มุมนักออกแบบ (Design Tip)

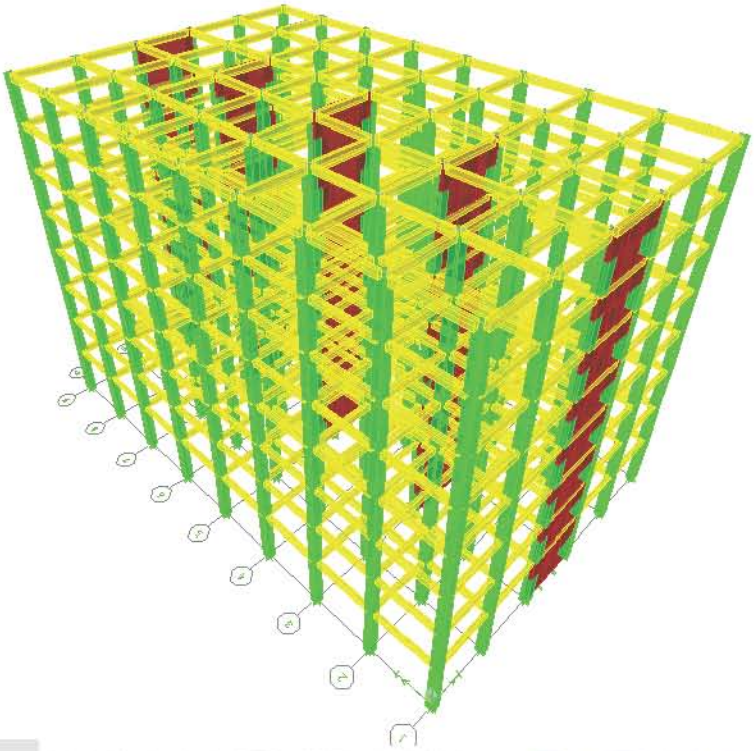
DT21

รองศาสตราจารย์ ดร. อมร พิมานมาศ
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
กรรมการอำนวยการ และ ประธานคณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

ตอนที่ 21 เรื่องออกแบบตึกให้กำแพงรับแรงเฉือนทั้งหมดอย่างถูกวิธี

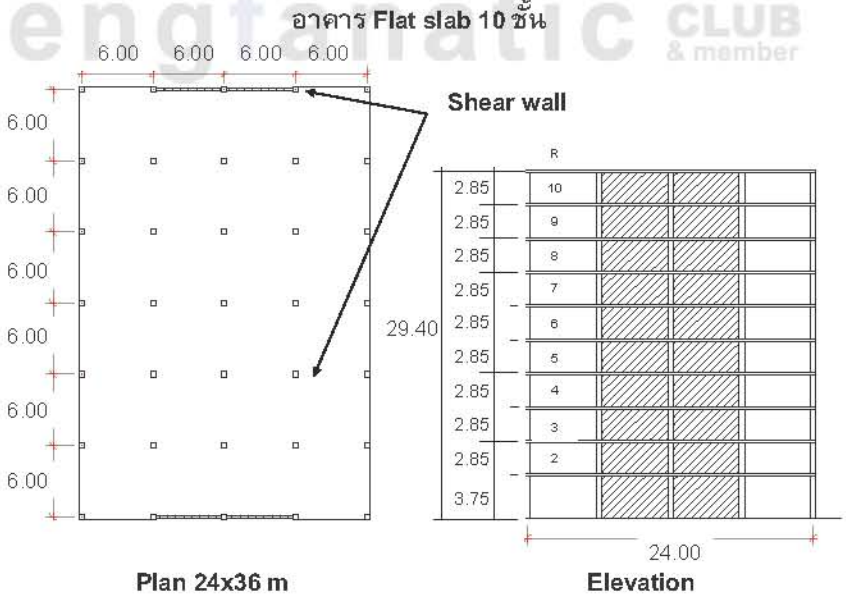
สวัสดีครับ มาพบกันอีกครั้งกับมุมนักออกแบบในตอนที่ 21 ในตอนนี้ผมจะพูดถึงการออกแบบอาคารต้านทานแรงแนวราบ (lateral loads) เช่น แรงลม หรือ แรงแผ่นดินไหว ซึ่งมักนิยมใช้กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก (shear wall) มารับแรงแนวราบ (รูปที่ 1) และ ใช้โครงข้อแข็งเป็นโครงสร้างต้านทานแรงแนวดิ่ง โครงข้อแข็งที่ว่านี้อาจจะเป็นโครงข้อแข็งคานเสา หรือ โครงข้อแข็งชนิดพื้นไร้คานที่มีแผ่นพื้นวางบนเสาโดยตรงก็ได้ ในการออกแบบอาคาร วิศวกรมักจะนิยมสองทางเลือกคือ (1) ออกแบบให้กำแพงเฉือนและโครงข้อแข็ง (โครงคานเสา หรือ โครงพื้นไร้คาน) ร่วมกันรับแรงแนวราบโดยสัดส่วนการรับแรงระหว่างกำแพงเฉือน และ โครงข้อแข็ง ขึ้นอยู่กับสติฟเนสสัมพัทธในแต่ละชั้นของอาคาร (storey stiffness) ระหว่างโครงสร้างทั้งสอง ทางเลือกที่ 1 นี้หากโมเด็ลและวิเคราะห์โครงสร้างในคอมพิวเตอร์ก็จะได้แรงในโครงข้อแข็งและในกำแพงเฉือนที่นำไปใช้ในการออกแบบได้โดยตรง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2 ส่วนทางเลือกที่ 2 ก็คือออกแบบให้กำแพงคอนกรีตรับแรงแนวราบไปทั้งหมด ส่วนแรงตามแนวดิ่งก็ให้แบ่งกันรับระหว่างกำแพงและโครงข้อแข็งตามพื้นที่อาณาเขตหรือตามที่วิเคราะห์ได้จากการถ่ายแรง

รูปที่ 1 โครงสร้างอาคารที่ประกอบด้วยโครงข้อแข็งและกำแพงเฉือน



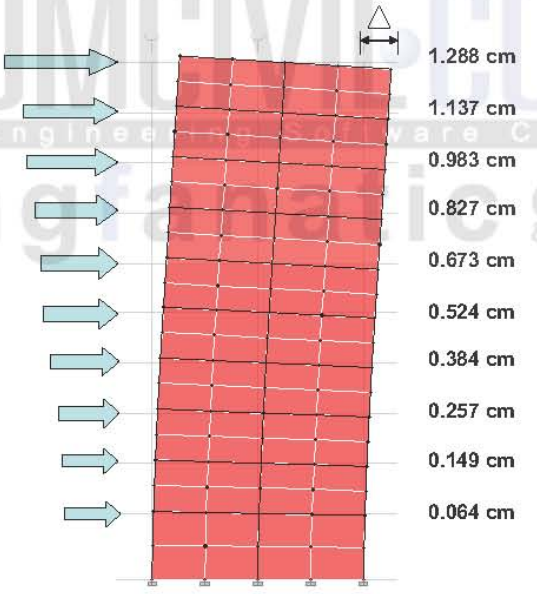
รูปที่ 2 ตัวอย่างแบบจำลองไฟไนต์อิลีเมนต์ของอาคารที่ประกอบด้วยโครงข้องแข็งและกำแพงเฉือนรับแรงแนวราบร่วมกัน

TUMCIVIL.COM
Engineering Software Center
engfanatic CLUB & member



รูปที่ 3 ตัวอย่างการวิเคราะห์โครงไร้คาน + กำแพงเฉือน

ทางเลือกที่ 1 จะใช้ได้ดีเมื่อโครงข้อแข็งมีสติฟเนสสูงเมื่อเทียบกับกำแพงเฉือน ส่วนทางเลือกที่สองนิยมใช้เมื่อโครงข้อแข็งมีสติฟเนสน้อย เช่น เมื่อโครงข้อแข็งเป็นพื้นไร้คาน (flat slab) ซึ่งมีสติฟเนสต่ำ และโดยธรรมชาติก็จะดูดแรงเข้าสู่ตัวเองน้อยอยู่แล้ว ในกรณีนี้จะนิยมออกแบบให้กำแพงเฉือนรับแรงแนวราบไปทั้งหมด มุมนักออกแบบในตอนนี้ ผมจะอธิบายวิธีการออกแบบโครงสร้างในแนวทางเลือกที่ 2 นี้ ซึ่งมีประเด็นที่มักจะเข้าใจกันผิดก็คือ จะคิดว่าเมื่อได้ออกแบบให้กำแพงเฉือนรับแรงแนวราบไปทั้งหมดแล้ว ดังนั้น ตัวโครงข้อแข็งก็จะไม่ต้องออกแบบให้รับแรงแนวราบเลย ดังนั้นวิศวกรก็จะออกแบบโครงข้อแข็งให้รับแต่เฉพาะแรงแนวดิ่งเท่านั้น ความเข้าใจอันนี้ยังไม่ถูกต้อง อันที่จริงแล้ว โครงข้อแข็งยังคงต้องรับแรงแนวราบบางส่วนอยู่ ซึ่งเป็นแรงที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ทางด้านข้างของโครงข้อแข็งที่ต้องขยับไปด้วยกันกับกำแพง แยกจากกันไม่ได้ หรือ ต่างคนต่างเคลื่อนที่ไม่ได้ แต่ต้องเกาะไปด้วยกัน เนื่องจากมีแผ่นพื้นทำหน้าที่เป็น rigid diaphragm ยึดให้กำแพงเฉือน และ โครง เคลื่อนที่ไปด้วยกันในระยะเคลื่อนตัวที่เท่ากัน แรงภายในโครงข้อแข็งที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า “แรงที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่สอดคล้อง (compatibility forces)” การออกแบบจะต้องพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่สอดคล้องนี้ด้วย เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่า โครงข้อแข็งสามารถที่จะรองรับแรงแนวดิ่งได้แม้กระทั่งเมื่อมันเกิดการเคลื่อนที่ด้านข้าง (sway)



รูปที่ 4 การวิเคราะห์กำแพงเฉือนภายใต้แรงแนวราบ และ ระยะเคลื่อนตัวด้านข้าง

ที่นี้ก็มาถึงคำถามที่ว่า แล้วจะหาแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่สอดคล้องนี้ได้อย่างไร ซึ่งผมก็จะอธิบายถึงขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างประเภทนี้โดยพิจารณาจากโครงสร้างที่นำมาเป็นตัวอย่างในรูปที่ 3 ดังนี้

STEPS การวิเคราะห์และออกแบบ

ขั้นที่ 1 คำนวณแรงแนวราบที่กระทำต่อโครงสร้าง ได้แก่ แรงลม หรือ แรงแผ่นดินไหว ตามกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้อง

ขั้นที่ 2 วิเคราะห์และออกแบบกำแพงเฉือนภายใต้แรงแนวราบ ในขั้นตอนนี้จะแยกเอาเฉพาะกำแพงเฉือนออกมาพิจารณาเท่านั้น แล้วออกแบบให้กำแพงเฉือนรับแรงแนวราบที่คำนวณได้ในขั้นที่ 1 ไปทั้งหมด (รูป 4) และให้คำนวณระยะเคลื่อนตัวแนวราบของกำแพงด้วย (รูปที่ 4) สมมุติได้เท่ากับ Δ

ขั้นที่ 3 ปรับค่าการเคลื่อนตัวแนวราบของกำแพงที่คำนวณได้ในขั้นที่ 2 ด้วยตัวคูณขยายค่าการเคลื่อนตัว C_d สาเหตุที่ต้องทำการปรับค่าการเคลื่อนตัวแนวราบให้มากขึ้นก็เนื่องมาจากแรงลม หรือ แรงแผ่นดินไหวที่คำนวณในขั้นที่ 1 นั้น มักจะกำหนดไว้เป็นแรงที่สภาวะใช้งาน ตัวคูณ C_d เป็นตัวคูณที่แปลงการเคลื่อนตัวที่สภาวะใช้งานเป็นการเคลื่อนตัวที่สภาวะประลัย ค่าของตัวคูณ C_d ขึ้นอยู่กับมาตรฐานการออกแบบ และ ดุลพินิจของวิศวกร แต่โดยทั่วไปแล้ว อาจใช้ C_d เท่ากับ 1.5-2.0 สำหรับแรงลม ส่วนแรงแผ่นดินไหว หากใช้แรงที่กำหนดในกฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวปี 2550 แนะนำให้ใช้ค่า C_d เท่ากับ $3/K$ โดยที่ K เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบในข้อ 9 ของกฎกระทรวง ทั้งนี้เพราะโครงสร้างที่โยกตัวภายใต้แรงแผ่นดินไหวจะเกิดการคราก ของเหล็กเสริมทำให้เกิดการโยกตัวเลยจุดครากไปได้หลายเท่า นอกจากนี้หากใช้มาตรฐานอื่นๆ เช่น UBC หรือ ASCE ก็ต้องใช้ค่า C_d ให้เหมาะสมตามที่กำหนดในมาตรฐานนั้นๆ

ขั้นที่ 4 พิจารณาเฉพาะโมเดลของโครงสร้างที่ประกอบด้วยโครงข้อแข็งอย่างเดียวไม่มีกำแพง นำแรงแนวราบที่มีรูปแบบการกระจายของแรงคล้ายกับแรงที่กระทำต่อกำแพง มากระทำต่อโครงข้อแข็ง โดยปรับสเกลขนาดของแรง จนกระทั่งโครงข้อแข็งได้ระยะเคลื่อนตัวแนวราบเท่ากับ $C_d\Delta$ ที่ชั้นต่างๆของอาคาร จากนั้นอ่านค่าแรงต่างๆที่เกิดขึ้นภายในโครงข้อแข็งได้แก่ แรงเฉือน (V_{compat}) โมเมนต์ (M_{compat}) และ แรงตามแนวแกน (N_{compat}) ซึ่งแรงที่ได้นี้เป็นแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่สอดคล้อง ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยในตัวอย่างนี้สมมุติว่าใช้ค่า C_d = 3/K = 3/1 = 3 ซึ่งเป็นกรณีแรงแผ่นดินไหว นอกจากนี้การวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้จะต้องรวมผลของ $P\cdot\Delta$ เข้าไปด้วย

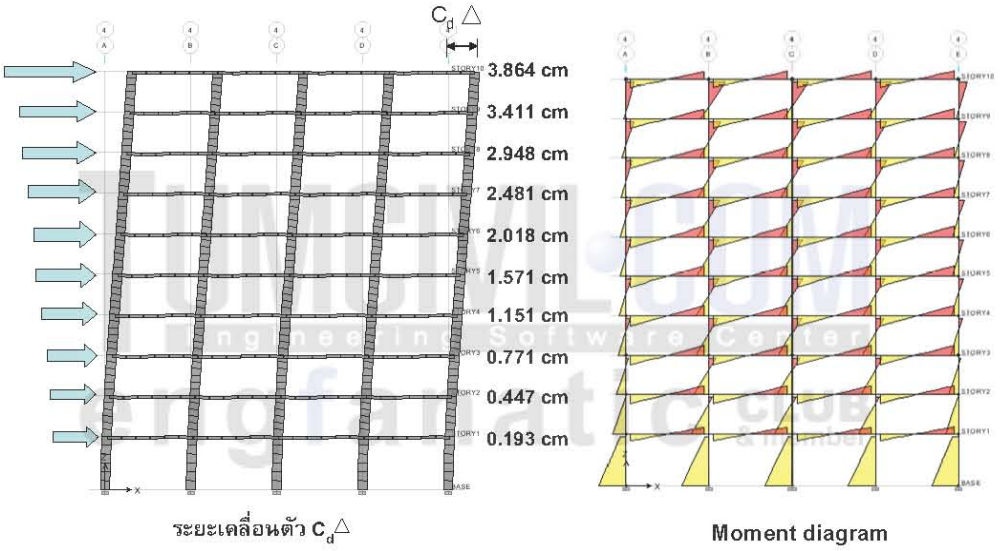
TMEVI.com Engineering Software Company engfanatic & member

ขั้นที่ 5 ในการออกแบบโดยวิธีกำลัง ต้องรวมแรงที่เกิดจากแรงตามแนวดิ่ง และ แรงที่เกิดจากเคลื่อนที่สอดคล้องตามสมการ

$$U1 = 1.4D + 1.7L$$

$$U2 = D + L + C$$

โดยที่ C เป็นแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่สอดคล้องได้แก่ V_{compat} , M_{compat} และ N_{compat} ในสมการข้างต้น ใช้ตัวคูณน้ำหนัก 1.4 สำหรับน้ำหนักตายตัว และ 1.7 สำหรับน้ำหนักจร ซึ่งเป็นค่าที่ระบุในมาตรฐาน ACI318 หากใช้มาตรฐานอื่น ค่าเหล่านี้ก็ต้องเปลี่ยนไปตามมาตรฐานนั้นๆ ในกรณีของการรวมแรงที่พิจารณาแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่สอดคล้องนั้น ไม่ต้องคูณตัวคูณน้ำหนัก เนื่องจากเป็นการตรวจสอบว่าโครงสร้างสามารถรองรับน้ำหนักแนวดิ่งเมื่อโครงสร้างมีการเคลื่อนตัวด้านข้างได้หรือไม่ และ เนื่องจากว่าการวิเคราะห์แรง C นั้นได้ผ่านการคูณด้วยตัวคูณการขยายการเคลื่อนตัว (C_d)ไปแล้ว การออกแบบให้นำค่าแรงที่วิกฤติกว่าระหว่าง U1 และ U2 ไปคำนวณหน้าตัดและการเสริมเหล็ก



รูปที่ 5 การวิเคราะห์แรงในโครงข้อแข็งเนื่องจากการเคลื่อนที่สอดคล้อง

ในการวิเคราะห์โครงสร้างในขั้นที่ 2-4 นั้นควรใช้โมเมนต์ความเฉื่อย (I) ของหน้าตัด ให้เหมาะสมซึ่งต้องพิจารณาผลของการแตกร้าวขององค์อาคาร หรือ อาจใช้ค่าที่แนะนำโดย ACI318 ซึ่งให้ค่าที่เป็นสัดส่วนกับโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดรวม (gross moment inertia) ดังนี้

$I = 0.35I_g$ สำหรับคาน

$I = 0.70I_g$ สำหรับเสา

$I = 0.70I_g$ สำหรับกำแพง (ไม่ร้าว)

$= 0.35I_g$ สำหรับกำแพง (ร้าว)

$I = 0.25I_g$ สำหรับแผ่นพื้นไร้คาน

"หวังว่าวิศวกรและผู้ออกแบบ คงจะเกิดความเข้าใจการออกแบบอาคารต้านทานแรงแนวราบได้ดียิ่งขึ้น สำหรับมุมนักออกแบบในตอนนี้ คงต้องจบลงตรงนี้ พบกันใหม่ฉบับหน้าครับ"