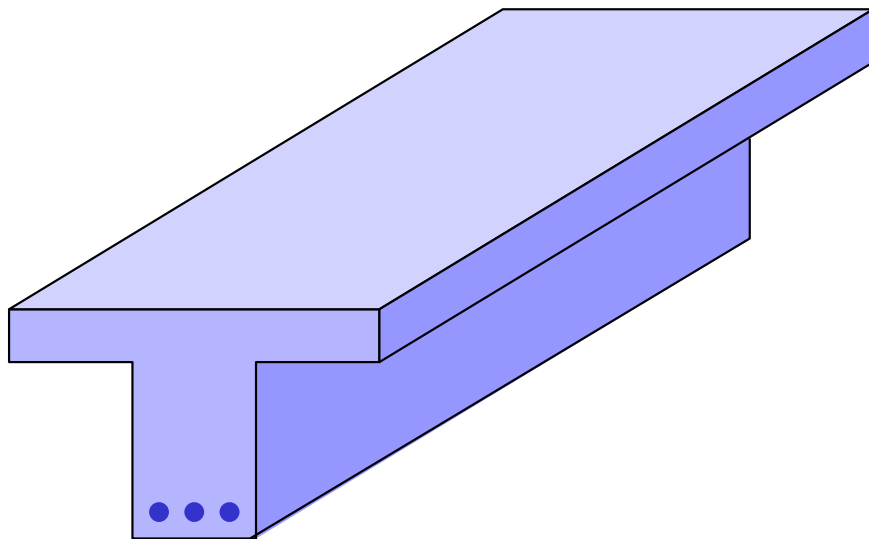


# 4

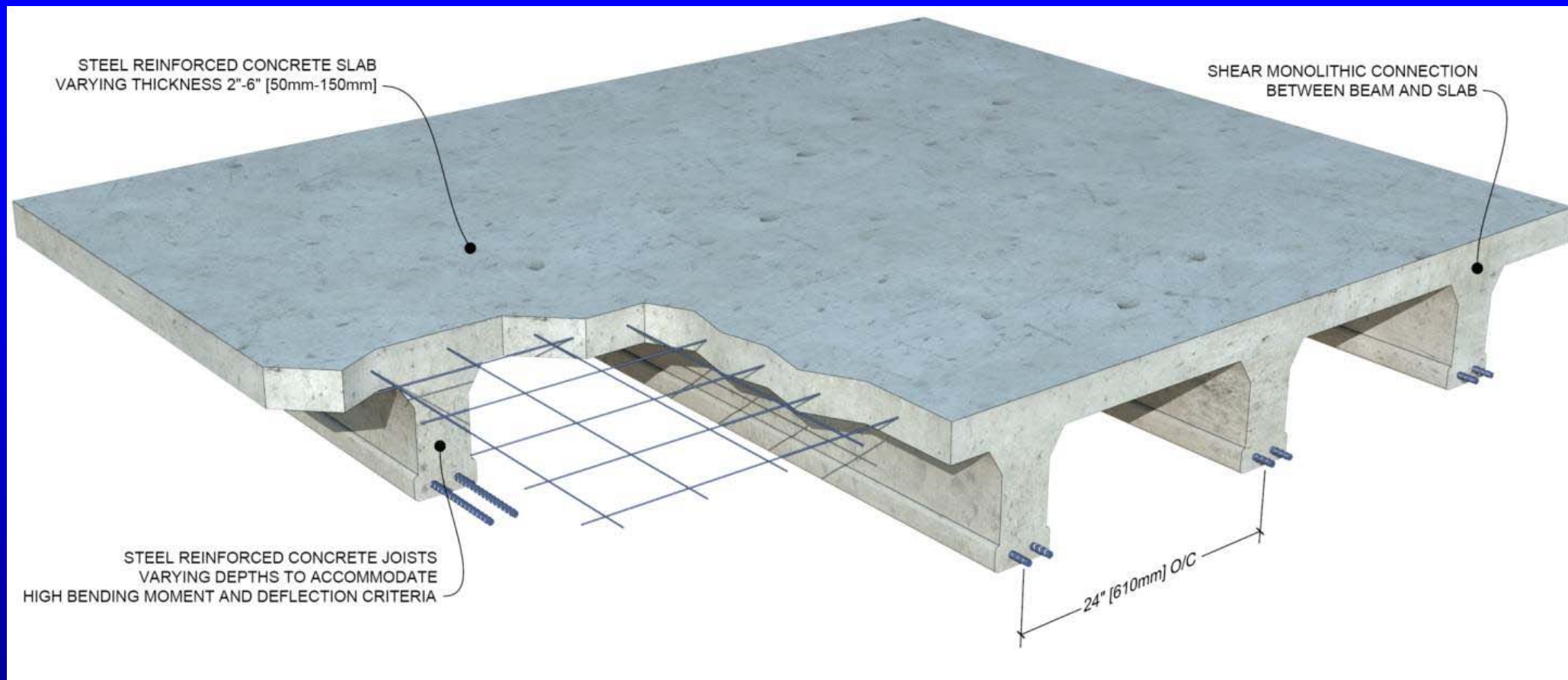
## *Reinforced Concrete Design II*

# Design of T – Beam



- Effective Flange Width
- Strength of T-Sections
- Maximum Steel in T-Beams
- T-Beams Design

Asst.Prof.Dr.Mongkol JIRAVACHARADET

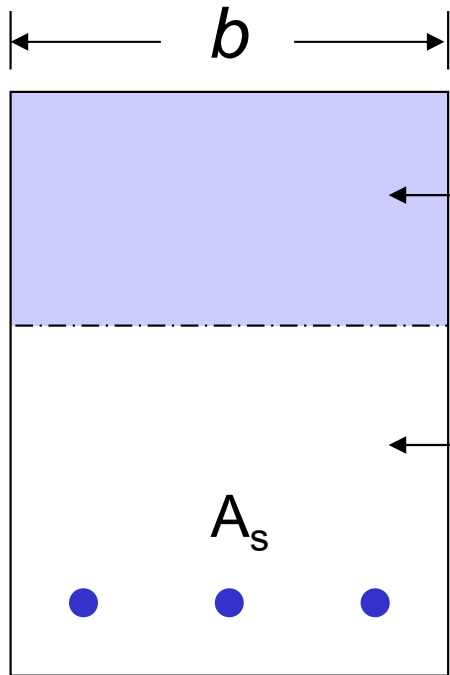


## T beams in a one-way beam-and-slab floor



**T beam as a bridge girder**

# Moment Strength of Concrete Sections



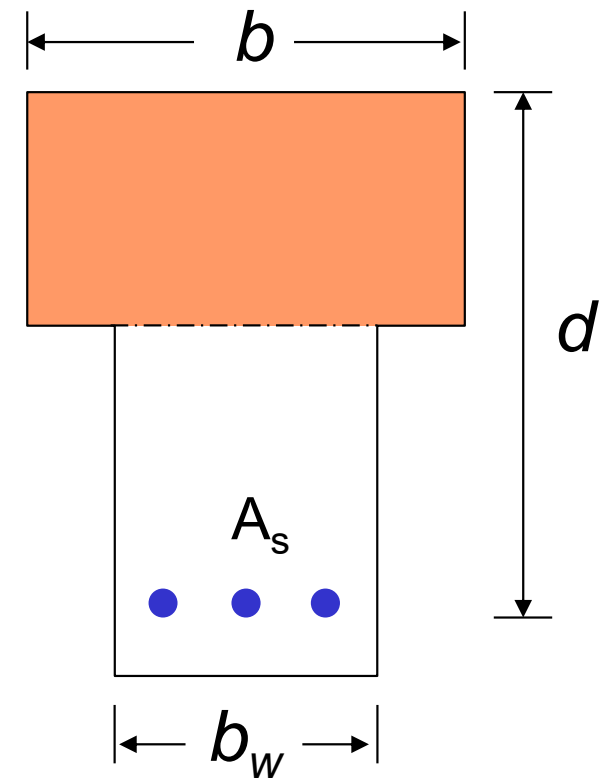
## Rectangular Sections :

ต้องการพื้นที่คอนกรีตรับแรงอัดเพื่อรับแรงเพิ่มขึ้น

พื้นที่คอนกรีตรับแรงดึง (ที่ไม่จำเป็น)

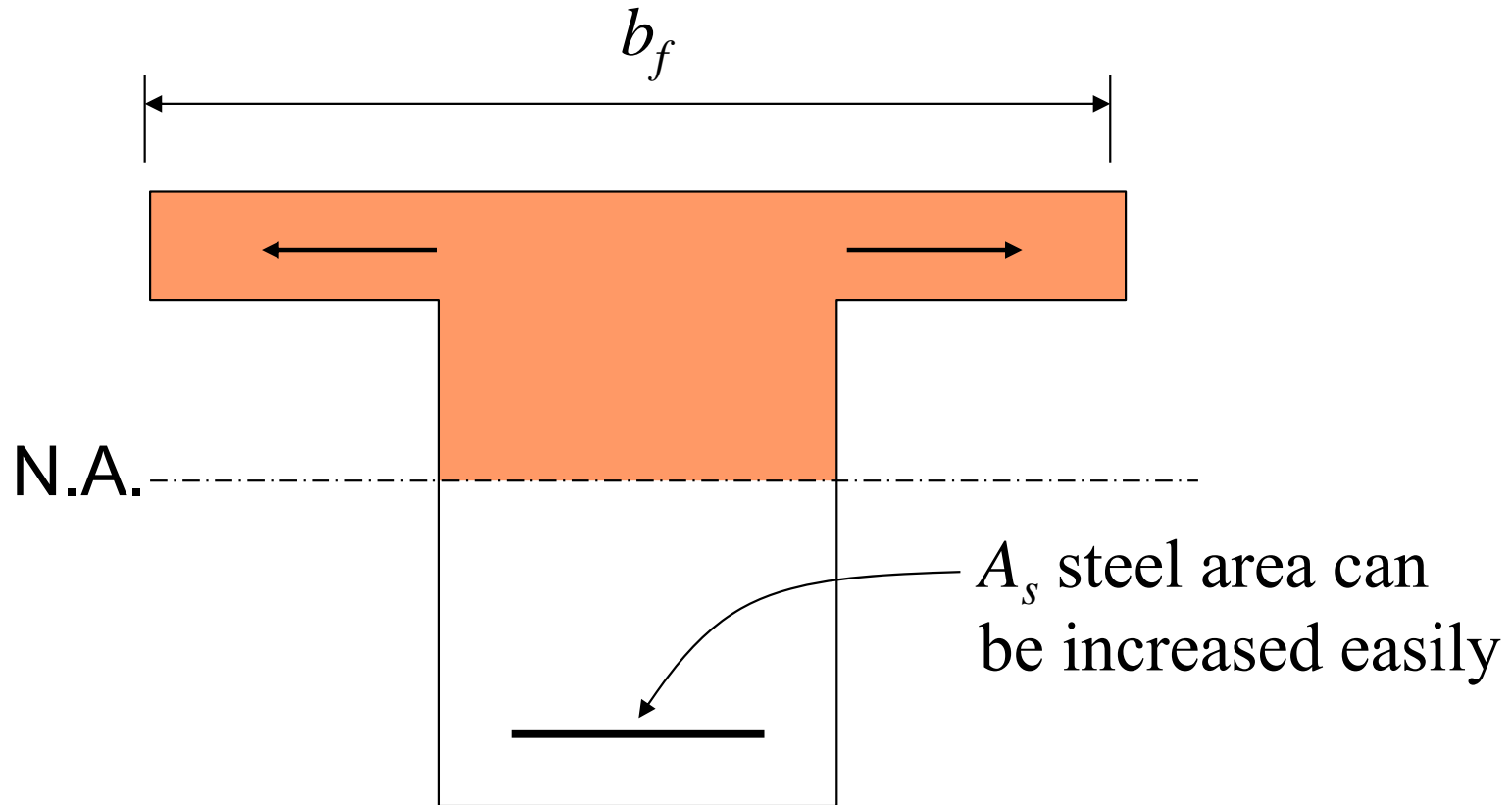
## T Beams :

- เพิ่มพื้นที่คอนกรีตรับแรงอัด
- ลดพื้นที่คอนกรีตรับแรงดึง



# Increase Bending Strength by Using Flange Area

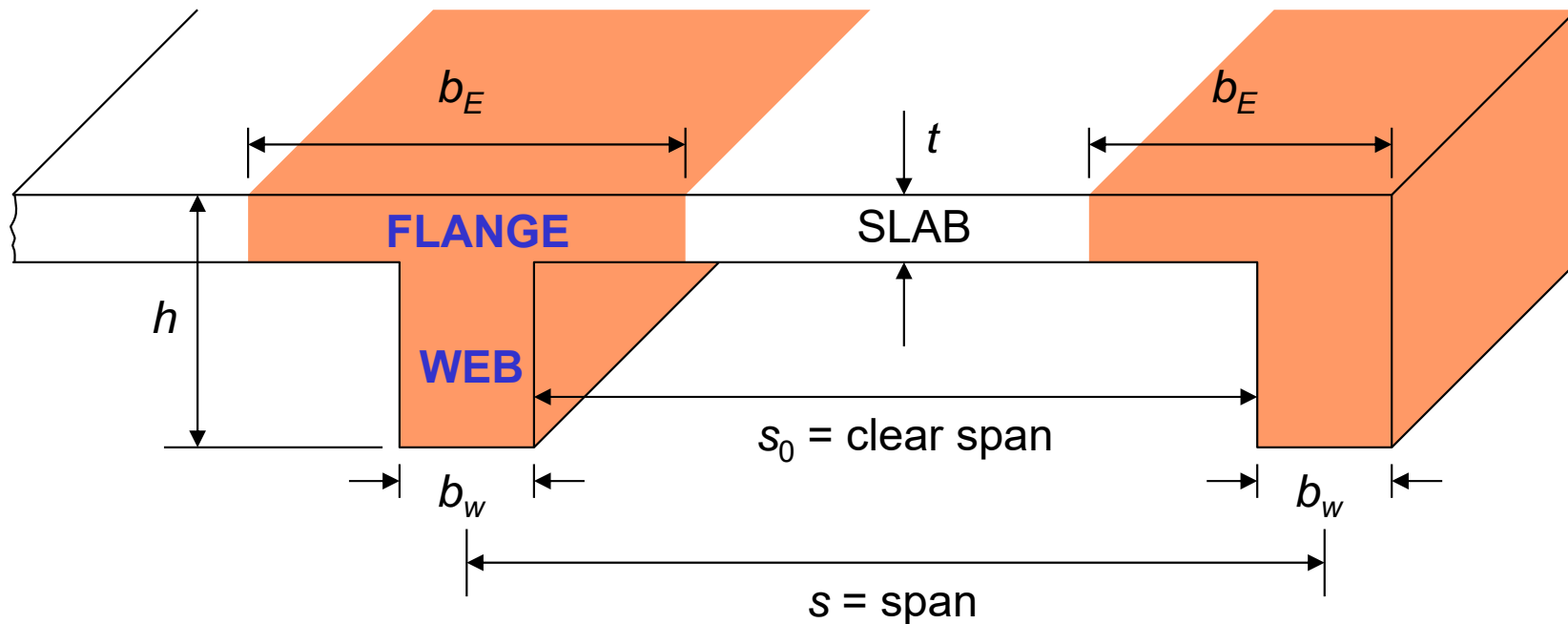
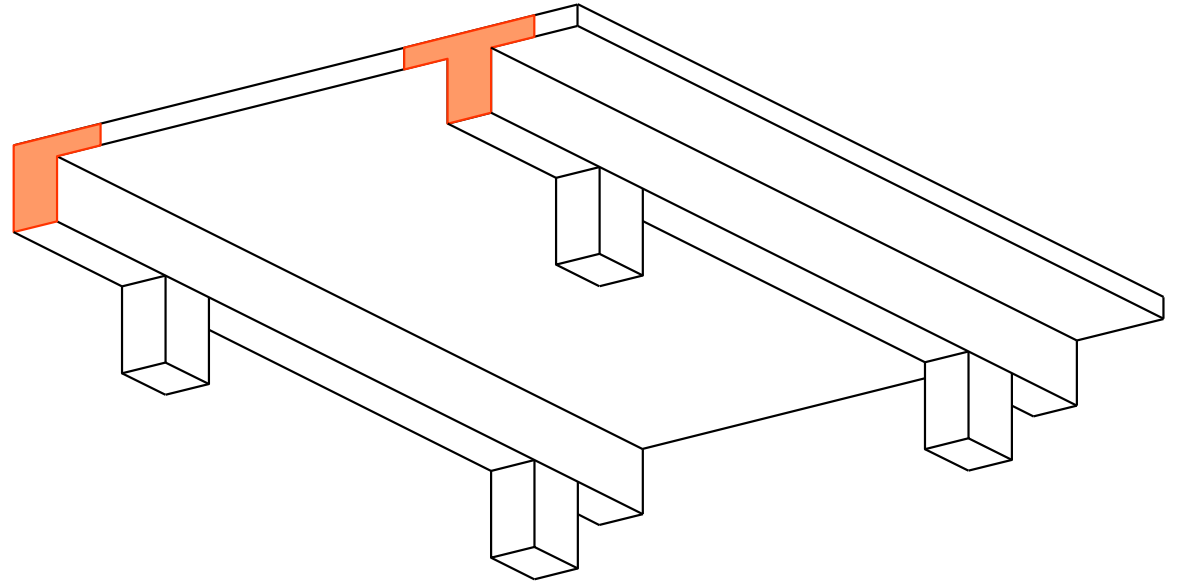
---



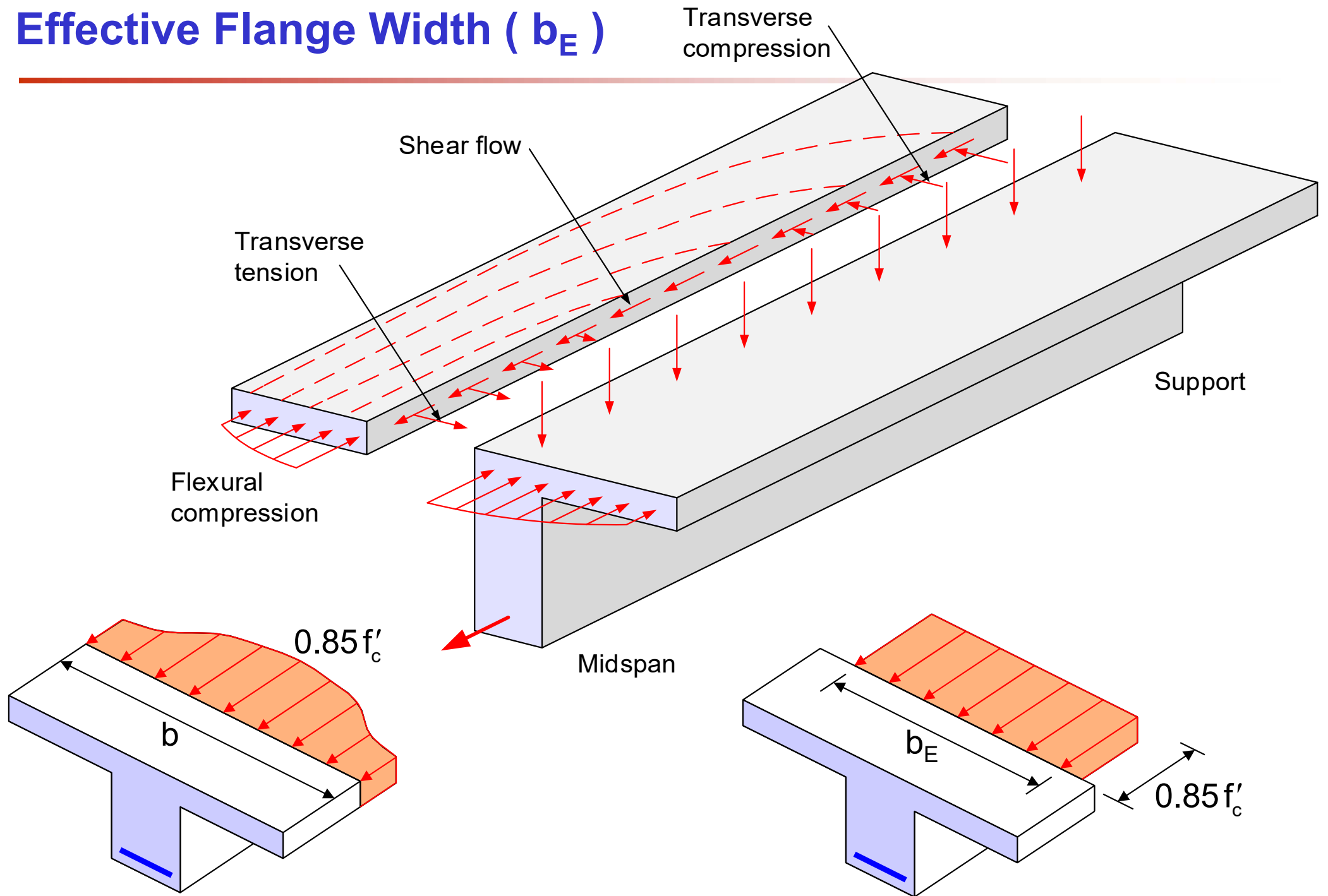
# T beams in a one-way beam-and-slab floor

## Built-in T Section

- คานและพื้นถูกหล่อเป็นเนื้อเดียวกัน
- พื้นจึงทำหน้าที่เป็นปีกบนของคาน



# Effective Flange Width ( $b_E$ )



Theoretical stress distribution

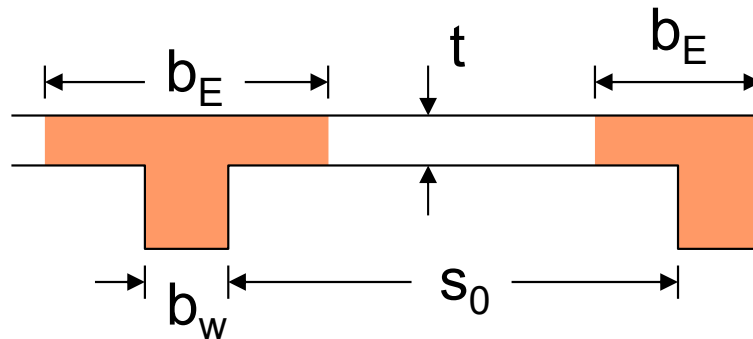
Simplified rectangular stress distribution

# Effective Flange Width ( $b_E$ )

ส่วนของพื้นที่นำมาคิดเป็นความกว้างปีกคานประสิทธิผลต้องมีค่าไม่เกิน

## Built-in T-section

$$b_E = \begin{cases} \leq L / 4 \\ \leq b_w + 16t \\ \leq b_w + s_0 \end{cases}$$

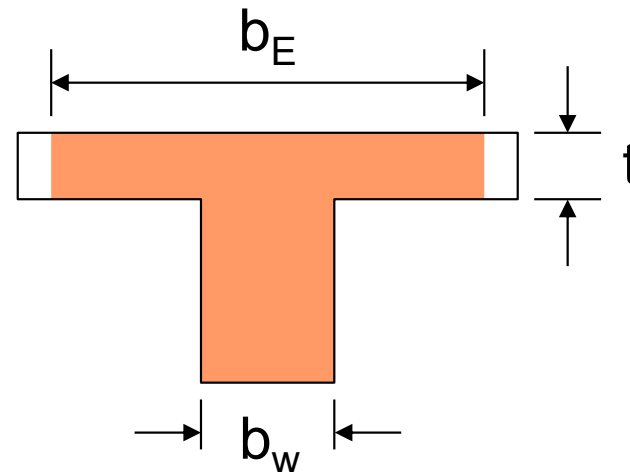


## Built-in L-section

$$b_E = \begin{cases} \leq b_w + L / 12 \\ \leq b_w + 6t \\ \leq b_w + s_0 / 2 \end{cases}$$

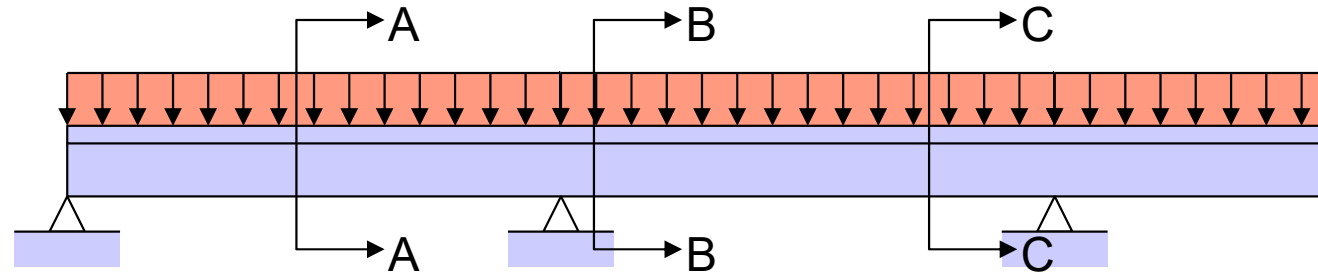
## Isolated T-section

$$b_E \leq 4 b_w$$
$$t \geq b_w / 2$$

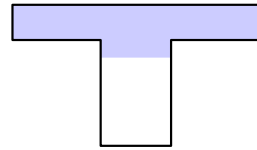




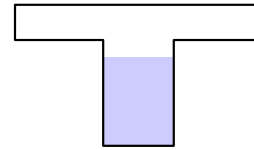
# Continuous T-Beam



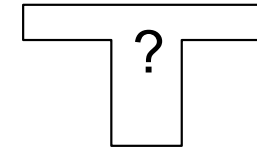
Compression Area  
in Sections



Section A-A

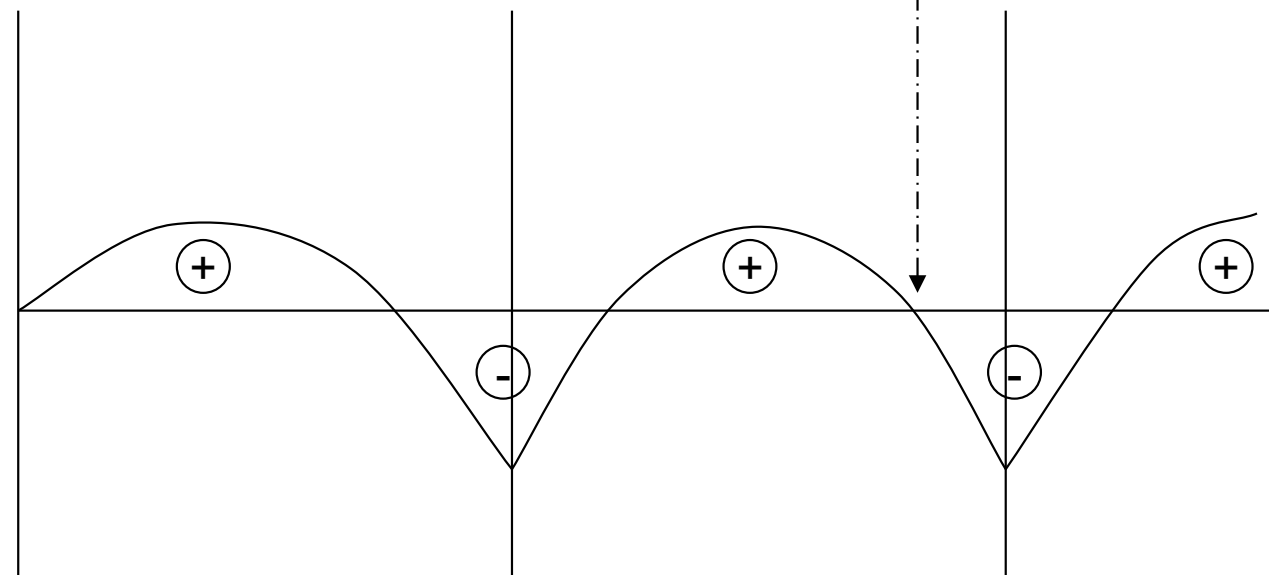


Section B-B



Section C-C

Bending Moment  
Diagram



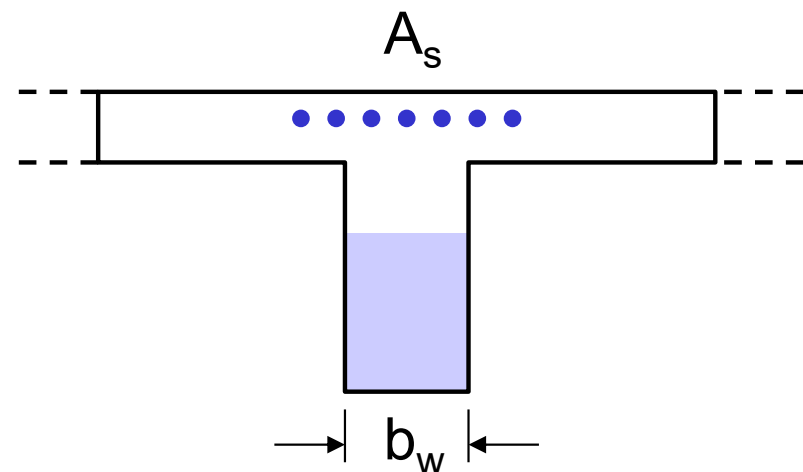
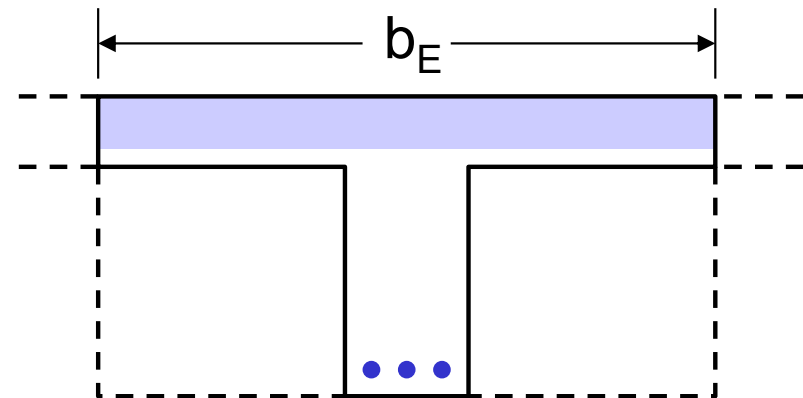
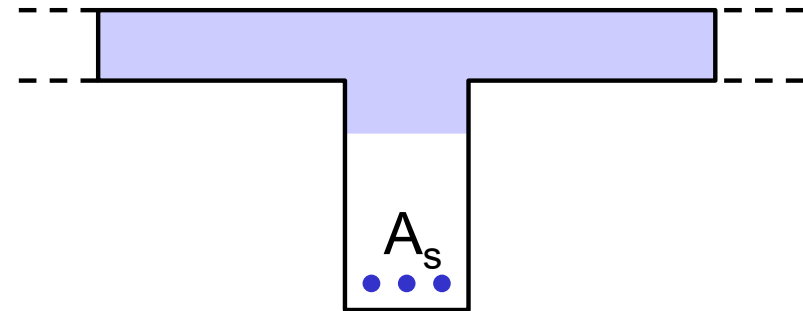
## Midspan section: A-A

Case 1: Compression area in flanges and web

Behave as a composite T-section

Case 2: Compression area in flanges only

Behave as a rectangular section: width =  $b_E$



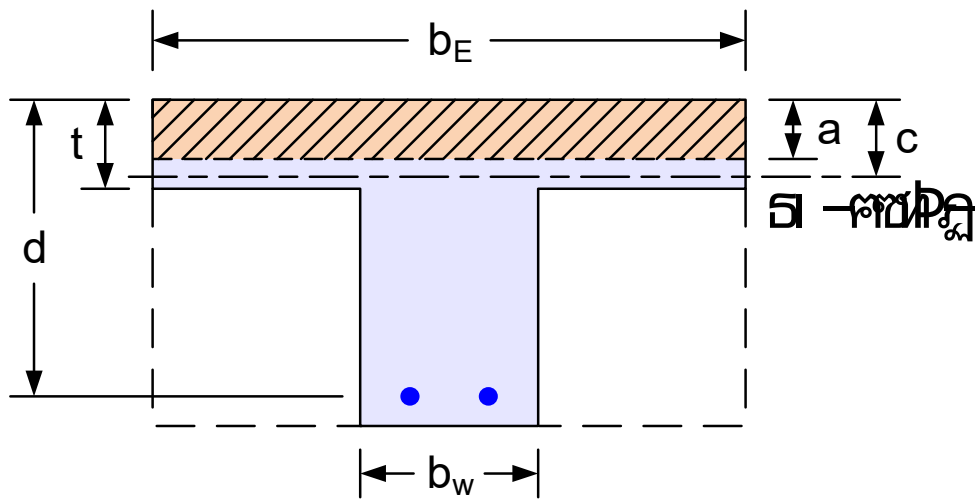
## Support section: B-B

Compression area in web  
(flanges cracked)

Behave as a rectangular section: width =  $b_w$

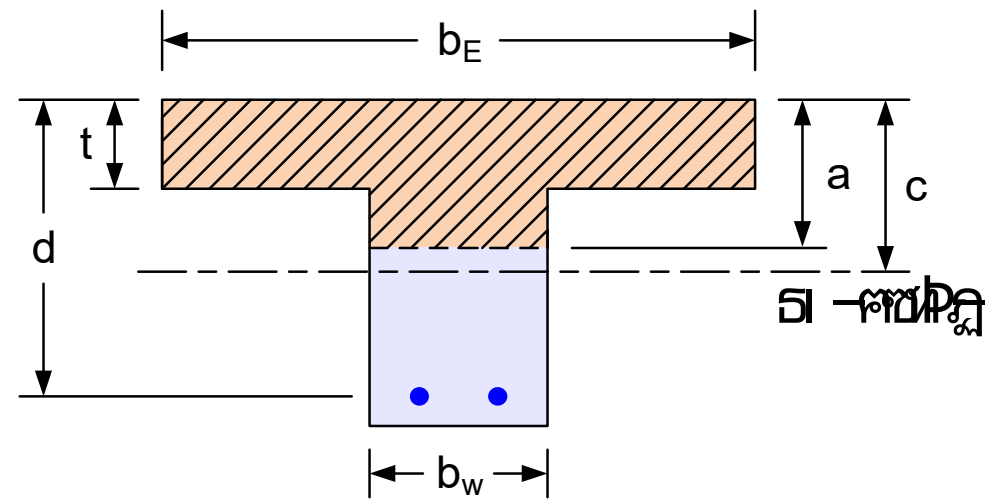
# กำลังโมเมนต์ของคานตัว T

แกนสะเทินของคานตัว T อาจอยู่ในปีกหรือเอวขึ้นกับสัดส่วนของหน้าตัด, ปริมาณเหล็กเสริม และกำลังวัสดุ ถ้าอยู่ในปีกระยะจากผิวบนถึงแกนสะเทิน  $c$  ทำให้ความลึกพื้นที่รับแรงอัด  $a = \beta_1 c$  มีค่าน้อยความหนาปีก  $t$  จะวิเคราะห์ได้เหมือนคานสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างเท่ากับ  $b_E$  ความกว้างประสิทธิผล



**กรณีที่ 1 :  $a \leq t$**

คิดกำลังโมเมนต์เหมือน  
คานสี่เหลี่ยมกว้าง  $b_e$

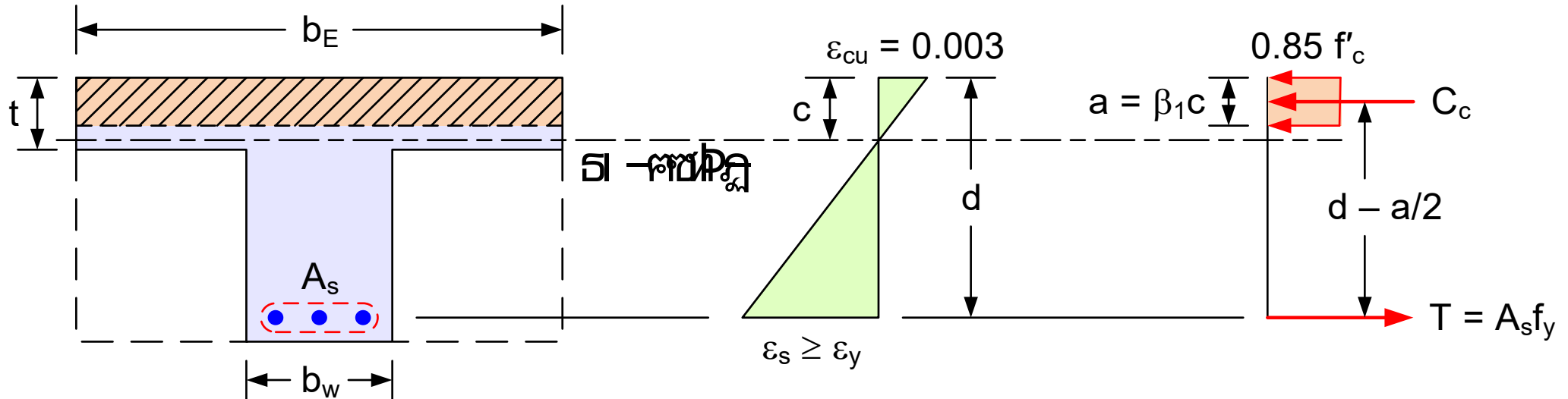


**กรณีที่ 2 :  $a > t$**

คิดกำลังโมเมนต์ของ  
หน้าตัดรูปตัว T

# กำลังโมเมนต์ของคานตัว T

กรณีที่ 1 :  $a \leq t$  คัดกำลังโมเมนต์เหมือนคานสี่เหลี่ยมกว้าง  $b_e$



จากสมดุลของแรง  $C = T : 0.85 f'_c b_E a = A_s f_y$

พื้นที่เหล็กรับแรงดึงต้องไม่เกิน  $A_s \leq \frac{0.85 f'_c b_E t}{f_y}$

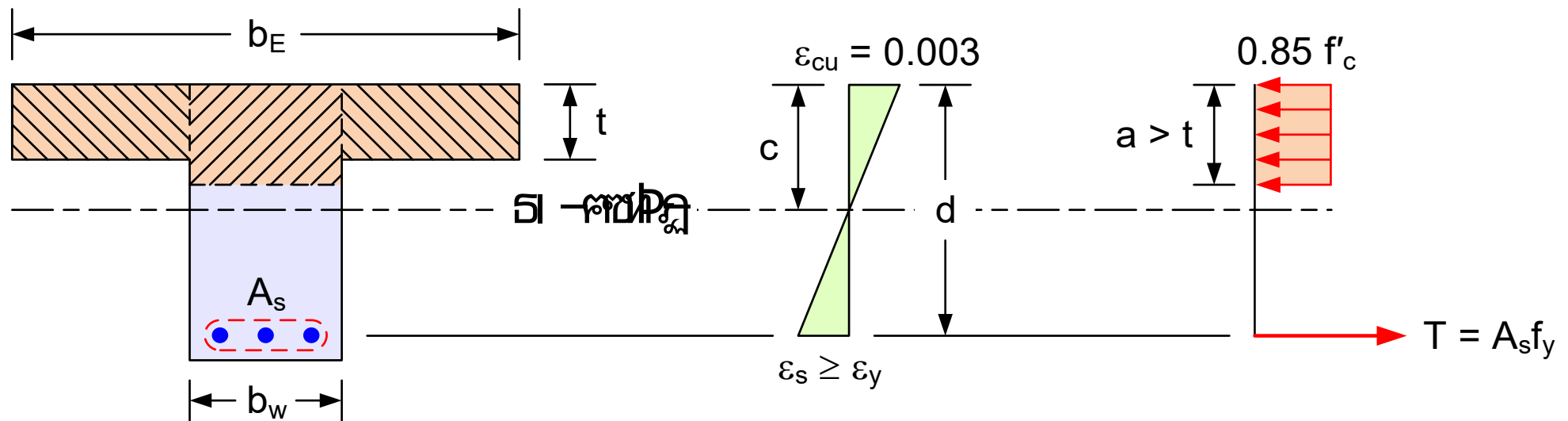
หรือตรวจสอบค่า  $a$  โดยตรงจาก  $a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_E} \leq t$  **NG** → กรณีที่ 2

คำนวณกำลังโมเมนต์ดัด:  $M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$

# กำลังโมเมนต์ของคานตัว T

กรณีที่ 2 :  $a > t$  คิดกำลังโมเมนต์ของหน้าตัดรูปตัว T

พื้นที่รับแรงอัดจะเป็นรูปตัว T ในการคำนวณจึงแบ่งพื้นที่รับแรงอัดออกเป็น 2 ส่วนคือ เอวคานรับแรงอัด  $C_{cw}$  และปีกคานรับแรงอัด  $C_{cf}$  และแยกพื้นที่เหล็กเสริม  $A_s$  เป็นสองส่วนคือ  $A_{sf}$  และ  $A_{sw}$  เพื่อเป็นแรงดึงคู่ควบกับ  $C_{cf}$  และ  $C_{cw}$

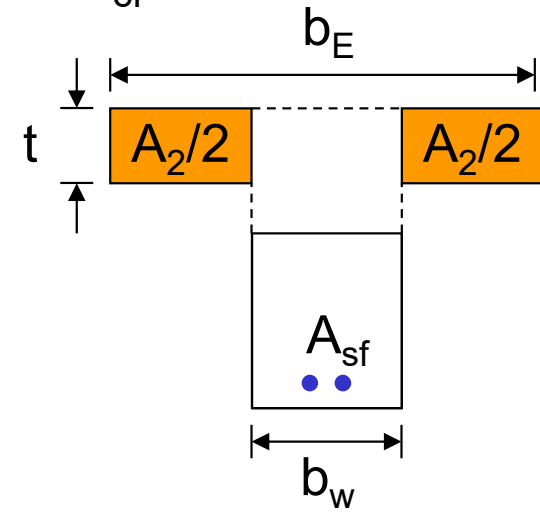
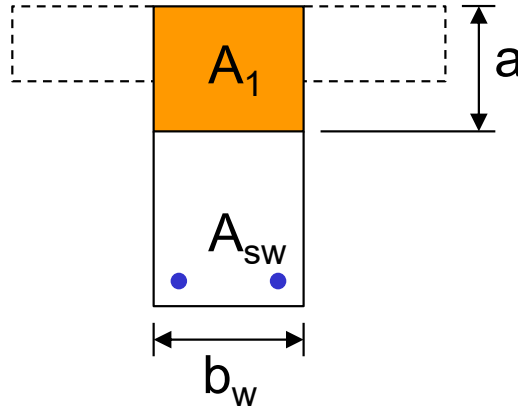
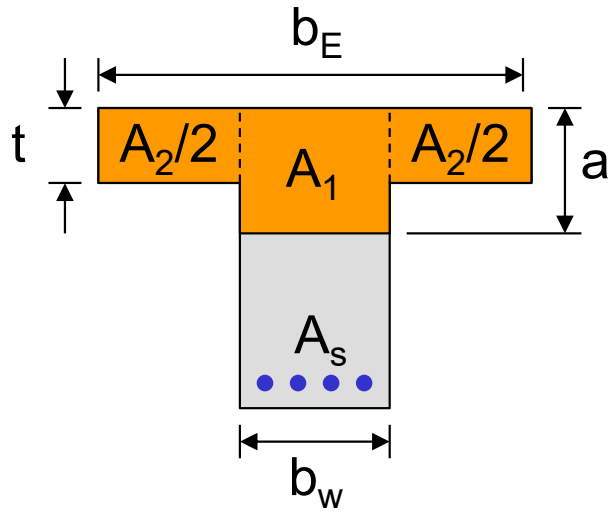


สมดุลของแรง:

$$T = A_s f_y = A_{sf} f_y + A_{sw} f_y = C_{cf} + C_{cw}$$

**กรณีที่ 2 :  $a > t$**

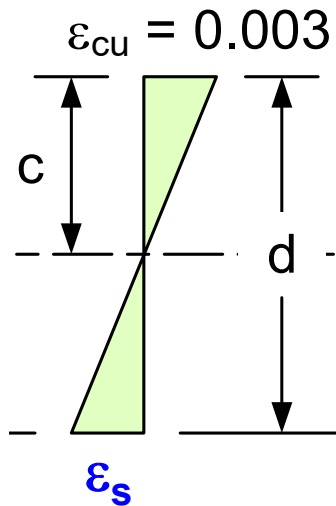
พื้นที่รับแรงอัดรูปตัว T แบ่งพื้นที่ที่เป็น 2 ส่วนคือ เหวคาน  $A_1$  รับแรงอัด  $C_{cw}$  และปีกคาน  $A_2$  รับแรงอัด  $C_{cf}$



$$C_{cw} = 0.85 f'_c b_w a$$

$$C_{cf} = 0.85 f'_c (b_E - b_w) t$$

$$a = \frac{T - C_{cf}}{0.85 f'_c b_w} \rightarrow c = a / \beta_1$$



ตรวจสอบการครากของเหล็กเสริม:

$$\epsilon_s = \left( \frac{d - c}{c} \right) \epsilon_{cu} = \left( \frac{d - c}{c} \right) 0.003 \geq \epsilon_y ?$$

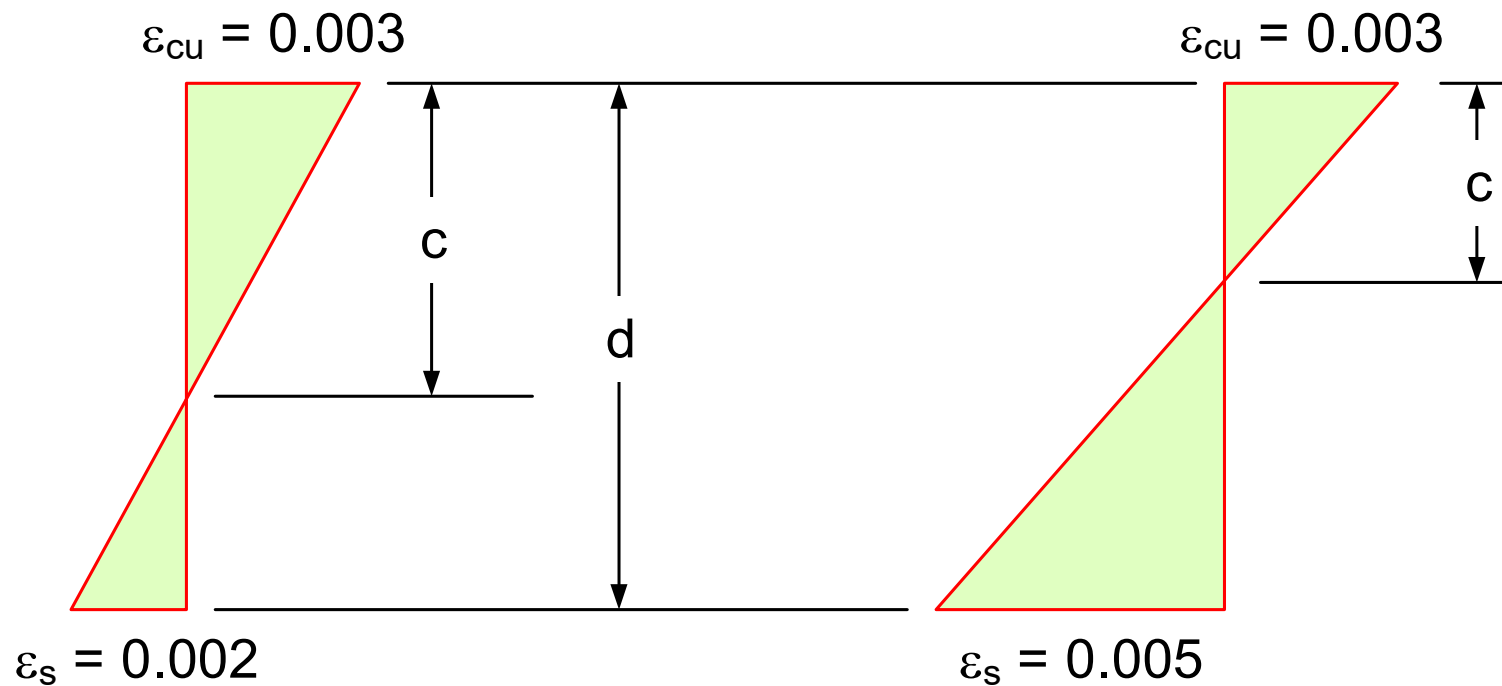
จัดรูปสมการใหม่จะได้  $\frac{c}{d} = \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_s}$

สำหรับเหล็กเสริม SD40 ค่า  $\epsilon_y = f_y / E_s = 4,000 / 2.04 \times 10^6 \approx 0.002$

แทนค่าลงในสมการจะได้  $\frac{c}{d} = \frac{0.003}{0.003 + 0.002} = 0.6$

ตามมาตรฐาน ACI ใหม่กำหนดให้  $\epsilon_t \geq 0.005$  ซึ่งจะตรงกับ  $c/d = 0.375$

ดังนั้นในการตรวจสอบอัตราส่วน  $c/d$  จะต้องไม่เกิน 0.6 และควรจะไม่เกิน 0.375



$$\frac{c}{d} = \frac{0.003}{0.003 + 0.002} = 0.600$$

$$\frac{c}{d} = \frac{0.003}{0.003 + 0.005} = 0.375$$

ปริมาณเหล็กเสริมจะต้องไม่น้อยกว่า

$$A_{s,\min} = \frac{0.8\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \geq \frac{14}{f_y} b_w d$$

กำลังรับโมเมนต์  $M_n = C_{cf} \left( d - \frac{t}{2} \right) + C_{cw} \left( d - \frac{a}{2} \right)$

**กรณีที่ 2** มีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยสำหรับคานในพื้นคอนกรีต เนื่องจากมีความกว้าง  
ประสิทธิภาพที่จะรับแรงอัดได้อย่างเพียงพอ

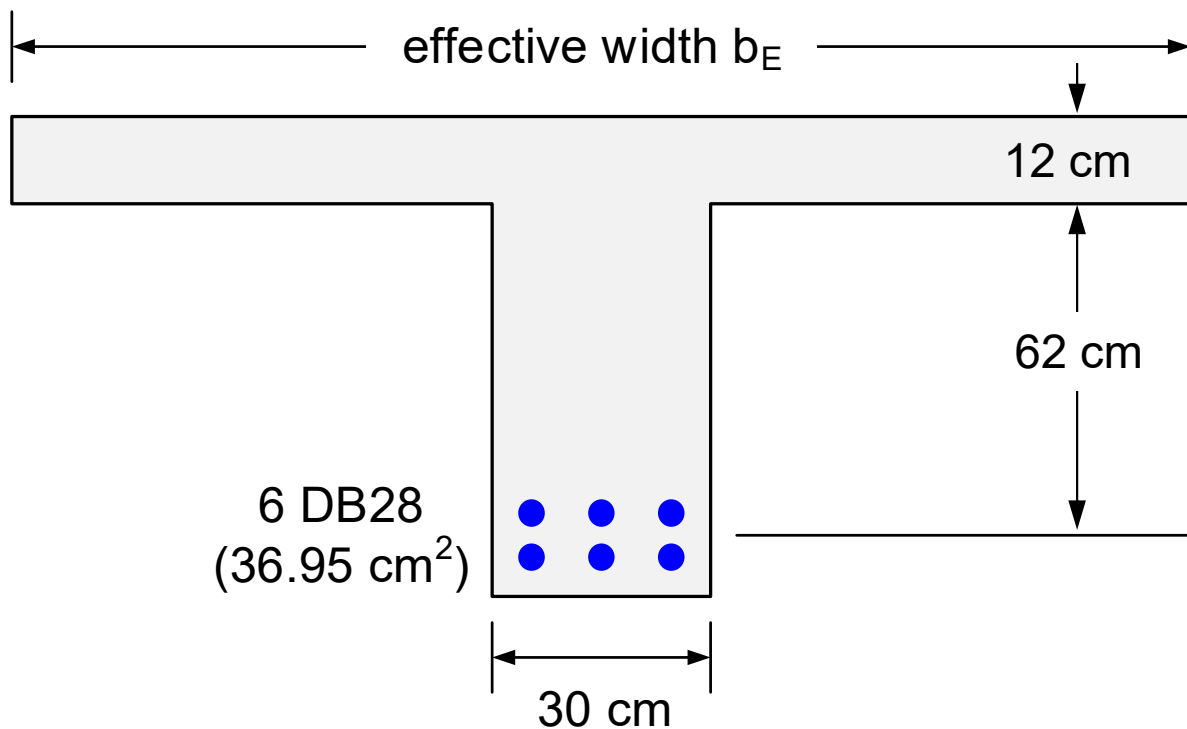
กรณีที่มีเหล็กเสริมรับแรงอัดกำลังรับโมเมนต์จะเท่ากับ

$$M_n = C_{cf} \left( d - \frac{t}{2} \right) + C_{cw} \left( d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d')$$



## ตัวอย่างที่ 4.1 กำลังโมเมนต์ $M_n$ คานรูปตัว T พื้นที่แรงอัดภายใน

หาค่าแรงกำลังรับแรงดัด  $M_n$  ของคานรูปตัว T เมื่อปีกคานเป็นส่วนหนึ่งของพื้น คานมีช่วงยาว 8 เมตรระยะห่างระหว่างคาน 4 เมตร กำหนดหน่วยแรงของคอนกรีต  $f'_c = 240$  กก./ชม.<sup>2</sup> ของเหล็ก  $f_y = 4,000$  กก./ชม.<sup>2</sup>



วิธีทำ

1. ความกว้าง

ประสิทธิภาพ  
 $L/4 = 800/4 = 200$  ซม.

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

ระยะห่างคาน = 400 ซม.

ดังนั้น  $b_E = 200$  ซม.

2. พิจารณาค่า  $a$  โดยสมมุติให้  $a \leq t$

$$T = A_s f_y = 4.0 \times 36.95 = 147.8 \text{ ton}$$

$$a = \frac{T}{0.85f'_c b_E} = \frac{147.8}{0.85 \times 0.24 \times 200} = 3.62 \text{ cm} < 12 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

### 3. ตรวจสอบการครากเหล็กเสริม

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{3.62}{0.85} = 4.26 \text{ cm}$$

$$c/d = 4.29/62 = 0.07 < 0.375$$

$$\epsilon_s = \left( \frac{d-c}{c} \right) \epsilon_{cu} = \left( \frac{62-4.26}{4.26} \right) \times 0.003 = 0.0407 > 0.005$$

Under  
RC

### 4. ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุด

$$A_{s,\min} = \frac{14}{f_y} b_w d = \frac{14}{4,000} \times 30 \times 62 = 6.51 \text{ cm}^2 < A_s \quad \text{OK}$$

### 5. พิจารณากำลังต้านทานโมเมนต์ดัด

$$M_n = T(d-a/2) = 147.8(62-3.62/2)/100 = 89.0 \text{ t-m}$$

## ตัวอย่างที่ 4.2 กำลังโมเมนต์ $M_n$ คานรูปตัว T พื้นที่แรงอัดภายนอก

ปีก  
จงคำนวณกำลังรับแรงดัดของคานรูปตัว T เดี่ยว กำหนดหน่วยแรงในคอนกรีต  $f'_c = 240$  ก.ก./ชม.<sup>2</sup> ของเหล็ก  $f_y = 4,000$  ก.ก./ชม.<sup>2</sup>

วิธีทำ

1. พิจารณาความกว้างประสิทธิภาพของ

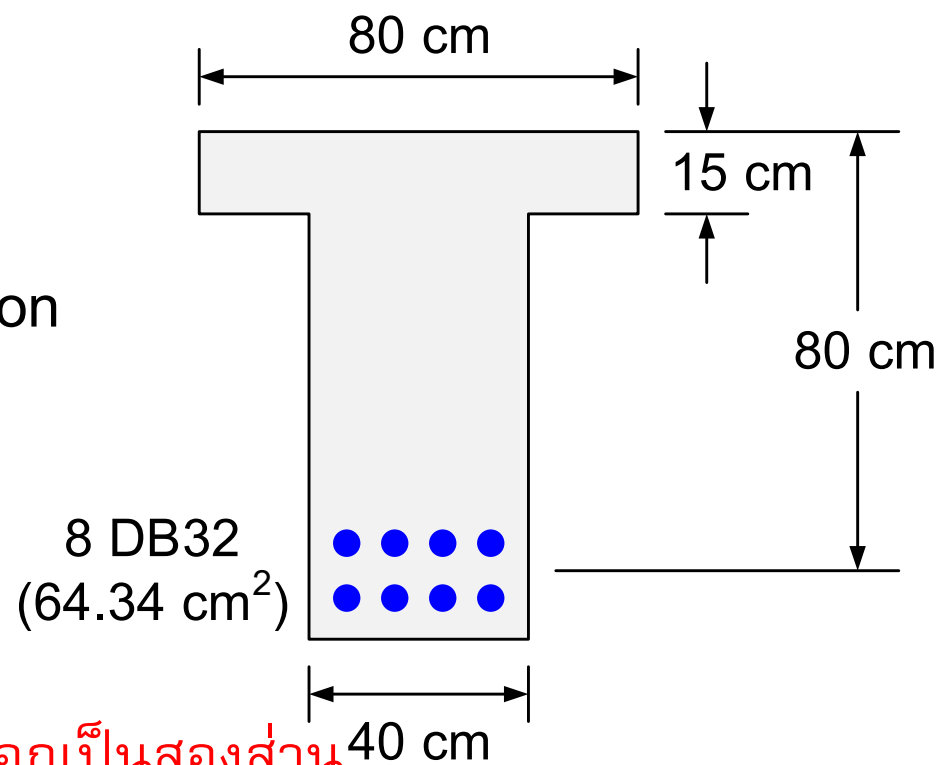
คาน  $b_E \leq 4b_w = 4(40) = 160$  cm **ดังนั้นใช้ค่า  $b_E = 80$  ซม.**

$$t \geq b_w/2 = 40/2 = 20 \text{ cm}$$

2. พิจารณาว่า  $a$  โดยสมมุติให้  $a \leq t$

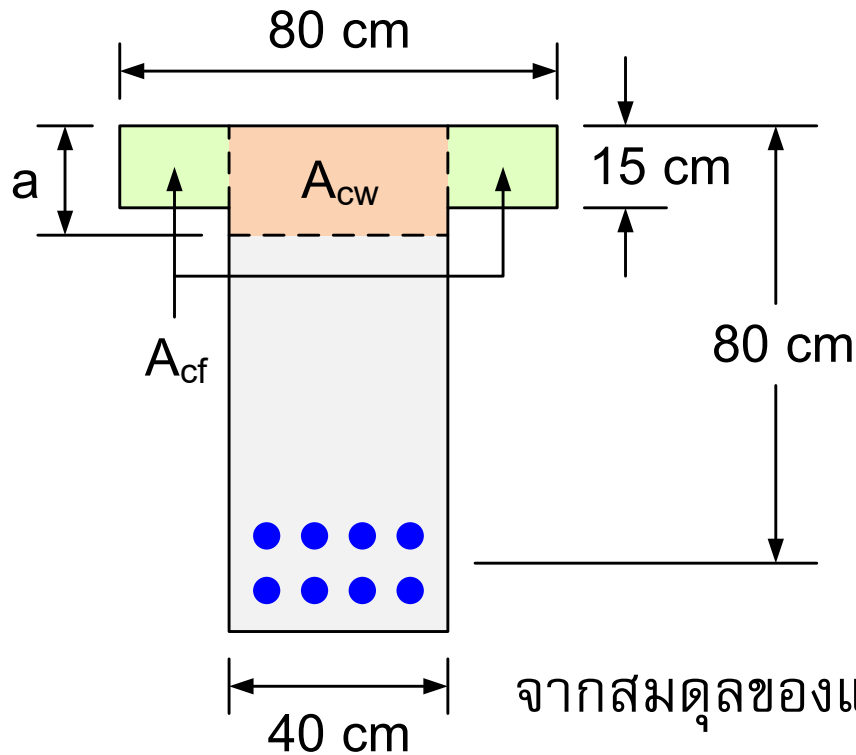
$$T = A_s f_y = 4.0 \times 64.34 = 257.4 \text{ ton}$$

$$a = \frac{T}{0.85 f'_c b_E} = \frac{257.4}{0.85 \times 0.24 \times 80}$$
$$= 15.77 \text{ cm} > 15 \text{ cm} \quad \text{NG}$$



ดังนั้นต้องแยกพื้นที่รับแรงอัดของคอนกรีตออกเป็นสองส่วน

### 3. พิจารณาค่า $a$ ใหม่โดยแบ่งพื้นที่แรงอัดเป็นสองส่วน



$$C_{cf} = 0.85 f'_c (b_E - b_w) t$$

$$= 0.85 \times 0.24 (80 - 40) (15) = 122.4 \text{ ตัน}$$

$$C_{cw} = 0.85 f'_c b_w a = 0.85 \times 0.24 \times 40 a$$

$$= 8.16 a$$

จากสมดุลของแรง:  $T = C_{cf} + C_{cw}$

$$257.4 = 122.4 + 8.16 a \rightarrow a = 16.54 \text{ ซม.}$$

$$C_{cw} = 8.16 \times 16.54 = 135.0 \text{ ตัน}$$

### 4. ตรวจสอบการครากเหล็กเสริม

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{16.54}{0.85} = 19.46 \text{ cm}$$

$$c/d = 19.46/80 = 0.243 < 0.375$$

Rebar Yield > 0.005  
OK

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \left(\frac{d-c}{c}\right)\epsilon_{cu} = \left(\frac{80-16.54}{16.54}\right) \times 0.003 \\ &= 0.0115 > 0.005\end{aligned}$$

5. ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุด

$$A_{s,min} = \frac{14}{f_y} b_w d = \frac{14}{4,000} \times 40 \times 80 = 11.2 \text{ cm}^2 < A_s \quad \text{OK}$$

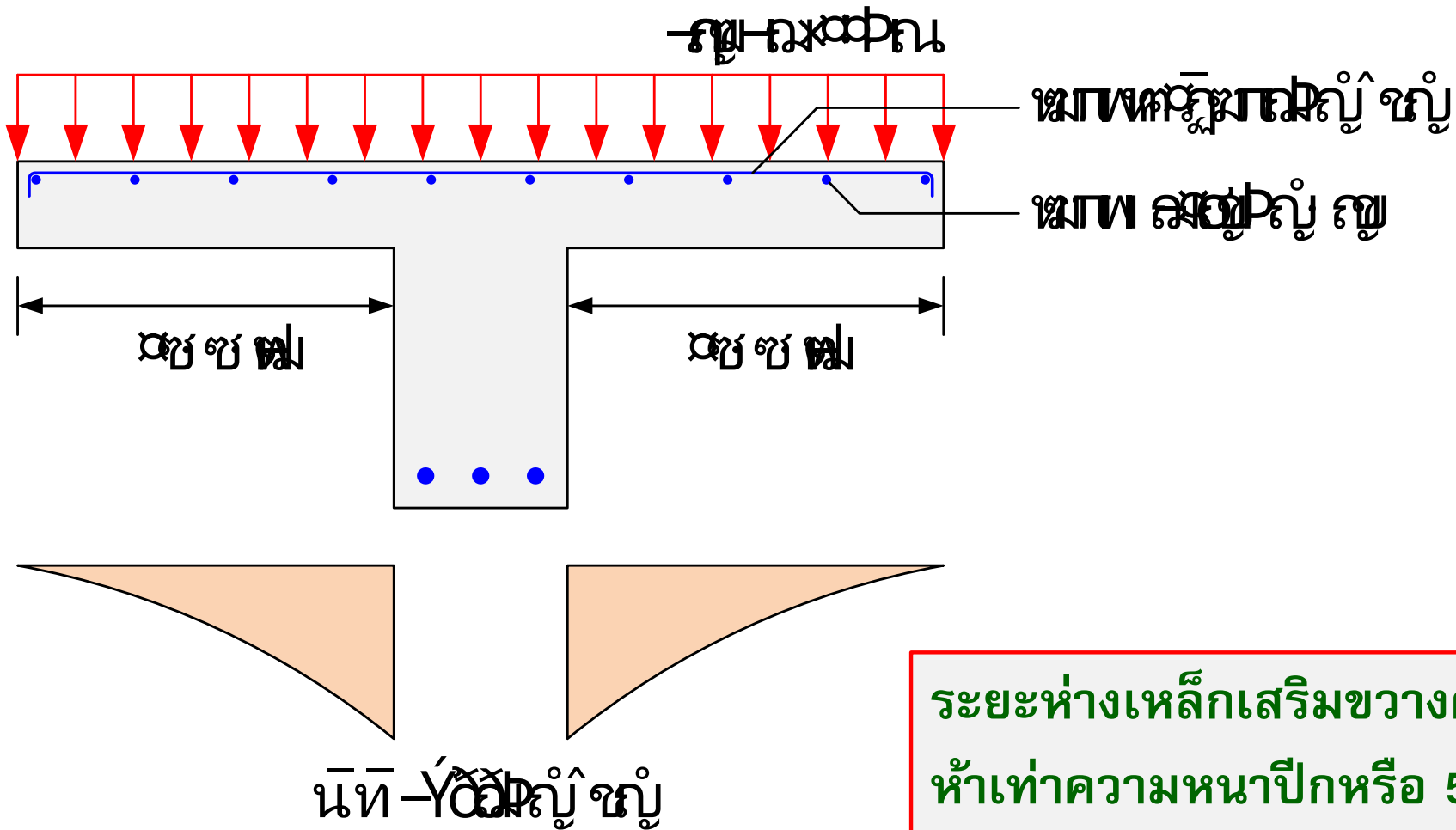
6. พิจารณากำลังต้านทานโมเมนต์ดัด

$$\begin{aligned}M_n &= C_{cf} \left(d - \frac{t}{2}\right) + C_{cw} \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 122.4(80-15/2) + 135.0(80-16.54/2) \\ &= 18,558 \text{ ตั๊น-ซม.} = 185.6 \text{ ตั๊น-เมตร}\end{aligned}$$



# เหล็กเสริมในแนวขวาง

เพื่อป้องกันการรื้อถอนจากการตัดในปีกคานจึงต้องมีการเสริมเหล็กทางขวางที่ด้านบนของปีกที่ยื่นออกมา โดยคิดว่าปีกคานยื่นออกมาจากปลายที่ยึดแน่นจากผิวของตัวคาน



ระยะห่างเหล็กเสริมขวางต้องไม่เกิน  
ห้าเท่าความหนาปีกหรือ 50 ซม. และ  
ใช้เหล็กเสริมทางยาวช่วยยึด

# การออกแบบคานตัว T

ขั้นตอนที่ 1 : คำนวณกำลังโมเมนต์ดัดที่ต้องการจากน้ำหนักบรรทุก

$$M_u = 1.4M_D + 1.7M_L$$

$$M_n = M_u / \phi; \quad \phi = 0.90$$

ขั้นตอนที่ 2 : พิจารณาความกว้างประสิทธิภาพ  $b_E$

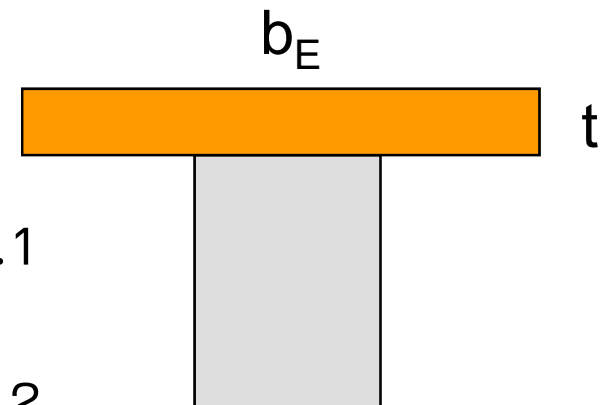
ขั้นตอนที่ 3 : พิจารณาพื้นที่รับแรงอัดจำเป็นรูปดัดที่ ( $a > t$ ) หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า ( $a \leq t$ )

โดยสมมติให้  $a = t$  แล้วคำนวณกำลังโมเมนต์ดัด  $M_n$  ของหน้าตัด

$$C = 0.85f'_c b_E t \quad \text{และ} \quad M_n = C(d - t/2)$$

ถ้า  $M_n \geq M_u / \phi$  แสดงว่า  $a \leq t$  ไปขั้นที่ 4.1

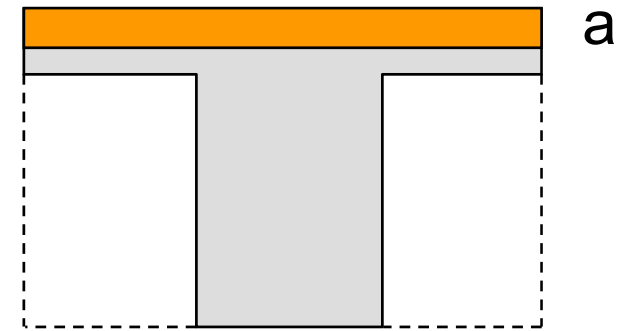
ถ้า  $M_n < M_u / \phi$  แสดงว่า  $a > t$  ไปขั้นที่ 4.2



ขั้นตอนที่ 4.1 :  $a \leq t$  ออกแบบเหมือนหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$m = \frac{f_y}{0.85f'_c}, \quad R_n = \frac{M_n}{b_E d^2}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

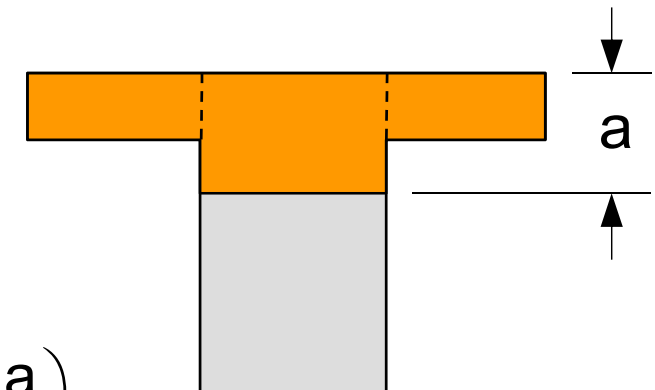


ขั้นตอนที่ 4.2 :  $a > t$  แบ่งแรงอัดเป็น 2 ส่วนคือ  $C_{cf}$  และ  $C_{cw}$

$$C_{cf} = 0.85f'_c(b_E - b_w)t$$

$$C_{cw} = 0.85f'_c b_w a$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = C_{cf} \left( d - \frac{t}{2} \right) + C_{cw} \left( d - \frac{a}{2} \right)$$



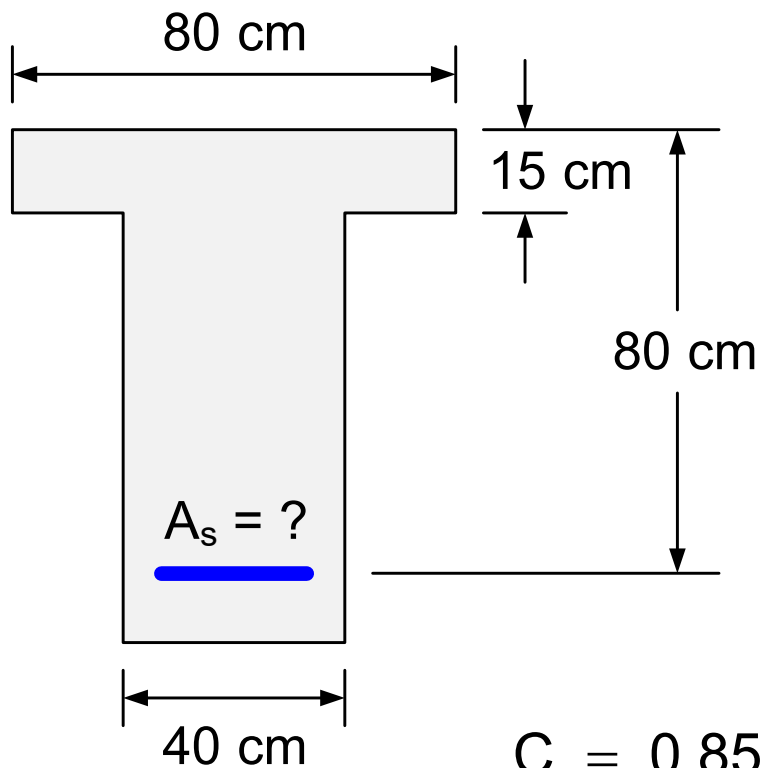
แก้สมการกำลังสองเพื่อคำนวณค่า  $a \rightarrow C_{cw} = 0.85f'_c b_w a$

จาก  $T = C_{cf} + C_{cw}$  พื้นที่เหล็กเสริม  $A_s = (C_{cf} + C_{cw}) / f_y$



## ตัวอย่างที่ 4.3 การออกแบบคานรูปตัว T

จงพิจารณาปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงที่ต้องการของคานหน้าตัดที่ เพื่อรับโมเมนต์จาก น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ 50 ตัน-เมตร และโมเมนต์จากน้ำหนักบรรทุกจร 60 ตัน-เมตร กำหนดหน่วยแรงในคอนกรีต  $f'_c = 240$  กก./ชม.<sup>2</sup> ของเหล็ก  $f_y = 4,000$  กก./ชม.<sup>2</sup>



วิธีทำ

1. คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดที่ต้องการ

$$M_u = 1.4(50) + 1.7(60) = 172 \text{ t-m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{172}{0.9} = 191.1 \text{ t-m}$$

2. พิจารณาว่าค่า  $a$  มากกว่า  $t$  หรือไม่?

โดยสมมุติให้  $a = t$

$$C = 0.85 f'_c b_E t = 0.85 \times 0.24 \times 80 \times 15 = 244.8 \text{ ton}$$

$$M_n = C(d - t/2) = 244.8(80 - 15/2) / 100 = 177.5 \text{ t-m}$$

กำลังโมเมนต์ที่ต้องการ  $191.1 > 177.5$  ตัน-เมตร ดังนั้นค่า  $a$  มากกว่า  $t$

### 3. แบ่งพื้นที่รับแรงอัดเป็นสองส่วน $C_{cf}$ และ $C_{cw}$

$$\begin{aligned}C_{cf} &= 0.85 f'_c (b_E - b_w) t \\ &= 0.85(0.24)(80-40)(15) = 122.4 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$C_{cw} = 0.85 f'_c b_w a = 0.85(0.24)(40)a = 8.16a$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = C_{cf} \left( d - \frac{t}{2} \right) + C_{cw} \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$191.1 \times 100 = 122.4(80 - 15 / 2) + 8.16a(80 - a / 2)$$

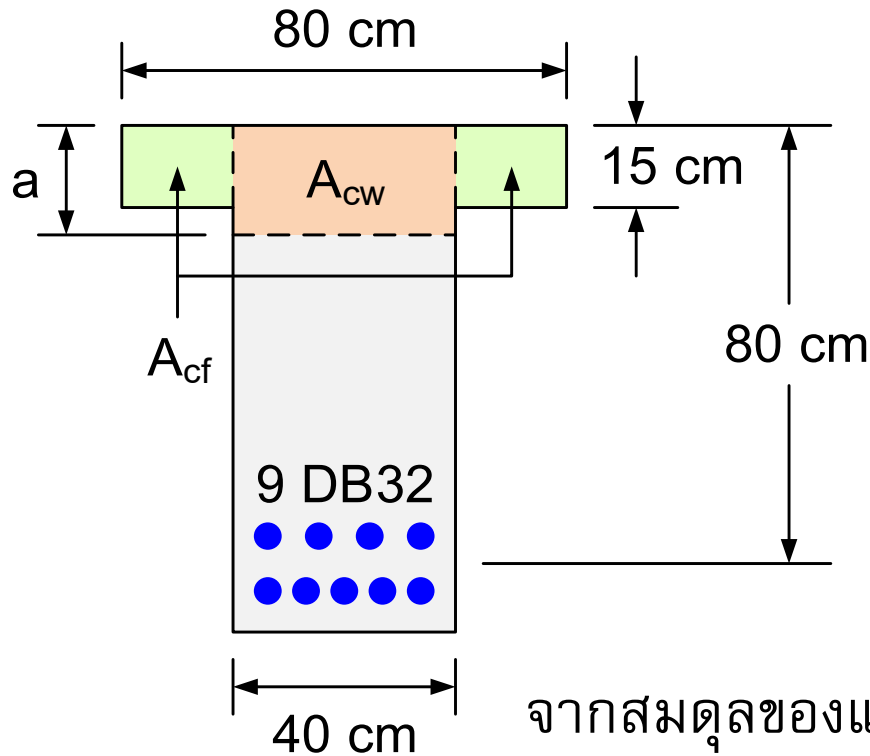
$$4.08a^2 - 652.8a + 10236 = 0 \rightarrow a = 17.6 \text{ cm}$$

$$C_{cw} = 8.16 \times 17.6 = 143.6 \text{ ton}$$

$$A_s = (C_{cf} + C_{cw}) / f_y = \frac{122.4 + 143.6}{4.0} = 66.5 \text{ cm}^2$$

เลือกเหล็กเสริม **9DB32** ( $A_s = 72.38 \text{ ซม.}^2$ )

#### 4. พิจารณาค่า $a$ ใหม่โดยแบ่งพื้นที่แรงอัดเป็นสองส่วน



$$T = A_s f_y = 4.0 \times 72.38 = 289.5 \text{ ton}$$

$$C_{cf} = 0.85 f'_c (b_E - b_w) t$$

$$= 0.85 \times 0.24 (80 - 40) (15) = 122.4 \text{ ton}$$

$$C_{cw} = 0.85 f'_c b_w a = 0.85 \times 0.24 \times 40 a$$

$$= 8.16a$$

จากสมดุลของแรง:  $T = C_{cf} + C_{cw}$

$$289.5 = 122.4 + 8.16a \rightarrow a = 20.48 \text{ cm}$$

$$C_{cw} = 8.16 \times 20.48 = 167.1 \text{ ton}$$

#### 5. ตรวจสอบการครากเหล็กเสริม $c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{20.48}{0.85} = 24.09 \text{ cm}$

$$c/d = 24.09/80 = 0.301 < 0.375 \quad \therefore \text{UnderRC}$$

## 6. ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุด

$$A_{s,\min} = \frac{14}{f_y} b_w d = \frac{14}{4,000} \times 40 \times 80 = 11.2 \text{ cm}^2 < A_s \quad \text{OK}$$

## 7. พิจารณากำลังต้านทานโมเมนต์ดัด

$$\begin{aligned} M_n &= C_{cf} \left( d - \frac{t}{2} \right) + C_{cw} \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 122.4(80 - 15/2) + 167.1(80 - 20.48/2) \\ &= 20,531 \text{ ตั๊น-ซม.} = 205.3 \text{ ตั๊น-เมตร} \end{aligned}$$

∴ หน้าตัดมีกำลังโมเมนต์ดัด  $M_n$  มากกว่าที่ต้องการ 191.1 ตั๊น-เมตร ■

## ข้อสอบภย

ข้อที่ : 50

คานรูปตัวทีโดดๆ มีปีกคานกว้าง = 80 ซม. หนา = 8 ซม. ตัวคานกว้าง = 25 ซม. เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว  $A_s = 7.0 \text{ ซม.}^2$  ที่ความลึกประสิทธิภาพ  $d = 40 \text{ ซม.}$  ถ้าใช้  $f_c = 45 \text{ กก./ซม.}^2$  และ  $f_s = 1200 \text{ กก./ซม.}^2$  จะพบว่าตำแหน่งแนวแกนสะเทินอยู่ใต้ปีกคาน ดังนั้น หากสมมติให้ตำแหน่งของแรงอัดที่ได้จากคอนกรีตอยู่ที่กึ่งกลางความหนาของปีกคาน จงประมาณค่าโมเมนต์ต้านทานปลอดภัยของคานนี้

แกนสะเทินอยู่ใต้ปีกคาน  $\rightarrow$  พื้นที่รับแรงอัดเป็นรูปตัวที

$C_1 + C_2 = \frac{1}{2} f_c b_w kd + \frac{2kd - t}{2kd} f_c (b_E - b_w) t$

$C_1 = \frac{1}{2} \times 45 \times 25 \times 12 = 6,750 \text{ kg}$

$C_2 = \frac{2 \times 12 - 8}{2 \times 12} \times 45 \times (80 - 25) \times 8 = 13,200 \text{ kg}$

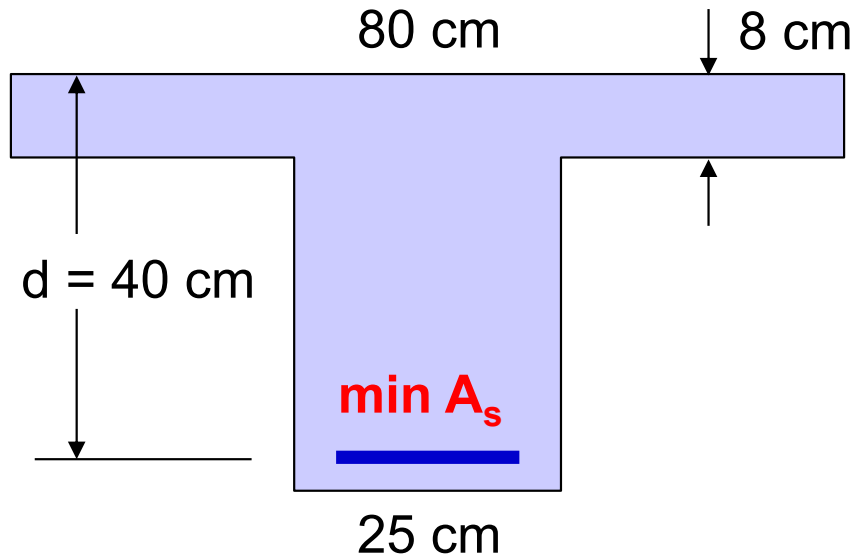
$$T = 7.0 \times 1200 = 8,400 \text{ kg} < C_1 + C_2 \rightarrow \text{Control}$$

$$jd = 40 - 4 = 36 \text{ ซม.} \rightarrow M = 8,400 \times 36 / 100 = \mathbf{3,024 \text{ kg-m}}$$

## ข้อสอบภย

ข้อที่ : 51

คานรูปตัวทีโดดๆ มีปีกคานกว้าง = 80 ซม. หนา = 8 ซม. ตัวคานกว้าง = 25 ซม. เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว  $A_s$  ที่ความลึกประสิทธิภาพ  $d = 40$  ซม. ถ้าใช้  $f_c = 45$  กก./ซม.<sup>2</sup> และ  $f_s = 1200$  กก./ซม.<sup>2</sup> จงประมาณค่า  $\min A_s$  ที่ต้องใช้ตามมาตรฐานกำหนด

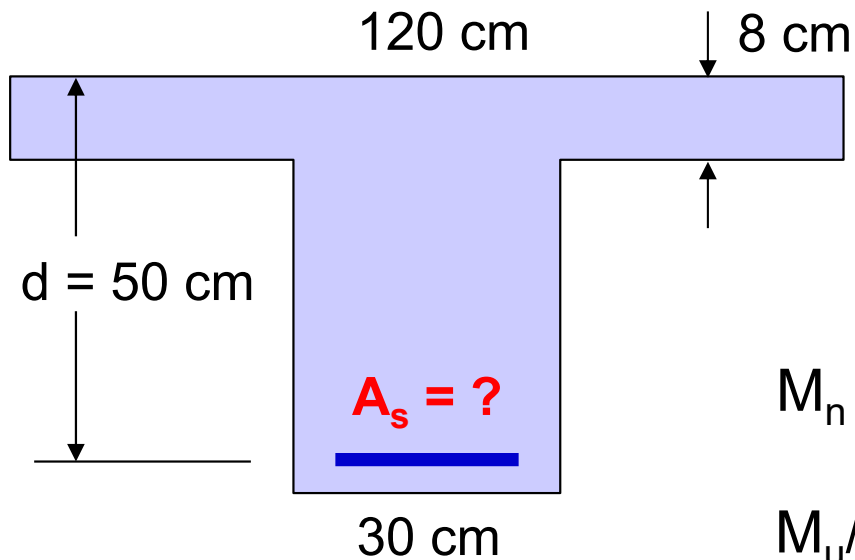


$$\begin{aligned}\min A_s &= \frac{14}{f_y} b_w d \\ &= \frac{14}{2400} \times 25 \times 40 \\ &= 5.83 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

## ข้อสอบภย

ข้อที่ : 57

คานรูปตัวทีโดดๆ มีความกว้างประสิทธิผลของปีกคาน = 120 ซม. หนา = 8 ซม. ตัวคานกว้าง = 30 ซม. เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่าง เดี่ยว  $A_s = 48.24$  ซม.<sup>2</sup> ที่ความลึกประสิทธิผล  $d = 50$  ซม. เพื่อรับ โมเมนต์ประล้ย (Mu) ชนิดบวก = 50 ตัน-เมตร ถ้าใช้  $f_c' = 200$  กก./ซม.<sup>2</sup> และ  $f_y = 3000$  กก./ซม.<sup>2</sup> จงใช้วิธี USD ประมาณค่า  $A_s$  ที่ต้องใช้



$$\text{สมมุติ } a = t = 8 \text{ cm}$$

$$C = 0.85 f_c' b_E t$$

$$= 0.85 \times 200 \times 120 \times 8 / 1,000 = 163.2 \text{ ton}$$

$$M_n = C(d - a/2) = 163.2(50 - 8/2) / 100 = 75 \text{ t-m}$$

$$M_u / \phi = 50 / 0.9 = 55.6 \text{ t-m} < M_n \rightarrow a < t$$

คิดเป็นหน้าตัดสี่เหลี่ยมกว้าง  $b_E$  :  $R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{50 \times 10^5}{0.9 \times 120 \times 50^2} = 18.5 \text{ ksc}$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = 0.0065 \rightarrow A_s = 0.0065 \times 120 \times 50 = 39.3 \text{ cm}^2$$