

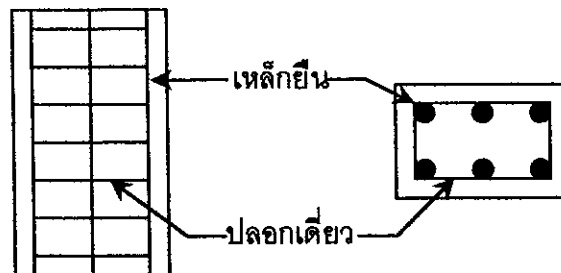
## บทที่ 2

### เนื้อหาโดยทั่วไปของเสา

#### 2.1 ประเภทของเสาคอนกรีต

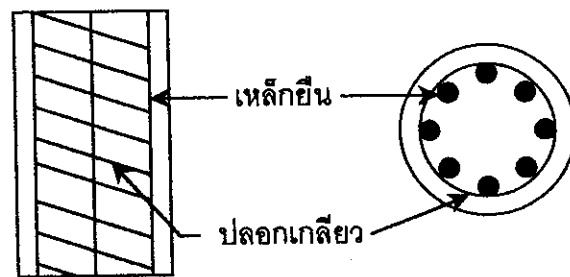
เสาคอนกรีตเสริมเหล็กมีหลายประเภทในที่นี่จะกล่าวถึงเฉพาะ การแบ่งประเภทเสาคอนกรีตโดยพิจารณาจากรูปร่างหน้าตัดเสาและการจัดเหล็กยื่น ยกตัวอย่างเช่น เสาปลอกเดี่ยว เสากลมปลอกเกลียว เสาคอนกรีตเชิงประกอบ และอื่นๆ โครงการนี้ทำการวิจัยเพียง เสาปลอกเดี่ยว และเสากลมปลอกเกลียว

เสาปลอกเดี่ยว (Tied columns) เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดเหล็กยื่นใช้ช่วยคอนกรีตรับน้ำหนักและมีเหล็กเสริมทางข้างชนิดปลอกเดี่ยวพันรอบเหล็กยื่นที่วางในตำแหน่งขอบของรูปสี่เหลี่ยมและเว้นเป็นระยะๆ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เสาสี่เหลี่ยมปลอกเดี่ยว

เสาปลอกเกลียว (Spiral columns) เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดเหล็กยื่นใช้ช่วยคอนกรีตรับน้ำหนักและมีเหล็กเสริมทางข้างชนิดปลอกเกลียวซึ่งพันต่อเนื่องกันรอบเหล็กยื่นที่เป็นเส้นรอบวงของวงกลม ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เสาปลอกเกลียว

ในทางออกแบบจะต้องพิจารณาถึงพฤติกรรมของเสาคอนกรีต ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เสาสั้น และเสายาว

**เสาสั้น** หมายถึง เสาที่มีอัตราส่วนความชะลุดน้อยไม่เกินพิกัดที่จะทำให้เสานั้นวิบัติโดยการโก่งเดาะทางข้าง

**เสายาว** หมายถึง เสาที่มีอัตราส่วนความชะลุดมาก ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสายาวจะน้อยกว่าเสาสั้นที่มีขนาดรูปตัดอย่างเดียวกัน เพราะเสายาวเกิดการโก่งเดาะทางข้างก่อน

การพิจารณาว่าเป็นเสาสั้น หรือเสายาวนั้น สามารถพิจารณาจากอัตราส่วนความชะลุดประสิทธิผล ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.ที่กำหนดไว้

## 2.2 การประเมินผลความชะลุดโดยประมาณ ( จาก ว.ส.ท. 1008-38 ข้อ 4311 )

2.2.1 องค์อาคารรับแรงอัดที่มีการยึดเพื่อต้านการเคลื่อนตัวทางข้างไม่ต้องคิดผลของความชะลุด เมื่อค่า  $\frac{kl_u}{r} < 34 - 12 \frac{M_{1b}}{M_{2b}}$

2.2.2 องค์อาคารรับแรงอัดที่ไม่มีการยึดเพื่อต้านการเคลื่อนตัวทางข้างไม่ต้องคิดผลของความชะลุด เมื่อค่า  $\frac{kl_u}{r} < 22$

2.2.3 สำหรับองค์อาคารรับแรงอัดทุกชนิด ที่มีค่า  $\frac{kl_u}{r} > 100$  การวิเคราะห์ที่ต้องคำนึงถึงอิทธิพลของแรงตามแนวแกน การแปรผันของโมเมนต์อินเนอร์เซียที่มีต่อค่าสติเฟเนลขององค์อาคาร โมเมนต์ที่ปลายยึดแน่น ผลของการแอ่นตัวที่มีต่อโมเมนต์และแรง รวมทั้งผลของช่วงเวลาที่ทำให้ด้วย

เมื่อ  $l_u$  = ความยาวส่วนที่ไม่มีการยึดรั้งขององค์อาคารรับแรงอัด

$r$  = รัศมีไจเรชั่นของหน้าตัดขององค์อาคารรับแรงอัด

$\frac{M_{1b}}{M_{2b}}$  = คำน้อยกว่าของโมเมนต์หารด้วยค่ามากกว่าของโมเมนต์ มีค่าเป็นบวกเมื่อ

องค์อาคารงอในรูปโค้งเดียวกัน มีค่าเป็นลบถ้างอในรูปโค้งคัดกลับ

$k$  = ตัวคูณความยาวประสิทธิผลขององค์อาคารรับแรงอัด

$\leq 1$  สำหรับองค์อาคารรับแรงอัดที่มีการยึดเพื่อต้านการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง

$> 1$  สำหรับองค์อาคารรับแรงอัดที่ไม่มีการยึดเพื่อต้านการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง

นอกจากนี้ค่า  $k$  อาจประมาณได้จากรูปที่ 3

Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical $k$ value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0

รูปที่ 3 แสดงค่า Effective length factor ที่เงื่อนไขต่างๆ

สำหรับการหาค่า  $k$  โดยละเอียดดูได้จากภาคผนวก

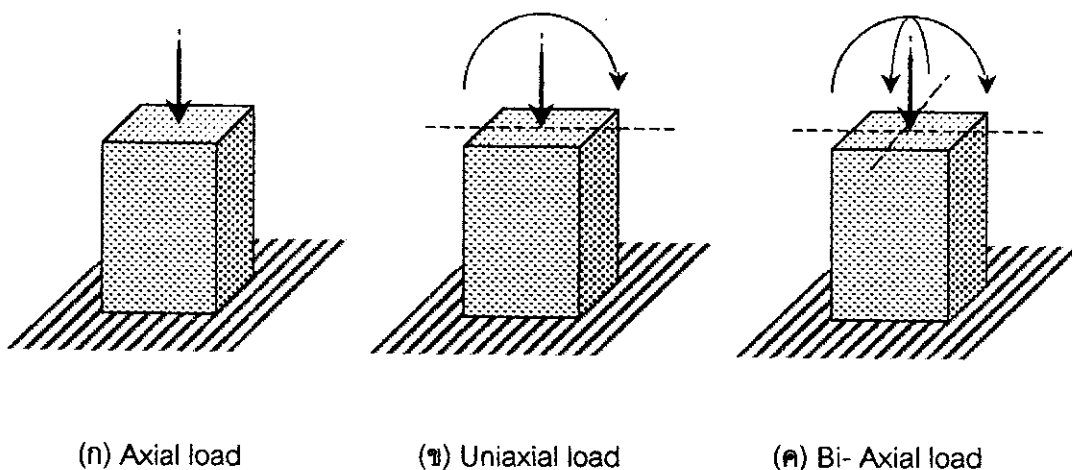
## 2.3 ประเภทของแรงที่กระทำต่อเสา

2.3.1 Axial Load หมายถึง แรงกระทำตามแนวของเสา

2.3.2 Uniaxial Load หมายถึง แรงกระทำตามแนวของเสา และโมเมนต์ดัดกระทำทางเดียว

2.3.3 Bi - axial Load หมายถึง แรงกระทำตามแนวของเสา และโมเมนต์ดัดกระทำทั้งสองทาง

ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4



(ก) Axial load

(ข) Uniaxial load

(ค) Bi- Axial load

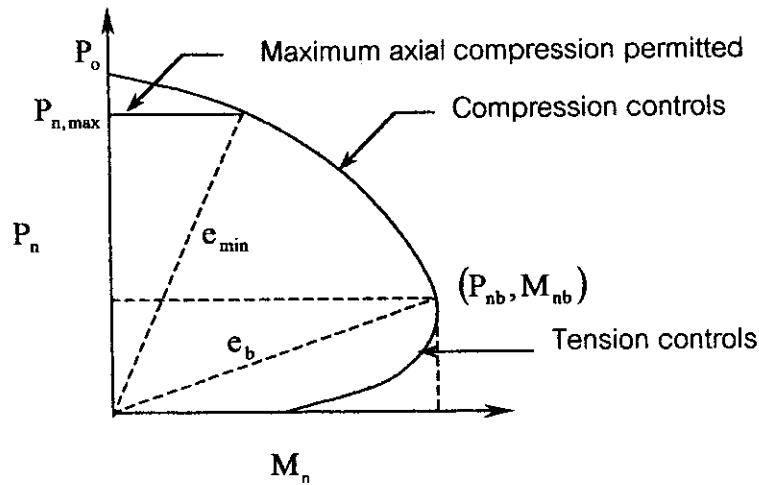
รูปที่ 4 แรงกระทำต่อเสาประเภทต่างๆ

## 2.4 ชนิดของการวิบัติ

2.4.1 Compression failure หมายถึง การวิบัติแบบแรงอัดเป็นหลัก ซึ่งคอนกรีตถูกอัดแตกก่อนที่เหล็กเสริมรับแรงดึงจะถึงจุดคราก

2.4.3 Balance failure หมายถึง การวิบัติแบบสมดุล คือ จุดที่คอนกรีตถูกอัดแตกพร้อมกับเหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดคราก

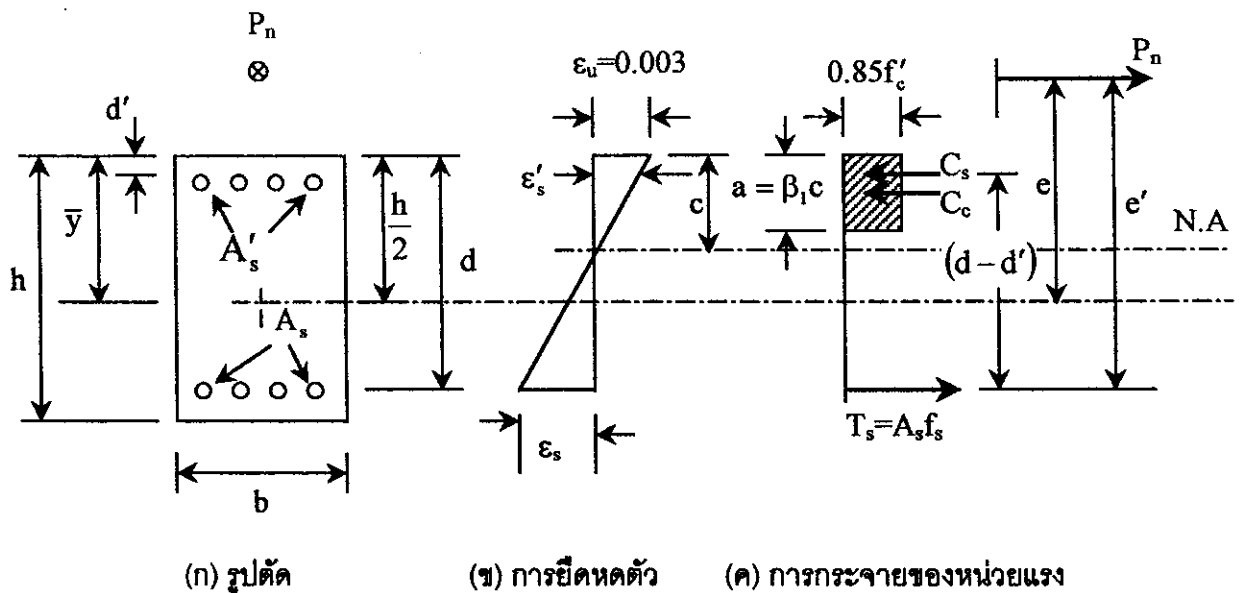
2.4.2 Tension failure หมายถึง การวิบัติแบบแรงดึงเป็นหลัก เกิดที่ด้านรับแรงดึงโดยที่เหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดครากก่อนที่คอนกรีตถูกอัดแตก



รูปที่ 5 กราฟแสดงชนิดของการวิบัติ

**2.5 เนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เสาโดยวิธีกำลังประลัย**

พิจารณาเสาคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด  $b \times h$  ที่มีเหล็กยื่นเรียงขนานกับแกนดัด และรับแรงอัดสูงสุด  $P_n$  กระทำที่ระยะเยื้องศูนย์กลาง  $e$  เมื่อเทียบกับแนวศูนย์กลางมวลพลาสติก (Plastic centroid) หรือกระทำที่ระยะเยื้องศูนย์กลาง  $e'$  เมื่อเทียบกับแนวศูนย์กลางของเหล็กเสริมรับแรงดึง ดังรูปที่ 6(ก) หากสมมติให้การกระจายของหน่วยการยืด-หดตัว และของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดเสาเป็นไปตามรูปที่ 6(ข) และ 6(ค)



รูปที่ 6 เสารับแรงอัดและแรงดัดพร้อมกัน

จากรูปสามารถหาความสัมพันธ์ของค่าต่างๆได้ดังนี้

$$\epsilon_s = 0.003 \frac{d-c}{c} \quad \text{และ} \quad \epsilon'_s = 0.003 \frac{c-d'}{c}$$

$$f'_s = E_s \epsilon'_s \leq f_y \quad \text{และ} \quad f_s = E_s \epsilon_s \leq f_y$$

จากรูปการกระจายของหน่วยแรงบนหน้าตัดเสา จะได้

แรงอัดในคอนกรีต  $C_c = 0.85f'_c ba$

แรงอัดในเหล็กเสริมรับแรงอัด  $C_s = A'_s f'_s$

แรงดึงในเหล็กเสริมรับแรงดึง  $T_s = A_s f_s$

และจากสมดุลของแรงของแรงบนหน้าตัดเสาจะได้อิงต่อไปนี้

ถ้าตำแหน่งของแกนสะเทิน  $c$  จะมีค่าน้อยกว่า  $d$  ในการวิเคราะห์หากำลังต้านทานในกรณีนี้ มักจะสมมุติให้หน่วยแรงอัดบนรูปตัดเสาเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีความลึกหน่วยแรงอัดเท่ากับ  $a = \beta_1 c$  และหน่วยแรงอัดของคอนกรีตเฉลี่ยเท่ากับ  $0.85f'_c$  ดังสมการที่ (1)

กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด  $P_n = C_c + C_s - T_s$

หรือ  $P_n = 0.85f'_c ba + A'_s f'_s - A_s f_s$  \_\_\_\_\_ (1)

ถ้าตำแหน่งของแกนสะเทิน  $c$  จะมีค่ามากกว่า  $d$  แต่น้อยกว่า  $h$  ในการวิเคราะห์หากำลังต้านทานในกรณีนี้ มักจะสมมุติให้หน่วยแรงอัดบนรูปตัดเสาเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีความลึกหน่วยแรงอัดเท่ากับ  $a = \beta_1 c$  และหน่วยแรงอัดของคอนกรีตเฉลี่ยเท่ากับ  $0.85f'_c$  ดังสมการที่ (2) และเมื่อพิจารณาหาโมเมนต์ดัดรอบแกนศูนย์ถ่วงพลาสติก จะได้

กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด  $P_n = C_c + C_s + T_s$

หรือ  $P_n = 0.85f'_c ba + A'_s f'_s + A_s f_s$  \_\_\_\_\_ (2)

กำลังต้านทานแรงดัดสูงสุด  $M_n = P_n e = C_c \left( \bar{y} - \frac{a}{2} \right) + C_s (\bar{y} - d') + T_s (d - \bar{y})$

หรือ  $M_n = P_n e = 0.85 f'_c b a \left( \bar{y} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s (\bar{y} - d') + A_s f_s (d - \bar{y})$  ————— (3)

ถ้าให้  $P_n$  เป็นกำลังต้านทานแรงสูงสุดของรูปตัดเสา และให้  $P_{nb}$  เป็นกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด ณ สภาวะสมดุลของรูปตัดนั้น จะพบว่า

เมื่อ  $P_n > P_{nb}$  จะเกิดการวิบัติแบบแรงอัดเป็นหลัก

เมื่อ  $P_n = P_{nb}$  จะเกิดการวิบัติแบบสมดุล

เมื่อ  $P_n < P_{nb}$  จะเกิดการวิบัติแบบแรงดึงเป็นหลัก

### 2.5.1 กำลังต้านทานของเสารูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าในช่วงแรงอัดเป็นหลัก

สำหรับการวิบัติแบบแรงอัดเป็นหลักเกิดในกรณีที่ระยะเยื้องศูนย์กลางมีค่าน้อยกว่าระยะเยื้องศูนย์กลางสมดุล ( $e < e_b$ ) หรือเมื่อ  $P_n > P_{nb}$  โดยคอนกรีตถูกอัดแตก ( $\epsilon_u$  เท่ากับ 0.003 มม./มม) ก่อนที่เหล็กเสริมรับแรงดึงจะถูกดึงถึงจุดคราก ( $f_s < f_y$ ) จากรูปการกระจายของหน่วยการยืดหดตัว จะได้ตำแหน่งของแกนสะเทิน  $c$  ดังนี้

$$c = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_u + \epsilon_s} d = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_s}{E_s}} d$$

ซึ่งหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมรับแรงดึง เท่ากับ

$$f_s = E_s \epsilon_u \frac{d - c}{c} = 0.003 E_s \left( \frac{d - \frac{a}{\beta_1}}{\frac{a}{\beta_1}} \right)$$

ค่า  $\beta_1$  ดูที่ภาคผนวก

หากนำค่าหน่วยแรง  $f_s$  ที่ได้นี้ แทนลงในสมการ (1) หรือ (2) และ (3) พยายามหาค่าของระยะ  $a$  จะสามารถหาค่ากำลังต้านทานสูงสุดของเสาในกรณีได้

เมื่อระยะเยื้องศูนย์กลาง  $e$  มีค่าน้อย ตำแหน่งของแกนสะเทิน  $c$  จะมีค่ามากกว่าความลึก  $h$  ของรูปตัดเสา นั่นคือ หน้าตัดทั้งหมดของเสาจะรับแต่หน่วยแรงอัดอย่างเดียว ดังนั้น ในการวิเคราะห์หาค่ากำลังต้านทานในกรณีนี้ มักจะสมมติให้หน่วยแรงอัดบนรูปตัดเสาเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและกระจายเต็มตลอดหน้าตัดเสา โดยมีค่าหน่วยแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ  $0.85f'_c$  ซึ่งจะได้

$$P_n = 0.85f'_c b h + A'_s f'_s + A_s f_y \quad (4)$$

$$M_n = P_n e = 0.85f'_c b h \left( d - \frac{h}{2} \right) + A'_s f'_s (d - d') \quad (5)$$

เสารับแรงอัดตามแนวแกนอย่างเดียว ระยะเยื้องศูนย์กลางมีค่าเป็นศูนย์ จะได้

$$p_o = 0.85f'_c b h + A'_s f_y + A_s f_y = 0.85f'_c A_c + A_s f_y \quad (6)$$

### 5.2.2 กำลังต้านทานของเสารูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่สภาวะสมดุล

การวิเคราะห์หาค่ากำลังต้านทานแรงอัดและโมเมนต์ดัดสูงสุดของเสาที่สภาวะสมดุล โดยคอนกรีตจะถูกอัดจนกระทั่งมีค่าหน่วยการหดตัวสูงสุด  $\epsilon_u$  เท่ากับ 0.003 มม./มม. พร้อมกันกับที่หน่วยการยืดตัวของเหล็กเสริมรับแรงดึงมีค่าเท่ากับ หน่วยการยืดตัวที่จุดคราก  $\epsilon_y$  เสาจะอยู่ในสภาวะสมดุลดังกล่าวภายใต้ค่าเฉพาะของ  $P_{nb}$  และ  $e_b$  คู่หนึ่งเท่านั้น

จากหลักการของสามเหลี่ยมคล้ายในรูปของการกระจายของหน่วยการยืดหดตัวจากรูปที่ 6 จะได้ระยะจากขอบบนของส่วนรับแรงอัดถึงแนวแกนสะเทินมีค่าเท่ากับ

$$c_b = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_u + \epsilon_y} d = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}} d \quad (7)$$



$$\text{แต่ระยะ } a_b = \beta_1 c_b \text{ ดังนั้น } a_b = \beta_1 d \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}} \quad (8)$$

กำลังต้านทานแรงอัดที่สภาวะสมดุล  $P_{nb}$  และระยะเยื้องศูนย์กลางสมดุล  $e_b$  จะหาได้โดยแทนค่าระยะ  $a_b$  ลงในสมการ (1) และ (3) นั่นคือ

$$P_{nb} = 0.85f'_c b a_b + A'_s f'_s - A_s f_y \quad (9)$$

$$M_{nb} = P_{nb} e_b = 0.85f'_c b a_b \left( \bar{y} - \frac{a_b}{2} \right) + A'_s f'_s (\bar{y} - d') + A_s f_y (d - \bar{y}) \quad (10)$$

$\bar{y}$  = ระยะที่วัดจากขอบรับแรงอัดถึงแนวศูนย์กลางวงพลาสติก

### 2.5.3 กำลังต้านทานของเสารูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าในช่วงแรงดึงเป็นหลัก

สำหรับการวิบัติแบบแรงดึงเป็นหลัก เกิดในกรณีที่ระยะเยื้องศูนย์กลางมีค่ามากกว่าระยะเยื้องศูนย์กลางสมดุล ( $e > e_b$ ) หรือเมื่อ  $P_n < P_{nb}$  โดยที่เหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดครากก่อนที่คอนกรีตจะถูกอัดแตก กำลังต้านทานสูงสุดของรูปตัดสามารถหาได้จากสมการ (1) และ (2) เมื่อแทนค่า  $f_s$  ด้วย  $f_y$  ส่วนหน่วยแรงอัดในเหล็กเสริมรับแรงอัดอาจถึงจุดครากหรือไม่ก็ได้

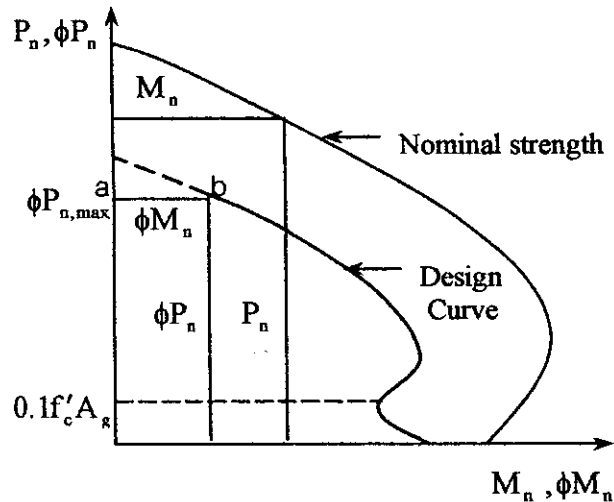
ในทางปฏิบัติจะเสริมเหล็กรับแรงอัดเท่ากับเหล็กเสริมรับแรงดึง ( $A'_s = A_s$ ) ดังนั้นระยะ  $\bar{y} = \frac{h}{2}$  และถ้า  $f'_s = f_y$  จะวิเคราะห์ได้ว่า

$$P_n = 0.85f'_c b a \quad (11)$$

$$M_n = P_n e = 0.85f'_c b a \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s f_y (d - d') \quad (12)$$

## 2.6 รูปร่างของ Interaction Curve

ACI code กำหนดให้ใช้  $\phi = 0.7$  สำหรับเสาปลอกเดี่ยว และ  $\phi = 0.75$  สำหรับเสากลมปลอกเกลียว



รูปที่ 7 รูปร่างของ Interaction Curve

ในการออกแบบเสาโดยใช้กราฟอินเตอร์แอคชันไดอะแกรมจะตัดกราฟส่วนที่อยู่ด้านบน (เส้น ab ในรูปที่ 7) ที่ตำแหน่งของเส้น  $\phi P_{n,max}$  ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{เสาปลอกเดี่ยว} \quad \phi P_{n,max} = \phi 0.80 [0.85f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y]$$

$$\phi = 0.7$$

$$\text{เสาปลอกเกลียว} \quad \phi P_{n,max} = \phi 0.85 [0.85f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y]$$

$$\phi = 0.75$$

ที่ค่า  $\phi P_n$  มีค่าต่ำกว่า  $0.1f'_c A_g$  จะสามารถเพิ่มค่า  $\phi$  จากข้อกำหนดเดิมได้ ซึ่งสามารถหาค่า  $\phi$  ได้จาก

$$\text{เสาปลอกเดี่ยว} \quad \phi = 0.9 - \frac{2P_u}{f'_c A_g} \geq 0.7$$

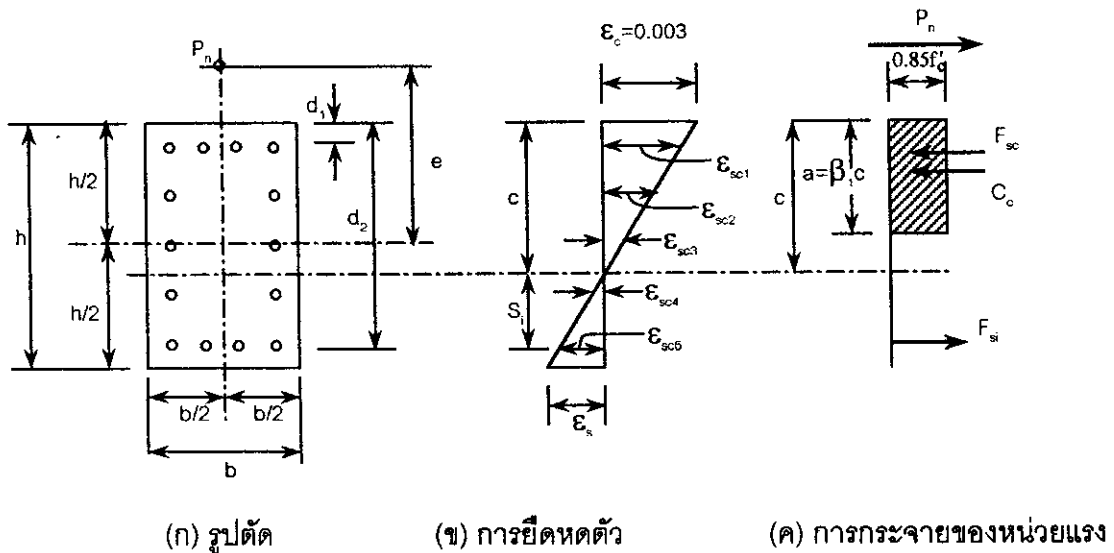
$$P_u = 0.7P_n$$

เสาปลอกเกลียว  $\phi = 0.9 - \frac{1.5P_u}{f'_c A_g} \geq 0.75$

$P_u = 0.75P_n$

**2.7 การคำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก**

**2.7.1 กำลังต้านทานของเสารูปตัดสี่เหลี่ยม**



รูปที่ 8 แสดงรายละเอียดของเสาสี่เหลี่ยม

**สมการการคำนวณ**

การคำนวณหาค่า  $\phi P_n$  และ  $\phi M_n$  ต้องสมมุติค่า  $c$  ที่ตำแหน่งต่างๆโดยให้  $A'_s = A_s$  และ

$\bar{y} = \frac{h}{2}$

$\phi P_n = 0.7(0.85f'_c ab + \sum f_{si} A_{si})$  \_\_\_\_\_ (13)

$\phi M_n = 0.7 \left( 0.85f'_c ab \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + \sum f_{si} A_{si} \left( \frac{h}{2} - d_i \right) \right)$  \_\_\_\_\_ (14)

เมื่อ  $\phi = 0.7$

คำนวณหาค่า  $c_b$  ที่จุดสภาวะสมดุลจากสมการ

$$\frac{c_b}{d_2} = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}} \quad \text{-----} (15)$$

เมื่อใช้  $E_s = 2.04 \times 10^6$  ksc จะได้

$$c_b = \frac{6120}{6120 + f_y} \times d_2 \quad \text{-----} (16)$$

เมื่อ  $d_2$  คือ ระยะจากผิวขอบบนสุดของด้านที่รับแรงอัดไปยังจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมรับแรงดึงเส้นล่างสุด

เมื่อ  $P_{nb}$  คือ Axial load ในสภาวะสมดุล

$e_b$  คือ Eccentricity ในสภาวะสมดุล

จะได้ว่า

$$a_b = \beta_1 c_b = \beta_1 \left( \frac{6120}{6120 + f_y} \times d_2 \right) \quad \text{-----} (17)$$

เมื่อได้ค่า  $a_b$  แล้วนำมาคำนวณหา

$$\phi P_{nb} = 0.7(0.85f'_c a_b b + \sum f_{si} A_{si}) \quad \text{-----} (18)$$

$$\phi M_{nb} = 0.7 \left( 0.85f'_c a_b b \left( \frac{h}{2} - \frac{a_b}{2} \right) + \sum f_{si} A_{si} \left( \frac{h}{2} - d_i \right) \right) \quad \text{-----} (19)$$

สามารถหาค่าเยื้องศูนย์ที่สภาวะสมดุล  $e_b$  ได้จาก

$$e_b = \frac{\phi M_{nb}}{\phi P_{nb}} \quad \text{-----} (20)$$

กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดที่ตำแหน่งโมเมนต์เป็นศูนย์ ACI Code แนะนำให้ใช้ 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าที่ได้จากการคำนวณ

$$\phi P_{n,max} = 0.80 \times 0.7 [0.85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y] \quad \text{-----(21)}$$

$$\text{ถ้า } f_s = 0.003 \times 2.04 \times 10^6 \times \frac{c_b - d_i}{c_b} \leq f_y$$

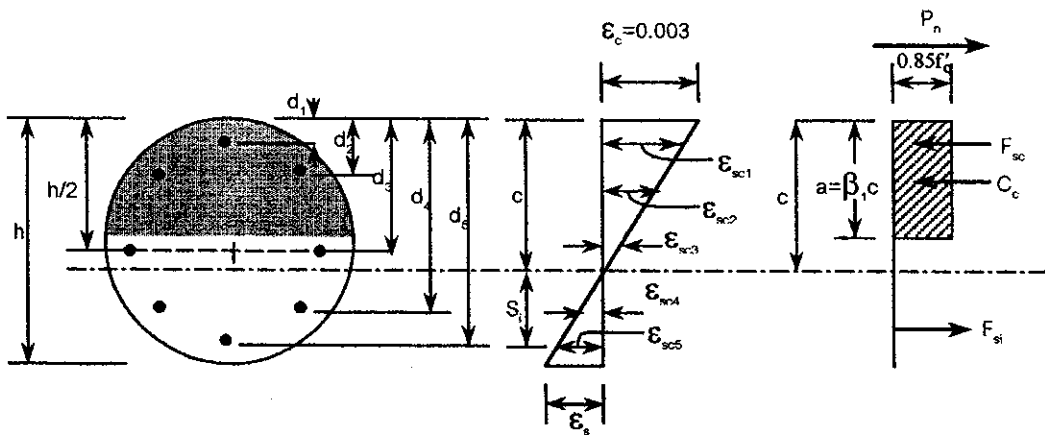
$$= 6120 \times \frac{c_b - d_i}{c_b} \leq f_y \quad \text{-----(22)}$$

หาแรงกระทำที่  $\phi P_n = 0.1f'_c A_g$  และโมเมนต์ดัดโดยสมการต่อไปนี้

$$\phi P_n = 0.1f'_c A_g \quad \text{-----(23)}$$

แล้วทำการ Trial ค่า c เพื่อหาโมเมนต์ดัดในสมการ (14)

2.7.2 กำลังต้านทานของเสากลม



(ก) รูปตัด

(ข) การยืดหดตัว

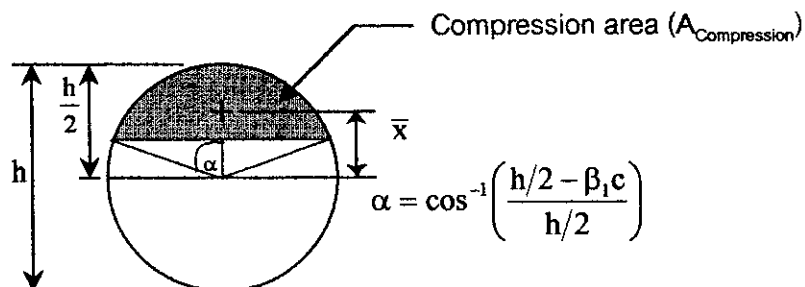
(ค) การกระจายของหน่วยแรง

รูปที่ 9 แสดงรายละเอียดของเสากลม

### สมการการคำนวณ

การคำนวณหาค่า  $\phi P_n$  และ  $\phi M_n$  ต้องสมมติค่า  $c$  ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยให้  $A'_s = A_s$  และ

$$\bar{y} = \frac{h}{2}$$



รูปที่ 10 พื้นที่รับแรงอัดของเสากลม

จากรูปที่ 10 สามารถหาพื้นที่รับแรงอัดได้ดังนี้

$$A_{\text{Compression}} = \frac{h^2}{4} [\alpha(\pi/180) - \sin \alpha \cos \alpha] \quad \text{—————(24)}$$

และ

$$\bar{x} = \frac{h^3 \sin^3 \alpha}{12 \times A_{\text{Compression}}} \quad \text{—————(25)}$$

$$\phi P_n = 0.75(0.85f'_c A_{\text{Compression}} + \sum f_{si} A_{si}) \quad \text{—————(26)}$$

$$\phi M_n = 0.75 \left( 0.85f'_c A_{\text{Compression}} \bar{x} + \sum f_{si} A_{si} \left( \frac{h}{2} - d_i \right) \right) \quad \text{—————(27)}$$

เมื่อ  $\phi = 0.75$

คำนวณหาค่า  $c_b$  ที่จุดสภาวะสมดุลจากสมการ

$$\frac{c_b}{d_2} = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}} \quad \text{-----} \quad (28)$$

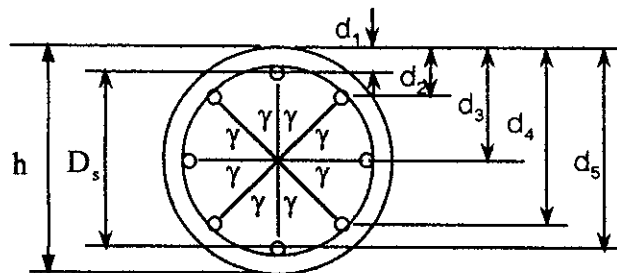
เมื่อใช้  $E_s = 2.04 \times 10^6$  ksc จะได้

$$c_b = \frac{6120}{6120 + f_y} \times d_2 \quad \text{-----} \quad (29)$$

และ

$$\phi P_{nb} = 0.75 \left( 0.85 f'_c A_{\text{Compression}} + \sum f_{si} A_{si} \right) \quad \text{-----} \quad (30)$$

$$\phi M_{nb} = 0.75 \left( 0.85 f'_c A_{\text{Compression}} \bar{x} + \sum f_{si} A_{si} \left( \frac{h}{2} - d_i \right) \right) \quad \text{-----} \quad (31)$$



รูปที่ 11 อธิบายการหาระยะของเหล็กยื่นจากขอบนอกของเสากลม

เมื่อ  $d_i$  คือระยะจากผิวขอบนอกถึงตำแหน่งการวางเหล็กยื่นของแต่ละชั้น จากรูปที่ 11 สามารถหาระยะของเหล็กยื่นที่วัดจากขอบนอกของเสากลมจากสมการต่อไปนี้

$$d_i = \frac{h}{2} - \frac{D_s \cos[(\text{No. of Bar} - 1) \times \gamma]}{2} \quad \text{-----} \quad (32)$$

$$e_b = \frac{\phi M_{nb}}{\phi P_{nb}} \quad \text{-----} (33)$$

$$\phi P_{n,max} = 0.75 \times 0.85 [0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y] \quad \text{-----} (34)$$

$$\text{ถ้า } f_s = 0.003 \times 2.04 \times 10^6 \times \frac{c_b - d_i}{c_b} \leq f_y$$

$$= 6120 \times \frac{c_b - d_i}{c_b} \leq f_y \quad \text{-----} (35)$$

หาแรงกระทำที่  $\phi P_n = 0.1 f'_c A_g$  และโมเมนต์ดัดโดยสมการต่อไปนี้

$$\phi P_n = 0.1 f'_c A_g \quad \text{-----} (36)$$

แล้วทำการ Trial ค่า  $c$  เพื่อหาโมเมนต์ดัดในสมการ (27)



## 2.8 ข้อกำหนดมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.) 1008-38

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการให้รายละเอียดเสา

2.8.1 พื้นที่หน้าตัดของเหล็กยื่นสำหรับเสาจะต้องไม่น้อยกว่า 1% และไม่เกิน 8% ของพื้นที่หน้าตัดเสา  $A_g$  ตามข้อ 4309(ก)

2.8.2 จำนวนของเหล็กยื่นจะต้องไม่น้อยกว่า 6 เส้น ในเสากกลม และไม่น้อยกว่า 4 เส้น สำหรับเสาเหลี่ยม ตามข้อ 4309(ข)

2.8.3 ช่องว่างระหว่างเหล็กยื่นของเสาต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเส้นนั้นๆ และต้องไม่น้อยกว่า 4 ซม. ตามข้อ 3406(ค)

2.8.4 สำหรับเหล็กปลอกเกลียวหรือเหล็กปลอกเดี่ยวในเสา จะต้องมีความหนาของคอนกรีตห่อหุ้มซึ่งหล่อเป็นเนื้อเดียวกันไม่น้อยกว่า 3.5 เซนติเมตร ตามข้อ 3407(ก)

2.8.5 ในเสาปลอกเดี่ยว สำหรับเสา ต้องเป็นไปตามข้อต่อไปนี้ ตามข้อ 3410(จ)

- 2.8.5.1 เหล็กเส้นทุกเส้นต้องรัดไว้ด้วยเหล็กปลอก โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางดังต่อไปนี้
- ขนาดอย่างน้อย 6 มม. สำหรับเหล็กยื่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มม. หรือเล็กกว่า
  - ขนาดอย่างน้อย 9 มม. สำหรับเหล็กยื่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 25 มม. ถึง 32 มม.
  - ขนาดอย่างน้อย 12 มม. สำหรับเหล็กยื่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 32 มม. ขึ้นไป และสำหรับเหล็กยื่นมัดเป็นกำ

2.8.5.2 ระยะห่างของเหล็กปลอกต้องไม่มากกว่าค่าต่อไปนี้

- 16 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กยื่น
- 48 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอก
- มิติที่เล็กที่สุดของเสานั้น

2.8.5.3 ต้องจัดมุมของเหล็กปลอกยึดเหล็กยื่นตามมุมทุกมุม โดยมุมของเหล็กปลอกต้องไม่มากกว่า 135 องศา

2.8.6 อัตราส่วนของเหล็กปลอกเกลียว  $\rho_s$  ต้องไม่น้อยกว่า ค่าที่คำนวณจากสมการ ตามข้อ 4309(ค)

$$\rho_s = 0.45 \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y}$$

โดยที่  $f_y$  คือ กำลังครากที่กำหนดของเหล็กปลอกเกลียว แต่ต้องไม่เกิน 4,000 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

2.8.7 เหล็กปลอกเกลียว ต้องเป็นไปตามข้อ 3410(ง)

2.8.7.1 เหล็กปลอกเกลียวต้องประกอบด้วยเหล็กเส้นหรือลวดเหล็กที่มีความต่อเนื่องกันโดยพันเป็นเกลียวที่มีระยะห่างเท่ากัน

2.8.7.2 สำหรับการก่อสร้างหล่อในที่ เหล็กปลอกเกลียวต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 9 มม.

2.8.7.3 ระยะช่องว่างของเหล็กปลอกเกลียวต้องไม่มากกว่า 7.5 ซม. และต้องไม่น้อยกว่า 2.5 ซม.

2.8.7.4 การยึดเหล็กปลอกเกลียวที่แต่ละปลายของเสา ต้องยึดด้วยการพันเหล็กปลอกนั้นเพิ่มอีก 1.5 รอบ

2.8.7.5 การต่อเหล็กปลอกเกลียว ต้องเป็นการต่อทาบโดยมีระยะทาบเท่ากับ 48 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอกเกลียว แต่ไม่น้อยกว่า 30 ซม. หรือเป็นการต่อโดยวิธีเชื่อม

2.8.7.6 ต้องพันตลอดตั้งแต่พื้นหรือจากส่วนบนสุดของฐานรากขึ้นไปถึงระดับเหล็กยื่นเส้นล่างสุดของชั้นที่เหนือกว่า

2.8.7.7 ในเสาที่มีหมวกหัวเสา ต้องพันเหล็กปลอกเกลียวขึ้นไปจนถึงระดับที่หมวกหัวเสามีเส้นผ่าศูนย์กลางหรือความกว้างโตเป็น 2 เท่าของขนาดเสา

2.8.8 การต่อเหล็กข้ออ้อยรับแรงอัด ตามข้อ 4515

2.8.8.1 ความยาวของการต่อทาบรับแรงอัดต้องมีค่าเท่ากับ  $0.007f_y d_b$  สำหรับ  $f_y$  ไมเกิน  $4000 \text{ กก./ซม.}^2$  หรือมีค่าเท่ากับ  $(0.013f_y - 24)d_b$  สำหรับ  $f_y$  เกินกว่า  $4000 \text{ กก./ซม.}^2$  แต่ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม. ให้เพิ่ม ระยะทาบอีกหนึ่งในสามสำหรับ  $f'_c$  น้อยกว่า  $210 \text{ กก./ซม.}^2$

2.8.8.2 เมื่อมีการต่อทาบรับแรงอัดสำหรับเหล็กเส้นต่างขนาดกัน ความยาวระยะต่อต้องเป็นความยาวระยะฝั่งเพิ่มของเหล็กเส้นขนาดใหญ่กว่าหรือระยะต่อทาบของเหล็กเส้นขนาดเล็กกว่า โดยเลือกค่าที่มากกว่า ตามข้อ 4503

- ความยาวระยะฝั่งเพิ่ม  $l_d$  (ซม.) สำหรับเหล็กข้ออ้อยรับแรงอัดต้องคำนวณโดยมีค่าเท่ากับผลคูณของความยาวระยะฝั่งเพิ่มพื้นฐาน  $l_{db}$  ในข้อ 4503(ข) กับตัวคูณปรับใช้งาน ในข้อ 4503(ค) แต่ทั้งนี้  $l_d$  ต้องไม่น้อยกว่า 20 ซม. ตามข้อ 4503(ง)

- ความยาวระยะฝังเพิ่มพื้นฐาน  $I_{db}$  ต้องมีค่าเท่ากับ  $\frac{0.075d_b f_y}{\sqrt{f'_c}}$  แต่ต้องไม่น้อยกว่า

$0.0043d_b f_y$  ตามข้อ 4503(ข)

เมื่อ  $d_b$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระบุของเหล็กเส้นหรือลวดเหล็ก (มม.)

- ให้คุณความยาวระยะฝังเพิ่มพื้นฐาน  $I_{db}$  ด้วยตัวคูณใช้งาน ในกรณีต่อไปนี้ ตามข้อ 4503(ค)

1. เหล็กเสริมเกิน เหล็กเสริมที่เกินกว่าที่ต้องการจากการวิเคราะห์

คุณ  $I_{db}$  ด้วย  $(A_s \text{ ที่ต้องการ} / A_s \text{ ที่เสริมจริง})$

2. เหล็กปลอกเกลียวและเหล็กปลอกเดี่ยว เหล็กเสริมที่รัดรอบด้วยเหล็กปลอก

เกลียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 6 มม. และมีระยะเกลียวไม่มากกว่า 10 ซม. หรือที่รัดรอบด้วยเหล็กปลอกเดี่ยวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. และเรียงห่างกันโดยวัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางไม่มากกว่า 10 ซม.

คุณ  $I_{db}$  ด้วย 0.75

2.8.8.3 การต่อโดยการเชื่อมหรือการต่อโดยข้อต่อทางกลเพื่อรับแรงอัดต้องเป็นไปตาม

- การต่อเชื่อมอย่างสมบูรณ์ต้องต่อชนและเชื่อมเพื่อให้สามารถรับแรงดึงอย่างน้อยร้อยละ 125 ของกำลังคราก  $f_y$  ที่กำหนดของเหล็กเส้นนั้น

- การต่อโดยข้อต่อทางกลสมบูรณ์ต้องสามารถรับแรงดึงหรือแรงอัดอย่างน้อยร้อยละ 125 ของกำลังคราก  $f_y$  ที่กำหนดของเหล็กเส้นนั้น