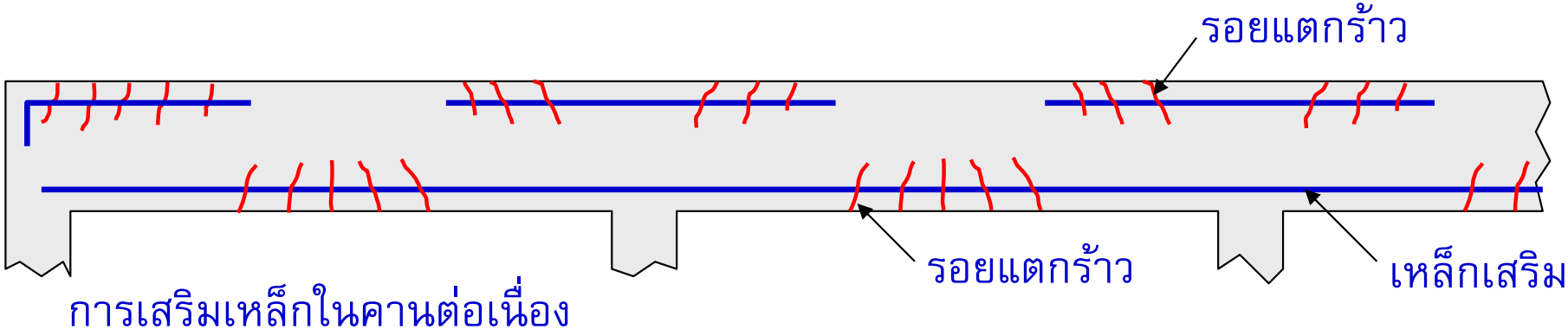
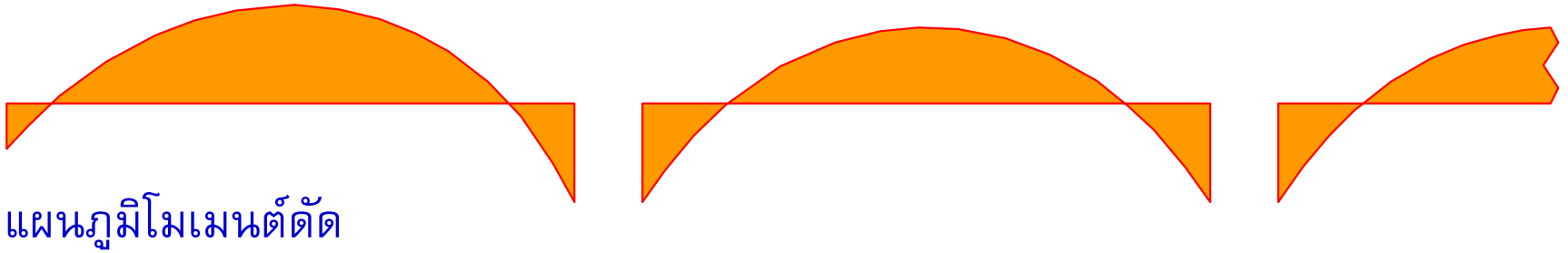
การหยุดเหล็กเสริมในคาน **(Bar Cutoff)**

เหล็กจะถูกเสริมเข้าไปในคอนกรีตบริเวณที่รับแรงดึง ในคานต่อเนื่องจะเสริมเหล็กล่างที่กลางช่วงเพื่อรับโมเมนต์บวก และเสริมเหล็กบนที่จุดรองรับเพื่อรับโมเมนต์ลบ

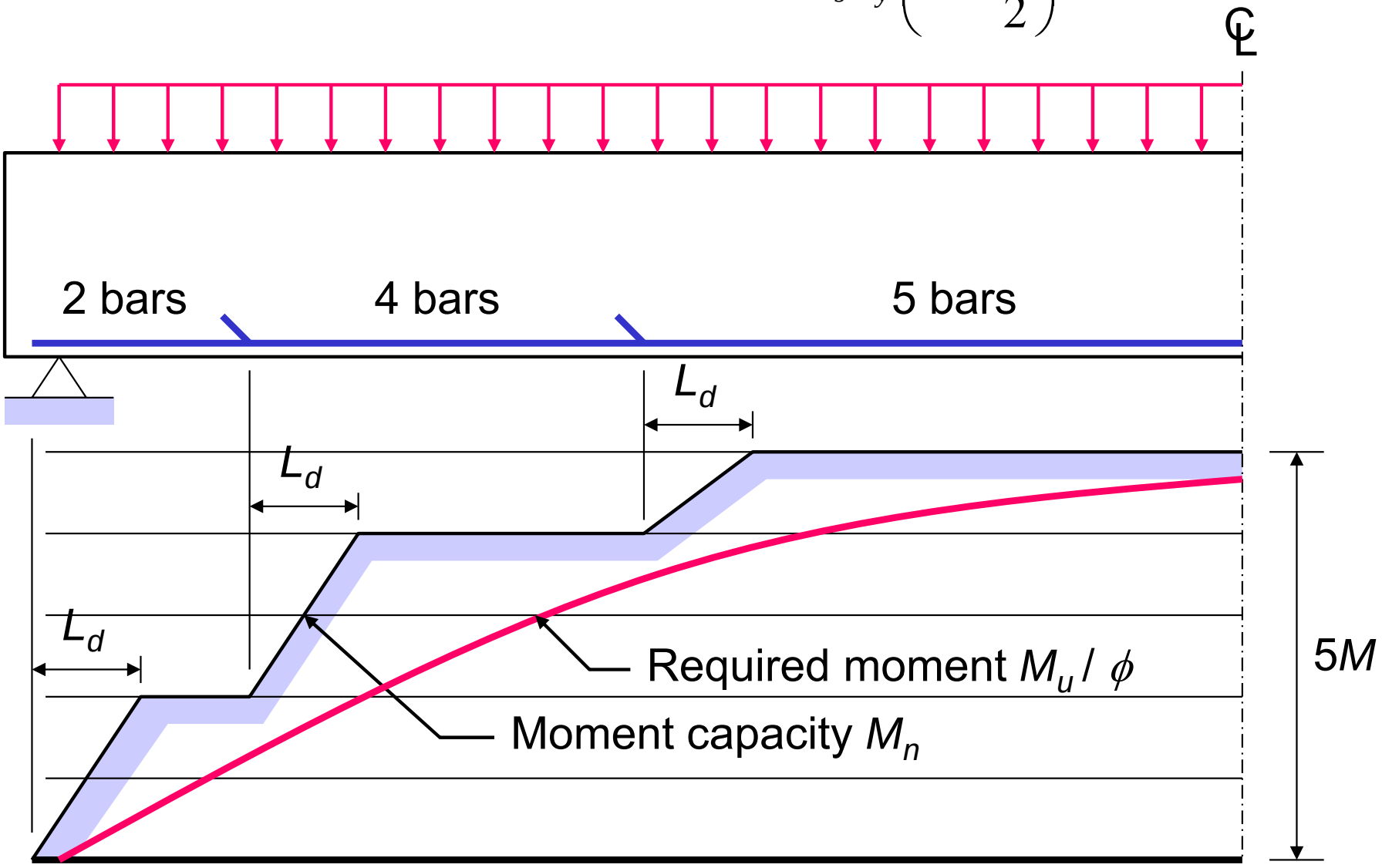




เพื่อความประหยัดเหล็กเสริมบางเส้นจะถูกหยุดในบริเวณที่ไม่ต้องการ

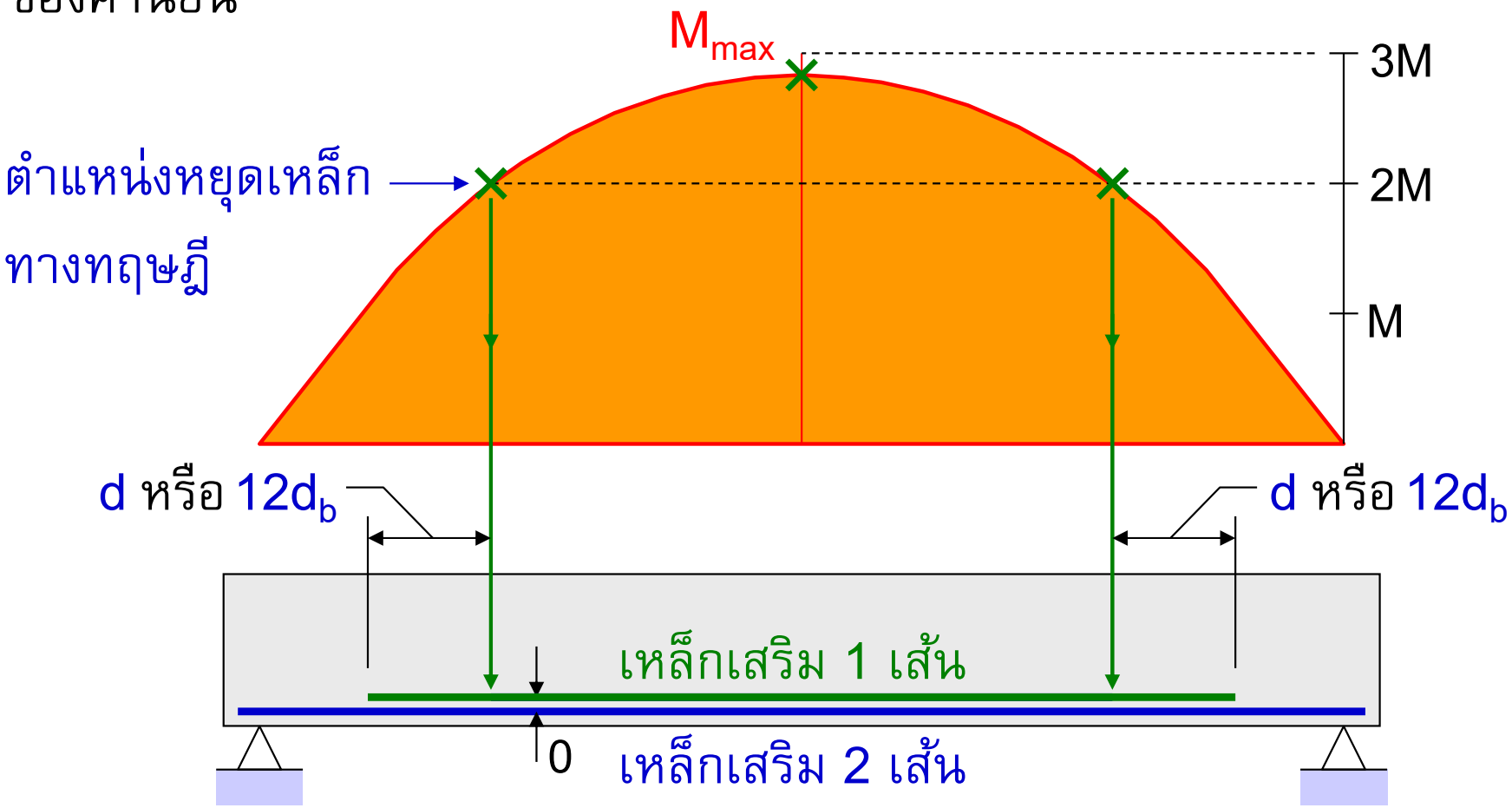
ความสามารถในการต้านทานโมเมนต์ดัดของคาน

Moment capacity of beam: $M = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$



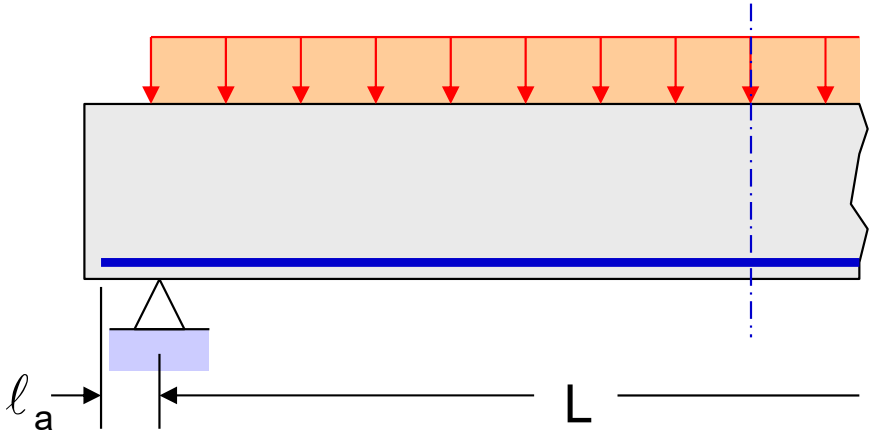
ตำแหน่งหยุดเหล็กเสริมในคานช่วงเดี่ยว

- ในการฝังเหล็กเสริมรับแรงดัด ต้องยื่นเหล็กเลยจุดที่ไม่ต้องรับแรงไปเป็นระยะ **d** หรือ **12 d_b** โดยใช้ค่าที่มากกว่า ยกเว้นที่จุดรองรับคานช่วงเดี่ยวและปลายอิสระของคานยื่น

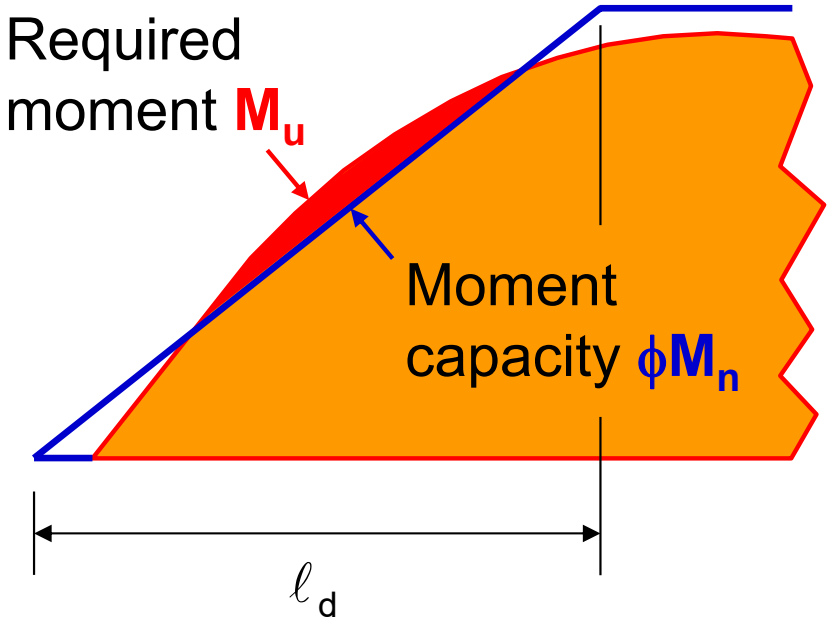


การหยุดเหล็กเสริมที่จุดรองรับของคานช่วงเดี่ยว

คานช่วงเดี่ยวรับน้ำหนักบรรทุกแผ่สม่ำเสมอ มีแผนภูมิโมเมนต์ดัดดังในรูป



กำลังโมเมนต์จะเพิ่มเป็นเส้นตรงจากศูนย์ที่ปลายคานจนมีกำลังเต็มที่ภายในระยะ ℓ_d

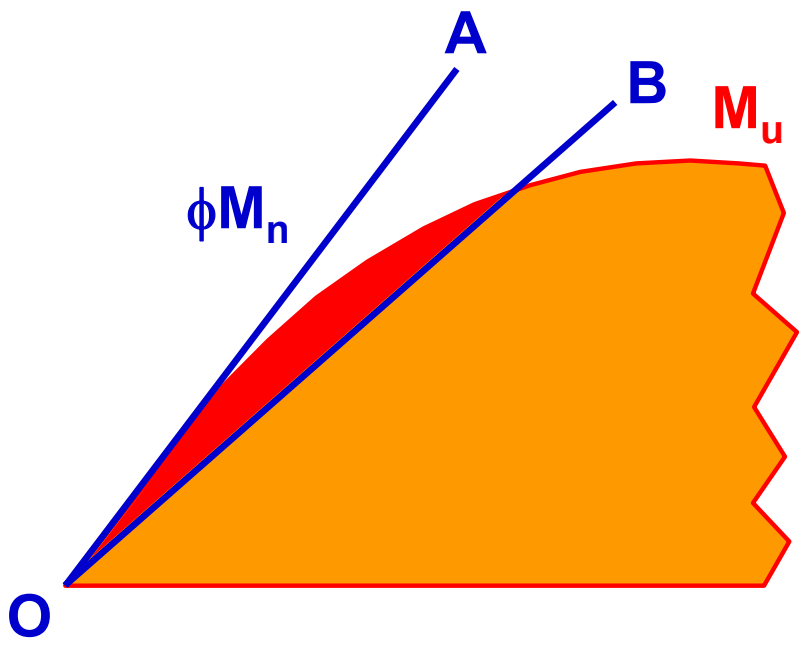


อาจจะมีช่วงที่ความต้องการโมเมนต์มากเกินกำลังโมเมนต์ อาจทำให้เกิดการวิบัติเฉพาะที่จากแรงยึดเหนี่ยว (local bond failure)

การหยุดเหล็กเสริมที่จุดรองรับของคานช่วงเดี่ยว

ดังนั้นต้องทำให้ความชันของกำลังโมเมนต์

ไม่น้อยกว่าเส้นสัมผัส **O-A** ดังในรูป



ความชันของกำลังโมเมนต์ $= \phi M_n / \ell_d$

ความชันของความต้องการโมเมนต์ $\frac{dM_u}{dx} = V_u$

ดังนั้นความชันของกำลังโมเมนต์น้อยที่สุดคือ

$$\frac{\phi M_n}{\ell_d} = V_u$$

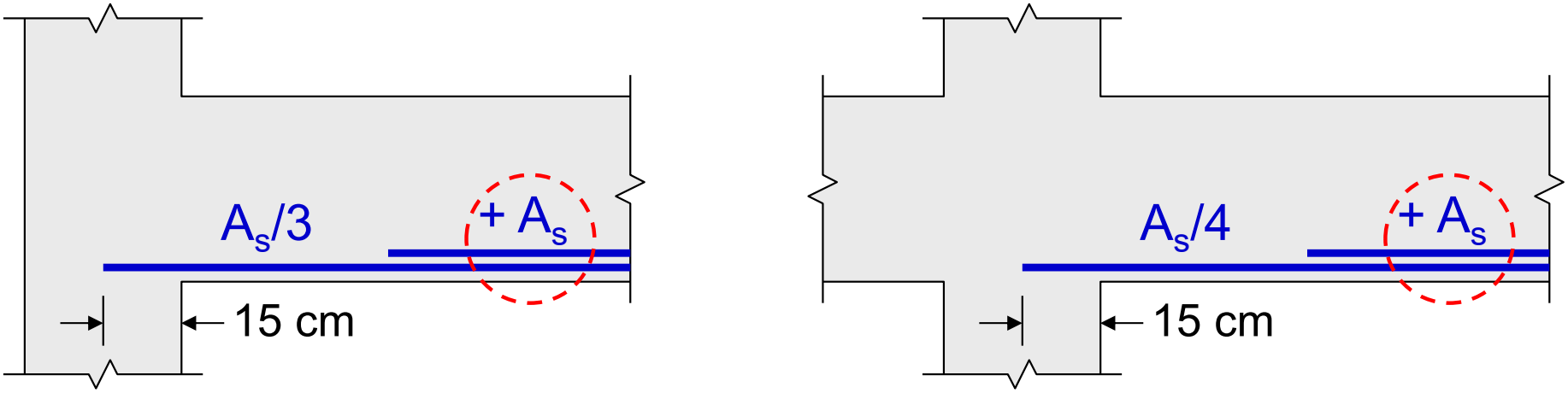
จะได้ว่าความยาวฝังยึดมากที่สุดที่ยอมให้คือ

$$\ell_d = \frac{\phi M_n}{V_u}$$

การฝังยึดของเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก

ว.ส.ท. SDM

- ต้องยื่นเหล็กเสริมอย่างน้อย **1** ใน **3** ของเหล็กรับโมเมนต์บวกในคานช่วงเดี่ยว เลยเข้าไปในฐานรองรับไม่น้อยกว่า **15** ซม.



- ต้องยื่นเหล็กเสริมอย่างน้อย **1** ใน **4** ของเหล็กรับโมเมนต์บวกในคานต่อเนื่อง เลยเข้าไปในฐานรองรับไม่น้อยกว่า **15** ซม.

การฝังยึดของเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก

ว.ส.ท. SDM

- ที่จุดรองรับคานช่วงเดี่ยวและที่จุดดัดกลับ เหล็กเสริมรับโมเมนต์บวกต้องมีขนาดที่จำกัดเพื่อให้ความยาวฝังยึดมีค่าไม่เกิน

จุดรองรับคานช่วงเดี่ยว

$$\ell_d \le 1.3\frac{M_n}{V_u} + \ell_a$$

จุดดัดกลับคานต่อเนื่อง

$$\ell_d \le \frac{M_n}{V_u} + \ell_a$$

โดยที่ M_n = กำลังโมเมนต์ดัดคำนวณโดยสมมุติให้เหล็กเสริมทั้งหมดที่หน้าตัดมีหน่วยแรงถึง f_y

V_u = แรงเฉือนประลัยที่หน้าตัด

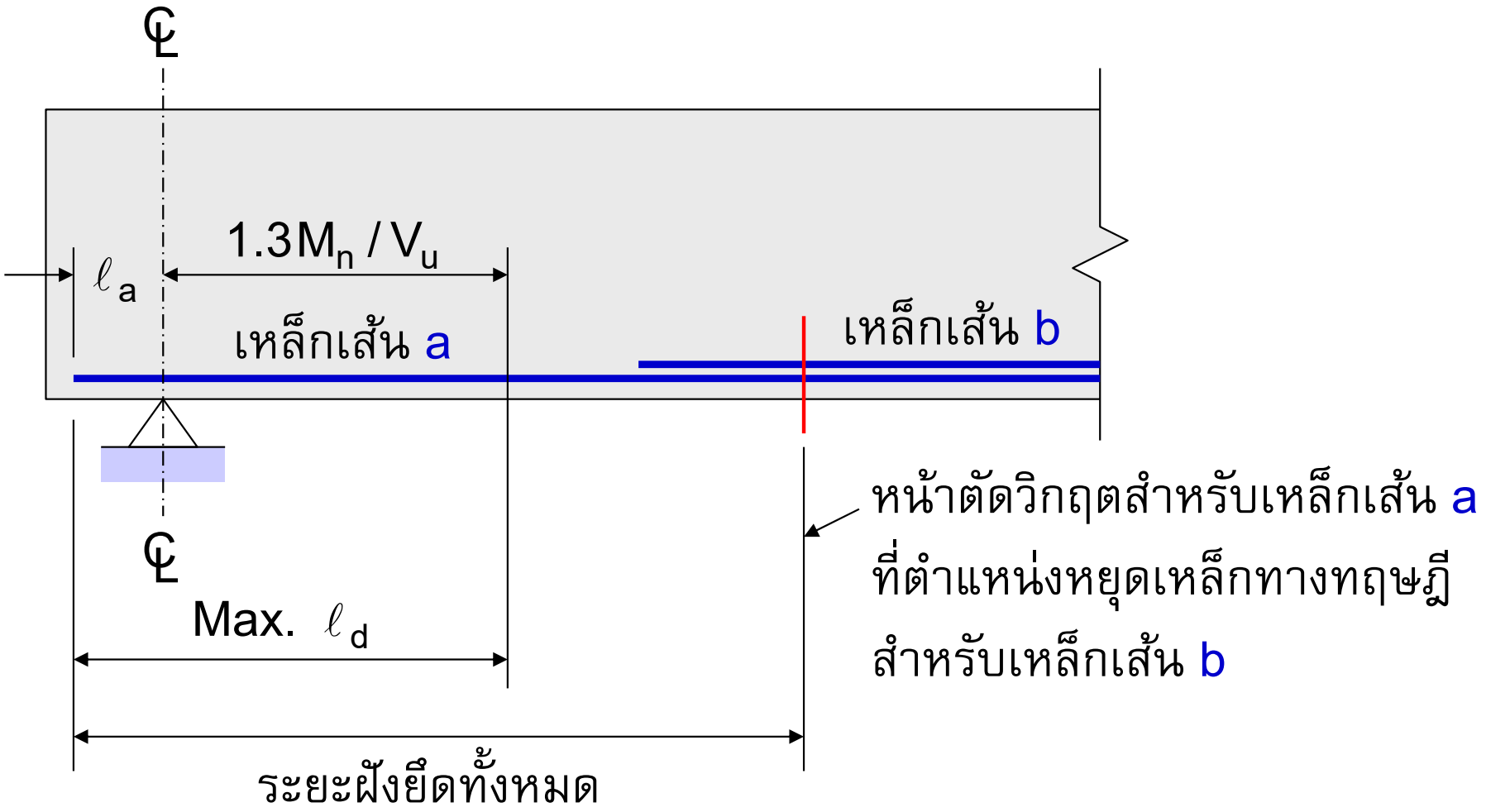
ℓ_a ที่จุดรองรับคานช่วงเดี่ยวคือระยะฝังที่เลยจุดศูนย์กลางที่รองรับ

ℓ_a ที่จุดดัดกลับคานต่อเนื่องคือระยะฝังที่เลยจุดดัดกลับ **d** หรือ **$12d_b$** โดยใช้ค่าที่มากกว่า

การหยุดเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก

ว.ส.ท. SDM

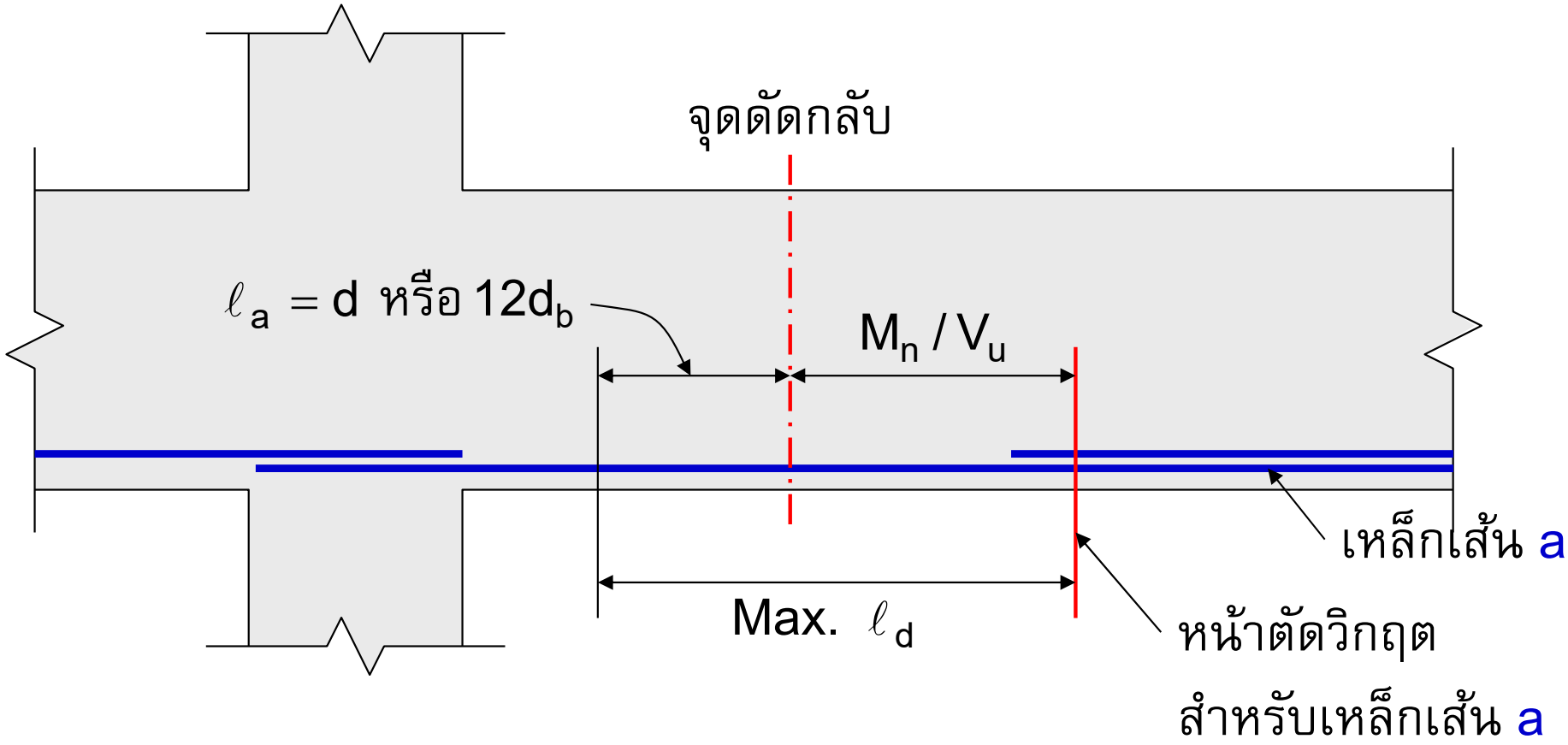
ที่จุดรองรับของคานช่วงเดี่ยว



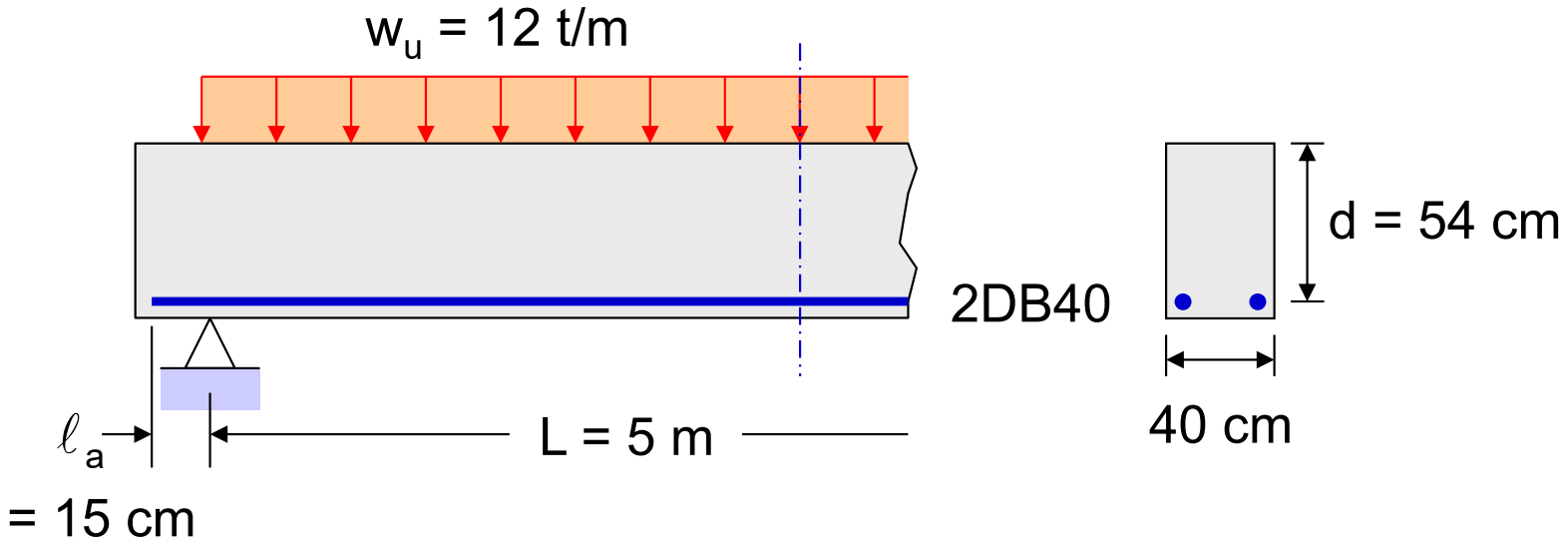
การหยุดเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก

ว.ส.ท. SDM

ที่จุดดัดกลับของคานต่อเนื่อง



ตัวอย่าง การตรวจสอบการฝังยึดของเหล็กรับโมเมนต์บวก



1. คำนวณความยาวฝังยึดของ DB40

กรณี **(A - 2)** $\ell_d = \dfrac{0.19 f_y \psi_t \psi_e}{\sqrt{f'_c}} d_b$

$= \dfrac{0.19 \times 4{,}000 \times 1.0 \times 1.0}{\sqrt{240}} \times 4.0$ = **196** ซม.

2. ตรวจสอบความยาวฝังยึดของ DB40

จุดรองรับคานช่วงเดี่ยว

$$\ell_d \le 1.3\frac{M_n}{V_u} + \ell_a$$

[C = T] $$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

$$= \frac{2\times 12.57\times 4{,}000}{0.85\times 240\times 40} = \mathbf{12.3}\ \text{ซม.}$$

$$M_n = A_s f_y\left(d-\frac{a}{2}\right) = 2\times 12.57\times 4.0\times\left(54-\frac{12.3}{2}\right)/100$$

$$= \mathbf{48.1}\ \text{ตัน-เมตร}$$

ที่จุดรองรับ $$V_u = \frac{w_u L}{2} = \frac{12\times 5}{2} = \mathbf{30}\ \text{ตัน}$$

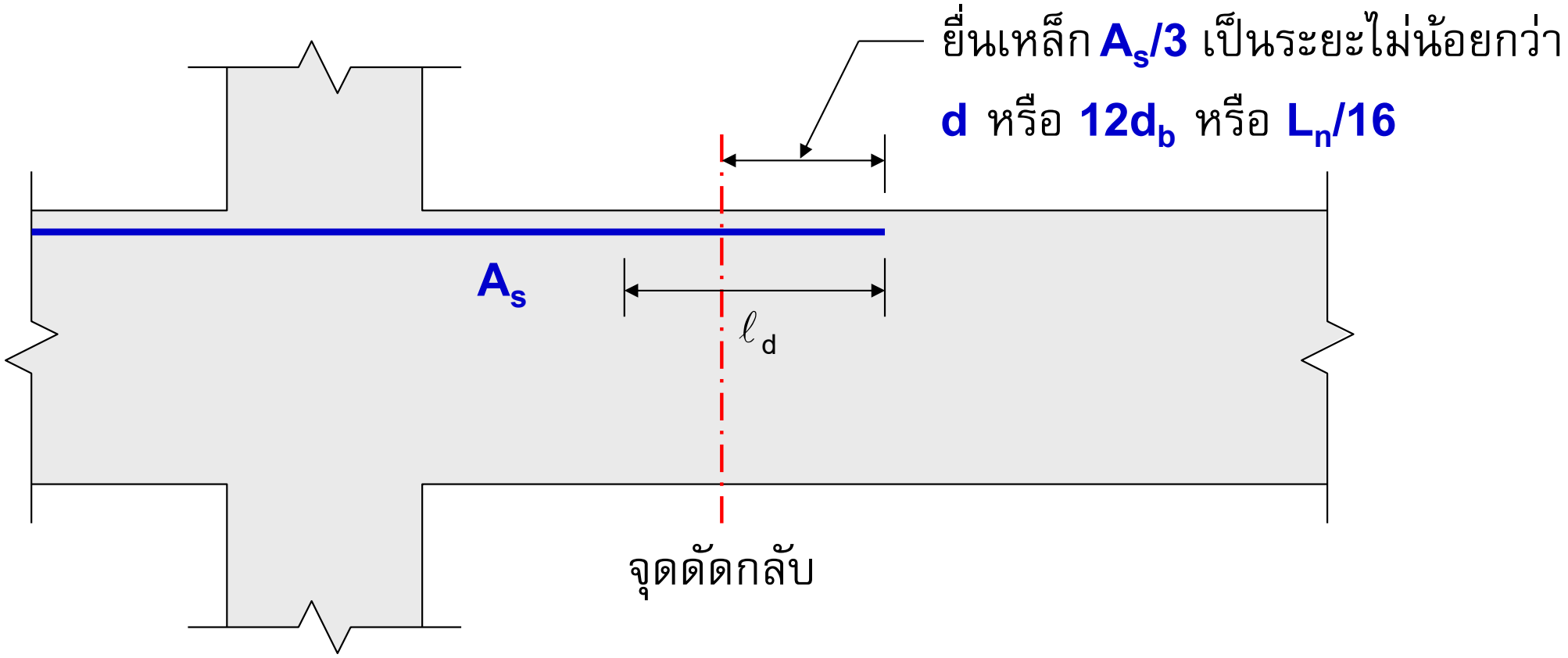
$$1.3\frac{M_n}{V_u} + \ell_a = \frac{1.3\times 48.1\times 100}{30} + 15 = \mathbf{223}\ \text{ซม.}$$

ความยาวฝังยึด $\ell_d = 196$ ซม. น้อยกว่า 223 ซม. ดังนั้น DB40 สามารถใช้ได้

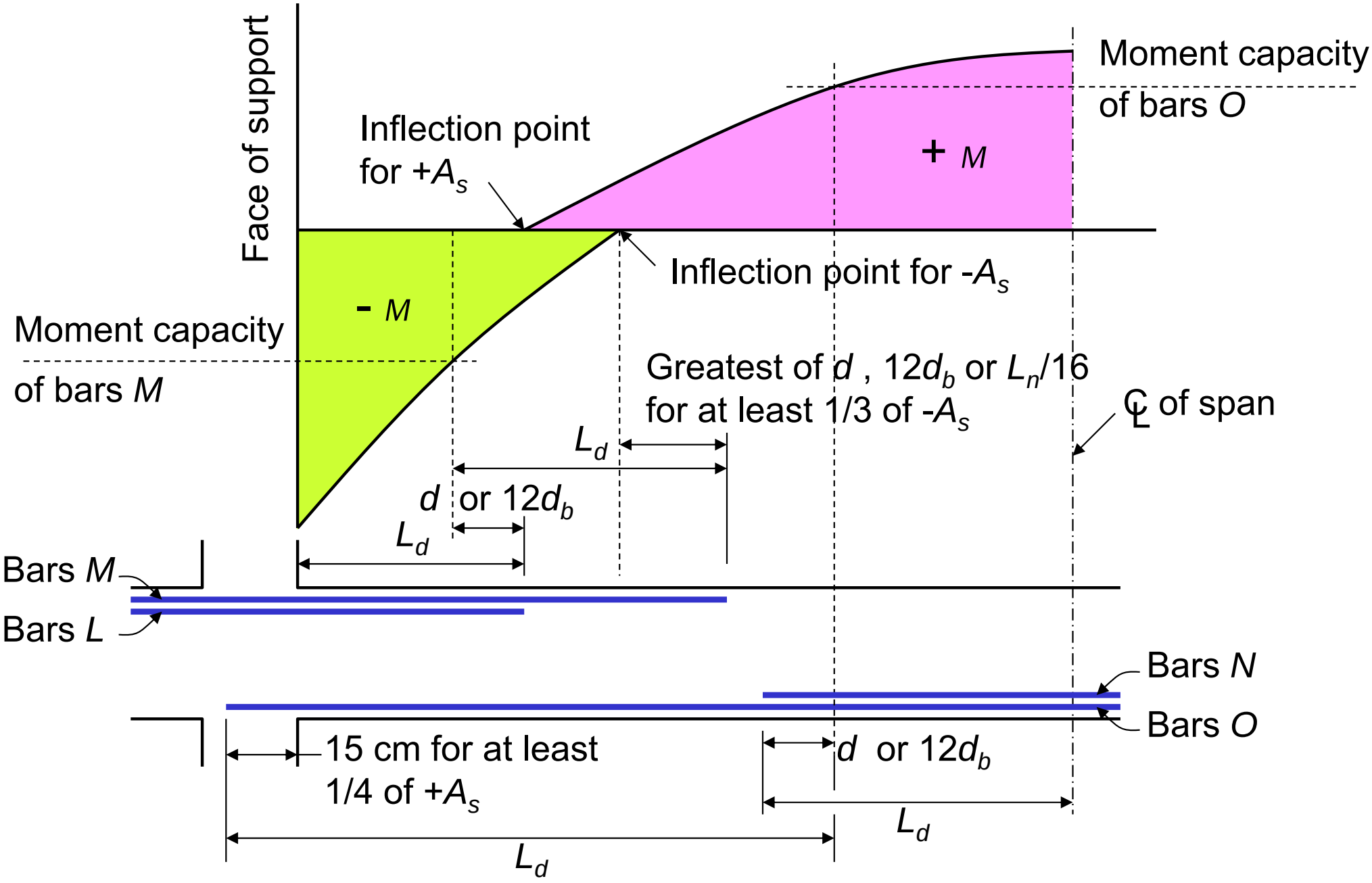
การหยุดเหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบ

ว.ส.ท. SDM

- ต้องยื่นเหล็กเสริมอย่างน้อย **1** ใน **3** ของเหล็กรับโมเมนต์ลบเลยจุดดัดกลับ ไม่น้อยกว่า **d** หรือ **$12d_b$** หรือ **1/16** ของระยะช่วงว่างคาน โดยใช้ค่าที่มากกว่า

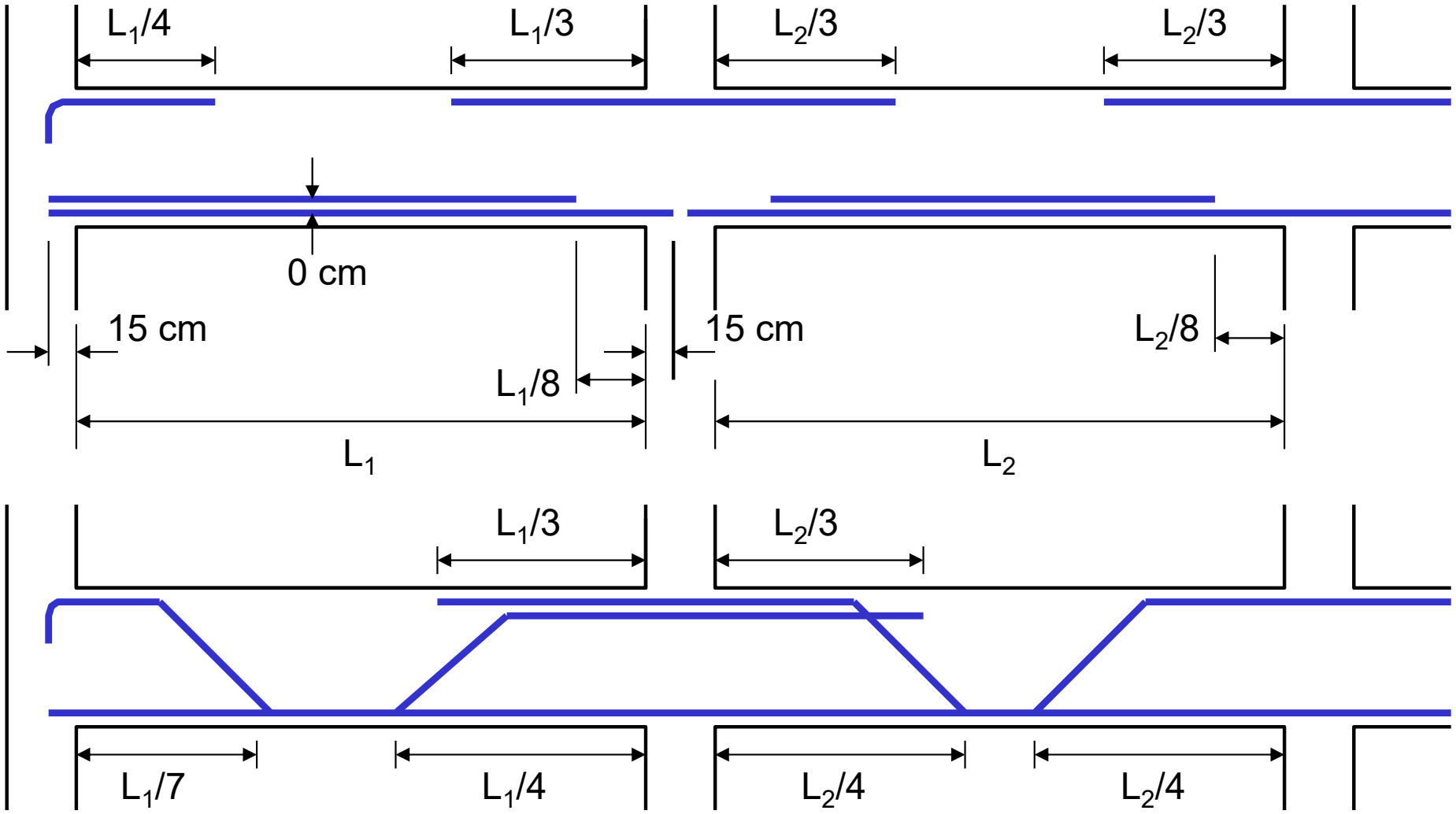


Bar Cutoff requirements of the ACI Code

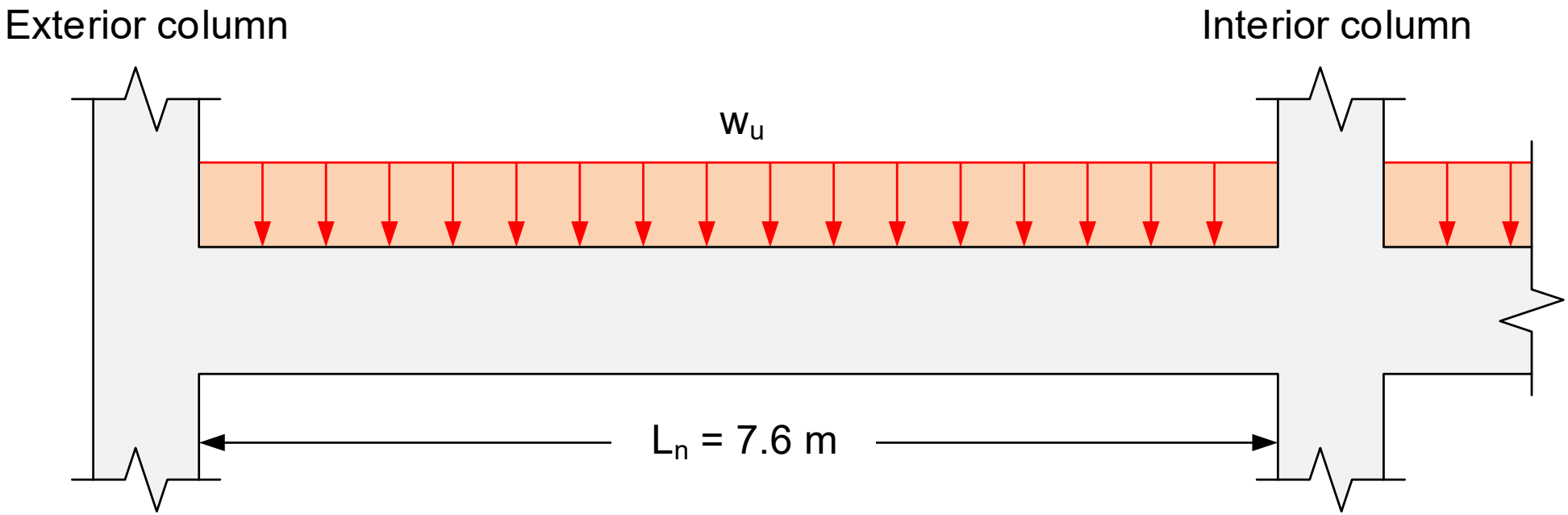


Standard Cutoff and Bend Points for Bars

For approximately equal spans with uniformly distributed loads



ตัวอย่าง 8.6 จงพิจารณาความยาวของเหล็กบนและเหล็กล่างของคานต่อเนื่องช่วงนอกสุดดังแสดงน้ำหนักแผ่ประลัยทั้งหมดคือ $w_u = 8.0$ ตัน กำหนด $f'_c = 280$ กก./ซม.^{2}, $f_y = 4{,}000$ กก./ซม.^{2}, $b = 40$ ซม., $h = 60$ ซม. และคอนกรีตหุ้ม 4 ซม.



1. ออกแบบเหล็กเสริมรับโมเมนต์และแรงเฉือนเบื้องต้น

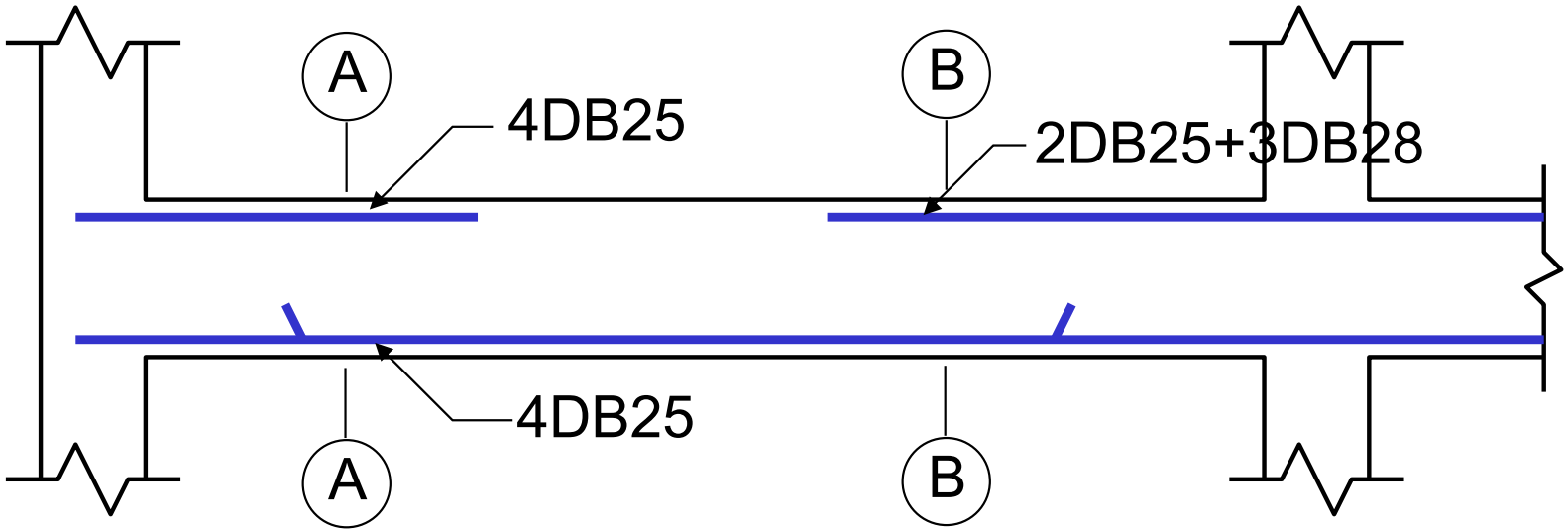
ก. ใช้การวิเคราะห์แบบประมาณค่าโมเมนต์และแรงเฉือน

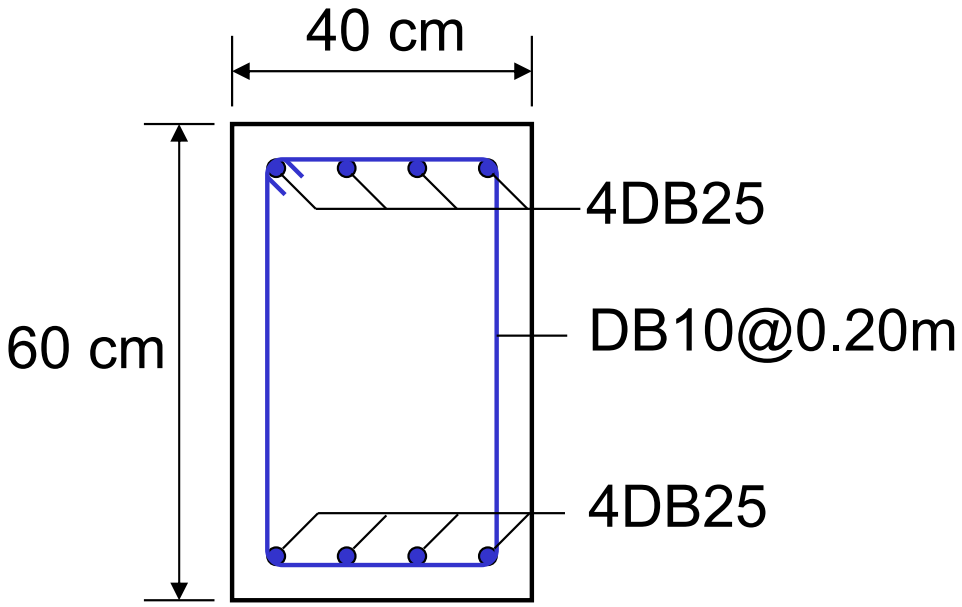
Interior face of exterior support	$-M_u = w_u L_n^2/16 = 8(7.6)^2/16 = -28.88$ t-m

Mid span positive	$+M_u = w_u L_n^2/14 = 8(7.6)^2/14 = 33.01$ t-m
Exterior face of first interior support	$-M_u = w_u L_n^2/10 = 8(7.6)^2/10 = -46.21$ t-m
Exterior face of first interior support	$V_u = 1.15 w_u L_n/2 = 1.15(8)(7.6)/2 = 34.96$ t-m

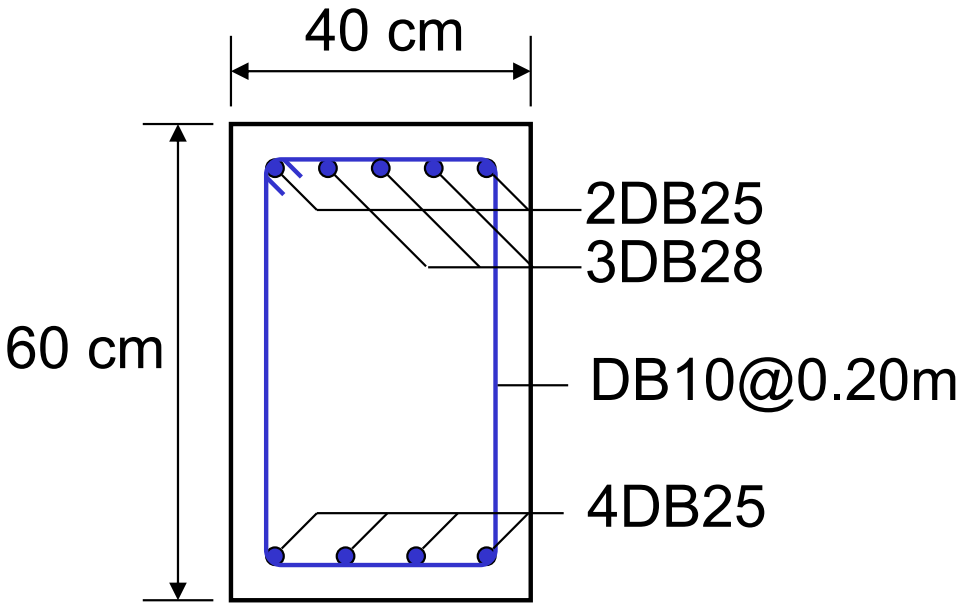
ข. พิจารณาเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด โดยใช้คอนกรีตหุ้ม 4 ซม. เหล็กปลอก DB10 และเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด DB25 หรือ DB28 ค่า d ≈ 60-4-1.0-1.4 ≈ 53.6 ซม.

M_u	A_s required	Bars	A_s provided
- 28.88 t-m	15.97 cm^2	4DB25	19.63 cm^2
+ 33.01 t-m	18.44 cm^2	4DB25	19.63 cm^2
- 46.21 t-m	26.76 cm^2	2DB25+3DB28	28.29 cm^2





Section A-A



Section B-B

ค. พิจารณาเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

V_u ที่ระยะ “d” จากผิวเสาที่รองรับ : $V_u = 34.96 - 8(0.536) = 30.67$ ตัน

$$V_c = 0.53\sqrt{280} \times 40 \times 53.6 / 1{,}000 = 19.01 \text{ ตัน}$$

โดยที่ $s_{max} = d/2 = 53.6/2 = 26.8$ ซม., เหล็กปลอก DB10 ($A_v = 1.57$ ซม.^{2})

V_s ที่ต้องการ $= V_u / \phi - V_c = 30.67/0.85 - 19.01 = 17.07$ ตัน

s ที่ต้องการ $= A_v f_y d / V_s = 1.57 \times 4.0 \times 53.6/17.07 = 19.72$ ซม.

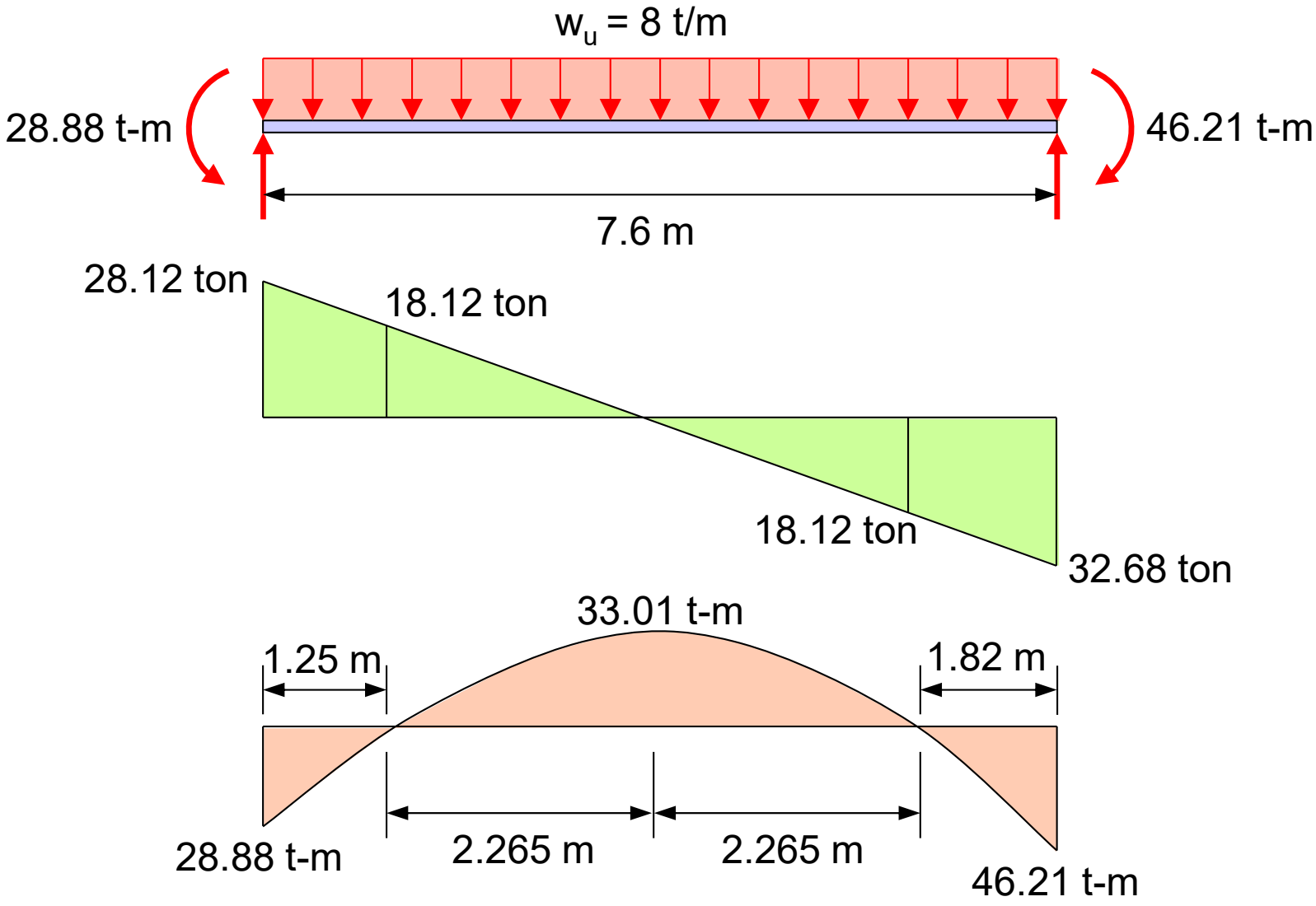
ใช้เหล็กปลอก DB10@0.18 ม.

2. ความยาวเหล็กเสริมล่าง

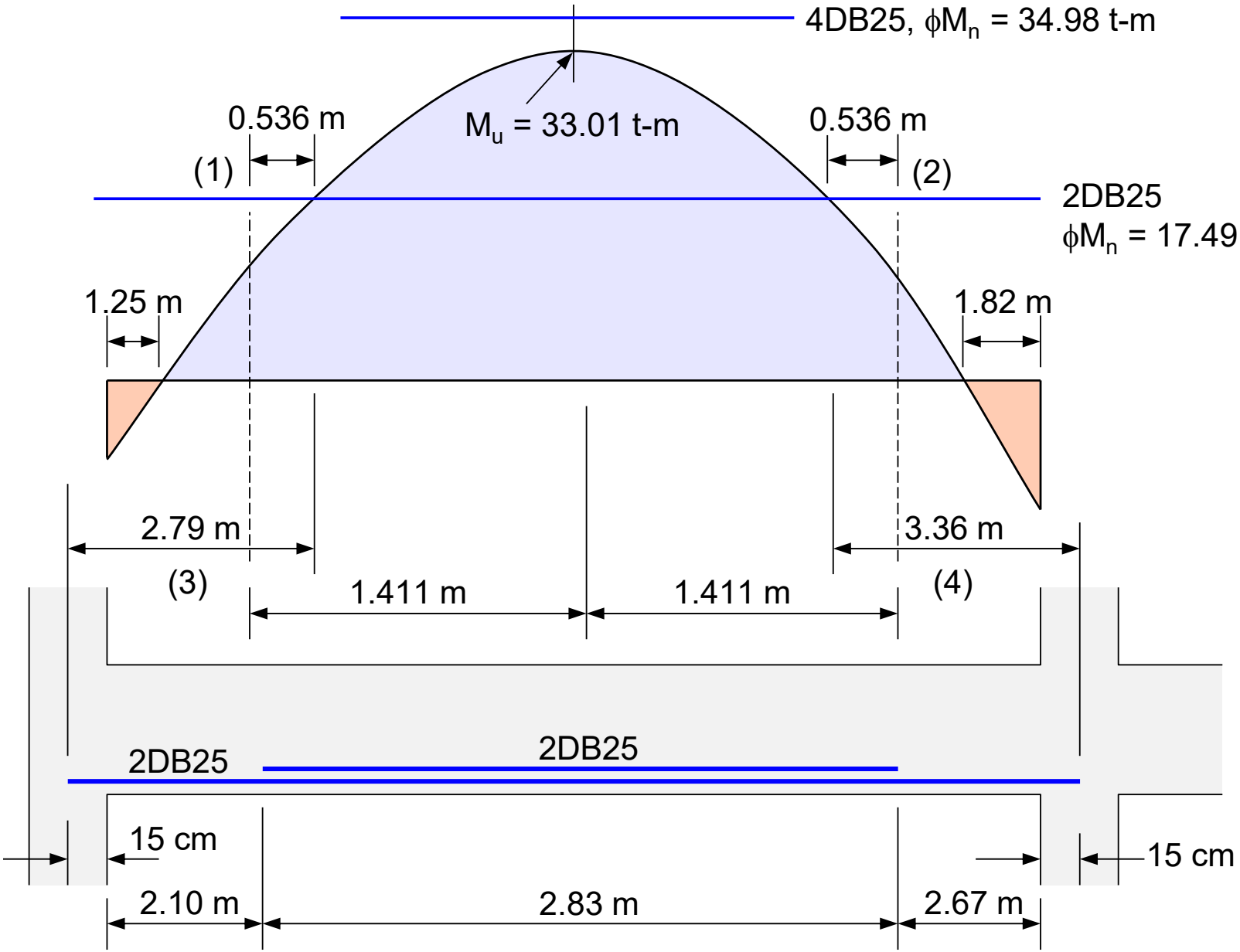
ก. จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องยื่นเข้าไปในจุดรองรับ

หนึ่งในสี่ของ ($+A_s$) ต้องยื่นเข้าไปในที่รองรับอย่างน้อย 15 ซม. โดยที่ต้องมีเหล็กนอนที่แต่ละมุมของหน้าตัดคาน เหล็กเสริมอย่างน้อย 2 เส้นควรยาวตลอดช่วงคานโดยใช้ 2DB25 และหยุดเหล็กเสริม 2DB25 ภายในช่วงคาน

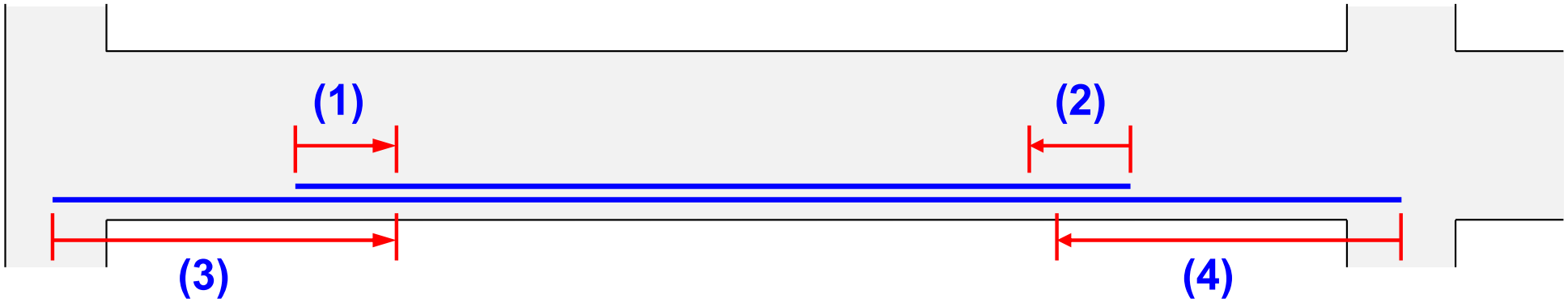
ข. พิจารณาตำแหน่งการหยุดเหล็ก 2DB25 ภายในช่วงคาน และตรวจสอบความต้องการความยาวยึดรั้งอื่นๆ โดยเขียนแผนภูมิแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของสภาวะน้ำหนักบรรทุกที่ให้ค่าโมเมนต์มากที่สุดเป็นดังในรูปข้างล่าง



ส่วนโมเมนต์บวกของแผนภูมิ M_u ดังในรูปข้างล่าง พร้อมทั้งกำลังโมเมนต์ ϕM_n สำหรับ 4DB25, $\phi M_n = 34.98$ ตัน-เมตร และสำหรับ 2DB25, $\phi M_n = 17.49$ ตัน-เมตร



เหล็กล่าง 2DB25 ยื่นเข้าไปในที่รองรับ 15 ซม. และอีก 2DB25 ถูกหยุดที่ 2.10 ม. และ 2.67 ม. จากจุดรองรับภายนอกและภายในตามลำดับ ตำแหน่งหยุดเหล็กพิจารณาจากขั้นตอนดังนี้ :



ระยะ (1) และ (2) คือระยะที่เลยจากจุดที่ต้องการเหล็กเสริม จะใช้ค่าที่มากกว่าระหว่าง d และ $12d_b$: $d = 53.6$ ซม. $> 12d_b = 12(2.5) = 30$ ซม. **ระยะ 53.6 ซม. ควบคุม**

ระยะ **(3)** และ **(4)** คือระยะวัดจากปลายเหล็กเสริมจนถึงจุดที่ต้องการกำลังโมเมนต์ดัดเต็มที่ของเหล็ก 2DB25 ที่ยื่นเข้าที่รองรับ ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า ℓ_d :

จากตารางที่ ก.4 สำหรับ DB25 : $\ell_d = 114$ ซม.

ระยะ (3) ที่มียาว 279 ซม. > 114 ซม. **OK**

ระยะ (4) ที่มียาว 336 ซม. > 114 ซม. **OK**

ตรวจสอบความยาวฝังยึด ℓ_d สำหรับอีก 2DB25 ที่หยุดก่อนเข้าที่รองรับ

ระยะจากกลางช่วงคานคือ 141 ซม. > 114 ซม. **OK**

สำหรับ 2DB25 ที่ยื่นเข้าที่รองรับ ตรวจสอบระยะฝังที่ต้องการ

ณ จุดเปลี่ยนการดัด (Point of Inflection, PI) : $\ell_d \leq \frac{M_n}{V_u} + \ell_a$

สำหรับ 2DB25, $M_n = 17.49/0.9 = 19.43$ ตัน-เมตร

ณ จุด PI ข้างซ้าย, $V_u = 28.12 - 8(1.25) = 18.12$ ตัน

ℓ_a = ค่าที่มากกว่าของ $12d_b = 12(2.5) = 30$ ซม. หรือ $d = 53.6$ ซม. **(ควบคุม)**

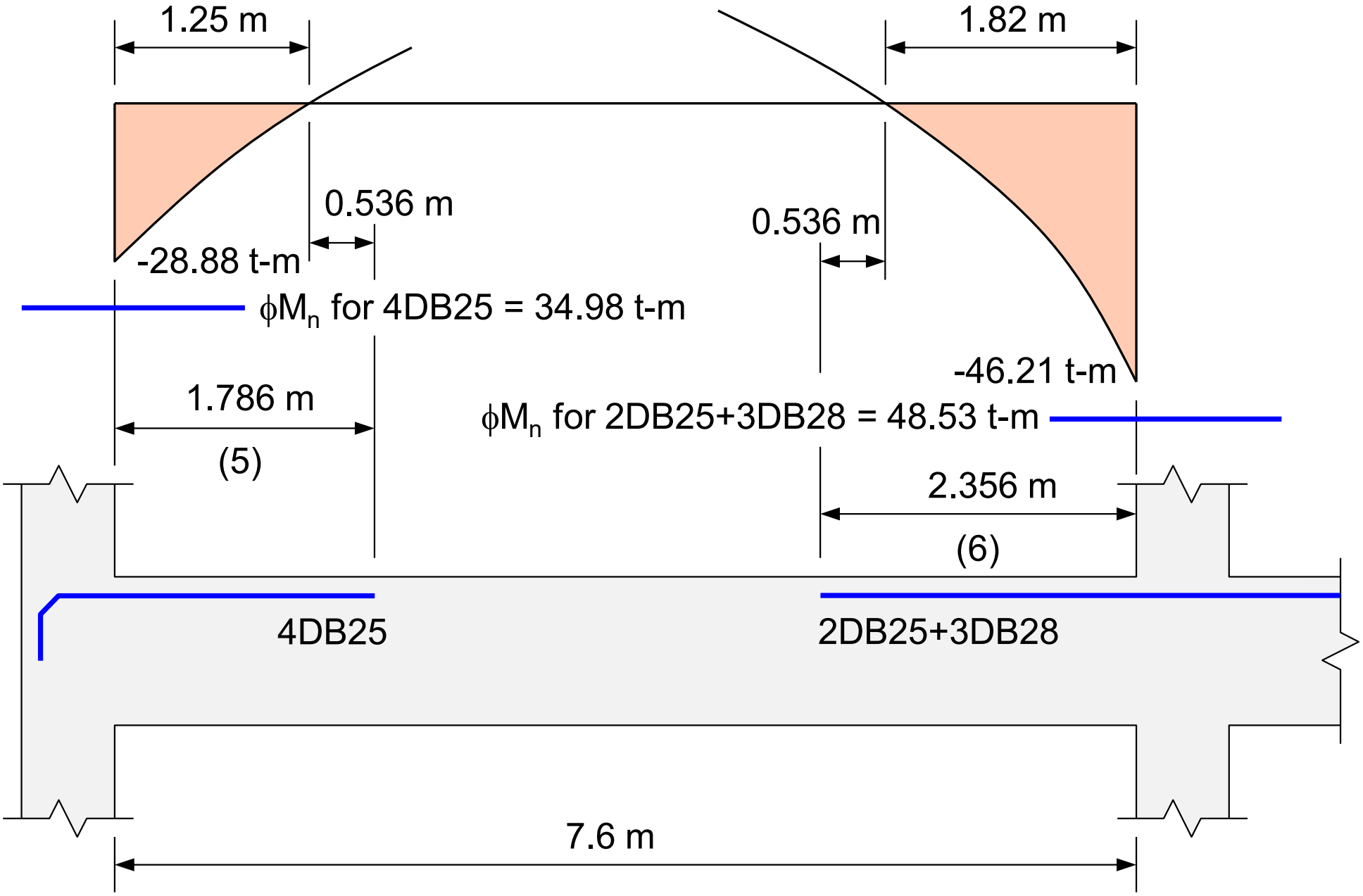
$$\ell_d \leq \frac{19.43 \times 100}{18.12} + 53.6 = 160.83 \text{ ซม.}$$

สำหรับ DB25 : $\ell_a = 114$ ซม. < 160.83 ซม. **OK**

ณ จุด PI ข้างขวา, $V_u = 32.68 - 8(1.82) = 18.12$ ตัน จากการตรวจสอบ **OK**

3. ความยาวเหล็กเสริมบน

จากแผนภูมิโมเมนต์ลบ M_u ออกแบบเหล็กเสริมมีกำลัง ϕM_n ดังแสดงในรูปข้างล่าง



4. ระยะฝังยึดที่ต้องการสำหรับเหล็กบน **4DB25** ที่จุดรองรับภายนอก

ก. จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องยื่นออกมาจากที่รองรับ

หนึ่งในสามของ ($-A_s$) เสริมที่จุดรองรับจะต้องยื่นออกมาเลยจุดดัดกลับเป็นระยะเท่ากับค่าที่มากกว่าของ d, $12d_b$ หรือ $L_n/16$

$d = 53.6$ ซม. (ควบคุม)

$12d_b = 12(2.5) = 30$ ซม.

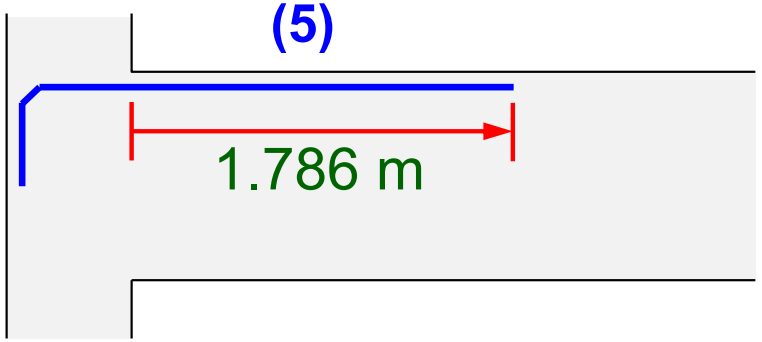
$L_n/16 = 760/16 = 47.5$ ซม.

เนื่องจากจุดดัดกลับอยู่ที่ระยะเพียงแค่ 1.25 ม. จากจุดรองรับ ความยาวของ DB25 จึงค่อนข้างสั้นแม้ว่าจะต้องยื่นเลยจุดดัดกลับไปอีก 53.6 ซม. ตรวจสอบระยะฝังยึด ℓ_d ที่ต้องการที่ระยะ 1.786 ม. จากผิวจุดรองรับ

ระยะ (5) ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า ℓ_d

จากตาราง ก.6 สำหรับเหล็กบน DB25 :

$\ell_d = 1.3(114) = 148 < 178.6$ ซม. **OK**



ข. การฝังยึดในเสาต้นนอก

เหล็ก DB25 ถูกฝังยึดในเสาโดยใช้การงอขอมาตรฐาน จากตารางที่ ก.6 ค่า

ℓ_{hb} = 48 ซม. ซึ่งลดลงได้โดยพิจารณาการเสริมเหล็กส่วนเกินคือ :

$$\frac{(A_s \text{ required})}{(A_s \text{ provided})} = \frac{15.97}{19.63} = 0.81$$

$\ell_{dh} = 0.81 \times 48 = 38.9$ ซม.

ความกว้างเสาที่ต้องการคือ $38.9 + 4 + 1 + 2.5/2 = 45.2$ ซม.

ใช้ความลึกเสา **50** ซม.

5. ระยะฝังยึดที่ต้องการสำหรับ 2DB25+3DB28 ที่จุดรองรับภายใน

ก. จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องยื่นออกมาคือหนึ่งในสามของ **($-A_s$)**

d = 53.6 ซม. (ควบคุม)

$12d_b = 12(2.8) = 33.6$ ซม.

$L_n/16 = 760/16 = 47.5$ ซม.

ระยะช่องว่าง s = [40 - 2(4) - 2(1) - 2(2.5) - 3(2.8)]/4

= 4.15 ซม. = $1.48d_b$ > d_b

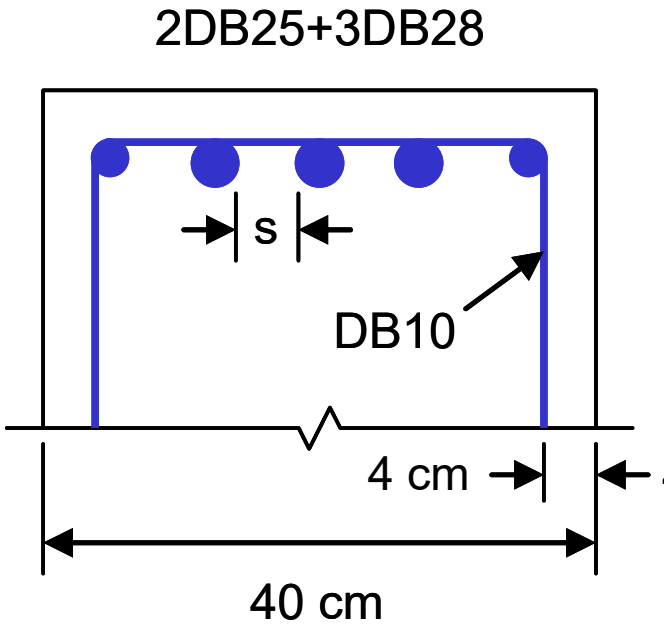
ระยะ c-c เหล็กเสริม = [40 – 2(4) – 2(1) – 2.5]/4

= 6.88 ซม. = $2.46d_b$

ระยะหุ้มคอนกรีต = 4 + 1 = 5 ซม. = $1.79d_b$ > d_b

ระยะฝังยึดที่ต้องการ, ℓ_d = 1.3(127) = 165 ซม.

ระยะ **(6)** = 182 + 53.6 = 235.6 ซม. > ℓ_d = 165 ซม. **OK**



6. สรุปผลการออกแบบ : ความยาวของเหล็กล่างและเหล็กบนเป็นดังแสดงในรูป

ข้างล่าง