

การออกแบบเสาสั้น ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 1008 และ ACI 318-05

โดย

ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล

นายกสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย และ

ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทนำ

ในประเทศไทย มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38 เป็นมาตรฐานสำหรับการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 9 เมื่อ กุมภาพันธ์ 2558 [1] เป็นมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป ผู้เขียนได้นำเสนอบทความนี้ เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ACI 318-05, Building Code Requirements for Structural Concrete [2] เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลง โดยพิจารณาเฉพาะกรณีเสาสั้นและรับน้ำหนักบรรทุกกรณีที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงเท่านั้น เพื่อเป็นข้อมูลให้แก่ผู้สนใจครับ

เสา คือ องค์อาคารที่มีอัตราส่วนของความสูงต่อส่วนแคบที่สุดเท่ากับ 3 หรือมากกว่า และองค์อาคารนี้ใช้รับแรงอัดตามแนวแกนเป็นหลัก เสาแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เสาสั้น และเสายาว

เสาสั้น เป็นเสาเมื่อรับแรงจะวิบัติเนื่องจากกำลังของวัสดุ (คอนกรีตหรือเหล็ก) รับแรงกระทำไม่ได้

เสายาว หรือ เสาชะลูด เมื่อรับแรงจะวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะ ทำให้การรับน้ำหนักของเสายาวมีค่าต่ำกว่าเสาสั้น เมื่อใช้วัสดุชนิดเดียวกัน และมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน

ปริมาณของเหล็กเสริมในเสาตามมาตรฐาน ACI 318-05 [2] และ ว.ส.ท.ข้อ 1008 [2] 4309(ก) ต้องมีปริมาณร้อยละ 1 ถึง 8 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด (A_g) การกำหนดปริมาณเหล็กไว้อย่างน้อยร้อยละ 1 เพื่อให้เสาสามารถรับโมเมนต์ดัดได้ระดับหนึ่ง และลดผลกระทบจากการคืบ (Creep) และการหดตัว (Shrinkage) ของเสา ส่วนที่กำหนดให้ใช้เหล็กไม่เกินร้อยละ 8 เพราะว่าการใส่เหล็กในปริมาณขนาดนี้ไม่ประหยัด และเหล็กแน่นมาก อาจมีปัญหาโดยเฉพาะช่วงที่ต้องต่อเหล็ก ทำให้เทคอนกรีตได้ยาก และเกิดการแยกตัวได้ง่าย

เสถียรรับน้ำหนักตามแนวแกนเพียงอย่างเดียว

การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายคอนกรีตรับน้ำหนักเป็นส่วนใหญ่ แต่ที่จำเป็นต้องใส่เหล็กในเสานี้เนื่องจากว่า เสาที่รับเฉพาะแรงอัดโดยไม่มีการเอียงศูนย์แทบจะหาไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องมีเหล็กเสริมไว้สำหรับรับโมเมนต์ที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักเอียงศูนย์ ซึ่งจะทำให้เกิดโมเมนต์ดัด และทำให้เสารับแรงดึงในที่สุด การใช้ปริมาณของเหล็กมากขึ้น จะทำให้เสามีหน้าตัดเล็กลง เนื่องจากเหล็กเสริมสามารถรับน้ำหนักได้สูงกว่าคอนกรีตมาก เมื่อใช้พื้นที่หน้าตัดเท่ากัน แต่ราคาของเสาจะสูงขึ้น

กำลังรับแรงตามแนวแกนของเสาที่คำนวณออกแบบ, ϕP_n , ตามมาตรฐาน ACI 318-05 และ ว.ส.ท. 4303(จ) ซึ่งไม่มีน้ำหนักเอียงศูนย์ ต้องมีค่าไม่เกิน:

$$\text{สำหรับเสาปลอกเกลียว: } \phi P_n (\max) = 0.85\phi [0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (1)$$

$$\text{เสาปลอกเดี่ยวหรือเสาสี่เหลี่ยม: } \phi P_n (\max) = 0.80\phi [0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (2)$$

เมื่อ A_g = หน้าตัดสุทธิของเสา, A_{st} = หน้าตัดของเหล็กเสริม, f_y กำลังดึงของเหล็กที่จุดคราก, f'_c คือกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

มีข้อสังเกตว่า ในสมการที่ (1) และ (2) ซึ่งพบว่าการรับน้ำหนักของเสาเกิดจากคอนกรีต คือเทอม $[0.85f'_c(A_g - A_{st})]$ และจากเหล็กเสริม คือ เทอม $[f_y A_{st}]$ รวมกัน และเมื่อจะลดการรับกำลังของเสาก็ใช้ตัวคูณ (0.85ϕ) หรือ (0.80ϕ) มาคูณในกรณีเป็นเสาปลอกเกลียว หรือเสาปลอกเดี่ยว ในสมการที่ (1) หรือ (2) ตามลำดับ

สาระสำคัญที่มีการเปลี่ยนแปลง

ตัวคูณลดกำลัง (Reduction Factor) ϕ ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 4203 (ข) ซึ่งใช้ ACI 318 ปี 1989 เป็นหลัก ใช้ ϕ เท่ากับ 0.75 และ 0.70 สำหรับเสาปลอกเกลียวและเสาปลอกเดี่ยว ตามลำดับ เมื่อการก่อสร้างมีการควบคุมงานเป็นอย่างดี และมีการควบคุมคุณภาพวัสดุ

ขณะที่ ACI 318 ปี 2005 ได้ลดตัวคูณลดกำลังลงโดยใช้ ϕ เท่ากับ 0.7 และ 0.65 สำหรับเสาปลอกเกลียวและเสาปลอกเดี่ยว ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ตัวคูณน้ำหนัก ว.ส.ท. ใช้ $U = 1.4D + 1.7L$ ขณะที่ ACI ใช้ $U = 1.2D + 1.6L$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า ดังนั้นการปรับตัวคูณลดกำลังให้ต่ำลง ทำให้เสามีค่าความปลอดภัยสูงขึ้น แต่การปรับตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกให้ต่ำลง ทำให้เสามีค่าความปลอดภัยต่ำลง

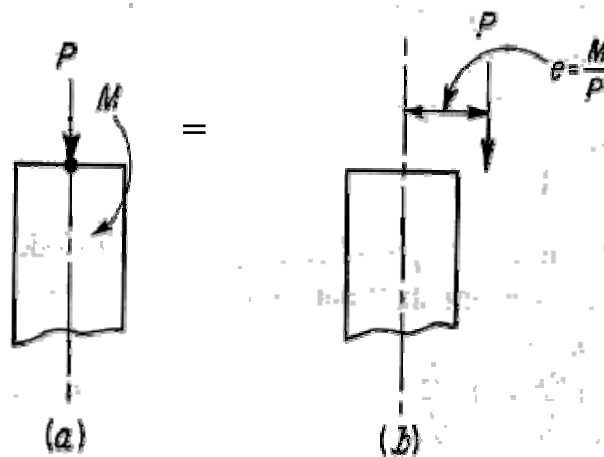
นอกจากนี้มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้ค่า ϕ ของคานสำหรับรับแรงดัดเท่ากับ 0.9 และเท่ากับ 0.85 สำหรับคานรับแรงเฉือน ขณะที่ ACI 318-05 กำหนดให้ค่า ϕ ของคานสำหรับรับแรงดัดเท่ากับ 0.9 เช่นกัน แต่ ϕ สำหรับรับแรงเฉือนลดลงเหลือ 0.75

การที่ ϕ ของเสามีค่าต่ำกว่า ϕ ของคานแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของโครงสร้าง เพราะการวิบัติของคานจะทำให้เกิดความเสียหายเฉพาะในบริเวณของคานตัวที่วิบัติเท่านั้น โดยไม่กระทบไปทั่วทั้งอาคาร แต่การวิบัติของเสามักก่อให้เกิดความเสียหายที่รุนแรงกว่า คืออาจทำให้วิบัติทั้งอาคารได้ ดังนั้นจึงใช้ ϕ ของเสาที่มีค่าต่ำกว่า ϕ ของคาน

การใช้ ϕ เพื่อลดกำลังของวัสดุ และใช้ตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก (เช่น 1.4D + 1.7L) เพื่อเพิ่มน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ พบว่ามีโอกาสที่ตัวคูณลดกำลัง ϕ มีโอกาสที่จะต่ำกว่าค่าจริงของวัสดุคือ 1/100 ขณะที่ตัวคูณเพิ่มน้ำหนักมีโอกาสที่น้ำหนักที่เกิดขึ้นจริงจะมากกว่าค่าที่ได้ คือ 1/1000 ดังนั้นโอกาสความน่าจะเป็นที่องค์อาคารที่ออกแบบจะวิบัติ คือ 1/100 คูณ 1/1000 หรือ 1/100,000 [3] แปลง่ายๆ คือ หากออกแบบเสาจำนวน 1 แสนต้น มีโอกาสที่เสาจะวิบัติจำนวน 1 ต้น (ซึ่งอาจทำให้อาคารพังทลายทั้งหลังได้) แต่ผมเชื่อว่าวิศวกรผู้ออกแบบทุกท่านไม่ว่าจะออกแบบ 1 แสนหลัง หรือ 1 ล้านหลัง คงไม่ยอมให้มีอาคารวิบัติแม้แต่หลังเดียว

เสาสี่เหลี่ยมรับแรงตามแนวแกนพร้อมกับแรงดัด

เมื่อองค์อาคารรับแรงอัด (P) พร้อมกับโมเมนต์ดัด (M) ดังแสดงในรูป 1 (a), สามารถเขียนแทนได้ด้วยแรงอัด (P) ซึ่งมีระยะเยื้องศูนย์กลาง $e = \frac{M}{P}$ ดังรูป 1(b)



รูปที่ 1 แรงกระทำลงเสาเยื้องศูนย์กลางเทียบเท่า

เมื่อมีระยะ e น้อย (P สูง แต่ M ต่ำ) เสาจะเกิดการวิบัติ หรือระเบิดของคอนกรีตพร้อมกับการถึงจุดครากของเหล็กรับแรงอัด แทนที่จะวิบัติตรงด้านตรงข้ามของน้ำหนักที่กระทำหรือการวิบัติอยู่ในช่วงแรงอัดเป็นหลัก (Compression Control)

เมื่อมีระยะ e มาก จะทำให้มีโมเมนต์มาก เสารับแรงดึงสูง จึงเกิดการวิบัติเนื่องจากการครากของเหล็กรับแรงดึงที่ด้านตรงข้ามของน้ำหนักที่กระทำ หรือการวิบัติอยู่ในช่วงแรงดึงเป็นหลัก (Tension Control) ในการออกแบบเสา จะออกแบบให้เสารับน้ำหนักกระทำที่คู่กับแฟลคเตอร์แล้ว เสายังสามารถรับกำลังสูงกว่าน้ำหนักกระทำ นั่นคือ

$$\phi M_n \geq M_u \quad (3)$$

$$\phi P_n \geq P_u \quad (4)$$

เพื่อแสดงให้เห็นสาระของการเปลี่ยนแปลงค่า ϕ และตัวคณมน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ของ ACI 318-05 เทียบกับของ วสท. จึงขอเสนอตัวอย่างเสาต้น ซึ่งใช้ทั้ง 2 มาตรฐานในการคำนวณ เพื่อให้เห็นภาพได้ชัดเจนมากขึ้น

ตัวอย่าง 1 จงคำนวณกำลังระบุ (Nominal Strength) ของหน้าตัดเสาดังรูปด้านล่างที่มีระยะเยื้องศูนย์กลาง $e_y = 0.1h = 4.5$ ซม. ใช้ $f'_c = 280$ กก/ซม² และ $f_y = 4000$ กก/ซม² โดยใช้หลักพื้นฐานเบื้องต้นในการคำนวณ กำหนดให้พิจารณาผลกระทบของคอนกรีตรับแรงอัดที่แทนที่ด้วยเหล็ก และเปรียบเทียบผลที่ได้ P_n ระหว่างมาตรฐานของ ว.ส.ท. และ

ACI 318

วิธีทำ

a) หาค่า P_n โดยสมมติให้เหล็กรับแรงอัดถึงจุดคราก แต่เหล็กรับแรงดึงไม่ถึงจุดคราก

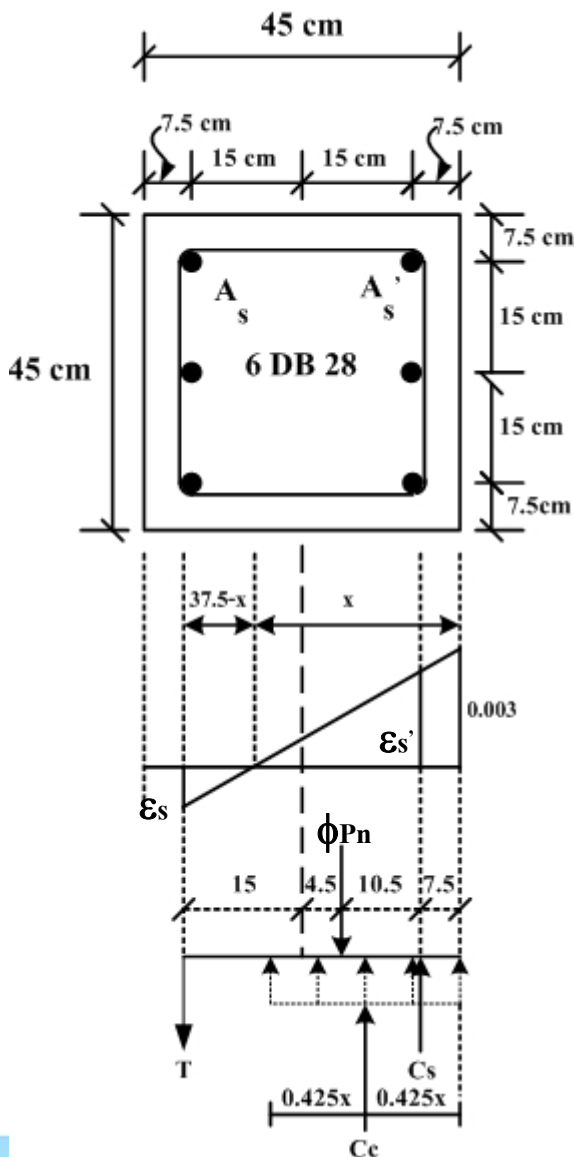
$$C_s = A'_s (f_y - 0.85f'_c) = 3 \times 6.16 (4000 - 238) = 69,522 \text{ kg}$$

$$C_c = 0.85f'_c b a = 0.85 \times 280 \times 45 \times a = 10710a \text{ kg} = 10710(0.85x) = 9103.5x \text{ kg}$$

$$T = A_s f_s = A_s \epsilon_s E_s$$

$$T = A_s \frac{(0.003)}{x} (37.5 - x) (2.04 \times 10^6) = 3 \times 6.16 \left(\frac{0.003}{x} \right) (37.5 - x) (2.04 \times 10^6)$$

$$= 113098 \left(\frac{37.5 - x}{x} \right) \text{ kg}$$

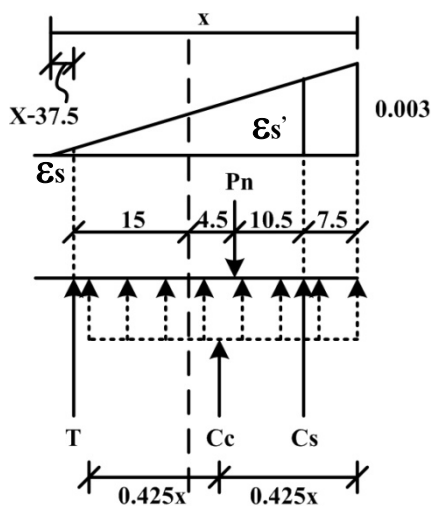


$$\Sigma M@P_u=0: C_s(15-4.5) + C_c(15+7.5-4.5-0.425x) + T(15+4.5) = 0$$

$$69522 \times 10.5 + 9103.5x(18 - 0.425x) + 113098 \left(\frac{37.5-x}{x} \right) (19.5) = 0$$

$$3869x^3 - 163863x^2 + 1475430x - 82702913 = 0$$

$x = 44.56 \text{ cm} \rightarrow$ แปลว่าอะไร? เมื่อด้านกว้างของเสาเท่ากับ 45 ซม. เท่านั้น



$$\epsilon'_s = 0.003 \left(\frac{44.56 - 7.5}{44.56} \right) = 2.495 \times 10^{-3}$$

$$\frac{f_y}{E_s} = \epsilon_y = 1.961 \times 10^{-3} < \epsilon'_s$$

E_s

ดังนั้นเหล็กรับแรงอัดถึงจุดครากตามที่สมมุติ

$$C_c = 9103.5(44.56) = 405651.96$$

$$\approx 405,652 \text{ kg}$$

$$T = 113098 \left(\frac{44.56 - 37.5}{44.56} \right) = 17,919 \text{ kg}$$

แรง T เป็นแรงอัด, ไม่ใช่แรงดึง

$$P_n = 69,522 + 405,652 + 17,919 = 493,093 \text{ kg}$$

ดังนั้น $\phi P_n = 0.65(493,093) = 320,510 \text{ กก.}$ ตามมาตรฐาน ACI 318-05

และ $\phi P_n = 0.70(493,093) = 345,165 \text{ กก.}$ ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. **ตอบ**

แม้ว่าการรับกำลังของเสาที่คำนวณตามวิธีของ ว.ส.ท. จะให้ค่าทางตัวเลขสูงกว่ากรณีของ ACI 318 แต่ตัวคูณน้ำหนักของ วสท. สูงกว่าของ ACI 318-05 แต่มีได้หมายความว่าเสาที่ออกแบบตาม วสท. มีความปลอดภัยน้อยกว่า เพราะเหตุดังนี้:

ให้เสาด้านนี้รับน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ D และน้ำหนักบรรทุกจร L ที่ยังไม่คูณด้วยตัวคูณ โดยสมมุติว่าน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ D เป็นร้อยละ 50 และน้ำหนักบรรทุกจรเป็นร้อยละ 50 ของน้ำหนักทั้งหมด นั่นคือ

$$1.4D + 1.7L = 345165 \text{ กก. ตามวิธีของ วสท. จะได้ } D = 111343 \text{ กก. และ } L = 111343 \text{ กก.}$$

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : http://www.thaitca.or.th

และ $1.2D + 1.6L = 320,510$ กก. ตามวิธีของ ACI 318 ได้ $D = 114467$ กก. และ $L = 114467$ กก.

เมื่อเปลี่ยนน้ำหนักบรรทุกคงที่ D เป็นร้อยละ 60 และ น้ำหนักบรรทุกจรเป็นร้อยละ 40 ของน้ำหนักทั้งหมด เสาต้นนี้จะรับน้ำหนักได้ คือ

$1.4D + 1.7L = 345165$ กก. ตาม วสท. ได้ $D = 136249$ กก. และ $L = 90833$ กก.

และ $1.2D + 1.6L = 320,510$ กก. ตาม ACI 318 ได้ $D = 141400$ กก. และ $L = 94267$ กก.

และลองให้น้ำหนักบรรทุกคงที่ D เป็นร้อยละ 70 และ น้ำหนักบรรทุกจรเป็นร้อยละ 30 ของน้ำหนักทั้งหมด นั่นคือ

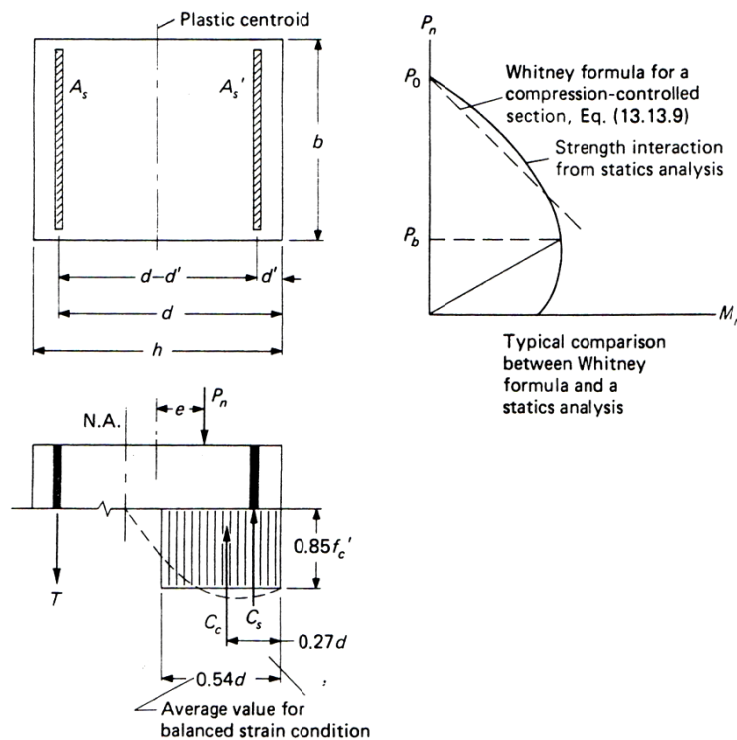
$1.4D + 1.7L = 345165$ กก. ตาม วสท. จะได้ $D = 162158$ กก. และ $L = 69496$ กก.

และ $1.2D + 1.6L = 320,510$ กก. ตาม ACI 318 ได้ $D = 169967$ กก. และ $L = 72843$ กก.

โดยสรุปแล้วพบว่า หากพิจารณาเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร เท่านั้น (ไม่รวมแรงลม แรงแผ่นดินไหว แรงค้ำดิน) การใช้วิธีของ ACI 318-05 ทำให้การออกแบบเสามีความประหยัดขึ้น (เสารับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้น) หรือกล่าวในทางกลับกัน คือ เสามีความปลอดภัยน้อยกว่าที่ใช้ตามมาตรฐาน วสท.

สูตรของ Whitney : ในช่วงแรงอัดเป็นหลัก (Compression Control)

สูตรของ Whitney เป็นสูตรสำหรับการประมาณขนาดหน้าตัดเสา (ดูรูปที่ 2) โดยใช้สูตรนี้ได้ก็ต่อเมื่อ การเรียงเหล็กเสริมต้องเสริมแนวเดียว และมีความสมมาตรทั้ง 2 ด้าน ในแนวซึ่งขนานกับแกนที่พิจารณาโมเมนต์ดัด โดยมีสมการ คือ



รูปที่ 2 สูตรของ Whitney: บริเวณที่เกิดแรงอัดเป็นหลัก [4]

$$P_n = A_g \left[\frac{f'_c}{\left(\frac{3}{\xi^2}\right)\left(\frac{e}{h}\right) + 1.18} + \frac{\rho_g f_y}{\left(\frac{2}{\gamma}\right)\left(\frac{e}{h}\right) + 1} \right] \quad (5)$$

เมื่อ $A_g = bh$; $\xi h = d$; $A_s = A'_s$ (สำหรับการเรียงเหล็กเสริมแบบสมมาตร) $\rho_g = \frac{2A'_s}{A_g}$; $\gamma h = d - d'$

สูตรของ Whitney ที่ใช้ในการออกแบบเสาข้างคังมีวิธีการเช่นเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ตัวอย่างต่อไปนี้เป็น การแสดงการใช้สูตรของ Whitney เพื่อเปรียบเทียบการออกแบบเสาตาม ACI 318-05 และ วสท.

ตัวอย่าง 2 จงออกแบบเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการเสริมเหล็กแบบสมมาตร และมีปริมาณเหล็กเสริมประมาณร้อยละ 3.5 เพื่อรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ 90,700 กก. น้ำหนักจร 79,400 กก. และโมเมนต์ดัดรอบแกนศูนย์กลางวงพลาสติก เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ 10,400 กก-ม และเนื่องจากน้ำหนักจร 9,000 กก-ม กำหนดให้ $f'_c = 280$ กก/ซม² และ $f_y = 4,000$ กก/ซม² โดยใช้วิธี ตาม วสท. และ ACI 318

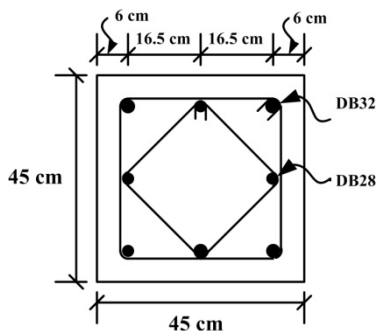
ตาม ว.ส.ท.

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{1.4(90700) + 1.7(79400)}{0.7} = 374,229 \text{ kg}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{1.4(10400) + 1.7(9000)}{0.7} = 42,657 \text{ kg - m}$$

ระยะเอียงศูนย์; $e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{42,657 \times 100}{374,229} = 11.4 \text{ cm}$

เลือกใช้น้ำตัดของเสาขนาด 45×45 ซม.² เมื่อน้ำตัดเสาเท่ากับ 45×45 ซม.²; $d = 45 - 6 = 39$ ซม. และสมมุติว่าเป็น compression control ซึ่งต้องทำการตรวจสอบอีกครั้งว่าเป็น compression control จริง



$$A_s = \begin{cases} 4 - \text{DB28} \\ 4 - \text{DB32} \end{cases} \Rightarrow 56.8 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\text{actual}} = \frac{56.8}{bh} = \frac{56.8}{45 \times 45} = 0.0281; \quad \frac{e}{h} = \frac{11.4}{45} = 0.253$$

$$\xi = \frac{d}{h} = \frac{39}{45} = 0.867$$

$$P_n = 45 \times 45 \left[\frac{280}{\left(\frac{3}{0.867^2}\right)(0.253) + 1.18} + \frac{0.0281(4,000)}{\left(\frac{2}{0.733}\right)(0.253) + 1} \right]$$

$$= 2,025 [127.87 + 66.50] = 393,600 \text{ kg} > 374,229 \text{ kg} \text{ ขนาดเสาใช้ได้}$$

แต่หากใช้เหล็กเสริมเพียง 6-เส้น แทนค่าลงในสมการนี้ การคำนวณใหม่จะได้

$$\left. \begin{array}{l} 4 - \text{DB32} \\ 2 - \text{DB28} \end{array} \right\} \rightarrow A_s = 32.16 \text{ cm}^2 \Rightarrow 44.48 \text{ cm}^2 ; \rho_{\text{actual}} = \frac{44.48}{45 \times 45} = 0.022$$

$$\therefore P_n = 45 \times 45 \left[\frac{280}{\left(\frac{3}{0.867^2}\right)(0.253) + 1.18} + \frac{0.0281(4,000)}{\left(\frac{2}{0.733}\right)(0.253) + 1} \right]$$

$$= 2,025 [127.87 + 52.06] = 364,361 \text{ kg} < 374,229 \text{ kg} \text{ ขนาดเสาเล็กไปใช้ไม่ได้}$$

\(\therefore\) เลือกขนาดหน้าตัดเสาเท่ากับ $45 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$ ใช้เหล็กเสริม 4-DB28 และ 4-DB32

ตอบ

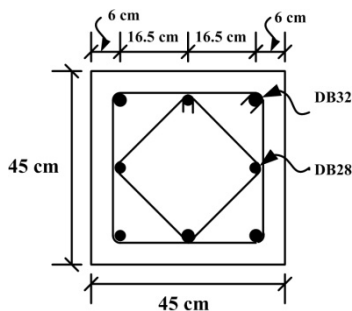
โดย ACI 318-05

วิธีทำ $P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{1.2(90700) + 1.6(79400)}{0.65} = 362,892 \text{ kg}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{1.2(10400) + 1.6(9000)}{0.65} = 41,353 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

ระยะเยื้องศูนย์กลาง; $e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{41,353 \times 100}{362,892} = 11.4 \text{ cm}$

เลือกใช้น้ำตัดของเสาขนาด $45 \times 45 \text{ ซม.}^2$ เมื่อน้ำตัดเสาเท่ากับ $45 \times 45 \text{ ซม.}^2$; $d = 45 - 6 = 39 \text{ cm}$



$$A_s = \begin{cases} 4 - \text{DB28} \\ 4 - \text{DB32} \end{cases} \Rightarrow 56.8 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\text{actual}} = \frac{56.8}{bh} = \frac{56.8}{45 \times 45} = 0.0281$$

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : http://www.thaitca.or.th

$$\frac{e}{h} = \frac{11.4 \text{ cm}}{45 \text{ cm}} = 0.253; \quad \gamma = \frac{d-d'}{h} = \frac{39-6}{45} = 0.733, \quad \xi = \frac{d}{h} = \frac{39}{45} = 0.867$$

$$P_n = 45 \times 45 \left[\frac{280}{\left(\frac{3}{0.867^2}\right)(0.253) + 1.18} + \frac{0.0281(4,000)}{\left(\frac{2}{0.733}\right)(0.253) + 1} \right]$$

= 2,025 [127.87 + 66.50] = 393,600 kg > 3628,92 kg ขนาดเสาใหญ่พอและอาจลดลงได้

หากใช้เหล็กเพียง 6-เส้นแทนค่าลงในสมการนี้ (ตาม วิธี วสท. มีเหล็กไม่เพียงพอ) การคำนวณใหม่จะได้

$$\left. \begin{array}{l} 4\text{-DB32} \\ 2\text{-DB28} \end{array} \right\} \rightarrow A_s = 32.16 \text{ cm}^2 \Rightarrow 44.48 \text{ cm}^2; \quad \rho_{\text{actual}} = \frac{44.48}{45 \times 45} = 0.022$$

$$\therefore P_n = 45 \times 45 \left[\frac{280}{\left(\frac{3}{0.867^2}\right)(0.253) + 1.18} + \frac{0.022(4,000)}{\left(\frac{2}{0.733}\right)(0.253) + 1} \right]$$

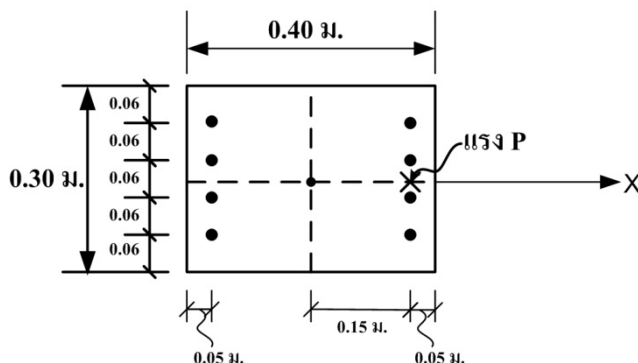
= 2,025 [127.87 + 52.06] = 364,361 kg > 362,892 kg ขนาดเสาใช้ได้

∴ เลือกขนาดหน้าตัดเสาเท่ากับ 45x45 ซม. ใช้เหล็กเสริม 2-DB28 และ 4-DB32 **ตอบ**

สำหรับตัวอย่างนี้พบว่าจำนวนเหล็กเสริมในเสา ตาม ACI 318-05 ยังคงมีปริมาณน้อยกว่าตามวิธีที่ออกแบบโดย ว.ส.ท. อยู่บ้างแต่ไม่มากนัก นั่นคือการออกแบบตาม ว.ส.ท. ยังมีความปลอดภัยที่สูงกว่า

ตัวอย่าง 3 เสาสั้นต้นหนึ่งมีค่า $f'_c = 180 \text{ กก/ซม}^2$, $f_y = 3,000 \text{ กก/ซม}^2$ เสริมเหล็กยื่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. จำนวน 8 เส้นดังรูป จงตรวจสอบว่าถ้ามีน้ำหนักกระทำต่อเสาด้านนี้ $P = 60,000 \text{ กิโลกรัม}$ (เป็นน้ำหนักบรรทุกจร เท่ากับ 24000 กก. และน้ำหนักบรรทุกคงที่ 36000 กก.) ถ้าแรง P ที่กระทำมีระยะเอียงศูนย์กลางตามแนวแกน x เท่ากับ $e_x = 15 \text{ ซม.}$ เสาต้นนี้จะเป็อันตรายนหรือไม่ โดยวิธี วสท. และ ACI 318-05

วิธี ว.ส.ท.



$$P_{LL} = 24,000 \text{ kg}; \quad P_{DL} = 36,000 \text{ kg}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{1.4D + 1.7L}{0.7} = \frac{1.4(36000) + 1.7(24000)}{0.7} = 130285 \text{ kg}$$

$$\text{ระยะเยื้องศูนย์กลาง } e = \frac{M_n}{P_n} = 15 \text{ ซม.}$$

หน้าตัดขนาด 40×30 ซม.; ใช้สมการ Whitney สมมติว่าเป็น Compression Control

h = 40 ซม., b = 30 ซม. และ d = 35 ซม.

$$P_n = A_g \left[\frac{f'_c}{\left(\frac{3}{\xi^2}\right)\left(\frac{e}{h}\right) + 1.18} + \frac{\rho_g f_y}{\left(\frac{2}{\gamma}\right)\left(\frac{e}{h}\right) + 1} \right]$$

$$\frac{e}{h} = \frac{15 \text{ ซม.}}{40 \text{ ซม.}} = 0.375; \quad \gamma = \frac{d - d'}{h} = \frac{35 - 5}{40} = 0.75$$

$$\xi = \frac{d}{h} = \frac{35}{40} = 0.875; \quad \rho_g = \frac{2A'_s}{A_g} = \frac{2 \times 4 \times 4.91}{40 \times 30} = 0.0327$$

$$P_n = 30 \times 40 \left[\frac{180}{\left(\frac{3}{0.875^2}\right)(0.375) + 1.18} + \frac{0.0327 \times 3000}{\left(\frac{2}{0.75}\right)(0.375) + 1} \right]$$

$$= 1200 \left[\frac{180}{2.649} + \frac{98.1}{2} \right] = 1200 \times [117] = 140400 \text{ kg} > 130285 \text{ kg}$$

แสดงว่าเสารับน้ำหนักได้และเกินกว่าที่ต้องการเล็กน้อย ขนาดหน้าตัดและการเสริมเหล็กของเสาในตัวอย่างนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อได้ตรวจสอบว่าเสามีการวิบัติแบบ Compression control **ตอบ**

วิธี ACI 318-05

$$P_{LL} = 24,000 \text{ kg}; \quad P_{DL} = 36,000 \text{ kg}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{1.2D + 1.6L}{0.65} = \frac{1.2(36000) + 1.6(24000)}{0.65} = 125538 \text{ kg}$$

$$\text{ระยะเยื้องศูนย์กลาง } e = \frac{M_n}{P_n} = 15 \text{ ซม.}$$

หน้าตัดขนาด 40×30 ซม. ; ใช้สมการ Whitney สมมติว่าเป็น Compression Control

$h = 40$ ซม., $b = 30$ ซม. และ $d = 35$ ซม.

$$P_n = A_g \left[\frac{f'_c}{\left(\frac{3}{\xi^2}\right)\left(\frac{e}{h}\right) + 1.18} + \frac{\rho_g f_y}{\left(\frac{2}{\gamma}\right)\left(\frac{e}{h}\right) + 1} \right]$$

$$\frac{e}{h} = \frac{15 \text{ cm}}{40 \text{ cm}} = 0.375 ; \quad \gamma = \frac{d - d'}{h} = \frac{35 - 5}{40} = 0.75$$

$$\xi = \frac{d}{h} = \frac{35}{40} = 0.875 ; \quad \rho_g = \frac{2A'_s}{A_g} = \frac{2 \times 4 \times 4.91}{40 \times 30} = 0.0327$$

$$P_n = 30 \times 40 \left[\frac{180}{\left(\frac{3}{0.875^2}\right)(0.375) + 1.18} + \frac{0.0327 \times 3000}{\left(\frac{2}{0.75}\right)(0.375) + 1} \right]$$

$$= 1200 \left[\frac{180}{2.649} + \frac{98.1}{2} \right] = 1200 \times [117] = 140400 \text{ kg} > 125538 \text{ kg}$$

แสดงว่าเสารับน้ำหนักได้ และมีส่วนปลอดภัยที่เหลือมากกว่าที่ออกแบบโดย วสท. (หรือ วิธีของ ACI 318-05 มีส่วนปลอดภัยน้อยกว่า) **ตอบ**

บทสรุป

จากการออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38 เปรียบเทียบกับ ACI 318-05 พบว่า การออกแบบเสาต้นพิจารณาเฉพาะน้ำหนักบรรทุกตายตัวและน้ำหนักบรรทุกจร เท่านั้น มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38 ยังมีความปลอดภัยสูงกว่ากรณีที่ออกแบบตาม ACI 318-05 แต่มีค่าสูงกว่าไม่มากนัก

หรือหากกล่าวอีกทางหนึ่ง สามารถกล่าวได้ว่า การออกแบบโดยใช้ ACI 318-05 มีความประหยัดกว่าการออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38

ส่วนท่านผู้อ่านจะเลือกใช้ค่าพุดใดในการกล่าวอ้าง ก็สุดแล้วแต่ท่านครับ

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : http://www.thaitca.or.th

เอกสารอ้างอิง

1. คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา “มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38 มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง,” วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, พิมพ์ครั้งที่ 9 กุมภาพันธ์ 2558
2. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05), American Concrete Institute, 2005.
3. A.H. Nilson, D. Darwin and C.W. Dolan, Design of Concrete Structures, 13th Edn, McGraw-Hill International Editions, 2003.
4. Chu-Kia Wang and Charles G. Salmon, “**Reinforced Concrete Design**”, 5th Edn., Harper Collins, 1992.