

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบผนังรับแรงเฉือนต้านทานแรงแผ่นดินไหว

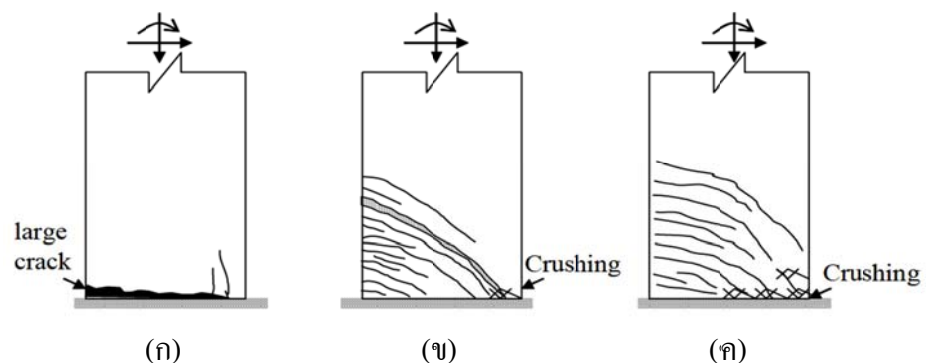
โครงสร้างกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กมีบทบาทที่สำคัญในการต้านทานแรงด้านข้าง เนื่องจากคุณสมบัติของกำแพงมีค่าสติฟเนสที่สูง จึงทำให้สามารถลดค่าการโก่งตัวของโครงสร้าง รวมทั้งลดระดับความเสียหายของส่วนประกอบอาคารที่มีใช้โครงสร้างได้ ดังนั้นจึงได้รับความนิยมในการใช้ โดยเฉพาะสำหรับอาคารสูงปานกลาง โดยการออกแบบผนังรับแรงเฉือนของโครงสร้างในประเทศไทยจะต้องพิจารณาแรงลมและแรงแผ่นดินไหว โดยมีข้อพิจารณาในการออกแบบแรงลมและแรงแผ่นดินไหวดังต่อไปนี้

2.1.1 ข้อพิจารณาในการออกแบบผนังรับแรงเฉือนสำหรับอาคารสูง

การวิเคราะห์และออกแบบผนังรับแรงเฉือน จะพิจารณาให้ผนังรับแรงเฉือนเป็นคานยื่นจากฐานขึ้นไปในแนวดิ่ง แรงที่ใช้ในการออกแบบจะประกอบด้วย แรงเฉือน โมเมนต์ และแรงอัดตามแนวแกนหน้าตัดของผนัง

ลักษณะการวิบัติของผนังรับแรงเฉือนมีทั้งหมด 3 ลักษณะ คือ

- ก.) การวิบัติเนื่องจากการครากของเหล็กเสริม ซึ่งเกิดจากการเสริมเหล็กต้านทานแรงดึงไม่เพียงพอ ซึ่งจะพบเห็นรอยร้าวขนาดใหญ่ในแนวนอนที่ฐานผนัง รูปที่ 2.1 ก.
- ข.) การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน เกิดจากการเสริมเหล็กทนด้านทานแรงเฉือนไม่เพียงพอ จะพบจากรอยร้าวทแยงทำมุมประมาณ 45 องศากับแนวดิ่งของกำแพงรูปที่ 2.1 ข.
- ค.) การวิบัติเนื่องจากการบดแตก (crushing) ของคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตรับแรงอัดมากเกินไป รูปที่ 2.1 ค.



รูปที่ 2.1 ลักษณะการวิบัติที่พบในผนังรับแรงเฉือนของอาคารสูง (ที่มา: E.G.Nawy, พ.ศ. 2548)

2.1.2 การออกแบบผนังรับแรงเฉือน ตาม ACI 318-02

การออกแบบผนังรับแรงเฉือนตาม ACI 318-02 กำหนดให้ผนังรับแรงเฉือนมี 2 แบบ คือ ผนังรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary structure wall) และผนังรับแรงเฉือนแบบพิเศษ (Special structure wall) ในพื้นที่กรุงเทพฯ ผนังรับแรงเฉือนจะออกแบบเป็นผนังรับแรงเฉือนแบบธรรมดามีขั้นตอนหลักคือ การออกแบบให้รับแรงเฉือนและโมเมนต์ค้ดร่วมกับแรงตามแนวแกนที่ได้จากแรงลมและแรงแผ่นดินไหว

2.2 การคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคารตาม มยพ. 1311-50

ในปี พ.ศ. 2550 กรมโยธาธิการและผังเมือง ได้ประกาศใช้ มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร (มยพ. 1311-50) ซึ่งมาตรฐานนี้ได้พัฒนาขึ้นจากข้อมูลการศึกษาวิจัยในประเทศเพื่อปรับปรุงข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างอาคารภายใต้แรงลมให้เหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐานสากล โดยคณะผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ข้อบังคับการออกแบบอาคารของประเทศแคนาดา ปี ค.ศ. 2005 (National Building Code of Canada, NBCC), มาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับออกแบบอาคาร ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2546 (E.I.T. Standard 1018-46), ข้อเสนอแนะน้ำหนักบรรทุกสำหรับอาคารของประเทศญี่ปุ่น ปี ค.ศ. 2004 (Recommendation for Load on Building, AIJ) และมาตรฐานน้ำหนักบรรทุกออกแบบต่ำสุดสำหรับอาคารและโครงสร้างอื่นๆ ของประเทศสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 2005 (Minimum Design Loads for Building and Other Structure, ASCE7-05) ในการคำนวณแรงลมสามารถใช้ได้ทั้งแบบวิธีอย่างง่ายและวิธีอย่างละเอียดตามลักษณะโครงสร้างดังต่อไปนี้

2.2.1 การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่า โดยวิธีการอย่างง่าย

ตามมาตรฐานกำหนดให้สามารถใช้การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่าโดยวิธีการอย่างง่ายสำหรับระบบโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม (Main wind-force resistant system) ของอาคารเดี่ยวและอาคารสูงปานกลางที่มีความสูงไม่เกิน 80 เมตร และมีความสูงไม่เกิน 3 เท่าของความกว้างประสิทธิภาพที่น้อยที่สุดและไม่ใช่อาคารที่มีน้ำหนักเบา, มีความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ต่ำ และมีคุณสมบัติความหน่วง (Damping properties) ของอาคารต่ำ

2.2.2 การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่า และการตอบสนองในทิศทางลม โดยวิธีการอย่างละเอียด

ตามมาตรฐานกำหนดให้สามารถใช้การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่าโดยวิธีการอย่างละเอียดสำหรับระบบโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม (Main wind-force resistant system) ของอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีความสูงเกิน 80 เมตร หรือมีความสูงเกิน 3 เท่าของความกว้างประสิทธิภาพที่น้อยที่สุด หรือเป็นอาคารที่มีน้ำหนักเบา, มีความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ต่ำ และมีคุณสมบัติความหน่วง (Damping properties) ของอาคารต่ำ

2.2.3 การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่าและการตอบสนองในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม และโมเมนต์บิดสถิตเทียบเท่า

นอกจากการคำนวณแรงลมในทิศทางตามลมและในบางครั้งจะต้องคำนวณโครงสร้างรับแรงลมในทิศทางตั้งฉากกับแรงลมด้วย การคำนวณตามมาตรฐานนี้ กำหนดขอบเขตการใช้สำหรับโครงสร้างที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ ตั้งแต่ 3 ขึ้นไป อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ ไม่เกิน 6 และอัตราส่วน $\frac{D}{W}$ มีค่าระหว่าง 0.2 ถึง 5 และมีค่าอัตราส่วน $\frac{V_H}{n_w \sqrt{WD}}$ และ $\frac{V_H}{n_T \sqrt{WD}}$ ไม่มากกว่า 10 ซึ่งถ้าอาคารที่พิจารณามีคุณสมบัติอื่นนอกเหนือจากขอบเขตนี้ จำเป็นต้องวิเคราะห์แรงลมและผลตอบสนองโดยวิธีการอื่นที่เหมาะสม เช่น การทดสอบในอุโมงค์ลม

2.2.4 การตรวจความมั่นคงของอาคารต่อแรงลม

ในการออกแบบความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง จำเป็นต้องตรวจสอบความมั่นคงของอาคารเพื่อป้องกันความเสียหายรุนแรงต่อโครงสร้างอาคาร และเพื่อความสะดวกของผู้ใช้อาคาร โดยต้องพิจารณากรณีต่างๆ ดังนี้

2.2.4.1 ความปลอดภัยต่อโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำ

เพื่อป้องกันการพลิกคว่ำของอาคารเนื่องจากแรงลม สามารถคำนวณค่าความปลอดภัยได้จากสมการที่ 2.1 โดยควรมีค่าความปลอดภัยไม่น้อยกว่า 1.50

$$\text{ค่าความปลอดภัยต่อโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำ } (SF) = \frac{M_{react}}{M_{act}} \quad (2.1)$$

โดยที่ M_{act} = โมเมนต์เนื่องจากแรงลมในทิศทางลมที่กระทำต่ออาคาร รอบขอบริมบนสุดของอาคาร

M_{react} = โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ของอาคารในแต่ละชั้น รอบขอบริมนอก
 สูดของอาคาร ที่ตำแหน่งเดียวกับ M_{act}

2.2.4.2 การโก่งตัวด้านข้าง

อาคารที่มีค่าการโก่งตัวด้านข้างของอาคารสูง จะมีผลกระทบต่อการใช้งานของอาคารและความเสียหายต่อองค์อาคารหลักและองค์อาคารรอง ดังนั้นในมาตรฐาน มยผ. 1311-50 จึงกำหนดค่าพิสัยยอมให้ สำหรับระยะการโก่งตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นที่ยอดอาคาร (Δ) ไม่เกิน 1/500 ของความสูงอาคาร โดยคำนวณจากน้ำหนักบรรทุกทุกจากแรงดึงดูดโลกพร้อมกับแรงลมสถิตเทียบเท่าที่ความเร็วลมอ้างอิง ที่คูณด้วยค่าประกอบความสำคัญของแรงลมในสถานะจำกัดด้านการใช้งานเท่ากับ 0.75

2.2.4.3 การสั่นไหวของอาคารในทิศทางลมและทิศตั้งฉากกับทิศทางลม

เพื่อให้ผู้ใช้อาคารไม่เกิดอาการรู้สึกไม่สบายหรือเกิดอาการเวียนศีรษะ มาตรฐานจึงกำหนดให้ความรุนแรงของการสั่นไหวสามารถวัดได้ในรูปอัตราเร่งที่ยอดอาคาร (maximum horizontal acceleration) ซึ่งสามารถประมาณได้จากสมการ 2.2 และ 2.3 สำหรับค่าอัตราเร่งสูงสุดในแนวราบในทิศทางลม (a_D) และทิศตั้งฉากกับทิศทางลม (a_w) ตามลำดับ

$$a_D = 4\pi^2 n_D^2 g_p \sqrt{\frac{KsF}{C_e H \beta_D}} \times \frac{\Delta}{C_g} \quad (2.2)$$

$$a_w = 4I_w q_H C_L' g_p \frac{W}{(\rho_B W D)} \frac{z}{H} \sqrt{R_L} \quad (2.3)$$

โดยค่าที่คำนวณได้ที่พิจารณาค่าประกอบความสำคัญของแรงลม (I_w) ในสถานะจำกัดด้านการใช้งานเท่า 0.75 จะต้องมามีค่าไม่มากกว่า 0.15 เมตรต่อวินาที สำหรับกรณีของอาคารพักอาศัย หรือ 0.25 เมตรต่อวินาที สำหรับกรณีของอาคารพาณิชย์

2.3 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวและการตอบสนองของอาคาร ตาม มยผ.

1302-52

นอกจากแรงลมแล้วอาคารในเขตที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวจะต้องมีการคำนวณออกแบบโครงสร้างเพื่อรองรับการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ในปี พ.ศ. 2552 กรมโยธาธิการและผังเมือง ได้ประกาศใช้ มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1302-52) ซึ่งมาตรฐานฉบับนี้ถูกจัดทำขึ้น เพื่อลดข้อจำกัดการออกแบบเกี่ยวกับแรงแผ่นดินไหวและเพิ่มเติม

ความสมบูรณ์ให้กับ กฎกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2550 และให้มีความทันสมัยมากขึ้นเทียบเท่ามาตรฐานสากล

มาตรฐานฉบับนี้พัฒนาขึ้นจากผลงานการศึกษาและวิจัยในขณะนั้น โดยใช้แม่แบบจาก มาตรฐานน้ำหนักบรรทุกออกแบบต่ำสุดสำหรับอาคารและโครงสร้างอื่นๆ ของประเทศสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 2005 (Minimum Design Loads for Building and Other Structure, ASCE7-05) และดำเนินการปรับแก้ข้อกำหนด สัมประสิทธิ์ ค่าตัวประกอบ สูตรและสมการออกแบบบางส่วน เพื่อให้มาตรฐานฉบับนี้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับสภาวะการณ์ของประเทศไทย

ในการคำนวณโครงสร้างตามมาตรฐาน มยผ.1302-52 สามารถใช้วิธีการคำนวณได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

2.3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบอาคารได้หลากหลายประเภทอาคารในกรณีที่อาคารมีรูปร่างรูปทรงไม่ซับซ้อน วิธีนี้จะเริ่มจากการคำนวณแรงเฉือนที่ฐานอาคาร (seismic base shear, V) จากนั้นจึงกระจายแรงไปยังชั้นต่างๆ ของอาคาร เป็นแรงแบบสถิตกระทำที่ด้านข้างอาคาร

2.3.1.1 แรงเฉือนที่ฐานอาคาร

แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (seismic base shear, V) คำนวณได้จาก

$$V = C_s W' \quad (2.4)$$

โดยที่ C_s = สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว คำนวณได้จากสมการ 2.17

$$C_s = S_a \left(\frac{1}{R} \right) \geq 0.01 \quad (2.5)$$

W' = น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร คำนวณผลรวมของน้ำหนักคงที่ทั้งหมดของอาคาร และร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกจร ในกรณีของอาคารที่เก็บพัสดุ น้ำหนักของผนังอาคาร และผนังกันห้องต่างๆหรือน้ำหนักบรรทุกเทียบเท่าจากน้ำหนักผนังอาคาร ที่กระจายลงพื้นทั่วทั้งชั้นไม่น้อยกว่า 480 นิวตันต่อตารางเมตร และน้ำหนักเครื่องมือเครื่องจักรที่ติดตั้งถาวรในอาคาร

S_a = ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับออกแบบ ที่คาบการสั่นพื้นฐาน, T

โดยใช้ สเปกตรัมตอบสนองสำหรับวิธีแรงสถิตเทียบเท่าที่กำหนดในมาตรฐาน

R = ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง ขึ้นอยู่กับลักษณะระบบโครงสร้างที่เลือกใช้ในการออกแบบ สำหรับผนังรับแรงเฉือนแบบธรรมดา $R = 5$

I = ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของอาคาร

2.3.1.2 แรงบิด

แรงกระทำด้านข้างต่ออาคารในแต่ละชั้นที่คำนวณได้ จะกระทำที่ศูนย์กลางมวล (Center of mass) ของแต่ละชั้น ซึ่งในกรณีที่ศูนย์กลางความแข็งแกร่ง (Center of rigidity) อยู่เยื้องกับศูนย์กลางมวล จะทำให้เกิดแรงบิดจากลักษณะโครงสร้าง (Inherent torsion moment, M_t) ขึ้น ในส่วนของการออกแบบ จำเป็นต้องคำนึงถึงแรงบิดดังกล่าวร่วมกับแรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental torsion, M_{ta}) ซึ่งแรงบิดโดยบังเอิญนี้คือการสมมติให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่เยื้องออกจากตำแหน่งเดิม เป็นระยะทางร้อยละ 5 ของมิติอาคารในทิศตั้งฉากกับแนวแรง และในกรณีของอาคารที่ต้องพิจารณาผลรวมของแรงแผ่นดินไหวใน 2 ทิศทางหลักที่ตั้งฉากกัน การย้ายศูนย์กลางมวลเพื่อสร้าง M_{ta} นี้ให้ทำเพียงทิศทางเดียว แต่ต้องพิจารณาทิศทางที่สร้างให้เกิดแรงบิดบังเอิญที่รุนแรงกว่า

2.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal response spectrum analysis) เป็นการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ประเภทหนึ่งในสองประเภท และเป็นการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น จึงสามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยต้องทราบมวลและสติฟเนสของโครงสร้างอาคารอย่างถูกต้อง เพื่อมาสร้างแบบจำลองอาคารเพื่อคำนวณค่าคาบการสั่นและรูปร่างโหมดธรรมชาติของการสั่นไหวของโครงสร้าง

2.3.2.1 จำนวนโหมดที่ต้องพิจารณา

ในการวิเคราะห์จะต้องพิจารณารวมการตอบสนองจากหลายโหมดโดยจำนวนโหมดที่พิจารณาจะต้องเพียงพอที่จะทำให้ผลรวมของการมีส่วนร่วมของมวลเชิงโหมด (Modal mass participation) หรือน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Effective modal weight) มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของน้ำหนักประสิทธิผลทั้งหมดของอาคาร สำหรับแต่ละทิศทางของแผ่นดินไหว

2.3.2.2 การรวมค่าการตอบสนองจากหลายโหมด

การรวมค่าการตอบสนองจากหลายโหมด สามารถทำได้ด้วยวิธีที่เหมาะสม เช่น วิธีรากที่สองของผลรวมของค่ากำลังสอง (Square root of sum of square, SRSS) หรือวิธีการรวมแบบสมบูรณ์ของค่ากำลังสอง (Complete quadratic combination, CQC)

โดยทั่วไปจะใช้วิธี SRSS ยกเว้นกรณีที่โครงสร้างมีคาบการสั่นของสองโหมดมีค่าใกล้เคียงกันจะใช้วิธี CQC แทน เช่นกรณีที่คาบการสั่นของโหมดการโยกตัวมีค่าใกล้เคียงกับคาบการสั่นโหมดบิดตัว ซึ่งจะทำให้มีการปฏิสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของทั้งสองโหมดอย่างมีนัยสำคัญ

2.3.2.3 การปรับค่าการตอบสนองเพื่อใช้ในการออกแบบ

แรงภายในจากวิธีเชิงพลศาสตร์ที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างไม่ควรแตกต่างจากแรงที่ได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่ามากเกินไป ซึ่งโดยปกติค่าคาบการสั่นที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองคณิตศาสตร์จะมีค่ามากกว่าค่าประมาณ เนื่องจากแบบจำลองคณิตศาสตร์จะไม่ได้คิดผลของสติฟเนสขององค์ประกอบอาคารอื่นๆ จึงส่งผลให้ค่าแรงเฉือนที่ฐานที่คำนวณได้จากวิธีพลศาสตร์น้อยกว่าค่าแรงเฉือนที่ฐานที่คำนวณได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่า ดังนั้นมาตรฐานจึงกำหนดให้ค่าคาบการสั่นที่คำนวณจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ต้องไม่มากกว่า 1.5 เท่าของค่าคำนวณได้จากวิธีการประมาณ และแรงเฉือนที่ฐานที่คำนวณได้จากวิธีเชิงพลศาสตร์ต้องไม่น้อยร้อยละ 85 ของค่าแรงเฉือนที่ฐานที่คำนวณได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

2.3.3 การตรวจสอบความมั่นคงของอาคารต่อแรงแผ่นดินไหว

ในการออกแบบความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง จำเป็นต้องตรวจสอบความมั่นคงของอาคารเพื่อป้องกันความเสียหายรุนแรงต่อโครงสร้างอาคาร

2.3.3.1 การพลิกคว่ำเนื่องจากแผ่นดินไหว

อาคารที่ออกแบบต้องสามารถทนต่อแรงสถิตเทียบเท่าโดยไม่เกิดการพลิกคว่ำ ซึ่งควรมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Safety factor, SF) ที่สภาวะใช้งานไม่น้อยกว่า 1.50

2.3.3.2 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

ภายใต้แรงแผ่นดินไหวอาคารจะต้องมีการเสียดรูปไม่มากเกินไป ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (Design story drift, Δ) จะต้องคำนวณจาก ผลต่างระหว่าง

การเคลื่อนตัวในแนวนอนที่จุดศูนย์กลางมวลของชั้นบนและชั้นล่างที่พิจารณา ซึ่งการเคลื่อนตัวในแนวนอนที่จุดศูนย์กลางมวลของชั้นใดๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I} \quad (2.6)$$

โดยที่ δ_{xe} = ค่าการเคลื่อนตัวในแนวนอนที่จุดศูนย์กลางมวลของชั้น x เนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า ซึ่งได้คำนึงถึงผลของการแตกตัวขององค์อาคารที่มีผลต่อค่าสติเฟนสขององค์อาคารนั้นด้วย

C_d = ตัวประกอบขยายการโก่งตัว

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (Design Story Drift, Δ) ที่คำนวณได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่าหรือวิธีเชิงพลศาสตร์ต้องมีค่าไม่เกินค่าที่ยอมให้ (Allowable Story Drift, Δ_a)

ในกรณีที่อาคารมีการปิดตัวรอบแกนดิ่งอย่างชัดเจน เมื่อถูกแรงแผ่นดินไหวกระทำการคำนวณค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Δ) นี้จะต้องรวมผลของการปิดตัวของอาคารเข้าไปด้วย

ตารางที่ 2.1 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้, Δ_a (ที่มา: มยผ. 1302-52, พ.ศ.2552)

ลักษณะโครงสร้าง	ประเภทความสำคัญของอาคาร		
	I หรือ II	III	IV
โครงสร้างที่ไม่ใช่ผนังอิฐก่อรับแรงเฉือนและสูงไม่เกิน 4 ชั้น ซึ่งภายในจากกันห้อง ฝ้าเพดาน และผนังภายนอกถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้มาก	$0.025h_{sx}$	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$
โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบยื่นจากฐานรองรับ	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$
โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบอื่นๆ	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$
โครงสร้างอื่นๆ ทั้งหมด	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.010h_{sx}$

หมายเหตุ h_{sx} คือความสูงระหว่างชั้นที่อยู่ใต้ชั้นที่ x

2.4 การประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคาร

การวิเคราะห์ความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคาร โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างสามารถทำได้หลายวิธี แต่ละวิธีมีความยุ่งยากซับซ้อนแตกต่างกันโดยวิธีที่ให้คำตอบ

ถูกต้องที่สุดจะมีความซับซ้อนที่สุดเช่นกัน ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มการวิเคราะห์หลักได้ 4 กลุ่ม โดยเรียงลำดับตามความซับซ้อน คือ

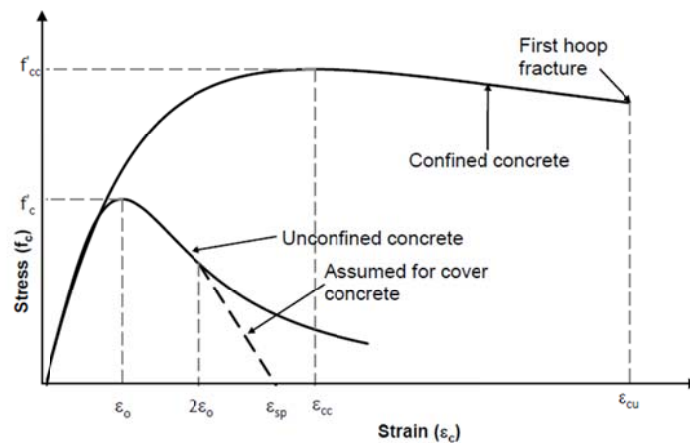
- ก. การวิเคราะห์แบบสถิตเชิงเส้น (Linear static procedure)
- ข. การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์เชิงเส้น (Linear dynamic procedure)
- ค. การวิเคราะห์แบบสถิตไม่เชิงเส้น (Nonlinear static procedure)
- ง. การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น (Nonlinear dynamic procedure)

โดยใน 2 กลุ่มแรกเป็นการพิจารณาพฤติกรรมโครงสร้างในช่วงพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้นของวัสดุไม่มีการครากในชิ้นส่วนโครงสร้าง และ 2 กลุ่มหลังเป็นการพิจารณาพฤติกรรมโครงสร้างในช่วงพฤติกรรมแบบไม่ยืดหยุ่นเชิงเส้นของวัสดุ ซึ่งให้คำตอบถูกต้องสมจริงกว่า 2 กลุ่มแรก เนื่องจากกรณีแผ่นดินไหวรุนแรงจะมีการครากเกิดขึ้นในชิ้นส่วนโครงสร้าง พฤติกรรมของวัสดุจะไม่อยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นไม่ควรใช้กับอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอของการกระจายมวล ความแข็งแกร่ง และกำลัง

2.4.1 การประเมินกำลังของผนังรับแรงเฉือนต้านทานแรงแผ่นดินไหว

สำหรับการศึกษานี้ จะทำการประเมินโดยวิธีประวัติเวลาแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear time-history analysis) ศึกษาพฤติกรรมของผนังรับแรงเฉือนขณะคลื่นแผ่นดินไหวกระทำ โดยพิจารณาด้านกำลังและจากความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริม โดยพิจารณาตามรูปแบบการเสียรูปดังต่อไปนี้

- ก. การวิบัติจากแรงอัด พิจารณาจากความเครียดในคอนกรีต โดยจะสมมุติให้มีพฤติกรรมทางวัสดุของคอนกรีตแบบที่ไม่มีการโอบรัดโดยเหล็กปลอกซึ่ง จะมีความสามารถรับกำลังอัดประลัยและเกิดการบดแตก (crushing) ที่ความเค้นและความเครียดต่ำกว่าคอนกรีตที่มีการโอบรัดด้วยเหล็กปลอก (Mander และคณะ, 1988) ดังรูป 2.2 และปกติคอนกรีตจะเกิดการบดแตก (crushing) ตามมาตรฐาน ASCE/SEI 41-06 กำหนดเกณฑ์การบดแตกสำหรับคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัด คือ ความเครียดเท่ากับ 0.005 สำหรับผนังรับแรงเฉือนแบบธรรมดาในความเป็นจริงจะมีการโอบรัดโดยเหล็กตามขวางในระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากการโอบรัดมีน้อย จึงสมมติใช้เกณฑ์ ความเครียดเท่ากับ 0.005 ในการประเมิน



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ความเค้น-ความเครียด ของคอนกรีตที่มีการโอบรัด และคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัด (ที่มา: Mander และคณะ, พ.ศ. 2531)

- ข. การวิบัติจากการเฉือน เป็นการวิบัติแบบเปราะ ดังนั้นจะกำหนดให้ใช้เกณฑ์ด้านกำลังในการประเมิน คือ ถือว่าผนังเกิดการวิบัติเมื่อแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากแรงแผ่นดินไหว มีค่าสูงกว่า กำลังรับแรงเฉือนระบุของผนัง ดังสมการที่ 2.7

$$V_{EQ} > V_n \quad (2.7)$$

โดยที่ V_{EQ} = ค่าแรงเฉือนในผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว
 V_n = กำลังรับแรงเฉือนระบุของผนังรับแรงเฉือน

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.8)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.9)$$

โดยที่ V_n = กำลังรับแรงเฉือนระบุ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม
 V_u = แรงเฉือนที่เพิ่มค่า มีหน่วยเป็นกิโลกรัม
 ϕ = ตัวคูณลดกำลัง มีค่าเท่ากับ 0.75
 V_c = กำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีต มีหน่วยเป็นกิโลกรัม
 V_s = กำลังต้านทานแรงเฉือนของเหล็กเสริม มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต (V_c) สามารถคำนวณได้โดยใช้ค่าที่น้อยกว่าของค่าที่ได้จากสมการที่ 2.10 และ สมการที่ 2.11 ยกเว้นในกรณีที่ $\left(\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}\right)$ มีค่าเป็นลบ ให้ใช้เฉพาะ สมการที่ 2.10 เท่านั้น

$$V_c = 0.88\sqrt{f'_c}hd + \frac{N_u d}{4l_w} \quad (2.10)$$

$$V_c = \left\{ 0.16\sqrt{f'_c} + \frac{l_w \left(0.33\sqrt{f'_c} + 0.2\frac{N_u}{l_w h} \right)}{\left(\frac{M_u - l_w}{V_u} \right)} \right\} \times hd \quad (2.11)$$

กำลังรับแรงเฉือนของเหล็กเสริม (V_s) สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.11

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s_t} \quad (2.11)$$

- โดยที่ f'_c = กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- f_y = กำลังรับแรงดึงครากของเหล็กเสริม มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และต้องไม่น้อยกว่า 4000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- h_w = ความหนาของผนัง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
- l_w = ความยาวของผนัง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
- d = ความลึกของผนัง ซึ่งอาจจะประมาณให้เท่ากับ $0.80l_w$ มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
- N_u = น้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนที่เพิ่มค่า ให้มีค่าเป็นบวกเมื่อเป็นแรงอัดและมีค่าเป็นลบเมื่อเป็นแรงดึง
- M_u = ค่าโมเมนต์ดัดที่เพิ่มค่า มีหน่วยเป็นกิโลกรัม-เซนติเมตร
- A_v = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
- s_t = ระยะเรียงของเหล็กเสริมตามแนวราบ ซึ่งต้องน้อยกว่า $0.33l_w$ และ $3h$ และไม่น้อยกว่า 45 เซนติเมตร มีหน่วยเป็นเซนติเมตร