1.2 นิยาม

“ระบบต้านแรงด้านข้าง” (Lateral Load Resisting System) หมายถึง องค์อาคารหรือกลุ่มขององค์อาคารที่ออกแบบมาเพื่อให้ต้านทานแรงด้านข้างเป็นหลัก

“ระบบรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง” (Gravity Load Resisting System) หมายถึง องค์อาคารหรือกลุ่มขององค์อาคารที่ออกแบบมาเพื่อให้รับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งเป็นหลัก

“ไดอะแฟรม” (Diaphragm) หมายถึง แผ่นพื้น แผ่นหลังคา หรือ ระบบการรั้งยึด ที่ทำหน้าที่ถ่ายแรงด้านข้างไปยังระบบต้านแรงด้านข้าง

“องค์อาคารเชื่อม” (Collector) หมายถึง องค์อาคารซึ่งทำหน้าที่ถ่ายแรงกระทำทางด้านข้างจากไดอะแฟรมเข้าสู่ระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้าง

“สมอยึด” (Anchorage) หมายถึง ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมยึดระหว่างกำแพงโครงสร้างและไดอะแฟรม

“กำแพง” (Wall) หมายถึง องค์อาคารที่แบ่งกั้นพื้นที่และทำมุมกับระนาบในแนวราบมากกว่า 60 องศา

“กำแพงโครงสร้าง” (Structural Wall) หมายถึง กำแพงซึ่งออกแบบให้ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งหรือกำแพงรับแรงเฉือนซึ่งถูกออกแบบให้ต้านทานแรงด้านข้าง

“กำแพงรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง” (Bearing Wall) หมายถึง กำแพงโครงเหล็กหรือไม้ที่รับน้ำหนักบรรทุกเกินกว่า 1500 นิวตันต่อเมตร นอกเหนือจากน้ำหนักตัวเอง หรือ กำแพงคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุกเกินกว่า 3000 นิวตันต่อเมตร นอกเหนือจากน้ำหนักตัวเอง

“กำแพงรับแรงเฉือน” (Shear Wall) หมายถึง กำแพงรับน้ำหนักแนวดิ่ง หรือ ไม่รับน้ำหนักแนวดิ่ง ที่ออกแบบให้ต้านทานแรงด้านข้าง

“ระบบโครงอาคาร” (Building Frame System) หมายถึง ระบบโครงสร้างที่มีโครงอาคารรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งส่วนใหญ่ และมีกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกงแนงทำหน้าที่ต้านแรงด้านข้าง

“โครงแกงแนงเหล็ก” (Steel Braced Frame) หมายถึง โครงเหล็กถักในแนวดิ่งในระบบโครงอาคาร ที่ทำหน้าที่ต้านแรงด้านข้าง

“โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์” (Steel Eccentrically Braced Frame) หมายถึง โครงแกงแนงเหล็กที่มีจุดต่อขององค์อาคารยึดรั้งอยู่เยื้องจากจุดต่อคานและเสา

“โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์” (Steel Concentrically Braced Frame) หมายถึง โครงแกงแนงเหล็กที่มีจุดต่อขององค์อาคารแกงแนงตรงกับจุดต่อคานและเสาและองค์อาคารแกงแนงเหล็กรับแรงในแนวแกนเป็นหลัก

“โครงต้านแรงดัด” (Moment Frame) หมายถึง โครงอาคารที่ต้านแรงด้านข้างโดยการดัดและการรับแรงในแนวแกนขององค์อาคารในโครงอาคาร

“โครงถักต้านแรงดัด” (Truss Moment Frame) หมายถึง โครงอาคารที่ใช้โครงเหล็กถักเป็นส่วนหนึ่งของโครงต้านแรงดัด

“ระบบโครงสร้างแบบผสม” (Dual System) หมายถึง ระบบโครงสร้างที่มีโครงอาคารรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งเป็นส่วนใหญ่และมีโครงต้านแรงดัดและกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกงแนงทำหน้าที่ต้านแรงด้านข้าง

“ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำแพงรับแรงเฉือนและโครงต้านแรงดัด” (Shear Wall-Frame Interaction System) หมายถึง ระบบโครงสร้างที่อาศัยโครงต้านแรงดัดและกำแพงรับแรงเฉือนที่ไม่มีการให้รายละเอียดเกี่ยวกับความเหนียวในการต้านแรงด้านข้าง โดยการกระจายแรงระหว่างโครงต้านแรงดัดและกำแพงรับแรงเฉือนเป็นไปตามสัดส่วนของสติฟเนส

“ฐานอาคาร/ฐานโครงสร้าง” (Base) หมายถึง ระดับที่ถือว่าเป็นตำแหน่งที่คลื่นแผ่นดินไหวกระทำต่ออาคาร/โครงสร้าง

“แผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา” (Maximum Considered Earthquake) หมายถึง แผ่นดินไหวที่มีระดับความรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาในมาตรฐานฉบับนี้ ซึ่งความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงกว่าระดับที่พิจารณา (Probabilty of Exceedance) เท่ากับร้อยละ 2 ในช่วงเวลา 50 ปี

“แผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ” (Design Earthquake) หมายถึง แผ่นดินไหวที่มีระดับความรุนแรงเป็น 2 ใน 3 ของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา

“ผลของ P-Delta” หมายถึง แรงเฉือนและแรงดัดเพิ่มเติมในองค์อาคารที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งย้ายตำแหน่งเยื้องออกจากแนวเดิมเนื่องจากโยกตัวทางด้านข้างของโครงสร้างอาคาร

“การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น” (Story Drift) หมายถึง การเคลื่อนตัวด้านข้างสัมพัทธ์ระหว่างพื้นของชั้นถัดไปที่อยู่เหนือชั้นที่พิจารณาและชั้นที่พิจารณา

1.3 สัญลักษณ์

A_x = ตัวประกอบขยายแรงบิดโดยบังเอิญ

A_g = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม หน่วยเป็น ตารางมิลลิเมตร

A_{ch} = พื้นที่ของแกนหน้าตัดที่ล้อมด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของเหล็กปลอกเกลียว หน่วยเป็น ตารางมิลลิเมตร

C_d = ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว

C_s = สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว

C_{vx} = ตัวประกอบการกระจายในแนวดิ่ง

D = น้ำหนักบรรทุกคงที่

D_e = ความลึกของไดอะแฟรมในแนวแรง

d_i = ความหนาของชั้นดินชั้นที่ i หน่วยเป็นเมตร

d_s = ความหนาของชั้นดินทรายทั้งหมดในช่วงความลึก 30 เมตรแรก หน่วยเป็นเมตร

E = แรงแผ่นดินไหว

δ_{xe} = ค่าการโก่งตัวที่คำนวณจากวิธีวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับระบบอิลาสติก หน่วยเป็น เมตร

F_a = สัมประสิทธิ์ชั้นดินที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่น 0.2 วินาที

F_v = สัมประสิทธิ์ชั้นดินที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่น 1 วินาที

F_{px} = แรงที่ใช้ในการออกแบบไดอะแฟรม หน่วยเป็น นิวตัน

F_p = แรงที่ใช้ในการออกแบบสมอยึด หน่วยเป็น นิวตัน

F_i = แรงที่กระทำที่ระดับชั้น i หน่วยเป็น นิวตัน

f'_c = กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต หน่วยเป็น เมกาปาสกาล

f_{yh} = กำลังครากของเหล็กปลอกเกลียว หน่วยเป็น เมกาปาสกาล

g = ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก มีค่า 9.81 เมตร/วินาที^{2}

H = ความสูงอาคารวัดจากพื้นดิน หน่วยเป็น เมตร

h_c = มิติของหน้าตัดแกนคอนกรีตของเสาเข็มวัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของเหล็กปลอกวงปิด หน่วยเป็น มิลิเมตร

h_i , h_x = ความสูงวัดจากฐานอาคารไปยังระดับชั้นที่ i และ x ตามลำดับ หน่วยเป็น เมตร

h_{SX} = ความสูงระหว่างชั้นที่อยู่ใต้พื้นชั้นที่ x หน่วยเป็น เมตร

I = ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

k = ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง

L = น้ำหนักบรรทุกจร

$\overline{N}$ = ค่าของการทดสอบฝังจมมาตรฐานเฉลี่ย (Average Field Standard Penetration) ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก

$\overline{N}_{ch}$ = ค่าของการทดสอบฝังจมมาตรฐานเฉลี่ยสำหรับชั้นทราย (Average Standard Penetration Resistance for Cohesionless Soil Layer) ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก

N_i = ค่าของการทดสอบฝังจมมาตรฐาน (Standard Penetration) ของชั้นดิน

P = แรงตามแนวแกนบนเสาเข็ม หน่วยเป็น กิโลนิวตัน

P_X = น้ำหนักอาคารในแนวดิ่งทั้งหมดที่ระดับชั้น x และเหนือขึ้นไป หน่วยเป็น นิวตัน

PI = ค่าดัชนีพลาสติก

Q_{Ei} = แรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่ i

R = ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง

r_o = ค่าการตอบสนองรวมจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

r_{io} , r_{no} = ค่าการตอบสนองสูงสุดของโหมดที่ i และ n

S = ความยาวของไดอะแฟรมในแนวตั้งฉากกับแรง

S_a = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g

S_{DS} = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 0.2 วินาที หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g

S_{D1} = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 1.0 วินาที หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g

S_{MS} = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตัมที่คาบการสั่น 0.2 วินาที ปรับแก้เนื่องจากผลของชั้นดินที่ตั้ง หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g

S_{M1} = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตัมที่คาบการสั่น 1.0 วินาที ปรับแก้เนื่องจากผลของชั้นดินที่ตั้ง หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g

S_1 = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมจากแผนที่ความเสี่ยงภัยที่คาบการสั่น 1.0 วินาที หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g

S_S = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมจากแผนที่ความเสี่ยงภัยที่คาบการสั่น 0.2 วินาที หน่วยเป็น ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเป็น g

s = ระยะเรียงของเหล็กตามขวาง หน่วยเป็น มิลลิเมตร

s_u = กำลังรับแรงเฉือนไม่ระบายน้ำ หน่วยเป็น กิโลปาสกาล

s_u = กำลังรับแรงเฉือนไม่ระบายน้ำของชั้นดินชั้นที่ i หน่วยเป็น กิโลปาสกาล

T = คาบการสั่นพื้นฐาน หน่วย เป็นวินาที

T_S = S_{D1} / S_{DS}

T_o = $0.2 S_{D1} / S_{DS}$

V = แรงเฉือนที่ฐานอาคาร หน่วยเป็น นิวตัน

V_i = แรงเฉือนที่ฐานอาคาร จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ภายให้คลื่นแผ่นดินไหวที่ i หน่วยเป็น นิวตัน

V_t = แรงเฉือนที่ฐานอาคาร จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ หน่วยเป็น นิวตัน

V_X = แรงเฉือนที่กระทำกับชั้นที่ x หน่วยเป็น นิวตัน

$\bar{v}_s$ = ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยของชั้นดินในช่วง 30 เมตรแรก หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

v_{si} = ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย ของชั้นดินชั้นที่ i หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

w = ร้อยละของปริมาณน้ำในดิน (Water Content)

w_i , w_x = น้ำหนักอาคารประสิทธิผลสำหรับชั้นที่ i และ x ตามลำดับ หน่วยเป็น นิวตัน

w_{px} = น้ำหนักบรรทุกที่แผ่กระจายไปยังไดอะแฟรมที่ระดับชั้น x หน่วยเป็น นิวตัน

W = น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล หน่วยเป็น นิวตัน

W_p = น้ำหนักแผ่กระจายของกำแพงไปสู่สมอยึด หน่วยเป็น นิวตัน

Δ = การเคลื่อนตัวพัทธ์ระหว่างชั้น หน่วยเป็น เมตร

Δ_a = การเคลื่อนตัวพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ หน่วยเป็น เมตร

Δ_i = การเคลื่อนตัวพัทธ์ระหว่างชั้น จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่ i หน่วยเป็น เมตร

θ = สัมประสิทธิ์เสถียรภาพ

$\theta_{\max}$ = สัมประสิทธิ์เสถียรภาพสูงสุดที่ยอมให้

β = อัตราส่วนของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นต่อกำลังแรงเฉือนระหว่างระดับชั้น x และ x-1

β_{in} = อัตราส่วนระหว่างคาบธรรมชาติของการสั่นไหวในโหมดที่ n ต่อโหมดที่ i

δ_{avg} = การเคลื่อนที่เฉลี่ยที่ปลายทั้งสองด้านของอาคาร ของชั้นที่ x หน่วยเป็น เมตร

δ_i = การเคลื่อนที่ในแนวราบของจุดศูนย์กลางมวลที่ระดับ i หน่วยเป็น เมตร

$\delta_{\max}$ = การเคลื่อนที่สูงสุดที่ระดับที่พิจารณา หน่วยเป็น เมตร

δ_x = การเคลื่อนที่ในแนวราบของจุดศูนย์กลางมวลที่ระดับ x หน่วยเป็น เมตร

δ_{xe} = การเคลื่อนที่ที่คำนวณจากการวิเคราะห์โครงสร้างแบบอีลาสติก หน่วยเป็น เมตร

ρ_{in} = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับการรวมผลตอบสนองจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

ρ_s = อัตราส่วนเชิงปริมาตร (ปริมาตรเหล็กปลอกเกลียว/ปริมาตรแกนคอนกรีต)

ζ = คืออัตราส่วนความหน่วงของโหมดที่ i

Ω_0 = ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน

1.4 ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว

1.4.1 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม

เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว อาคารต่างๆ จะมีการตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือ คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร และปัจจัยประกอบอื่นๆ ดังนั้น ผลตอบสนองของอาคาร จึงแสดงในรูปของ “ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม” ซึ่งมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามคาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา (Maximum Considered Earthquake) ที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_S) และ คาบการสั่น 1 วินาที (S_1) ณ อำเภอและจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศไทย ยกเว้นในพื้นที่แอ่งกรุงเทพที่มีลักษณะดินอ่อนเป็นพิเศษ ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1.4-1 ค่าความเร่งตอบสนองที่แสดงในตารางนี้ ได้มาจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว โดยสมมุติให้สภาพชั้นดินในทุกๆพื้นที่เป็นแบบดินแข็งหรือหิน ที่มีความเร็วคลื่นเฉือน $\bar{v}_s$ โดยเฉลี่ยในช่วงจากผิวดินถึงความลึก 30 เมตร เท่ากับ 760 เมตรต่อวินาที

ในกรณีของพื้นที่แอ่งกรุงเทพ ผลตอบสนองของอาคารได้ถูกแสดงในรูปของ ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ซึ่งได้รวมผลเนื่องจากสภาพดินอ่อนในพื้นที่นี้เข้าไปแล้ว และสามารถนำไปใช้ในการออกแบบได้โดยตรง ดังรายละเอียดในหัวข้อ 1.4.5.2

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
กาญจนบุรี	ด่านมะขามเตี้ย	0.876	0.253
	ทองผาภูมิ	0.689	0.199
	ท่าม่วง	0.826	0.238
	ท่ามะกา	0.475	0.138
	ไทรโยค	0.698	0.202
	บ่อพลอย	0.593	0.172
	พนมทวน	0.429	0.127
	เมืองกาญจนบุรี	0.704	0.205
	เลาขวัญ	0.435	0.128
	ศรีสวัสดิ์	0.673	0.195
	สังขละบุรี	0.777	0.233
	หนองปรือ	0.595	0.171
	ห้วยกระเจา	0.491	0.144
กาฬสินธุ์	กมลาไสย	0.046	0.028
	กิ่งอำเภอฆ้องชัย	0.046	0.028
	กิ่งอำเภอดอนจาน	0.048	0.028
	กิ่งอำเภอนาคู	0.055	0.029
	กิ่งอำเภอสามชัย	0.062	0.031
	กุฉินารายณ์	0.049	0.028
	เขาวง	0.054	0.029
	คำม่วง	0.059	0.031
	ท่าคันโท	0.073	0.033
	นามน	0.050	0.029
	เมืองกาฬสินธุ์	0.048	0.028
	ยางตลาด	0.048	0.028
	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
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
	ปางศิลาทอง	0.493	0.141
	พรานกระต่าย	0.445	0.115
	เมืองกำแพงเพชร	0.448	0.120
	ลานกระบือ	0.341	0.093
ขอนแก่น	กระนวน	0.061	0.031
	กิ่งอำเภอโคกโพธิ์ไชย	0.050	0.030
	กิ่งอำเภอซำสูง	0.054	0.030
	กิ่งอำเภอโนนศิลา	0.045	0.029
	กิ่งอำเภอบ้านแฮด	0.049	0.029
	กิ่งอำเภอหนองนาคำ	0.093	0.036
	เขาสวนกวาง	0.077	0.033
	ชนบท	0.048	0.029
	ชุมแพ	0.086	0.035
	น้ำพอง	0.065	0.032
	บ้านไผ่	0.047	0.029
	บ้านฝาง	0.057	0.031
	เปือยน้อย	0.043	0.028
	พระยืน	0.053	0.030
	พล	0.044	0.029
	ภูผาม่าน	0.125	0.039
	ภูเวียง	0.076	0.034
	มัญจาคีรี	0.050	0.030
	เมืองขอนแก่น	0.054	0.030
	แวงน้อย	0.045	0.029
	แวงใหญ่	0.047	0.029

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	สีชมพู	0.106	0.037
	หนองเรือ	0.060	0.032
	หนองสองห้อง	0.042	0.028
	อุบลรัตน์	0.075	0.033
จันทบุรี	กิ่งอำเภอเขาคิชฌกูฏ	0.044	0.030
	กิ่งอำเภอนายายอาม	0.051	0.033
	แก่งหางแมว	0.051	0.032
	ขลุง	0.040	0.029
	ท่าใหม่	0.044	0.031
	โป่งน้ำร้อน	0.040	0.029
	มะขาม	0.041	0.030
	เมืองจันทบุรี	0.042	0.030
	สอยดาว	0.041	0.029
	แหลมสิงห์	0.042	0.031
ฉะเชิงเทรา	ท่าตะเกียบ	0.059	0.034
	แปลงยาว	0.106	0.041
	พนมสารคาม	0.064	0.036
	สนามชัยเขต	0.077	0.038
ชลบุรี	กิ่งอำเภอเกาะจันทร์	0.118	0.041
	เกาะสีชัง	0.186	0.054
	บ่อทอง	0.105	0.039
	บางละมุง	0.144	0.047
	บ้านบึง	0.149	0.044
	พนัสนิคม	0.140	0.044
	ศรีราชา	0.177	0.049
	สัตหีบ	0.140	0.047
	หนองใหญ่	0.119	0.040
ชัยนาท	กิ่งอำเภอเนินขาม	0.351	0.111
	กิ่งอำเภอหนองมะโมง	0.378	0.114
	มโนรมย์	0.143	0.065
	เมืองชัยนาท	0.161	0.070
	วัดสิงห์	0.200	0.079
	สรรคบุรี	0.151	0.069
	สรรพยา	0.116	0.060
	หันคา	0.212	0.083
ชัยภูมิ	กิ่งอำเภอซับใหญ่	0.048	0.034
	เกษตรสมบูรณ์	0.080	0.035
	แก้งคร้อ	0.053	0.032

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	คอนสวรรค์	0.048	0.030
	คอนสาร	0.118	0.038
	จัตุรัส	0.045	0.032
	เทพสถิต	0.048	0.035
	เนินสง่า	0.045	0.031
	บ้านเขว้า	0.049	0.032
	บ้านแท่น	0.062	0.032
	บำเหน็จณรงค์	0.047	0.033
	ภักดีชุมพล	0.061	0.036
	ภูเขียว	0.062	0.032
	เมืองชัยภูมิ	0.047	0.031
	หนองบัวแดง	0.061	0.034
	หนองบัวระเหว	0.050	0.033
ชุมพร	ท่าแซะ	0.093	0.078
	ทุ่งตะโก	0.081	0.079
	ปะทิว	0.085	0.075
	พะโต๊ะ	0.091	0.093
	เมืองชุมพร	0.088	0.080
	ละแม	0.081	0.082
	สวี	0.082	0.080
	หลังสวน	0.082	0.082
เชียงราย	กิ่งอำเภอดอยหลวง	0.924	0.270
	กิ่งอำเภอเวียงเชียงรุ้ง	0.833	0.241
	ขุนตาล	0.650	0.169
	เชียงของ	0.706	0.191
	เชียงแสน	0.935	0.273
	เทิง	0.619	0.157
	ป่าแดด	0.618	0.154
	พญาเม็งราย	0.672	0.180
	พาน	0.656	0.173
	เมืองเชียงราย	0.798	0.232
	แม่จัน	0.940	0.278
	แม่ฟ้าหลวง	0.929	0.275
	แม่ลาว	0.735	0.211
	แม่สรวย	0.749	0.209
	แม่สาย	0.933	0.273
	เวียงแก่น	0.683	0.175
	เวียงชัย	0.753	0.215

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	เวียงป่าเป้า	0.759	0.194
เชียงใหม่	กิ่งอำเภอดอยหล่อ	0.832	0.248
	กิ่งอำเภอแม่ออน	0.740	0.187
	จอมทอง	0.796	0.243
	เชียงดาว	0.933	0.266
	ไชยปราการ	0.909	0.262
	ดอยเต่า	0.739	0.237
	ดอยสะเก็ด	0.821	0.225
	ฝาง	0.927	0.271
	พร้าว	0.850	0.237
	เมืองเชียงใหม่	0.878	0.248
	แม่แจ่ม	0.776	0.242
	แม่แตง	0.914	0.260
	แม่ริม	0.896	0.254
	แม่วาง	0.847	0.248
	แม่อาย	0.963	0.283
	เวียงแหง	0.959	0.273
	สะเมิง	0.884	0.258
	สันกำแพง	0.835	0.230
	สันทราย	0.890	0.251
	สันป่าตอง	0.844	0.244
	สารภี	0.847	0.236
	หางดง	0.853	0.243
	อมก๋อย	0.771	0.244
	ฮอด	0.744	0.237
ตรัง	กันตัง	0.091	0.096
	กิ่งอำเภอนาโยง	0.082	0.090
	กิ่งอำเภอรัษฎา	0.079	0.085
	กิ่งอำเภอหาดสำราญ	0.092	0.097
	ปะเหลียน	0.087	0.094
	เมืองตรัง	0.084	0.092
	ย่านตาขาว	0.085	0.093
	วังวิเศษ	0.089	0.094
	สิเกา	0.093	0.097
	ห้วยยอด	0.085	0.092
ตราด	เกาะกูด	0.036	0.027
	เกาะช้าง	0.038	0.029
	เขาสมิง	0.038	0.028

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	คลองใหญ่	0.033	0.023
	คลองใหญ่	0.034	0.023
	บ่อไร่	0.037	0.027
	เมืองตราด	0.036	0.027
	แหลมงอบ	0.037	0.028
ตาก	กิ่งอำเภอวังเจ้า	0.485	0.135
	ท่าสองยาง	0.664	0.184
	บ้านตาก	0.498	0.153
	พบพระ	0.500	0.152
	เมืองตาก	0.481	0.140
	แม่ระมาด	0.575	0.171
	แม่สอด	0.525	0.154
	สามเงา	0.509	0.162
	อุ้มผาง	0.544	0.162
นครปฐม	กำแพงแสน	0.265	0.093
นครพนม	กิ่งอำเภอวังยาง	0.098	0.033
	ท่าอุเทน	0.326	0.065
	ธาตุพนม	0.096	0.032
	นาแก	0.081	0.031
	นาทม	0.274	0.059
	นาหว้า	0.139	0.040
	บ้านแพง	0.356	0.073
	ปลาปาก	0.134	0.038
	โพนสวรรค์	0.229	0.050
	เมืองนครพนม	0.299	0.060
	เรณูนคร	0.120	0.035
	ศรีสงคราม	0.245	0.054
นครราชสีมา	กิ่งอำเภอเทพารักษ์	0.047	0.035
	กิ่งอำเภอบัวลาย	0.043	0.029
	กิ่งอำเภอพระทองคำ	0.043	0.031
	กิ่งอำเภอเมืองยาง	0.039	0.027
	กิ่งอำเภอลำทะเมนชัย	0.039	0.026
	กิ่งอำเภอสีดา	0.042	0.028
	แก้งสนามนาง	0.045	0.030
	ขามทะเลสอ	0.042	0.031
	ขามสะแกแสง	0.043	0.030
	คง	0.041	0.028
	ครบุรี	0.040	0.029

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	จักราช	0.039	0.028
	เฉลิมพระเกียรติ	0.040	0.029
	ชุมพวง	0.039	0.027
	โชคชัย	0.040	0.029
	ด่านขุนทด	0.045	0.033
	โนนแดง	0.041	0.028
	โนนไทย	0.043	0.031
	โนนสูง	0.041	0.029
	บัวใหญ่	0.043	0.029
	บ้านเหลื่อม	0.045	0.031
	ประทาย	0.041	0.028
	ปักธงชัย	0.042	0.032
	ปากช่อง	0.047	0.036
	พิมาย	0.040	0.028
	เมืองนครราชสีมา	0.041	0.030
	วังน้ำเขียว	0.043	0.032
	สีคิ้ว	0.043	0.033
	สูงเนิน	0.043	0.032
	เสิงสาง	0.038	0.027
	หนองบุนนาก	0.039	0.028
	ห้วยแถลง	0.039	0.027
นครศรีธรรมรา	กิ่งอำเภอช้างกลาง	0.075	0.081
	กิ่งอำเภอนบพิตำ	0.071	0.075
	ขนอม	0.065	0.067
	จุฬาภรณ์	0.073	0.079
	ฉวาง	0.077	0.083
	เฉลิมพระเกียรติ	0.069	0.074
	ชะอวด	0.071	0.077
	เชียรใหญ่	0.067	0.071
	ถ้ำพรรณรา	0.081	0.086
	ท่าศาลา	0.067	0.071
	ทุ่งสง	0.076	0.082
	ทุ่งใหญ่	0.083	0.088
	นาบอน	0.077	0.083
	บางขัน	0.082	0.089
	ปากพนัง	0.065	0.068
	พรหมคีรี	0.070	0.074
	พระพรหม	0.069	0.074

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	พิปูน	0.074	0.079
	เมืองนครศรีธรรมราช	0.068	0.073
	ร่อนพิบูลย์	0.072	0.078
	ลานสกา	0.072	0.077
	สิชล	0.065	0.068
	หัวไทร	0.066	0.070
นครสวรรค์	กิ่งอำเภอชุมตาบง	0.471	0.136
	กิ่งอำเภอแม่เปิน	0.503	0.146
	เก้าเลี้ยว	0.176	0.067
	โกรกพระ	0.226	0.081
	ชุมแสง	0.116	0.055
	ตากฟ้า	0.082	0.050
	ตาคลี	0.103	0.056
	ท่าตะโก	0.086	0.049
	บรรพตพิสัย	0.229	0.078
	พยุหะคีรี	0.159	0.068
	ไพศาลี	0.072	0.046
	เมืองนครสวรรค์	0.175	0.069
	แม่วงก์	0.491	0.142
	ลาดยาว	0.454	0.127
	หนองบัว	0.081	0.047
นราธิวาส	จะแนะ	0.063	0.062
	เจาะไอร้อง	0.058	0.057
	ตากใบ	0.056	0.054
	บาเจาะ	0.058	0.058
	เมืองนราธิวาส	0.057	0.056
	ยี่งอ	0.059	0.058
	ระแงะ	0.060	0.059
	รือเสาะ	0.062	0.061
	แว้ง	0.061	0.059
	ศรีสาคร	0.064	0.062
	สุคิริน	0.062	0.060
	สุไหงโก-ลก	0.059	0.057
	สุไหงปาดี	0.059	0.057
น่าน	กิ่งอำเภอภูเพียง	0.641	0.154
	เฉลิมพระเกียรติ	0.636	0.147
	เชียงกลาง	0.834	0.215
	ท่าวังผา	0.893	0.222

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	ทุ่งช้าง	0.766	0.192
	นาน้อย	0.544	0.124
	นาหมื่น	0.571	0.129
	บ่อเกลือ	0.596	0.138
	บ้านหลวง	0.572	0.132
	ปัว	0.874	0.235
	เมืองน่าน	0.629	0.150
	แม่จริม	0.565	0.133
	เวียงสา	0.540	0.126
	สองแคว	0.697	0.167
	สันติสุข	0.714	0.177
บุรีรัมย์	กระสัง	0.036	0.024
	กิ่งอำเภอแคนดง	0.038	0.026
	กิ่งอำเภอบ้านด่าน	0.037	0.025
	คูเมือง	0.038	0.026
	เฉลิมพระเกียรติ	0.036	0.025
	ชำนิ	0.037	0.026
	นางรอง	0.037	0.026
	นาโพธิ์	0.041	0.027
	โนนดินแดง	0.036	0.026
	โนนสุวรรณ	0.037	0.027
	บ้านกรวด	0.034	0.024
	บ้านใหม่ไชยพจน์	0.041	0.027
	ประโคนชัย	0.035	0.024
	ปะคำ	0.036	0.026
	พลับพลาชัย	0.035	0.024
	พุทไธสง	0.040	0.027
	เมืองบุรีรัมย์	0.036	0.025
	ละหานทราย	0.036	0.025
	ลำปลายมาศ	0.037	0.026
	สตึก	0.037	0.025
	หนองกี่	0.038	0.027
	หนองหงส์	0.038	0.027
	ห้วยราช	0.036	0.025
ประจวบคีรีขันธ์	กิ่งอำเภอสามร้อยยอด	0.306	0.088
	กุยบุรี	0.302	0.086
	ทับสะแก	0.184	0.079
	บางสะพาน	0.144	0.078

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	บางสะพานน้อย	0.116	0.074
	ปราณบุรี	0.283	0.085
	เมืองประจวบคีรีขันธ์	0.279	0.086
	หัวหิน	0.245	0.081
ปราจีนบุรี	กบินทร์บุรี	0.047	0.033
	นาดี	0.045	0.033
	ประจันตคาม	0.051	0.035
	เมืองปราจีนบุรี	0.053	0.036
	ศรีมหาโพธิ	0.054	0.034
	ศรีมโหสถ	0.063	0.037
ปัตตานี	กิ่งอำเภอกะพ้อ	0.060	0.059
	กิ่งอำเภอทุ่งยางแดง	0.061	0.061
	กิ่งอำเภอแม่ลาน	0.064	0.064
	กิ่งอำเภอไม้แก่น	0.058	0.057
	โคกโพธิ์	0.065	0.067
	ปะนาเระ	0.058	0.059
	มายอ	0.061	0.061
	เมืองปัตตานี	0.062	0.062
	ยะรัง	0.062	0.062
	ยะหริ่ง	0.060	0.061
	สายบุรี	0.058	0.058
	หนองจิก	0.064	0.065
พระนครศรี-	ท่าเรือ	0.078	0.048
-อยุธยา	นครหลวง	0.096	0.053
	บางซ้าย	0.150	0.065
	บางบาล	0.111	0.056
	บางปะหัน	0.103	0.055
	บ้านแพรก	0.090	0.052
	ผักไห่	0.138	0.063
	พระนครศรีอยุธยา	0.104	0.055
	ภาชี	0.083	0.049
	มหาราช	0.096	0.053
พะเยา	กิ่งอำเภอภูกามยาว	0.616	0.143
	กิ่งอำเภอภูซาง	0.608	0.144
	จุน	0.597	0.139
	เชียงคำ	0.603	0.141
	เชียงม่วน	0.580	0.132
	ดอกคำใต้	0.605	0.138

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	ปง	0.584	0.136
	เมืองพะเยา	0.630	0.146
	แม่ใจ	0.641	0.155
พังงา	กะปง	0.136	0.117
	เกาะยาว	0.179	0.118
	คุระบุรี	0.110	0.116
	ตะกั่วทุ่ง	0.176	0.119
	ตะกั่วป่า	0.122	0.119
	ทับปุด	0.138	0.110
	ท้ายเหมือง	0.184	0.125
	เมืองพังงา	0.161	0.115
	เมืองพังงา	0.164	0.115
พัทลุง	กงหรา	0.078	0.085
	กิ่งอำเภอบางแก้ว	0.074	0.080
	กิ่งอำเภอป่าพยอม	0.075	0.082
	กิ่งอำเภอศรีนครินทร์	0.078	0.085
	กิ่งอำเภอศรีบรรพต	0.077	0.084
	เขาชัยสน	0.074	0.080
	ควนขนุน	0.072	0.078
	ตะโหมด	0.078	0.085
	ปากพยูน	0.072	0.077
	ป่าบอน	0.076	0.082
	เมืองพัทลุง	0.073	0.080
พิจิตร	กิ่งอำเภอดงเจริญ	0.087	0.047
	กิ่งอำเภอบึงนาราง	0.164	0.062
	กิ่งอำเภอสากเหล็ก	0.126	0.052
	ตะพานหิน	0.108	0.051
	ทับคล้อ	0.086	0.046
	บางมูลนาก	0.107	0.052
	โพทะเล	0.138	0.059
	โพธิ์ประทับช้าง	0.138	0.057
	เมืองพิจิตร	0.137	0.056
	วชิรบารมี	0.202	0.068
	วังทรายพูน	0.112	0.050
	สามง่าม	0.173	0.063
พิษณุโลก	ชาติตระการ	0.443	0.097
	นครไทย	0.317	0.071
	เนินมะปราง	0.133	0.051

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	บางกระทุ่ม	0.146	0.056
	บางระกำ	0.279	0.078
	พรหมพิราม	0.426	0.104
	เมืองพิษณุโลก	0.259	0.074
	วังทอง	0.236	0.068
	วัดโบสถ์	0.381	0.091
เพชรบุรี	แก่งกระจาน	0.272	0.109
	ชะอำ	0.188	0.081
	ท่ายาง	0.180	0.082
	บ้านลาด	0.173	0.081
	บ้านแหลม	0.183	0.084
	เมืองเพชรบุรี	0.160	0.076
	หนองหญ้าปล้อง	0.261	0.107
เพชรบูรณ์	เขาค้อ	0.172	0.049
	ชนแดน	0.080	0.042
	น้ำหนาว	0.234	0.050
	บึงสามพัน	0.059	0.039
	เมืองเพชรบูรณ์	0.122	0.042
	วังโป่ง	0.096	0.045
	วิเชียรบุรี	0.055	0.038
	ศรีเทพ	0.053	0.039
	หนองไผ่	0.066	0.039
	หล่มเก่า	0.251	0.055
	หล่มสัก	0.238	0.052
แพร่	เด่นชัย	0.783	0.193
	เมืองแพร่	0.847	0.214
	ร้องกวาง	0.636	0.146
	ลอง	0.769	0.184
	วังชิ้น	1.021	0.276
	สอง	0.628	0.143
	สูงเม่น	0.795	0.195
	หนองม่วงไข่	0.787	0.191
ภูเก็ต	กะทู้	0.207	0.131
	ถลาง	0.211	0.129
	เมืองภูเก็ต	0.199	0.129
มหาสารคาม	กันทรวิชัย	0.048	0.028
	กิ่งอำเภอกุดรัง	0.045	0.028
	กิ่งอำเภอชื่นชม	0.054	0.030

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	แกดำ	0.043	0.027
	โกสุมพิสัย	0.047	0.029
	เชียงยืน	0.051	0.029
	นาเชือก	0.042	0.027
	นาดูน	0.040	0.026
	บรบือ	0.044	0.028
	พยัคฆภูมิพิสัย	0.039	0.026
	เมืองมหาสารคาม	0.045	0.028
	ยางสีสุราช	0.040	0.027
	วาปีปทุม	0.041	0.026
มุกดาหาร	คำชะอี	0.053	0.028
	ดงหลวง	0.062	0.030
	ดอนตาล	0.046	0.026
	นิคมคำสร้อย	0.047	0.026
	เมืองมุกดาหาร	0.054	0.027
	หนองสูง	0.048	0.027
	หว้านใหญ่	0.066	0.029
แม่ฮ่องสอน	ขุนยวม	0.760	0.208
	ปางมะผ้า	0.967	0.269
	ปาย	0.940	0.268
	เมืองแม่ฮ่องสอน	0.860	0.226
	แม่ลาน้อย	0.701	0.199
	แม่สะเรียง	0.707	0.195
	สบเมย	0.729	0.200
ยโสธร	กุดชุม	0.041	0.025
	ค้อวัง	0.035	0.023
	คำเขื่อนแก้ว	0.037	0.024
	ทรายมูล	0.040	0.025
	ไทยเจริญ	0.041	0.025
	ป่าติ้ว	0.038	0.024
	มหาชนะชัย	0.036	0.024
	เมืองยโสธร	0.039	0.025
	เลิงนกทา	0.043	0.026
ยะลา	กิ่งอำเภอกรงปินัง	0.066	0.066
	กิ่งอำเภอกาบัง	0.071	0.073
	ธารโต	0.071	0.071
	บันนังสตา	0.067	0.067
	เบตง	0.079	0.077

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	เมืองยะลา	0.064	0.064
	ยะหา	0.067	0.068
	รามัน	0.063	0.062
ร้อยเอ็ด	กิ่งอำเภอเชียงขวัญ	0.043	0.027
	กิ่งอำเภอทุ่งเขาหลวง	0.041	0.026
	กิ่งอำเภอหนองฮี	0.037	0.024
	เกษตรวิสัย	0.038	0.025
	จตุรพักตรพิมาน	0.040	0.026
	จังหาร	0.044	0.027
	ธวัชบุรี	0.042	0.026
	ปทุมรัตต์	0.039	0.026
	พนมไพร	0.038	0.024
	โพธิ์ชัย	0.044	0.027
	โพนทราย	0.037	0.024
	โพนทอง	0.045	0.027
	เมยวดี	0.046	0.027
	เมืองร้อยเอ็ด	0.042	0.027
	เมืองสรวง	0.040	0.026
	ศรีสมเด็จ	0.042	0.027
	สุวรรณภูมิ	0.038	0.025
	เสลภูมิ	0.041	0.026
	หนองพอก	0.045	0.027
	อาจสามารถ	0.040	0.025
ระนอง	กระบุรี	0.098	0.089
	กะเปอร์	0.100	0.105
	เมืองระนอง	0.096	0.098
	ละอุ่น	0.092	0.092
	สุขสำราญ	0.105	0.112
ระยอง	แกลง	0.060	0.036
	เขาชะเมา	0.064	0.035
	นิคมพัฒนา	0.118	0.042
	บ้านค่าย	0.097	0.040
	บ้านฉาง	0.113	0.043
	ปลวกแดง	0.150	0.044
	เมืองระยอง	0.107	0.042
	วังจันทร์	0.079	0.037
ราชบุรี	กิ่งอำเภอบ้านคา	0.319	0.118
	จอมบึง	0.524	0.154

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	บ้านโป่ง	0.365	0.115
	โพธาราม	0.347	0.112
	สวนผึ้ง	0.436	0.138
ลพบุรี	โคกเจริญ	0.061	0.042
	โคกสำโรง	0.071	0.047
	ชัยบาดาล	0.052	0.039
	ท่าวุ้ง	0.093	0.054
	ท่าหลวง	0.052	0.039
	บ้านหมี่	0.082	0.050
	พัฒนานิคม	0.057	0.041
	เมืองลพบุรี	0.071	0.046
	ลำสนธิ	0.048	0.036
	สระโบสถ์	0.062	0.043
	หนองม่วง	0.072	0.047
ลำปาง	เกาะคา	0.740	0.184
	งาว	0.637	0.142
	แจ้ห่ม	0.702	0.160
	เถิน	0.597	0.166
	เมืองปาน	0.714	0.170
	เมืองลำปาง	0.738	0.177
	แม่ทะ	0.836	0.210
	แม่พริก	0.556	0.162
	แม่เมาะ	0.692	0.155
	วังเหนือ	0.782	0.194
	สบปราบ	0.956	0.265
	เสริมงาม	0.734	0.197
	ห้างฉัตร	0.723	0.178
ลำพูน	กิ่งอำเภอเวียงหนอง	0.808	0.245
	ทุ่งหัวช้าง	0.742	0.215
	บ้านธิ	0.784	0.209
	บ้านโฮ่ง	0.792	0.238
	ป่าซาง	0.838	0.240
	เมืองลำพูน	0.835	0.232
	แม่ทา	0.781	0.211
	ลี้	0.675	0.210
เลย	กิ่งอำเภอหนองหิน	0.221	0.049
	กิ่งอำเภอเอราวัณ	0.201	0.047
	เชียงคาน	0.288	0.067

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	ด่านซ้าย	0.315	0.069
	ท่าลี่	0.307	0.070
	นาด้วง	0.192	0.047
	นาแห้ว	0.413	0.088
	ปากชม	0.223	0.054
	ผาขาว	0.172	0.043
	ภูกระดึง	0.171	0.042
	ภูเรือ	0.306	0.067
	ภูหลวง	0.272	0.056
	เมืองเลย	0.239	0.054
	วังสะพุง	0.249	0.054
ศรีสะเกษ	กันทรลักษ์	0.030	0.020
	กันทรารมย์	0.033	0.022
	กิ่งอำเภอโพธิ์ศรี	0.035	0.023
	กิ่งอำเภอศิลาลาด	0.036	0.024
	ขุขันธ์	0.032	0.021
	ขุนหาญ	0.031	0.021
	น้ำเกลี้ยง	0.032	0.021
	โนนคูณ	0.032	0.021
	บึงบูรพ์	0.035	0.024
	เบญจลักษ์	0.031	0.020
	ปรางค์กู่	0.033	0.022
	พยุห์	0.033	0.022
	ไพรบึง	0.032	0.021
	ภูสิงห์	0.031	0.021
	เมืองจันทร์	0.035	0.023
	เมืองศรีสะเกษ	0.034	0.022
	ยางชุมน้อย	0.034	0.022
	ราษีไศล	0.035	0.023
	วังหิน	0.033	0.022
	ศรีรัตนะ	0.032	0.021
	ห้วยทับทัน	0.034	0.023
	อุทุมพรพิสัย	0.034	0.023
สกลนคร	กุดบาก	0.070	0.033
	กุสุมาลย์	0.134	0.039
	คำตากล้า	0.186	0.049
	โคกศรีสุพรรณ	0.078	0.032
	เจริญศิลป์	0.121	0.039

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	เต่างอย	0.067	0.031
	นิคมน้ำอูน	0.075	0.034
	บ้านม่วง	0.162	0.045
	พรรณานิคม	0.091	0.035
	พังโคน	0.092	0.036
	โพนนาแก้ว	0.109	0.035
	ภูพาน	0.062	0.031
	เมืองสกลนคร	0.087	0.033
	วานรนิวาส	0.126	0.040
	วาริชภูมิ	0.085	0.035
	สว่างแดนดิน	0.100	0.037
	ส่องดาว	0.099	0.037
	อากาศอำนวย	0.154	0.043
สงขลา	กระแสสินธ์	0.069	0.074
	กิ่งอำเภอคลองหอย	0.077	0.083
	กิ่งอำเภอนาหม่อม	0.072	0.076
	กิ่งอำเภอบางกล่ำ	0.074	0.079
	กิ่งอำเภอสิงหนคร	0.070	0.074
	ควนเนียง	0.073	0.079
	จะนะ	0.069	0.073
	เทพา	0.066	0.068
	นาทวี	0.072	0.076
	เมืองสงขลา	0.069	0.073
	ระโนด	0.068	0.072
	รัตภูมิ	0.077	0.083
	สทิงพระ	0.069	0.073
	สะเดา	0.079	0.084
	สะบ้าย้อย	0.069	0.071
	หาดใหญ่	0.074	0.079
สตูล	กิ่งอำเภอมะนัง	0.084	0.091
	ควนกาหลง	0.083	0.090
	ควนโดน	0.084	0.091
	ท่าแพ	0.089	0.095
	ทุ่งหว้า	0.088	0.094
	เมืองสตูล	0.087	0.093
	ละงู	0.092	0.097
สระแก้ว	กิ่งอำเภอโคกสูง	0.036	0.026
	กิ่งอำเภอวังสมบูรณ์	0.043	0.030
	เขาฉกรรจ์	0.043	0.030
	คลองหาด	0.040	0.029
	ตาพระยา	0.035	0.025
	เมืองสระแก้ว	0.042	0.030
	วังน้ำเย็น	0.042	0.030
	วัฒนานคร	0.039	0.028
	อรัญประเทศ	0.037	0.027
สระบุรี	แก่งคอย	0.060	0.042
	เฉลิมพระเกียรติ	0.069	0.045
	ดอนพุด	0.088	0.051
	บ้านหมอ	0.077	0.048
	พระพุทธบาท	0.072	0.046
	มวกเหล็ก	0.054	0.039
	วังม่วง	0.054	0.040
	เสาไห้	0.072	0.046
	หนองแซง	0.078	0.048
	หนองโดน	0.078	0.049
สิงห์บุรี	ค่ายบางระจัน	0.111	0.058
	ท่าช้าง	0.108	0.058
	บางระจัน	0.116	0.060
	พรหมบุรี	0.097	0.054
	เมืองสิงห์บุรี	0.102	0.056
	อินทร์บุรี	0.110	0.058
สุโขทัย	กงไกรลาศ	0.441	0.108
	คีรีมาศ	0.446	0.110
	ทุ่งเสลี่ยม	0.500	0.126
	บ้านด่านลานหอย	0.460	0.119
	เมืองสุโขทัย	0.458	0.116
	ศรีนคร	0.628	0.154
	ศรีสัชนาลัย	0.535	0.131
	ศรีสำโรง	0.473	0.118
	สวรรคโลก	0.512	0.126
สุพรรณบุรี	ดอนเจดีย์	0.335	0.108
	ด่านช้าง	0.472	0.136
	เดิมบางนางบวช	0.178	0.075
	บางปลาม้า	0.193	0.077
	เมืองสุพรรณบุรี	0.245	0.089
	ศรีประจันต์	0.176	0.073

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	สองพี่น้อง	0.237	0.087
	สามชุก	0.191	0.078
	หนองหญ้าไซ	0.298	0.101
	อู่ทอง	0.335	0.108
สุราษฎร์ธานี	กาญจนดิษฐ์	0.074	0.076
	กิ่งอำเภอวิภาวดี	0.090	0.093
	เกาะพะงัน	0.061	0.061
	เกาะสมุย	0.062	0.062
	คีรีรัฐนิคม	0.088	0.092
	เคียนซา	0.082	0.087
	ชัยบุรี	0.098	0.094
	ไชยา	0.078	0.080
	ดอนสัก	0.068	0.069
	ท่าฉาง	0.080	0.083
	ท่าชนะ	0.080	0.082
	บ้านตาขุน	0.095	0.096
	บ้านนาเดิม	0.079	0.083
	บ้านนาสาร	0.078	0.083
	พนม	0.101	0.098
	พระแสง	0.098	0.095
	พุนพิน	0.079	0.083
	เมืองสุราษฎร์ธานี	0.077	0.080
	เวียงสระ	0.080	0.084
สุรินทร์	กาบเชิง	0.033	0.023
	กิ่งอำเภอเขวาสินริ	0.035	0.024
	กิ่งอำเภอโนนนารายณ์	0.035	0.024
	กิ่งอำเภอพนมดงรัก	0.034	0.023
	กิ่งอำเภอศรีณรงค์	0.033	0.023
	จอมพระ	0.036	0.024
	ชุมพลบุรี	0.037	0.025
	ท่าตูม	0.036	0.024
	บัวเชด	0.032	0.022
	ปราสาท	0.034	0.024
	เมืองสุรินทร์	0.035	0.024
	รัตนบุรี	0.036	0.024
	ลำดวน	0.034	0.023
	ศีขรภูมิ	0.034	0.023
	สนม	0.036	0.024

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	สังขะ	0.033	0.022
	สำโรงทาบ	0.034	0.023
หนองคาย	กิ่งอำเภอเฝ้าไร่	0.213	0.050
	กิ่งอำเภอโพธิ์ตาก	0.233	0.052
	กิ่งอำเภอรัตนวาปี	0.230	0.053
	กิ่งอำเภอสระใคร	0.217	0.048
	เซกา	0.216	0.053
	โซ่พิสัย	0.214	0.053
	ท่าบ่อ	0.240	0.052
	บึงกาฬ	0.323	0.072
	บึงโขงหลง	0.318	0.067
	บุ่งคล้า	0.345	0.075
	ปากคาด	0.258	0.059
	พรเจริญ	0.213	0.054
	โพนพิสัย	0.246	0.053
	เมืองหนองคาย	0.221	0.049
	ศรีเชียงใหม่	0.222	0.051
	ศรีวิไล	0.273	0.064
	สังคม	0.221	0.053
หนองบัวลำภู	นากลาง	0.182	0.045
	นาวัง	0.199	0.048
	โนนสัง	0.088	0.035
	เมืองหนองบัวลำภู	0.150	0.041
	ศรีบุญเรือง	0.110	0.037
	สุวรรณคูหา	0.223	0.051
อ่างทอง	ไชโย	0.104	0.056
	ป่าโมก	0.110	0.056
	โพธิ์ทอง	0.132	0.064
	เมืองอ่างทอง	0.108	0.057
	วิเศษชัยชาญ	0.123	0.060
	สามโก้	0.139	0.065
	แสวงหา	0.119	0.060
อำนาจเจริญ	ชานุมาน	0.044	0.025
	ปทุมราชวงศา	0.038	0.024
	พนา	0.036	0.023
	เมืองอำนาจเจริญ	0.038	0.024
	ลืออำนาจ	0.037	0.023
	เสนางคนิคม	0.040	0.025

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
	หัวตะพาน	0.037	0.024
อุดรธานี	กิ่งอำเภอกู่แก้ว	0.104	0.037
	กิ่งอำเภอประจักษ์	0.141	0.040
	กุดจับ	0.213	0.048
	กุมภวาปี	0.116	0.037
	ไชยวาน	0.118	0.038
	ทุ่งฝน	0.149	0.041
	นายูง	0.236	0.055
	น้ำโสม	0.237	0.054
	โนนสะอาด	0.090	0.035
	บ้านดุง	0.206	0.049
	บ้านผือ	0.233	0.052
	พิบูลย์รักษ์	0.208	0.048
	เพ็ญ	0.288	0.058
	เมืองอุดรธานี	0.205	0.046
	วังสามหมอ	0.067	0.032
	ศรีธาตุ	0.077	0.033
	สร้างคอม	0.284	0.058
	หนองวัวซอ	0.140	0.040
	หนองแสง	0.121	0.038
	หนองหาน	0.145	0.041
อุตรดิตถ์	ตรอน	0.699	0.167
	ทองแสนขัน	0.583	0.135
	ท่าปลา	0.693	0.159
	น้ำปาด	0.550	0.119
	บ้านโคก	0.505	0.109
	พิชัย	0.632	0.154
	ฟากท่า	0.526	0.115
	เมืองอุตรดิตถ์	0.596	0.138
	ลับแล	0.576	0.135
อุทัยธานี	ทัพทัน	0.237	0.082
	บ้านไร่	0.279	0.093
	เมืองอุทัยธานี	0.155	0.066
	ลานสัก	0.305	0.094
	สว่างอารมณ์	0.201	0.073
	หนองขาหย่าง	0.179	0.072
	หนองฉาง	0.269	0.089
	ห้วยคต	0.351	0.104

จังหวัด	อำเภอ	ความเร่งตอบสนอง (g)	
		S_s	S_1
อุบลราชธานี	กิ่งอำเภอนาตาล	0.037	0.023
	กิ่งอำเภอนาเยีย	0.031	0.020
	กิ่งอำเภอน้ำขุ่น	0.029	0.019
	กิ่งอำเภอสว่างวีระวงศ์	0.032	0.021
	กิ่งอำเภอเหล่าเสือโก้ก	0.034	0.022
	กุดข้าวปุ้น	0.037	0.023
	เขมราฐ	0.039	0.024
	เขื่องใน	0.035	0.023
	โขงเจียม	0.032	0.020
	ดอนมดแดง	0.034	0.022
	เดชอุดม	0.031	0.020
	ตระการพืชผล	0.035	0.022
	ตาลสุม	0.033	0.021
	ทุ่งศรีอุดม	0.030	0.020
	นาจะหลวย	0.028	0.018
	น้ำยืน	0.029	0.019
	บุณฑริก	0.029	0.019
	พิบูลมังสาหาร	0.031	0.020
	โพธิ์ไทร	0.036	0.023
	ม่วงสามสิบ	0.035	0.023
	เมืองอุบลราชธานี	0.033	0.021
	วารินชำราบ	0.033	0.021
	ศรีเมืองใหม่	0.034	0.021
	สำโรง	0.032	0.021
	สิรินธร	0.031	0.020

1.4.2 ประเภทของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร

สภาพของชั้นดิน ณ บริเวณที่ตั้งของอาคาร สามารถเปลี่ยนแปลงระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้ ดังนั้นการนำค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมในตารางที่ 1.4-1 มาใช้ในการออกแบบ จึงจำเป็นต้องปรับแก้ค่าให้เหมาะสมกับสภาพดิน ณ บริเวณที่ตั้งของอาคารนั้นๆ

ประเภทของชั้นดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภท คือ A (หินแข็ง) B (หิน) C (ดินแข็ง) D (ดินปกติ) E (ดินอ่อน) หรือ F (ดินที่มีลักษณะพิเศษ) โดยเกณฑ์การจัดแบ่งประเภทของชั้นดินแสดงไว้ในภาคผนวก ก

ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลดิน และไม่สามารถทำการสำรวจดินได้ ให้สมมุติว่าประเภทของชั้นดินเป็นแบบประเภท D

1.4.3 การปรับแก้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา ณ บริเวณที่ตั้งของอาคาร สามารถปรับแก้ค่าให้เหมาะสมกับประเภทของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร ได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

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

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

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

ค่าสัมประสิทธิ์ F_a และ F_v แสดงไว้ในตารางที่ 1.4-2 และ 1.4-3 ตามลำดับ

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				

1.4.4 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ

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

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

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

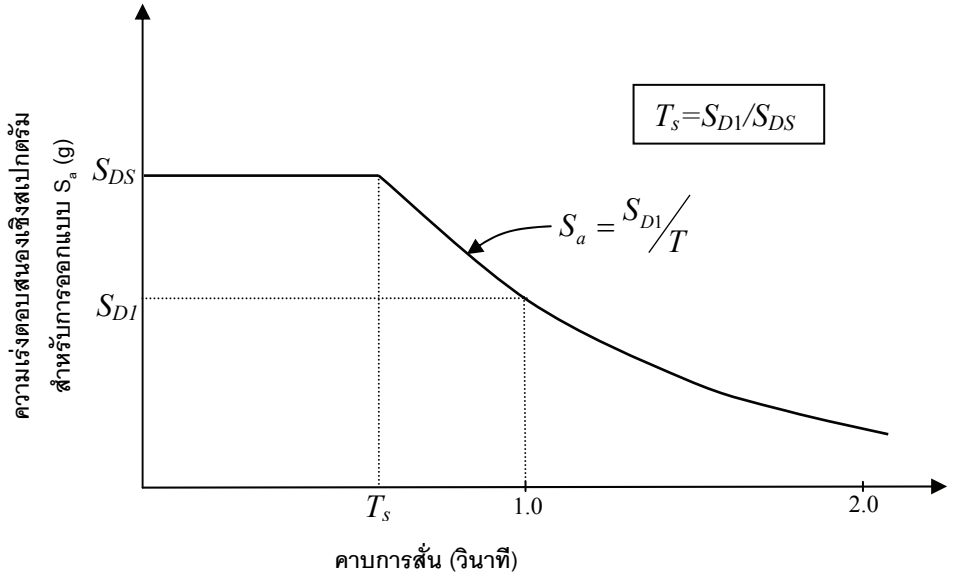
1.4.5 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบ

ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ S_a (ในหน่วยความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก, g) ขึ้นกับวิธีการออกแบบว่าใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่าหรือวิธีเชิงพลศาสตร์ และขึ้นกับตำแหน่ง ณ ที่ตั้งของอาคาร ดังนี้

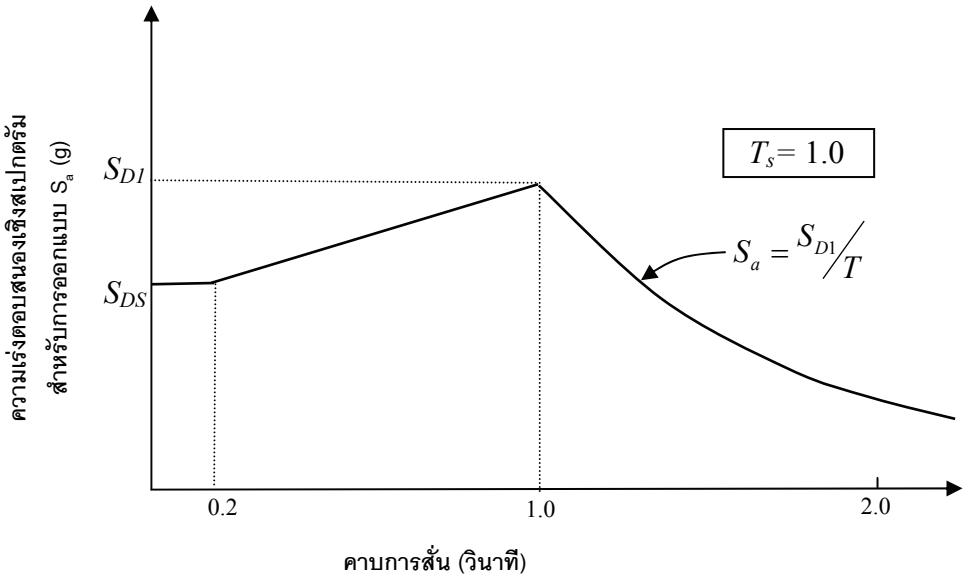
1.4.5.1 พื้นที่ทั่วประเทศไทยยกเว้นแอ่งกรุงเทพ

ก) ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ สำหรับวิธีแรงสถิตเทียบเท่าตามบทที่ 3 ให้ใช้ตามรูปที่ 1.4-1 สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} \le S_{DS}$ และให้ใช้ตามรูปที่ 1.4-2 สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$ โดยที่ S_{DS} และ S_{D1} คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบตามหัวข้อ 1.4.4

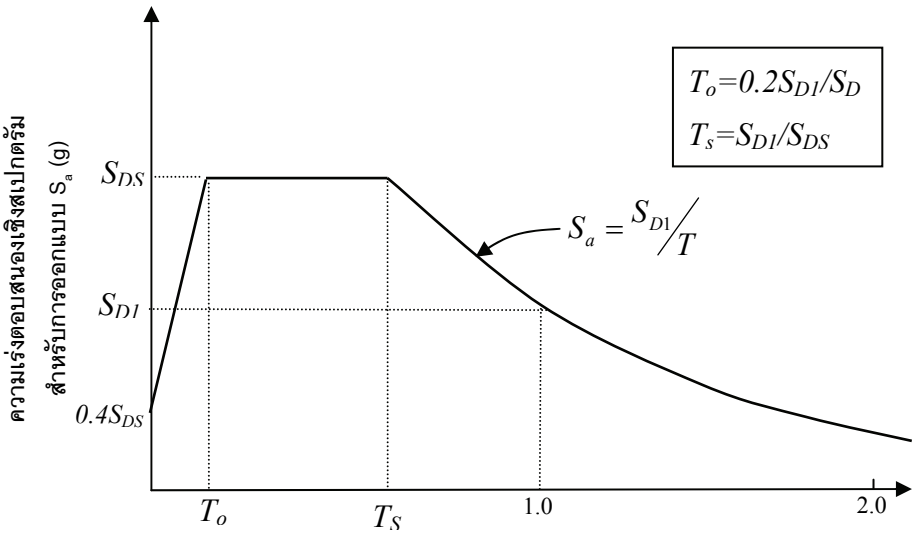
ข) ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ตามบทที่ 4 ให้ใช้ตามรูปที่ 1.4-3 สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} \le S_{DS}$ และให้ใช้ตามรูปที่ 1.4-4 สำหรับพื้นที่ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$ โดยที่ S_{DS} และ S_{D1} คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบตามหัวข้อ 1.4.4



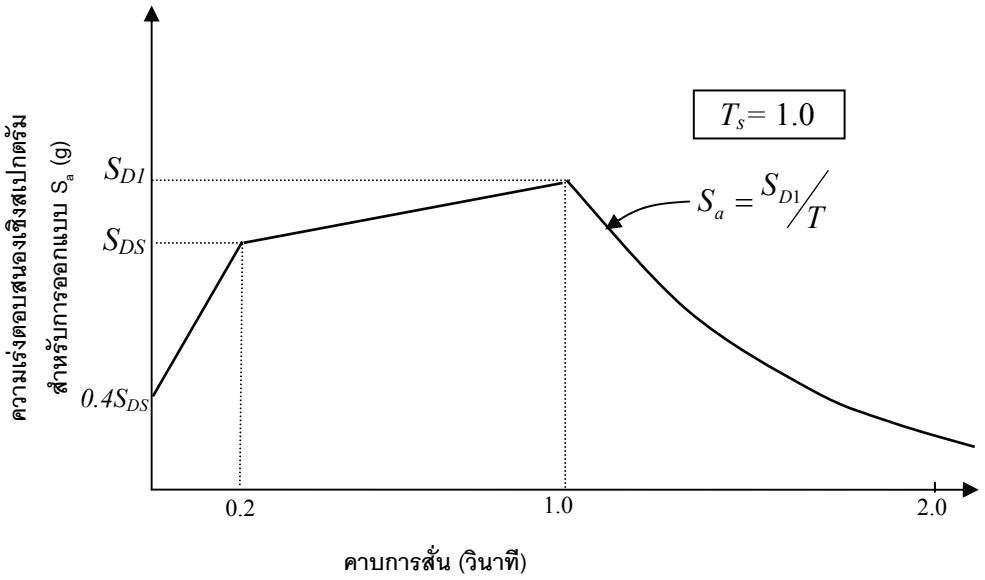
รูปที่ 1.4-1 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศไทย (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} \le S_{DS}$



รูปที่ 1.4-2 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าสำหรับ สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศไทย (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$



รูปที่ 1.4-3 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศไทย (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} \le S_{DS}$



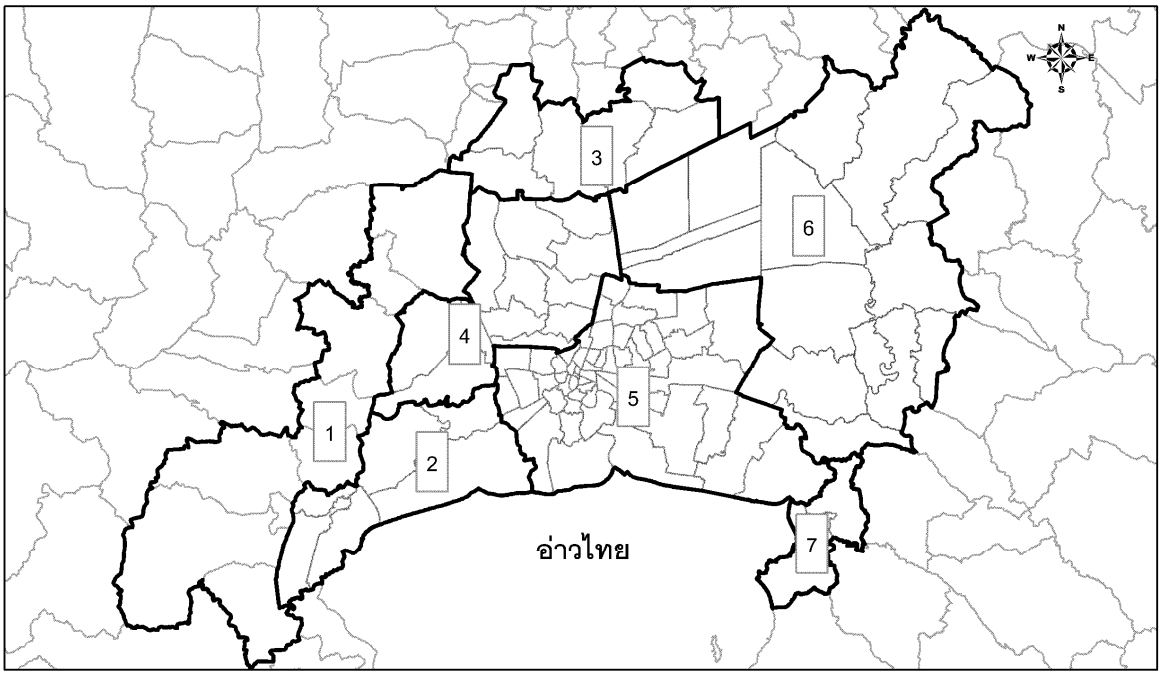
รูปที่ 1.4-4 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศไทย (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพ) ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$

1.4.5.2 พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ

พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพครอบคลุมกรุงเทพมหานครและจังหวัดปริมลฑลหลายจังหวัด พื้นที่นี้ได้ถูกแบ่งย่อยเป็น 7 โซน ดังรูปที่ 1.4-5 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ในพื้นที่ 7 โซนนี้ขึ้นกับวิธีการออกแบบ ดังนี้

(ก) สำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าตามบทที่ 3 ให้ใช้ตามสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบที่กำหนดในรูปที่ 1.4-6 หรือใช้ตามค่าที่แสดงในตารางที่ 1.4-4

(ข) สำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ตามบทที่ 4 ให้ใช้ตามสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบที่กำหนดในรูปที่ 1.4-7 หรือใช้ตามค่าที่แสดงในตารางที่ 1.4-5



แผนที่แสดงการแบ่งโซนพื้นที่แอ่งกรุงเทพเพื่อการออกแบบ อาคารต้านทานแผ่นดินไหว

โซน 1

จังหวัดเพชรบุรี

- อ.เขาย้อย

จังหวัดนครปฐม

- อ.ดอนตูม
- อ.บางเลน
- อ.เมืองนครปฐม

จังหวัดราชบุรี

- อ.ดำเนินสะดวก
- อ.บางแพ
- อ.ปากท่อ
- อ.วัดเพลง
- อ.เมืองราชบุรี

โซน 2

จังหวัดนครปฐม

- อ.นครชัยศรี
- อ.พุทธมณฑล
- อ.สามพราน

จังหวัดสมุทรสงคราม

- อ.บางคนที
- อ.อัมพวา
- อ.เมืองสมุทรสงคราม

จังหวัดสมุทรสาคร

- อ.กระทุ่มแบน
- อ.บ้านแพ้ว
- อ.เมืองสมุทรสาคร

โซน 3

จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

- อ.บางปะอิน
- อ.บางไทร
- อ.ลาดบัวหลวง
- อ.วังน้อย
- อ.อุทัย
- อ.เสนา

โซน 4

จังหวัดนครปฐม

- อ.นครชัยศรี
- อ.พุทธมณฑล
- อ.สามพราน

จังหวัดนนทบุรี

- อ.บางกรวย
- อ.บางบัวทอง
- อ.บางใหญ่
- อ.ปากเกร็ด
- อ.เมืองนนทบุรี
- อ.ไทรน้อย

จังหวัดปทุมธานี

- อ.ลาดหลุมแก้ว
- อ.สามโคก
- อ.เมืองปทุมธานี

โซน 5

กรุงเทพมหานคร

- เขตคลองสาน
- เขตคลองสามวา
- เขตคลองเตย
- เขตคันนายาว
- เขตจตุจักร
- เขตจอมทอง
- เขตดอนเมือง
- เขตดินแดง
- เขตดุสิต
- เขตตลิ่งชัน
- เขตทวีวัฒนา
- เขตทุ่งครุ
- เขตธนบุรี
- เขตบางกอกน้อย
- เขตบางกอกใหญ่
- เขตบางกะปิ
- เขตบางขุนเทียน
- เขตบางคอแหลม
- เขตบางซื่อ
- เขตบางนา
- เขตบางบอน
- เขตบางพลัด
- เขตบางรัก
- เขตบางเขน
- เขตบางแค
- เขตบึงกุ่ม
- เขตปทุมวัน
- เขตประเวศ
- เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย
- เขตพญาไท
- เขตพระนคร
- เขตภาษีเจริญ
- เขตมีนบุรี
- เขตยานนาวา
- เขตราชเทวี
- เขตราษฎร์บูรณะ
- เขตลาดกระบัง
- เขตลาดพร้าว
- เขตวังทองหลาง
- เขตวัฒนา
- เขตสวนหลวง
- เขตสะพานสูง
- เขตสัมพันธวงศ์
- เขตสาธร
- เขตสายไหม
- เขตหนองจอก
- เขตหนองแขม
- เขตหลักสี่
- เขตห้วยขวาง

จังหวัดฉะเชิงเทรา

- อ.บางปะกง

จังหวัดสมุทรปราการ

- กิ่งอ.บางเสาธง
- อ.บางบ่อ
- อ.บางพลี
- อ.พระประแดง
- อ.พระสมุทรเจดีย์
- อ.เมืองสมุทรปราการ

โซน 6

จังหวัดฉะเชิงเทรา

- กิ่งอ.คลองเขื่อน
- อ.บางคล้า
- อ.บางน้ำเปรี้ยว
- อ.บ้านโพธิ์
- อ.ราชสาส์น
- อ.เมืองฉะเชิงเทรา

จังหวัดนครนายก

- อ.บ้านนา
- อ.ปากพลี
- อ.องครักษ์
- อ.เมืองนครนายก

จังหวัดปทุมธานี

- อ.คลองหลวง
- อ.ธัญบุรี
- อ.ลำลูกกา
- อ.หนองเสือ

จังหวัดปราจีนบุรี

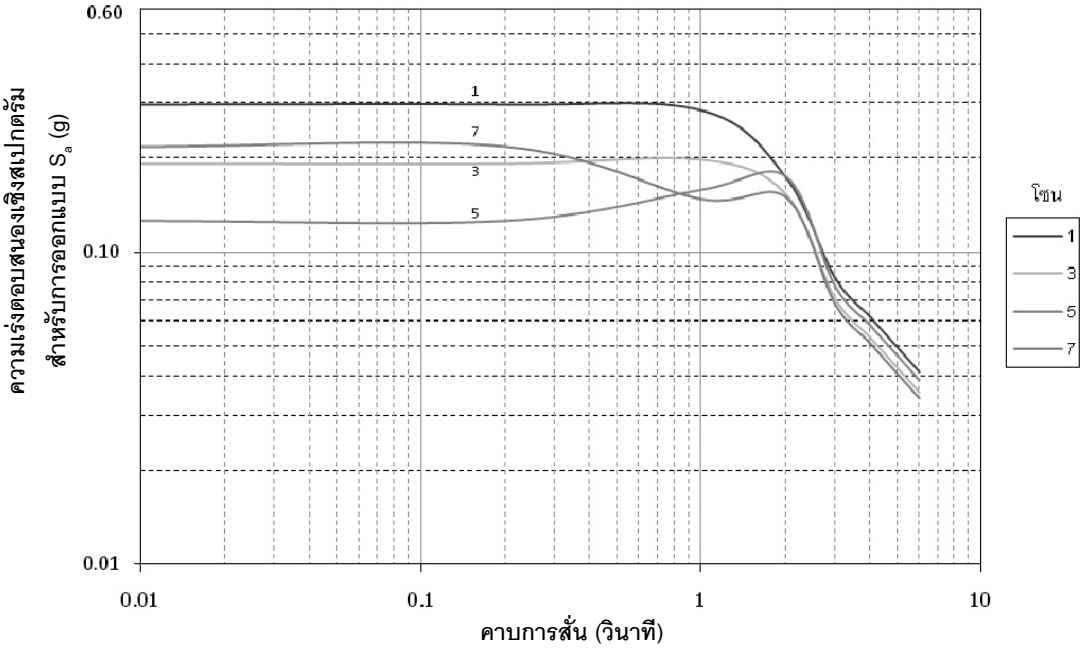
- อ.บ้านสร้าง

โซน 7

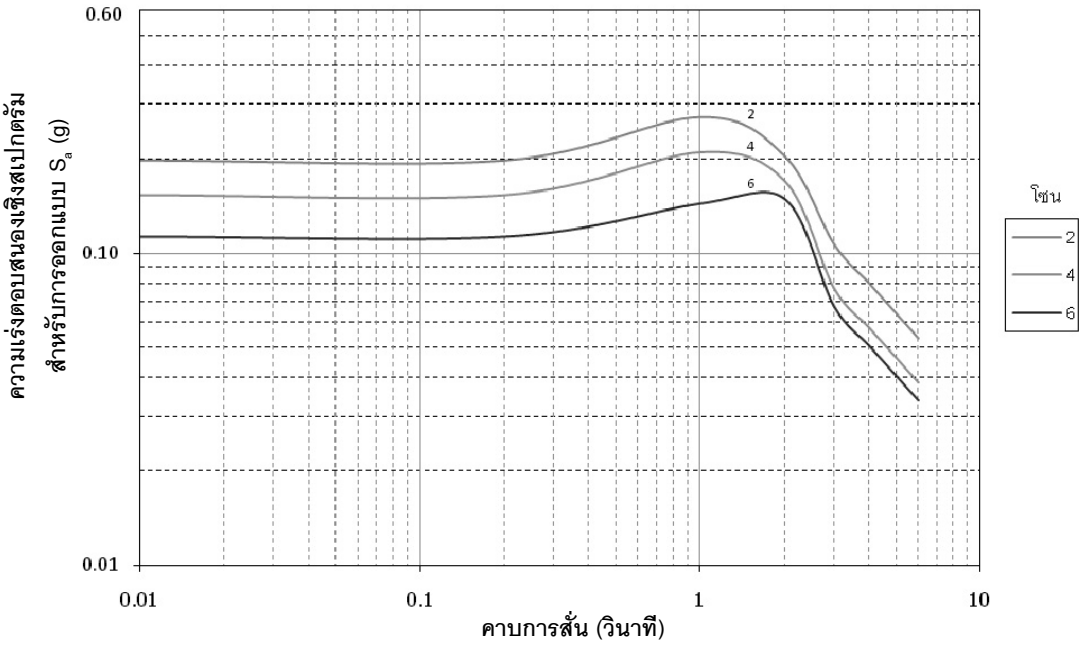
จังหวัดชลบุรี

- อ.พานทอง
- อ.เมืองชลบุรี

รูปที่ 1.4-5 การแบ่งโซนพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพเพื่อการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

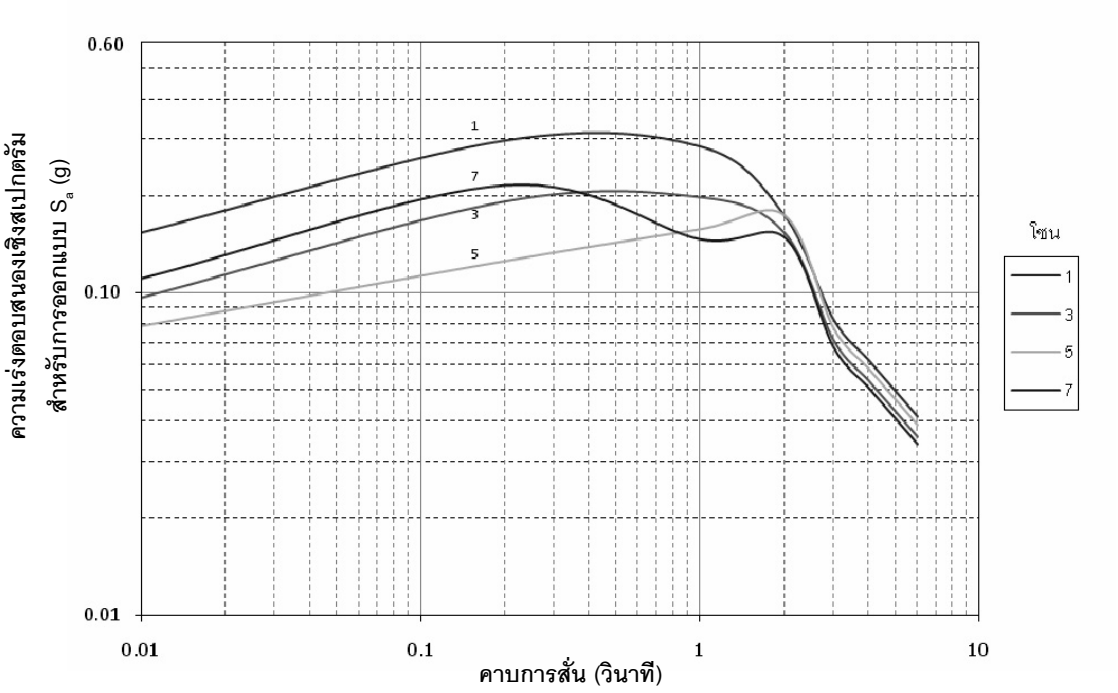


(**ก**) สำหรับโซน 1, 3, 5 และ 7

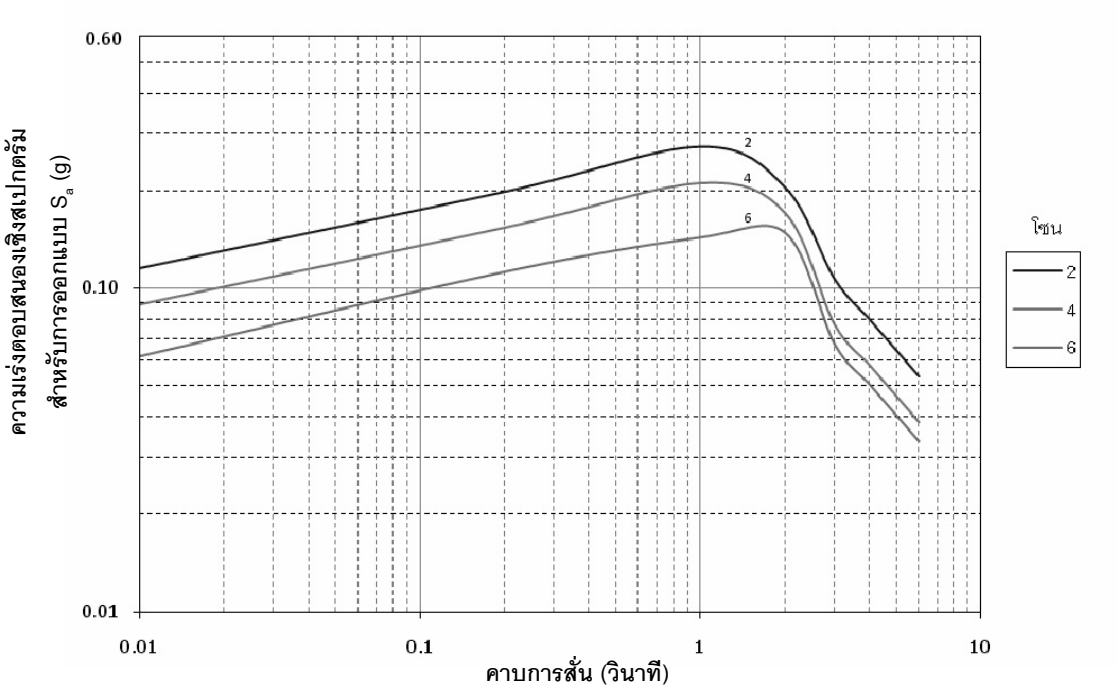


(**ข**) สำหรับโซน 2, 4 และ 6

รูปที่ 1.4-6 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าสำหรับโซนต่างๆ ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ



(ก) สำหรับโซน 1, 3, 5 และ 7



(ข) สำหรับโซน 2, 4 และ 6

รูปที่ 1.4-7 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์สำหรับโซนต่างๆ ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ

ตารางที่ 1.4-4 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่ในโซนต่างๆ ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ (หน่วยเป็น g)

โซน	S_a (0.1 s)	S_a (0.2 s)	S_a (1 s)	S_a (2 s)	S_a (3 s)	S_a (4 s)	S_a (5 s)	S_a (6 s)
1	0.297	0.297	0.284	0.174	0.083	0.062	0.050	0.041
2	0.199	0.199	0.274	0.205	0.107	0.080	0.064	0.054
3	0.192	0.192	0.198	0.154	0.071	0.053	0.043	0.036
4	0.154	0.154	0.211	0.170	0.077	0.058	0.046	0.039
5	0.126	0.126	0.158	0.174	0.078	0.058	0.047	0.039
6	0.113	0.113	0.144	0.149	0.067	0.050	0.040	0.034
7	0.217	0.217	0.147	0.149	0.068	0.051	0.041	0.034

ตารางที่ 1.4-5 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีพลศาสตร์สำหรับพื้นที่ในโซนต่างๆ ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ (หน่วยเป็น g)

โซน	S_a (0.1 s)	S_a (0.2 s)	S_a (1 s)	S_a (2 s)	S_a (3 s)	S_a (4 s)	S_a (5 s)	S_a (6 s)
1	0.154	0.297	0.284	0.174	0.083	0.062	0.050	0.041
2	0.116	0.199	0.274	0.205	0.107	0.080	0.064	0.054
3	0.097	0.192	0.198	0.154	0.071	0.053	0.043	0.036
4	0.089	0.154	0.211	0.170	0.077	0.058	0.046	0.039
5	0.079	0.126	0.158	0.174	0.078	0.058	0.047	0.039
6	0.062	0.113	0.144	0.149	0.067	0.050	0.040	0.034
7	0.111	0.217	0.147	0.149	0.068	0.051	0.041	0.034

1.5 ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร

อาคารได้ถูกจำแนกตามลักษณะการใช้งานและความสำคัญของอาคารที่มีต่อสาธารณชนและการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุออกเป็น 4 ประเภท (Occupancy Category) คือ ประเภท I, II, III, และ IV โดยอาคารแต่ละประเภทมีค่าตัวประกอบความสำคัญ (Importance Factor) เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1.5-1

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

1.6 ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว

มาตรฐานนี้ได้กำหนดให้มีการแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวออกเป็น 4 ประเภท คือ ประเภท ก ข ค และ ง โดยเริ่มจากระดับที่ไม่จำเป็นต้องออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว (ประเภท ก) ไปจนถึง ระดับที่ต้องออกแบบอย่างเข้มงวดที่สุด (ประเภท ง) การกำหนดประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวจะพิจารณาจากประเภทความสำคัญของอาคาร (ตารางที่ 1.5-1) และความ

รุนแรงของแผ่นดินไหว ณ ที่ตั้งอาคาร ซึ่งแสดงโดยค่า S_{DS} และ S_{D1} (หัวข้อที่ 1.4.4) โดยใช้เกณฑ์ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1.6-1 และ 1.6-2

สำหรับพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ ค่า S_{DS} และ S_{D1} มีค่าเท่ากับความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ (S_a) ที่คาบการสั่น 0.2 วินาที และ 1.0 วินาที ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1.4-7

ในกรณีที่ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวที่กำหนดตามเกณฑ์ในตารางที่ 1.6-1 แตกต่างจากที่กำหนดตามเกณฑ์ในตารางที่ 1.6-2 ให้ยึดถือประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวที่รุนแรงกว่า ในกรณีที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T) ในทั้งสองทิศทางที่ตั้งฉากกันที่คำนวณโดยใช้สมการที่ 3.3-1 หรือ 3.3-2 มีค่าน้อยกว่า $0.8T_s$ วินาทีโดยที่ T_s มีค่าเป็นไปตามที่กำหนดในหัวข้อที่ 1.4.5 อนุญาตให้กำหนดประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยใช้เฉพาะเกณฑ์ในตารางที่ 1.6-1 เท่านั้น

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

บทที่ 2

ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว

2.1 ทั่วไป

ในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว โครงสร้างอาคารจะต้องประกอบด้วยระบบต้านแรงด้านข้าง (Lateral Load Resisting System) และระบบรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง(Gravity Load Resisting System) ที่มีกำลังต้านทาน สติฟเนส และ ความสามารถในการสลายพลังงานในระดับที่สูงเพียงพอ ที่จะทำให้อาคารนั้นสามารถต้านทานแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ (Design Earthquake) ได้

ในการออกแบบอาคารจะต้องสมมุติว่าแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ สามารถเกิดขึ้นได้ในทุกทิศทางตามแนวราบ วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องตรวจสอบว่า แรงที่เกิดในองค์อาคารต่างๆ และการเสียรูปที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างที่เหมาะสม การกระจายแรงแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบไปยังชั้นต่างๆ ของอาคาร จะต้องเป็นไปตามวิธีที่กำหนดไว้ใน หัวข้อ 3.4 หรือวิธีการอื่นๆที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าให้ผลเทียบเท่า

2.2 ข้อกำหนดพื้นฐานของการออกแบบโครงสร้าง

2.2.1 การออกแบบองค์อาคาร และจุดต่อ

องค์อาคารต่างๆ รวมถึงองค์อาคารที่ไม่ใช่ส่วนประกอบของระบบต้านแรงด้านข้าง จะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทาน แรงเฉือน แรงตามแนวแกน และโมเมนต์ดัดที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ ตามที่คำนวณได้จากวิธีที่กำหนดในมาตรฐานฉบับนี้

จุดต่อต่างๆ ในโครงสร้างจะต้องมีกำลังสูงเพียงพอที่จะต้านทานแรง และ โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในองค์อาคารที่เชื่อมต่อ

การเสียรูปของโครงสร้างที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ จะต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่ยอมให้ (หัวข้อ 2.11)

2.2.2 ความต่อเนื่องของเส้นทางการถ่ายแรงและจุดต่อภายใน

ระบบโครงสร้างของอาคารจะต้องได้รับการออกแบบให้มีความต่อเนื่องของเส้นทางการถ่ายแรง (Continuous Load Path) เพื่อให้แรงกระทำที่เกิดจากแผ่นดินไหวถูกส่งถ่ายจากตำแหน่งที่แรงกระทำไปยังโครงสร้างที่ต้านทานแรงนั้นๆ โดยที่องค์อาคารต่างๆ ที่แรงถูกส่งผ่านจะต้องมีกำลัง และสติฟเนสเพียงพอต่อการถ่ายแรง

2.2.3 จุดต่อบริเวณจุดรองรับ

สำหรับส่วนของโครงสร้าง เช่น คานรอง หรือ ตงถัก ที่ส่งถ่ายแรงต่อไปยังองค์อาคารอื่นๆ หรือที่ติดกับแผ่นพื้นที่ทำหน้าที่เป็นไดอะแฟรม (Diaphragm) จะต้องออกแบบจุดต่อหรือจุดรองรับของส่วนของโครงสร้างที่พิจารณา ให้สามารถรับแรงในแนวราบที่เกิดขึ้น ในกรณีที่ส่วนของโครงสร้างที่พิจารณาติดกับแผ่นพื้นที่ทำหน้าที่เป็นไดอะแฟรมโดยตรง ส่วนของโครงสร้างที่พิจารณาจะต้องออกแบบรับแรงในแนวระนาบ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับในแนวดิ่งจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร

2.2.4 การออกแบบโครงสร้างฐานราก

ฐานรากจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงที่ถ่ายลงมาจากโครงสร้างส่วนบนที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ การออกแบบฐานรากจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ (หัวข้อ 2.12)

2.2.5 ข้อกำหนดของการออกแบบวัสดุและการให้รายละเอียด

องค์อาคารรวมถึงฐานรากจะต้องได้รับการออกแบบให้มีรายละเอียดโครงสร้าง เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานฉบับนี้ (บทที่ 5)

2.3 การเลือกระบบโครงสร้าง

2.3.1 การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัด

ระบบต้านแรงด้านข้างและระบบรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งของโครงสร้างอาคารอาจเป็นระบบใดระบบหนึ่งที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.3-1 หรือเป็นระบบผสมที่ได้จากการรวมระบบโครงสร้างหลายแบบตามข้อ 2.3.2 ข้อ 2.3.3 หรือ ข้อ 2.3.4 ระบบโครงสร้างที่สามารถเลือกใช้ได้จะขึ้นกับ ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 2.3-1

ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_0) และตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว(Deflection Amplification Factor, C_d) ของระบบโครงสร้างแต่ละแบบ ให้เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 2.3-1 ค่าตัวประกอบเหล่านี้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) แรงในองค์อาคารเพื่อการออกแบบ (Element Design Force) และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้น (Story Drift) ดังรายละเอียดที่แสดงในบทที่ 3 และ 4

ระบบโครงสร้างที่เลือกใช้ จะต้องได้รับการออกแบบและกำหนดรายละเอียดของโครงสร้าง (Detailing) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานอ้างอิงที่เกี่ยวข้องและข้อกำหนดเพิ่มเติมตามที่ระบุในมาตรฐานฉบับนี้ (บทที่ 5)

ในกรณีที่วิศวกรผู้ออกแบบต้องการเลือกใช้ระบบโครงสร้างแบบอื่นที่มิได้มีระบุไว้ในตารางที่ 2.3-1 จะต้องดำเนินการพิสูจน์ด้วยการวิเคราะห์โครงสร้าง และ/หรือ การทดสอบตัวอย่างโครงสร้างในห้องปฏิบัติการ เพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบโครงสร้างนั้นๆ มีพฤติกรรมเชิงพลศาสตร์ ความสามารถในการต้านทานแรงทางด้านข้าง และความสามารถในการสลายพลังงาน เทียบเท่าระบบโครงสร้างแบบใดแบบหนึ่งในตารางที่ 2.3-1 ที่มีค่าตัวประกอบ R Ω_0 และ C_d เท่าเทียมกันกับระบบที่เลือกใช้

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	√	√	X
	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	√	√	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	4	2.5	4	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall)	5	2.5	4.5	√	√	X

<u>หมายเหตุ</u> √ = **ใช้ได้** x = **ห้ามใช้**

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

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
3. ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียว(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	√	√	X
	โครงต้านแรงดัดเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3	√	√	X
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียว (Ductile/Special Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวจำกัด (Ductile RC Moment-Resisting Frame with Limited Ductility/ Intermediate RC Moment-Resisting Frame)	5	3	4.5	√	√	X
	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	√	√	X

<u>หมายเหตุ</u> √ = **ใช้ได้** x = **ห้ามใช้**

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

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_o	C_d	ข	ค	ง
5. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 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	√	√	X
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

<u>หมายเหตุ</u> √ = **ใช้ได้** x = **ห้ามใช้**

2.3.2 การใช้ระบบโครงสร้างที่แตกต่างกันสำหรับการรับแรงในทิศทางที่แยกจากกัน

วิศวกรผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ระบบต้านแรงด้านข้างที่แตกต่างกัน เพื่อต้านแรงจากแผ่นดินไหวในสองทิศทางหลักของอาคารที่ตั้งฉากกัน ในกรณีนี้การออกแบบระบบโครงสร้างในแต่ละทิศทาง จะต้องใช้ค่าตัวประกอบ R Ω_0 และ C_d ของระบบโครงสร้างในทิศทางนั้นๆ

2.3.3 การใช้ระบบโครงสร้างหลายแบบในการต้านแรงในทิศทางเดียวกัน

วิศวกรผู้ออกแบบสามารถนำระบบโครงสร้างต้านแรงทางด้านข้างหลายแบบมาร่วมกันต้านแรงจากแผ่นดินไหวในทิศทางหนึ่งๆ ในกรณีนี้จะต้องนำข้อกำหนดในการออกแบบโครงสร้างที่เข้มงวดที่สุดมาใช้ในการออกแบบระบบโครงสร้างทุกๆ แบบที่ร่วมต้านทานแรงแผ่นดินไหว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.3.1 กรณีที่มีการเปลี่ยนระบบโครงสร้างตามความสูง

ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง R สำหรับการออกแบบในแต่ละชั้นต้องมีค่าไม่มากกว่า ค่าต่ำสุดของค่า R ของชั้นที่อยู่เหนือกว่า

ค่าตัวประกอบ Ω_0 และ C_d สำหรับการออกแบบในแต่ละชั้น จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า ค่าสูงสุดของค่า Ω_0 และ C_d ของชั้นที่อยู่เหนือกว่า

ข้อกำหนดดังกล่าวไม่ต้องนำไปใช้กับกรณีต่อไปนี้

(1) โครงสร้างบนชั้นหลังคา (Rooftop) ที่มีความสูงไม่เกิน 2 ชั้น และมีน้ำหนักไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักอาคารทั้งหมด

(2) ระบบโครงสร้างรองที่แบกรับน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่าร้อยละ10 ของน้ำหนักอาคารทั้งหมด

วิศวกรผู้ออกแบบสามารถใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่าแบบสองขั้นตอน (Two-Stage Equivalent Lateral Force Procedure) ในการออกแบบอาคารที่มีโครงสร้างส่วนบนที่มีความอ่อนตัว ที่ตั้งอยู่บนโครงสร้างส่วนล่างที่มีความแข็ง (Rigid) สูงโดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

(1) ค่าสติฟเนส (Stiffness) ของโครงสร้างส่วนล่าง จะต้องมีมากกว่า 10 เท่าของค่าสติฟเนสของโครงสร้างส่วนบน

(2) คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างทั้งหมดต้องมีค่าไม่เกิน 1.1 เท่าของคาบการสั่นพื้นฐานของส่วนโครงสร้างด้านบน เมื่อสมมุติให้โครงสร้างส่วนบนแยกออกจากส่วนล่างและย้ายไปตั้งบนฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed)

(3) โครงสร้างส่วนบนจะต้องได้รับการออกแบบเสมือนเป็นโครงสร้างที่แยกออกจากส่วนล่าง และย้ายไปตั้งบนฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) โดยมีการใช้ค่าตัวประกอบ R ที่เหมาะสม

(4) โครงสร้างส่วนล่างจะต้องได้รับการออกแบบเสมือนเป็นโครงสร้างที่แยกจากโครงสร้างส่วนบนโดยใช้ค่าตัวประกอบ R ที่เหมาะสม ค่าแรงปฏิกิริยาที่ถ่ายมาจากโครงสร้างส่วนบนลงสู่ส่วนล่าง จะมีค่าเท่ากับแรงเฉือนที่ฐานอาคารส่วนบนที่คำนวณได้ในข้อ (3) คูณด้วยค่า R ของโครงสร้างส่วนบนและหารด้วยค่า R ของโครงสร้างส่วนล่าง

2.3.3.2 ค่า R Ω_0 และ C_d ในกรณีที่มีการใช้ระบบโครงสร้างที่แยกจากกันมากกว่าหนึ่งระบบ

ในกรณีที่อาคารได้ถูกออกแบบให้มีระบบต้านแรงด้านข้างหลายแบบร่วมต้านทานแรงแผ่นดินไหวในทิศทางหนึ่งๆ ค่าตัวประกอบ R สำหรับการออกแบบโครงสร้างที่ต้านทานแรงในทิศทางนั้นทั้งหมด จะต้องมีค่าไม่มากกว่า ค่าต่ำสุดของค่า R ของระบบต้านทานแรงด้านข้างทุกแบบในทิศทางนั้น ค่าตัวประกอบ Ω_0 และ C_d สำหรับการออกแบบโครงสร้างที่ต้านทานแรงในทิศทางนั้นทั้งหมดจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าสูงสุดของ Ω_0 และ C_d ของระบบต้านทานแรงด้านข้างทุกแบบในทิศทางนั้น

2.3.4 การให้รายละเอียดโครงสร้างสำหรับองค์อาคารที่อยู่ร่วมกันระหว่างระบบต้านแรงด้านข้างมากกว่าหนึ่งระบบ

ในการออกแบบส่วนองค์อาคารที่ใช้ร่วมกันระหว่างระบบต้านทานแรงด้านข้างมากกว่าหนึ่งระบบ ให้ใช้รายละเอียดและข้อกำหนดสำหรับการออกแบบของระบบต้านแรงด้านข้างที่มีค่าตัวประกอบ R สูงสุดของระบบต้านแรงด้านข้างทั้งหมด

2.3.5 ระบบโครงสร้างแบบผสม

ระบบโครงสร้างแบบผสม (Dual System) ซึ่งประกอบด้วยโครงต้านแรงดัด ทำงานร่วมกับระบบต้านแรงด้านข้างแบบอื่น เช่น กำแพงรับแรงเฉือน จะต้องได้รับการออกแบบให้โครงต้านแรงดัดสามารถต้านทานแรงด้านข้างได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงทั้งหมดที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ โดยแรงที่ถ่ายลงสู่โครงต้านแรงดัด และ กำแพงรับแรงเฉือน (หรือโครงสร้างแบบอื่น) จะเป็นไปตามสัดส่วนของค่าสติฟเนสของโครงสร้างแต่ละระบบ

2.4 ความอ่อนของไดอะแฟรมและความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้าง

2.4.1 ความอ่อนของไดอะแฟรม

ไดอะแฟรมสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ ไดอะแฟรมแข็ง ไดอะแฟรมกึ่งแข็ง และไดอะแฟรมอ่อน การวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวจะต้องคำนึงถึงสติฟเนสสัมพัทธ์ระหว่าง

ไดอะแฟรมกับโครงสร้างในแนวดิ่งซึ่งทำหน้าที่ต้านแรงด้านข้างที่ถ่ายผ่านไดอะแฟรมนั้น โดยเฉพาะในกรณีของไดอะแฟรมกึ่งแข็ง แบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์โครงสร้างจะต้องสามารถจำลองสติฟเนสของไดอะแฟรมได้

2.4.1.1 ไดอะแฟรมอ่อน

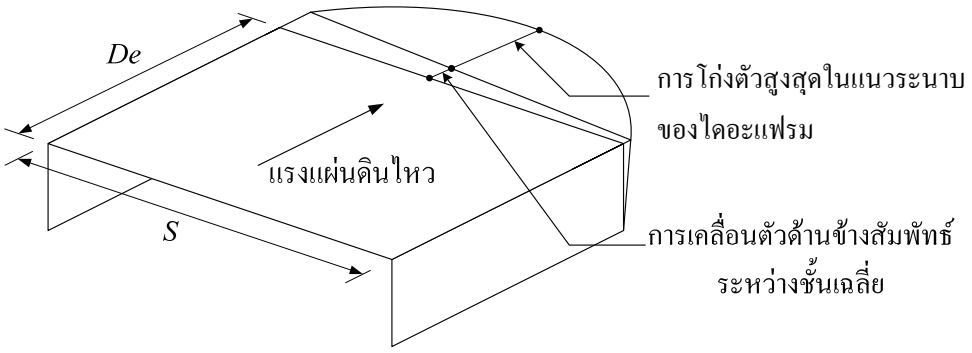
ในกรณีที่ไดอะแฟรมเป็นแผ่นพื้นเหล็กที่ไม่เทคอนกรีตทับหน้า (Untopped Steel Decking) หรือเป็นแผ่นพื้นไม้ ต่อเชื่อมกับกำแพงรับแรงเฉือนที่สร้างด้วย วัสดุคอนกรีต อิฐก่อ เหล็ก หรือ เหล็กประกอบคอนกรีต (Composite) หรือต่อเชื่อมกับโครงแกงแนงที่สร้างจากวัสดุคอนกรีต เหล็ก หรือ เหล็กประกอบคอนกรีต ให้ถือได้ว่าไดอะแฟรมนั้นเป็นไดอะแฟรมอ่อน ไดอะแฟรมลักษณะเดียวกันนี้ในอาคารที่พักอาศัยขนาดเล็กสูง 1-2 ชั้นที่มีโครงสร้างเป็นระบบโครงอาคาร ก็ถือได้ว่าเป็นไดอะแฟรมอ่อนเช่นกัน

2.4.1.2 ไดอะแฟรมแข็ง

แผ่นพื้นคอนกรีต หรือแผ่นเหล็กที่เทคอนกรีตทับหน้า (Concrete Filled Metal Deck) ที่มีอัตราส่วนความยาว (S) ต่อความลึก (D_e) ในแนวแรงดังแสดงในรูปที่ 2.4-1 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 ในอาคารที่มีความสม่ำเสมอของรูปทรงในแนวระนาบ ถือได้ว่าเป็นไดอะแฟรมแข็ง

2.4.1.3 การตรวจสอบความอ่อนของไดอะแฟรม

ไดอะแฟรมที่ไม่เข้าข่ายไดอะแฟรมอ่อนตามหัวข้อที่ 2.4.1.1 หรือ ไดอะแฟรมแข็ง ตามหัวข้อที่ 2.4.1.2 จะถือได้ว่าเป็นไดอะแฟรมอ่อน หากค่าสูงสุดของการโก่งตัวในแนวระนาบของไดอะแฟรมที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่า มีค่ามากกว่า 2 เท่าของค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนตัวด้านข้างสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) ของโครงสร้างต้านแรงด้านข้างที่เชื่อมต่อกับไดอะแฟรมนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.4-1



รูปที่ 2.4-1 การตรวจสอบความอ่อนของไดอะแฟรม

2.4.2 การจำแนกลักษณะความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้าง

อาคารสามารถจำแนกเป็น อาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างที่สม่ำเสมอ (Regular) และอาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอ (Irregular) โดยอาคารในกลุ่มหลัง ยังสามารถจำแนกแยกย่อยออกเป็นอาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบ (Horizontal Irregularity) และ ไม่สม่ำเสมอในแนวดิ่ง (Vertical Irregularity) ตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้

2.4.2.1 ความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ

อาคารที่มีลักษณะรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง หรือหลายรูปแบบตามรายการดังต่อไปนี้ ให้ถือว่าเป็นอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ

(1ก) **ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด (Torsional Irregularity)** คือ กรณีที่ค่าสูงสุดของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ขอบด้านหนึ่งของอาคาร ที่คำนวณจากแรงแผ่นดินไหวที่รวมผลของแรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion) เข้าไปแล้ว มีค่ามากกว่า 1.2 เท่าของค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ขอบทั้ง 2 ด้านของอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.4-2ก อนึ่งเกณฑ์พิจารณานี้ใช้ได้เฉพาะกับอาคารที่มีไดอะแฟรมแข็งหรือกึ่งแข็งเท่านั้น

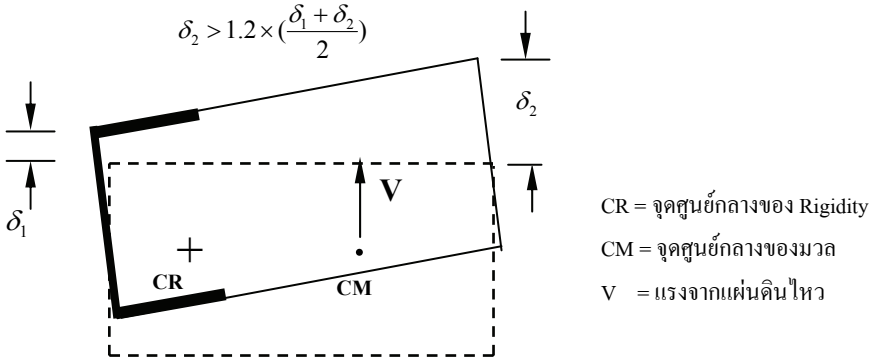
(1ข) **ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิดอย่างมาก (Extreme Torsional Irregularity)** คือ กรณีที่ค่าสูงสุดของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ขอบด้านหนึ่งของอาคาร ที่คำนวณจากแรงแผ่นดินไหวที่รวมผลของแรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion) เข้าไปแล้ว มีค่ามากกว่า 1.4 เท่าของค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ขอบทั้ง 2 ด้านของอาคาร อนึ่งเกณฑ์พิจารณานี้ใช้ได้เฉพาะกับอาคารที่มีไดอะแฟรมแข็งหรือกึ่งแข็งเท่านั้น

(2) **ความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน (Reentrant Corner Irregularity)** คือกรณีที่ผังอาคารมีลักษณะหักมุมเข้าข้างใน ทำให้เกิดส่วนยื่น โดยที่ส่วนยื่นนั้นมีระยะฉายในแต่ละทิศทางมากกว่าร้อยละ 15 ของมิติของผังในทิศทางนั้น ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.4-2ข

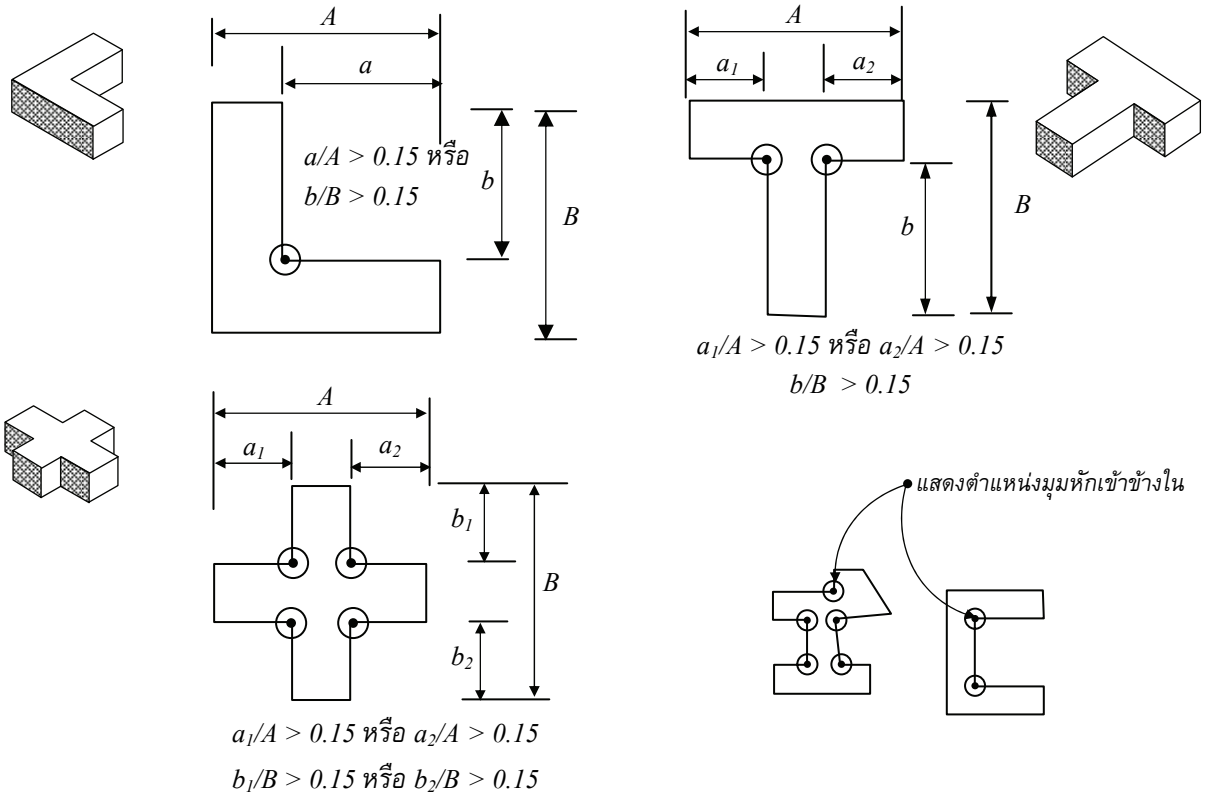
(3) **ความไม่สม่ำเสมอจากความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม (Diaphragm Discontinuity Irregularity)** คือกรณีที่ไดอะแฟรมมีความไม่ต่อเนื่อง หรือมีการเปลี่ยนค่าสติฟเนสอย่างฉับพลันในบางบริเวณ ซึ่งรวมถึงกรณีที่พื้นที่มีช่องเปิดมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่พื้น (ไดอะแฟรม) ทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 2.4-2ค หรือกรณีที่ค่าสติฟเนสประสิทธิผลโดยรวมของไดอะแฟรมของชั้นใดชั้นหนึ่ง มีการเปลี่ยนแปลงค่ามากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับชั้นถัดไป

(4) **ความไม่สม่ำเสมอจากการเยื้องออกนอกระนาบ (Out–of–Plane Offset Irregularity)** คือกรณีที่โครงสร้างแนวดิ่งที่ต้านแรงด้านข้าง เช่นกำแพงรับแรงเฉือนมีความไม่ต่อเนื่อง เช่นกำแพงในชั้นใดชั้นหนึ่งเยื้องออกจากระนาบของกำแพงในชั้นถัดไป ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.4-2ง

(5) **ความไม่สม่ำเสมอจากระบบที่ไม่ขนานกัน (Nonparallel System Irregularity)** คือกรณีที่แนวดิ่งที่ต้านทานแรงด้านข้าง เช่น กำแพงรับแรงเฉือน วางตัวในแนวที่ไม่ขนานกัน หรือไม่สมมาตรกันเมื่อเทียบกับแกนหลัก 2 แกน (ซึ่งตั้งฉากกัน) ของระบบต้านแรงด้านข้างของอาคาร ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.4-2จ

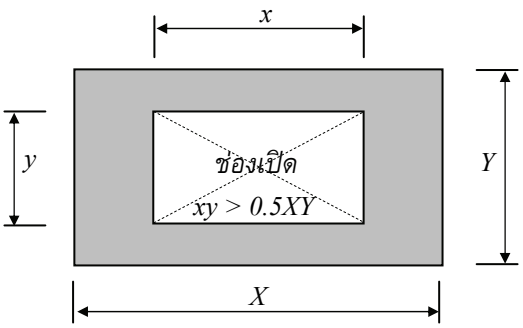


ก. ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด

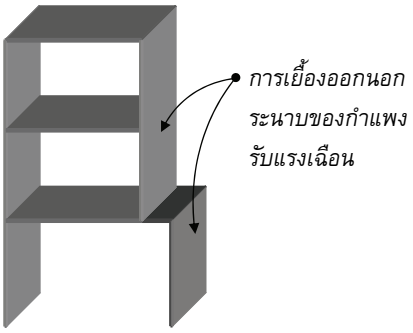


ข. ความไม่สม่ำเสมอแบบมีมุมหักเข้าข้างในอาคาร

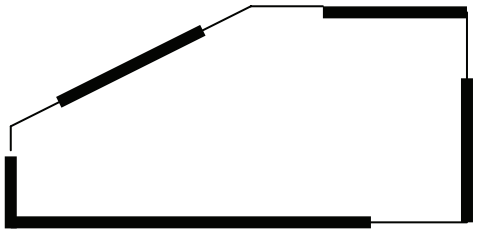
รูปที่ 2.4-2 ความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ



ค. ความไม่สม่ำเสมอจากความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม



ง. ความไม่สม่ำเสมอจากการเยื้องออกนอกระนาบ



จ. ความไม่สม่ำเสมอจากระบบที่ไม่ขนานกัน

รูปที่ 2.4-2 ความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ (ต่อ)

2.4.2.2 ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง (Vertical Structural Irregularities)

อาคารที่มีลักษณะรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง หรือหลายรูปแบบตามรายการดังต่อไปนี้ ให้ถือว่าเป็นอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวดิ่ง

(1ก) ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส หรือมีชั้นที่อ่อน (Stiffness-Soft Story Irregularity) คือ กรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีค่าสติฟเนสทางด้านข้าง (Lateral Stiffness) น้อยกว่าร้อยละ 70 ของค่าในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป หรือน้อยกว่าร้อยละ 80 ของค่าสติฟเนสเฉลี่ยของสามชั้นที่เหนือขึ้นไป ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.4-3ก

(1ข) ความไม่สม่ำเสมออย่างมากของสติฟเนส หรือมีชั้นที่อ่อนอย่างมาก (Stiffness-Extreme Soft Story Irregularity) คือ กรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีค่าสติฟเนสทางด้านข้าง (Lateral Stiffness) น้อยกว่าร้อยละ 60 ของค่าในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป หรือน้อยกว่าร้อยละ 70 ของค่าสติฟเนสเฉลี่ยของสามชั้นที่เหนือขึ้นไป

(2) ความไม่สม่ำเสมอของมวล (Mass Irregularity) คือกรณีที่ค่ามวลประสิทธิผล (Effective Mass) ตามหัวข้อ 2.8.2 ของชั้นหนึ่งชั้นใด มีค่ามากกว่าร้อยละ 150 ของมวลประสิทธิผลของชั้นบนหรือชั้นล่างที่อยู่ถัดไป ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.4-3ข อาคารที่มีหลังคาที่มีมวลน้อยกว่าพื้นชั้นถัดลงมา ไม่ถือว่าเป็นอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอของมวล

(3) ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวดิ่ง (Vertical Geometric Irregularity) คือกรณีที่มิติในแนวราบของระบบต้านแรงด้านข้าง ณ ชั้นหนึ่งชั้นใด มีค่ามากกว่าร้อยละ 130 ของค่าในชั้นบนหรือชั้นล่างที่อยู่ถัดไป ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.4-3ค

(4) ความไม่ต่อเนื่องภายในระนาบดิ่งขององค์อาคารต้านแรงด้านข้าง (In – Plane Discontinuity in Vertical Lateral Force–Resisting Element Irregularity) คือกรณีที่องค์อาคารในแนวดิ่งที่ต้านแรงด้านข้าง เช่น กำแพงรับแรงเฉือน มีความไม่ต่อเนื่องโดยมีการเยื้องตัวภายในระนาบดิ่งขององค์อาคาร เกินกว่ามิติในแนวราบขององค์อาคารนั้น ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.4-3ง

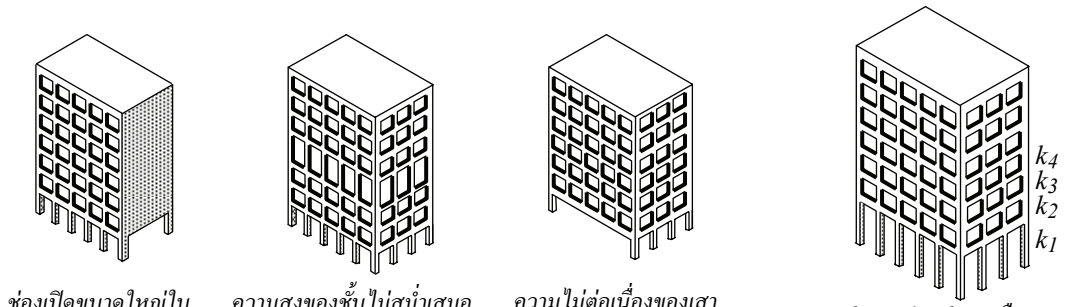
(5ก) ความไม่ต่อเนื่องของกำลังต้านแรงด้านข้างหรือมีชั้นที่อ่อนแอ (Discontinuity in Lateral Strength–Weak Story Irregularity) คือกรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีกำลังต้านแรงด้านข้าง น้อยกว่าร้อยละ 80 ของกำลังในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.4-3จ กำลังต้านแรงด้านข้างของชั้นในที่นี้ คือ ผลรวมของกำลังต้านทานแรงด้านข้างของทุกๆ องค์อาคารที่แบกรับแรงเฉือนของอาคารในชั้นนั้น ในทิศทางที่พิจารณา

(5ข) ความไม่ต่อเนื่องอย่างมากของกำลังต้านแรงด้านข้างหรือมีชั้นที่อ่อนแอมาก (Discontinuity in Lateral Strength–Extreme Weak Story Irregularity) คือกรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีกำลังต้านแรงด้านข้าง น้อยกว่าร้อยละ 65 ของกำลังในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป

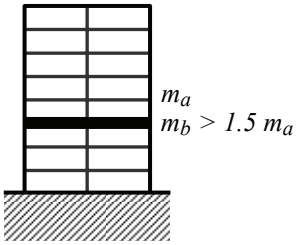
ข้อยกเว้น

(1) อาคารจะไม่ถือว่ามีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวดิ่ง แบบ 1ก 1ข หรือ 2 หากค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) ของชั้นใดๆ ที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่า มีค่าไม่เกินร้อยละ 130 ของชั้นที่อยู่เหนือถัดขึ้นไป ทั้งนี้การคำนวณค่าการเคลื่อนตัวดังกล่าว ไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของการบิดตัวของอาคาร (Torsional Effect) และไม่จำเป็นต้องพิจารณาค่าการเคลื่อนตัวของสองชั้นบนสุดของอาคาร

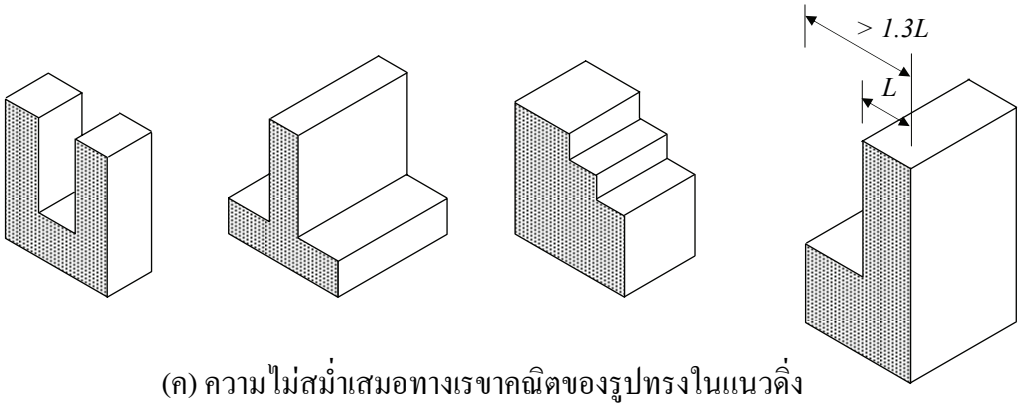
(2) ในการออกแบบอาคาร 1 ชั้นและ 2 ชั้น ไม่จำเป็นต้องพิจารณาถึงความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวดิ่งแบบ 1ก 1ข หรือ 2



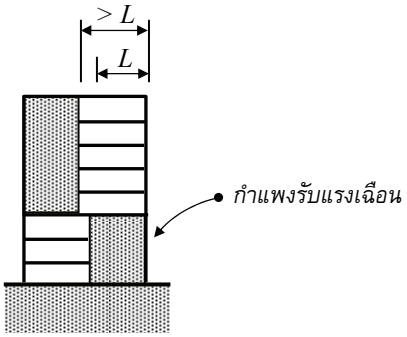
(ก) ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส



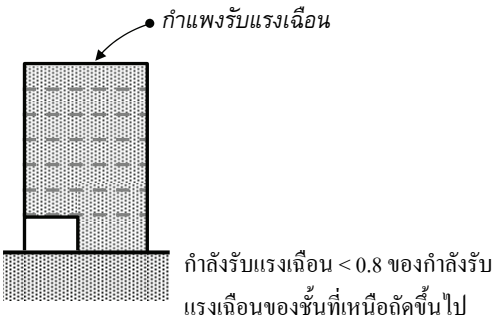
(ข) ความไม่สม่ำเสมอของมวล



(ค) ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวดิ่ง



(ง) ความไม่ต่อเนื่องในระนาบ



(จ) ความไม่ต่อเนื่องของกำลัง

รูปที่ 2.4-3 ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง

2.4.3 ข้อจำกัดและข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับอาคารที่รูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอ

(1) อาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง จะต้องไม่เป็นอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวดิ่งแบบ 5ข

(2) อาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวดิ่งแบบ 5ข จะมีความสูงได้ไม่เกิน 2 ชั้น หรือ 9 เมตร เว้นแต่อาคารนั้นสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่าที่คูณด้วยตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (Ω_0) ได้

(3) อาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบแบบ 4 หรือในแนวดิ่งแบบ 4 จะต้องได้รับการออกแบบให้องค์อาคารต่าง ๆ ที่รองรับกำแพงหรือโครงสร้างที่ไม่ต่อเนื่อง มีกำลังเพียงพอที่จะต้านทานแรงซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุก กระทำร่วมกับแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่าที่คูณด้วยตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (Ω_0)

(4) อาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง และมีความไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบ แบบ 1ก 1ข 2 3 หรือ 4 หรือมีความไม่สม่ำเสมอในแนวดิ่ง แบบ 4 จะต้องได้รับการออกแบบให้ (ก) จุดต่อระหว่างไดอะแฟรมกับโครงสร้างแนวดิ่งต้านแรงด้านข้าง (ข) จุดต่อระหว่างไดอะแฟรมกับองค์อาคารเชื่อม (Collector) และ (ค) จุดต่อระหว่างองค์อาคารเชื่อมกับโครงสร้างแนวดิ่งต้านแรงด้านข้าง สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่าที่คูณด้วย 1.25 องค์อาคารเชื่อม และจุดต่อระหว่างองค์อาคารเชื่อม ก็ต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงดังกล่าว เว้นแต่ว่าได้ถูกออกแบบให้ต้านทานแรงซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกกระทำร่วมกับแรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่าที่คูณด้วยตัวประกอบกำลังส่วนเกินเรียบร้อยแล้ว

2.5 การรวมผลของแรงแผ่นดินไหว กับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง

2.5.1 กรณีที่ต้องพิจารณาการรวมผลของแรง

องค์อาคารทุกส่วนในโครงสร้าง รวมทั้งส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างต้านทานแรงด้านข้างจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงในแนวแกน แรงเฉือน แรงดัดที่เกิดกับองค์อาคารนั้น ๆ เมื่อโครงสร้างถูกกระทำด้วยแรงแผ่นดินไหวร่วมกับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งตามข้อกำหนดในหัวข้อ 2.5.2 ในบางกรณีที่มาตรฐานกำหนด การรวมผลของแรงจะต้องคำนึงถึงกำลังส่วนเกินของโครงสร้างด้วยตามข้อกำหนดในหัวข้อ 2.5.3

2.5.2 วิธีรวมผลของแรง

(ก) สำหรับการออกแบบด้วยวิธีกำลัง ให้ใช้วิธีรวมผลของแรงดังต่อไปนี้

$$1.2D + 1.0L + 1.0E \qquad (2.5\text{-}1)$$

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

โดยที่ E คือ ผลที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว (Seismic Load Effects) ตามที่คำนวณในมาตรฐานนี้

D คือ ผลที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

L คือ ผลที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

อนึ่ง ตัวคูณผลของแรง (Load Factor) ของ L ในวิธีรวมผลแบบ 2.5-1 สามารถลดค่าจาก 1.0 ลงเหลือ 0.5 ได้ หากน้ำหนักบรรทุกจรมีค่าน้อยกว่า 5,000 นิวตันต่อตารางเมตร เว้นแต่อาคารนั้นเป็นอาคารจอดรถยนต์ หรืออาคารสาธารณะที่มีผู้มาชุมนุมเป็นจำนวนมาก

(ข) สำหรับการออบแบบด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ให้ใช้วิธีรวมผลของแรงดังต่อไปนี้

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

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

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

2.5.3 วิธีรวมผลของแรงที่คำนึงถึงกำลังส่วนเกินของโครงสร้าง

ในกรณีที่มาตรฐานกำหนดให้คำนึงถึงกำลังส่วนเกินของโครงสร้าง ให้ใช้วิธีรวมผลของแรงดังต่อไปนี้

(ก) สำหรับการออกแบบด้วยวิธีกำลัง

$$1.2D + 1.0L + \Omega_0 E \qquad (2.5\text{-}6)$$

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

โดยที่ตัวคูณผลของแรง (Load Factor) ของ L ในวิธีรวมผลแบบ 2.5-6 สามารถลดค่าจาก 1.0 ลงเหลือ 0.5 ได้ หากน้ำหนักบรรทุกจรมีค่าน้อยกว่า 5000 นิวตัน ต่อตารางเมตร เว้นแต่อาคารนั้นเป็นอาคารจอดรถยนต์ หรืออาคารสาธารณะที่มีผู้มาชุมนุมเป็นจำนวนมาก

(ข) สำหรับการออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้

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

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

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

2.5.4 การเพิ่มค่าหน่วยแรงที่ยอมให้

ในการออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ อนุญาตให้เพิ่มค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ร้อยละ 20 จากค่าปกติเมื่อพิจารณาการรวมแรงที่มีการคำนึงถึงกำลังส่วนเกินของโครงสร้าง

2.6 ทิศทางของแรงแผ่นดินไหว

2.6.1 การกำหนดทิศทางของแรง

ทิศทางของแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบอาคาร จะต้องเป็นทิศทางที่ทำให้เกิดผลตอบสนองในโครงสร้างที่รุนแรงที่สุด หรือเป็นไปตามข้อกำหนดในหัวข้อ 2.6.2 หรือ 2.6.3 แล้วแต่กรณี

2.6.2 แรงแผ่นดินไหวในแต่ละทิศกระทำต่ออาคารแยกกัน

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

2.6.3 แรงแผ่นดินไหวใน 2 ทิศทางหลักกระทำต่ออาคารร่วมกัน

ในกรณีของอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง ทั้งที่มีรูปทรงโครงสร้างสม่ำเสมอ และ ไม่สม่ำเสมอ หรือ แบบ ค ที่มีรูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบแบบที่ 5 ให้เลือกใช้วิธีใด วิธีหนึ่งใน 2 วิธีดังต่อไปนี้

(1) วิธีรวมผลของแรงที่กระทำใน 2 ทิศทางที่ตั้งฉากกัน

ในขั้นแรกกำหนดให้แรงแผ่นดินไหวกระทำในทิศทางของแกนหลักของโครงสร้างทีละทิศทางไม่พร้อมกัน โดยวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างอาจเป็นวิธีแรงสถิตเทียบเท่าในบทที่ 3 หรือ วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดในบทที่ 4 หรือวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลาในบทที่ 4 จากนั้นจึงรวมผลของแรงทั้ง 2 ทิศทางหลักในรูปแบบดังต่อไปนี้

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

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

ผลรวมในรูปแบบใดก่อให้เกิดผลที่รุนแรงที่สุดในองค์อาคารของโครงสร้างให้นำผลรวมรูปแบบนั้นไปใช้ในการออกแบบกำลังต้านทานขององค์อาการนั้น ๆ องค์อาคารในที่นี้รวมถึงฐานรากของอาคารด้วย

(2) วิธีที่ให้แรงทั้ง 2 ทิศทาง กระทำต่ออาคารพร้อมกัน

ในวิธีนี้การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลาในบทที่ 4 จะต้องกำหนดให้เกิดแผ่นดินไหวในทั้ง 2 ทิศทางหลักของอาคารพร้อมกัน ผลการตอบสนองที่วิเคราะห์ได้ คือ ผลรวมของแรงแผ่นดินไหวทั้ง 2 ทิศทาง

2.7 วิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง

วิศวกรผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อคำนวณผลของแรงแผ่นดินไหววิธีหนึ่งวิธีใด ตามเกณฑ์ที่แสดงโดยตารางที่ 2.7-1 ซึ่งขึ้นกับประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ และความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างของอาคาร

ตารางที่ 2.7-1 วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อคำนวณผลของแรงแผ่นดินไหวที่อนุญาตให้ใช้ได้

ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว	ลักษณะโครงสร้าง	วิธีแรงสถิตเทียบเท่า	วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด	วิธีวิเคราะห์การตอบสนองแบบประวัติเวลา
ข, ค	โครงสร้างอาคารทุกรูปแบบ	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
ง	อาคารที่มีประเภทความสำคัญ แบบ I หรือ II ที่มีโครงสร้างอาคารแบบน้ำหนักเบา (เช่น โครงสร้างไม้ หรือโครงสร้างเหล็กรีดเย็น) และมีความสูงไม่เกิน 3 ชั้น	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารแบบอื่น ๆ ที่มีประเภทความสำคัญ แบบ I หรือ II และมีความสูงไม่เกิน 2 ชั้น	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารที่มีรูปทรงโครงสร้างสม่ำเสมอ และมีคาบการสั่นพื้นฐานน้อยกว่า $3.5T_s$	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารที่มีคาบการสั่นพื้นฐานน้อยกว่า $3.5T_s$ และมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ แบบ 2, 3, 4, หรือ 5 หรือในแนวดิ่ง แบบ 4, 5 ก หรือ 5ข	อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต
	อาคารแบบอื่น ๆ	ไม่อนุญาต	อนุญาต	อนุญาต

2.8 ข้อกำหนดในการสร้างแบบจำลองโครงสร้าง

2.8.1 แบบจำลองฐานราก

ในการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว แบบจำลองฐานรากสามารถกำหนดให้เป็นแบบฐานยึดแน่น (Fixed Base) อย่างไรก็ดีในกรณีที่วิศวกรผู้ออกแบบพิจารณาว่าควรคำนึงถึงความยืดหยุ่นของฐานราก (Foundation Flexibility) การสร้างแบบจำลองฐานรากจะต้องพิจารณาถึงข้อกำหนดในหัวข้อ 2.12.3

2.8.2 น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล

น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล คือ น้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งของอาคารที่ต้องนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหว

น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล (W) จะต้องรวมน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมดของอาคาร และน้ำหนักบรรทุกประเภทอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

(1) ร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกจร (Floor Live Load) ในกรณีของอาคารที่ใช้เก็บพัสดุ อนึ่ง อาคารจอดรถยนต์ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงน้ำหนักในข้อนี้

(2) น้ำหนักของผนังอาคาร และผนังกั้นห้องต่าง ๆ หรือน้ำหนักบรรทุกเทียบเท่าจากน้ำหนักของผนังอาคาร ที่กระจายลงพื้นทั่วทั้งชั้นอย่างน้อย 480 นิวตันต่อตารางเมตร โดยให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่า

(3) น้ำหนักของเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ซึ่งติดตั้งถาวรในอาคาร

2.8.3 แบบจำลองโครงสร้าง

แบบจำลองโครงสร้างจะต้องถูกสร้างขึ้นเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์คำนวณหาแรงภายในองค์อาคารและการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว ดังนั้นในแบบจำลองนี้จะต้องมีการจำลองค่าสติสเนฟและกำลังขององค์อาคารที่มีความสำคัญต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว รวมถึงจำลองลักษณะการกระจายของมวลทั่วทั้งอาคารอย่างถูกต้อง

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

ในกรณีที่ไดอะแฟรมมิได้เป็นไดอะแฟรมแข็งหรืออ่อนตามเกณฑ์ในหัวข้อ 2.4 แบบจำลองจะต้องสามารถจำลองสติฟเนสในแนวระนาบของไดอะแฟรมได้

การกำหนดค่าสติฟเนสขององค์อาคารคอนกรีตและอิฐก่อจะต้องคำนึงถึงผลของการแตกร้าวที่มีต่อค่าสติสเนส โดยในกรณีที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์อย่างละเอียด อนุญาตให้ประมาณค่าสติฟเนสจากค่าโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผล I_{eff} และค่าพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล A_{eff} ดังต่อไปนี้

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

2.9 การออกแบบไดอะแฟรมและองค์อาคารเชื่อม

2.9.1 การออกแบบไดอะแฟรม

ไดอะแฟรมจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานหน่วยแรงเฉือนและหน่วยแรงดัดที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว

สำหรับบริเวณที่ไดอะแฟรมมีความไม่ต่อเนื่อง เช่น บริเวณที่มีช่องเปิดหรือมีมุมหักเข้าข้างใน (Reentrant Corners) จะต้องได้รับการออกแบบให้แรงที่ถ่ายที่ผ่านไดอะแฟรมมีค่าไม่เกินกำลังรับแรงเฉือนและกำลังรับแรงดึงของไดอะแฟรมนั้น ๆ

2.9.1.1 แรงที่ใช้ในการออกแบบไดอะแฟรม

พื้นและหลังคาซึ่งทำหน้าที่เป็นไดอะแฟรมจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงภายในไดอะแฟรมที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างแต่ทั้งนี้ค่าแรงภายในไดอะแฟรมจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากสมการ 2.9-1

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^{n} F_i}{\sum_{i=x}^{n} w_i} w_{px} \qquad (2.9\text{-}1)$$

โดยที่ F_{px} คือ แรงภายในไดอะแฟรมที่ชั้น x สำหรับการออกแบบ

F_i คือ แรงแผ่นดินไหวสถิตเทียบเท่าที่ระดับชั้น i (หัวข้อ 3.4)

w_i คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคารที่ระดับชั้น i (หัวข้อ 2.8.2)

w_{px} คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคารที่ระดับชั้น x ภายในพื้นที่อิทธิผล (Tributary Area) ของโครงสร้างที่ต้านแรงที่ส่งถ่ายผ่านไดอะแฟรมนั้น

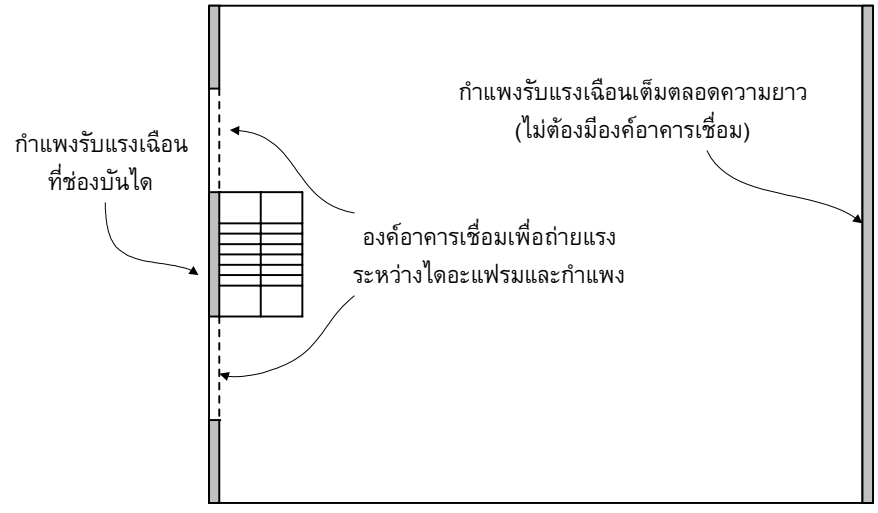
แรงภายในไดอะแฟรมที่คำนวณจากสมการ 2.9-1 ไม่จำเป็นต้องมีค่าเกิน $0.4S_{DS}I\ w_{px}$ แต่จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า $0.2S_{DS}I\ w_{px}$

ในกรณีที่ไดอะแฟรมทำหน้าที่ถ่ายเทแรงแผ่นดินไหวจากเสาหรือกำแพงที่อยู่เหนือไดอะแฟรมไปยังเสาหรือกำแพงทีอยู่ใต้ไดอะแฟรม เนื่องจากการเยื้องศูยน์ของโครงสร้าง หรือสาเหตุอื่น ๆ แรงดังกล่าวนี้จะต้องถูกนำไปบวกเพิ่มจากค่าที่คำนวณทางสมการ 2.9-1

2.9.2 การออกแบบองค์อาคารเชื่อม

องค์อาคารเชื่อมเพื่อถ่ายแรงทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างอาคารบางส่วนไปยังโครงสร้างที่ต้านแรงด้านข้าง

ในกรณีของอาคารที่มีประเภทการต้านทานแผ่นดินไหว แบบ ค และ ง องค์อาคารเชื่อมเพื่อถ่ายแรง จุดต่อระหว่างองค์อาคารเชื่อมเพื่อถ่ายแรง และจุดต่อระหว่างองค์อาคารเชื่อมเพื่อถ่ายแรงกับโครงสร้างต้านแรงด้านข้าง จะต้องได้รับการออกแบบให้มีกำลังเพียงพอที่จะต้านทานผลรวมของแรงแผ่นดินไหว กับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งโดยคำนึงถึงกำลังส่วนเกินของโครงสร้างตามข้อกำหนดในหัวข้อ 2.5.3



รูปที่ 2.9-1 องค์อาคารเชื่อมระหว่างไดอะแฟรมและกำแพง

2.9.2.1 การรวมน้ำหนักบรรทุกสำหรับการออกแบบองค์อาคารเชื่อมสำหรับโครงสร้างประเภท ค และ ง

สำหรับโครงสร้างที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว แบบ ค หรือ ง ในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อองค์อาคารเชื่อม จะต้องใช้วิธีรวมผลของแรงที่คำนึงถึงกำลังส่วนเกินของโครงสร้าง ตามข้อกำหนดในหัวข้อ 2.5.3

2.10 กำแพงโครงสร้างและการฝังยึด

2.10.1 การออกแบบสำหรับแรงกระทำนอกระนาบ

โครงสร้างกำแพงและการฝังยึดจะต้องออกแบบให้สามารถรับแรงกระทำตั้งฉากกับผิวกำแพงเท่ากับ $0.4S_{DS}I$ คูณกับน้ำหนักของกำแพง ซึ่งจะต้องมีค่าอย่างน้อยร้อยละ 10 ของน้ำหนักกำแพง การเชื่อมยึดกันในระหว่างกำแพงและตัวเชื่อมกับระบบรองรับเฟรมจะต้องมีความเหนียวเพียงพอ อีกทั้งมีกำลังต้านทานการหมุนตัว หรือกำลังเพียงพอเพื่อต้านทานการหดตัว การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และการทรุดตัวของฐานรากที่ไม่เท่าเทียมกัน เมื่อรวมผลของแรงกระทำแผ่นดินไหว

2.10.2 อุปกรณ์ฝังยึดของกำแพงโครงสร้างคอนกรีต

อุปกรณ์ฝังยึดของกำแพงโครงสร้างคอนกรีตกับระบบพื้นอาคารจะต้องออกแบบการเชื่อมยึด ให้สามารถต้านทานแรงกระทำต่อไปนี้

ก. แรงกระทำเท่ากับค่าที่กำหนดในหัวข้อ 2.10.1

ข. แรงกระทำ $5.84S_{DS}I$ ต่อความยาวของกำแพง (กิโลนิวตันต่อเมตร)

ค. แรงกระทำ 4.09 กิโลนิวตันต่อความยาวของกำแพง (กิโลนิวตันต่อเมตร)

โครงสร้างกำแพงจะต้องออกแบบให้สามารถต้านทานแรงดัดระหว่างอุปกรณ์ฝังยึด เมื่ออุปกรณ์ฝังยึดวางห่างกันเกิน 1.22 เมตร

2.10.2.1 อุปกรณ์ฝังยึดระหว่างกำแพงโครงสร้างคอนกรีตและไดอะแฟรมแบบยึดหยุ่น

นอกจากนี้ อุปกรณ์ฝังยึดระหว่างกำแพงโครงสร้างคอนกรีตและไดอะแฟรมแบบยึดหยุ่นสำหรับโครงสร้างประเภท ค.และ ง. จะต้องมีกำลังต้านทานแรงกระทำนอกระนาบตามที่กำหนดในสมการ 2.10-1

$$F_p = 0.8S_{DS}IW_p \qquad (2.10\text{-}1)$$

เมื่อ

F_p คือ แรงที่ใช้ในการออกแบบสำหรับอุปกรณ์ฝังยึดแต่ละจุด

S_{DS} คือ ค่าความเร่งตอบสนองสำหรับการการออกแบบสำหรับคาบการสั่น 0.2 วินาที

I คือ ค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

W_p คือ น้ำหนักแผ่กระจายของกำแพงไปสู่อุปกรณ์ฝังยึด

2.10.2.2 ข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับไดอะแฟรมที่ใช้ในประเภทการออกแบบ ค และ ง

2.10.2.2.1 การถ่ายแรงฝังยึดไปสู่ไดอะแฟรม

ไดอะแฟรมจะต้องมีการจัดให้มีตัวค้ำยันอย่างต่อเนื่องระหว่างขอบไดอะแฟรมเพื่อกระจายแรงไปสู่ไดอะแฟรม ในกรณีที่ต้องการถ่ายแรงกระทำไปสู่ตัวค้ำยันหลัก อาจมีการเพิ่มไดอะแฟรมย่อยด้วยการเพิ่มขอบไดอะแฟรมได้ ทั้งนี้อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของไดอะแฟรมย่อยจะต้องไม่เกิน 2.5:1

2.10.2.2.2 ชิ้นส่วนเหล็กของระบบการฝังยึดในกำแพง

แรงที่ใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนเหล็กของระบบการฝังยึดในกำแพง จะต้องเพิ่มค่าอีก 1.4 เท่า (ยกเว้นสลักเกลียวและเหล็กเส้น)

2.10.2.2.3 ไดอะแฟรมไม้

สำหรับไดอะแฟรมไม้ จะต้องมีตัวค้ำยันอย่างต่อเนื่องระหว่างขอบไดอะแฟรม การฝังยึดตัวไม้จะใช้ตะปูทั่วไปไม่ได้ ให้ใช้อุปกรณ์ยึดไม้ที่แน่นหนา เช่น สลักเกลียว เป็นต้น

2.10.2.2.4 ไดอะแฟรมแผ่นพื้นโลหะ

สำหรับไดอะแฟรมแผ่นพื้นโลหะ ตัวแผ่นพื้นโลหะไม่อาจใช้เป็นตัวค้ำยันอย่างต่อเนื่องได้ ให้ใช้องค์อาคารที่มีค่าสติฟเนสที่สูงกว่าแทนเช่น คานเหล็ก เป็นต้น เป็นตัวค้ำยันแทน

2.10.2.2.5 แผ่นเหล็กฝังยึด

การใช้แผ่นเหล็กฝังยึดระหว่างไดอะแฟรมและกำแพงคอนกรีต จะต้องเชื่อมยึดติดกับเหล็กเสริมหลักเพื่อการถ่ายแรงไปยังเหล็กเสริม

2.10.2.2.6 ระบบเหล็กฝังยึดซึ่งมีน้ำหนักกระทำแบบเยื้องศูนย์

ในกรณีที่ชิ้นส่วนของระบบฝังยึดกำแพงมีน้ำหนักกระทำแบบเยื้องศูนย์ หรือกระทำไม่ตั้งฉากกับกำแพง จะต้องมีการออกแบบระบบฝังยึดให้สามารถต้านทานแรงกระทำต่างๆซึ่งเกิดจากการเยื้องศูนย์นั้นได้

2.10.2.2.7 เสาฝังในกำแพง

ในกรณีที่มีการออกแบบเสาฝังในกำแพง แรงฝังยึดที่กระทำต่อเสาจะต้องคำนวณโดยการพิจารณาเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายจากแผ่นกำแพงไปยังเสาด้วย อย่างไรก็ตาม แรงฝังยึดที่กระทำต่อพื้นหรือหลังคาจะต้องไม่ลดค่าลงเนื่องจากการออกแบบเสานี้

2.11 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นและการโก่งตัวของโครงสร้าง

2.11.1 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (Design Story Drift, Δ) ที่คำนวณได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (หัวข้อ 3.7) หรือวิธีเชิงพลศาสตร์ (หัวข้อ 4.2.2, 4.3.4, หรือ 4.4.4) จะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่ยอมให้ (Allowable Story Drift, Δ_a) ดังแสดงในตารางที่ 2.11-1 ในกรณีที่อาการมีการบิดตัวรอบแกนดิ่งอย่างชัดเจน เมื่อถูกแรงแผ่นดินไหวกระทำการคำนวณค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Δ) นี้จะต้องรวมผลของการบิดตัวของอาคารเข้าไปด้วย

ในกรณีที่อาคารมีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ค หรือ ง และมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบแบบ 1ก หรือ 1ข ค่า Δ จะเป็นค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้น ณ ขอบด้านใดด้านหนึ่งของอาคาร ณ ชั้นที่พิจารณาที่มีค่ามากที่สุด

2.11.2 การโก่งตัวในระนาบของไดอะแฟรม

การโก่งตัวในระนาบของไดอะแฟรมที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบจะต้องมีค่าไม่เกินค่าการโก่งตัวที่ยอมรับได้ (Permissible Deflection) ขององค์อาคารที่ยึดติดกับไดอะแฟรมนั้น ค่าการโก่งตัวที่ยอมรับได้นี้ คือ ค่าการโก่งตัวที่องค์อาคารนั้นยังสามารถคงความสมบูรณ์เชิงโครงสร้าง (Structural Integrity) และยังสามารถต้านทานแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อองค์อาคารนั้นได้ตามที่ออกแบบไว้

2.11.3 การแยกส่วนของอาคารและการเว้นระยะห่างจากอาคารข้างเคียง

ทุก ๆ ส่วนของโครงสร้างอาคารจะต้องได้รับการออกแบบและก่อสร้างให้ยึดโยงกัน และเคลื่อนตัวไปด้วยกันเมื่อถูกแรงแผ่นดินไหวกระทำ เว้นแต่ต้องการออกแบบให้อาคารมีโครงสร้างแยกส่วนกัน ในกรณีนั้นจะต้องเว้นระยะห่างระหว่างส่วนของอาคารที่แยกกัน ให้มากเพียงพอที่จะป้องกันมิให้เกิดการกระแทกกันโดยให้ระยะห่างนี้จะต้องมีค่ามากกว่าผลรวมการเคลื่อนตัวสูงสุดของโครงสร้างแต่ละส่วนที่คำนวณด้วยวิธีในหัวข้อ 3.7

2.11.4 ความสอดคล้องของการเคลื่อนตัวด้านข้าง

ในกรณีที่อาคารมีประเภทการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง ทุกองค์อาคารที่มิได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบโครงสร้างต้านแรงแผ่นดินไหวจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งร่วมกับแรงภายในองค์อาคารที่เกิดจากเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเท่ากับ Δ

องค์อาคารของระบบโครงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มิใช่ส่วนหนึ่งของระบบโครงสร้างต้านแรงแผ่นดินไหวจะต้องได้รับการออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดในหัวข้อ 21.11 ของมาตรฐาน ACI318

ตารางที่ 2.11-1 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (Δ_a)

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

หมายเหตุ

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

2.12 การออกแบบโครงสร้างฐานราก

2.12.1 ข้อกำหนดพื้นฐานสำหรับการออกแบบ

ข้อกำหนดพื้นฐานสำหรับการออกแบบโครงสร้างฐานรากเป็นไปตามที่ระบุไว้ในหัวข้อ 2.2.4

2.12.2 วัสดุก่อสร้าง

วัสดุก่อสร้างฐานรากจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในบทที่ 5 การออกแบบและให้รายละเอียดเสาเข็มจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในบทที่ 5

2.12.3 ความยืดหยุ่นของฐานราก

ในกรณีที่การวิเคราะห์โครงสร้างต้านแรงแผ่นดินไหวมีการคำนึงถึงความยืดหยุ่นของฐานราก (Foundation Flexibility) ความยืดหยุ่นซึ่งแสดงในรูปของค่าสติฟเนสของฐานรากจะต้องคำนวณจากคุณสมบัติของดิน (เช่น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแรงเฉือน) ที่ระดับความเครียดของเนื้อดินที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในเหตุการณ์แผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ

ในการนำค่าสติฟเนสของฐานรากที่คำนวณได้นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างจะต้องพิจารณาถึงกรณีที่สติฟเนสมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 และมีค่าลดลงร้อยละ 50 ด้วย เว้นแต่มีผลการวัดค่าสติฟเนส จริงในภาคสนามภายใต้แรงพลศาสตร์ที่ยืนยันว่า ค่าสติฟเนสมีความแปรปรวนน้อยกว่าช่วงที่กำหนดนี้ ให้นำผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ให้ค่าตอบสนองสูงสุดไปใช้ในการออกแบบ

2.12.4 การปรับลดค่าโมเมนต์พลิกคว่ำที่ถ่ายลงสู่ฐานราก

ผลของโมเมนต์พลิกคว่ำ (Overturning Effects) ซึ่งถ่ายลงสู่ฐานรากสามารถปรับค่าให้ลดลงได้ร้อยละ 25 สำหรับการออกแบบฐานรากในกรณีดังต่อไปนี้

(1) การออกแบบโครงสร้างอาคารใช้วิธีแสงสถิตเทียบเท่าในบทที่ 3

(2) โครงสร้างอาคารมิได้เป็นแบบลูกตุ้มกลับหัว (Inverted Pendulum) ที่มีมวลกระจุกตัวอยู่ยอดอาคาร หรือแบบคานยื่น (Cantilevered Column Type)

ในกรณีที่ใช้วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (บทที่ 4 หัวข้อ 4.2) ในการออกแบบ ผลของโมเมนต์พลิกคว่ำ (Overturning Effects) ซึ่งถ่ายลงสู่ฐาน สามารถปรับค่าให้ลดลงได้ร้อยละ 10 สำหรับการออกแบบฐานราก

2.12.5 การเชื่อมต่อระหว่างฐานราก

ในกรณีที่อาคารมีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว แบบ ค หรือ ง ฐานรากเข็ม (Pile Caps) เข็มเจาะ หรือฐานรากแบบกำแพงพืด (Caissons) จะต้องถูกยึดโยงกันด้วยองค์อาคารเชื่อมต่อ (Ties) องค์อาคารเชื่อมต่อเหล่านี้จะต้องได้รับการออกแบบให้มีกำลังต้านทานแรงดึง หรือแรงอัดซึ่งมีค่าไม่น้อยไปกว่า $0.1S_{DS}W_f$ โดยที่ W_f คือ ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกคงที่ปรับค่า (Factored Dead Load) และ น้ำหนักบรรทุกจรปรับค่า (Factored Live Load) เว้นแต่พิสูจน์ได้ว่า คานคอดิน หรือพื้นอาคารในชั้นระดับฐานราก หรือ สภาพดินแข็งรอบฐานรากสามารถทำหน้าที่แทนองค์อาคารเชื่อมต่อได้อย่างเพียงพอ

2.12.6 การฝังยึดหัวเข็มในฐานราก

ในกรณีที่อาคารมีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ค หรือ ง เสาเข็มจะต้องได้รับการออกแบบให้มีการฝังยึดแน่นกับฐานรากเพื่อให้สามารถต้านทานแรงต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นได้ รวมทั้งแรงยกถอน (Uplift Force) ถ้ามี

บทที่ 3

วิธีแรงสถิตเทียบเท่า

3.1 ทั่วไป

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวสามารถทำได้หลายวิธี วิธีแรงสถิตเทียบเท่าก็เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ออกแบบอาคารได้หลากหลายประเภทดังที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 2.7 วิธีนี้เริ่มจากการคำนวณหาค่าแรงสถิตเทียบเท่าในรูปของแรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Seismic Base Shear, V) จากนั้นจึงกระจายแรงไปยังชั้นต่าง ๆ ของอาคาร แรงที่เกิดขึ้นภายในองค์อาคารต่าง ๆ เนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำร่วมกับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งของอาคารจะเป็นแรงที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ออกแบบกำลังต้านทานขององค์อาคารเหล่านี้ และหาค่าการเคลื่อนตัว นอกจากนี้ค่าการเคลื่อนตัวของโครงสร้างเนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า เมื่อถูกนำไปปรับแก้ด้วยตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว จะเป็นค่าการเคลื่อนตัวและการโก่งตัวสูงสุดที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ

3.2 แรงเฉือนที่ฐานอาคาร

แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Seismic Base Shear, V) จะต้องคำนวณจาก

$$V = C_s W \tag{3.2-1}$$

โดยที่ C_s คือ สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว

W คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร ตามที่กำหนดในหัวข้อที่ 2.8.2

3.2.1 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว

สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว (C_s) จะต้องคำนวณจาก

$$C_s = S_a\left(\frac{I}{R}\right) \tag{3.2-2}$$

โดยที่ S_a คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ S_a ที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (T) จากรูปที่ 1.4-1 รูปที่ 1.4-2 หรือ รูปที่ 1.4-6

R คือ ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง ตามที่กำหนดในหัวข้อที่ 2.3.1

I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร ตามที่กำหนดในหัวข้อที่ 1.5

และ C_s จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.01

3.3 การคำนวณค่าคาบการสั่นพื้นฐาน

ค่าคาบการสั่นพื้นฐาน (Fundamental Period, T) ในทิศทางแกนหลักของอาคาร สามารถคำนวณได้โดยวิธีดังต่อไปนี้

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.

ค่าคาบการสั่นพื้นฐาน อาจคำนวณจากสมการดังนี้

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(w_i \delta_i^{\,2}\right)}{g\sum_{i=1}^{n}\left(F_i \delta_i\right)}} \qquad (3.3\text{-}3)$$

โดยที่ F_i คือแรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำต่อชั้นที่ i (นิวตัน)

δ_i คือ การเคลื่อนตัวในแนวราบของอาคารที่ชั้นที่ i ไม่รวมผลของการบิด ณ ตำแหน่งศูนย์กลางมวลของชั้นที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า (เมตร)

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

n คือ จำนวนชั้นของอาคาร

w_i คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของชั้นที่ i (นิวตัน)

3.4 การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำทางด้านข้างต่ออาคารในชั้นต่างๆ

แรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำต่ออาคาร ณ ชั้นใด ๆ ในแนวราบ (F_x) จะต้องคำนวณจาก

$$F_x = C_{vx} V \tag{3.4-1}$$

และ $$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k} \tag{3.4-2}$$

โดยที่ C_{vx} คือ ตัวประกอบการกระจายในแนวดิ่ง

w_x คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของชั้นที่ x

h_i และ h_x คือ ความสูงที่ระดับชั้น i และ x ตามลำดับ

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

3.5 การกระจายแรงเฉือนในแนวราบ

แรงเฉือน ณ ชั้นใด ๆ ของอาคารที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า (V_x) ให้คำนวณจาก

$$V_x = \sum_{i=x}^{n} F_i \tag{3.5-1}$$

แรงเฉือน ณ ชั้นใด ๆ (V_x) จะกระจายแรงไปยังองค์อาคารแนวดิ่งที่เป็นส่วนของโครงสร้างต้านแรงด้านข้างในชั้นที่พิจารณาตามสัดส่วนสติฟเนสด้านข้างขององค์อาคารเหล่านั้น

ในกรณีที่ไดอะแฟรมเป็นแบบกึ่งแข็งการกระจายแรงนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงสติฟเนสสัมพัทธ์ระหว่างไดอะแฟรมกับองค์อาคารแนวดิ่งซึ่งทำหน้าที่ต้านแรงด้านข้างด้วย

3.5.1 แรงบิดจากลักษณะของโครงสร้าง

ในกรณีที่ไดอะแฟรมมิได้เป็นแบบไดอะแฟรมอ่อน การกระจายแรงเฉือน ณ ชั้นใด ๆ จะต้องพิจารณาถึงผลของแรงบิดจากลักษณะโครงสร้าง (Inherent Torsion Moment, M_t) ซึ่งเกิดเนื่องจากการที่จุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass) อยู่เยื้องจากจุดศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of Rigidity)

ในกรณีของไดอะแฟรมอ่อน การกระจายแรงเฉือน ณ ชั้นใด ๆ ไปสู่องค์อาคารแนวดิ่งที่ต้านแรงด้านข้างจะขึ้นกับตำแหน่งและน้ำหนักบรรทุกที่องค์อาคารนั้นแบกรับอยู่

3.5.2 แรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental torsion)

ในกรณีที่ไดอะแฟรมมิได้เป็นแบบไดอะแฟรมอ่อน การออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวจะต้องพิจารณาถึง ผลของแรงบิดจากลักษณะโครงสร้าง (M_t) รวมกับแรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion, M_{ta}) โดยที่แรงบิดโดยบังเอิญนี้สร้างขึ้นด้วยการสมมุติให้จุดศูนย์กลางมวล เยื้องออกจากตำแหน่งเดิม เป็นระยะทางร้อยละ 5 ของมิติของอาคารในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของแรงเฉือน

ในกรณีที่การออกแบบอาคารจำเป็นต้องพิจารณาผลรวมของแรงแผ่นดินไหวใน 2 ทิศทางหลักที่ตั้งฉากกัน การย้ายศูนย์กลางมวลเพื่อสร้าง M_{ta} นี้ให้ทำเพียงทิศทางเดียว แต่ต้องเป็นทิศทางที่สร้างให้เกิดแรงบิดโดยบังเอิญที่รุนแรงกว่า

3.5.3 การขยายแรงบิดโดยบังเอิญ

ในกรณีที่อาคารมีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ค หรือ ง และมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวระนาบ แบบ 1ก หรือ 1ข จะต้องขยายค่าแรงบิดโดยบังเอิญในทุกๆ 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} 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

3.6 การพลิกคว่ำ

อาคารจะต้องได้รับการออกแบบให้ทนต่อแรงสถิตเทียบเท่าได้โดยไม่เกิดการพลิกคว่ำ

3.7 การคำนวณค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (Design Story Drift, Δ) จะต้องคำนวณจาก ผลต่างระหว่างการเคลื่อนตัวในแนวราบที่จุดศูนย์กลางมวลของชั้นบนและชั้นล่างที่พิจารณา (รูปที่ 3.7-1) โดยที่การเคลื่อนตัวในแนวราบที่ศูนย์กลางมวลของชั้นใด ๆ จะต้องคำนวณจาก

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I} \qquad (3.7\text{-}1)$$

โดยที่ C_d คือ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว ตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 2.3

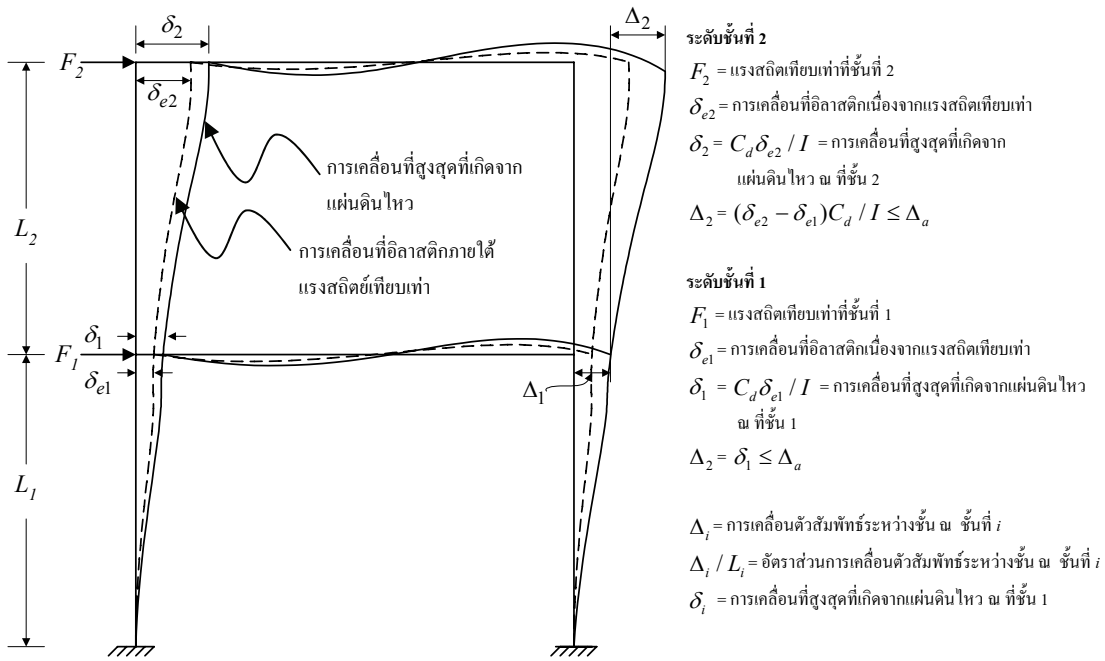
δ_{xe} คือ ค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบที่จุดศูนย์กลางมวลของชั้น x เนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่าที่ได้จากวิธีวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับระบบอีลาสติก

I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคารตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 1.5

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาค่า δ_{xe} จะต้องพิจารณาถึงผลของการแตกร้าวขององค์อาคารคอนกรีตและอิฐก่อที่มีต่อค่าสติฟเนสขององค์อาคารเหล่านั้น ตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 2.8.3

ค่า Δ ที่คำนวณได้จะต้องมีค่าไม่เกิน Δ_a ตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 2.11.1

ในกรณีที่ผู้ออกแบบคำนวณค่าคาบการสั่นพื้นฐานของอาคารโดยใช้แบบจำลองโครงสร้างด้วยวิธี ข ในหัวข้อที่ 3.3 และได้ค่ามากกว่า 1.5 เท่าของค่าที่คำนวณได้จากวิธี ก อนุญาตให้นำค่าคาบการสั่นพื้นฐานนั้นไปคำนวณหาค่าแรงเฉือนที่ฐานอาคารตามสมการที่ 3.2-1 และ 3.2-2 และกระจายเป็นแรงตามชั้นต่าง ๆ ตามสมการที่ 3.4-1 และ 3.4-2 แล้วนำแรงดังกล่าวไปแทนที่แรงสถิตเทียบเท่าในการคำนวณหาค่า δ_{xe} โดยใช้แบบจำลองนั้น ๆ



รูปที่ 3.7-1 การพิจารณาค่าการเคลื่อนที่ด้านข้างของชั้นอาคาร

3.8 ผลของ P-Delta

ผลของ P-Delta (ซึ่งเกิดจากการเยื้องตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง) ที่มีต่อแรงเฉือนในแต่ละชั้น แรงและโมเมนต์ดัดในองค์อาคารต่าง ๆ และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบอาคารหากค่าสัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (Stability Coefficient, θ) ที่คำนวณจากสมการต่อไปนี้ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1

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

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

ค่า θ ที่คำนวณได้ไม่ว่ากรณีใด ๆ จะต้องมีค่าไม่เกิน $\theta_{\max}$ โดยที่

$$\theta_{\max} = \frac{0.5}{\beta C_d} \qquad (3.8\text{-}2)$$

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

หากค่า $\theta_{\max}$ มีค่ามากกว่า 2.5 ให้กำหนดค่า $\theta_{\max}$ เท่ากับ 2.5

หากค่า θ มีค่ามากกว่า 0.1 แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ $\theta_{\max}$ ผลของ P-Delta ที่มีต่อการเคลื่อนตัวและแรงภายในองค์อาคารต่าง ๆ จะต้องถูกนำมาพิจารณาในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ในกรณีดังกล่าวอนุญาตให้ประมาณการเพิ่มค่าการเคลื่อนตัวและแรงภายในองค์อาคารด้วยการคูณค่าเหล่านั้นด้วย $\frac{1}{(1-\theta)}$

หากค่า θ มีค่ามากกว่า $\theta_{\max}$ โครงสร้างมีโอกาสที่จะสูญเสียเสถียรภาพได้ จึงต้องทำการออกแบบโครงสร้างใหม่

ในกรณีที่การวิเคราะห์โครงสร้างได้รวมผลของ P-Delta เข้าไปแล้ว เช่น การวิเคราะห์ลำดับที่สอง (Second-order Analysis) อนุญาตให้นำค่า $(1+\theta)$ ไปหารค่า θ ในสมการ 3.8-1 ก่อน แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปตรวจสอบกับค่า $\theta_{\max}$ ในสมการ 3.8-2

บทที่ 4

การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์

4.1 ทั่วไป

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ (1) วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างแบบเชิงเส้น และ (2) วิธีแบบประวัติเวลา ซึ่งแบ่งย่อยได้เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างแบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้น ในการใช้วิธีวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นจะต้องทราบความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้างก่อนที่จะเริ่มทำการวิเคราะห์ได้

ดังนั้นในการออกแบบเพื่อกำหนดความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง วิศวกรผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum Analysis) ตามหัวข้อที่ 4.2 หรือ วิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างเชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Linear Response History Procedure) ตามหัวข้อที่ 4.3 โดยวิธีแบบประวัติเวลาจะมีความถูกต้องสูงกว่าวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

วิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Nonlinear Response History Procedure) ตามหัวข้อที่ 4.4 ใช้ในกรณีที่ต้องการตรวจพิสูจน์สมรรถนะของโครงสร้างที่มีความซับซ้อนหรือมีความสำคัญ ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ให้ค่าการตอบสนองที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ

4.2 วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

ในการออกแบบด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum Analysis) วิศวกรจะต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อคำนวณค่าคาบการสั่นและรูปร่างโหมดธรรมชาติของการสั่นไหวของโครงสร้าง โดยใช้แบบจำลองอาคารที่จำลองมวลและสติฟเนสของโครงสร้างอาคารอย่างถูกต้อง

4.2.1 จำนวนของโหมดที่ต้องพิจารณา

ในการวิเคราะห์จะต้องพิจารณารวมการตอบสนองจากหลายโหมดโดยจำนวนโหมดที่พิจารณาจะต้องเพียงพอที่จะทำให้ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Effective Modal Weight, or Modal Weight Participation) มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของน้ำหนักประสิทธิผลทั้งหมดของอาคาร สำหรับแต่

ละทิศทางของแผ่นดินไหวในแนวราบที่ตั้งฉากกัน โดยที่น้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมดสำหรับโหมดที่ m (W_m) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2-1

$$W_m = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} \phi_{im} w_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \phi_{im}^2 w_i} \qquad (4.2\text{-}1)$$

โดยที่ ϕ_{im} คือ ค่าการเคลื่อนตัวของระดับชั้นที่ i ของอาคารที่เกิดในโหมดที่ m ในทิศทางที่พิจารณา (ค่านี้หาได้จากรูปร่างโหมดธรรมชาติของการสั่นไหวของโครงสร้าง) w_i คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของชั้นที่ i ตามที่กำหนดในหัวข้อที่ 2.8.2 และ n คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคาร

4.2.2 การคำนวณค่าการตอบสนองแต่ละโหมด

การคำนวณค่าการตอบสนอง เช่น การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drifts) แรงที่ถ่ายลงสู่ฐานราก (Support Reaction Forces) หรือแรงภายในขององค์อาคาร (Member Forces) สำหรับแต่ละโหมดจะต้องคำนวณโดยใช้คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของแต่ละโหมด และใช้สเปกตรัมการตอบสนองที่กำหนดในหัวข้อที่ 1.4.5 ซึ่งเป็นการตอบสนองสูงสุดของระบบยืดหยุ่นเชิงเส้น

ค่าแรงภายในที่ใช้สำหรับออกแบบกำลังความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง ให้ใช้ค่าการตอบสนองสูงสุดของระบบยืดหยุ่นเชิงเส้นคูณด้วย $\frac{I}{R}$ โดยที่ R คือ ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง และ I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร (ตารางที่ 2.3-1 และ 1.5-1 ตามลำดับ)

การเคลื่อนตัวและการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ประมาณว่าจะเกิดขึ้นจริง ซึ่งพิจารณาผลของการตอบสนองแบบอินอีลาสติก คำนวณได้จากการเคลื่อนตัวและการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นภายใต้แรงที่ใช้ออกแบบกำลังความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง (ค่าการเคลื่อนตัวที่คูณด้วย $\frac{I}{R}$) คูณด้วยค่า $\frac{C_d}{I}$ ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ประมาณว่าจะเกิดขึ้นจริงเป็นค่าที่ใช้ในการตรวจสอบตามข้อที่ 2.11.1

4.2.3 การรวมค่าการตอบสนองจากหลายโหมด

ค่าการตอบสนองสูงสุดของโครงสร้างหาได้จากการรวมค่าการตอบสนองจากหลายโหมดที่คำนวณตามหัวข้อ 4.2.2 เข้าด้วยกันโดยใช้วิธีรวมการตอบสนองที่เหมาะสม เช่น วิธีรากที่สองของผลรวมของค่ากำลังสอง (Square Root of Sum of Squares, SRSS) ดังสมการที่ 4.2-2

$$r_o = \sqrt{\sum_{n=1}^{N} r_{no}^2} \qquad (4.2\text{-}2)$$

โดยที่ r_o คือ ค่าการตอบสนองรวม, r_{no} คือ ค่าการตอบสนองสูงสุดของโหมดที่ n, และ N คือ จำนวนโหมดที่พิจารณา

หรือวิธีการรวมแบบสมบูรณ์ของค่ากำลังสอง (Complete Quadratic Combination, CQC) ดังสมการที่ 4.2-3

$$r_o = \sqrt{\sum_{i=1}^{N}\sum_{n=1}^{N}\rho_{in} r_{io} r_{no}} \qquad (4.2\text{-}3)$$

โดยที่ r_o คือ ค่าการตอบสนองรวม, r_{io} และ r_{no} คือ ค่าการตอบสนองสูงสุดของโหมดที่ i และ n ตามลำดับ, N คือ จำนวนโหมดที่พิจารณา และ ρ_{in} คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ซึ่งมีค่าดังสมการที่ 4.2-4

$$\rho_{in} = \frac{8\zeta^2(1+\beta_{in})\beta_{in}^{3/2}}{(1-\beta_{in}^2)^2 + 4\zeta^2\beta_{in}(1+\beta_{in})^2} \qquad (4.2\text{-}4)$$

โดยที่ β_{in} คืออัตราส่วนระหว่างค่าคาบการสั่นไหว ($\beta_{in} = T_n/T_i$) และ ζ คืออัตราส่วนความหน่วงของโหมดที่ i และ n ซึ่งต้องมีค่าเท่ากันจึงจะสามารถใช้สมการที่ 4.2-4 อาคารทั่วไปมีอัตราส่วนความหน่วงประมาณร้อยละ 5 ถ้ามีข้อมูลที่เชื่อถือได้ว่าโครงสร้างที่กำลังพิจารณามีอัตราส่วนความหน่วงเป็นค่าอื่น ให้ใช้ค่านั้น

โดยทั่วไปให้ใช้วิธี SRSS ยกเว้นเมื่อโครงสร้างมีคาบการสั่นของสองโหมดมีค่าใกล้เคียงกัน (อัตราส่วนระหว่างค่าคาบการสั่นไหวของสองโหมด β_{in} ที่ $i \neq n$ มีค่าระหว่าง 0.67 ถึง 1.5) ต้องใช้วิธี CQC เช่น ในกรณีที่คาบการสั่นของโหมดการโยกตัวมีค่าใกล้เคียงกับคาบการสั่นของโหมดการบิดตัวของอาคาร ซึ่งทำให้มีการปฏิสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของทั้งสองโหมดอย่างมีนัยสำคัญ

4.2.4 การปรับค่าการตอบสนองเพื่อใช้ในการออกแบบ

แรงภายในที่ใช้ในการออกแบบจากวิธีเชิงพลศาสตร์ไม่ควรต่างจากแรงภายในที่ใช้ในการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่ามากเกินไป ดังนั้นจึงให้คำนวณแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear, V) ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Lateral Force Procedure) ตามวิธีในบทที่ 3 โดยคำนวณแรงสำหรับแต่ละทิศทางที่ตั้งฉากกันในแนวราบ และใช้ค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง (Fundamental Period, T) ที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ในแต่ละทิศทาง

หากค่าคาบการสั่นที่คำนวณได้จากวิธีเชิงพลศาสตร์มีค่ามากกว่า 1.5 เท่าของค่าคาบการสั่น ที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.3-1 หรือ 3.3-2 ให้กำหนดค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างเท่ากับ 1.5 เท่าของค่าคาบการสั่น ที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.3-1 หรือ 3.3-2 ในทิศทางนั้นๆ ข้อกำหนดนี้มี

วัตถุประสงค์เพื่อป้องกันไม่ให้ใช้ค่าแรงเฉือนที่ต่ำเกินไปเพราะโดยทั่วไปค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง ที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์มักจะมีค่ามากกว่าคาบการสั่นพื้นฐานที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.3-1 หรือ 3.3-2 เนื่องจากแบบจำลองคณิตศาสตร์อาจจะไม่ได้พิจารณาสติฟเนสจากส่วนประกอบย่อยของอาคารครบทุกชิ้นส่วน

หากค่าแรงเฉือนที่ฐานจากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ (Modal Base Shear, V_t) ซึ่งคำนวณจากการรวมการตอบสนองของโหมดต่าง ๆ ตามหัวข้อ 4.2.3 มีค่าน้อยกว่า 85% ของค่าแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear, V) ที่ได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่าข้างต้น ให้ปรับค่าแรงภายในที่ใช้ในการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์โดยคูณด้วยค่า $0.85\frac{V}{V_t}$ ทั้งนี้ไม่ต้องคูณปรับค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drifts) ที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์

4.2.5 การกระจายแรงเฉือนในแนวราบ

การกระจายแรงเฉือนในแนวราบให้เป็นไปตามหัวข้อที่ 3.5 โดยไม่ต้องคูณขยายโมเมนต์บิดโดยบังเอิญ (หัวข้อที่ 3.5.3) หากได้พิจารณาผลกระทบจากโมเมนต์บิดโดยบังเอิญ (หัวข้อที่ 3.5.2) รวมอยู่ในการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์แล้ว

การพิจารณาโมเมนต์บิดโดยบังเอิญในการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ให้ทำโดยขยับจุดศูนย์กลางมวลให้เคลื่อนไปจากเดิมเป็นระยะ 0.05 เท่าของความยาวอาคารด้านที่ตั้งฉากกับทิศทางแผ่นดินไหวที่กำลังพิจารณา โดยแยกพิจารณาแต่ละกรณีของการขยับไปทั้งสองทิศทางไปและกลับ ตามแนวแกนหลักของโครงสร้างทั้งสองแกนที่ตั้งฉากกันในแนวราบ รวม 4 กรณี แล้วใช้ค่าที่วิกฤตที่สุดจากทุกกรณีในการออกแบบ

4.2.6 ผลของ P-Delta

การพิจารณาผลของ P-Delta ให้เป็นไปตามหัวข้อที่ 3.8 โดยการคำนวณค่า θ ตามสมการที่ 3.8-1 ให้ใช้ค่าแรงเฉือนสำหรับการออกแบบที่ถูกคูณปรับค่าตามหัวข้อที่ 4.2.2 และ 4.2.4 แล้ว และใช้ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่คูณด้วย $\frac{C_d}{I}$ แล้ว

4.3 วิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา

เมื่อใช้วิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างเชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Linear Response History Procedure) ในการออกแบบโครงสร้าง ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

4.3.1 ข้อกำหนดสำหรับการวิเคราะห์

การวิเคราะห์โครงสร้างเชิงเส้นแบบประวัติเวลาเป็นการวิเคราะห์หาการตอบสนองที่ทุกขณะเวลาที่เกิดการสั่นไหวของโครงสร้างที่ถูกกระตุ้นด้วยความเร่งของพื้นดินที่ฐานอาคาร โดยการคำนวณปริพันธ์เชิงตัวเลข (Numerical Integration) ในการวิเคราะห์จะต้องมีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้นของโครงสร้าง และต้องมีข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดินที่ใช้กระทำที่ฐานอาคาร โดยข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดินจะต้องสอดคล้องกับสเปกตรัมการตอบสนองที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร รายละเอียดของการวิเคราะห์จะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดในหัวข้อ 4.3 นี้

4.3.2 แบบจำลองของโครงสร้าง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 2.8

4.3.3 การสั่นไหวของพื้นดิน

การวิเคราะห์จะต้องใช้ประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน (Ground Acceleration Time Histories) ที่เหมาะสมกระทำที่ฐานอาคารไม่น้อยกว่า 3 ชุด และวิเคราะห์หาการตอบสนองของอาคารต่อแผ่นดินไหวแต่ละชุด โดยการสั่นไหวของพื้นดินที่ใช้จะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดต่อไปนี้

4.3.3.1 การวิเคราะห์แบบ 2 มิติ

ในการวิเคราะห์แบบ 2 มิติ ให้ใช้การสั่นไหวของพื้นดินแต่ละชุดเป็นประวัติเวลาของความเร่งในแนวราบซึ่งเลือกจากข้อมูลที่บันทึกได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวจริง (Actual Recorded Ground Motion) โดยเป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาด กลไกของแหล่งกำเนิด ระยะห่างจากจุดกำเนิด และระดับความรุนแรงของการสั่นไหว สอดคล้องกับแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาในการออกแบบ (Maximum Considered Earthquake, MCE)

หากมีจำนวนชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่บันทึกได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวจริงไม่เพียงพอ ให้ใช้การสั่นไหวของพื้นดินที่สร้างขึ้นจากสถานการณ์จำลอง (Simulated Ground Motion) มาทดแทนจำนวนการสั่นไหวของพื้นดินที่ไม่เพียงพอ

การสั่นไหวของพื้นดินจะต้องถูกคูณปรับค่าด้วยค่าคงที่ โดยต้องทำให้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมการตอบสนองที่มีอัตราส่วนความหน่วง 5% มีค่าไม่ต่ำกว่าสเปกตรัมการตอบสนองที่ใช้ในการออกแบบ (หัวข้อที่ 1.4.5) ตลอดช่วงคาบการสั่นระหว่าง $0.2T$ ถึง $1.5T$ โดยที่ T คือ ค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างในทิศทางที่ทำการวิเคราะห์

4.3.3.2 การวิเคราะห์แบบ 3 มิติ

ในการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ การสั่นไหวของพื้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์แต่ละชุดจะต้องประกอบด้วยคู่ของความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทางที่ตั้งฉากกัน ซึ่งบันทึกได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวเดียวกันที่สถานีเดียวกัน โดยจะต้องเลือกการสั่นไหวของพื้นดินจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาด กลไกของแหล่งกำเนิด ระยะห่างจากจุดกำเนิด และระดับความรุนแรงของการสั่นไหว สอดคล้องกับแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาในการออกแบบ

หากมีจำนวนชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่บันทึกได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวจริงไม่เพียงพอ ให้ใช้การสั่นไหวของพื้นดินที่สร้างขึ้นจากสถานการณ์จำลอง (Simulated Ground Motion) มาทดแทนจำนวนข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่ไม่เพียงพอ

สำหรับแต่ละชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินซึ่งประกอบด้วยความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทาง ให้คำนวณสเปกตรัม SRSS ซึ่งเป็นค่ารากที่สองของผลรวมของค่ายกกำลังสอง (Square Root of Sum of Squares) ของสเปกตรัมการตอบสนองสำหรับสองทิศทางนั้น สำหรับอัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 5% ความเร่งของพื้นดินทั้งสองทิศทางในแต่ละชุดต้องถูกคูณปรับค่าด้วยค่าคงที่เดียวกัน โดยการคูณปรับค่าจะต้องทำให้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัม SRSS มีค่าไม่น้อยกว่า 1.17 เท่าของสเปกตรัมสำหรับออกแบบ (หัวข้อที่ 1.4.5) ที่ทุกคาบการสั่นระหว่าง $0.2T$ ถึง $1.5T$ โดยที่ T คือ ค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างในทิศทางที่ทำการวิเคราะห์

4.3.4 ค่าการตอบสนอง

ค่าแรงภายในที่ใช้สำหรับออกแบบกำลังความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง ให้ใช้ค่าการตอบสนองสูงสุดของระบบยืดหยุ่นเชิงเส้นคูณด้วย $\frac{I}{R}$ โดยที่ R คือ ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor) และ I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร (ตารางที่ 2.3-1 และ 1.5-1 ตามลำดับ)

สำหรับการตอบสนองต่อการสั่นไหวของพื้นดินชุดที่ i ค่าแรงเฉือนที่ฐานสูงสุด V_i จากวิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างเชิงเส้นแบบประวัติเวลา ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ออกแบบจะต้องไม่น้อยกว่าค่าขั้นต่ำสุดที่กำหนดไว้ในการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า $V_{\min} = 0.01W$ โดยที่ W คือ น้ำหนักประสิทธิผลของอาคาร ถ้าแรงเฉือนที่ฐาน V_i มีค่าน้อยกว่าแรงเฉือนขั้นต่ำ $V_{\min}$ จะต้องคูณปรับค่าแรงเฉือนที่ฐาน V_i และแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง Q_{Ei} ด้วยค่า $\frac{V_{\min}}{V_i}$

ถ้าทำการวิเคราะห์โดยใช้การสั่นไหวของพื้นดินไม่น้อยกว่า 7 ชุด ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง Q_{Ei} เนื่องจากการสั่นไหวของพื้นดินทุกชุด ในการออกแบบตามการรวมผลของแรง

ในหัวข้อที่ 2.5 และให้ใช้ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น Δ_i เนื่องจากการสั่นไหวของพื้นดินทุกชุด ในการตรวจสอบตามหัวข้อที่ 2.11.1

ถ้าทำการวิเคราะห์โดยใช้การสั่นไหวของพื้นดินน้อยกว่า 7 ชุด ต้องใช้ค่าสูงสุดของแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง Q_{Ei} เนื่องจากการสั่นไหวของพื้นดินชุดต่างๆ ในการออกแบบตามการรวมผลของแรงในหัวข้อที่ 2.5 และให้ใช้ค่าสูงสุดของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น Δ_i เนื่องจากการสั่นไหวของพื้นดินชุดต่างๆ ในการตรวจสอบตามหัวข้อที่ 2.11.1

ในการรวมผลของแรงเพื่อการออกแบบที่มีการพิจารณาผลของกำลังส่วนเกิน (Overstrength Factor ในหัวข้อที่ 2.5) ไม่ต้องใช้ค่า $\Omega_0 Q_E$ มากกว่าแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้างสูงสุดที่ได้จากการวิเคราะห์ก่อนคูณด้วย $\frac{I}{R}$

4.4 วิธีวิเคราะห์การตอบสนองไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา

เมื่อใช้วิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Nonlinear Response History Procedure) ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

4.4.1 ข้อกำหนดสำหรับการวิเคราะห์

การวิเคราะห์โครงสร้างไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลาเป็นการวิเคราะห์หาการตอบสนองที่ทุกขณะเวลาที่เกิดการสั่นไหวของโครงสร้างที่ถูกกระตุ้นด้วยความเร่งของพื้นดินที่ฐานอาคาร การวิเคราะห์ใช้วิธีการคำนวณปริพันธ์เชิงตัวเลข (Numerical Integration) โดยมีการจำลองพฤติกรรมไม่เชิงเส้นแบบวัฏจักรของวัสดุในโครงสร้างที่เกิดความเสียหายเกินจุดคราก ในการวิเคราะห์จะต้องมีข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดินที่ใช้กระทำที่ฐานอาคาร โดยข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดินจะต้องสอดคล้องกับสเปกตรัมการตอบสนองที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร รายละเอียดของการวิเคราะห์จะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดในหัวข้อ 4.4 นี้

4.4.2 แบบจำลองของโครงสร้าง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างจะต้องมีการกระจายมวลที่ตำแหน่งต่างๆตามที่เป็นจริงตลอดทั้งโครงสร้าง

แบบจำลองจะต้องสามารถจำลองพฤติกรรมแบบวัฏจักรขององค์อาคารได้สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มีการพิจารณาบริเวณที่จะเกิดการครากของวัสดุที่สำคัญ พิจารณาการเสื่อมถอยของสติฟเนสและกำลังความแข็งแรง รวมถึง Hysteretic Pinching (ถ้ามี) ตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

กำลังของวัสดุให้ใช้ค่าคาดหมายตามที่น่าจะเป็นจริง โดยคำนึงถึงกำลังส่วนเกิน (Overstrength) การเพิ่มขึ้นของกำลังต้านทานหลังการคราก (Strain Hardening) การสูญเสียกำลังแบบวัฏจักร (Hysteretic Strength Degradation)

สำหรับชิ้นส่วนที่พิสูจน์ได้ว่ายังมีพฤติกรรมอยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น สามารถใช้แบบจำลองแบบยืดหยุ่นเชิงเส้นเฉพาะส่วนนั้นได้โดยให้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุเหล่านั้นตามหัวข้อที่ 2.8

ฐานของโครงสร้างให้สมมติว่าเป็นแบบยึดแน่น หรืออาจใช้รูปแบบของจุดรองรับแบบอื่นได้ โดยต้องพิจารณาจากสติฟเนสและลักษณะการรับแรงของฐานรากที่สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของพื้นดินที่ตั้ง และความถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

สำหรับโครงสร้างที่มีความสม่ำเสมอของรูปทรงและการกระจายของมวลและสติฟเนส (Regular Structures) และมีระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้างที่เป็นอิสระแยกจากกันในสองทิศทางที่ตั้งฉากกันในแนวราบ สามารถใช้แบบจำลองแบบสองมิติในการวิเคราะห์แยกกันในแต่ละทิศทางได้

สำหรับโครงสร้างที่มีความไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบ ประเภท 1ก, 1ข, 4, หรือ 5 (หัวข้อที่ 2.4.2.1) หรือ โครงสร้างที่ไม่มีระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้างที่เป็นอิสระและตั้งฉากกัน จะต้องใช้แบบจำลองสามมิติ โดยจะต้องมีระดับขั้นความเสรีทางพลศาสตร์ (Dynamic Degrees of Freedom) อย่างน้อยเท่ากับ 3 ที่แต่ละชั้นของอาคารโดยเป็นการเคลื่อนตัวของ 2 ทิศทางที่ตั้งฉากกันในแนวราบและการหมุนรอบแกนดิ่ง

หากไดอะแฟรม (แผ่นพื้น) ไม่ใช่แบบแข็งเมื่อเทียบกับระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้าง แบบจำลองจะต้องพิจารณาความอ่อนตัวของไดอะแฟรมด้วย และเพิ่มระดับขั้นความเสรีที่จำเป็นในการพิจารณาการตอบสนองทางพลศาสตร์ของไดอะแฟรมด้วย

4.4.3 การสั่นไหวของพื้นดินและน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ

การสั่นไหวของพื้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้เป็นไปตามหัวข้อที่ 4.3.3 โดยจะต้องวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างภายใต้การสั่นไหวของพื้นดิน โดยมีน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมดและน้ำหนักบรรทุกจรไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของค่าที่ใช้ออกแบบกระทำพร้อมกัน น้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งนี้ไม่สามารถแยกคำนวณและนำไปรวมในภายหลังได้เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของโครงสร้าง

4.4.4 ค่าการตอบสนอง

ผลการวิเคราะห์หาการตอบสนองของโครงสร้างต่อการสั่นไหวของพื้นดินชุดที่ i ที่ต้องการได้แก่ แรงในชิ้นส่วนโครงสร้างสูงสุด (Member Forces, Q_{Ei}) การโก่งตัวอินอีลาสติกขององค์อาคาร (Member Inelastic Deformations, ψ_i) และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drifts, Δ_i)

ถ้าทำการวิเคราะห์โดยใช้การสั่นไหวของพื้นดินไม่น้อยกว่า 7 ชุด ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง Q_{Ei} และค่าเฉลี่ยของการโก่งตัวอินอีลาสติกขององค์อาคาร ψ_i เนื่องจากการสั่นไหวของพื้นดินทุกชุดในการออกแบบ และให้ใช้ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น Δ_i เนื่องจากการสั่นไหวของพื้นดินทุกชุด ในการตรวจสอบตามหัวข้อที่ 2.11.1

ถ้าทำการวิเคราะห์โดยใช้การสั่นไหวของพื้นดินน้อยกว่า 7 ชุด ต้องใช้ค่าสูงสุดของแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง Q_{Ei} และค่าสูงสุดของการโก่งตัวอินอีลาสติกขององค์อาคาร ψ_i เนื่องจากการสั่นไหวของพื้นดินชุดต่างๆ ในการออกแบบ และให้ใช้ค่าสูงสุดของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น Δ_i เนื่องจากการสั่นไหวของพื้นดินชุดต่างๆ ในการตรวจสอบตามหัวข้อที่ 2.11.1

4.4.4.1 การตรวจสอบกำลังของชิ้นส่วนองค์อาคาร

ไม่ต้องตรวจสอบกำลังต้านทานแรงของชิ้นส่วนองค์อาคารต่อผลรวมของแรงตามหัวข้อที่ 2.5.2 ค่าสูงสุดของแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง (Q_{Ei}) ที่คำนวณได้ต้องไม่เกินกำลังต้านทานแรงภายในของชิ้นส่วนนั้น

4.4.4.2 การตรวจสอบการเปลี่ยนรูปของชิ้นส่วนองค์อาคาร

ผู้ออกแบบจะต้องประเมินความสามารถของแต่ละชิ้นส่วนองค์อาคารและจุดต่อในการทนต่อการโก่งตัว (ψ_i) ที่ประมาณค่าได้จากการวิเคราะห์ โดยให้พิจารณาจากผลการทดสอบชิ้นส่วนองค์อาคารที่มีลักษณะคล้ายกันในห้องปฏิบัติการ ในการประเมินนี้จะต้องคำนึงถึงผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งและน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ ต่อความสามารถในการทนต่อการโก่งตัว (ψ_i) ของชิ้นส่วนองค์อาคารด้วย

ค่าการโก่งตัวจะต้องไม่เกินกว่าสองในสาม ของค่าการโก่งตัวที่ทำให้องค์อาคารสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง หรือค่าการโก่งตัวที่องค์อาคารเหลือกำลังต้านทานแรงน้อยกว่า 67% ของกำลังต้านทานแรงสูงสุด

4.4.4.3 การตรวจสอบการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นภายใต้แผ่นดินไหวออกแบบ (Design Story Drift, Δ_i) ที่ได้จากการวิเคราะห์จะต้องไม่เกิน 1.25 เท่าของค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ (หัวข้อที่ 2.11.1)

4.4.5 การตรวจสอบการออกแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ควรจะมีการตรวจสอบการออกแบบระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้าง และการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยคณะผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบที่ไม่เกี่ยวข้องกับผู้ออกแบบหลัก โดยคณะผู้เชี่ยวชาญควรประกอบด้วยผู้ที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์ด้านแผ่นดินไหว ทฤษฎี และประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์โครงสร้างแบบไม่เชิงเส้นภายใต้แผ่นดินไหว และพฤติกรรมของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร

การตรวจสอบการออกแบบควรมีการตรวจสอบเกี่ยวกับหัวข้อดังต่อไปนี้เป็นอย่างน้อย

(1) ตรวจสอบเกณฑ์การเลือกแผ่นดินไหวที่พิจารณาในการออกแบบสำหรับบริเวณที่ตั้งอาคารโดยเฉพาะ รวมถึงการสร้างสเปกตรัมการตอบสนองสำหรับพื้นที่นั้นโดยเฉพาะ และการเลือกใช้ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดิน

(2) ตรวจสอบเกณฑ์การยอมรับซึ่งใช้ในการตัดสินว่าชิ้นส่วนย่อยของโครงสร้างและโครงสร้างทั้งระบบสามารถทนต่อแรงและการโก่งตัวที่คำนวณได้หรือไม่ เช่น กำลังต้านทานแรงและการโก่งตัวที่ยอมให้ รวมถึงการตรวจสอบผลการทดสอบและข้อมูลอื่นๆ ที่ใช้สนับสนุนการกำหนดเกณฑ์การยอมรับเหล่านี้

(3) ตรวจสอบการออกแบบเบื้องต้น (Preliminary Design) รวมถึงการเลือกระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้าง และการจัดวางตำแหน่งและรูปร่างขององค์ประกอบต่างๆ ของโครงสร้าง

(4) ตรวจสอบผลการออกแบบขั้นสุดท้ายของระบบโครงสร้างทั้งหมด และตรวจสอบการวิเคราะห์ที่ใช้ประกอบการออกแบบทั้งหมด

บทที่ 5

การให้รายละเอียดโครงสร้าง

5.1 โครงสร้างเหล็ก

โครงสร้างอาคารรวมทั้งฐานรากที่ก่อสร้างด้วยเหล็กจะต้องได้รับการออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้และในมาตรฐานอ้างอิงตลอดจนข้อกำหนดเพิ่มเติมที่กำหนดในบทนี้

5.1.1 มาตรฐานสำหรับการออกแบบ

การออกแบบ การก่อสร้าง และ คุณภาพขององค์อาคารเหล็กต้านทานแผ่นดินไหวจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องของมาตรฐานที่อ้างถึงในหัวข้อ 1.1.3

5.1.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบโครงสร้าง

(ก) ในการออกแบบอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ข หรือ แบบ ค อนุญาติให้ใช้ระบบโครงสร้างและค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง ตามที่ระบุในตารางที่ 2.3-1 หากโครงสร้างนั้นได้ถูกจัดทำรายละเอียด (Detailing) ตามข้อกำหนดของ AISC341 สำหรับโครงสร้างเหล็ก และ AISI-Lateral สำหรับโครงสร้างเบาขึ้นรูปเย็น แต่ถ้ามิได้จัดทำรายละเอียดตามข้อกำหนดดังกล่าว ผู้ออกแบบจะต้องใช้ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนองของ “ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว” ในตารางที่ 2.3-1 ในการออกแบบโครงสร้างนั้นๆ

(ข) ในการออกแบบอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง ระบบโครงสร้างจะต้องได้รับการออกแบบและจัดทำรายละเอียดตามข้อกำหนดของ AISC341 สำหรับโครงสร้างเหล็ก และ AISI-Lateral สำหรับโครงสร้างเบาขึ้นรูปเย็น

5.1.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับเสาเข็มเหล็กสำหรับอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง

การออกแบบและจัดทำรายละเอียดเสาเข็มเหล็กหน้าตัด H จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ AISC 341 และ รอยต่อระหว่างแท่นหัวเข็ม (Pile Cap) และ เสาเข็มเหล็ก หรือ เข็มท่อเหล็กที่ไม่ได้บรรจุคอนกรีตจะต้องออกแบบให้รับแรงดึงไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของกำลังรับแรงอัดของหน้าตัดเสาเข็ม

5.2 โครงสร้างคอนกรีต

โครงสร้างอาคารรวมทั้งฐานรากที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวจะต้องได้รับการออกแบบและจัดทำรายละเอียดการเสริมเหล็กให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ และในมาตรฐานอ้างอิง ตลอดจนข้อกำหนดเพิ่มเติมที่กำหนดในบทนี้

ข้อกำหนดในบทนี้ไม่ครอบคลุมถึงระบบโครงสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูป และ ระบบโครงสร้างคอมโพสิต ยกเว้น เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ

5.2.1 มาตรฐานสำหรับการออกแบบ

การออกแบบและการก่อสร้างองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กต้านทานแผ่นดินไหวจะต้องปฏิบัติตามมาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว มยผ. 1301 และ บทที่ 21 ข้อกำหนดพิเศษสำหรับการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวของมาตรฐาน ACI 318 (Building code requirements for Structural Concrete) และข้อกำหนดเพิ่มเติมในบทนี้ ในกรณีที่ข้อกำหนดในมาตรฐานเหล่านี้มีความขัดแย้งกัน ให้ใช้ข้อกำหนดที่เข้มงวดที่สุดในการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

5.2.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหว

(ก) ในการออกแบบอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ข อนุญาตให้ใช้ระบบโครงสร้างธรรมดา หรือ โครงสร้างที่มีความเหนียวจำกัด (ความเหนียวปานกลาง) หรือโครงสร้างที่มีความเหนียวพิเศษในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว ทั้งนี้จะต้องคำนวณแรงและจัดทำรายละเอียดการเสริมเหล็กสำหรับโครงสร้างชนิดนั้นๆ ให้เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบที่เกี่ยวข้อง

(ข) ในการออกแบบอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ค อนุญาตให้ใช้โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด (ความเหนียวปานกลาง) หรือ โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ หรือ กำแพงโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดาหรือ แบบที่มีความเหนียวจำกัด (ความเหนียวปานกลาง) หรือ แบบที่มีความเหนียวพิเศษ ในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว ทั้งนี้จะต้องคำนวณแรงและจัดทำรายละเอียดการเสริมเหล็กสำหรับโครงสร้างชนิดนั้นๆ ให้เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบที่เกี่ยวข้อง

(ค) ในการออกแบบอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง ให้ใช้โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ หรือ กำแพงโครงสร้างแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ รวมทั้งแผ่นไดอะแฟรม โครงถัก และ ฐานรากที่ได้รับการออกแบบและจัดทำรายละเอียดการเสริมเหล็กเป็นไปตามข้อ 21.2 ถึง 21.10 ของบทที่ 21 มาตรฐาน ACI318 เป็นโครงสร้างต้านทาน

แผ่นดินไหว สำหรับองค์อาคารหรือส่วนของโครงสร้างที่ไม่ได้ออกแบบให้ต้านทานแผ่นดินไหว ให้ออกแบบองค์อาคารหรือส่วนของโครงสร้างเหล่านั้นตามข้อ 21.11 ของบทที่ 21 มาตรฐาน ACI318

5.2.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับรายละเอียดการเสริมเหล็กสำหรับเสาเข็มคอนกรีตของอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ค

(ก) เสาเข็มคอนกรีตและเสาเข็มท่อที่บรรจุคอนกรีตภายในจะต้องยึดกับแท่นหัวเข็ม (Pile Cap) ด้วยการฝังเหล็กเสริมของเสาเข็มเข้าไปในแท่นหัวเข็มเป็นระยะเท่ากับระยะฝังยึด หรือ ใช้เหล็กเดือย (dowels) ฝังเข้าไปในเสาเข็ม โดยระยะฝังยึดจะต้องมีความยาวเพียงพอที่จะทำให้เหล็กเสริมสามารถพัฒนากำลังได้จนถึงจุดคราก และจะต้องไม่ลดความยาวลงเนื่องจากการใช้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเกินกว่าที่ต้องการ ในบริเวณปลายบนเสาเข็มวัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มลงมา ต้องใส่เหล็กปลอกโอบรัดให้เพียงพอตามที่กำหนดในมาตรฐานนี้ หากต้องตัดหัวเข็มในขั้นตอนการก่อสร้างฐานราก จะต้องมิให้การตัดหัวเข็มทำให้ระยะเสริมเหล็กโอบรัดนั้นสั้นกว่าที่กำหนดในมาตรฐานนี้

(ข) การเสริมเหล็กในเสาเข็มคอนกรีตที่ไม่มีปลอกโลหะ จะต้องเสริมเหล็กให้เสาเข็มมีกำลังต้านทานแรงภายในที่เกิดจากแผ่นดินไหวตามที่วิเคราะห์ได้ และเหล็กเสริมตามยาวจะต้องมีอย่างน้อย 4 เส้น โดยมีอัตราส่วนเหล็กเสริม (พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมต่อพื้นที่หน้าตัดเต็ม) ไม่น้อยกว่า 0.0025 และต้องเสริมเหล็กตามขวางตลอดระยะเสริมเหล็กขั้นต่ำซึ่งวัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มลงมา (ดูนิยามของระยะเสริมเหล็กขั้นต่ำในย่อหน้าข้างล่าง)

เหล็กเสริมตามยาวข้างต้นจะต้องวางเลยจากตำแหน่งระยะเสริมเหล็กขั้นต่ำต่อไปอีกเท่ากับระยะฝังยึดรับแรงดึง

ภายในระยะ 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มวัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มลงมา เหล็กปลอกวงปิด หรือ เหล็กปลอกเกลียวต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 9 มม. มีระยะเรียงไม่เกิน 150 มม. หรือ 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กตามยาว

ตลอดความยาวที่เหลือของระยะเสริมเหล็กขั้นต่ำ ระยะเรียงของเหล็กปลอกตามขวางจะต้องไม่เกิน 16 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กตามยาว

ความยาวของระยะเสริมเหล็กขั้นต่ำวัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มให้ใช้ค่ามากระหว่าง

(1) 1 ใน 3 ของความยาวเสาเข็ม

(2) 3 เมตร

(3) สามเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม

(4) ความยาวเชิงดัดของเสาเข็ม ซึ่งหมายถึงความยาววัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มถึงตำแหน่งที่ค่าโมเมนต์แตกร้าวของหน้าตัดคอนกรีตเมื่อคูณด้วย 0.4 แล้วมีค่าเกินกว่าโมเมนต์ปรับ

ค่าที่เกิดจากการรวมแรงแผ่นดินไหวกับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งตามวิธีรวมผลของแรงสำหรับการออกแบบด้วยวิธีกำลังที่กำหนดในบทที่ 2.5

(ค) การเสริมเหล็กในเสาเข็มคอนกรีตที่มีปลอกโลหะ ให้เป็นไปตาม 5.2.3 (ข) แต่อนุญาตให้พิจารณาปลอกโลหะที่มีความหนาไม่ต่ำกว่า 14 เกจ (1.9 มิลลิเมตร) ทำหน้าที่แทนเหล็กปลอกโอบรัดได้บางส่วนหรือทั้งหมดขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการเหล็กปลอกที่ได้จากการวิเคราะห์ ถ้าหากว่าปลอกโลหะนั้นได้รับการปกป้องมิให้เกิดการเสียหาย เสื่อมสภาพ หรือ ผุกร่อน จากสารในดิน จากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ หรือ จากปัจจัยอื่นๆ ที่บ่งชี้จากการเจาะสำรวจดิน ณ สถานที่ก่อสร้าง

(ง) การเสริมเหล็กในเสาเข็มท่อที่บรรจุคอนกรีต ต้องเสริมเหล็กตามยาวที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 0.01 ที่บริเวณปลายด้านบนของเสาเข็ม และให้มีความยาววัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มลงมาไม่น้อยกว่าสองเท่าของระยะฝังเหล็กเข้าไปในแท่นหัวเข็ม

(จ) การเสริมเหล็กในเสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จชนิดไม่อัดแรง จะต้องเสริมเหล็กตามยาวที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 0.01 และจะต้องเสริมเหล็กตามขวางวงปิด หรือ เหล็กปลอกเกลียวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 10 มม. จัดให้มีระยะเรียงไม่เกิน 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กตามยาวเส้นเล็กสุด และ ไม่เกิน 150 มม. ภายในระยะสามเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มวัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็ม การจัดเหล็กปลอกนอกระยะดังกล่าวให้ใช้เหล็กปลอกวงปิด หรือ เหล็กปลอกเกลียวมีระยะเรียงไม่เกิน 16 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวแต่ไม่เกิน 200 มม. การเสริมเหล็กให้กระทำตลอดความยาวของเสาเข็ม

(ฉ) การเสริมเหล็กในเสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จชนิดอัดแรง ภายในระยะ 6 เมตรวัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มลงมา ต้องเสริมเหล็กปลอกเกลียวที่มีอัตราส่วนเชิงปริมาตรไม่น้อยกว่า 0.007 หรือปริมาณที่กำหนดโดยสมการ

$$\rho_s = \frac{0.12 f'_c}{f_{yh}} \qquad (5.2\text{-}1)$$

โดยที่

ρ_s = อัตราส่วนเชิงปริมาตร (ปริมาตรเหล็กปลอกเกลียว/ปริมาตรแกนคอนกรีต)

f'_c = กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (เมกาปาสกาล)

f_{yh} = กำลังครากของเหล็กปลอกเกลียว (เมกาปาสกาล) แต่ใช้ไม่เกิน 586 เมกาปาสกาล

ในช่วงความยาวที่เหลือของเสาเข็ม ต้องเสริมเหล็กปลอกเกลียวให้มีอัตราส่วนเชิงปริมาตรอย่างน้อยครึ่งหนึ่งของค่าที่กำหนดในสมการ 5.2-1

5.2.4 ข้อกำหนดรายละเอียดการเสริมเหล็กสำหรับเสาเข็มคอนกรีตของอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง

(ก) เมื่อใช้เสาเข็มคอนกรีตในชั้นดินประเภท E หรือ F ให้ออกแบบและจัดทำรายละเอียดการเสริมเหล็กให้เสาเข็มมีความเหนียวเป็นไปตามข้อ 21.4.4.1 ข้อ 21.4.4.2 และ ข้อ 21.4.4.3 ในบทที่ 21 ของมาตรฐาน ACI 318 ตลอดระยะ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มที่บริเวณปลายด้านบนของเสาเข็มวัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มลงมา และ ที่รอยต่อระหว่างชั้นดินที่แข็งกับชั้นดินที่มีโอกาสเกิด Liquefaction หรือ ที่รอยต่อระหว่างชั้นดินที่แข็งกับ ชั้นดินที่เป็นดินเหนียวอ่อนจนถึงดินเหนียวแข็งปานกลาง โดยบริเวณที่ต้องจัดรายละเอียดให้มีความเหนียวนี้ให้วัดจากรอยต่อขึ้นไปเป็นระยะ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม และ วัดจากรอยต่อลงมาเป็นระยะ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม

(ข) การเสริมเหล็กในเสาเข็มคอนกรีตที่ไม่มีปลอกโลหะ จะต้องเสริมเหล็กให้เสาเข็มมีกำลังต้านทานแรงภายในที่เกิดจากแผ่นดินไหวตามที่วิเคราะห์ได้ และเหล็กเสริมตามยาวจะต้องมีอย่างน้อย 4 เส้น โดยมีอัตราส่วนเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 0.005 และต้องเสริมเหล็กตามขวางให้มีความเหนียวตามข้อ 21.4.4.1 ข้อ 21.4.4.2 และ ข้อ 21.4.4.3 ของมาตรฐาน ACI 318 ตลอดระยะเสริมเหล็กขั้นต่ำที่วัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มลงมา เหล็กเสริมตามยาวจะต้องวางเลยจากระยะเสริมเหล็กขั้นต่ำต่อไปอีกเท่ากับระยะฝังเหล็กรับแรงดึง

ความยาวของระยะเสริมเหล็กขั้นต่ำให้ใช้ค่ามากระหว่าง

(1) ครึ่งหนึ่งของความยาวเสาเข็ม

(2) 3 เมตร

(3) สามเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม

(4) ความยาวเชิงดัดของเสาเข็ม ซึ่งหมายถึงความยาววัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มถึงตำแหน่งที่ค่าโมเมนต์แตกร้าวของหน้าตัดคอนกรีตเมื่อคูณด้วย 0.4 แล้วมีค่าเกินกว่าโมเมนต์ปรับค่าที่เกิดจากการรวมแรงแผ่นดินไหวกับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งตามวิธีรวมผลของแรงสำหรับการออกแบบด้วยวิธีกำลังที่กำหนดในบทที่ 2.5

สำหรับเสาเข็มในดินประเภท E หรือ F ให้เสริมเหล็กตามยาวและเหล็กโอบรัดตามขวางข้างต้นตลอดความยาวเสาเข็ม เหล็กปลอกจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 10 มม. สำหรับเสาเข็มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 500 มม. และ ไม่น้อยกว่า 12 มม. สำหรับเสาเข็มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 500 มม.

ในดินประเภท A ถึง D ให้เสริมเหล็กตามยาวและเหล็กปลอกข้างต้นเป็นระยะอย่างน้อย 7 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มที่ด้านบนและด้านล่างนับจากรอยต่อระหว่างดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลางกับชั้นดินที่เกิด Liquefaction ได้ แต่มีข้อยกเว้นสำหรับ

เหล็กปลอกที่อยู่นอกระยะเสริมเหล็กขั้นต่ำ ซึ่งอนุญาตให้ใช้เหล็กปลอกเกลียวที่มีอัตราส่วนเชิงปริมาตรไม่น้อยกว่า $0.06\sqrt{f'_c}/f_{yh}$ และระยะเรียงของเหล็กปลอกที่ไม่อยู่ในระยะเสริมเหล็กขั้นต่ำต้องไม่เกินกว่าค่าที่น้อยที่สุดระหว่าง 12 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กตามยาว ครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม และ 300 มม.

(ค) การเสริมเหล็กในเสาเข็มคอนกรีตที่มีปลอกโลหะ ให้เป็นไปตาม 5.2.4 (ข) แต่อนุญาตให้พิจารณาปลอกโลหะที่มีความหนาไม่ต่ำกว่า 14 เกจ (1.9 มิลลิเมตร) ทำหน้าที่แทนเหล็กปลอกโอบรัดได้บางส่วนหรือทั้งหมดขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการเหล็กปลอกที่ได้จากการวิเคราะห์ ถ้าหากว่าปลอกโลหะนั้นได้รับการปกป้องมิให้เกิดการเสียหาย เสื่อมสภาพ หรือ ผุกร่อน จากสารในดิน จากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ หรือ จากปัจจัยอื่นๆ ที่บ่งชี้จากการเจาะสำรวจดิน ณ สถานที่ก่อสร้าง

(ง) การเสริมเหล็กในเสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จชนิดไม่อัดแรง ให้เสริมเหล็กปลอกโอบรัดที่เป็นเหล็กปลอกเดี่ยวหรือเหล็กปลอกเกลียวตามข้อ 21.4.4.1, 21.4.4.2 และ 21.4.4.3 ของมาตรฐาน ACI 318 ภายในระยะ 3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มวัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มลงมา และ อนุญาติให้ใช้เหล็กเสริมตามขวางที่มีอัตราส่วนเชิงปริมาตรไม่น้อยกว่า $0.06\sqrt{f'_c}/f_{yh}$ ในบริเวณความยาวที่เหลือ

(จ) การเสริมเหล็กในเสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จชนิดอัดแรง

การเสริมเหล็กปลอกโอบรัดให้ปฏิบัติตามข้อ 5.2.3 และข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

(1) ไม่ต้องใช้ข้อกำหนดในบทที่ 21 ของมาตรฐาน ACI318

(2) เมื่อความยาวเสาเข็มที่ฝังในดินน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 เมตร ให้ถือว่าตลอดความยาวของเสาเข็มทั้งหมดต้องได้รับการจัดรายละเอียดให้มีความเหนียว เมื่อเสาเข็มมีความยาวมากกว่า 10 เมตร ให้ถือเอาค่ามากระหว่าง 10 เมตร และระยะจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มถึงจุดที่การดัดเป็นศูนย์บวกสามเท่าของมิติด้านน้อยของเสาเข็มเป็นช่วงความยาวเข็มที่ต้องได้รับการจัดรายละเอียดให้มีความเหนียว

(3) ในช่วงความยาวของเข็มที่ต้องมีความเหนียว ระยะจากศูนย์ถึงศูนย์ของเหล็กปลอกเกลียวหรือเหล็กปลอกโอบรัดจะต้องไม่เกินค่าที่น้อยที่สุดระหว่าง หนึ่งในห้าของมิติที่น้อยที่สุดของเสาเข็ม 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเกลียวอัดแรง และ 200 มม

(4) เหล็กปลอกเกลียวจะต้องทาบต่อด้วยระยะทาบหนึ่งรอบเต็มด้วยการเชื่อมหรือตัวยึดเชิงกล เมื่อใช้การทาบเหล็กปลอกเกลียว ปลายของเหล็กปลอกเกลียวตรงบริเวณที่ทำการทาบเหล็กจะต้องทำของอต้านทานแผ่นดินไหวตาม มยผ.1301 การเชื่อมและการใช้ตัวยึดเชิงกลต้องเป็นไปตามข้อ 12.14.3 ของมาตรฐาน ACI318

(5) เมื่อใช้เหล็กปลอกเกลียวหรือเหล็กปลอกวงปิดรูปวงกลมเป็นเหล็กตามขวาง อัตราส่วนเชิงปริมาตรในบริเวณที่ต้องทำให้เหนียวจะต้องมีค่าตามสมการ

$$\rho_s = 0.25\left(\frac{f'_c}{f_{yh}}\right)\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1.0\right)\left(0.5 + \frac{1.4P}{f'_c A_g}\right) \qquad (5.2\text{-}2)$$

แต่ต้องไม่น้อยกว่า

$$\rho_s = 0.12\left(\frac{f'_c}{f_{yh}}\right)\left(0.5 + \frac{1.4P}{f'_c A_g}\right) \qquad (5.2\text{-}3)$$

โดย ρ_s ไม่จำเป็นต้องมีค่าเกิน 0.021

โดยที่

ρ_s = อัตราส่วนเชิงปริมาตร (ปริมาตรเหล็กปลอกเกลียว/ปริมาตรแกนคอนกรีต)

f'_c = กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (เมกาปาสกาล) แต่ใช้ไม่เกิน 41.4 เมกาปาสกาล

f_{yh} = กำลังครากของเหล็กปลอกเกลียว (เมกาปาสกาล) แต่ใช้ไม่เกิน 586 เมกาปาสกาล

A_g = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม (ตารางมิลลิเมตร)

A_{ch} = พื้นที่ของแกนหน้าตัดของเสาเข็มที่ล้อมด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของเหล็กปลอกเกลียว(ตารางมิลลิเมตร)

P = แรงตามแนวแกนบนเสาเข็มจากชุดการรวมน้ำหนัก 1.2D + 0.5L + 1.0E (กิโลนิวตัน)

ปริมาณของเหล็กปลอกเกลียวตามสมการข้างต้นอนุญาตให้ใช้ได้ทั้งเหล็กปลอกเกลียววงในและ วงนอก

(6) เมื่อใช้เหล็กวงรอบปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าร่วมกับเหล็กปลอกขวาง (Cross Ties) เป็นเหล็กตามขวางในบริเวณที่ต้องได้รับการจัดรายละเอียดให้มีความเหนียว พื้นที่หน้าตัดของเหล็กตามขวางในทิศทางที่ตั้งฉากกับมิติ h_c ของเสาเข็ม (ดูความหมายของ h_c จากนิยามข้างล่าง) ต่อระยะเรียง s ต้องเป็นไปตามสมการ

$$A_{sh} = 0.3sh_c\left(\frac{f'_c}{f_{yh}}\right)\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1.0\right)\left(0.5 + \frac{1.4P}{f'_c A_g}\right) \qquad (5.2\text{-}4)$$

แต่ต้องไม่น้อยกว่า

$$A_{sh} = 0.12sh_c\left(\frac{f'_c}{f_{yh}}\right)\left(0.5 + \frac{1.4P}{f'_c A_g}\right) \qquad (5.2\text{-}5)$$

โดยที่

s = ระยะเรียงของเหล็กตามขวาง (มิลลิเมตร)

h_c = มิติของหน้าตัดแกนคอนกรีตของเสาเข็มวัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของเหล็กปลอกวงปิด (มิลลิเมตร)

f_{yh} = กำลังครากของเหล็กปลอกเกลียว (เมกาปาสกาล) ให้ใช้ไม่เกิน 483 เมกาปาสกาล

เหล็กปลอกวงปิด และ เหล็กปลอกขวาง (Cross Ties) จะต้องเป็นเหล็กที่เทียบได้กับเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 10 มม. ปลายของเหล็กปลอกวงปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะจะต้องหยุดที่มุมและทำของอต้านทานแผ่นดินไหวที่ปลาย

(7) นอกบริเวณที่ต้องได้รับการจัดรายละเอียดให้มีความเหนียว จะต้องเสริมเหล็กปลอกเกลียวหรือเหล็กปลอกวงปิดที่มีอัตราส่วนเชิงปริมาตรไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของข้อ (5) หรือ ข้อ (6) แล้วแต่กรณี

5.2.5 ข้อกำหนดเกี่ยวกับกำแพงอิฐก่อหรือกำแพงอิฐบล๊อก (Infilled Masonry Walls)

(ก) เมื่อความสูงของกำแพงอิฐก่อหรือกำแพงอิฐบล๊อกน้อยกว่าความสูงช่องว่างของเสา (Clear Height)

(1) ให้ถือว่าตลอดความยาวเสาเป็นบริเวณที่ต้องเสริมเหล็กปลอกโอบรัดตามข้อ 4.4.1 ของมยผ. 1301 สำหรับโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด (ความเหนียวปานกลาง) หรือข้อกำหนด 21.4 ในบทที่ 21 ของมาตรฐาน ACI 318 สำหรับโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ

(2) ให้คำนวณแรงเฉือนโดยพิจารณาผลของการลดลงของช่วงการเฉือนของเสา และ จะต้องเสริมเหล็กปลอกต้านทานแรงเฉือนดังกล่าวนี้ให้กับบริเวณของเสาที่ไม่ได้สัมผัสกับกำแพงรวมกับบริเวณที่เลยลงไปอีกเป็นระยะเท่ากับมิติด้านยาวของหน้าตัดเสา

(ข) เมื่อกำแพงอิฐก่อหรือกำแพงอิฐบล๊อกสัมผัสกับเสาตลอดความสูงเสาเพียงด้านเดียว ให้ถือว่าตลอดความสูงของเสาเป็นบริเวณที่ต้องเสริมด้วยเหล็กปลอกโอบรัดตามตามข้อ 4.4.1 ของมยผ. 1301 สำหรับโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด (ความเหนียวปานกลาง) หรือข้อกำหนด 21.4 ในบทที่ 21 ของมาตรฐาน ACI 318 สำหรับโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ

5.2.6 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการเสริมเหล็กในโครงต้านทานแรงดัดธรรมดา

(ก) ในการออกแบบอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ข คานของโครงต้านแรงดัดแบบธรรมดา จะต้องจัดให้มีเหล็กเสริมหลักต้านทานโมเมนต์ดัดอย่างน้อย 2 เส้นทั้งเหล็กบนและเหล็กล่างตลอดความยาวคานโดยต้องจัดให้มีระยะฝังยึดเหล็กเพียงพอที่จะทำให้เหล็กเสริมสามารถพัฒนากำลังรับแรงดึงถึงจุดครากได้

(ข) ในการออกแบบอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ข เสาของโครงต้านแรงดัดแบบธรรมดาที่มีอัตราส่วนระหว่างความสูงช่องว่าง (clear height) ต่อมิติด้านยาวของหน้าตัดเสาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 จะต้องออกแบบรับแรงเฉือนตามข้อ 4.2 ของมยผ. 1301

ภาคผนวก ก

การจำแนกประเภทชั้นดินที่ตั้งอาคารสำหรับการออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว

ก.1 การจำแนกประเภทชั้นดินที่ตั้งอาคาร

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

ก.2 การวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดิน

ในกรณีที่อาคารตั้งอยู่บนชั้นดินประเภท F จะต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดินต่อคลื่นการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (Site Response Analysis) เพื่อนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ในการออกแบบอาคาร

ก.3 การกำหนดประเภทชั้นดิน

ประเภทชั้นดิน จะถูกจำแนกตามเกณฑ์ที่แสดงในตารางที่ ก-1 และมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังแสดงด้านล่างนี้

ก.3.1 ชั้นดินประเภท F

ชั้นดินที่มีลักษณะต่อไปนี้ ให้จัดเป็นชั้นดินประเภท F และต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดินต่อคลื่นการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

(1) ชั้นดินมีโอกาสวิบัติภายใต้แผ่นดินไหว เช่นดินที่สามารถเกิดการเหลวตัว (Liquefaction) หรือ ดินเหนียวที่อ่อนมาก เป็นต้น
(2) ชั้นดินเหนียวที่วัตถุอินทรีย์อยู่มาก และมีความหนากว่า 3 เมตร
(3) ชั้นดินที่มีความเป็นพลาสติกสูง (มีความหนามากกว่า 7.6 เมตรและมีค่า PI มากกว่า 75)

(4) ชั้นดินเหนียวอ่อนถึงปานกลางที่หนามาก (มีความหนามากกว่า 37 เมตรและมีกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ s_u น้อยกว่า 50 กิโลปาสกาล)

ก.3.2 ชั้นดินประเภท E

ในกรณีที่ชั้นดินมิใช่ประเภท F และมีชั้นดินเหนียวหนากว่า 3 เมตรซึ่งมีกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (s_u) น้อยกว่า 25 กิโลปาสกาล และมีปริมาณน้ำในดิน (w) มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 40 และมี ขีดพลาสติก PI มากกว่า 20 ให้จัดเป็นชั้นดินประเภท E

ก.3.3 ชั้นดินประเภท C, D, และ E

การจำแนกประเภทดินเป็นประเภท C, D, และ E สามารถทำได้โดยพิจารณาจากค่าต่อไปนี้

(1) ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย ($\bar{v}_s$) ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก (เรียกว่าวิธี $\bar{v}_s$)
(2) ค่าการทดสอบฝังจมมาตรฐานเฉลี่ย (Average Field Standard Penetration Resistance, $\overline{N}$) ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก (เรียกว่าวิธี $\overline{N}$)
(3) ค่าการทดสอบฝังจมมาตรฐานเฉลี่ยสำหรับชั้นทราย (PI < 20) (Average Standard Penetration Resistance for Cohesionless Soil Layer, $\overline{N}_{ch}$) ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก และค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเฉลี่ย ($\bar{s}_u$) สำหรับดินเหนียว (PI > 20) ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก หากเกณฑ์ของ $\overline{N}_{ch}$ และ $\bar{s}_u$ แตกต่างกัน ให้เลือกประเภทชั้นดินที่อ่อนกว่า

ก.3.4 ความเร็วคลื่นเฉือนของดินประเภท B

การหาความเร็วคลื่นเฉือนของหิน (ชั้นดินประเภท B) จะต้องทำการตรวจวัดในสถานที่จริงหรือทำการประมาณโดยวิศวกรทางธรณีเทคนิค นักธรณีวิทยา หรือผู้เชี่ยวชาญด้านแผ่นดินไหว ในกรณีที่ชั้นหินมีลักษณะค่อนข้างอ่อน หรือมีการแตกร้าวผุพังมาก จะต้องทำการตรวจวัดความเร็วคลื่นเฉือนในสถานที่จริง หรือ มิฉะนั้นก็ให้จัดประเภทของชั้นดินเป็นแบบ C

ก.3.5 ความเร็วคลื่นเฉือนของดินประเภท A

การประเมินว่าเป็นหินแข็งต้องใช้การตรวจวัดความเร็วคลื่นเฉือนในสถานที่จริงหรือสถานที่ซึ่งมีสภาพหินคล้ายคลึงกัน (หินแบบเดียวกัน มีระดับการแตกร้างผุพังเหมือนกัน)

ตารางที่ ก-1 การจำแนกประเภทชั้นดิน

ประเภทชั้นดิน	$\overline{v}_s$	$\overline{N}$ หรือ $\overline{N}_{ch}$	$\overline{s}_u$
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% $\overline{s}_u$ < 25 กิโลปาสกาล		
F	เกณฑ์ตามที่กำหนดในหัวข้อ ก.3.1		

ก.4 นิยามของพารามิเตอร์ที่ใช้จำแนกประเภทของชั้นดิน

ก.4.1 ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย

ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย ($\overline{v}_s$) ของชั้นดินสามารถคำนวณได้จาก

$$\overline{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{v_{si}}} \qquad \text{(ก.4-1)}$$

โดยที่ d_i เป็นความหนาของชั้น i ใดๆ ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก

v_{si} เป็นความเร็วคลื่นเฉือนในชั้น i ใดๆ (เมตร/วินาที)

n คือ จำนวนชั้นดิน ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก

ก.4.2 ค่าการทดสอบฝังจมมาตรฐานเฉลี่ยและของการทดสอบฝังจมมาตรฐานเฉลี่ยสำหรับชั้นทราย

ค่าของการทดสอบฝังจมมาตรฐานเฉลี่ย ($\overline{N}$) ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก สามารถคำนวณได้จาก

$$\overline{N} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{N_i}} \qquad \text{(ก.4-2)}$$

โดยที่ N_i เป็นค่าการทดสอบฝังจมมาตรฐาน สำหรับชั้นดินทราย ดินเหนียว และหิน ชั้นดินที่ *i*

d_i เป็นความหนา สำหรับชั้นดินทราย ดินเหนียว และหิน ชั้นดินที่ *i*

n เป็น จำนวนชั้นดิน ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก

ค่าของการทดสอบฝังจมมาตรฐานเฉลี่ยสำหรับชั้นทราย ($\overline{N}_{ch}$)ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก สามารถคำนวณได้จาก

$$\overline{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^{m} \frac{d_i}{N_i}} \qquad \text{(ก4-3)}$$

โดยที่ N_i เป็นค่าค่าการทดสอบฝังจมมาตรฐานสำหรับชั้นดินทรายที่ *i*

d_i เป็นความหนาสำหรับชั้นดินทรายชั้นดินที่ *i*

d_s เป็นความหนาของชั้นดินทรายทั้งหมดในช่วง 30 เมตรแรก ($\sum_{i}^{m} d_i = d_s$ โดย *m* เป็นจำนวนชั้นดินทราย)

ก.4.3 ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเฉลี่ย

ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเฉลี่ย ($\overline{s}_u$) ของชั้นดินสามารถคำนวณได้จาก

$$\overline{s}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^{k} \frac{d_i}{s_{ui}}} \qquad \text{(ก.4-4)}$$

โดยที่ d_c เป็นความหนาของชั้นดินเหนียวทั้งหมดในช่วง 30 เมตรแรก

d_i เป็นความหนาสำหรับชั้นดินเหนียวชั้นดินที่ *i* ($\sum_{i}^{m} d_i = d_c$)

s_{ui} เป็นค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของชั้นดิน *i* แต่ไม่เกิน 240 กิโลปาสกาล

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณแรงแผ่นดินไหว

ข.1 ตัวอย่างการคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

ข.1.1 ขั้นตอนการออกแบบ

1) สำหรับอาคารนอกเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล หาค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้นและที่ 1.0 วินาที S_s และ S_1 จากตารางความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว พร้อมกับกำหนดประเภทของดินที่รองรับอาคาร(A,B,C,D,E,F) และเลือกค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้เนื่องจากผลของชั้นดิน F_a และ F_v สำหรับอาคารที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล สามารถเลือกค่า S_a ได้จากรูปที่ 1.4-6 และตารางที่ 1.4-4 ที่แสดงค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม และให้ข้ามไปที่หัวข้อ (3)

2) คำนวณค่าความเร่งตอบสนองสำหรับการออกแบบ S_{DS} และ S_{D1} จาก

$$S_{DS} = \frac{2}{3}\left(F_a S_s\right)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3}\left(F_v S_1\right)$$

3) กำหนดประเภทการออกแบบต้านแรงแผ่นดินไหว (ข,ค,ง) จากตารางที่ 1.6-1 ตามค่า S_{DS} และ S_{D1} และความสำคัญของอาคาร (I, II, III, IV)

4) กำหนดค่า R, Ω, C_d จากตารางซึ่งสัมพันธ์กับประเภทการออกแบบต้านแรงแผ่นดินไหว (ข,ค,ง) และระบบโครงสร้างอาคาร

5) คำนวณหาค่าคาบการสั่นตามธรรมชาติของโครงสร้าง T

6) คำนวณหาน้ำหนักประสิทธิผลของอาคารทั้งหมด W

7) คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว C_s จาก $C_s = S_a \big/ (R/I)$

ซึ่ง S_a คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร จากรูปที่ 1.4.1 1.4.2 และ 1.4.6 โดยที่ C_s มีค่าไม่น้อยกว่า 0.01

8) คำนวณหาแรงเฉือนที่ฐานอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว จาก

$$V = C_s W$$

9) กระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำด้านข้างในแต่ละชั้นอาคาร จาก

$$F_x = C_{vx} V$$

10) ตรวจสอบความมั่นคงของอาคาร จากค่าระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นอาคาร (Interstory Drift) ค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์ (Safety Factor Against Overturning Moment, SF) และผลกระทบของโมเมนต์ลำดับที่สอง ($P\Delta$ Effect)

11) วิเคราะห์หาแรงภายในของโครงสร้างอาคาร จากการรวมน้ำหนักบรรทุกกรณีที่พิจารณาแรงกระทำทางด้านข้าง (Combined Load cases) โดยพิจารณาใช้ค่าสูงสุดของการรวมแรงจากกรณีต่อไปนี้

$U = 1.2D + 1.0L + 1.0E$

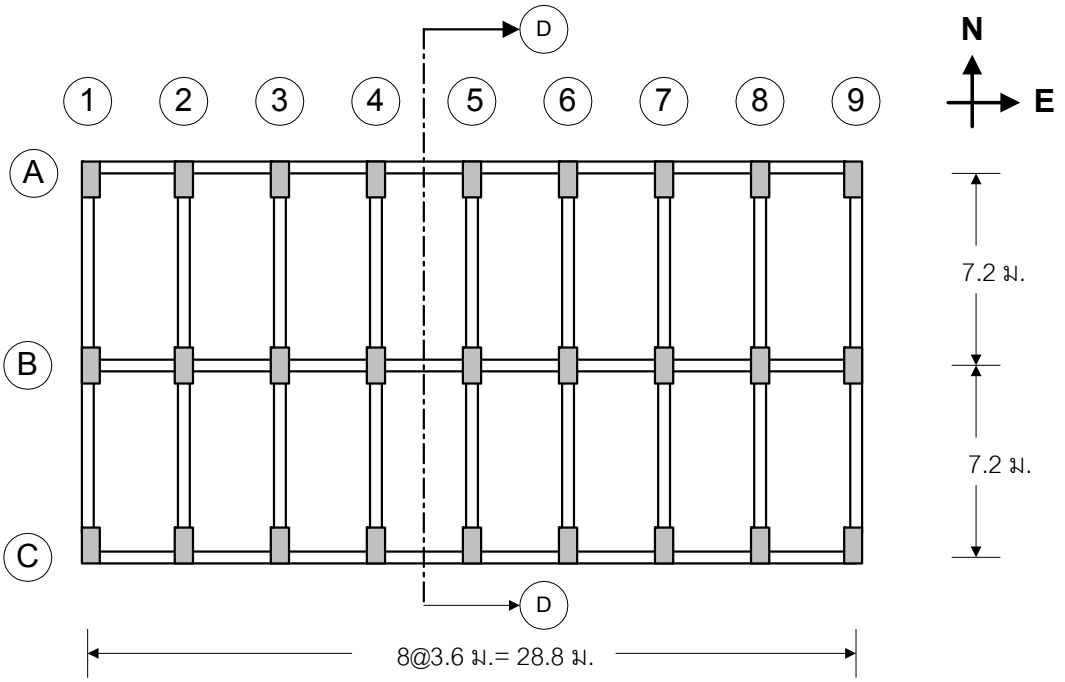
$U = 0.9D + 1.0E$

12) ออกแบบขนาดหน้าตัดขององค์อาคารต่างๆ คือ พื้น คาน เสา และฐานราก และออกแบบรายละเอียดการเหล็กเสริมในคานและเสาให้มีความเหนียวตามมาตรฐาน สำหรับในที่นี้จะกล่าวรายละเอียดตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึง 11 เท่านั้น

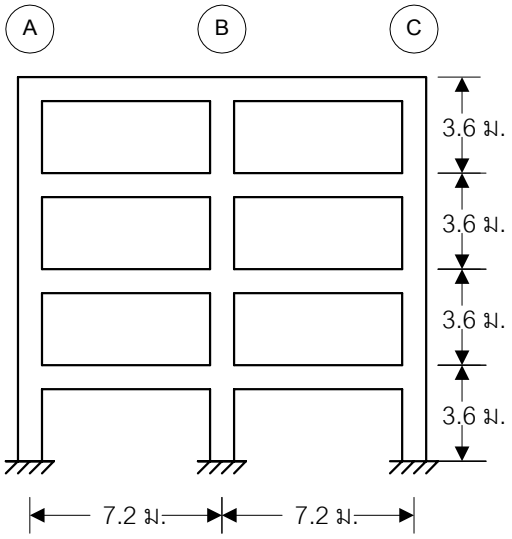
ข.1.2 ตัวอย่างที่ 1 อาคารโรงพยาบาลคอนกรีตเสริมเหล็กหลังหนึ่งสูง 4 ชั้น มีผังอาคารและรูปตัดดังแสดงในรูปที่ ข.1-1 และ ข.1-2 อาคารนี้ตั้งอยู่นอกเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยสมมุตให้ $S_s = 0.706g$, $S_1 = 0.155g$ และชั้นดินที่ใต้ฐานรากเป็นชั้นดินปกติ จงคำนวณหา

ก) แรงเฉือนที่ฐานอาคาร เนื่องจากแรงแผ่นดินไหว
ข) แรงกระทำที่ชั้นอาคารแต่ละชั้นและแรงเฉือนที่เกิดขึ้น
ค) ตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้างอาคาร
ง) โมเมนต์และแรงเฉือนจากการรวมน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงแผ่นดินไหว

กำหนดให้ ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป Hollow Core Slab คิดเป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมด 5.0 กิโลนิวตัน/ตร.ม. ซึ่งรวมทั้ง น้ำหนักพื้น คาน เสาและผนังกำแพง น้ำหนักบรรทุกจร 3.0 กิโลนิวตัน/ตร.ม. โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีต E_c =23,000 เมกาปาสกาล เสาสำหรับทุกชั้นมีขนาด 0.40x0.60 ม. คานตามยาวมีขนาด 0.30x0.60 ม. คานตามขวางมีขนาด 0.30x0.75 ม.



รูปที่ ข.1-1 ผังอาคารของอาคารโรงพยาบาล



รูปที่ ข.1-2 รูปตัดของอาคารโรงพยาบาล

<u>วิธีทำ</u>

จากค่าความเร่งตอบสนอง $S_s = 0.706g$, $S_1 = 0.155g$ และชั้นดินปกติจัดเป็นประเภท D ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้เนื่องจากผลของชั้นดิน $F_a = 1.24$ และ $F_v = 2.18$

2) คำนวณค่าความเร่งตอบสนองสำหรับการออกแบบ S_{DS} และ S_{D1} จาก

$$S_{DS} = \frac{2}{3}\left(F_a S_s\right) = \frac{2}{3}\left(1.24 \times 0.706\right) = 0.58g$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3}\left(F_v S_1\right) = \frac{2}{3}\left(2.18 \times 0.155\right) = 0.23g$$

3) จากตารางที่ 1.6-1 กำหนดประเภทการออกแบบต้านแรงแผ่นดินไหวเป็นประเภท ง.

ความสำคัญของอาคารประเภท IV ค่า $I = 1.5$

4) จากตารางที่ 2.3-1 โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวจำกัด

กำหนดค่า $R = 5, \Omega_o = 3, C_d = 4.5$

5) คำนวณหาค่าคาบการสั่นตามธรรมชาติของโครงสร้าง

$T = 0.02H = 0.02 \times 14.4 = 0.288$ วินาที

6) คำนวณหาน้ำหนักของอาคาร W

$W = (5.0 \times 14.4 \times 28.8) \times 4 = (2,073.6) \times 4 = 8,294.4$ กิโลนิวตัน

7) คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว C_s ($T_s = S_{D1} / S_{Ds} = 0.39$)

$$C_s = S_a \Big/ (R/I) = S_{DS} \Big/ (R/I)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0.58}{\left(\frac{5}{1.5}\right)} = 0.174g$$

$$C_s = 0.174g < \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0.23}{0.288\left(\frac{5}{1.5}\right)} = 0.24g \quad \text{และ} \quad C_s > 0.01g$$

8) คำนวณหาแรงเฉือนที่ฐานอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว จาก

$V = C_s W = 0.174 \times 8,294.4 = 1,443.23$ กิโลนิวตัน

9) กระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำด้านข้างในแต่ละชั้นอาคาร จาก

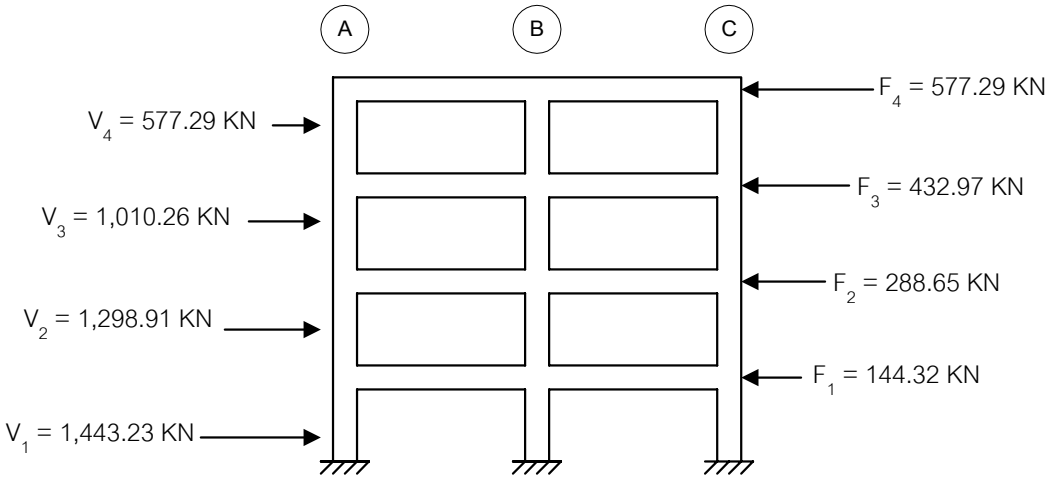
$$F_x = C_{vx} V = \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i} V$$

เนื่องจากค่า T น้อยกว่า 0.5 วินาที $k = 1.0$

คำนวณแรงกระทำทางด้านข้างและแรงเฉือน ดังแสดงในตารางที่ ข.1-1 และแสดงการกระจายของแรงกระทำทางด้านข้างอาคารในรูปที่ ข.1-3

ตารางที่ ข.1-1 แรงกระทำทางด้านข้างและแรงเฉือนในแต่ละชั้น

ระดับชั้น	W_x (กิโลนิวตัน)	h_x (ม.)	$W_x h_x$ (กิโลนิวตัน-ม.)	F_x (กิโลนิวตัน)	V_x (กิโลนิวตัน)
4	2,073.6	14.4	29,860	577.29	577.29
3	2,073.6	10.8	22,395	432.97	1,010.26
2	2,073.6	7.2	14,930	288.65	1,298.91
1	2,073.6	3.6	7,465	144.32	1,443.23
			Σ = 74,650		



รูปที่ ข.1-3 การกระจายของแรงกระทำทางด้านข้างอาคาร

10) ตรวจสอบความมั่นคงของอาคาร จากค่าระยะการการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ในแต่ละชั้น (Interstory Drift) ค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์ (Safety Factor Against Overturning Moment, SF) และผลกระทบของโมเมนต์ลำดับที่สอง ($P\Delta$ Effect)

ในการคำนวณนี้ กำหนด ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลขององค์อาคาร โดยใช้คุณสมบัติหน้าตัดแตกร้าว ดังนี้

สำหรับ คาน $I_{eff} = 0.35 I_g$

สำหรับ เสา $I_{eff} = 0.7 I_g$

คำนวณค่าสติฟเนสของโครงสร้างแต่ละชั้น จาก $k = \dfrac{12E}{h^2\left\{\dfrac{1}{\sum \frac{I_c}{h}} + \dfrac{1}{\sum \frac{I_b}{l}}\right\}}$

สำหรับแรงกระทำในทิศทาง เหนือ-ใต้ (N-S)

ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลของเสา

$$I_c = 0.7 \cdot \frac{40(60)^3}{12} = 504,000 \text{ ซม.}^4$$

ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลของคาน

$$I_b = 0.35 \cdot \frac{30(75)^3}{12} = 369,141 \text{ ซม.}^4$$

สำหรับแรงกระทำในทิศทาง ตะวันออก-ตะวันตก (E-W)

ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลของเสา

$$I_c = 0.7 \cdot \frac{60(40)^3}{12} = 224,000 \text{ ซม.}^4$$

ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลของคาน

$$I_b = 0.35 \cdot \frac{30(60)^3}{12} = 189,000 \text{ ซม.}^4$$

สติฟเนสของโครงสร้างในแต่ละชั้น สำหรับแรงกระทำในทิศทาง เหนือ-ใต้ (N-S)

$$k = \frac{12(23,000)}{(360)^2 \left\{ \frac{1}{\frac{504,000}{360}(3\times 9)} + \frac{1}{\frac{369,141}{720}(2\times 9)} \right\}} \times 10^{-2} = 158.0 \quad \text{กิโลนิวตัน/มม.}$$

สติฟเนสของโครงสร้างในแต่ละชั้น สำหรับแรงกระทำในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก (E-W)

$$k = \frac{12(23,000)}{(360)^2 \left\{ \frac{1}{\frac{224,000}{360}(9\times 3)} + \frac{1}{\frac{189,000}{360}(8\times 3)} \right\}} \times 10^{-2} = 153.36 \quad \text{กิโลนิวตัน/มม.}$$

คำนวณหาระยะการเคลื่อนที่ของแต่ละชั้น (Story Drift) จาก

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

ค่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างจากฐานอาคารที่แต่ละชั้น (Lateral displacement) เมื่อพิจารณาตัวคูณขยายค่าการเคลื่อนที่ด้านข้าง คำนวณจากผลรวมของระยะการเคลื่อนที่ในแต่ละชั้น ดังนี้

$$\delta_x = \sum_{x=1}^{n} \frac{C_d \delta_{xe}}{I}$$

คำนวณค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Interstorey drift) จาก

$$\Delta_x = \delta_x - \delta_{x-1}$$

การคำนวณค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างเหล่านี้ แสดงในตารางที่ ข.1-2 และ ข.1-3

ตารางที่ ข.1-2 ค่าการเคลื่อนที่ในแต่ละชั้นสำหรับแรงกระทำในทิศทาง เหนือ-ใต้ (N-S)

ระดับชั้น	แรงเฉือน V_x (กิโลนิวตัน)	สติฟเนส k_x (กิโลนิวตัน/มม.)	การเคลื่อนที่ของแต่ละชั้น δ_{xe} (ม.)	การเคลื่อนที่จากฐาน δ_x (ม.)	การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น Δ_x (ม.)
4	577.29	158.0	0.00365	0.08217	0.01095
3	1,010.26	158.0	0.00639	0.07122	0.01917
2	1,298.91	158.0	0.00822	0.05205	0.02466
1	1,443.23	158.0	0.00913	0.02739	0.02739

ตารางที่ ข.1-3 ค่าการเคลื่อนที่ในแต่ละชั้นสำหรับแรงกระทำในทิศทาง ตะวันออก-ตะวันตก (E-W)

ระดับชั้น	แรงเฉือน V_x (กิโลนิวตัน)	สติฟเนส k_x (กิโลนิวตัน/มม.)	การเคลื่อนที่ของแต่ละชั้น δ_{xe} (ม.)	การเคลื่อนที่จากฐาน δ_x (ม.)	การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น Δ_x (ม.)
4	577.29	153.36	0.00376	0.08469	0.01128
3	1,010.26	153.36	0.00659	0.07341	0.01977
2	1,298.91	153.36	0.00847	0.05364	0.02541
1	1,443.23	153.36	0.00941	0.02823	0.02823

จากตารางที่ 2.11-1 สำหรับโครงสร้างทั่วไป ที่ความสำคัญของอาคารประเภท IV

ค่าระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ที่ยอมให้ ไม่เกิน Δ_a = 0.01h

= 0.01(3.60) = 0.036 ม.

จากตารางที่ ข.1-2 และ ข.1-3 ค่าระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ในแต่ละชั้นไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ $(\Delta_x < \Delta_a)$ และ ค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์ คำนวณจาก

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

ดังแสดงในตารางที่ ข.1-4

ตารางที่ ข.1-4 การคำนวณค่า Overturning Moment ในทิศทาง N-S

ชั้น	แรงกระทำด้านข้าง F_x (กิโลนิวตัน)	ความสูงระหว่างชั้น h_x (ม.)	Overturning Moment M_x (กิโลนิวตัน-ม.)
4	577.29	3.6	-
3	432.97	3.6	2,078.24
2	288.65	3.6	5,715.18
1	144.32	3.6	10,391.26
ฐาน			15,586.88

ความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ ในทิศทาง N-S

$$S.F. = \frac{M_{\text{Re}action}}{M_{Action}} = \frac{8,294.4 \times 7.2}{15,586.88} = 3.83 > 1.5$$

ค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำมากกว่า 1.5 ใช้ได้

ผลกระทบของโมเมนต์ลำดับที่สอง ($P\Delta$ Effect)

$$\theta = \frac{P_x \Delta_x}{V_x h_x C_d}$$

ตารางที่ ข.1-5 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เสถียรภาพ (Stability Coefficient) ในทิศทาง E-W

ชั้น	น้ำหนัก (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักสะสม P_x (กิโลนิวตัน)	การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ Δ_x (ม.)	แรงเฉือน V_x (กิโลนิวตัน)	θ
4	2,073.6	2,073.6	0.01128	577.29	0.0025
3	2,073.6	4,147.2	0.01977	1,010.26	0.0050
2	2,073.6	6,220.8	0.02541	1,298.91	0.0075
1	2,073.6	8,294.4	0.02823	1,443.23	0.0100

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์เสถียรภาพ θ ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า 0.1 ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องนำผลกระทบของ PΔ มาคำนวณออกแบบโครงสร้าง

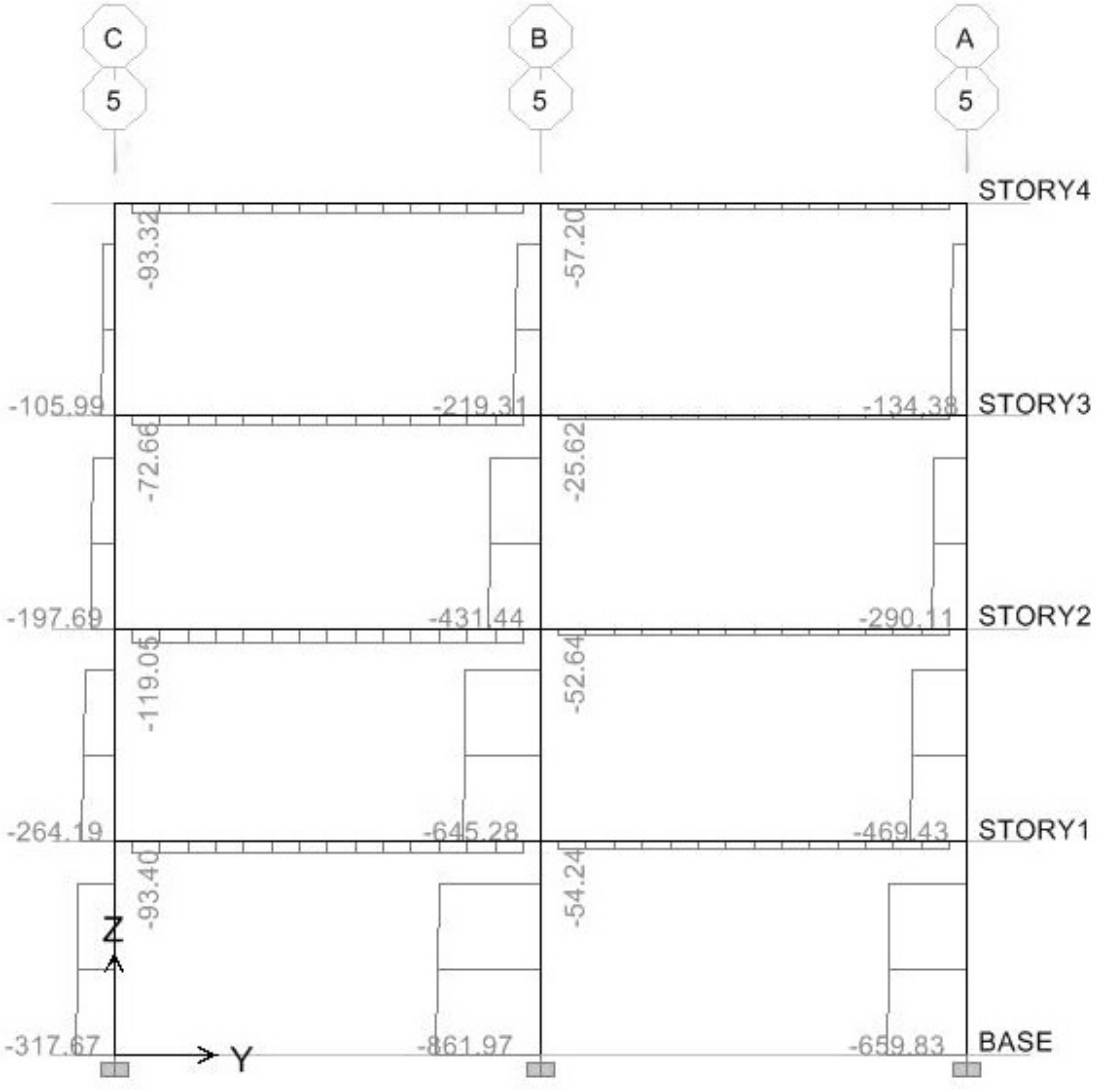
11) วิเคราะห์หาแรงภายในของโครงสร้างอาคาร จากการรวมน้ำหนักบรรทุกกรณีพิจารณาแรงกระทำทางด้านข้าง (Combined Load cases) โดยพิจารณาใช้ค่าสูงสุดของการรวมแรงจากกรณีต่อไปนี้

U1 = 1.2D+1.0L+0.3EQX+1.0EQY

U2 = 1.2D+1.0L+1.0EQX+0.3EQY

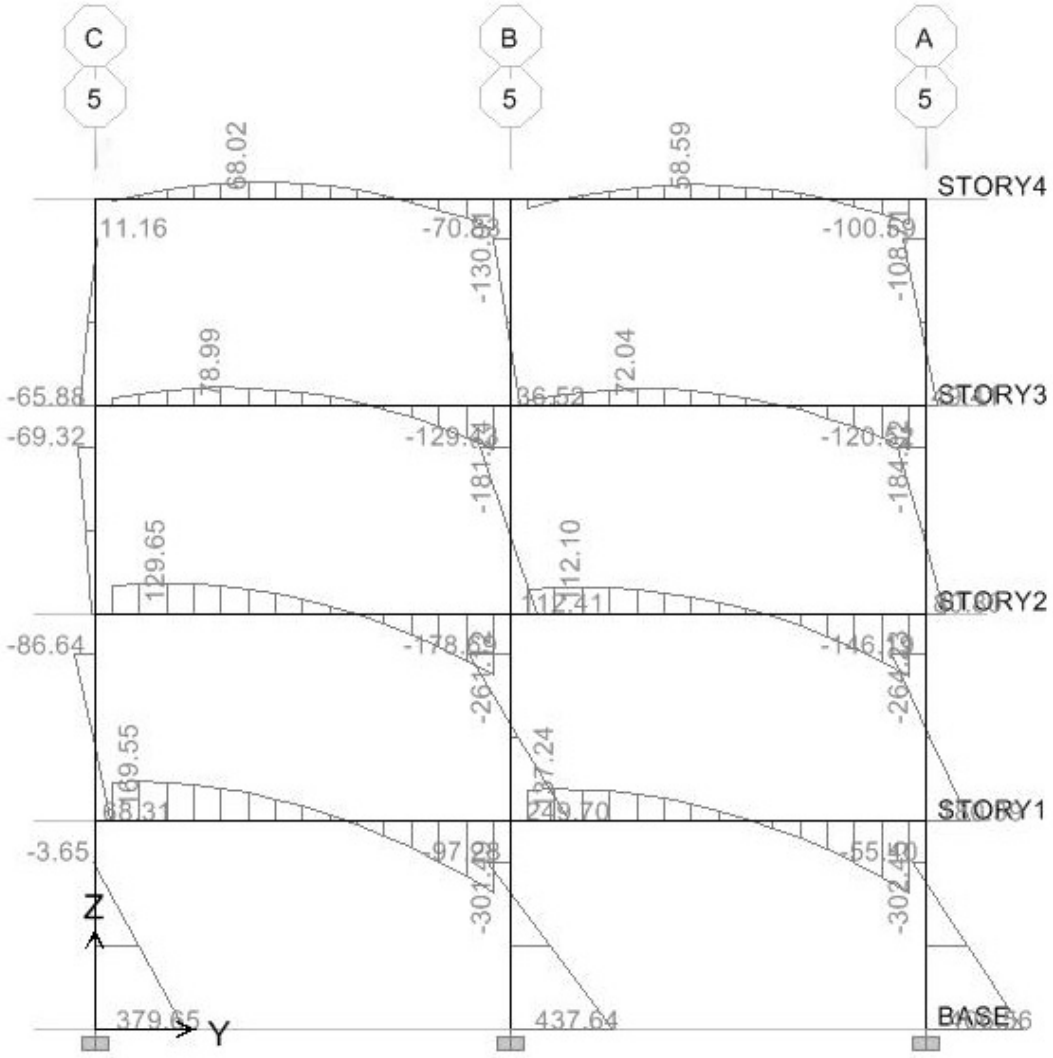
U3 = 0.9D+0.3EQX+1.0EQY

U4 = 0.9D+1.0EQX+0.3EQY



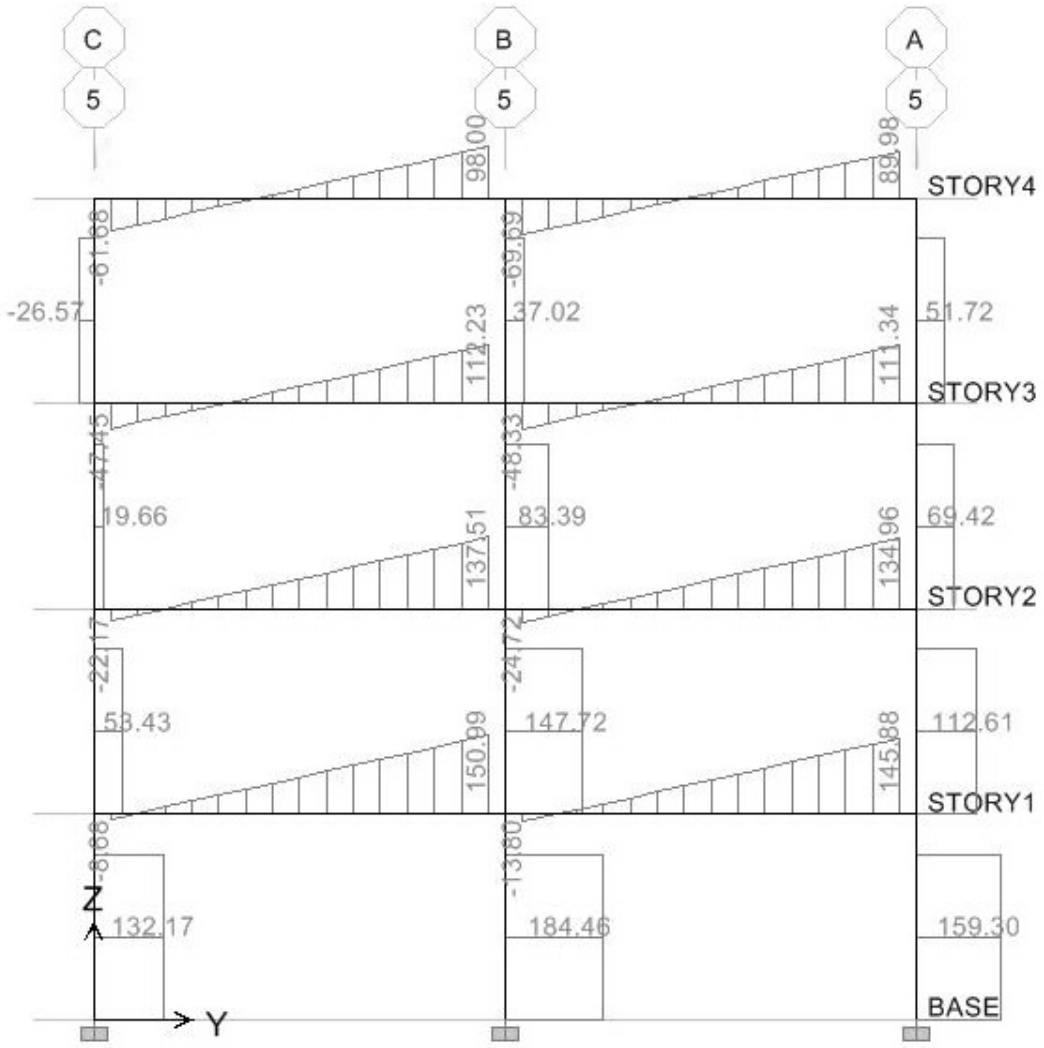
รูปที่ ข.1-4 ไดอะแกรมของแรงในแนวแกนสำหรับโครงในแกน 5 (กิโลนิวตัน)

Load Combination = 1.2D+1.0L+0.3EQX+1.0EQY



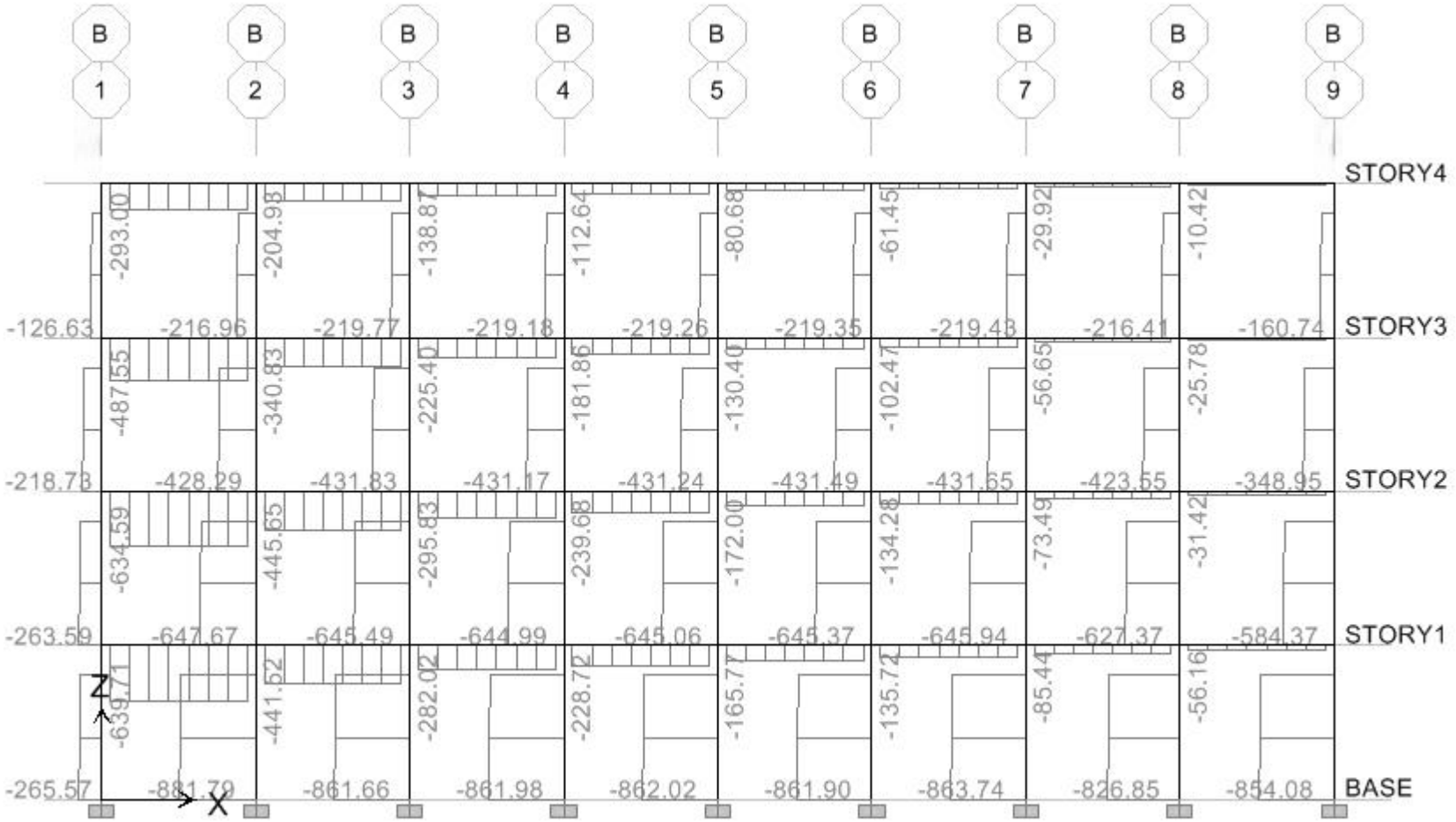
รูปที่ ข.1-5 ไดอะแกรมของโมเมนต์ดัดสำหรับโครงในแกน 5 (กิโลนิวตัน-ม.)

Load Combination = 1.2D+1.0L+0.3EQX+1.0EQY



รูปที่ ข.1-6 ไดอะแกรมของแรงเฉือนสำหรับโครงในแกน 5 (กิโลนิวตัน)

Load Combination = 1.2D+1.0L+0.3EQX+1.0EQY

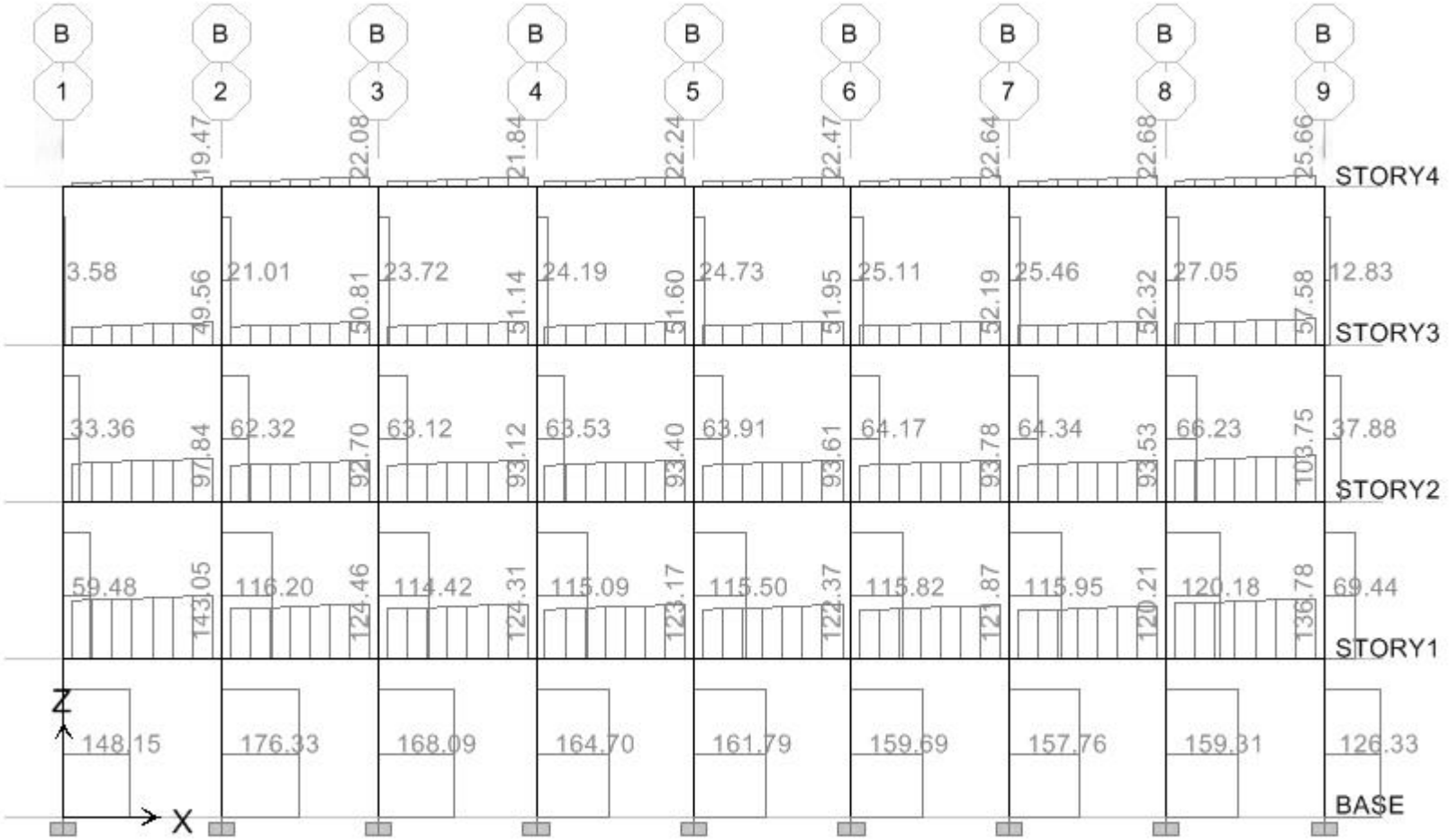


รูปที่ ข.1-7 ไดอะแกรมของแรงในแนวแกนสำหรับโครงในแกน B (กิโลนิวตัน)

Load Combination = 1.2D+1.0L+1.0EQX+0.3EQY

รูปที่ ข.1-8 ไดอะแกรมของโมเมนต์ดัดสำหรับโครงในแกน B (กิโลนิวตัน-ม.)

Load Combination = 1.2D+1.0L+1.0EQX+0.3EQY



รูปที่ ข.1-9 ไดอะแกรมของแรงเฉือนสำหรับโครงในแกน B (กิโลนิวตัน)

Load Combination = 1.2D+1.0L+1.0EQX+0.3EQY

ข.2 ตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

ข.2.1 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

1. สร้างสเปกตรัมสำหรับการออกแบบสำหรับพื้นที่ที่ตั้งโครงสร้าง (หัวข้อที่ 1.4.5)

   สำหรับอาคารนอกเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

   1.1 หาค่า S_S และ S_1 (ตามตารางที่ 1.4.1) หาข้อมูลของชั้นดินหรือความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วง 30 เมตรจากผิวดินเพื่อจำแนกประเภทของชั้นดิน (หัวข้อที่ 1.4.2 และภาคผนวก ก)

   1.2 สร้างสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีพลศาสตร์ (หัวข้อที่ 1.4.5.1)

   สำหรับอาคารในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

   ให้สร้างสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีพลศาสตร์ (หัวข้อที่ 1.4.5.2)

2. สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ของโครงสร้างที่พิจารณาการกระจายมวลและสติฟเนสที่สอดคล้องกับสภาพจริง
3. วิเคราะห์หาคุณสมบัติของการสั่นตามธรรมชาติ โหมด คาบธรรมชาติประจำแต่ละโหมด ความมีส่วนร่วม และมวลประสิทธิผลประจำโหมด
4. ใช้วิธีสเปกตรัมการตอบสนอง หาแรงเฉือนที่ฐานและแรงภายในชิ้นส่วนต่างๆ รวมทั้งการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง จากนั้นคูณปรับค่าแรงด้วย I / R และปรับค่าการเคลื่อนตัวด้วย C_d / R
5. คำนวณค่าคาบการสั่น T ตามสมการ (3.3-1) หรือ (3.3-2)
6. ใช้ค่าคาบการสั่นของโหมดพื้นฐานที่ได้จาก Eigenvalue Analysis แต่ไม่เกิน $1.5T$ ในการคำนวณแรงเฉือนที่ฐานตามสมการแรงสถิตเทียบเท่า V
7. หากแรงเฉือนที่คำนวณด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนอง (V_t) น้อยกว่า $0.85V$ ให้ปรับค่าแรงภายในด้วยตัวคูณ $0.85V / V_t$ แต่ไม่ต้องปรับค่าการเคลื่อนตัว
8. รวมผลของแรงบิดโดยบังเอิญ โดยขยับมวลไป 5% ของความกว้างอาคารด้านที่ตั้งฉากกับแนวการสั่นสะเทือน หรือใช้แรงแบบสถิตกระทำที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางมวล 5% ของความกว้างอาคารด้านที่ตั้งฉากกับทิศทางของแผ่นดินไหวที่กำลังพิจารณา

ข.2.2 ตัวอย่างที่ 2 โครงสร้างในตัวอย่างนี้เป็นอาคารพักอาศัยสูง 10 ชั้น ตั้งอยู่นอกเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล บนดินแน่นปานกลาง (ชั้นดินประเภท D) การหาค่าแรงภายในและการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง ดำเนินตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. สร้างสเปกตรัมสำหรับการออกแบบสำหรับพื้นที่ที่ตั้งโครงสร้าง (หัวข้อที่ 1.4)

1.1 หาค่าความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้น สมมติให้มีค่า $S_S = 0.857$ และความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบ 1 วินาที มีค่า $S_1 = 0.248$

1.2 โครงสร้างตั้งอยู่บนชั้นดินประเภท D

1.3 สร้างสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีพลศาสตร์ (หัวข้อที่ 1.4.5)

จากตารางที่ 1.4-2 และ 1.4-3 สัมประสิทธิ์สำหรับดินประเภท D ที่คาบสั้น (0.2 วินาที) $F_a = 1.157$ และที่คาบยาว $F_v = 1.904$ ตามลำดับ โดยใช้การประมาณแบบเส้นตรงจากช่วงของค่าที่แสดงในตาราง ดังนั้นความเร่งตอบสนองที่ปรับแก้ผลของชั้นดินแล้ว ตามหัวข้อที่ 1.4.3 มีค่าเท่ากับ

$$S_{MS} = F_a S_S = 1.157 \times 0.857 = 0.991$$

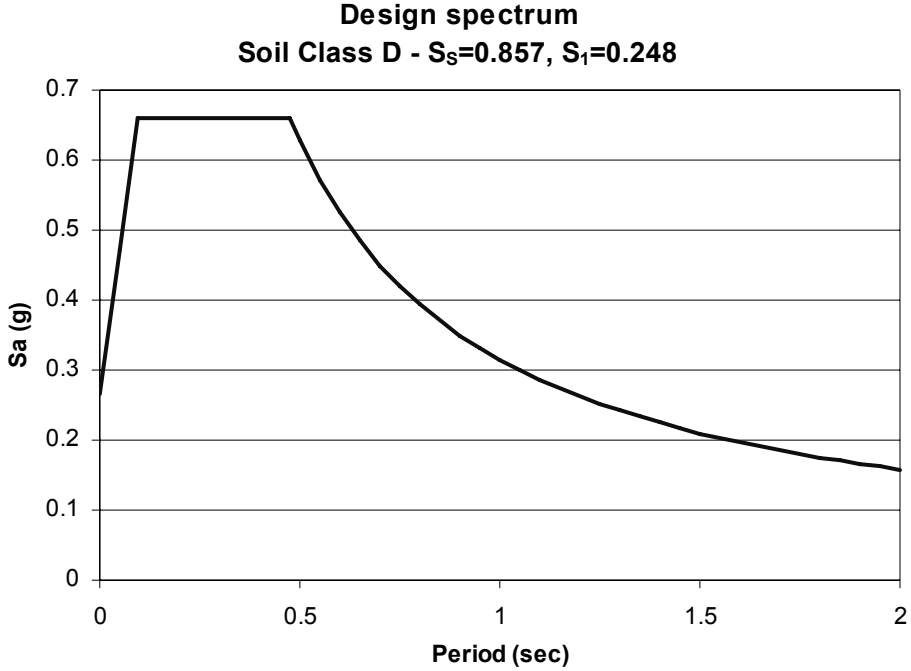
$$S_{M1} = F_v S_1 = 1.904 \times 0.248 = 0.472$$

ค่าความเร่งตอบสนองสำหรับการออกแบบ ตามหัวข้อที่ 1.4.4 มีค่าเท่ากับ

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0.991 = 0.661$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0.472 = 0.315$$

ซึ่งนำไปสร้างกราฟสเปกตรัมเพื่อการออกแบบ ตามหัวข้อที่ 1.4.5 ได้ดังรูปที่ ข.2-1



รูปที่ ข.2-1 ตัวอย่างความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมเพื่อการออกแบบ สำหรับที่ตั้งบนดินแน่น

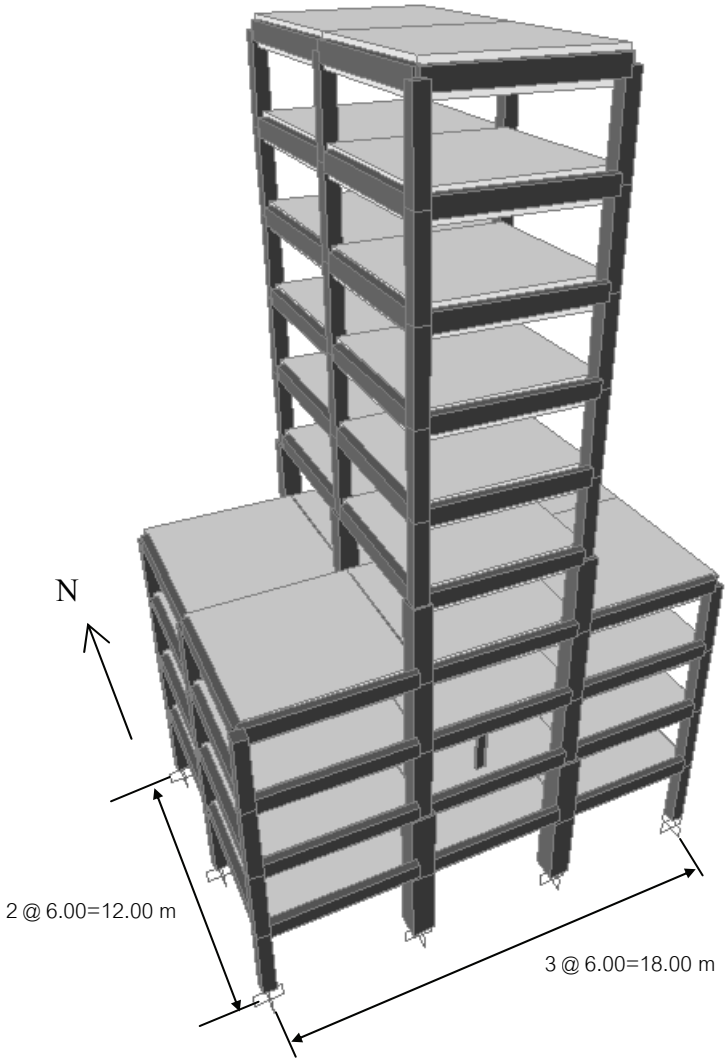
2. สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ของโครงสร้างที่พิจารณาการกระจายมวลและสติฟเนสที่สอดคล้องกับสภาพจริง

จากตารางที่ 1.5-1 มีประเภทความสำคัญเท่ากับ 1 และจากตารางที่ 1.6-1 อาคารนี้จัดอยู่ในประเภทการออกแบบ ง เนื่องจากมีค่า $S_{DS} > 0.5$

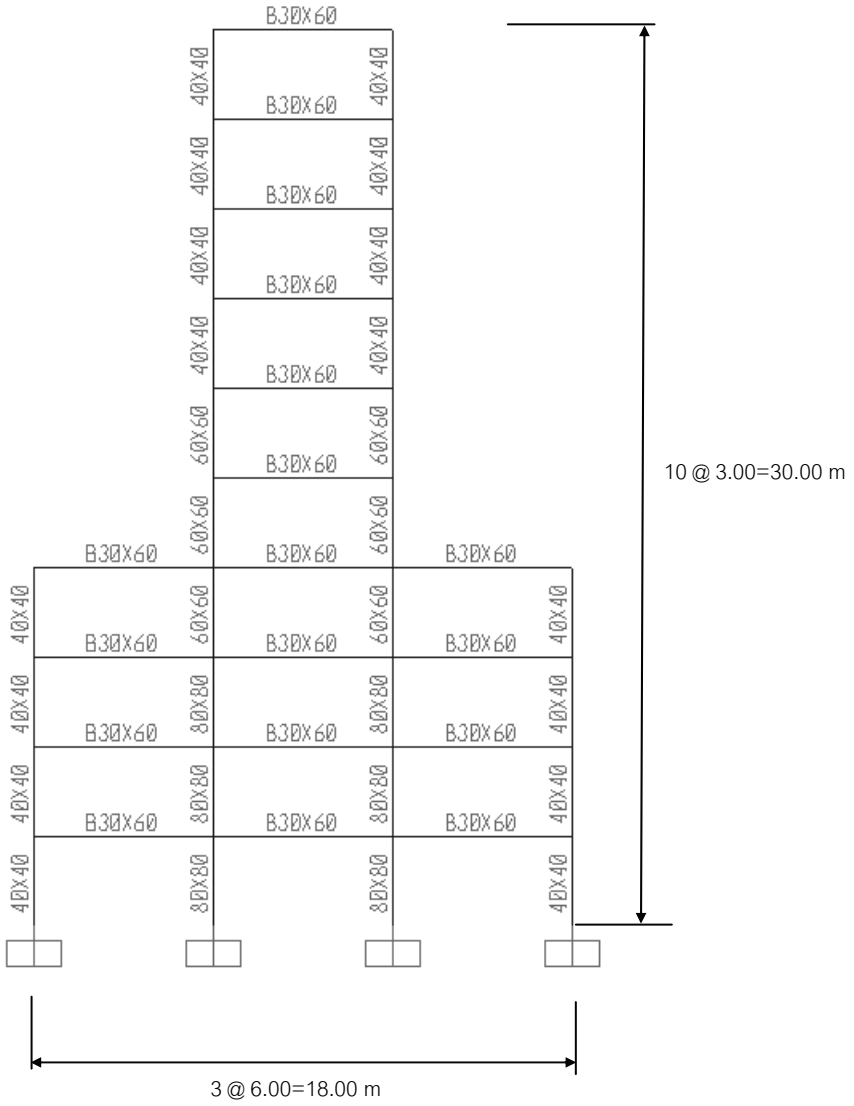
ตามตารางที่ 2.3-1 หากใช้โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้างจะต้องเป็นโครงต้านแรงดัดที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (ข้อ 3)

$R = 8$ $\Omega_o = 3$ $C_d = 5.5$

อาคารนี้มีความกว้างตามแนวเหนือ-ใต้ 12 เมตร และความยาวตามแนวตะวันออก-ตะวันตก 18 เมตร มีความสูง 10 ชั้น ชั้นละ 3 เมตร และความสมมาตรในระนาบราบ (รูปที่ ข.2-2) จึงสามารถวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองแบบ 2 มิติได้ แต่โครงต้านแรงดัดแบบ 2 มิติตามแนวตะวันออก-ตะวันตก มีลักษณะไม่สม่ำเสมอในแนวดิ่ง (รูปที่ ข.2-3) ซึ่งจะใช้เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมผลตอบสนองนี้



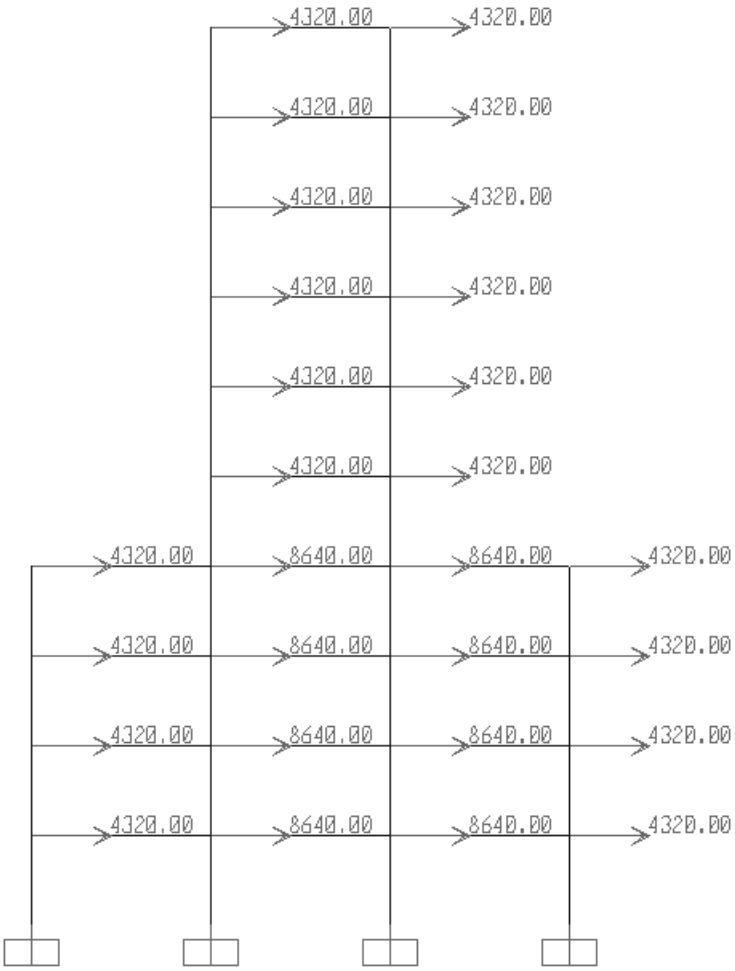
รูปที่ ข.2-2 อาคารพักอาศัย 10 ชั้น



รูปที่ ข.2-3 โครงด้านแรงดัด 2 มิติ ซึ่งมีความไม่สม่ำเสมอในแนวดิ่ง มีขนาดหน้าตัดดังแสดงในรูป

เสาแนวที่ 1 และ 4 มีขนาดหน้าตัด 0.40x0.40 เมตร ตลอดความสูง เสาแนวที่ 2 และ 3 มีขนาดหน้าตัด 0.80x0.80 เมตร ที่ชั้น 1 ถึง 3, 0.60x0.60 เมตร ที่ชั้น 4 ถึง 6, และ 0.40x0.40 เมตร ที่ชั้น 7 ถึง 10 คานทั้งหมดมีขนาด 0.30x0.60 เมตร

แบบจำลองพิจารณามวลของคานและเสากระจายตามชิ้นส่วนอาคารในแบบจำลอง รวมเท่ากับ 102,613 กิโลกรัม ซึ่งจะต้องกำหนดมวลของแผ่นพื้นเพิ่มเข้าไปในแบบจำลองโดยรวมไว้ที่จุดต่อ ในตัวอย่างนี้มวลของแผ่นพื้น และน้ำหนักบรรทุกตายตัวเท่ากับ 360 กก./ตรม. ซึ่งทำให้ที่จุดต่อปลายคานช่วงนอกมีมวล (Lumped Mass) = $\frac{12m}{3}$ x 3m x 360 = 4320 กิโลกรัม และที่จุดต่อปลายคานช่วงในมีมวล (Lumped Mass) = $\frac{12m}{3}$ x 6m x 360 = 8640 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ ข.2-4 ซึ่งมวลแผ่นพื้นรวมเท่ากับ 155,520 กิโลกรัม ดังนั้นอาคารนี้มวลทั้งหมดเท่ากับ 258,133 กิโลกรัม

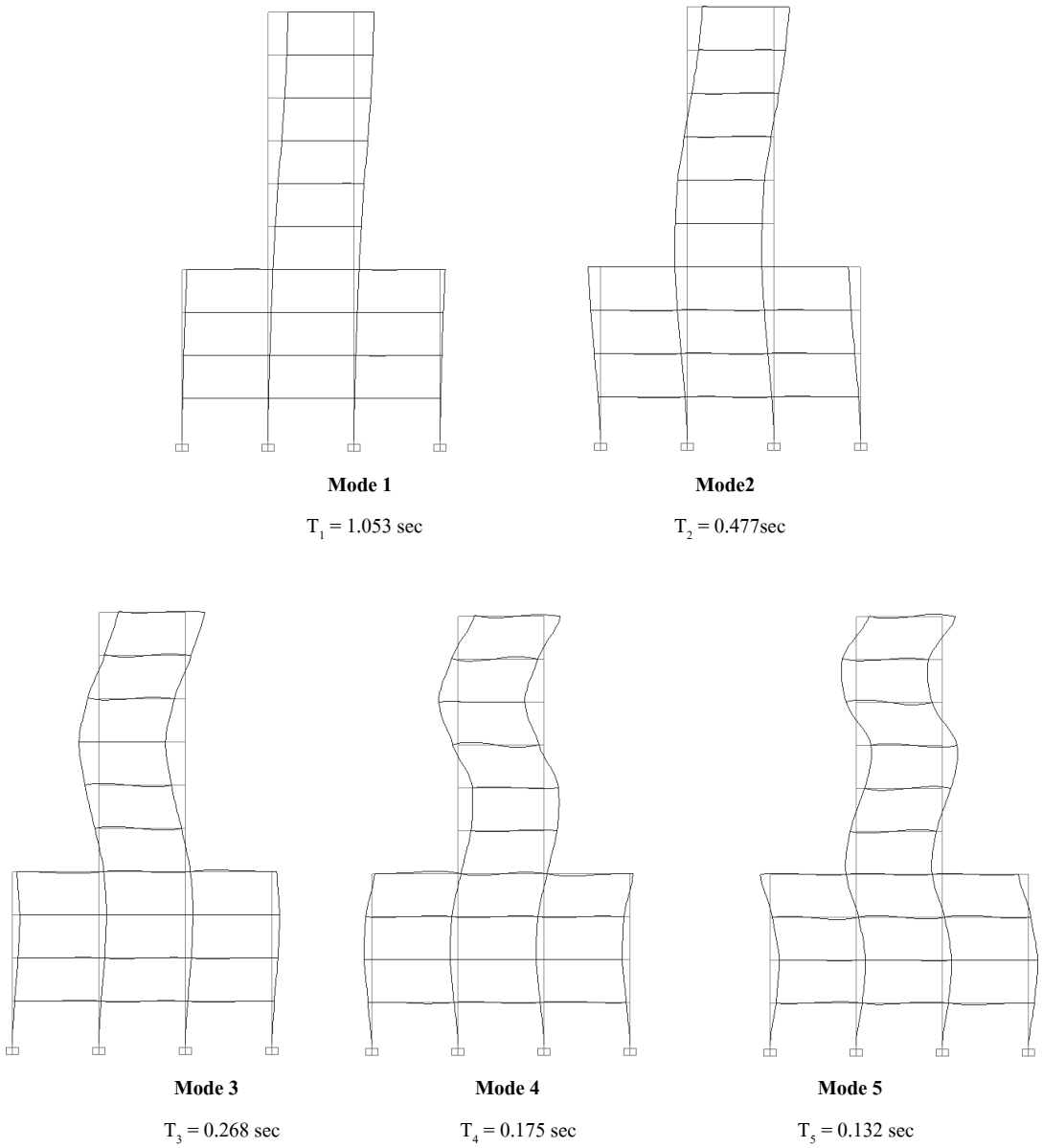


รูปที่ ข.2-4 มวลของแผ่นพื้นรวมไว้ที่จุดต่อ

3. วิเคราะห์หาคุณสมบัติของการสั่นตามธรรมชาติ โหมด คาบธรรมชาติประจำแต่ละโหมด ความมีส่วนร่วม และมวลประสิทธิผลประจำโหมด

คุณสมบัติของหน้าตัดชิ้นส่วนเสาและคานใช้ค่าโมเมนต์อินเนอเชียของหน้าตัดที่แตกร้าว (Cracked Section) โดยให้เป็นครึ่งหนึ่งของค่าโมเมนต์อินเนอเชียของหน้าตัดเต็ม (Gross Section) ซึ่งเมื่อคำนวณรูปร่างโหมดและคาบธรรมชาติประจำโหมดจะได้ดังรูปที่ ข.2-5 และตารางที่ ข.2-1

คาบธรรมชาติของการสั่นไหวในโหมดพื้นฐานเท่ากับ 1.053 วินาที และหากพิจารณา 5 โหมดแรกจะทำให้พิจารณามวลประสิทธิผล (การมีส่วนร่วมของมวล) รวมได้ 93 เปอร์เซ็นต์ของมวลทั้งหมดของอาคาร



รูปที่ ข.2-5 รูปร่างโหมดและคาบธรรมชาติประจำโหมด

ตารางที่ ข.2-1 คุณสมบัติของโหมด คาบธรรมชาติ
อัตราส่วนการมีส่วนร่วมของมวลและค่าสะสม

Mode	Period (sec)	Effective modal mass (kg)	Modal participating mass ratio	Cumulative modal participating mass ratio
1	1.0528	133,667	51.8%	51.8%
2	0.4769	75,473	29.2%	81.0%
3	0.2675	12,737	4.9%	86.0%
4	0.1748	8,841	3.4%	89.4%
5	0.1318	9,490	3.7%	93.1%
6	0.1058	4,014	1.6%	94.6%
7	0.0851	1,210	0.5%	95.1%
8	0.0715	7,517	2.9%	98.0%
9	0.0533	1,172	0.5%	98.4%
10	0.0431	3,977	1.5%	100.0%
11	0.0382	0	0.0%	100.0%
12	0.0370	0	0.0%	100.0%

4. ใช้วิธีสเปกตรัมการตอบสนอง หาแรงเฉือนที่ฐานและแรงภายในชิ้นส่วนต่างๆ รวมทั้งการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง จากนั้นคูณปรับค่าแรงด้วย I/R และปรับค่าการเคลื่อนตัวด้วย C_d/R (หัวข้อที่ 4.2.2)

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองโดยใช้สเปกตรัมสำหรับออกแบบดังรูปที่ ข.2-1

$$\text{แรงเฉือนที่ฐาน} = \sqrt{\sum_{n=1}^{12} V_{bn}^2} = \sqrt{\sum_{n=1}^{12} \left(M_n^* A_n \right)^2}$$

โดยที่ M_n^* คือ มวลประสิทธิผลประจำโหมดที่ n และ A_n คือ ความเร่งเชิงสเปกตรัมของโหมดที่ n ซึ่งอ่านค่าได้จากรูปที่ ข.2-1 ที่คาบธรรมชาติตรงกับคาบธรรมชาติประจำโหมดที่ n ซึ่งแสดงดังตารางที่ ข.2-2

ตารางที่ ข.2-2 การคำนวณแรงเฉือนที่ฐานในแต่ละโหมด V_{bn}

Mode	**Period (sec)**	**Effective Modal Mass M_n^* (kg)**	**Spectral Acceleration A_n (g)**	$V_{bn} = M_n^* A_n$ **(kN)**
1	1.0528	133,667	0.2991	392.1
2	0.4769	75,473	0.6602	488.8
3	0.2675	12,737	0.6609	82.6
4	0.1748	8,841	0.6609	57.3
5	0.1318	9,490	0.6609	61.5
6	0.1058	4,014	0.6609	26.0
7	0.0851	1,210	0.6186	7.3
8	0.0715	7,517	0.5618	41.4
9	0.0533	1,172	0.4860	5.6
10	0.0431	3,977	0.4436	17.3
11	0.0382	0	0.4233	0
12	0.0370	0	0.4184	0

เนื่องจากโครงสร้างนี้มีความสูงปานกลาง โหมดที่สูงกว่าโหมดพื้นฐานเช่นโหมดที่ 2 มีส่วนร่วมค่อนข้างมาก จะสังเกตได้ว่าแรงเฉือนที่ฐานเนื่องจากผลของโหมดที่ 2 (V_{b2}) ดังตารางที่ ข.2-2 มีค่ามากกว่าแรงเฉือนที่ฐานเนื่องจากผลของโหมดที่ 1 (V_{b1}) เนื่องจากความเร่งเชิงสเปกตรัมของโหมดที่ 2 มีค่ามากกว่าโหมดที่ 1 อย่างมาก

เนื่องจากคาบธรรมชาติของโหมดต่างๆ ในโครงสร้างนี้ไม่มีค่าที่ใกล้เคียงกันจึงใช้วิธีการรวมผลตอบสนองจากโหมดต่างๆ ด้วยวิธี SRSS (Square Root of Sum of Square) (หัวข้อที่ 4.2.3) ซึ่งเมื่อรวมแรงเฉือนที่ฐานจากโหมดต่างๆ ในสดมภ์สุดท้ายของตารางที่ ข.2-2 ด้วยวิธี SRSS จะได้แรงเฉือนรวมที่ฐานเท่ากับ 65,222 กิโลกรัม

ด้วยหลักการเดียวกันจะสามารถคำนวณแรงเฉือนในเสารวมสำหรับแต่ละชั้น และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ได้ดังตารางที่ ข.2-3

การตอบสนองแบบยืดหยุ่นเชิงเส้นที่เป็นแรงภายใน จะถูกคูณด้วย $I/R = 1/8$ (จากขั้นตอนที่ 2) ดังนั้นแรงเฉือนที่ฐานสำหรับออกแบบ $V_t = 65222/8 = 8153$ กิโลกรัม

การเคลื่อนตัวจะต้องคูณด้วย $C_d / R = 5.5/8$ ซึ่งได้ค่าสำหรับการออกแบบดังตารางที่ ข.2-4

ตารางที่ ข.2-3 แรงเฉือนในเสารวมแต่ละชั้น (Story Shear Force) และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) จากวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกตรัมผลตอบสนองแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น

Story	Story Shear Force (kN)	Story Drift (cm)	Story Drift Ratio (%)
1	639.8	0.65	0.22%
2	598.5	1.22	0.41%
3	504.6	1.26	0.42%
4	384.6	1.26	0.42%
5	292.8	1.59	0.53%
6	276.0	1.93	0.64%
7	264.7	2.89	0.96%
8	240.0	2.68	0.89%
9	188.8	2.13	0.71%
10	109.5	1.30	0.43%

ตารางที่ ข.2-4 แรงเฉือนในเสารวมแต่ละชั้น (Story Shear Force) และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) สำหรับการออกแบบ

Story	Story Shear Force (kg)	Story Drift (cm)	Story Drift Ratio (%)
1	80.0	0.45	0.15%
2	74.8	0.84	0.28%
3	63.1	0.87	0.29%
4	48.1	0.87	0.29%
5	36.6	1.09	0.37%
6	34.5	1.33	0.44%
7	33.1	1.99	0.66%
8	30.0	1.84	0.61%
9	23.6	1.46	0.49%
10	13.7	0.89	0.30%

5. คำนวณค่าคาบการสั่นพื้นฐาน T ตามสมการ 3.3-1

$$T = 0.02H = 0.02 \times 30 = 0.6 \text{ วินาที}$$

6. ใช้ค่าคาบการสั่นของโหมดพื้นฐานที่ได้จากการวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงโหมด (Eigenvalue Analysis) แต่ไม่เกิน $1.5T$ ในการคำนวณแรงเฉือนที่ฐานตามสมการแรงสถิตเทียบเท่า V (หัวข้อที่ 4.2.4)

หัวข้อที่ 4.2.4 กำหนดให้ใช้ค่าคาบการสั่นไม่เกิน 1.5 ของค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.3-1 ดังนั้นจะใช้ค่าคาบการสั่น $T = 1.5 \times 0.6 = 0.9$ วินาที ในการคำนวณแรงเฉือนด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

$$V = C_S W$$

โดยที่

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0.661}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0.082625$$

ซึ่ง C_S ต้องไม่เกิน $\frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0.315}{0.9\left(\frac{8}{1}\right)} = 0.04375$ และต้องไม่ต่ำกว่า 0.01

ดังนั้น $C_S = 0.04375 \quad V = C_S W = 0.04375 \times 258133 = 11293$ กิโลกรัม

7. หาก $V_t < 0.85V$ ให้ปรับค่าแรงภายในด้วย $0.85V / V_t$ แต่ไม่ต้องปรับค่าการเคลื่อนตัว (หัวข้อที่ 4.2.4)

เนื่องจาก V_t มีค่าน้อยกว่า $0.85V = 0.85 \times 11293 = 9600$ กิโลกรัม จึงต้องคูณปรับค่าแรงผลการวิเคราะห์จากวิธีสเปกตรัมผลตอบสนองด้วย $0.85V / V_t = 9600 / 8153 = 1.1775$ โดยนำไปคูณค่าแรงในตารางที่ ข.2-4 จะได้ค่าแรงสำหรับการออกแบบที่ปรับค่าแล้ว ดังตารางที่ ข.2-5

หลังจากขั้นตอนที่ 7 นี้ให้นำค่าแรงภายในดังตารางที่ ข.2-5 และค่าการเคลื่อนตัวดังตารางที่ ข.2-4 ไปใช้ในการออกแบบและตรวจสอบกับค่าที่ยอมให้ในลักษณะเดียวกับค่าที่ได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่าต่อไป

ตารางที่ ข.2-5 แรงเฉือนในเสารวมแต่ละชั้น (Story Shear Force) สำหรับการออกแบบซึ่งปรับค่าให้ใกล้เคียงกับระดับของแรงในวิธีแรงสถิตเทียบเท่าแล้ว

Story	**Story shear force (kN)**
1	94.2
2	88.1
3	74.3
4	56.6
5	43.1
6	40.6
7	39.0
8	35.3
9	27.8
10	16.1