บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 แรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเรื่องแผ่นดินไหวและการออกแบบโครงสร้างเพื่อป้องกันแผ่นดินไหว

บทนำ

แผ่นดินไหวเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติประเภทหนึ่งที่ยังคง เป็นภัยร้ายแรงสำหรับมนุษย์ สำหรับในกรณีของประเทศไทยนั้น แม้ว่าในอดีตจะยังไม่เคยได้รับผลกระทบอย่างร้ายแรงจากภัยแผ่นดินไหว แต่ในปัจจุบันนั้นสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างมากและรวดเร็ว อัตราการพัฒนาของประเทศเติบโตในอัตราที่สูง สิ่งก่อสร้างและอาคารสูงเพิ่มขึ้นและขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตกรุงเทพมหานครและจังหวัดใหญ่ ๆ โอกาสที่จะเป็นอันตรายจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่เกิดจากศูนย์กลางทั้ง ภายในประเทศและภายนอกประเทศ เพิ่มขึ้นตามการขยายตัวดังกล่าว จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจะเกิดแผ่นดินไหว จะต้องออกแบบอาคารให้สามารถรับแรงจากแผ่นดินไหวได้

2.1.1 สาเหตุของการเกิดแผ่นดินไหว

สาเหตุของการเกิดแผ่นดินไหวมีหลายทฤษฎี แต่ที่สำคัญมี 2 ทฤษฎี คือ

2.1.1 ทฤษฎีการยืด - หด (The elastic – rebound theory) ตั้งขึ้นโดยนักธรณีวิทยาชาวอเมริกัน ชื่อ เอช. เอฟ. เรอิด (H.F.Reid) เมื่อปี พ.ศ. 2453 หลังจากที่เขาได้ศึกษาการเกิดแผ่นดินไหวที่แคลิฟฟอเนียร์ เมื่อปี พ.ศ. 2449 อธิบายว่า พลังงานที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวเกิดจากพลังงานความเครียด เนื่องจากการยืดหยุ่นของหินซึ่งเปลี่ยนรูปอย่างช้า ๆ คือหินบริเวณรอยเลื่อน (fault) จะสะสมความเครียด (Strain) เอาไว้เรื่อย ๆ เนื่องจากการเปลี่ยนรูปร่างจนมากถึงขีดจำกัดของความยืดหยุ่นของมันก็จะหักโดยทันทีและพลังงานจากการยืดหยุ่นที่สะสมอยู่จำนวนมากก็จะทำให้เกิดคลื่นแผ่นดินไหวขึ้น หินส่วนนั้นก็จะคืนกลับสู่รูปเดิมแต่ได้เลื่อนไปจากตำแหน่งเดิม

2.1.2 ทฤษฎีแผ่นเปลือกโลกเลื่อน (The plate tectonic theory) โดย อัลเฟรด เวกเนอร์ (Alfred Wegener) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันได้ตั้งสมมุติฐานว่า เมื่อ 200 ล้านปีแล้วทวีปต่าง ๆ เคยอยู่รวมชิดติดกันโดยดูจากลักษณะตามโค้งเว้าของแต่ละทวีป ซึ่งหากนำมาประกบกันจะรวมติดกันเป็นชิ้นเดียวได้ นักวิทยาศาสตร์สมัยนั้นไม่เชื่อในทฤษฎีนี้นักเพราะต่างก็ค้านว่าคงไม่มีแรงอันมหาศาลขนาดใดที่จะสามารถเคลื่อนแผ่นทวีปเหล่านี้ออกจากกันได้และปรากฏให้เห็นเช่น

ปัจจุบันว่าอยู่ห่างไกลกันนับพันกิโลเมตร ต่อมาอีกหลายสิบปีได้มีการรวบรวมหลักฐานทางด้านธรณีวิทยา และการพิสูจน์ด้วยทิศทางของแม่เหล็กโลกในอดีต ผลปรากฏว่าทฤษฎีของเวกเนอร์มีเหตุผลตามหลักฐานใกล้เคียงความจริงมากที่สุด และปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป การเกิดแผ่นดินไหวก็เป็นผลมาจากการเกิดพื้นมหาสมุทรใหม่และค่อย ๆ ดันแผ่นพื้นทวีปให้ห่างจากกัน โดยใช้เวลานับล้าน ๆ ปีจึงสามารถทำให้ทวีปแยกตัวจากกันได้ พลังงานที่เกิดจากการกดดันนี้จะถูกปลดปล่อยมาในรูปของการสั่นไหว ตามแนวรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกที่เป็นพื้นมหาสมุทรชนกับขอบของแผ่นเปลือกโลกที่เป็นทวีป

2.1.2 ผลกระทบจากแผ่นดินไหวเมื่อเกิดแผ่นดินไหวขึ้น

ผลกระทบของอาการสั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและทำให้เกิดบางสิ่งบางอย่างบนผิวพื้นโลกเช่น

2.1.2.1 การเคลื่อนที่ของแผ่นดิน (Ground Motion)

2.1.2.2 การตอบสนองของแผ่นดินต่อการสั่นสะเทือน (Ground response to shaking)

2.1.2.3 การยุบตัวของแผ่นดิน (Subsidence)

2.1.2.4 แผ่นดินถล่ม (Ground failure)

2.1.2.5 แผ่นดินเลื่อน (Landslide)

2.1.2.6 การขยายตัวของหิน (Rock dilatancy)

2.1.2.7 คลื่นใต้ทะเล (Seismic sea wave) หรือ Tsunami

2.1.3 การแบ่งชนิดของแผ่นดินไหว

2.1.3.1 การแบ่งชนิดของแผ่นดินไหว ตามลักษณะการเกิด มี 4 แบบ คือ

- TECTONIC EARGHQUAKE เกิดจากการปล่อยพลังงานภายใต้พิภพ (ทฤษฎีแผ่นเปลือกโลกเลื่อน)
- COLLAPSE EARGHQUAKE เกิดจากการพังทลายของถ้ำ เหมือง แผ่นดินเลื่อน แผ่นดินถล่ม
- VOLCANIC EARTHQUAKE เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ
- EXPLOSION เกิดจากการระเบิดโดยการกระทำของมนุษย์

2.1.3.2 การแบ่งชนิดของแผ่นดินไหว ตามความลึก มี 3 ระดับ คือ

- SHALLOW EARTHQUAKE คือ แผ่นดินไหวซึ่งเกิดที่ความลึก ระหว่าง 0 - 70 กิโลเมตร

- **INTERMEDIAT คือ แผ่นดินไหวซึ่งเกิดที่ความลึก ระหว่าง 70 – 300 กิโลเมตร**

- **DEEP EARTHQUAKE คือ แผ่นดินไหวซึ่งเกิดที่ความลึก ระหว่าง 300 – 700 กิโลเมตร**

2.1.3.3 การแบ่งชนิดของแผ่นดินไหว ตามขนาด (MAGNITUDE) แบ่งเป็น 5 ขนาด คือ

- MICRO EARTHQUAKE ขนาดเล็กมากมีขนาดน้อยกว่าหรือระหว่าง 2.0 - 3.4 ริคเตอร์

- SMALL EARTHQUAKE ขนาดเล็กมีขนาด ระหว่าง 3.5 - 4.8 ริคเตอร์

- MINOR OR MODERATE ขนาดปานกลางมีขนาด ระหว่าง 4.9 – 6.1 ริคเตอร์

- MAJOR EARTHQUAKE ขนาดใหญ่มีขนาดระหว่าง 6.2 - 7.3 ริคเตอร์

- GREAT EARTHQUAKE ขนาดใหญ่มากมีขนาดตั้งแต่ 7.4 ริคเตอร์

2.1.3.4 การแบ่งชนิดของแผ่นดินไหว ตามระยะทาง มี 3 ระยะ คือ

- LOCAL EARTHQUAKE คือ แผ่นดินไหวซึ่งเกิดห่างจากสถานีตรวจวัดน้อยกว่า 100 กม.

- DISTANT EARTHQUAKE คือ แผ่นดินไหวซึ่งเกิดห่างจากสถานีตรวจวัดระหว่าง100– 1000 กม.

- TELESEIS คือ แผ่นดินไหวซึ่งเกิดห่างจากสถานีตรวจวัดตั้งแต่ 1000 กม.ขึ้นไป

2.1.4 มาตราในการวัดแผ่นดินไหว

มาตราในการวัดแผ่นดินไหว แบ่งการวัดออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1.4.1 มาตราวัดขนาด (Magnitude) เป็นค่าของพลังงานที่แผ่นดินไหวปลดปล่อยออกมาในแต่ละครั้ง ผู้เสนอแนวความคิดเรื่องขนาดของแผ่นดินไหวคนแรกคือ“ริคเตอร์” (C.F.Richter) ชาวอเมริกัน เมื่อพ.ศ. 2473 เราจึงนิยมเรียกว่า “ ขนาดแผ่นดินไหวตามมาตราริคเตอร์ ” ขนาดมีหลายมาตรา ได้แก่มาตราท้องถิ่น (Local Magnitude : ML) ใช้แสดงขนาดของแผ่นดินไหวในท้องถิ่นที่มีระยะทางไม่เกิน 10 องศา ละติจูด (1200 กิโลเมตร)

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

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

มาตราขนาดโมเมนต์ (Moment magnitude :Mw) แสดงถึงพลังงานของคลื่นแผ่นดินไหวได้ดีกว่าขนาดอื่น สามารถวิเคราะห์ได้จาก โมเมนต์แผ่นดินไหว (Seismic Moment) โดยที่ Moment สามารถคำนวณได้หลายวิธี เช่น จากการวิเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหวซึ่งค่อนข้างซับซ้อนหรือจากการสำรวจทางธรณีวิทยา เพื่อหาผลคูณของการขจัดของรอยเลื่อนเมื่อเกิดแผ่นดินไหว (Fault displacement) และปริมาณพื้นที่ของรอยเลื่อน (Fault surface area)ส่วนใหญ่ขนาดของ Mw ใช้ สำหรับกรณีแผ่นดินไหวไกล ที่มีขนาดใหญ่

ซึ่งขนาดของ ML MB และ MS สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยสูตรคำนวณซึ่ง Gutenberg และ Richter เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1956 ดังนี้

MS – MB = 0.4 (MS – 7)

MS – ML = 0.32 (ML – 6.6)

ML – MB = 0.4 (MB – 6)

MS – ML = 0.47 (MS – 6.7)

2.1.4.2 มาตราวัดความรุนแรง (Intensity) วัดจากความรู้สึกของคนและสัตว์หรือผลกระทบที่เกิดขึ้นกับอาคารสิ่งก่อสร้างสภาพภูมิประเทศ ที่เปลี่ยนไปเนื่องจากแผ่นดินไหว โดยเทียบหาอันดับความรุนแรงได้จากตารางสำเร็จที่บอกรายละเอียดของผลกระทบไว้เรียบร้อยแล้ว ความรุนแรงมีหลายมาตรา ได้แก่มาตรารอสซี – ฟอเรล (Rossi - Forel:Rf Scale) แบ่งออกเป็น 10 อันดับมาตราเจเอ็มเอ (Japan Meteorological Agency : JMA Scale) แบ่งออกเป็น 8 อันดับ (0-7)

มาตราเมอร์แคลลีที่ปรับปรุงแล้ว (Modified Mercalli : MM Scale) แบ่งออกเป็น 12 อันดับ (I – XII) ตั้งแต่อันดับ I เป็นแผ่นดินไหวที่ไม่สามารถรู้สึกได้นอกจากตรวจวัดได้ด้วยเครื่องตรวจแผ่นดินไหวเท่านั้น ไปจนถึงอันดับ XII เป็นแผ่นดินไหวที่ทำลายทุกสิ่งทุกอย่าง สำหรับประเทศไทยใช้มาตราวัดอันดับความรุนแรงตามมาตราเมอร์แคลลี

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

อันดับที่	ลักษณะความรุนแรงโดยเปรียบเทียบ
I	เป็นอันดับที่อ่อนมาก ตรวจวัดโดยเครื่องมือ
II	พอรู้สึกได้สำหรับผู้ที่อยู่นิ่งๆ ในอาคารสูง ๆ
III	พอรู้สึกได้สำหรับผู้อยู่ในบ้าน แต่คนส่วนใหญ่ยังไม่รู้สึก
IV	ผู้อยู่ในบ้านรู้สึกว่าของในบ้านสั่นไหว
V	รู้สึกเกือบทุกคน ของในบ้านเริ่มแกว่งไกว
VI	รู้สึกได้กับทุกคนของหนักในบ้านเริ่มเคลื่อนไหว
VII	ทุกคนต่างตกใจ สิ่งก่อสร้างเริ่มปรากฏความเสียหาย
VIII	เสียหายค่อนข้างมากในอาคารธรรมดา
IX	สิ่งก่อสร้างที่ออกแบบไว้อย่างดีเสียหายมาก
X	อาคารพัง รางรถไฟบิดงอ
XI	อาคารสิ่งก่อสร้างพังทลายเกือบทั้งหมด ผิวโลกปูดนูนและเลื่อนเป็นคลื่นพื้นดินอ่อน
XII	ทำลายหมดทุกอย่าง มองเห็นเป็นคลื่นบนแผ่นดิน

2.1.5 รอยเลื่อนที่ยังเคลื่อนตัวในประเทศไทย (Active Fault in Thailand)

รอยเลื่อน (Fault) คือรอยแตกของหินซึ่งทั้งสองข้างของรอยแตกมีการเคลื่อนตัวสัมพันธ์และขนานซึ่งกันและกัน รอยเลื่อนนี้อาจยาวเพียงสองสามเซนติเมตรหรือหลาย ๆกิโลเมตรก็ได้ เช่น รอยเลื่อนซานแดนเดรส มีความยาวถึง 800 ไมล์ โดยปกติรอยเลื่อนที่ยังเคลื่อนตัวอยู่นี้จะมีการเกิดแผ่นดินไหวขึ้นในอดีต หรือดูจากอายุของหินในบริเวณรอยเลื่อนนั้นสำหรับประเทศไทยมีรอยเลื่อนที่ยังเคลื่อนตัวโดยพิจารณาจากการเกิดแผ่นดินไหวในอดีตอยู่ 9 แนวด้วยกันคือ (รูปที่ 2)

2.1.5.6 รอยเลื่อนเชียงแสน รอยเลื่อนนี้วางตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งอยู่ตอนบนสุดของประเทศ มีความยาวประมาณ 130 กิโลเมตร โดยเริ่มจากร่องน้ำแม่จันไปทางทิศตะวันออก ผ่านอำเภอแม่จัน ตอนใต้อำเภอเชียงแสน จนถึงตอนเหนือของอำเภอเชียงของ มีแผ่นดินไหวตื้นเกิดขึ้นเมื่อปี 2521 มีขนาดมากกว่า 4.5 ริคเตอร์ขึ้นไปหลายครั้งในช่วง 15 ปีผ่านมา (1 ก.ย. 2521 ขนาด 4.9 ริคเตอร์)

2.1.5.6 รอยเลื่อนแพร่ รอยเลื่อนนี้อยู่ทางทิศตะวันออกของแอ่งแพร่ ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ มีความยาวประมาณ 115 กิโลเมตร โดยเริ่มจากทางตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอเด่นชัย ผ่านไปทางตะวันออกของอำเภอสูงเม่น และจังหวัดแพร่ ไปจนถึงด้าน

ตะวันออกเฉียงเหนือของอำเภอร้องกวาง มีแผ่นดินไหวขนาด 3 – 4 ริคเตอร์หลายครั้งในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา

2.1.5.6 รอยเลื่อนแม่ทา รอยเลื่อนนี้มีแนวอยู่ในรูปโค้ง ตามแนวลำน้ำแม่วองและลำน้ำแม่ทาในเขตจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน มีความยาวประมาณ 55 กิโลเมตร มีแผ่นดินไหวขนาดเล็ก ๆ เกิดขึ้นมากมาย (จากการศึกษาของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ ปี 2523)

2.1.5.7 รอยเลื่อนเถิน รอยเลื่อนนี้อยู่ทางตะวันตกของรอยเลื่อนแพร่ โดยเริ่มจากตะวันตกของอำเภอเถินไปทางตะวันออกเฉียงเหนือขนานกับรอยเลื่อนแพร่ ผ่านไปทางด้านเหนือของอำเภอวังชิ้น และอำเภอลอง มีความยาวประมาณ 90 กิโลเมตร

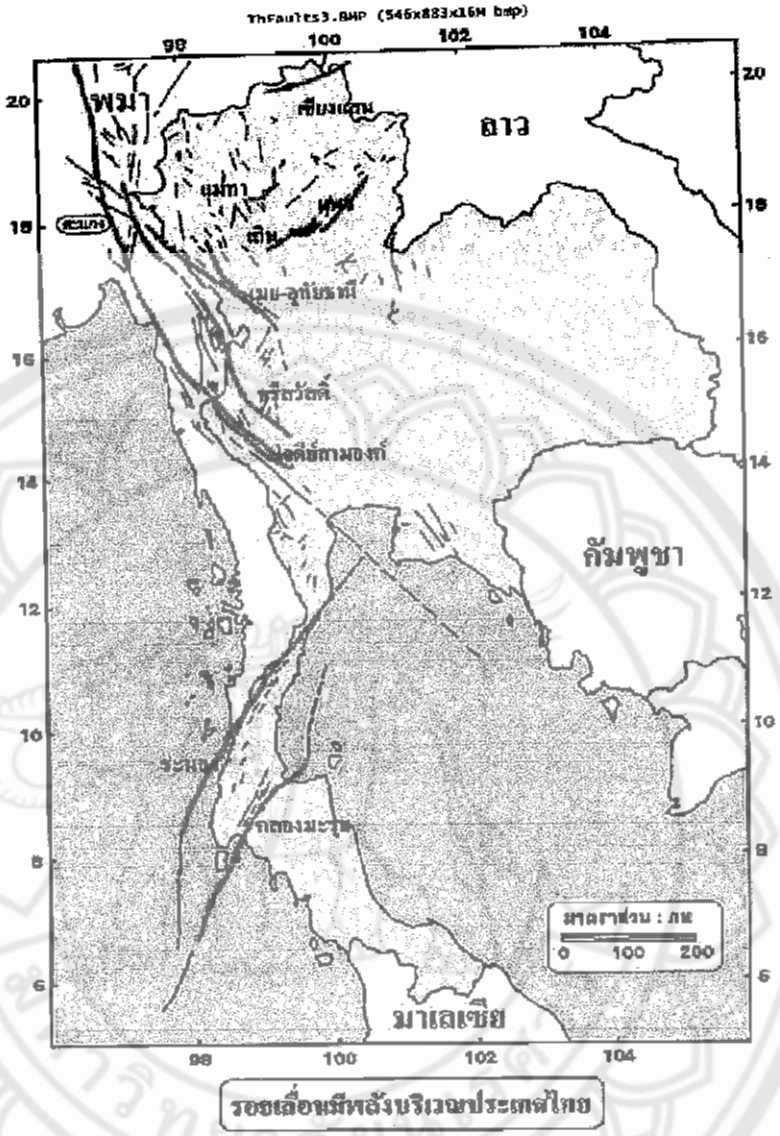
2.1.5.8 รอยเลื่อนเมย – อุทัยธานี รอยเลื่อนนี้วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ มีความยาวกว่า 250 กิโลเมตร โดยเริ่มจากลำน้ำเมย ชายเขตแดนประเทศพม่า ต่อกับห้วยแม่ท้อและตอนใต้ของแม่น้ำปิงจังหวัดตาก ผ่านไปยังจังหวัดกำแพงเพชร และนครสวรรค์ จนถึงเขตจังหวัดอุทัยธานี มีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในแนวรอยเลื่อนนี้หลายครั้ง โดยขนาดใหญ่ที่สุดเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2518 ที่อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก มีขนาด 5.5 ริคเตอร์

2.1.5.9 รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ รอยเลื่อนนี้อยู่ทางตะวันตกของรอยเลื่อนเมย – อุทัยธานีโดยมีทิศทางเกือบขนานกัน แนวรอยเลื่อนวางตัวในแนวร่องน้ำแม่กลองและแควใหญ่ ตลอดขึ้นไปจนถึงเขตแดนพม่ามีความยาวกว่า 500 กิโลเมตร ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมามีรายงานการเกิดแผ่นดินไหวหลายร้อยครั้งโดยมีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่สุดวัดได้ 5.9 ริคเตอร์ เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2526

2.1.5.10 รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ รอยเลื่อนนี้อยู่ในลำน้ำแควน้อยตลอดสาย ต่อไปจนถึงรอยเลื่อนสะแกง (Saksing Fault) ในประเทศพม่า ความยาวของรอยเลื่อนในช่วงที่อยู่ในประเทศไทยยาวกว่า 250 กิโลเมตร มีรายงานการเกิดแผ่นดินไหวหลายครั้ง ในช่วง 50 ปีที่ผ่านมา มีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่สุดวัดได้ 7.6 ริคเตอร์ เมื่อวันที่7 มกราคม 2480 และขนาด 5.8 ริคเตอร์ เมื่อวันที่ 11 มกราคม 2503

2.1.5.11 รอยเลื่อนระนอง รอยเลื่อนนี้วางตัวตามแนวร่องน้ำของแม่น้ำกระบุรี มีความยาวประมาณ 270 กิโลเมตร มีรายงานการเกิดแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2521 มีขนาด5.6 ริคเตอร์

2.1.5.12 รอยเลื่อนคลองมะรุย รอยเลื่อนนี้ตัดผ่านด้านตะวันออกของเกาะภูเก็ตผ่านไปยังอ่าวพังงาไปตามแนวคลองมะรุย คลองชะอุน และคลองพุมดวง จนถึงอ่าวบ้านดอน ระหว่างอำเภอพุนพินกับอำเภอท่าฉาง มีความยาวประมาณ 150 กิโลเมตร มีรายงานแผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2476 , 7 เมษายน 2519, 17 สิงหาคม 2542 และ29 สิงหาคม 2542



รูปที่ 2.1 รอยเลื่อนที่มีพลังบริเวณประเทศไทย

* หมายเหตุจากเอกสารประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรม ประจำปี 2533 ของ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย โดย ศ.ดร. ปริญญา นุตาลัย

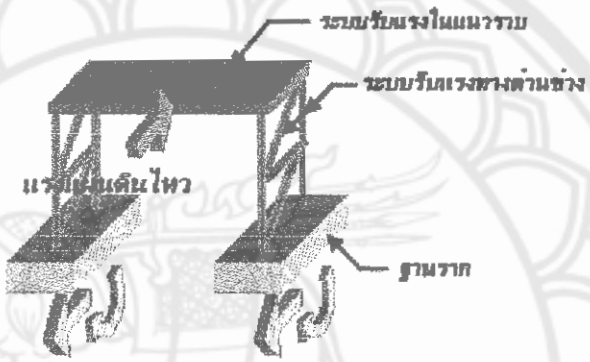
2.1.6 <u>โครงสร้างกับการรับแรงแผ่นดินไหว</u>

ประกอบด้วย

2.1.6.1 ระบบโครงสร้างในการรับแรงแผ่นดินไหวระบบโครงสร้างในการรับแรงแผ่นดินไหวสามารถจำแนกออกเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ ดังนี้

- ระบบรับแรงในแนวราบ (horizontal resistance systems หรือ diaphragms)

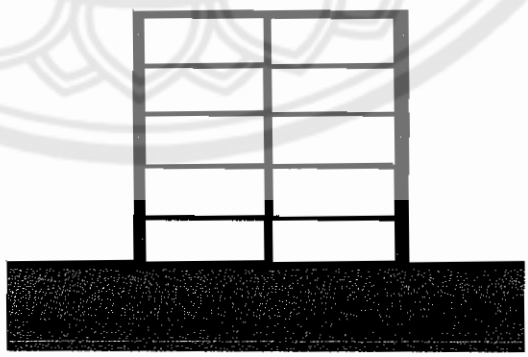
เป็นระบบที่ทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงแผ่นดินไหวในแนวราบไปสู่ระบบรับแรงทางด้านข้าง ตัวอย่างของโครงสร้างระบบนี้ ได้แก่ แผ่นพื้น หลังคา และโครงข้อหมุนที่วางตัวในแนวราบ



รูปที่ 2.2 ระบบโครงสร้างในการรับแรง

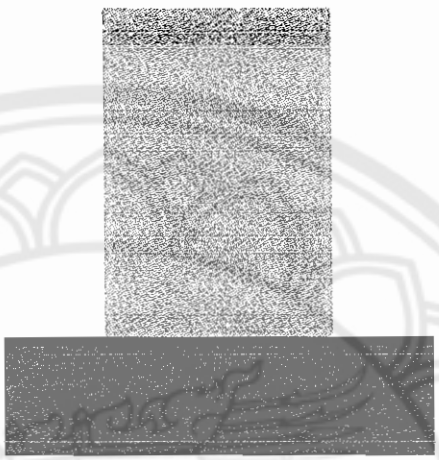
- ระบบรับแรงทางด้านข้าง (vertical resistance systems) เป็นระบบทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงจากระบบรับแรงในแนวราบไปสู่ฐานราก ซึ่งมีอยู่หลายระบบ ได้แก่

- ระบบโครงข้อแข็ง (moment resisting frames) เป็นระบบรับแรงทางด้านข้างที่อาศัยความแข็งแรงของเสาและคานซึ่งมีการยึดติดกันด้วยรอยต่อแบบแข็งเกร็ง (rigid connections)



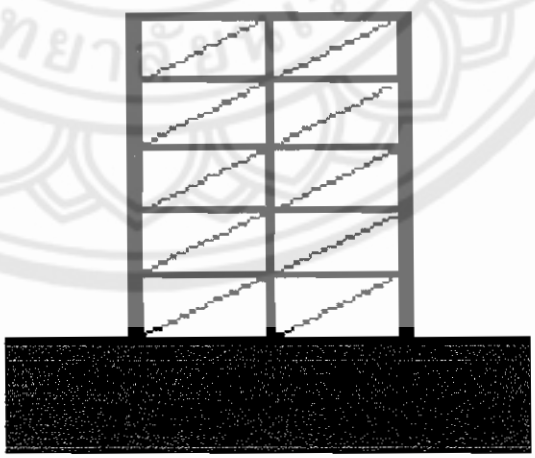
รูปที่ 2.3 ระบบโครงข้อแข็ง

- ระบบกำแพงรับแรงเฉือน (shear walls) เป็นระบบที่นำเอาผนัง ปล่องลิฟต์หรือ ปล่องบันได มาใช้ในการรับแรงทางด้านข้าง



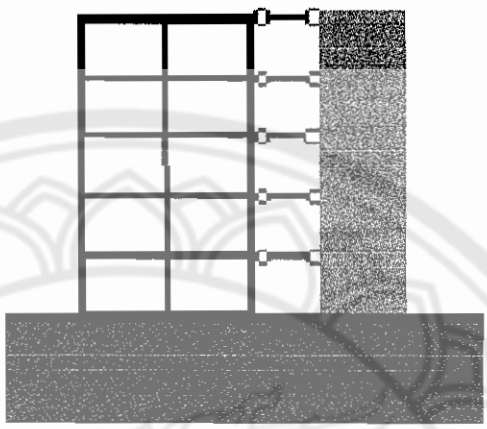
รูปที่ 2.4 ระบบกำแพงรับแรงเฉือน

- ระบบโครงแกงแนง (braced frames) เป็นระบบที่ใช้ค้ำยันหรือแกงแนงในการรับแรงทางด้านข้าง ซึ่งค้ำยันหรือแกงแนงที่ใช้มีหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น ค้ำยันรูปตัวเอกซ์(X) ค้ำยันรูปตัววี (V) และค้ำยันรูปตัวเค (K) เป็นต้น



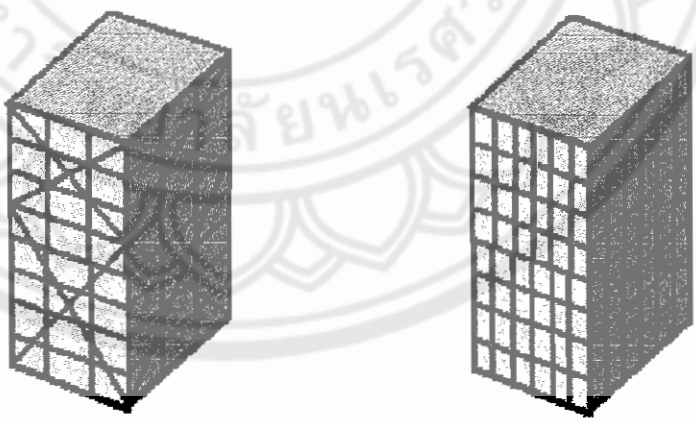
รูปที่ 2.5 ระบบโครงแกงแนง

- ระบบโครงสร้างคู่ (dual systems) เป็นการนำเอาระบบโครงสร้างที่กล่าวข้างต้นมา ใช้ร่วมกันในการรับแรงทางด้านข้าง เช่นการใช้โครงข้อแข็งร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกงแนงเป็นต้น



รูปที่ 2.6 ระบบโครงสร้างคู่

- ระบบโครงสร้างอื่นๆ เช่น ระบบกล่อง (tube) ซึ่งเป็นการออกแบบให้ผนังโดยรอบอาคารมีความแข็ง ทำให้อาคารมีลักษณะคล้ายกับเป็นคานยื่นที่มีหน้าตัดเป็นท่อกลวงหรือกล่องขนาดใหญ่ การทำให้ผนังโดยรอบของอาคารมีความแข็งนี้ สามารถทำได้โดยใช้ตัวยึดทแยง (braced tube) หรือวางเสารอบนอกอาคารให้เรียงใกล้กันและเชื่อมด้วยคานขอบที่แข็ง (framed tube)



รูปที่ 2.7 ระบบกล่อง (Braced tube) และ ระบบกล่อง (framed tube)

2.1.7 การเลือกรูปแบบโครงสร้าง

โครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหวที่ดีควรมีลักษณะดังต่อไปนี้

2.1.7.1 มีความต่อเนื่อง (continuity) กล่าวคือ ทางเดินของแรง หรือ load pat จะต้องมีความต่อเนื่องโดยเริ่มจากตำแหน่งที่น้ำหนักบรรทุกกระทำต่อเนื่อง ลงมาจนถึงดินฐานราก ถ้าทางเดินนี้ถูกตัดขาดหรือ มีความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้น โครงสร้างก็อาจเกิดการวิบัติขึ้นได้

2.1.7.2 มีความสม่ำเสมอ (regularity) โครงสร้างควรมีความสม่ำเสมอทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง

(1) ความสม่ำเสมอในแนวราบ กล่าวคือ ผังของโครงสร้างควรมีความเรียบง่ายและสมมาตร ความไม่สม่ำเสมอในแนวราบทำให้โครงสร้างต้องรับแรงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการเกิดความเข้มของหน่วยแรง (stress concentration) และ แรงบิดกระทำกับโครงสร้าง

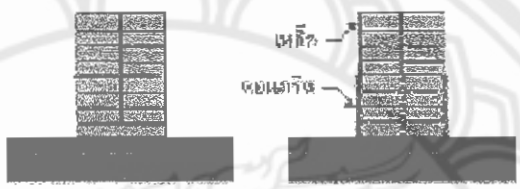
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของตัวอาคาร

(2) ความสม่ำเสมอในแนวดิ่ง โครงสร้างที่ดีควรมีความสม่ำเสมอตลอดความสูง และควรหลีกเลี่ยงความไม่สม่ำเสมอดังนี้

- ความไม่สม่ำเสมอของรูปทรง
- ความไม่สม่ำเสมอของความสูงระหว่างชั้น
- ความไม่สม่ำเสมอของมวล
- ความไม่สม่ำเสมอของกำลังหรือสติฟเนส
- ความไม่สม่ำเสมอของวัสดุโครงสร้าง

รูปที่ 2.9 ความไม่สม่ำเสมอของรูปทรง

รูปที่ 2.10 ความไม่สม่ำเสมอของความสูงและความไม่สม่ำเสมอของมวล



รูปที่ 2.11 ความไม่สม่ำเสมอของกำลังหรือสติฟเนส

(3) มีเสถียรภาพส่วนเกินของโครงสร้าง (structural redundancy) โครงสร้างที่ประกอบด้วยองค์อาคารหรือระบบรับแรงทางด้านข้างย่อยๆเป็นจำนวนมาก รวมทั้ง การที่โครงสร้างมีเส้นทางเดินของแรงหลายเส้นทาง จะแสดงความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวดีกว่า เนื่องจากจะมีความสามารถในการกระจายหน่วยแรงกลับไปมา (redistribution) โดยเฉพาะเมื่อโครงสร้างบางแห่งเกิดการวิบัติลงการทำให้โครงสร้างมีเสถียรภาพส่วนเกินนี้ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ระบบโครงสร้างคู่ (dual systems) หรือ การใช้โครงข้อแข็งหรือกำแพงรับแรงเฉือนหลายๆชุด

2.1.8 ข้อกำหนดในการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว

การออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตย์เทียบเท่า

ข้อกำหนดกฎกระทรวงฉบับที่ 49 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร เสนอวิธีการคำนวณแรงเฉือนที่ฐานอาคารตามข้อกำหนดของ Uniform Building Code, UBC-1985 ปัจจุบัน UBC ได้มีการพัฒนาสูตรการคำนวณแรงเฉือนที่ฐานอาคารใหม่ต่างไปจากเดิม ในที่นี้ จะนำเอาวิธีการคำนวณโดย UBC-1994 ซึ่งทันสมัยกว่า UBC-1985 มาใช้ในการคำนวณ หากมีการพัฒนาวิธีการคำนวณออกมาใหม่ ก็สามารถประยุกต์วิธีการนี้ไปใช้กับวิธีการใหม่ได้

ข้อกำหนดของ UBC-1994 เสนอแนะให้ใช้วิธีการคำนวณแรงเฉือนที่ฐานอาคาร โดยวิธีแรงสถิตย์เทียบเท่า (Equivalent Static Force) ได้ สำหรับโครงสร้างอาคารต่อไปนี้

ก) โครงสร้างทั้งหมด ที่อยู่ในเขต Seismic Zone 1 และโครงสร้างปกติทั่วไปที่อยู่ในเขต Zone 2 ส่วนอาคารที่อยู่ในเขต Zone 3 และ 4 จะต้องจำกัดความสูงซึ่งแตกต่างกันไปตามประเภทของโครงสร้าง

ข) โครงสร้างปกติที่มีผังอาคารสมมาตร และมีความสูงน้อยกว่า 73 ม.

ค) โครงสร้างไม่ปกติเช่น ผังอาคารมีรูปร่างไม่สมมาตร โครงสร้างอาคารที่มีมวลหรือสติฟเนสที่แปรเปลี่ยนในระหว่างชั้น เป็นต้น ซึ่งมีความสูงน้อยกว่า 5 ชั้น หรือ 20 ม.

ง) โครงสร้างซึ่งมีส่วนบนมีลักษณะยืดหยุ่นเช่น หอสูง เป็นต้น ซึ่งตั้งอยู่บนฐานที่แข็งแรงมั่นคง

สำหรับโครงสร้างอาคารที่มีคุณสมบัตินอกเหนือจากข้อกำหนดนี้ให้ใช้การคำนวณออกแบบโดยวิธีจลศาสตร์ (Dynamic method)

2.2 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยมาตรฐาน UBC 1994

การออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตย์เทียบเท่า

เริ่มจากการคำนวณหาแรงเฉือนที่ฐานอาคารก่อน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของสัมประสิทธิ์ความเสี่ยงภัย ความสำคัญของอาคารที่ออกแบบ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน ค่าตัวประกอบซึ่งคำนึงถึงคุณสมบัติการดูดซับพลังงาน และน้ำหนักของอาคาร เหล่านี้เป็นองค์ประกอบหลักของการคำนวณ จากนั้นจึงกระจายแรงเฉือนนี้เป็นแรงสถิตย์กระทำทางด้านข้างในแต่ละระดับชั้นของอาคาร ในลักษณะคล้ายกับแรงลงที่กระทำในแต่ละชั้นของอาคาร แต่แรงสถิตย์นี้จะแปรเปลี่ยนต่างไปจากแรงลม จึงเรียกวิธีการนี้ว่า แรงสถิตย์เทียบเท่า ซึ่งหมายถึงเทียบเท่าแรงกระทำที่ฐานอาคาร ขั้นตอนต่อมาคือการคำนวณตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้างอาคารต่อแรงกระทำทางด้านข้างนี้ ตามข้อกำหนดของ UBC หากตรวจสอบขั้นตอนนี้ผ่าน แสดงว่า อาคารมีรูปทรง สัดส่วนที่ดี และมีขนาดหน้าตัดเสาที่พอเหมาะ ทำให้มีเสถียรภาพต่อการสั่นสะเทือนจากแรงแผ่นดินไหว

ขั้นตอนต่อไป คือ การออกแบบองค์อาคารทั้งระบบให้มีความเหนียว เพื่อให้สามารถโยกไหวไป-มาได้โดยไม่แตกร้าวรุนแรงจนเสียกำลัง โดยการออกแบบตามหลักการของเสาแข็งแรงและคานอ่อน (Strong columns and weak beams) ซึ่งจะต้องมีวิธีการออกแบบเหล็กเสริมใน คาน เสา และจุดรอยต่อระหว่างเสาและคาน เป็นพิเศษ

2.2.1 การคำนวณแรงเฉือนที่ฐานของอาคาร

การคำนวณหาแรงเฉือนที่ฐานอาคาร โดยวิธีแรงสถิตย์เทียบเท่าตามข้อกำหนดของ Uniform Building Code, IBC-1994 คำนวณจาก

$$V_b = \frac{ZIC}{R_w}W$$

โดยที่ V_b คือ แรงเฉือนที่ฐานอาคาร

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์อื่นๆ มีรายละเอียด ดังนี้

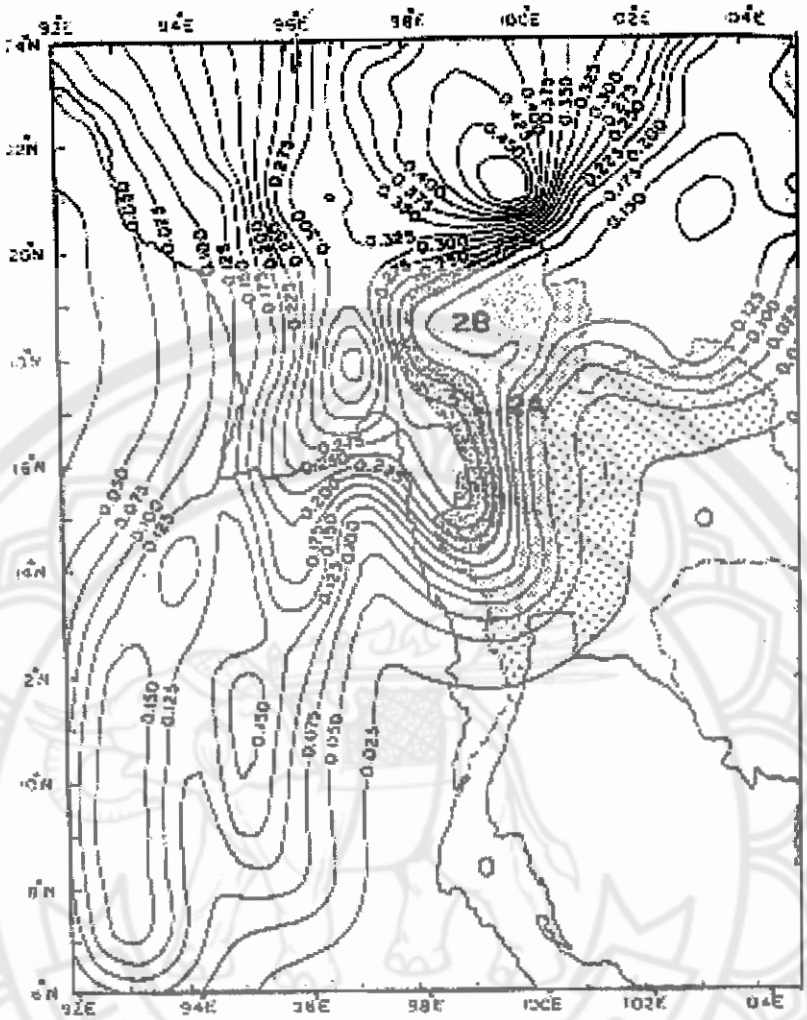
สัมประสิทธิ์ความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว (Seismic Zone Factor: Z)

ค่า Z นี้เป็นสัมประสิทธิ์ที่คำนึงถึงความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวตามที่แสดงในแผนที่เขตแผ่นดินไหว มีค่าตามตารางที่ 2.1 (UBC-1994) ดังนี้

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์ความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว

Zone	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

โดยที่ค่า Z เป็นค่าที่ใช้แทนอัตราเร่งสูงสุดประสิทธิผลของพื้นดิน (effective peak ground acceleration) ซึ่งมีโอกาสความน่าจะเป็นที่จะมีค่าเกินไปกว่านี้ = 10 % ในคาบเวลา 50 ปี



รูปที่ 2.12 สัมประสิทธิ์ความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว

สัมประสิทธิ์ความสำคัญของอาคาร (Important Factor: I)

ค่าสัมประสิทธิ์ความสำคัญของอาคาร (Important Factor: I) เป็นการให้ความสำคัญแก่ประโยชน์การใช้สอยของอาคารประเภทต่างๆ มีค่าตามตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์ความสำคัญของอาคาร

ประเภท	ความสำคัญของอาคาร	I
1	อาคารที่มีความจำเป็นต่อสาธารณะชน	1.25
2	**อาคารที่เก็บวัตถุมีพิษภัย**	**1.25**
3	**อาคารที่มีการใช้งานเป็นพิเศษ**	**1.00**
4	**อาคารใช้งานทั่วไป**	**1.00**
5	**อาคารอื่นๆ**	**1.00**

ประเภทที่ 1 อาคารที่จำเป็นต่อสาธารณะชน (Essential Facilities) เป็นอาคารที่มีความจำเป็นต้องใช้ในกรณีฉุกเฉินซึ่งต้องสามารถใช้งานได้ภายหลังเกิดแผ่นดินไหว เช่น โรงพยาบาล สถานีตำรวจดับเพลิง ที่ทำการรัฐบาล เป็นต้น

ประเภทที่ 2 อาคารที่เก็บวัตถุมีพิษภัย (Hazardous Facilities) เป็นอาคารเก็บวัตถุระเบิดซึ่งอาจมีการระเบิดที่รุนแรงออกมาได้

ประเภทที่ 3 อาคารที่มีการใช้งานเป็นพิเศษ (Special Occupancy Structures) ใช้สำหรับอาคารที่จุคนจำนวนมาก เช่น โรงเรียน มหาวิทยาลัย เป็นต้น

ประเภทที่ 4 อาคารใช้งานทั่วไป(Standard Occupancy Structures) เป็นอาคารมาตรฐานทั่วไปที่มิได้อยู่ในประเภท 1-3 รวมทั้งหอสูง

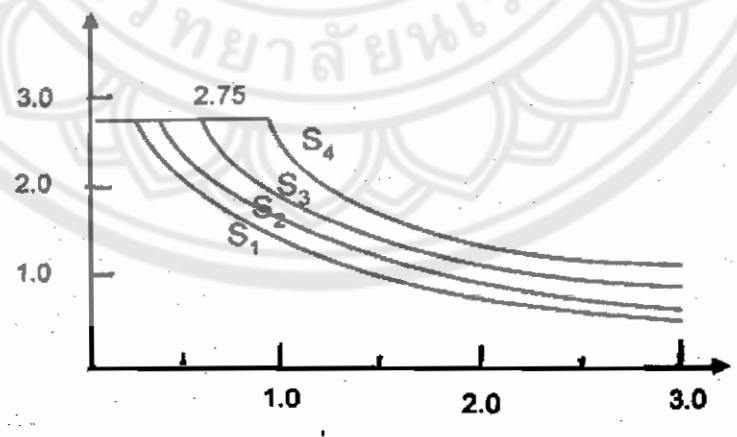
ประเภทที่ 5 อาคารอื่นๆ (Miscellaneous Structures) เป็นอาคารเบ็ดเตล็ดอื่นๆ ยกเว้นหอสูง

สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน (C Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน C ขึ้นอยู่กับค่าคาบการสั่นไหวธรรมชาติ, T และลักษณะสภาพของชั้นดิน, S ดังนี้

$$C = \frac{1.25S}{T^{2/3}}$$

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานนี้มีพื้นฐานการคำนวณมาจากค่า Elastic Design Spectra ดังนั้นจึงแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะของสภาพชั้นดินต่างๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 2.13 โดยที่ค่า C ที่คำนวณตามสมการ 2.2 ให้ใช้ได้ไม่เกิน 2.75



รูปที่ 2.13 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนกับคาบการสั่นของอาคารและประเภทของดิน

คาบการสั่นธรรมชาติ (Natural Period, T)

ค่าคาบการสั่นไหวธรรมชาติของโครงสร้างอาคารสามารถคำนวณได้ 2 วิธีคือ

ก) วิธีที่ 1 ใช้สำหรับคำนวณหาค่า T โดยประมาณ ดังนี้

$$T = C_t(h_n)^{3/4}$$

โดยที่ C_t = 0.0731 สำหรับโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

= 0.0853 สำหรับโครงสร้างอาคาร โครงเหล็ก

= 0.0488 สำหรับโครงสร้างอาคาร อื่นๆ

h_n คือ ความสูงทั้งหมดของอาคาร (ม.)

ข) วิธีที่ 2 ใช้คำนวณหาค่า T ที่ให้ค่าละเอียดกว่าวิธีแรก โดยการใช้ Rayleigh's formula ดังนี้

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

f_i คือ ค่าแรงกระทำด้านข้างที่ระดับชั้น i

w_i คือ น้ำหนักอาคารที่กระทำระดับชั้น i

δ_i คือ ค่าการเคลื่อนที่ของโครงสร้างที่ถูกกระทำโดย f_i

g คือ แรงโน้มถ่วงโลก (ม./วินาที^{2})

ค่าสัมประสิทธิ์ชั้นดิน (Site Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์ชั้นดินจำแนกตามลักษณะของชั้นดินที่อาคารตั้งอยู่ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ชั้นดิน

ประเภท	รายละเอียดชนิดของชั้นดิน	S
S1	ชั้นดินซึ่ง (ก) เป็นชั้นหินหรือ (ข) เป็นชั้นดินแข็งปานกลางถึงแข็งมากซึ่งลึก< 61 ม.	1.0
S2	ชั้นดินแข็งปานกลางถึงแข็งมากซึ่งลึก> 61 ม.	1.2
S3	ชั้นดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลาง มีความลึกเกินกว่า 6 ม. แต่มีชั้นดินอ่อนไม่เกิน 12 ม.	1.5
S4	ชั้นดินเหนียวอ่อนมีความลึกมากกว่า 12 ม. ซึ่งจำแนกได้โดยมีค่าความเร็วคลื่น Shear Wave < 150 ม. / วินาที	2.0

ค่าตัวประกอบการดูดซับพลังงาน (R_w Factor)

ค่าตัวประกอบ R_w คำนึงถึงคุณสมบัติการดูดซับพลังงานที่แตกต่างกันของโครงสร้างแต่ละชนิด คุณสมบัติการดูดซับพลังงานนี้ครอบคลุมถึงความเหนียว (ductility) และ Over Strength Factor ด้วย ค่าตัวประกอบ R_w แสดงในตารางที่ 2.4 ดังนี้

ตารางที่ 2.4 ค่าตัวประกอบ Rw (UBC-1994)

ระบบโครงสร้างพื้นฐาน[1]	ระบบการต้านทานแรงกระทำด้านข้าง	Rw[2]	H (ม.)[3]
1. ระบบ Bearing Wall	1. กำแพง Light-framed ซึ่งมีผนังรับแรงเฉือน		
	a. กำแพงผนังไม้สำหรับโครงสร้างซึ่งสูง 3 ชั้นหรือน้อยกว่า	8	19.5
	b. กำแพง Light-framed อื่นๆทั้งหมด	6	19.5
	2. กำแพงผนังรับแรงเฉือน (Shear Walls)		
	a. คอนกรีต	6	48.0
	b. ผนังก่อ	6	48.0
	3. กำแพง bearing walls โครงเหล็กเบาที่มีการยึดด้วยแรงดึง	4	19.5
	4. โครงสร้างค้ำยัน (Braced frames) ซึ่งมีโครงค้ำยันรับน้ำหนักบรรทุก (gravity load)		
	a. โครงสร้างเหล็ก	6	48.0
	b. คอนกรีต	4	-
	c. โครงสร้างไม้	4	19.5
2.ระบบ Bearing frame	1. โครงค้ำยันเหล็กรับน้ำหนักเยื้องศูนย์(EBF)	10	72.0
	2. กำแพง Light-framed ซึ่งมีผนังรับแรงเฉือน		
	a. กำแพงผนังไม้สำหรับโครงสร้างซึ่งสูง 3 ชั้นหรือน้อยกว่า	9	19.5
	b. กำแพง Light-framed อื่นๆทั้งหมด	7	19.5
	3.กำแพงผนังรับแรงเฉือน (Shear Walls)		
	a. คอนกรีต	8	72.0
	b. ผนังก่อ	8	48.0
	4. โครงค้ำยันปกติ (Ordinary braced frames)		
	a. โครงสร้างเหล็ก	8	48.0
	b. คอนกรีต	8	-
	c. โครงสร้างไม้	8	19.5
	5. โครงค้ำยันพิเศษรับน้ำหนักตรงศูนย์		
	a. โครงสร้างเหล็ก	9	72.0

3. ระบบ Moment-resisting frame	1. โครงสร้าง moment-resisting frames พิเศษ (SMRF)		
	a. โครงสร้างเหล็ก	12	N.L.
	b. คอนกรีต	12	N.L.
	2. โครงสร้างกำแพงก่อ moment-resisting wall frame	9	48.0
	3. โครงสร้างคอนกรีต intermediate- moment-resisting frame (IMRF)	8	-
	4. โครงสร้างปกติ Ordinary moment-resisting frame (OMRF)		
	a. โครงสร้างเหล็ก	6	48.0
	b. คอนกรีต	5	-
4. ระบบโครงสร้างผสม	1. กำแพงรับแรงเฉือน (Shear walls)		
	a. คอนกรีตชนิด SMRF	12	N.L.
	b. คอนกรีตกับโครงสร้างเหล็ก OMRF	6	48.0
	c. คอนกรีตกับคอนกรีต IMRF	9	48.0
	d. กำแพงก่อ SMRF	8	48.0
	e. กำแพงก่อกับโครงสร้างเหล็ก OMRF	6	48.0
	f. กำแพงก่อกับคอนกรีต IMRF	7	-
	2. โครงสร้างเหล็ก EBF		
	a. กับโครงสร้างเหล็ก SMRF	12	N.L.
	b. กับโครงสร้างเหล็ก OMRF	6	48.0
	3. โครงค้ำยันปกติ (Ordinary braced frames)		
	a. โครงสร้างเหล็กกับโครงสร้างเหล็ก SMRF	10	N.L.
	b. โครงสร้างเหล็กกับโครงสร้างเหล็ก OMRF	6	48.0
	c. คอนกรีตกับคอนกรีต SMRF	9	-
	d. คอนกรีตกับคอนกรีต IMRF	6	-
	4. โครงค้ำยันพิเศษรับน้ำหนักตรงศูนย์		
	a. โครงสร้างเหล็กกับโครงสร้างเหล็ก SMRF	11	N.L.
	b. โครงสร้างเหล็กกับโครงสร้างเหล็ก OMRF	6	48.0
5. ระบบอื่นๆ	ดูใน UBC Section 1627.8.3 และ 1627.9.2	-	-

N.L. - ไม่จำกัด

[1] ระบบโครงสร้างพื้นฐานซึ่งได้ให้คำจำกัดความใน UBC Section 1627.6.

[2] ดูใน UBC Section 1628.3 สำหรับโครงสร้างรวม

[3] H-จำกัดความสูงสำหรับ Seismic Zone 3 และ 4. ดูใน UBC Section 1627.7.

[4] ห้ามใช้สำหรับ Seismic Zone 3 และ 4

[5] ห้ามใช้สำหรับ Seismic Zone 3 และ 4, นอกจากที่ยอมให้ใน UBC Section 1632.2.

[6] Ordinary moment – resisting frames ใน Seismic Zone 1 ซึ่งมีคุณสมบัติตาม UBC Section 2211.6 อาจใช้ค่า Rw = 12.

[7] ห้ามใช้สำหรับ Seismic Zone 2A, 2B, 3 และ 4, ดูใน UBC Section 1631.2.7.

Bearing Wall System เป็นระบบโครงสร้างที่ออกแบบเพื่อรับน้ำหนักในแนวดิ่ง จึงจำเป็นต้องมีโครงค้ำยัน หรือกำแพงรับแรงเฉือนควบคู่กันกับระบบโครงสร้าง bearing wall นี้ด้วย เพื่อรับแรงกระทำด้านข้างจากแรงแผ่นดินไหว

Frame System เป็นระบบโครงสร้าง ซึ่งออกแบบให้มีการยึดรั้งในแต่ละองค์อาคารในลักษณะ 3 มิติ เข้าด้วยกัน เพื่อใช้รับน้ำหนักกระทำในแนวดิ่ง

Braced Frame เป็นระบบโครงสร้างดัดที่องค์อาคารมีการยึดรั้งระหว่างกันเพื่อใช้รับแรงกระทำทางด้านข้างได้

Moment-Resisting Frame System เป็นระบบโครงสร้างซึ่งออกแบบให้สามารถรับแรงกระทำทั้งในแนวดิ่งและแนวราบได้ ในการรับแรงทางแนวราบด้านข้างอาคารองค์อาคารมีการออกแบบให้จุดรอยต่อมีลักษณะแข็ง (rigid joint) เพื่อให้รับโมเมนต์ที่เกิดในและคานได้ โครงสร้างชนิดนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

ก) Ordinary Moment-Resisting Frame (OMRF) เป็นโครงสร้างโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัด (คอนกรีตเสริมเหล็กหรือโครงสร้างเหล็ก) ที่มิได้มีการออกแบบให้โครงสร้างมีความเหนียวเป็นพิเศษ โครงสร้าง OMRF สำหรับโครงสร้างเหล็กใช้ได้กับทุกเขตความเสี่ยงภัย แต่โครงสร้าง OMRF สำหรับ ค.ส.ล. ใช้สำหรับ Zone 1 ไม่สามารถใช้กับ Zone 2, 3, 4 ได้

ข) Intermediate Moment-Resisting Frame (IMRF) เป็นโครงสร้างโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัด ใช้กับคอนกรีตเสริมเหล็กที่ออกแบบให้โครงสร้างมีความเหนียวปานกลางโครงสร้างชนิดนี้ใช้สำหรับ Zone 1 และ 2 ไม่สามารถใช้ได้กับ Zone 3 และ 4

ค) Special Moment-Resisting Frame (SMRF) เป็นโครงสร้างโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัดที่มีการออกแบบโครงสร้างให้มีความเหนียวเป็นพิเศษตามมาตรฐานของ UBC ทั้งคอนกรีตเสริมเหล็ก และ โครงสร้างเหล็ก โครงสร้างประเภทนี้ใช้กับ Zone 3 และ 4 ได้

Dual System เป็นระบบโครงสร้างผสมระหว่างโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัดและกำแพงรับแรงเฉือน หรือ โครงค้ำยัน ซึ่งระบบโครงข้อแข็งต้านทานโมเมนต์ดัดจะต้องออกแบบให้สามารถรับแรงได้อย่างน้อย 25% ของเฉือนทั้งหมด

น้ำหนักอาคาร (Weight, W)

โดยทั่วไปค่า W เป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมดของโครงสร้าง แต่ในบางกรณีจะมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกชนิดอื่นเข้าไปด้วย ดังนี้

ก) สำหรับคลังเก็บพัสดุให้เพิ่มน้ำหนักอีก 25% ของน้ำหนักบรรทุกจร

ข) สำหรับพื้นที่ซึ่งมีการตบแต่งกั้นห้องเป็นส่วนๆจะต้องเพิ่มน้ำหนักอีก 48 กก./ ตร.ม.

ค) น้ำหนักของเครื่องมือ เครื่องจักรกลซึ่งติดตั้งถาวรจะต้องรวมด้วย

สำนักหอสมุด.
4 พ.ค. 254
4840536

2.2.2 <u>การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำด้านข้างในแต่ละอาคาร</u>

แรงเฉือนที่ฐานอาคาร V สามารถกระจายเป็นแรงกระทำในแต่ละชั้นอาคารได้ ตามสูตรดังนี้

$$F_t = 0.07TV \qquad \text{(ใช้ไม่เกิน } 0.25V\text{)}$$

$$= 0 \qquad (T \le 0.7 \text{ วินาที})$$

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

และ $$V = F_t + \sum F_x$$

โดยที่ F_x = แรงกระทำทางด้านข้างกระทำอยู่ชั้นอาคาร x

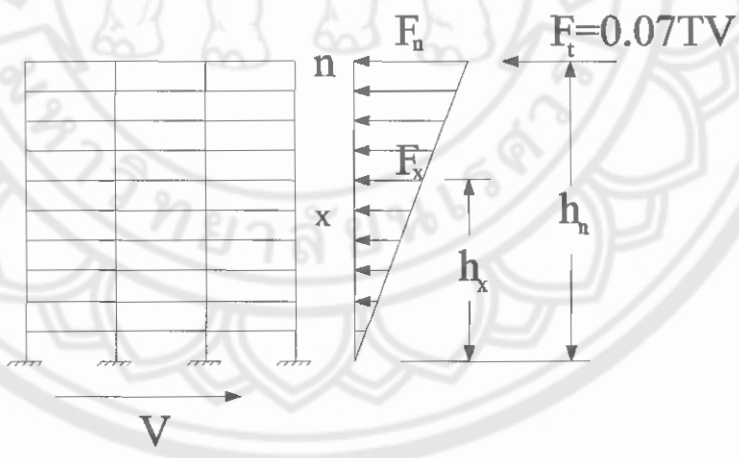
F_t = ส่วนหนึ่งของแรงเฉือนที่ฐานอาคารกระทำที่ยอดอาคารเพิ่มไปจากแรง F_n

h_x, h_i = ความสูงของระดับพื้น x และ i จากฐานอาคาร ตามลำดับ

W_x, W_i = น้ำหนักอาคารที่ระดับพื้น x และ i ตามลำดับ

n = คือ จำนวนชั้นอาคารเหนือฐานอาคารนั้น

การกระจายแรงกระทำด้านข้างอาคารนี้ แสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การกระจายแรงกระทำด้านข้างอาคาร

แรงเฉือนในแต่ละชั้นอาคาร

การคำนวณหาแรงเฉือน V_x ในแต่ละชั้น X ใดๆ สามารถคำนวณได้จากผลรวมของแรงกระทำทางด้านข้างเหนือชั้นอาคารนั้นๆ ดังนี้

$$V_x = F_i + \sum_{i=1}^{n} F_i$$

โดยที่ V_x คือ แรงเฉือนกระทำในระดับชั้นอาคาร x

F_i คือ แรงกระทำทางด้านข้างที่ระดับชั้นอาคาร i ดังแสดงในรูปที่ 2.13

โมเมนต์ดัดในแต่ละชั้นอาคาร

การคำนวณหาโมเมนต์ดัดในแต่ละชั้นของอาคาร X ใดๆ หาได้จากสูตร

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

โดยที่ M_x คือ โมเมนต์ดัดกระทำในระดับชั้นอาคาร x

h_n คือ ความสูงของระดับพื้น n จากฐานอาคาร

ผลกระทบของ PΔ (P-Delta Effects)

ผลกระทบของ PΔ หมายถึงโมเมนต์ดัดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลคูณระหว่างน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งและระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของเสา โมเมนต์นี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่าโมเมนต์ลำดับที่สอง (Secondary moment) ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อความมั่นคงของโครงสร้างได้หากมีค่ามากเกินไป UBC กำหนดโดยค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคง (Stability Coefficient, θ) ดังนี้

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

โดยที่ P_x = น้ำหนักอาคารทั้งหมด (W) ที่ระดับชั้น x และเหนือขึ้นไป

Δ_x = ระยะโยกของระดับชั้น X (story drift)

V_x = แรงเฉือนที่ระดับชั้น X

h_x = ความสูงของระดับชั้น X

ถ้าหากค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคง (Stability Coefficient, θ) มีค่าน้อยกว่า 0.10 หมายถึง **ผลกระทบของ PΔ มีค่าน้อยมากจึงไม่จำเป็นต้องนำมาคำนวณด้วย ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคงนี้เกินจากที่กำหนด จะต้องมีการคำนวณออกแบบเสาเป็นพิเศษเพื่อให้สามารถต้านทานโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นนี้**

2.2.3 การตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้างอาคาร

การคำนวณหาความมั่นคงของโครงสร้างอาคารต่อแรงกระทำทางด้านข้างตามข้อกำหนดของ UBC เพื่อตรวจสอบว่า อาคารมีรูปทรง สัดส่วนที่ดี และมีขนาดหน้าตัดเสาที่พอเหมาะที่จะทำให้มีเสถียรภาพต่อแรงกระทำทางด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ซึ่งมีขั้นตอนในการตรวจสอบ 3 ขั้น คือ

ก. ตรวจสอบค่าระยะการโยกตัวในแต่ละระดับชั้น Story drift

UBC กำหนดค่า story drift ดังนี้

สำหรับโครงสร้างซึ่งมีคาบการสั่นธรรมชาติ น้อยกว่า 0.7 วินาที

ค่า Story drift ไม่เกิน $0.04h_i/R_w$ หรือ ไม่เกิน $0.005h_i$

สำหรับโครงสร้างซึ่งมีคาบการสั่นธรรมชาติ เท่ากับหรือมากกว่า 0.7 วินาที

ค่า Story drift ไม่เกิน $0.03h_i/R_w$ หรือ ไม่เกิน $0.004h_i$

หากค่า Story drift เกินจากที่กำหนดนี้แสดงว่า ขนาดเสามีหน้าตัดเล็กเกินไป ควรขยายขนาดเสาใหม่ให้ใหญ่ขึ้น และตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งจนกว่าจะผ่าน

ข. ตรวจสอบค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์ (Safety Factor against Overturning Moment, SF)

$$S.F. \geq 1.5$$

หากค่าความปลอดภัยนี้เกินจากที่กำหนดแสดงว่า อาคารมีรูปทรงสัดส่วนที่ไม่ดีทำให้ไม่มีเสถียรภาพเพียงพอต่อแรงกระทำทางด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ซึ่งควรปรับแก้ขนาดรูปทรงใหม่โดยอาจขยายส่วนฐานของอาคารให้กว้างขึ้น

ค. ตรวจสอบผลกระทบของ PΔ

UBC กำหนดค่าประสิทธิ์ความมั่นคง (Stability Coefficient, θ) ดังนี้

สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในเขต Zone 1 และ 2 ค่า $\theta < 0.10$

สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในเขต Zone 3 และ 4 ค่า $\theta < 0.02/R_w$

ถ้าหากค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคง มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดนี้ ก็ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบจาก PΔ นี้ ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคงเกินจากที่กำหนด จะต้องมีการคำนวณการออกแบบเสาเป็นพิเศษเพื่อให้สามารถต้านทานโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นนี้ได้ ซึ่งอาจใช้การขยายขนาดเสาให้มีค่าสติฟเนสมากขึ้น หรือเสริมปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้น