

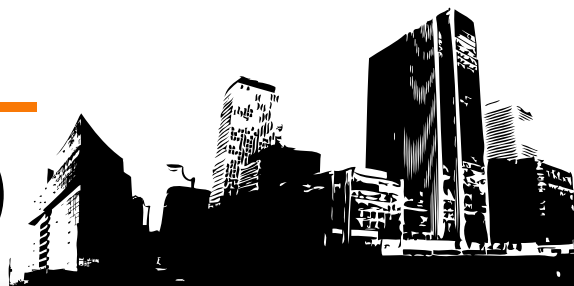


มุมนักออกแบบ

(Design Tip)

ตอนที่

23



รองศาสตราจารย์ ดร. อมร พิมานมาศ

กรรมการอำนวยการ และ ประธานคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน วสท.

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผู้จัดทำโดย
TUMCIVIL.COM
Engineering Software Center
engfanatic CLUB
& member

ปริมาณเหล็กเสริมชั้นต่ำในฐานราก

สวัสดีครับ ท่านผู้อ่านทุกท่าน กลับมาพบกันอีกครั้งกับคอลัมน์มุมนักออกแบบ ในตอนที่แล้วผมค้างไว้ เรื่องการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีพลศาสตร์ ซึ่งได้อธิบายความไม่สม่ำเสมอหรือความผิดปกติในรูปทรงของโครงสร้างอาคารซึ่งมีผลต่อวิธีการวิเคราะห์ว่าจะใช้วิธีพลศาสตร์ หรือ วิธีแรงสถิตเทียบเท่า บทความในตอนนี้จะขอข้ามเรื่องการออกแบบด้วยวิธีพลศาสตร์ไปไว้ในฉบับหน้านะครับ

เนื่องจากที่ผ่านมาผมได้ไปบรรยายเรื่องการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับวิศวกรโครงสร้าง รุ่นที่ 2 จัดที่ วสท. แล้วมีคำถามเกี่ยวกับปริมาณเหล็กเสริมชั้นต่ำในฐานราก ซึ่งผมคิดว่ายังมีความเข้าใจที่สับสนกันอยู่พอสมควร เลยจะขอใช้เนื้อที่มุมนักออกแบบในตอนนี้อธิบายหัวข้อนี้กันสักหน่อย หวังว่าท่านผู้อ่านที่ต้องการติดตามเรื่องการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีพลศาสตร์ จะอดใจรอตอนต่อไปในฉบับหน้านะครับ





ดร.อมร

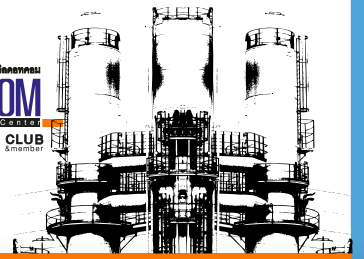
มูมนักออกแบบ (Design Tip)

รศ.ดร. อมร พิชานมาศ



23

TUMCIVIL.COM
Engineering Software Center
engfanatic CLUB
Member



เรื่องที่จะพูดกันในวันนี้คือปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำในฐานราก ซึ่งเชื่อว่ามีวิศวกรอีกจำนวนไม่น้อยที่เดี๋ยวยังมีความเข้าใจสับสนกันอยู่ว่าจะต้องใช้เท่าไรกันแน่ ดังที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าในการออกแบบเหล็กเสริมในฐานรากนั้น จะต้องคำนวณโมเมนต์ดัดเสียก่อน จากนั้นจะคำนวณปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการจากสมการ

$$A_{scal} = \frac{M_u}{\phi f_y (jd)}$$

ในสมการข้างต้นนั้น M_u คือโมเมนต์ดัดที่หน้าตัดวิกฤติ (ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่ขอบของเสาตอม่อ) ϕ คือตัวคูณลดกำลัง = 0.9 f_y คือค่ากำลังครากของเหล็กเสริม และ jd คือความยาวแขนโมเมนต์ ซึ่งอาจจะคำนวณละเอียดตามทฤษฎีกำลังประลัย หรือ คำนวณโดยประมาณจากสูตร $jd = (7/8)d$ ก็ได้

สิ่งที่วิศวกรมักจะพบบ่อยครั้งก็คือปริมาณเหล็กเสริมที่คำนวณได้จากสูตรข้างต้น (A_{scal}) จะมีค่าค่อนข้างน้อย สาเหตุเนื่องจากฐานรากมักจะมีควมลึก (depth) มากเพื่อให้มีสติฟเนสหรือความแข็งแกร่ง (Rigidity) สูงพอที่จะทำให้การถ่ายแรงจากตอม่อลงไปสู่ดินที่รองรับ หรือ เสาเข็ม เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งเพื่อป้องกันมิให้ฐานรากเกิดการวิบัติเฉือน (ทั้งแบบทางเดียว และ แบบสองทางหรือแรงเฉือนเจาะทะลุ) อีกด้วย

เนื่องจากปริมาณเหล็กเสริมที่คำนวณได้ข้างต้นมีค่าค่อนข้างน้อย ซึ่งทำให้ต้องใช้เหล็กเสริมขั้นต่ำ (A_{smin}) เป็นตัวควบคุมการออกแบบอยู่บ่อยครั้ง ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำที่นี้กำหนดโดยมาตรฐานการออกแบบเช่น ACI code แต่วิศวกรผู้ออกแบบหลายท่านยังสับสนกันอยู่ว่าปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำในฐานรากจะต้องใช้ค่าเท่าไรกันแน่





ดร.อมร

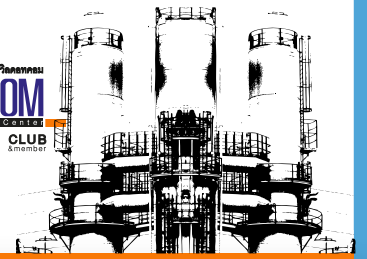
มูมนักออกแบบ (Design Tip)

รศ.ดร. อมร พิมานมาศ



23

TUMCIVIL.COM
engfanatic CLUB



ในกรณีที่ป็นองค์อาคารรับแรงดัดเช่น คาน วิศวกรทั่วไปจะทราบดีว่าปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำคือ $\frac{14}{f_y}bd$ หรือ $1.33A_{scal}$ ซึ่ง ACI code อนุญาตให้เลือกใช้ค่าใดค่าหนึ่งก็ได้ (ดู ACI318-05 หัวข้อ 10.5.1 และ 10.5.3) หมายความว่าใช้ค่ามากหรือน้อยกว่าก็ได้ แต่ในกรณีฐานรากก็มักจะมีข้อสงสัยเกิดขึ้นว่าปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำที่ต้องการจะใช้เท่ากับปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำในองค์อาคารรับแรงดัดตามที่กำหนดข้างต้นหรือไม่ วิศวกรบางท่านใช้ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำในฐานรากเช่นเดียวกับเหล็กเสริมขั้นต่ำในองค์อาคารรับแรงดัด แต่ก็มีวิศวกรบางท่านใช้ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำเท่ากับปริมาณเหล็กเสริมตามงานการหดตัวและอุณหภูมิ (Shrinkage and temperature steel) หรือที่เรียกกันว่าเหล็กกันร้าว โดยอ้างอิงจาก ACI318-05 หัวข้อ 10.5.4 ซึ่งกำหนดค่า ตามชั้นคุณภาพของเหล็กดังนี้

- (1) สำหรับเหล็กเกรด SD30, $A_{sTemp} = 0.0020A_g$
- (2) สำหรับเหล็กเกรด SD40, $A_{sTemp} = 0.0018A_g$
- (3) สำหรับเหล็กเกรดสูงกว่า SD40, $A_{sTemp} = \frac{0.0018 \times 4000}{f_y} A_g$ แต่ไม่น้อยกว่า $0.0014A_g$

ในสมการที่ (1) - (3) A_g หมายถึงพื้นที่หน้าตัดของฐานราก $= bh$ จุดที่มักจะสับสนกันมีสองประเด็นครับ คือ (1) จะใช้ A_{smin} ตามหลักเกณฑ์ใด จะใช้หลักเกณฑ์เดียวกับองค์อาคารรับแรงดัด นั่นคือเลือกกระหว่าง $\frac{14}{f_y}bd$ และ $1.33A_{scal}$ หรือจะใช้หลักเกณฑ์เหล็กเสริมตามงานการหดตัวและอุณหภูมิ และ (2) ปริมาณเหล็กเสริมตามงานการหดตัวและอุณหภูมินี้จะใช้กับทั้งหน้าตัด (ทั้งเหล็กบนและเหล็กล่าง) หรือหมายถึงเฉพาะเหล็กที่ผิวรับแรงดึงเท่านั้น

ในประเด็นทั้งสองนี้ ผมจะขออธิบายตาม ACI318 หัวข้อ 10.5 ดังนี้ครับ ในประเด็นแรก หลักเกณฑ์ของเหล็กเสริมขั้นต่ำในฐานรากใช้เกณฑ์เหล็กเสริมตามงานการหดตัวและอุณหภูมิตามสูตร (1) - (3) ที่ให้ไว้ข้างต้น ส่วนประเด็นที่สองนั้น ปริมาณเหล็กเสริมดังกล่าวต้องเป็นเหล็กเสริมที่ผิวรับแรงดึงหรือ A_s (ดูรูป 1) เท่านั้น





ดร.อมร

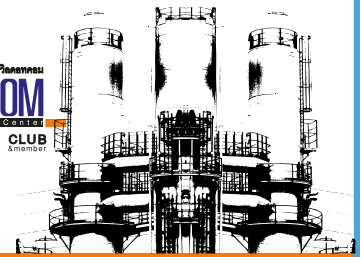
มูมนักออกแบบ (Design Tip)

รศ.ดร. อมร พิชานมาศ

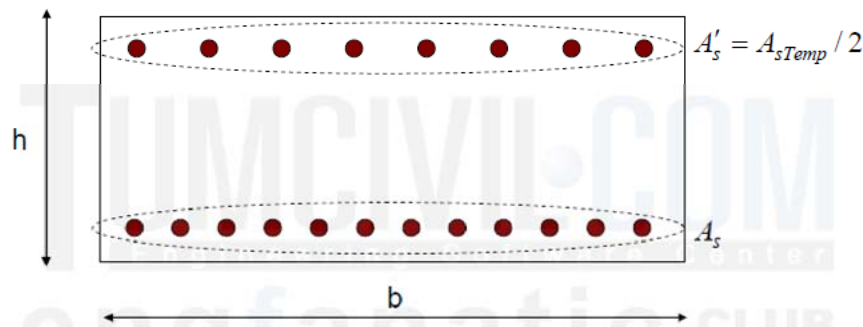


23

TUMCIVIL.COM
engfanatic CLUB



ห้ามนำไปกระจายหรือแบ่งครึ่งระหว่างผิวบนและผิวล่าง สำหรับเหล็กเสริมที่ผิวตรงข้าม (A'_s) ซึ่งเป็นผิวที่รับแรงอัด มาตรฐาน ACI ไม่ได้กำหนดว่าต้องเสริมเหล็ก แต่ก็มีวิศวกรหลายท่านที่นิยมเสริมเหล็กที่ผิวบนด้วย ในกรณีที่ต้องการเสริมเหล็กที่ผิวตรงข้าม (A'_s) เพื่อให้ต้านทานการยืดหัวตัวที่เกิดขึ้นที่ผิวตรงข้ามของหน้าตัดด้วย ผมแนะนำให้ใช้ปริมาณเหล็กเสริมเท่ากับครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมต้านทานการหดตัวและอุณหภูมิ นั่นคือใช้ $A'_s = 0.5A_{sTemp}$



$$A_s = \text{ค่ามากกว่าระหว่าง } A_{scal} = \frac{M_u}{\phi f_y (jd)} \text{ และ } A_{sTemp}$$

$$A_{sTemp} = 0.002 A_g \quad \text{สำหรับเหล็ก SD30}$$

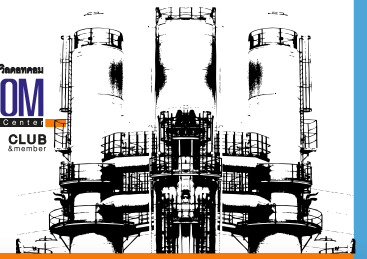
$$= 0.0018 A_g \quad \text{สำหรับเหล็ก SD40}$$

$$= \frac{0.0018 \times 4000}{f_y} A_g \geq 0.0014 A_g \quad \text{สำหรับเหล็ก SD50}$$

รูปที่ 1 เหล็กเสริมชั้นต่ำในฐานราก

ที่นี้ลองมาดูตัวอย่างการคำนวณประกอบความเข้าใจกันหน่อยนะครับ สมมติว่ามีฐานรากรับโมเมนต์ดัดประลัย $M_u = 80$ ตันเมตร ความกว้างของฐาน $b = 3$ เมตร ความลึกของฐาน $h = 0.8$ เมตร และความลึกประสิทธิภาพ $d = 0.7$ m ให้คำนวณเหล็กเสริมที่ต้องการในฐานราก กำหนดให้ใช้เหล็กเสริม SD40





ขั้นที่ 1 คำนวณพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่ต้องการจากโมเมนต์ดัดประลัย ในที่นี้จะใช้สูตรโดยประมาณ (เพื่อเป็นตัวอย่างเท่านั้น ในการคำนวณจริงควรใช้สูตรละเอียด)

$$A_{scal} = \frac{M_u}{\phi f_y (jd)} = \frac{M_u}{\phi f_y (7/8 \cdot d)} = \frac{80(1000)(100)}{0.9(4000)(7/8 \cdot 70)} = 36.3 \text{ ซม.}^2$$

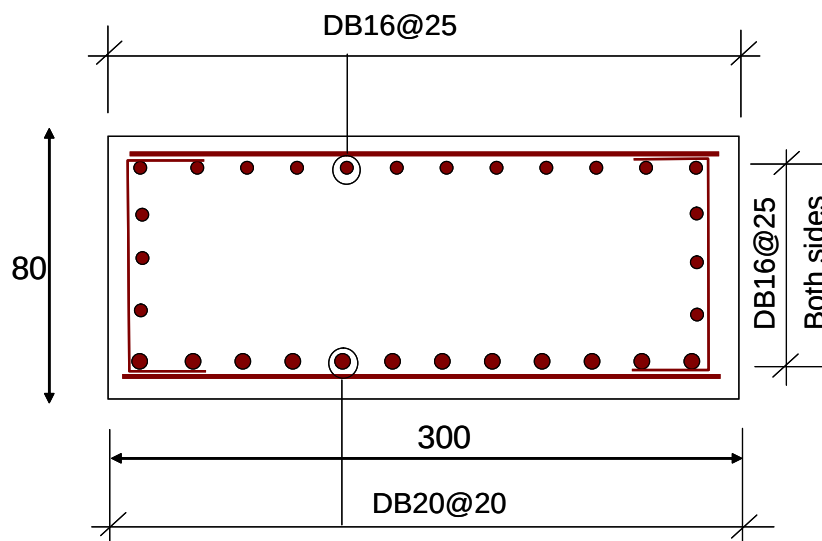
ขั้นที่ 2 คำนวณเหล็กเสริมต้านทานการหดตัวและอุณหภูมิ

$$A_{sTemp} = 0.0018 A_g = 0.0018(300)(80) = 43.2 \text{ ซม.}^2$$

ขั้นที่ 3 จากขั้นที่ 1 และ 2 ใช้เนื้อที่เหล็กเสริม $A_s = 43.2 \text{ ซม.}^2$ จัดเหล็กเสริม DB20 @ 20 (เนื้อที่เหล็กเสริม = 47.1 ซม.²) ส่วนเหล็กเสริมที่ผิวตรงข้ามใช้ $A'_s = 0.5 A_{sTemp} = 21.6 \text{ ซม.}^2$ จัดเหล็กเสริม DB16 @ 25 (เนื้อที่เหล็กเสริม = 24 ซม.²)

ขั้นที่ 4 เหล็กเสริมที่ผิวข้างซึ่งจริงๆแล้วมาตรฐาน ACI ก็ไม่ได้บังคับว่าต้องใส่ แต่หากต้องการใส่ให้ครบผมก็แนะนำให้ใส่เหล็กเป็นปริมาณเท่ากับเหล็กที่ผิวตรงข้าม (A'_s) นั่นคือใช้เหล็ก DB16 @ 25 เช่นกัน

ขั้นที่ 5 จัดเหล็กเสริมดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การจัดเหล็กเสริม

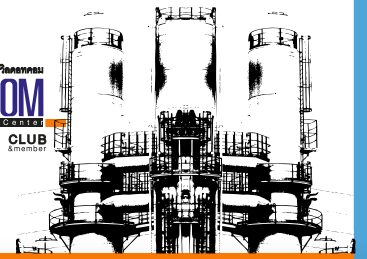




มูมนักออกแบบ (Design Tip) รศ.ดร. ออมร พิมานมาศ



TUMCIVIL.COM
Engineering Software Center
engfanatic CLUB
Member



อย่างไรก็ตามเท่าที่เคยประสบมา ก็เคยเห็นวิศวกรบางท่านใช้เกณฑ์เหล็กเสริมขั้นต่ำขององค์อาคารรับแรงดัดรวมด้วย กล่าวคือคำนวณ $A_{s_{min}}$ โดยการนำค่าน้อยระหว่าง $\frac{14}{f_y}bd$ และ $1.33A_{scal}$ มาเปรียบเทียบกับเหล็กเสริมสำหรับการต้านทานการหดตัวและอุณหภูมิแล้วเลือกใช้ค่ามากอีกทีหนึ่ง ซึ่งในตัวอย่างนี้หากคำนวณโดยหลักการที่ว่าจะได้

$$A_{scal} = 36.3 \text{ ซม.}^2$$

$$\frac{14}{f_y}bd = \frac{14}{4000}(300)(70) = 73.5 \text{ ซม.}^2$$

$$1.33A_{scal} = 1.33(36.3) = 48.3 \text{ ซม.}^2$$

$$\text{เลือกค่าน้อยระหว่าง } \frac{14}{f_y}bd \text{ และ } 1.33A_{scal} \text{ นั่นคือ } 48.3 \text{ ซม.}^2$$

เปรียบเทียบระหว่าง 48.3 ซม.^2 และปริมาณเหล็กเสริมต้านทานการหดตัวและอุณหภูมิ = 43.2 ซม.^2 แล้วใช้ค่ามากจะได้ $A_s = 48.3$ ส่วน $A'_s = 0.5A_{s_{Temp}} = 0.5(43.2) = 21.6 \text{ ซม.}^2$

จะเห็นว่าการคำนวณตามแนวทางนี้จะให้เนื้อที่เหล็กเสริมที่มากกว่าหรือเท่ากับเหล็กเสริมต้านทานการหดตัวและอุณหภูมิเนื่องจากการตรวจสอบเกณฑ์เหล็กเสริมขั้นต่ำสำหรับองค์อาคารรับแรงดัดเพิ่มเติมแม้ว่าวิธีการนี้อาจจะได้เหล็กมากเกินไปที่กำหนดในมาตรฐาน ACI แต่ก็ให้ผลในด้านที่ปลอดภัยก็ไม่ว่ากันครับ จะตรวจสอบในแนวทางนี้หรือจะตรวจสอบเฉพาะเหล็กเสริมต้านทานการหดตัวและอุณหภูมิก็ได้ครับ

ครับ สำหรับมูมนักออกแบบในตอนี้ ผมก็หวังว่าท่านวิศวกรและผู้ออกแบบเมื่อได้อ่านบทความนี้แล้วจะเกิดความชัดเจนในการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำในฐานราก แล้วนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการออกแบบต่อไป พบกันใหม่กับมูมนักออกแบบในตอนต่อไปนะครับ สวัสดีครับ

