

ตัวอย่างที่ 5.4 ออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่ซึ่งมีความลึกประสิทธิภาพมากที่สุด $d = 54$ ซม. $d' = 6$ ซม. รับโมเมนต์ใช้งาน $M_w = 30$ ตัน-เมตร กำหนด $f_c = 126$ ก.ก./ซม.² $f_s = 1,700$ ก.ก./ซม.²

วิธีทำ สมมติให้ $b = 40$ ซม., $n = 8$, $k = 0.372$, $j = 0.876$ และ $R = 20.53$ ก.ก./ซม.²

1. พิจารณากำลังมากที่สุดที่ยอมให้ของหน้าตัดเสริมเหล็กเดียว

$$M_1 = M_c = Rbd^2 = 20.53 \times 40 \times 54^2 / 10^5 = 23.95$$

$$= 23.95 \text{ ตัน-เมตร} < 30 \text{ ตัน-เมตร}$$

เสริมเหล็กรับแรงอัด

2. คำนวณพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงดึง

$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_s j d} = \frac{23.95 \times 10^5}{1,700 \times 0.876 \times 54} = 29.78 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{s2} = \frac{M - M_1}{f_s (d - d')} = \frac{(30 - 23.95) \times 10^5}{1,700 \times (54 - 6)} = 7.41 \text{ ซม.}^2$$

รวมพื้นที่เหล็กรับแรงดึง $A_s = 29.78 + 7.41 = 37.19$ ซม.²

เลือกใช้เหล็กเสริม 8DB25 ($A_s = 39.27$ ซม.²)

3. คำนวณพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงอัด

$$A'_s = \frac{A_{s2}}{2} \left(\frac{1-k}{k-d'/d} \right) = \frac{7.41}{2} \left(\frac{1-0.372}{0.372-6/54} \right) = 8.92 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้เหล็กเสริม 2DB25 ($A_s = 9.82$ ซม.²)

■

5.10 การออกแบบคานรูปตัว T หรือตัว L

ดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 หน้าตัดคานรูปตัว T หรือตัว L เป็นการเพิ่มพื้นที่คอนกรีตรับแรงอัดออกทางด้านข้างหรือปีกคาน เพื่อให้มีกำลังรับโมเมนต์ได้มากขึ้น มักใช้กับพื้นระบบตง โดยใช้พื้นที่คอนกรีตที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับคานทำหน้าที่เป็นปีกคานไปในตัว การพิจารณาน้ำตดรูปที่จะเริ่มจากการคำนวณความกว้างประสิทธิภาพ b_E ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 ในการพิจารณากำลังรับโมเมนต์ จะแยกเป็นสองกรณีตามตำแหน่งแกนสะเทินคือ (1) แกนสะเทินอยู่ในปีกคาน พื้นที่คอนกรีตรับแรงอัดจะเป็นสี่เหลี่ยมทำให้การคำนวณเหมือนกับหน้าตัดปกติและ (2) แกนสะเทินอยู่ต่ำกว่าปีกคาน พื้นที่คอนกรีตรับแรงอัดจะเป็นรูปตัว T ซึ่งจะมีการคำนวณที่แตกต่างกันออกไป

กรณีที่ 1 แกนสะเทินอยู่ในปีกคาน $kd \leq t$: คำนวณเหมือนกับหน้าตัดพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง b_E ลึก d

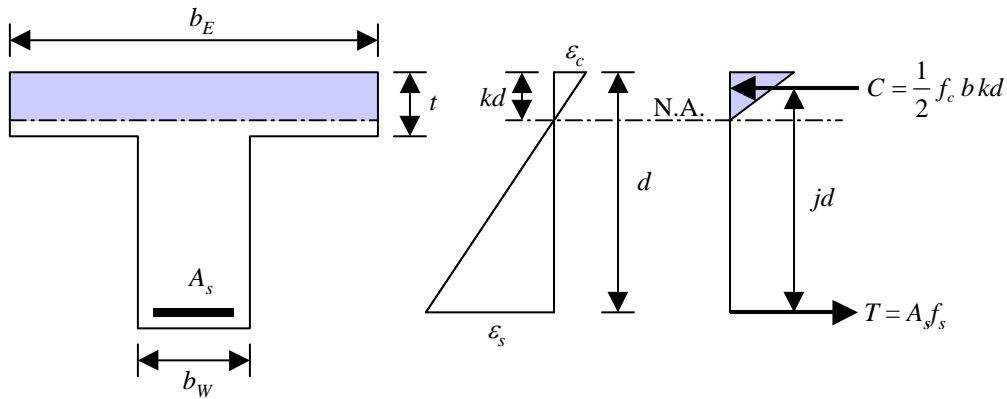
จากสมมูลของแรง $C = T$ จะได้ว่า
$$\frac{1}{2} f_c b_E kd = A_s f_s \quad (5.23)$$

จากเงื่อนไข $kd \leq t$ พื้นที่เหล็กเสริมต้องไม่เกิน
$$A_s \leq \frac{f_c b_E t}{2 f_s} \quad (5.24)$$

หรือตรวจสอบระยะ kd โดยตรงจาก
$$kd = \frac{2 A_s f_s}{f_c b_E} \leq t \quad (5.25)$$

ซึ่งถ้าได้ kd มากกว่า t ก็จะเป็นตามกรณีที่ 2

จากการกระจายความเครียด
$$\frac{\epsilon_c}{\epsilon_s} = \frac{kd}{d-kd} = \frac{k}{1-k}$$



รูปที่ 5.4 สมดุลแรงในหน้าตัดตัวที่เมื่อ $kd \leq t$

เมื่อแทนค่า $\epsilon_c = f_c / E_c$, $\epsilon_s = f_s / E_s$ และ $n = E_s / E_c$ จะได้ว่า

ตำแหน่งแกนสะเทิน
$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{n f_c}} \quad (5.26)$$

ซึ่งจะเหมือนกับของหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าปกติ ซึ่งมีกำลังรับโมเมนต์เท่ากับ

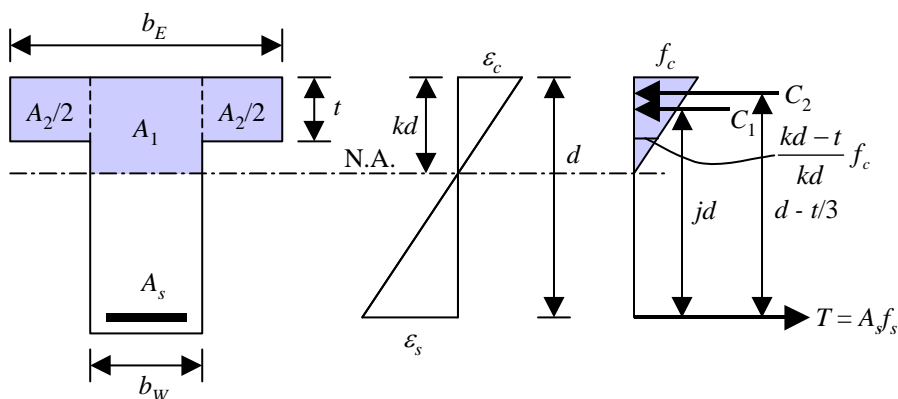
โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต
$$M_c = \frac{1}{2} f_c b_E k d j d \quad (5.27)$$

โมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม
$$M_s = A_s f_s j d \quad (5.28)$$

ในการออกแบบจะกำหนดให้โมเมนต์ทั้งสองมีกำลังเท่ากัน ส่วนในการตรวจสอบกำลังของหน้าตัดโมเมนต์ที่ให้กำลังน้อยกว่าจะเป็นตัวควบคุม ในกรณีนี้ 1 นี้การคำนวณจะง่ายกว่าวิธีที่ 2 มาก ดังนั้นเมื่อตรวจพบว่าเป็นกรณีนี้ 2 ผู้ออกแบบบางคนอาจใช้เฉพาะพื้นที่ปีกภาคคือให้ $kd = t$ และถือว่าพื้นที่คอนกรีตที่เหลือเป็นการเพื่อความปลอดภัยก็ได้

กรณีที่ 2 แกนสะเทินอยู่ต่ำกว่าปีกคาน $kd > t$: จะแบ่งพื้นที่รับแรงอัดออกเป็นสองส่วนคือ A_1 และ A_2

กำลังรับโมเมนต์จากแรงอัดทั้งสอง
$$M = C_1 j d + C_2 \left(d - \frac{t}{3} \right) \quad (5.29)$$



รูปที่ 5.5 สมดุลแรงในหน้าตัดตัวที่เมื่อ $kd > t$

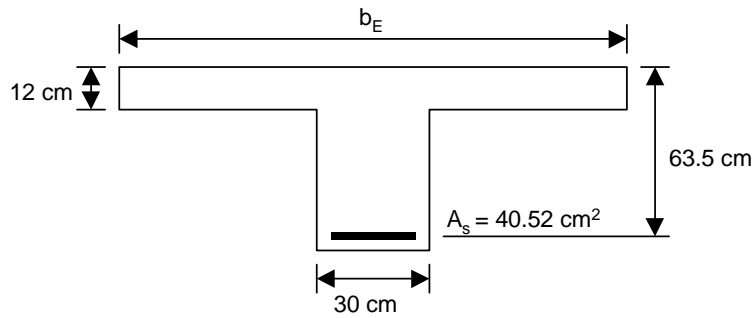
เมื่อ $C_1 = \frac{1}{2} f_c b_w k d$ และ $C_2 = \left(\frac{2kd-t}{kd} \right) f_c (b_E - b_w) t$ จะเห็นว่า C_1 และ C_2 จะแปรตามค่า k ซึ่งยังไม่รู้ค่า ดังนั้นจาก

$T = C_1 + C_2$ จะได้ว่า

$$A_s f_s = \frac{1}{2} f_c b_w k d + \left(\frac{2kd-t}{2kd} \right) f_c (b_E - b_w) t$$

$$kd = \frac{T - C_2}{\frac{1}{2} f_c b_w} = \frac{A_s f_s - \frac{1}{2} f_c (b_E - b_w) t}{\frac{1}{2} f_c b_w} = \frac{2A_s f_s - f_c (b_E - b_w) t}{f_c b_w} \quad (5.30)$$

ตัวอย่างที่ 5.5 จงคำนวณกำลังรับแรงดัด M_n ของคานรูปตัด T เมื่อปีกคานเป็นส่วนหนึ่งของพื้นดังในรูปที่ 4.6 คานมีช่วงยาว 8 เมตรระยะห่างระหว่างคาน 4 เมตร กำหนดหน่วยแรงของคอนกรีต $f'_c = 240$ ก.ก./ซม.² และ $f_c = 108$ ก.ก./ซม.² ของเหล็ก $f_y = 4,000$ ก.ก./ซม.² และ $f_s = 1,700$ ก.ก./ซม.²



รูปที่ 5.6 หน้าตัดสำหรับตัวอย่างที่ 5.5

วิธีทำ

1. พิจารณาความกว้างประสิทธิผลของคานซึ่งเป็นค่าน้อยที่สุดของ

$$L/4 = 800/4 = 200 \text{ ซม.} \leftarrow \text{ควบคุม}$$

$$b_w + 16t = 30 + 16(12) = 222 \text{ ซม.}$$

$$\text{ระยะระหว่างคาน} = 400 \text{ ซม.}$$

ดังนั้น $b_E = 200$ ซม.

2. พิจารณาค่า kd โดยสมมติให้ $kd \leq t$

ตรวจสอบระยะ kd โดยตรงจาก $kd = \frac{2A_s f_s}{f_c b_E} = \frac{2 \times 40.52 \times 1,700}{108 \times 200} = 6.38 \text{ ซม.} < 12 \text{ ซม.} \quad \text{OK}$

กำลังรับโมเมนต์ $M = T(d - kd/3) = 40.52 \times 1,700(63.5 - 6.38/3)$
 $= 4,227,641 \text{ กก.-ซม.} = 42.28 \text{ ตัน-เมตร} \quad \blacksquare$

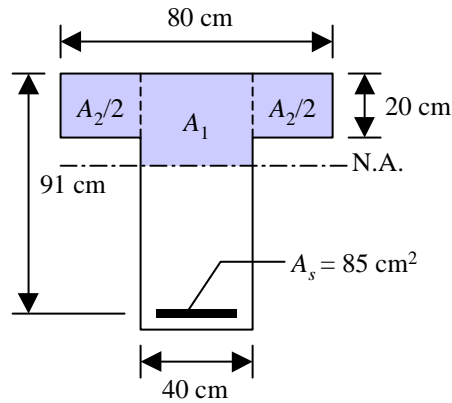
ตัวอย่างที่ 5.6 จงคำนวณกำลังรับแรงดัดของคานรูปตัด T เดี่ยว กำหนดหน่วยแรงในคอนกรีต $f'_c = 240$ ก.ก./ซม.² และ $f_c = 108$ ก.ก./ซม.² ของเหล็ก $f_y = 4,000$ ก.ก./ซม.² และ $f_s = 1,700$ ก.ก./ซม.²

วิธีทำ

1. พิจารณาความกว้างประสิทธิผลของคาน

$$b_E \leq 4b_w = 4(40) = 160 \text{ ซม.} \quad \text{ดังนั้นใช้ค่า } b_E = 80 \text{ ซม.}$$

$$t \geq b_w/2 = 40/2 = 20 \text{ ซม.} \quad \text{OK}$$



รูปที่ 5.7 หน้าตัดสำหรับตัวอย่างที่ 5.6

2. พิจารณาค่า kd โดยสมมติให้ $kd \leq t$

ตรวจสอบระยะ kd โดยตรงจาก $kd = \frac{2A_s f_s}{f_c b_E} = \frac{2 \times 85 \times 1,700}{108 \times 80} = 31.48$ ซม. > 20 ซม.

เป็นกรณีที่ 2 : $kd > t$

ดังนั้นต้องแยกพื้นที่รับแรงอัดของคอนกรีตออกเป็นสองส่วน

$$C_1 = \frac{1}{2} f_c b_w kd = \frac{1}{2} \times 108 \times 40 \times kd = 2,160 kd \text{ ก.ก.}$$

$$C_2 = \frac{1}{2} f_c (b_E - b_w) t = \frac{1}{2} \times 108 \times (80 - 40) \times 20 = 43,200 \text{ ก.ก.}$$

$$T = A_s f_s = 85 \times 1,700 = 144,500 \text{ ก.ก.}$$

จาก $C_1 + C_2 = T$ จะได้ว่า $2,160 kd + 43,200 = 144,500 \rightarrow kd = 46.90$ ซม.

$$C_1 = 2,160 \times 46.90 = 101,304 \text{ ก.ก.}$$

3. พิจารณากำลังต้านทานโมเมนต์ตัด

$$M = 101,304 \left(91 - \frac{46.90}{3} \right) + 43,200 \left(91 - \frac{20}{3} \right)$$

$$= 11,278,145 \text{ ดัน-ซม.} = 113 \text{ ตัน-เมตร}$$

ขั้นตอนการออกแบบคานหน้าตัด T โดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้

ขั้นตอนที่ 1 : พิจารณาความกว้างประสิทธิภาพ b_E

ขั้นตอนที่ 2 : สมมติให้ $kd = t$ เพื่อดูว่าหน้าตัดมีกำลังโมเมนต์เพียงพอหรือไม่

$$C = \frac{1}{2} f_c b_E t \text{ และ } M = C(d - t/3)$$

ขั้นตอนที่ 3.1 : ถ้ากำลังโมเมนต์มีเพียงพอ แสดงว่า $kd \leq t$ ออกแบบเหมือนหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้าง b_E

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{n f_c}} \text{ และพื้นที่เหล็กเสริมที่ต้องการ } A_s = \frac{M}{f_s j d}$$

ขั้นตอนที่ 3.2 : ถ้ากำลังโมเมนต์ไม่เพียงพอ แสดงว่า $kd > t$ ให้แบ่งพื้นที่รับแรงอัดเป็น 2 ส่วน

$$M = C_1 jd + C_2 \left(d - \frac{t}{3} \right) = \frac{1}{2} f_c b_w kd jd + \frac{1}{2} f_c (b_E - b_w) t \left(d - \frac{t}{3} \right)$$

- แทนค่า $j = 1 - k/3$ แล้วแก้สมการกำลังสองหาค่า k

- คำนวณแรงอัด C_1 จากค่า k ที่ได้มา

- คำนวณพื้นที่เหล็กเสริมจาก $A_s f_s = C_1 + C_2$

ตัวอย่างที่ 5.7 พิจารณาปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงที่ต้องการของคานหน้าตัดที่เพื่อรับโมเมนต์ 100 ตัน-เมตร กำหนดค่าหน่วยแรง $f'_c = 240$ ก.ก./ชม.² และ $f_c = 108$ ก.ก./ชม.², $f_y = 4,000$ ก.ก./ชม.² และ $f_s = 1,700$ ก.ก./ชม.² (รูปในตัวอย่าง 5.6)

วิธีทำ

1. พิจารณาว่าค่า kd มากกว่า t หรือไม่โดยสมมติให้ $kd = t$

$$C = \frac{1}{2} f_c b_E t = \frac{1}{2} \times 0.108 \times 80 \times 20 = 86.4 \text{ ตัน}$$

$$M = C(d - t/3) = 86.4(91 - 20/3)/100 = 72.9 \text{ ตัน-เมตร}$$

เนื่องจากกำลังโมเมนต์ที่ต้องการ 100 ตัน-เมตรมากกว่า 72.9 ตัน-เมตร ดังนั้นค่า kd ต้องมากกว่า t

2. คำนวณปริมาณเหล็ก A_s โดยแบ่งพื้นที่รับแรงอัดเป็นสองส่วน (A_1 และ A_2)

$$M = C_1 jd + C_2 \left(d - \frac{t}{3} \right) = \frac{1}{2} f_c b_w kd jd + \frac{1}{2} f_c (b_E - b_w) t \left(d - \frac{t}{3} \right)$$

$$C_1 jd = \frac{1}{2} f_c b_w kd (d - kd/3) = \frac{1}{2} \times 108 \times 40 \times kd \times \left(91 - \frac{kd}{3} \right)$$

$$= 196,560 kd - 720(kd)^2$$

$$C_2 \left(d - \frac{t}{3} \right) = \frac{1}{2} f_c (b_E - b_w) t \left(d - \frac{t}{3} \right) = \frac{1}{2} \times 108 \times (80 - 40) \times 20 \times (91 - 20/3)$$

$$= 3,643,200 \text{ ก.ก.-ชม.}$$

$$100 \times 10^5 = 196,560 kd - 720(kd)^2 + 3,643,200$$

$$720(kd)^2 - 196,560 kd + 6,356,800 \rightarrow kd = 37.5 \text{ ชม.}$$

$$C_1 = \frac{1}{2} f_c b_w kd = \frac{1}{2} \times 108 \times 40 \times 37.5/1,000 = 81.0 \text{ ตัน}$$

$$C_2 = \frac{1}{2} f_c (b_E - b_w) t = \frac{1}{2} \times 108 \times (80 - 40) \times 20/1,000 = 43.2 \text{ ตัน}$$

$$A_s = (81.0 + 43.2)/1.7 = 73.1 \text{ ชม.}^2$$

■