

ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงมากที่สุดคือ

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75\bar{\rho}_b + \rho' \frac{f'_s}{f_y} = 0.75(0.0262) + 0.0031 \frac{4,000}{4,000} \\ &= 0.0228 > [\rho = 0.0196]\end{aligned}$$

OK

3. คำนวณกำลังโมเมนต์ตัด

ความลึกของบล็อกหน่วยแรงอัดในคอนกรีต:

$$a = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{32.99 \times 4,000}{0.85 \times 240 \times 40} = 16.17 \text{ ซม.}$$

กำลังรับ โมเมนต์

$$\begin{aligned}M_n &= (A_s - A'_s) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d') \\ &= 39.27 \times 4,000 \times (50 - 16.17/2) + 6.28 \times 4,000 \times (50 - 6) \\ &= 6,633,030 \text{ ก.ก.-ซม.} = 66.33 \text{ ตัน-เมตร}\end{aligned}$$

■

ตัวอย่างที่ 3.7 วิเคราะห์หน้าตัดคานเสริมเหล็กคู่: เหล็กรับแรงอัดไม่คราก

ทำซ้ำตัวอย่างที่ 3.6 โดยเปลี่ยนปริมาณเหล็กเสริมเป็น เหล็กบน 2DB25 ($A'_s = 9.82 \text{ ซม.}^2$) และเหล็กล่าง 6DB25 ($A_s = 29.45 \text{ ซม.}^2$) กำหนด $f'_c = 240 \text{ ก.ก./ซม.}^2$ $f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ซม.}^2$

วิธีทำ

1. ตรวจสอบเหล็กรับแรงอัดคราก

$$\begin{aligned}A_s - A'_s &= A_{s1} = 29.45 - 9.82 = 19.63 \text{ ซม.}^2 \\ \rho - \rho' &= \frac{29.45}{40 \times 50} - \frac{9.82}{40 \times 50} = 0.0147 - 0.0049 = 0.0098\end{aligned}$$

ค่าจริง $\rho - \rho' = 0.0098 < 0.0150$ ดังนั้นเหล็กเสริมรับแรงอัดไม่คราก $f'_s < f_y$

สมมูลของแรง: $A_s f_y = 0.85 f'_c b a + A'_s f'_s$

แทนค่าตัวแปรต่างๆและ $f'_s = E_s \epsilon'_s = 6,120(c - d')/c$ จะได้

$$\begin{aligned}(29.45)(4,000) &= 0.85(240)(40)(0.85)c + (9.82)(6,120)(c - 6)/c \\ c^2 - 8.32c - 52.0 &= 0\end{aligned}$$

เมื่อแก้สมการกำลังสองได้ค่า $c = 12.49 \text{ ซม.}$ ได้ $a = 10.61 \text{ ซม.}$

$$f'_s = 6,120(12.49 - 6)/12.49 = 3,180 \text{ ก.ก./ซม.}^2$$

2. ตรวจสอบปริมาณเหล็กรับแรงดึง

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75\bar{\rho}_b + \rho' \frac{f'_s}{f_y} = 0.75(0.0262) + 0.0049 \frac{3,180}{4,000} \\ &= 0.0235 > [\rho = 0.0147]\end{aligned}$$

OK

3. คำนวณกำลังโมเมนต์ตัด

$$\begin{aligned} \text{กำลังรับโมเมนต์} \quad M_n &= (A_s f_y - A'_s f'_s) \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s (d - d') \\ &= (29.45 \times 4,000 - 9.82 \times 3,180) (50 - 10.61 / 2) + 9.82 \times 3,180 \times (50 - 6) \\ &= 5,243,368 \text{ ก.ก.-ซม.} = 52.43 \text{ ตัน-เมตร} \end{aligned}$$

3.12 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่

กระบวนการออกแบบหน้าตัดเสริมเหล็กคู่จะเริ่มจากการพิจารณาว่าต้องการกำลังเพิ่ม โดยใช้เหล็กเสริมรับแรงอัดหรือไม่ ซึ่งอาจทำได้โดยการเปรียบเทียบกำลังโมเมนต์ที่ต้องการกับกำลังของหน้าตัดเสริมเหล็กเดี่ยวที่ใช้เหล็กดิ่งมากที่สุดที่ยอมให้ หลังจากตัดสินใจใช้เหล็กอัดแล้วก็จะเลือกปริมาณเหล็กที่เหมาะสมของเหล็กรับแรงดึง A_s และเหล็กรับแรงอัด A'_s เพื่อการนี้สมการสมดุลที่จะใช้ได้มี 2 สมการคือ

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C'_s (d - d') \quad (3.16)$$

$$T = T_1 + T_2 = C_c + C'_s \quad (3.18)$$

ขั้นตอนในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงอัด

- (1) คำนวณกำลังโมเมนต์ M_{n1} ของหน้าตัดเสริมเหล็กเดี่ยว โดยใช้ขนาดคานที่กำหนดไว้แล้ว b และ d โดยใช้ปริมาณเหล็กเสริม $\rho_1 = \rho_{\max} = 0.75 \bar{\rho}_b$

$$M_{n1} = \rho_{\max} f_y b d^2 \left(1 - \frac{\rho_{\max} f_y}{1.7 f'_c} \right) = R_{n,\max} b d^2$$

เมื่อ $R_{n,\max} = \rho_{\max} f_y \left(1 - \frac{1}{2} \rho_{\max} m \right)$ และ $m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$ เปิดดูได้จากตารางที่ ก.5 ในภาคผนวก

หรืออีกวิธีหนึ่งคำนวณ $A_s = \rho_{\max} b d$

$$M_{n1} = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

เมื่อ
$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

- (2) คำนวณกำลังโมเมนต์ที่ต้องการเพิ่มเติม ซึ่งจะรับโดยเหล็กรับแรงอัด-เหล็กรับแรงดึง

$$M_{n2} = M_n - M_{n1} = \frac{M_u}{\phi} - M_{n1}$$

- (3) คำนวณเหล็กรับแรงดึงที่ต้องการเพิ่มเติม A_{s2}

$$M_{n2} = T_2 (d - d') = A_{s2} f_y (d - d')$$

$$A_{s2} = \frac{M_{n2}}{f_y (d - d')}$$

- (4) คำนวณปริมาณเหล็กรับแรงดึงทั้งหมด

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

- (5) ตรวจสอบการครากของเหล็กรับแรงอัด :

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} \text{ และ } c = a / \beta_1$$

$$f'_s = 6,120 \left(1 - \frac{d'}{c} \right) \leq f_y$$

(6) ปริมาณเหล็กรับแรงอัด:

$$A_{s2} f_y = A'_s f'_s$$

ตัวอย่างที่ 3.8 ออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่ซึ่งมีความลึกประสิทธิภาพมากที่สุด $d = 54$ ซม. $d' = 6$ ซม. รับโมเมนต์ประลัย $M_u = 90$ ตัน-เมตร กำหนด $f'_c = 280$ ก.ก./ซม.² $f_y = 4,000$ ก.ก./ซม.²

วิธีทำ สมมติให้ $b = 40$ ซม.

1. พิจารณากำลังมากที่สุดที่ยอมให้ของหน้าตัดเสริมเหล็กเดียว

เหล็กเสริมมากที่สุด $\rho_1 = \rho_{\max} = 0.75 \bar{\rho}_b = 0.0229$ (จากตารางที่ ก.5)

พื้นที่เหล็กเสริมรับดึง $A_{s1} = \rho_1 b d = 0.0229(40)(54) = 49.46$ ซม.²

$$a = \frac{A_{s1} f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{49.46 \times 4.0}{0.85 \times 0.28 \times 40} = 20.78 \text{ ซม.}$$

และ $c = a / \beta_1 = 20.78 / 0.85 = 24.45$ ซม.

$$M_{n1} = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 49.46(4.0) \left(54 - \frac{20.78}{2} \right)$$

$$= 8,628 \text{ ตัน-ซม.} = 86.28 \text{ ตัน-เมตร}$$

หรือใช้สูตร $M_{n1} = 0.0229 \times 4.0 \times 0.4 \times 54^2 \left(1 - \frac{0.0229 \times 4.0}{1.7 \times 0.28} \right) = 86.28$ ตัน-เมตร

เนื่องจากค่า M_n ที่ต้องการ $= M_u / \phi = 90 / 0.9 = 100$ ตัน-เมตร มากกว่าที่ยอมให้โดยไม่เสริมเหล็กรับแรงอัด ดังนั้นจำเป็นต้องเสริมเหล็กรับแรงอัดเพื่อให้ได้กำลังที่ต้องการ

2. โมเมนต์ที่ต้องการเพิ่มเติม ซึ่งจะรับโดยเหล็กรับแรงอัด-เหล็กรับแรงดึง

$$M_{n2} = M_n - M_{n1} = 100 - 86.28 = 13.72 \text{ ตัน-เมตร}$$

3. เหล็กรับแรงดึงที่ต้องการเพิ่มเติม

$$A_{s2} = \frac{M_{n2}}{f_y (d - d')} = \frac{13.72 \times 10^5}{4,000(54 - 6)} = 7.15 \text{ ซม.}^2$$

4. เหล็กรับแรงดึงทั้งหมด

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 49.46 + 7.15 = 56.61 \text{ ซม.}^2$$

ใช้เหล็กรับแรงดึง **5DB32+3DB28** ($A_s = 40.21 + 18.47 = 58.68$ ซม.²)

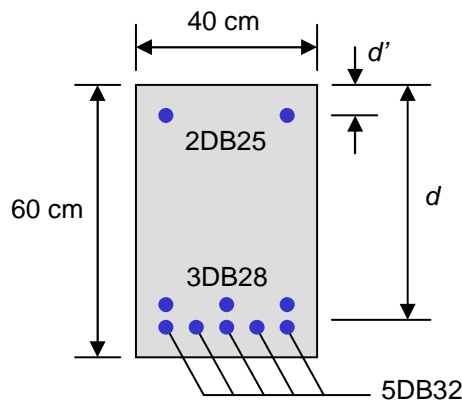
5. พิจารณาเหล็กรับแรงอัด

$$f'_s = 6,120 \left(1 - \frac{6}{24.45} \right) = 4,618 \text{ ก.ก./ซม.}^2 > [f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ซม.}^2]$$

ดังนั้นเหล็กเสริมรับแรงอัดคราก $f'_s = f_y = 4,000$ ก.ก./ซม.²

6. ปริมาณเหล็กรับแรงอัด $A'_s = A_{s,2} = 7.15 \text{ ซม.}^2$

ใช้เหล็ก 2DB25 ($A_s = 9.82 \text{ ซม.}^2$)



รูปที่ 3.17 หน้าตัดเสริมเหล็กคู่ในตัวอย่างที่ 3.8

7. ตรวจสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด

ความลึก $d' = 4 \text{ ซม. (ระยะหุ้ม)} + 1 \text{ ซม. (เหล็กปลอก)} + 1.25 \text{ ซม. (ครึ่ง DB25)} = 6.25 \text{ ซม.}$

$$\begin{aligned} \text{ระยะศูนย์กลางเหล็กรับแรงดึง} &= \frac{40.21(4+1+1.6)+18.47(4+1+3.2+2.5+1.4)}{40.21+18.47} \\ &= 8.33 \text{ ซม.} \end{aligned}$$

ความลึก $d = 60 \text{ ซม. (ความลึก } h) - 8.33 \text{ ซม. (ระยะศูนย์กลางเหล็กรับแรงดึง)} = 51.7 \text{ ซม.}$

$$\rho - \rho' = \frac{58.68}{40 \times 51.7} - \frac{9.82}{40 \times 51.7} = 0.0283 - 0.0047 = 0.0236$$

$$\frac{0.85\beta_1 f'_c d'}{f_y d} \left(\frac{6,120}{6,120 - f_y} \right) = \frac{0.85 \times 0.85 \times 280 \times 6.3}{4,000 \times 51.9} \left(\frac{6,120}{6,120 - 4,000} \right) = 0.0177$$

$\rho - \rho' = 0.0236 > 0.0177$ ดังนั้นเหล็กเสริมรับแรงอัดคราก $f'_s = f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ซม.}^2$

ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงมากที่สุด

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0.75\bar{\rho}_b + \rho' \frac{f'_s}{f_y} = 0.0229 + 0.0047 \\ &= 0.0276 \approx [\rho = 0.0283] \end{aligned}$$

OK

ความลึกของบล็อกหน่วยแรงอัดในคอนกรีต :

$$a = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{48.86 \times 4,000}{0.85 \times 280 \times 40} = 20.5 \text{ ซม.}$$

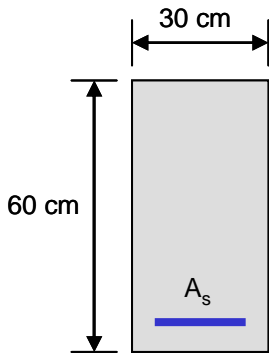
กำลังรับโมเมนต์ดัด :

$$\begin{aligned} M_n &= (A_s - A'_s) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d') \\ &= 48.86 \times 4,000 \times (51.7 - 20.53/2) + 9.82 \times 4,000 \times (51.7 - 6.25) \\ &= 9,886 \text{ ก.ก.-ซม.} = 98.9 \text{ ตัน-เมตร} \approx M_n \text{ ที่ต้องการ } 100 \text{ ตัน-เมตร} \end{aligned}$$

OK

ปัญหาท้ายบทที่ 3

3.1 สำหรับหน้าตัดคานดังแสดงในรูป ให้พิจารณาว่าการบิดของคานจะเกิดขึ้นโดยการบิดทลายของคอนกรีตหรือการครากของเหล็กเสริม



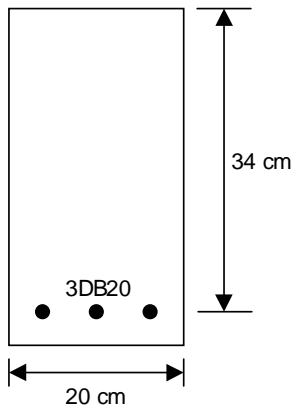
กำหนด:

$$f'_c = 280 \text{ ก.ก./ซม.}^2 \text{ สำหรับกรณี (a) } A_s = 60 \text{ ซม.}^2$$

$$f'_c = 350 \text{ ก.ก./ซม.}^2 \text{ สำหรับกรณี (b) } A_s = 30 \text{ ซม.}^2$$

$$f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ซม.}^2$$

3.2 กำหนดกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคานดังในรูป



กำหนด :

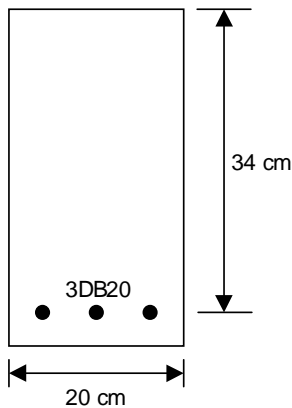
$$f'_c = 210 \text{ ก.ก./ซม.}^2 \text{ สำหรับกรณี (a)}$$

$$f'_c = 240 \text{ ก.ก./ซม.}^2 \text{ สำหรับกรณี (b)}$$

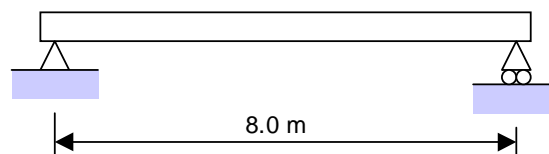
$$f'_c = 280 \text{ ก.ก./ซม.}^2 \text{ สำหรับกรณี (c)}$$

$$f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ซม.}^2$$

3.3 กำหนดน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่ปลอดภัยที่คานดังในรูปสามารถรับได้

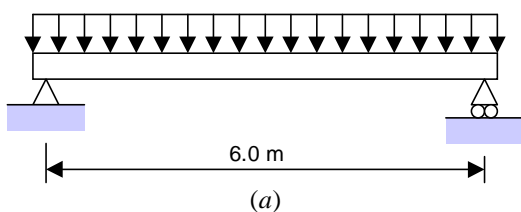


กำหนด: $f'_c = 240 \text{ ก.ก./ซม.}^2$ และ $f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ซม.}^2$



3.4 ออกแบบพื้นทางเดียวเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกจร 400 ก.ก./ตรม. และน้ำหนักบรรทุกคงที่ภายนอก 200 ก.ก./ตรม. พื้นถูกรองรับโดยช่วงเดี่ยวยาว 3 เมตร กำหนด $f'_c = 240 \text{ ก.ก./ซม.}^2$ และ $f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ซม.}^2$

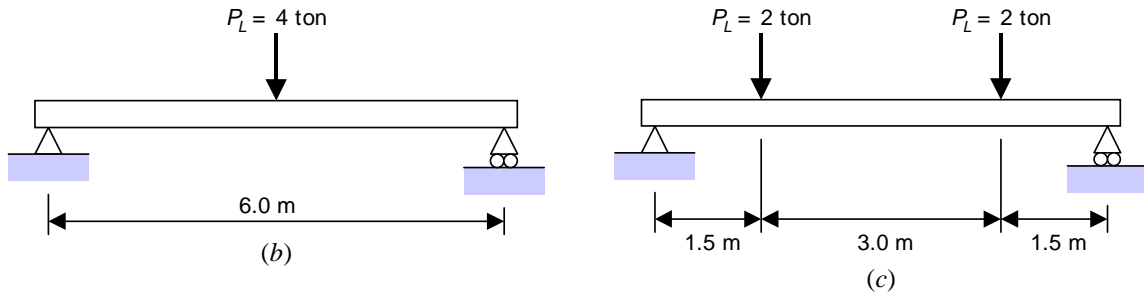
3.5 ออกแบบคานช่วงเดี่ยวดังในรูป โดยกำหนด $f'_c = 240 \text{ ก.ก./ซม.}^2$, $f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ซม.}^2$ และ $\rho = 0.5\bar{\rho}$



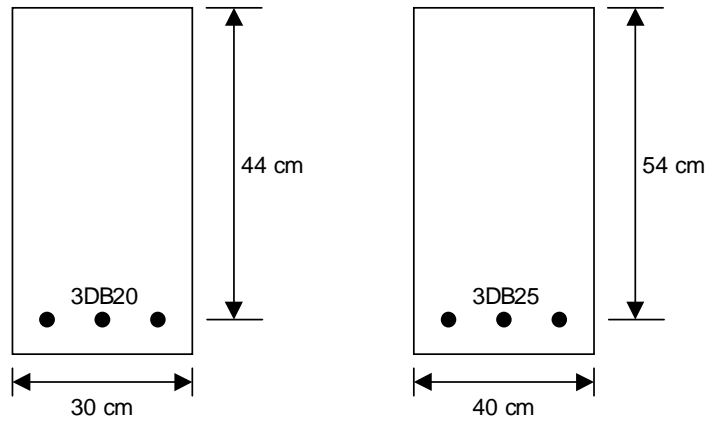
$$w_L = 1.5 \text{ t/m}$$

$$w_D = 0.8 \text{ t/m (รวมน้ำหนักคาน)}$$

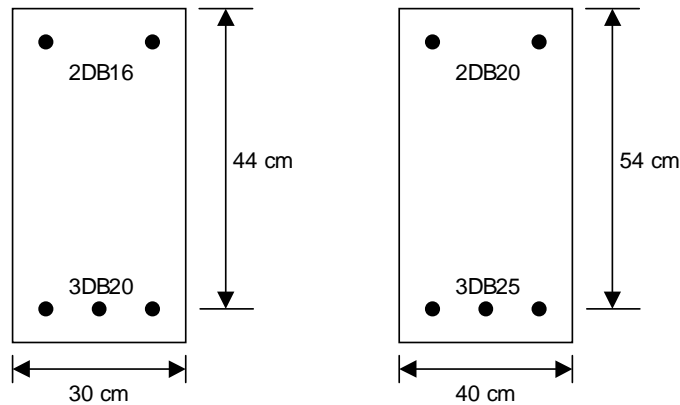
(a)



3.6 ตรวจสอบหน้าตัดดังในรูปว่าเป็นไปตามข้อกำหนด ACI สำหรับปริมาณเหล็กเสริมมากที่สุดและน้อยที่สุดหรือไม่ กำหนด $f'_c = 280$ ก.ก./ซม.² และ $f_y = 4,000$ ก.ก./ซม.²



3.7 กำหนดหน่วยแรงในเหล็กรับแรงอัด f'_s ของหน้าตัดดังในรูป และกำหนดกำลังโมเมนต์ของหน้าตัดด้วย กำหนด $f'_c = 240$ ก.ก./ซม.², $f_y = 4,000$ ก.ก./ซม.² และ $d' = 6$ ซม.



3.8 กำหนดกำลังโมเมนต์ประลัยของหน้าตัดคานในปัญหาที่ 3.2 สมมุติ 2DB16 เป็นเหล็กเสริมรับแรงอัด

3.9 แก้ปัญหาที่ 3.3 ถ้ามีการเพิ่ม 2DB16 เป็นเหล็กเสริมรับแรงอัด

3.10 ออกแบบคานเพื่อรับโมเมนต์จากน้ำหนักบรรทุกจร 50 ตัน-เมตร และโมเมนต์จากน้ำหนักบรรทุกคงที่ 25 ตัน-เมตร โดยความลึกคานถูกจำกัดอยู่ที่ $d = 66$ ซม. ด้วย กำหนด $f'_c = 350$ ก.ก./ซม.², $f_y = 4,000$ ก.ก./ซม.², $b = 40$ ซม. และ $d' = 6$ ซม.