

# 14

## Reinforced Concrete Design

### Bond, Anchorage, and

### Part 2

### Development Length



- ความยาวฝังยึดของเหล็กข้ออ้อยรับแรงอัด
- ความยาวฝังยึดของเหล็กมัดรวมกันเป็นกำ
- ความยาวฝังยึดของงอขอมาตรฐาน
- Bar Cutoff and Bend Points in Beams

Mongkol JIRAVACHARADET

SURANAREE

INSTITUTE OF ENGINEERING

UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

## ความยาวฝังยึดของเหล็กข้ออ้อยรับแรงอัด

ว.ส.ท.

SDM

▶ ความยาวฝังยึดสำหรับเหล็กข้ออ้อยรับแรงอัดพิจารณาจากความยาวฝังยึดพื้นฐาน  
คูณกับตัวคูณปรับค่า แต่ต้องไม่น้อยกว่า **20** ซม.

▶ ความยาวฝังยึดพื้นฐาน  $l_{dc} = \frac{0.075 d_b f_y}{\sqrt{f'_c}}$  แต่ต้องไม่น้อยกว่า  $0.0043 d_b f_y$

▶ ตัวคูณปรับค่าความยาวฝังยึดสำหรับเหล็กข้ออ้อยรับแรงอัด:

→ **เหล็กเสริมเกิน** กว่าที่ต้องการจากการวิเคราะห์  $(A_s \text{ ที่ต้องการ}) / (A_s \text{ ที่เสริมจริง})$

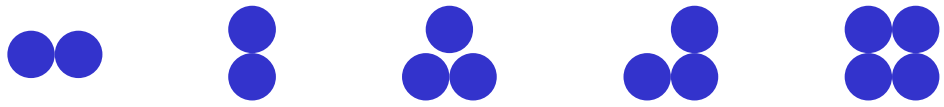
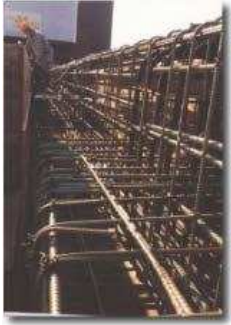
→ **เหล็กปลอกเกลียว** ขนาด  $\geq 6$  มม. และ ระยะเกลียว  $\leq 10$  ซม. **0.75**

→ **เหล็กปลอกเดี่ยว** ขนาด  $\geq 12$  มม. และ ระยะห่าง  $\leq 10$  ซม. **0.75**

# ความยาวฝังยึดของเหล็กข้ออ้อยที่มัดรวมกันเป็นกำ

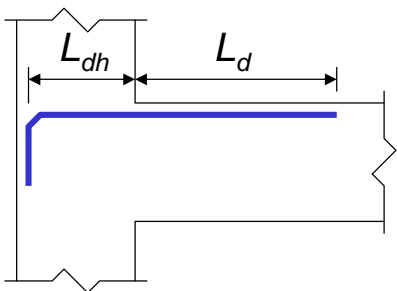
SDM

ว.ส.ท.



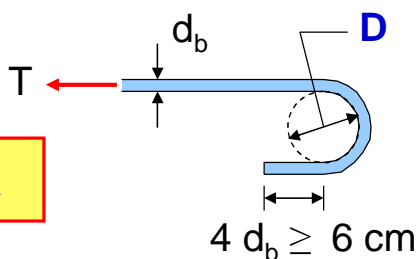
- ▶ ความยาวฝังยึดของเหล็กแต่ละเส้นที่มัดรวมกันเป็นกำเพื่อรับแรงดึงหรือแรงอัด
  - ต้องเพิ่มอีกร้อยละ 20 สำหรับเหล็ก 3 เส้นมัดรวมกันเป็นกำ
  - ต้องเพิ่มอีกร้อยละ 33 สำหรับเหล็ก 4 เส้นมัดรวมกันเป็นกำ
- ▶ ในการพิจารณาตัวแปรต่างๆให้ถือว่าเหล็กที่มัดรวมกันเป็นกำเป็นเสมือนเหล็กเส้นเดี่ยวที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่หามาจากพื้นที่หน้าตัดเทียบเท่าซึ่งมีจุดศูนย์กลางตรงกัน

## การฝังยึดโดยการงอขอมาตรฐานรับแรงดึง

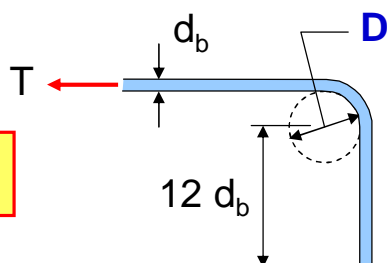


การดัดงอปลายเหล็กเสริมเพื่อเพิ่มการฝังยึดเมื่อความยาวเหล็กที่ต้องการตามระยะฝังยึดมีไม่เพียงพอ  
 การทำงอขอมาตรฐานจะมีแบบ **90°** และ **180°**

180° Hook



90° Hook



### ขนาดเล็กที่สุดของวงโค้งการดัด (D)

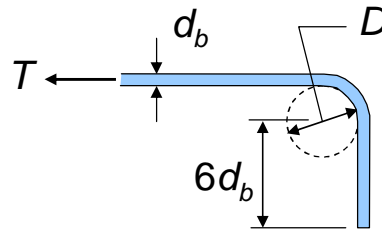
ว.ส.ท.	6 มม. ถึง 25 มม.	6 $d_b$
	28 มม. ถึง 36 มม.	8 $d_b$
	44 มม. ถึง 57 มม.	10 $d_b$

ACI	DB10 – DB25	8 $d_b$
	DB28 – DB36	10 $d_b$
	DB40 – DB60	12 $d_b$

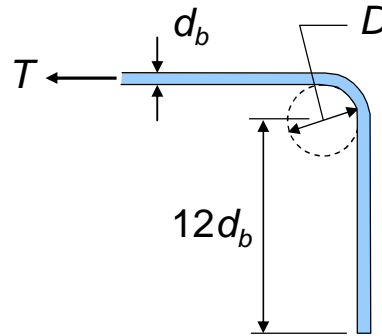
# การขอมาตรฐานสำหรับเหล็กปลอก

ว.ส.ท.

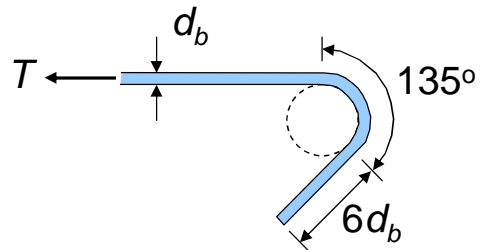
สำหรับเหล็กปลอกขนาด  
6 มม. ถึง 16 มม.



สำหรับเหล็กปลอกขนาด  
20 มม. ถึง 25 มม.



สำหรับเหล็กปลอกขนาด  
6 มม. ถึง 25 มม.



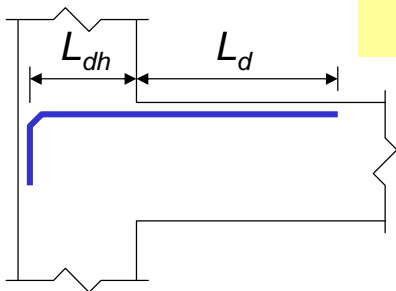
# ความยาวฝังยึดของเหล็กขอมาตรฐาน

ว.ส.ท.

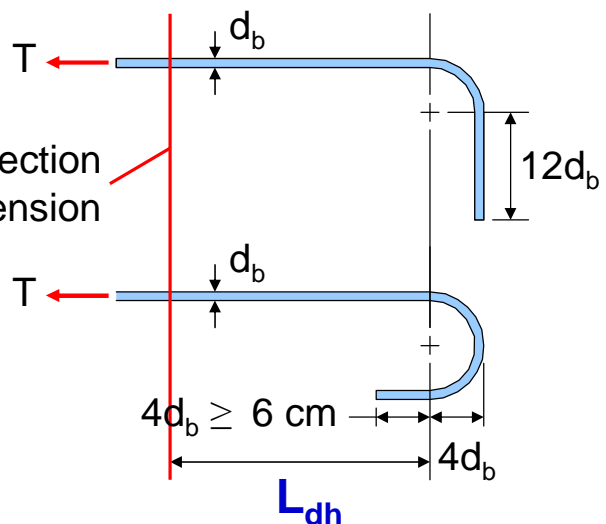
SDM

- ▶ ความยาวฝังยึดสำหรับเหล็กข้ออ้อยรับแรงดึงซึ่งหยุดโดยการขอมาตรฐานพิจารณาจากความยาวพื้นฐานคูณกับตัวคูณปรับค่า แต่ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากกว่าของ  $8 d_b$  และ **20** ซม.

**Combined actions:** - Bond along straight length  
- Anchorage provided by hook



Critical section  
full bar tension



# ความยาวฝังยึดของเหล็กงอขอมมาตรฐาน

ว.ส.ท.

SDM

- ▶ ความยาวฝังยึดพื้นฐานสำหรับเหล็กข้ออ้อยงอซึ่ง  $f_y = 4,000$  กก./ชม.<sup>2</sup>

ว.ส.ท.

$$l_{hb} = \frac{320 d_b}{\sqrt{f'_c}}$$

ACI 318-08

$$l_{hb} = \frac{0.075 \psi_e f_y}{\sqrt{f'_c}} d_b$$

- ▶ ตัวคูณปรับค่าตามสภาพการใช้งานมีดังนี้

→ กำลังครากเหล็กเส้นที่  $f_y$  มีค่าต่างจาก 4,000 กก./ชม.<sup>2</sup>

$f_y / 4,000$

→ เหล็กเส้น  $\leq$  DB36 คอนกรีตหุ้มด้านข้าง  $\geq 6$  ซม. และ  
สำหรับงอฉากที่มีระยะหุ้มเลยของอ  $\geq 5$  ซม.

0.7

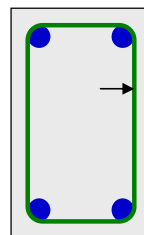
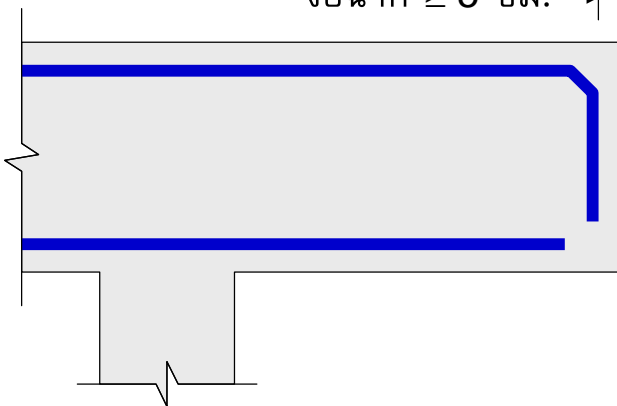
# ความยาวฝังยึดของเหล็กงอขอมมาตรฐาน

ว.ส.ท.

SDM

คอนกรีตหุ้มปลาย

งอฉาก  $\geq 5$  ซม. → | ←



← คอนกรีตหุ้มด้านข้าง  
หนา  $\geq 6$  ซม.

→ เหล็กเส้น  $\leq$  DB36 ของอภายในปลอกมีระยะห่างตลอด

0.8

ความยาวฝังยึด  $\leq 3 d_b$

→ เหล็กเสริมเกินกว่าที่ต้องการจากการวิเคราะห์  $(A_s \text{ ที่ต้องการ}) / (A_s \text{ ที่เสริมจริง})$

### ข้อสอบภย

ข้อที่ : 73



จงประมาณระยะฝังยึดจากหน้าตัดวิกฤตถึงตำแหน่งที่ต้องเริ่มงอเหล็กเสริมเพื่อทำเป็น สำหรับเหล็ก DB25 ( $A_s = 4.91 \text{ ซม.}^2$ ) ที่รับแรงดึง ซึ่งวิธี WSD กำหนดว่า "ของมาตรฐาน" มีกำลังรับแรงดึงได้เท่ากับ  $700 \text{ กก./ซม.}^2$  กำหนดให้  $f_c' = 200 \text{ กก./ซม.}^2$ ,  $f_y = 3000 \text{ กก./ซม.}^2$  และหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ของ DB25 =  $13 \text{ กก./ตร.ซม.}$

$$\text{แรงดึงทั้งหมด } A_s f_s = 4.91 \times 1500 = 7365 \text{ kg}$$

$$\text{แรงยึดเหนี่ยวที่ต้องการ} = 7365 - 700 \times 4.91 = 3928 \text{ kg}$$

$$\text{ระยะฝังยึด} : \pi \times 2.5 \times 13 \times L = 3928 \rightarrow L = 38.5 \text{ cm}$$

### ข้อสอบภย

ข้อที่ : 74

จงใช้วิธี USD ประมาณระยะฝังยึดจากหน้าตัดวิกฤตถึงตำแหน่งโค้งงอเหล็กเสริมเมื่อทำเป็น "ของมาตรฐาน" สำหรับเหล็ก RB25 ( $A_s = 4.91 \text{ ซม.}^2$ ) ที่รับแรงดึง กำหนดให้  $f_c' = 150 \text{ กก./ซม.}^2$ ,  $f_y = 2400 \text{ กก./ซม.}^2$  และให้ modification factor = 1.0

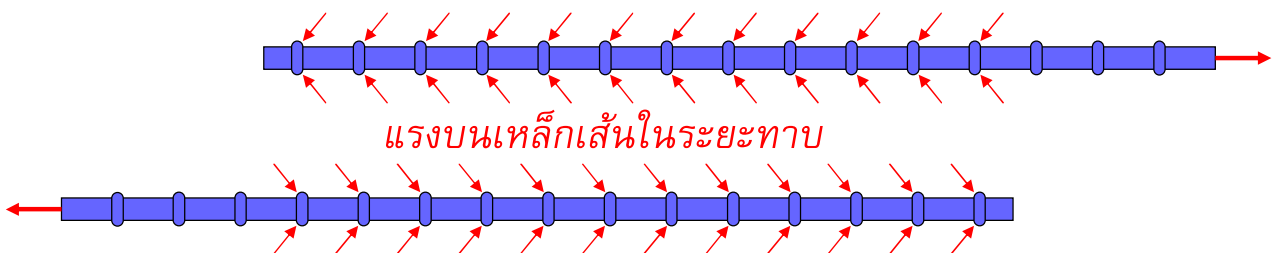
$$L_{hb} = \frac{320 d_b}{\sqrt{f_c'}} = \frac{320 \times 2.5}{\sqrt{150}} = 65.3 \text{ cm}$$

$$L_{dh} = 65.3 \times \frac{2400}{4000} = 39.2 \text{ cm}$$

## การต่อเหล็กเสริม (Splicing)

การต่อเหล็กเสริมในคานและเสา มักเกิดขึ้นบ่อยๆ ในงานก่อสร้าง ซึ่งอาจทำได้หลายวิธี ได้แก่ การต่อทาบ การต่อเชิงกล การต่อเชื่อม และการต่อปลายแยกทาบ

- ▶ **การต่อทาบ (lap splicing)** จะใช้การถ่ายเทแรงระหว่างเหล็กเส้นภายในระยะทาบ ใช้กับเหล็กขนาดไม่เกิน **36 มม.**



- ▶ การต่อทาบเหล็กแบบผิวไม่สัมผัสในคาน เหล็กเส้นต้องอยู่ห่างกัน  $\leq 1/5$  ระยะทาบ และไม่เกิน **15 ซม.**

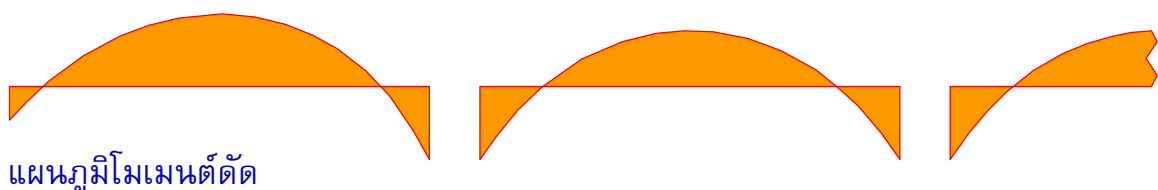
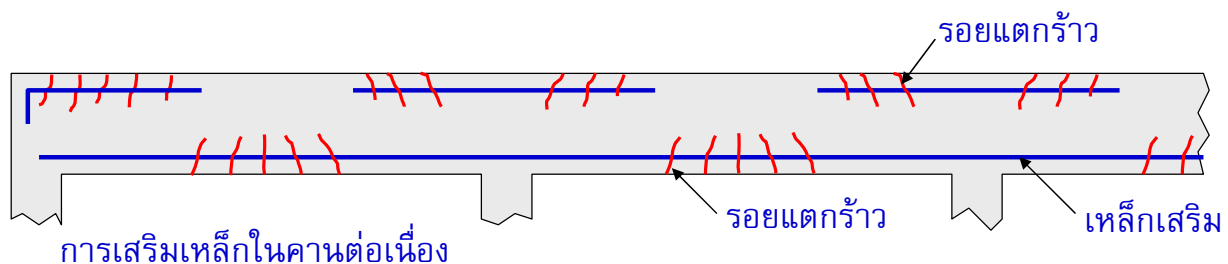
- ▶ การต่อทาบเหล็กเส้นที่มีมัดรวมเป็นกำ ให้ใช้ความยาวที่ต้องการของแต่ละเส้น และเพิ่มระยะตามจำนวนเส้นใหม่มัดคือ สำหรับมัดละ 2-3 เส้นเพิ่มระยะทาบ 20% ส่วนมัดละ 4 เส้นเพิ่มระยะทาบ 33% ห้ามต่อเหล็กทั้งมัดบริเวณเดียวกัน
- ▶ **การต่อเชิงกล** ข้อต่อทางกลต้องรับแรงดึงหรือแรงอัดได้อย่างน้อยที่สุด  $1.25 f_y$  ของเหล็กเส้น
- ▶ **การต่อเชื่อม** รอยต่อเชื่อมแบบต่อชนต้องรับมีกำลังอย่างน้อยที่สุด  $1.25 f_y$  ของเหล็กเส้น
- ▶ **การต่อเหล็กเสริมข้ออ้อยรับแรงดึง** กำหนดชั้นคุณภาพ **A** และ **B** แต่ทั้งนี้ ระยะทาบต้องไม่น้อยกว่า **30** ซม.

การต่อชั้นคุณภาพ **A**  $\longrightarrow 1.0 l_d$

การต่อชั้นคุณภาพ **B**  $\longrightarrow 1.3 l_d$

## การหยุดเหล็กเสริมในคาน (Bar Cutoff)

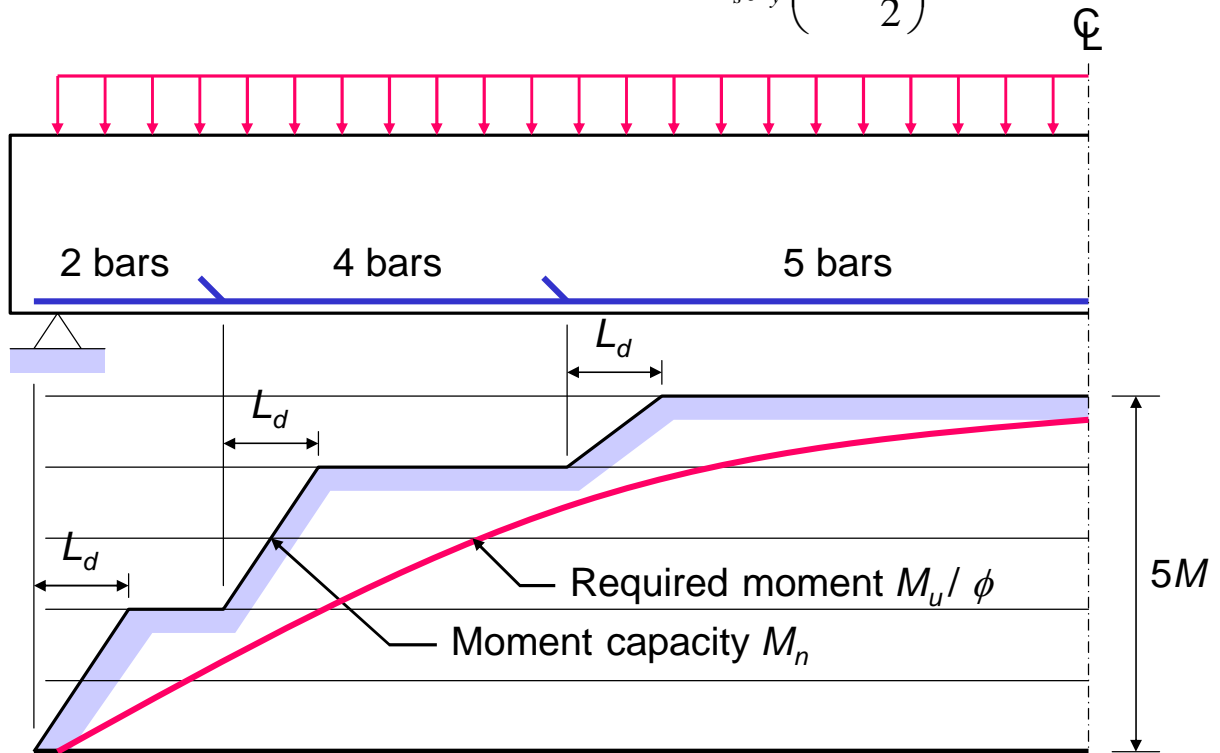
เหล็กจะถูกเสริมเข้าไปในคานกริตบริเวณที่รับแรงดึง ในคานต่อเนื่องจะเสริมเหล็กล่างที่กลางช่วงเพื่อรับโมเมนต์บวก และเสริมเหล็กบนที่จุดรองรับเพื่อรับโมเมนต์ลบ



เพื่อความประหยัดเหล็กเสริมบางเส้นจะถูกหยุดในบริเวณที่ไม่ต้องการ

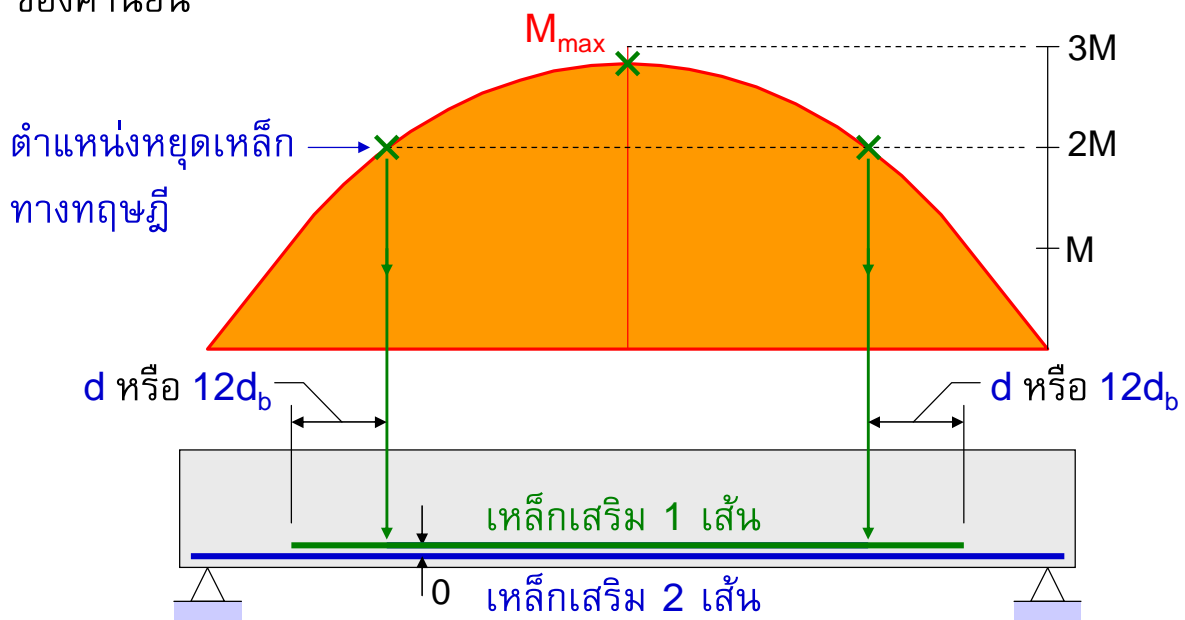
# ความสามารถในการต้านทานโมเมนต์ดัดของคาน

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



## ตำแหน่งหยุดเหล็กเสริมในคานช่วงเดียว

- ในการฝังเหล็กเสริมรับแรงดัด ต้องยื่นเหล็กเลยจุดที่ไม่ต้องรับแรงไปเป็นระยะ  $d$  หรือ  $12 d_b$  โดยใช้ค่าที่มากกว่า ยกเว้นที่จุดรองรับคานช่วงเดียวและปลายอิสระของคานยื่น

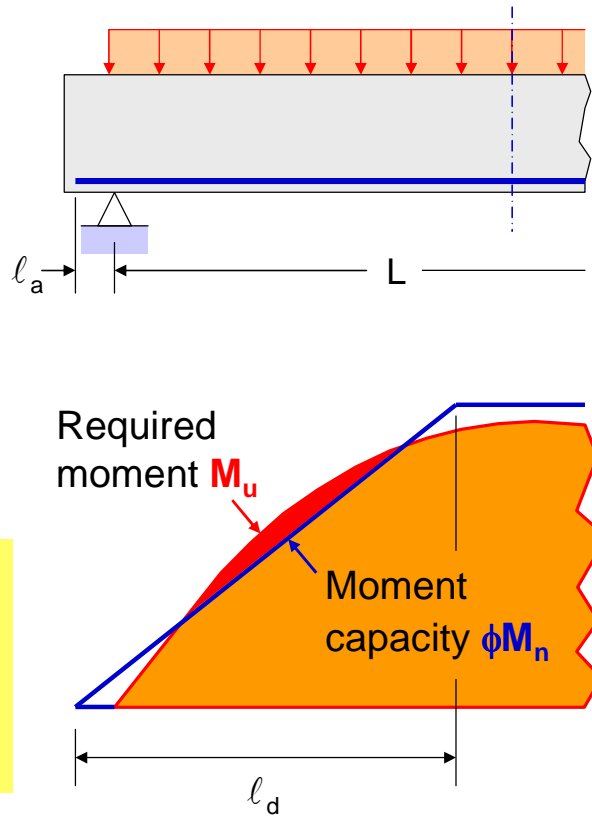


# การหยุดเหล็กเสริมที่จุดรองรับของคานช่วงเดียว

คานช่วงเดียวยรับน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่สม่ำเสมอ  
มีแผนภูมิโมเมนต์ดัดดังในรูป

กำลังโมเมนต์จะเพิ่มเป็นเส้นตรงจากศูนย์ที่  
ปลายคานจนมีกำลังเต็มทีภายในระยะ  $l_d$

อาจจะมีช่วงที่ความต้องการโมเมนต์มากเกินไป  
กำลังโมเมนต์ อาจทำให้เกิดการวิบัติเฉพาะที่  
จากแรงยึดเหนี่ยว (local bond failure)



# การหยุดเหล็กเสริมที่จุดรองรับของคานช่วงเดียว

ดังนั้นต้องทำให้ความชันของกำลังโมเมนต์  
ไม่น้อยกว่าเส้นสัมผัส O-A ดังในรูป

ความชันของกำลังโมเมนต์ =  $\phi M_n / l_d$

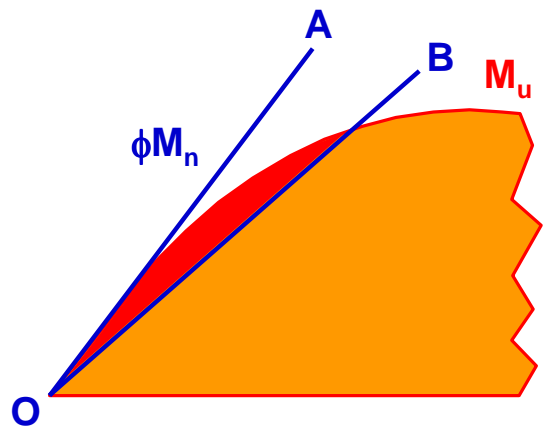
ความชันของความต้องการโมเมนต์  $\frac{dM_u}{dx} = V_u$

ดังนั้นความชันของกำลังโมเมนต์น้อยที่สุดคือ

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

จะได้ว่าความยาวฝังยึดมากที่สุดที่ยอมให้คือ

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



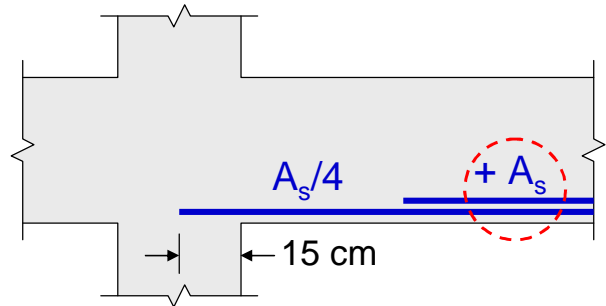
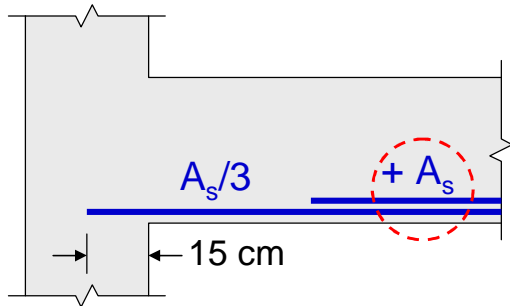


## การฝังยึดของเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก

ว.ส.ท.

SDM

- ▶ ต้องยื่นเหล็กเสริมอย่างน้อย **1** ใน **3** ของเหล็กรับโมเมนต์บวกในคานช่วงเดียวเลยเข้าไปในฐานรองรับไม่น้อยกว่า **15** ซม.



- ▶ ต้องยื่นเหล็กเสริมอย่างน้อย **1** ใน **4** ของเหล็กรับโมเมนต์บวกในคานต่อเนื่องเลยเข้าไปในฐานรองรับไม่น้อยกว่า **15** ซม.

## การฝังยึดของเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก

ว.ส.ท.

SDM

- ▶ ที่จุดรองรับคานช่วงเดียวและที่จุดดัดกลับ เหล็กเสริมรับโมเมนต์บวกต้องมีขนาดที่จำกัดเพื่อให้ความยาวฝังยึดมีค่าไม่เกิน

จุดรองรับคานช่วงเดียว

$$l_d \leq 1.3 \frac{M_n}{V_u} + l_a$$

จุดดัดกลับคานต่อเนื่อง

$$l_d \leq \frac{M_n}{V_u} + l_a$$

โดยที่  $M_n$  = กำลังโมเมนต์ดัดคำนวณโดยสมมุติให้เหล็กเสริมทั้งหมดที่หน้าตัดมีหน่วยแรงถึง  $f_y$

$V_u$  = แรงเฉือนประลัยที่หน้าตัด

$l_a$  ที่จุดรองรับคานช่วงเดียวคือระยะฝังที่เลยจุดศูนย์กลางที่รองรับ

$l_a$  ที่จุดดัดกลับคานต่อเนื่องคือระยะฝังที่เลยจุดดัดกลับ  $d$  หรือ

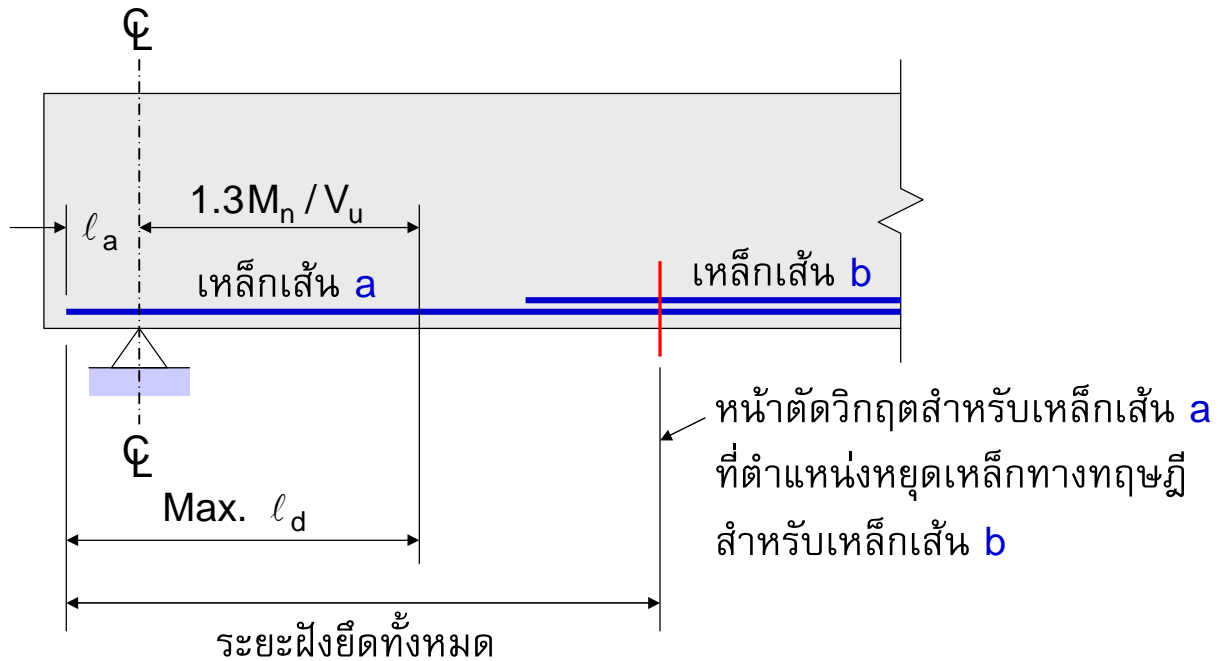
$12d_b$  โดยใช้ค่าที่มากกว่า

# การหยุดเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก

ว.ส.ท.

SDM

## ที่จุดรองรับของคานช่วงเดียว

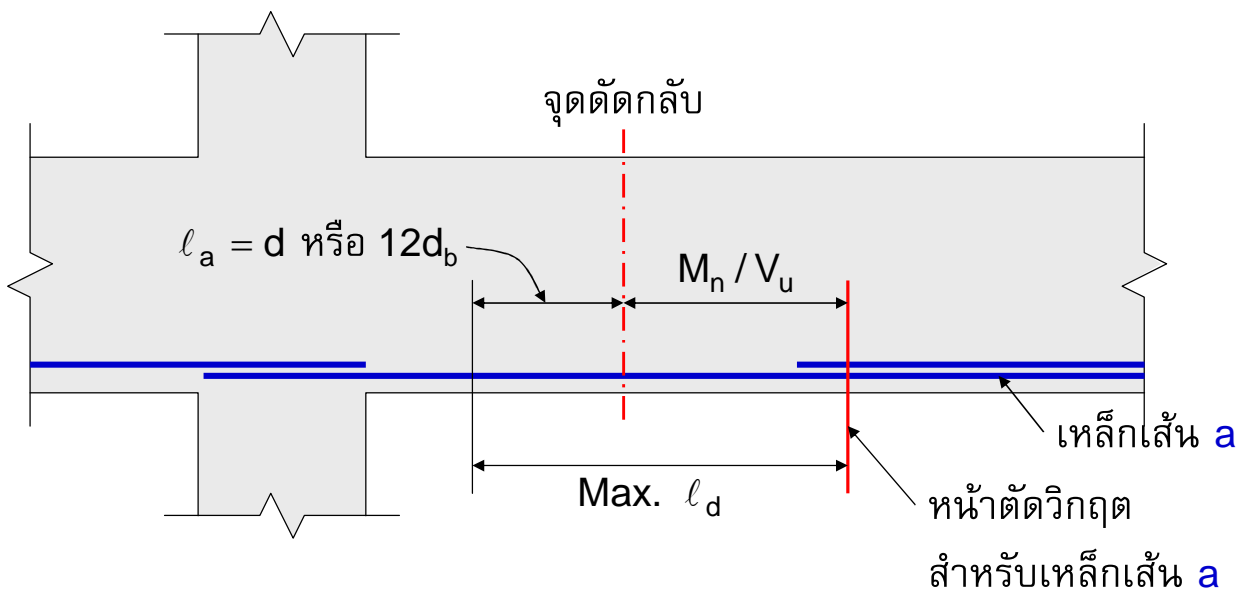


# การหยุดเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก

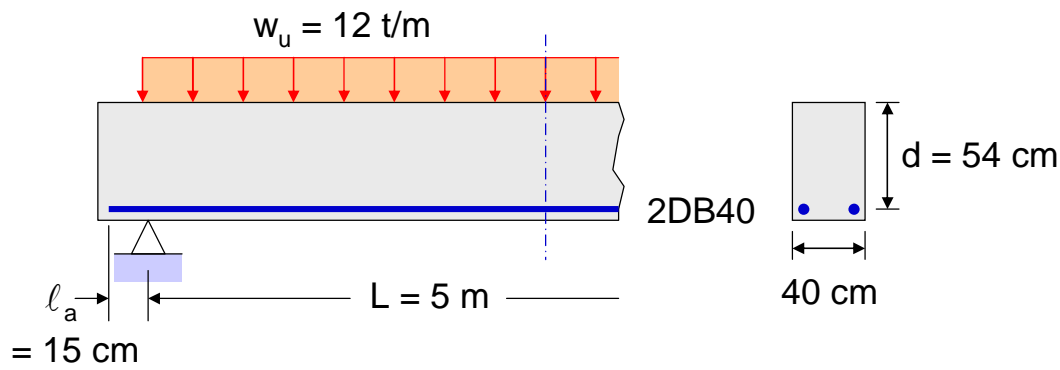
ว.ส.ท.

SDM

## ที่จุดดัดกลับของคานต่อเนื่อง



# ตัวอย่าง การตรวจสอบการฝังยึดของเหล็กรับโมเมนต์บวก



## 1. คำนวณความยาวฝังยึดของ DB40

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

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

## 2. ตรวจสอบความยาวฝังยึดของ DB40

จุดรองรับคานช่วงเดียว

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

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

$$l_d \leq 1.3 \frac{M_n}{V_u} + l_a$$

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

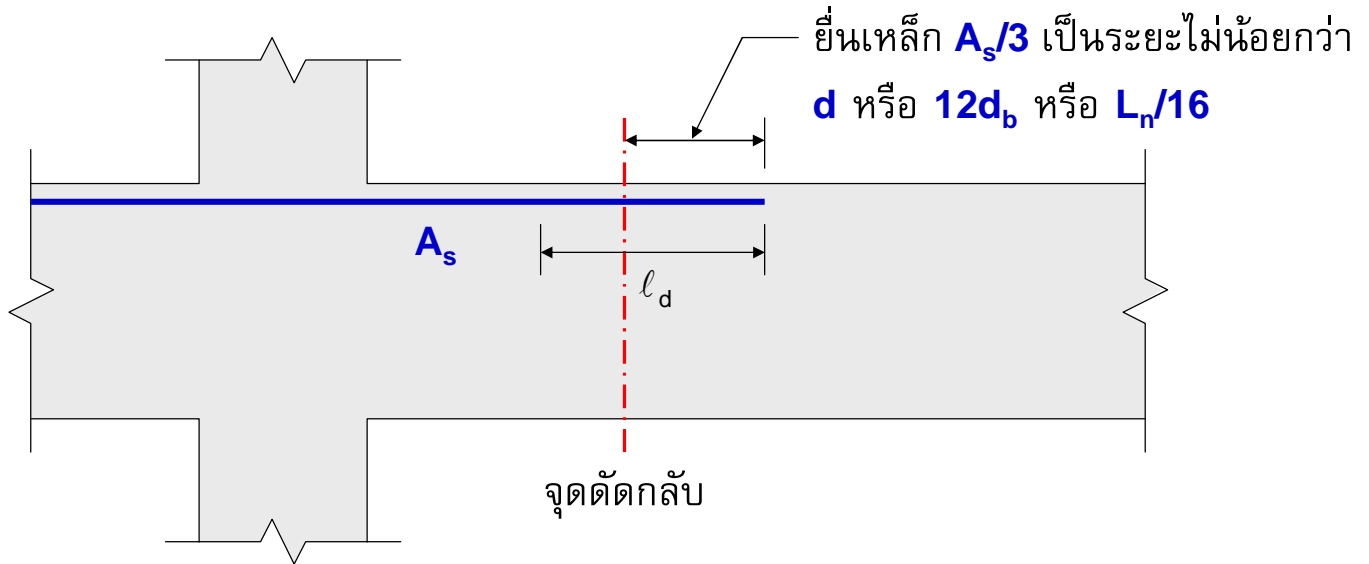
$$= 48.1 \text{ ตัน-เมตร}$$

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

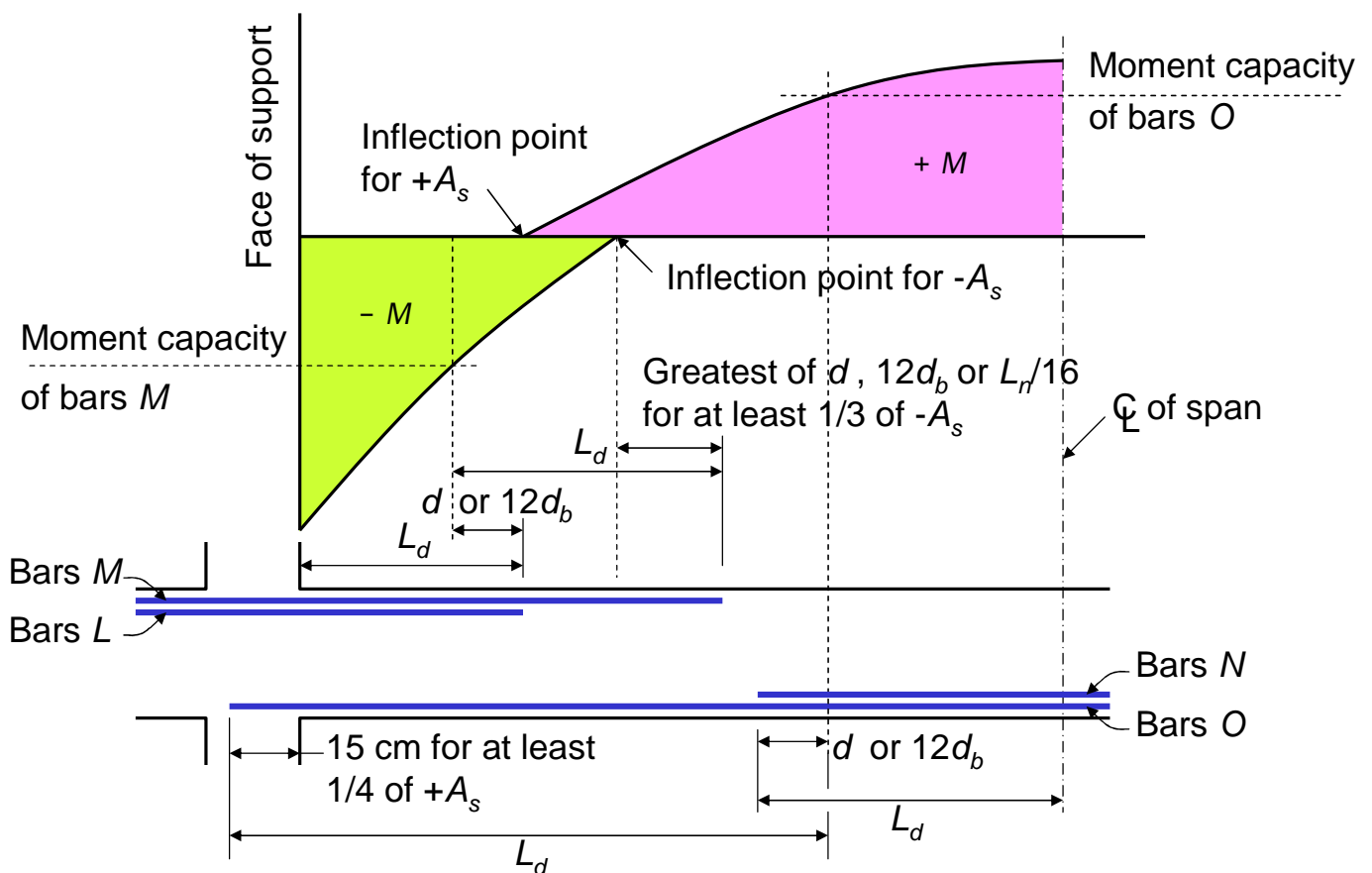
$$1.3 \frac{M_n}{V_u} + l_a = \frac{1.3 \times 48.1 \times 100}{30} + 15 = 223 \text{ ซม.}$$

ความยาวฝังยึด  $l_d = 196$  ซม. น้อยกว่า 223 ซม. ดังนั้น DB40 สามารถใช้ได้

- ▶ ต้องยื่นเหล็กเสริมอย่างน้อย **1 ใน 3** ของเหล็กรับโมเมนต์ลบเลยจุดตัดกลับ  
ไม่น้อยกว่า **d** หรือ **12d<sub>b</sub>** หรือ **1/16** ของระยะช่วงว่างคาน โดยใช้ค่าที่มากกว่า

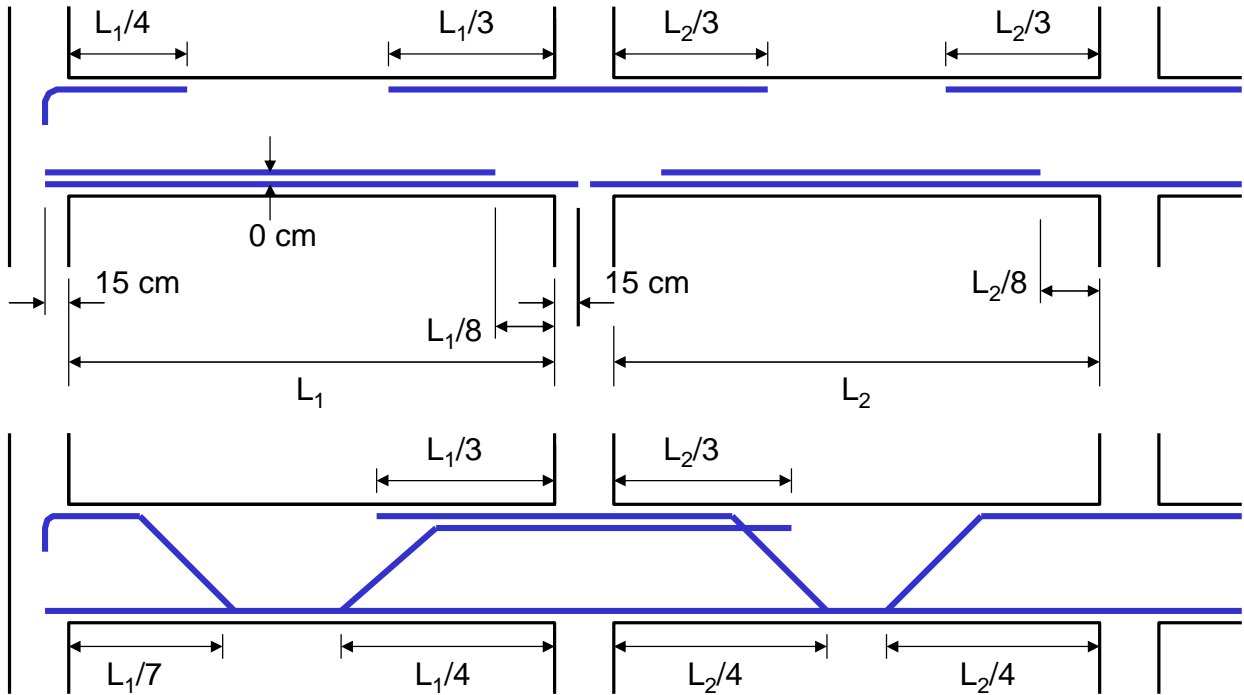


## Bar Cutoff requirements of the ACI Code



# Standard Cutoff and Bend Points for Bars

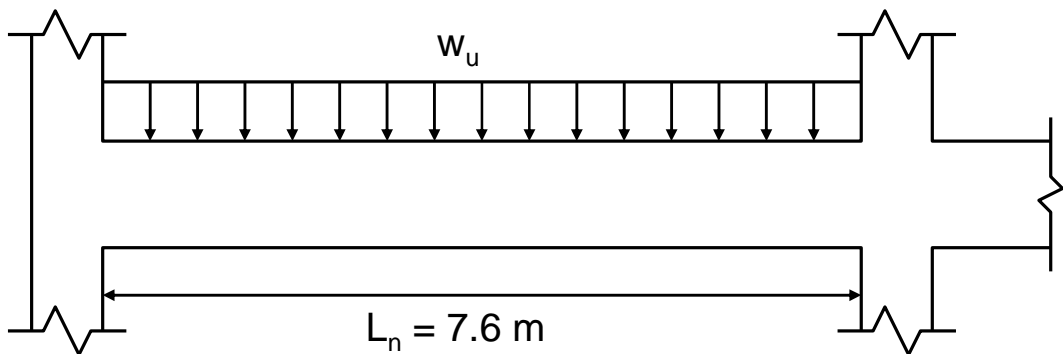
For approximately equal spans with uniformly distributed loads



**ตัวอย่าง 6.3** จงพิจารณาความยาวของเหล็กบนและเหล็กล่างของคานต่อเนื่องช่วงนอกสุดดังแสดง  
 น้ำหนักแผ่ประลัยทั้งหมดคือ  $w_u = 8.0$  ตัน กำหนด  $f'_c = 280$  กก./ชม.<sup>2</sup>,  $f_y = 4,000$  กก./ชม.<sup>2</sup>,  
 $b = 40$  ซม.,  $h = 60$  ซม. และคอนกรีตหุ้ม 4 ซม.

**Exterior column**

**Interior column**



1. ออกแบบเหล็กเสริมรับโมเมนต์และแรงเฉือนเบื้องต้น

a. ใช้การวิเคราะห์แบบประมาณค่าโมเมนต์และแรงเฉือน

Interior face of exterior support

$$-M_u = w_u L_n^2 / 16 = 8(7.6)^2 / 16 = -28.88 \text{ t-m}$$

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

b. พิจารณาเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด โดยใช้คอนกรีตหุ้ม 4 ซม. เหล็กปลอก DB10 และเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด DB25 หรือ DB28 ค่า  $d \approx 60 - 4 - 1.0 - 1.4 \approx 53.6$  ซม.

$M_u$	$A_s$ required	Bars	$A_s$ provided
- 28.88 t-m	15.97 cm <sup>2</sup>	4DB25	19.63 cm <sup>2</sup>
+ 33.01 t-m	18.44 cm <sup>2</sup>	4DB25	19.63 cm <sup>2</sup>
- 46.21 t-m	26.76 cm <sup>2</sup>	2DB25+3DB28	28.29 cm <sup>2</sup>

