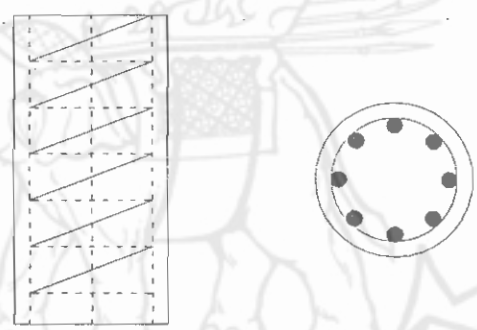
บทที่ 2
เนื้อหาโดยทั่วไปของเสา

2.1 ประเภทของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.1.1 เสาปลอกเกลียว (Spiral Column) เป็นเสาที่มีเหล็กปลอกเกลียวพันถี่ๆ (ดู ว.ส.ท. 4800) รอบแกนกลมของเสาเหล็กเสริมในแนวดิ่ง ว.ส.ท. 6602 ให้คำนวณหาน้ำหนักปลอดภัยตามแกนดังนี้

$$P = A_g \cdot \left(0.25 \cdot f_c' + f_s \cdot p_g\right) \qquad (2.1)$$

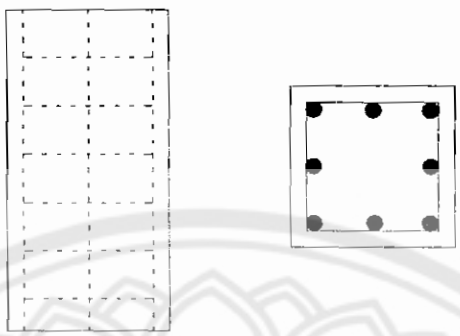


รูปที่ 1 เสาปลอกเลียว

โดยที่ f_s = หน่วยแรงปลอดภัยของเหล็กเสริมในแนวดิ่งของเสา ซึ่งให้ใช้เท่ากับร้อยละ 40 ของกำลังคราก ต่ำสุดตามค่าเกณฑ์กำหนด แต่ต้องไม่เกิน 2,100 กก/ซม^2

2.1.2 เสาปลอกเดี่ยว (Tied Column) อาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผืนผ้า หรืออื่นๆ ว.ส.ท. 6603 ระบุให้ใช้น้ำหนักปลอดภัยสูงสุดตามแกนของเสาร้อยละ 85 ของค่าที่ให้ไว้สำหรับเสาปลอกเกลียว

$$P = 0.85 \cdot A_g \cdot \left(0.25 \cdot f_c^{'} + f_s \cdot p_g\right) \qquad (2.2)$$

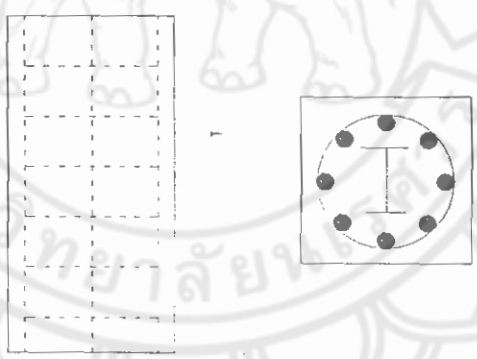


รูปที่ 2 เสาปลอกเดี่ยว

2.1.3 เสา ค.ส.ล.แกนเหล็ก

ว.ส.ท.6604 (ก) กำหนดให้เสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามแนวยาวและเหล็กปลอกเกลียวมีแกนเป็นเหล็กรูปพรรณหรือเหล็กหล่อรับน้ำหนักปลอดภัยได้ไม่เกิน

$$P = 0.225 \cdot A_g \cdot f_c^{'} + f_s \cdot A_{st} + f_r \cdot A_r \qquad (2.3)$$



รูปที่ 3 เสา ค.ส.ล. แกนเหล็ก

โดยที่ f_r = หน่วยแรงที่ยอมให้ในแกนเหล็กต้องไม่เกิน 1,200 กก/ซม^2 สำหรับเหล็ก มอก. 116-2559 ชั้น คุณภาพ Fe 24 หรือ 700 กก/ซม^2 สำหรับแกนที่ทำด้วยเหล็กหล่อ

มาตรฐาน ว.ส.ท. ยังได้กำหนดคุณสมบัติของเสา ค.ส.ล.แกนเหล็ก เพิ่มดังนี้

1.) ทุก ๆ จุดตลอดเสาทั้งต้นต้องมีคุณสมบัติตรงตามที่กำหนดไว้ในสมการ (2.3) และต้องออกแบบส่วนที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ให้สามารถต้านทานน้ำหนักที่บรรจุอยู่ระหว่างแป้นหูช้างของแกนเหล็ก โดยไม่ทำให้หน่วยแรงเกิน 0.35 f_c' เมื่อเปรียบเทียบกับ A_g (ว.ส.ท.6604 ก.)

2.) แกนโลหะและเสริมเหล็ก เนื้อที่หน้าตัดแกนโลหะต้องไม่เกินร้อยละ 20 ของพื้นที่หน้าตัดเสา ถ้าต้องใช้แกนโลหะกลวงต้องเทคอนกรีต ภายในให้เต็ม (ว.ส.ท.6604 ข.)

3.) ปริมาณเหล็กเสริมตามแกนและข้อกำหนดเกี่ยวกับระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม รายละเอียดในการต่อเหล็ก และความหนาของเปลือกคอนกรีตที่หุ้ม ภายนอกของเหล็กปลอกเกลียว ต้องเป็นไปตามค่าที่กำหนดเสาปลอกเกลียว ซึ่งมีขนาดเดียวกับเสา ค.ส.ล. แกนเหล็กนี้ (ว.ส.ท.6604 ข.)

4.) อัตราส่วนจำนวนเหล็กปลอกเกลียวให้ใช้สมการ (2.16) (โดยที่ f_y คือกำลังครากของเหล็กปลอกเกลียว แต่ต้องไม่เกิน 4,000 กก/ซม^2.) ทุกๆจุดตลอดเสาต้องมีระยะห่างระหว่างเหล็กปลอกเกลียวและแกนโลหะอย่างน้อย 7.5 เซนติเมตร (ว.ส.ท. 6604 ข.)

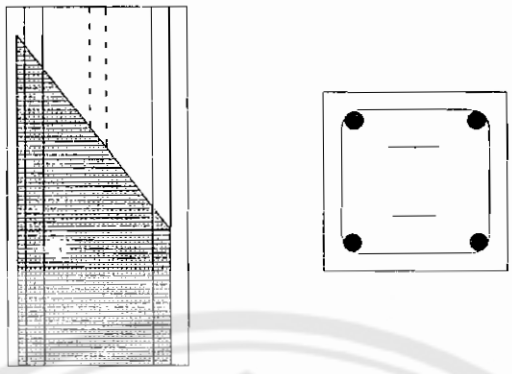
5.) ในกรณีที่แกนเสาเป็นเหล็กรูป H ระยะห่างตรงที่แคบที่สุดต้องไม่น้อยกว่า 5.0 เซนติเมตร (ว.ส.ท. 6604 ข.)

6.) การถ่ายน้ำหนักไปยังแกนโลหะให้ใช้องค์อาคารต้านทานแรงแบกทานเช่น แป้นหูช้างหรือการต่อยึดแบบอื่นๆ ซึ่งต้องทำไว้ ณ ส่วนบนสุดของแกนโลหะและที่ส่วนกลางของแผ่นพื้น แกนโลหะต้องคำนวณให้สามารถต้านทานน้ำหนักต่างๆ ในขณะก่อสร้างและน้ำหนักอื่นๆ ได้โดยปลอดภัยก่อนที่จะหล่อคอนกรีตหุ้ม (ว.ส.ท. 6604 ข.)

2.1.4 เสาแบบผสม

ว.ส.ท. 6605 กำหนดว่าเสาแบบผสม (Composite Column) คือเสาเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ที่ฝังในคอนกรีตที่ระยะหุ้มของคอนกรีตไม่ต่ำกว่า 6 เซนติเมตร จากผิวเหล็ก(ยกเว้นหัวหมุดย้ำ)ให้คำนวณหาน้ำหนักปลอดภัยดังนี้

$$P = A_r \cdot f_r' \cdot \left(1 + \frac{A_g}{100 \cdot A_r}\right) \qquad (2.4)$$



รูปที่ 4 เสาผสม

ข้อกำหนดอื่นๆสำหรับการคำนวณออกแบบเสาโดยใช้สมการ (2.4) มีดังนี้

1.) คอนกรีตที่ใช้ต้องมีกำลังอัดประลัยเมื่ออายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 200 กก/ซม^2

2.) ต้องมีเหล็กตาข่ายเบอร์ 10 A S & W Gage หรืออย่างอื่นที่เทียบเท่า พันรอบเสาโดยมีลวดเหล็กตามแนวนอนที่พันรอบเสาห่างกันไม่เกิน 10 เซนติเมตร ส่วนเหล็กที่ขนานกับแกนของเสาต้องห่างกันไม่เกิน 20 เซนติเมตร เหล็กตาข่ายนี้ให้พันรอบเสาห่างจากผิวหน้าคอนกรีตเข้ามาไม่น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร และให้พันเหลื่อมกันไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็ก ตรงรอยต่อให้ผูกยึดกันให้แน่น

3.) ที่ระดับพื้นแต่ละชั้นให้เสริมแป้นหูช้างเป็นพิเศษ สำหรับน้ำหนักทั้งหมด เสาเหล็กนี้ต้องคำนวณออกแบบให้สามารถต้านทานน้ำหนักต่างๆ ในขณะก่อสร้างหรือน้ำหนักอื่นๆได้โดยปลอดภัยก่อนที่จะเทคอนกรีตหุ้ม

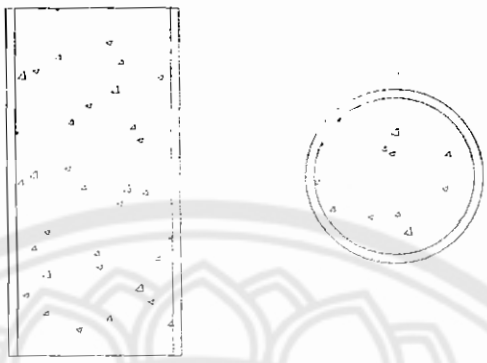
2.1.5 เสาท่อเหล็กคอนกรีต

ว.ส.ท. 6606 กำหนดให้เสาท่อเหล็กคอนกรีต (Concrete – filled pipe Column) เป็นเสาซึ่งประกอบด้วยท่อเหล็กที่กรอกคอนกรีตเต็มภายในให้คำนวณหาน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยได้ดังนี้

$$P = 0.25 \cdot f_c' \cdot \left(1 - 0.000025 \cdot \frac{h^2}{k_c^2}\right) \cdot A_c + f_r' \cdot A_r \qquad (2.5)$$

ค่า ที่ f_r' ให้ไว้ในสมการ (2.6) สำหรับท่อเหล็กที่มีกำลังครากไม่น้อยกว่า 2300 กก/ซม^2 อัตราส่วน h/k ต้องไม่มากกว่า 120 และ

$$f_r = 1,195 - 0.0342 \cdot \frac{h^2}{k_s^2} \tag{2.6}$$



รูปที่ 5 เสาท่อเหล็กคอนกรีต

2.2 เสารับน้ำหนักตามแกนและแรงดัดพร้อมกัน

ว.ส.ท. 6607 ก ในการคำนวณกำลังของเสาที่มีน้ำหนักกดตามแนวแกน N และมี ระยะเยื้องศูนย์ e ตามทิศทางแกนหลักแต่ละแกน ให้คำนวณแรงอัดเป็นหลัก ถ้า e น้อยกว่าค่าในสมการ (2.7) (2.8) หรือ(2.9) และให้คำนวณแรงดึงเป็นหลัก ถ้า e มากกว่า ค่าในสมการ (2.7)(2.8) หรือ(2.9)

สำหรับเสาปลอกเกลียวที่มีหน้าตัดสมมาตร

$$e_b = 0.43 \cdot p_g \cdot m \cdot D_s + 0.14 \cdot t \tag{2.7}$$

สำหรับเสาปลอกเดี่ยวที่มีหน้าตัดสมมาตร

$$e_b = \left(0.67 \cdot p_g \cdot m + 0.17\right) \cdot d \tag{2.8}$$

สำหรับเสาปลอกเดี่ยวที่มีหน้าตัดไม่สมมาตร

$$e_b = \frac{p' \cdot m \cdot \left(d - d'\right) + 0.1 \cdot d}{\left(p' - p\right) \cdot m + 0.6} \tag{2.9}$$

ว.ส.ท. 6607(ข) เสาที่คำนวณแรงอัดเป็นหลัก ต้องจัดสัดส่วนโดยใช้สมการ(2.10) ทั้งนี้ น้ำหนักปลอดภัย N ต้องไม่เกินน้ำหนักกดที่ยอมให้ P เมื่อเสานั้นรับน้ำหนักตามแกนเพียงอย่างเดียว

$$\frac{f_a}{F_a}+\frac{f_{bx}}{F_b}+\frac{f_{by}}{F_b}\le 1 \qquad (2.10)$$

โดยที่ f_{bx} และ f_{by} คือหน่วยแรงที่เกิดจากโมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก x และ y หารด้วยโมดูลัสหน้าตัดของหน้าตัดแปลงที่ไม่แตกร้าวรอบแกนนั้น โดยใช้อัตราส่วนโมดูลัส สำหรับเหล็กเสริมทั้งหมดตามแนวแกนเสาเท่ากับ $2n$ และ

$$F_a = 0.34\cdot\left(1+p_g\cdot m\right)\cdot f_c' \qquad (2.11)$$

ว.ส.ท. 6607 ค ในเสาที่คำนวณแรงดึงเป็นหลักให้ถือว่า โมเมนต์ดัดปลอดภัย M แปรผันเป็นเส้นตรงกับน้ำหนักตามแกนจาก M_o ถึง M_a โดย M_o เป็นโมเมนต์ที่หน้าตัดสามารถรับได้เมื่อรับแรงดัดเพียงอย่างเดียว และ M_b เป็นผลคูณของแรง N_b กับระยะเยื้องศูนย์ e_b และสมการ (2.10) สำหรับ M_o ให้คำนวณจากสมการ (2.12) (2.13) หรือ(2.14)

สำหรับเสาปลอกเกลียว

$$M_o = 0.12\cdot A_{st}\cdot f_y\cdot D_s \qquad (2.12)$$

สำหรับเสาปลอกเดี่ยวที่มีหน้าตัดสมมาตร

$$M_o = 0.40\cdot A_s\cdot f_y\cdot\left(d-d'\right) \qquad (2.13)$$

สำหรับเสาปลอกเดี่ยวที่มีหน้าตัดไม่สมมาตร

$$M_o = 0.40\cdot A_s\cdot f_y\cdot j\cdot d \qquad (2.14)$$

สำหรับเสารับแรงดัดทั้งสองแกน

$$\frac{M_x}{M_{ox}}+\frac{M_y}{M_{oy}}\le 1 \qquad (2.15)$$

โดยที่ M_x และ M_y คือโมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก x และ y ส่วน M_{ox} และ M_{oy} เป็น M_o รอบแกน x และ y ตามลำดับ

2.3 พิกัดสำหรับเสา

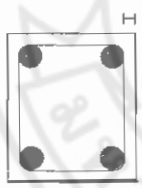
ว.ส.ท. 4800 กำหนดพิกัดเสาไว้ดังนี้

2.3.1 ขนาดเล็กสุดของเสา จะต้องมีด้านแคบสุดหรือเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 20 เซนติเมตร เสาที่อยู่ระหว่างเสาหลัก และไม่ต่อเนื่องจากชั้นถึงชั้นอาจมีขนาดเล็กกว่าก็ได้ แต่ต้องมีด้านแคบที่สุดไม่ต่ำกว่า 15 เซนติเมตร

ด้านแคบ (t) $t \geq 20$ cm

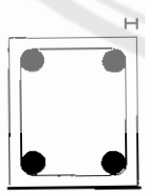
เสาไม่ต่อเนื่องจากชั้นถึงชั้น $t \geq 15$ cm

2.3.2 เสาเดี่ยวเหล็กปลอกเกลียว ขนาดของเสาขอบนอกสุดให้ถือว่าห่างจากผิวของเหล็กปลอกเกลียวชั้นนอกสุดออกไปเป็นระยะตามที่กำหนดไว้ตามข้อ 3408 ค.



ระยะหุ้ม $\leq$ 5 cm (เสาธรรมดา)เดี่ยวเหล็กปลอกเกลียว

2.3.3 สำหรับเสาปลอกเกลียวที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับผนังหรือตอม่อ ค.ส.ล. ขนาดของเสาขอบนอกสุดให้ถือว่าห่างจากผิวของเหล็กปลอกเกลียวไปเป็นระยะไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร ไม่ว่าจะเป็นเสากลม เสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า



ระยะหุ้ม $\geq$ 3 cm

2.3.4 เสาที่คำนวณออกแบบเป็นเสากลมนั้นอาจจะสร้างเป็นเสารูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส แปดเหลี่ยมหรือรูปอื่นๆ และพื้นที่หน้าตัดในการคำนวณร้อยละของเหล็กเสริมให้เป็นไปตามแบบในการคำนวณเสา

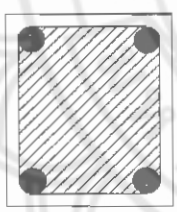
2.4 ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดในเสา

2.4.1 เหล็กยืนในเสาปลอกเดี่ยว ว.ส.ท. 4800 กำหนดดังนี้

1) พิกัดหน้าตัดของเสา เสาปลอกเดี่ยวที่มีหน้าตัดมากกว่าที่ต้องการในการรับน้ำหนัก การหาปริมาณเหล็กเสริมที่น้อยที่สุด และความสามารถในการรับน้ำหนัก ให้คำนวณจากพื้นที่หน้าตัด A_g ที่ลดลงได้แต่ค่า A_g นั้นต้องไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของหน้าตัดจริง (ว.ส.ท. 4800 จ)

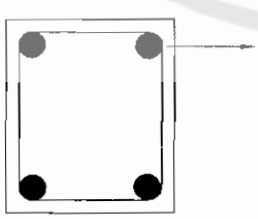
ลด A_g ได้ในกรณีพื้นที่หน้าตัดใหญ่มาก แต่ต้อง > 1/2 ของหน้าตัดจริง

2) พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมยืนสำหรับเสาต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 และไม่มากกว่าร้อยละ 8 ของพื้นที่หน้าตัด ($\geq 0.01 \cdot A_g$ และ $\leq 0.08 \cdot A_g$) (ว.ส.ท. 4800 ฉ ข้อ 1)



$$0.01 \leq \frac{A_s}{A_g} \leq 0.08$$

3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กยืนในเสาปลอกเดี่ยวต้องไม่เล็กกว่า 12 มิลลิเมตร และเสาปลอกเดี่ยวต้องมีเหล็กยืนไม่น้อยกว่า 4 เส้น (ว.ส.ท. 4800 ฉ ข้อ 1)

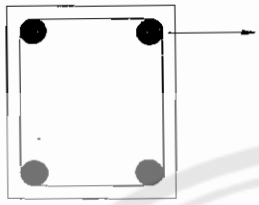


เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กยืน $\geq$ 12 มม.

จำนวนเหล็กยืน $\geq$ 4 เส้น

2.4.2 ขนาดและจำนวนเหล็กยืนในเสาปลอกเกลียว

ว.ส.ท.4800(ฉ) ข้อ 1 กำหนดว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กต้องไม่เล็กกว่า 12 มิลลิเมตร สำหรับเสาปลอกเกลียว ต้องมีเหล็กยืนไม่น้อยกว่า 6 เส้น



เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กยืน $\geq$ 12 มม.

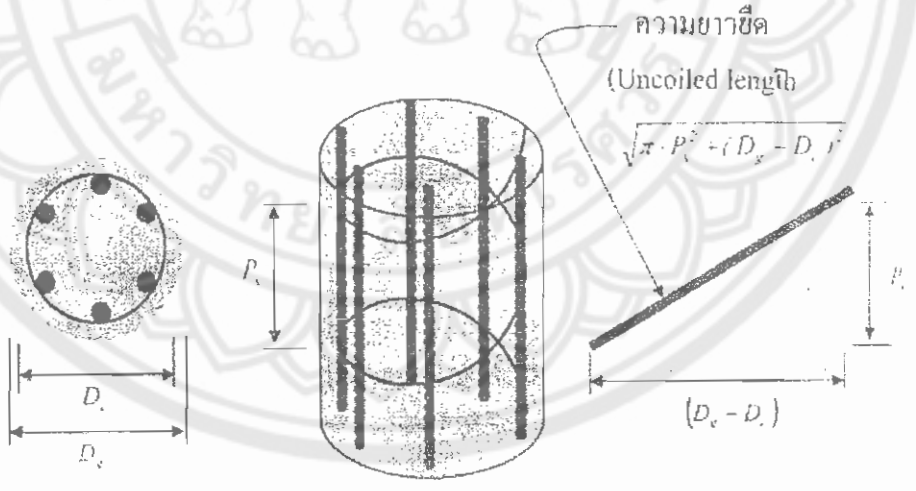
จำนวนเหล็กยืน $\geq$ 6 เส้น

2.4.3 อัตราส่วนจำนวนของเหล็กปลอกเกลียว

ว.ส.ท. 4800 (ฉ) ข้อ 2 กำหนดอัตราส่วนของปริมาตรของเหล็กปลอกเกลียวต่อปริมาตรทั้งหมดของแกน (วัดที่ขอบนอกสุดของปลอกเกลียว) ของเหล็กปลอกเกลียวหรือเสา ค.ส.ล. แกนเหล็กได้ดังนี้

$$p_s = 0.45 \cdot \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \cdot \frac{f'_c}{f_y} \qquad (2.16)$$

โดยที่ f_y = กำลังครากของเหล็กปลอกเกลียวที่ต้องไม่เกิน 4,000 กก/ซม^2



รูปที่ 6 ระยะห่างของเหล็กปลอกเกลียว

ที่มา : สถาพร โภคา. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.5 เหล็กเสริมตามขวาง

เหล็กเสริมตามขวางในเสา (Transverse reinforcements or tile) ได้แก่เหล็กปลอกเกลียว หรือเหล็กปลอกเดียว มีไว้เพื่อป้องกันการวิบัติเนื่องจากการกระจายของความเค้นในเสาสูง เช่นในกรณีที่เสารองรับแรงที่กระทำเป็นจุด ณ จุดที่แรงกระทำจะมีความเค้นสูงและลดน้อยลงตามลำดับ เมื่อห่างจากจุดดังกล่าวมากขึ้น สำหรับองค์อาคารหรือโครงสร้างบางประเภทเช่นโครงสร้างข้อแข็ง เหล็กเสริมเหล่านี้ยังใช้ต้านทานแรงเฉือนด้วย

2.5.1 เหล็กปลอกเกลียว

ว.ส.ท. 3406 (ก) กำหนดเหล็กปลอกเกลียวในเสาได้ดังนี้

1) เหล็กปลอกเกลียวในเสาต้องพันต่อเนื่องกันเป็นเกลียวที่มีระยะห่างสม่ำเสมอกันและยึดให้อยู่ตามตำแหน่งอย่างมั่นคงด้วยเหล็กบังคับระยะปลอกเกลียว

2) จำนวนเหล็กบังคับระยะปลอกเกลียว

2.1 เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอกเกลียวน้อยกว่า 15 มม.

เส้นผ่านศูนย์กลางของปลอกเกลียว	**จำนวนเหล็กบังคับระยะปลอกเกลียว**
น้อยกว่า 50 ซม.	อย่างน้อย 2 แนว
50 – 75 ซม.	อย่างน้อย 2 แนว
โตกว่า 75 ซม.	อย่างน้อย 4 แนว

2.2 เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอกเกลียวมีขนาด 15 มม. ขึ้นไป

เส้นผ่านศูนย์กลางของปลอกเกลียว	**จำนวนเหล็กบังคับระยะปลอกเกลียว**
ไม่เกิน 60 ซม.	3 แนว
โตกว่า 60 ซม.	4 แนว

3) เหล็กปลอกเกลียวควรมีขนาดใหญ่ และประกอบแน่นหนาพอที่จะไม่ทำให้ขนาดและระยะที่ออกแบบไม่คลาดเคลื่อนได้เนื่องจากการขนย้ายและติดตั้ง เหล็กปลอกเกลียวต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 6 มม. หรือถ้าใช้ลวดต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 4 AS&W ปลายของ **เหล็กปลอกเกลียวต้องยึดไว้ด้วยการพันเหล็กหรือลวดนั้นเพิ่มอีก 1.5 รอบ ที่แต่ละปลายของเหล็กเกลียวนั้น**

4) ถ้าจำเป็นต้องต่อดามเหล็กเกลียวอาจต้องใช้วิธีการเชื่อมหรือต่อทาบโดยมีระยะทาบ 1.5 รอบก็ได้ ระยะเรียงศูนย์ถึงศูนย์ของเหล็กปลอกเกลียวต้องไม่เกิน 1/6 ของเส้นผ่านศูนย์กลางแกนคอนกรีต

5) ระยะที่ห่างระหว่างเกลียวต้องไม่น้อยกว่า 7 ซม. และต้องไม่แคบกว่า 3 ซม. แต่ทั้งนี้ต้องไม่แคบกว่า 1.5 เท่าของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบที่ใช้

6) การใช้เหล็กปลอกเกลียวต้องพันตลอดตั้งแต่ระดับพื้น หรือจากส่วนบนสุดของฐานรากขึ้นไปถึงระดับเหล็กเสริมล่างสุดของชั้นที่เหนือกว่าเช่นในแผ่นพื้นในแป้นหัวเสา หรือในคานในเสาที่มีหมวกหัวเสา ต้องพันเหล็กขึ้นไปถึงระดับที่มีเหล็กหัวเสาขยายเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือความโตเป็น 2 เท่าของขนาดเสา

2.6 เหล็กปลอกเดี่ยว

ว.ส.ท. 3406 (ข) กำหนดไว้ดังนี้

1) เหล็กยืนทุกเส้นต้องมีเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 6 มม.พันโดยรอบ

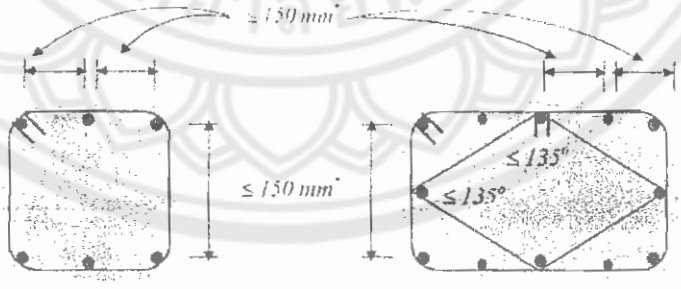
2) ระยะเรียงของเหล็กปลอกเดี่ยวนั้น ให้ใช้ค่าน้อยสุดระหว่างค่าต่อไปนี้

2.1 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กยืน

2.2 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก

2.3 ด้านแคบของหน้าตัดเสา

3) ต้องจัดมุมของเหล็กปลอกยึดเหล็กตามยาวทุกมุม ขณะเดียวกันต้องจัดให้มุมของเหล็กปลอกเดี่ยวยึดเหล็กเส้นตามยาวเส้นเว้นเส้นโดยมุมของเหล็กปลอกนั้นต้องไม่โตกว่า 135 องศา เหล็กเส้นที่เว้นต้องห่างจากเส้นที่ถูกยึดไว้ไม่เกิน 15 ซม. ถ้าเหล็กยืนเรียงกันเป็นวงกลม อาจใช้เหล็กปลอกพันให้ครบรอบวงนั้นก็ได้



(*) ไม่ต้องมีเหล็กปลอกนั้น

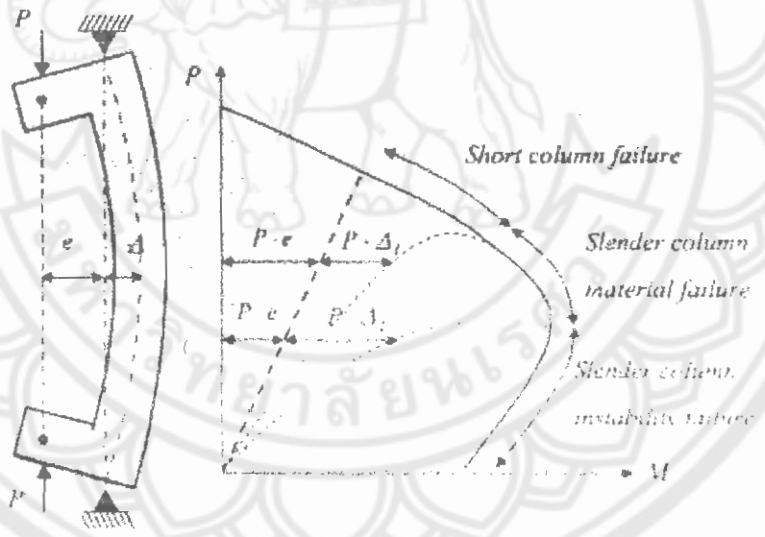
รูปที่ 7 การจัดยึดเหล็กยืนด้วยปลอกเดี่ยว

ที่มา : สถาพร โภคา. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.7 เสายาว

2.7.1 ทั่วไป

เสายาว (Long Column) คือ เสาที่มีมิติของหน้าตัด(กว้างหรือยาว)น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความสูง(h)ในทางปฏิบัติเปรียบเทียบหรือแสดงโดยใช้อัตราส่วนความชะลูด(Slenderness ratio, h/r) โดยที่ r คือรัศมีไจเรชัน (Radius of gyration) ยิ่งเสามีความชะลูดมากขึ้น กำลังของเสามีแนวโน้มจะลดน้อยลงพิจารณารูปที่2.8 เสาซึ่งมีจุดยึดหมุน(Hinged)ที่ปลายทั้งสองด้านด้านทานแรงตามแกน (P)ซึ่งมีระยะเยื้องศูนย์(e) การโก่งเดาะชนิดโค้งเดี่ยว (Single curvature buckling) จะเกิดเนื่องจากอิทธิพลระยะเยื้องศูนย์ และระยะโก่งตัว(Δ) ซึ่งมากสุดที่กึ่งกลางคาน ค่าโมเมนต์ดัดคือ $P\cdot(e+\Delta)$ และ $P\cdot\Delta$ เรียกว่าส่วนเพิ่มของโมเมนต์ ในกรณีเสายาวหรือ เสาที่มีความชะลูดมากๆ ระยะโก่งตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่อแรงตามแกนลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและแรงตามแกนจึงเป็นเส้นโค้ง การวิบัติของเสายาวอาจเกิดเนื่องจาก กำลังวัสดุไม่สามารถด้านทานแรงภายนอก(Material failure) หรือเนื่องจากเสาสูญเสียเสถียรภาพ (Instability failure)



รูปที่ 8 พฤติกรรมของเสายาวภายใต้น้ำหนัก หรือแรงเยื้องศูนย์

ที่มา : สถาพร โภคา. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.7.2 โมเมนต์ในเสา

ว.ส.ท. 5301 ต้องออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักตามแกนที่ถ่ายจากพื้นชั้นบนทั้งหมดรวมกับโมเมนต์สูงสุดอันเกิดจากการบรรทุกน้ำหนักในช่วงที่ติดกับเสาเพียงหนึ่งช่วงเฉพาะนั้นที่พิจารณานอกจากนี้ยังต้องจัดน้ำหนักบรรทุกให้เกิดอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ต่อแรงตามแกนมีค่าสูงสุดสำหรับโครงอาคารต้องพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของพื้นที่ไม่สมดุลที่มีผลต่อทั้งเสาริมและ เสาในและผลของน้ำหนักหนีศูนย์เนื่องจากเหตุอื่นๆในการคำนวณโมเมนต์ในเสา เนื่องจากน้ำหนักในแนวดิ่ง ปลายเสาด้านไกลซึ่งหล่อเป็นเนื้อเดียวกับโครงสร้างให้มีสภาพยึดแน่น

การต้านทานโมเมนต์ที่ชั้นใดๆสามารถหาได้โดยการกระจายโมเมนต์ระหว่างเสาที่อยู่ด้านบนและด้านล่างของพื้นชั้นนั้นโดยกระจายเป็นสัดส่วนของสตีฟเนสสัมพัทธ์ และสภาพการยึดรั้งของปลายเสา

2.7.3 ความยาวของเสา

ว.ส.ท. ได้กำหนดว่าระยะช่องว่างระหว่างพื้นแต่ละชั้นเป็นความยาวอิสระของเสา ค.ส.ล. เว้นแต่กรณีดังต่อไปนี้

1) ในระบบแผ่นพื้นไร้คาน ให้ถือระยะสั้นที่สุดของช่องว่างระหว่างพื้นถึงส่วนล่างสุดของหัวเสาหรือแป้นหัวเสาหรือแผ่นพื้น

2) ในระบบแผ่นพื้นที่มีคานรับ ให้ถือว่าช่องว่างระหว่างพื้นถึงใต้ท้องคานตัวที่ลึกกว่า ซึ่งมาบรรจบในแต่ละแกนของเสากับปลายของเสาชั้นเหนือถัดขึ้นไป

3) ในกรณีที่เสามีการยึดด้วยค้ำยัน ให้ถือว่าช่องว่างระหว่างค้ำยันที่เรียงกันในแต่ละระนาบในแนวดิ่ง จุดที่รองรับที่ถือว่าเพียงพอนั้นค้ำยันต้องยึดเสาที่ระดับใกล้เคียงกันโดยค้ำยันเหล่านี้ต้องทำมุมไม่เกิน 15 องศา กับแนวตั้งฉากกับเสา และทั้งนี้ต้องมีขนาดและการยึดปลายกับเสาเพียงพอที่จะไม่ให้เสาโก่ง

4) ในเสาที่คานหรือค้ำยันยึดด้านข้าง โดยที่แป้นหูช้างรองรับที่บริเวณนั้นด้วย ให้ถือระยะช่องว่างระหว่างพื้นกับส่วนล่างสุดของแป้นหูช้าง ทั้งนี้ความกว้างของแป้นหูช้างต้องไม่แคบกว่าความกว้างของคานหรือค้ำยัน และต้องไม่แคบกว่าครึ่งหนึ่งของขนาดความกว้างของเสา

รูปที่ 9 ความยาวอิสระของเสาในกรณีต่าง ๆ

ที่มา : สถาพร โภคา, การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.7.4 ความยาวประสิทธิผล

ว.ส.ท. 5302 กำหนดให้ใช้ความยาวประสิทธิผลของเสาดังนี้

1) ให้ใช้ความยาวประสิทธิผล (h') ของเสาในโครงสร้างเท่ากับความยาวอิสระ (h) ในกรณีที่เสานั้นอาศัยความมั่นคง หรือความต้านทานต่อแรงตามขวางจากกำแพงรับแรงเฉือนหรือแกงแนง โดยการยึดโยงกับโครงสร้างข้างเคียงที่มั่นคง หรือโดยวิธีอื่น ซึ่งสามารถให้ความมั่นคงตามขวางได้

2) สำหรับโครงสร้างที่อาศัยความมั่นคงตามขวางจากสตีฟเนสของเสาให้ใช้ความยาวประสิทธิผล (h') จากค่าที่มากกว่าโดยพิจารณาทั้งสองระนาบ จากกรณีต่อไปนี้

2.1 ถ้าอัตราส่วน r' มากกว่า 25 ให้ถือว่าปลายเสานั้นมีสภาพยึดหมุนตามระนาบพื้น เมื่อ

$$r' = \frac{\sum K_{column}}{\sum K_{beam}} \qquad (2.17)$$

$\sum K_{column}$: ผลรวมของสตีฟเนสแฟคเตอร์ $(E \cdot I / h)$ ของเสา

$\sum K_{beam}$: ผลรวมของสตีฟเนสแฟคเตอร์ $(E \cdot I / h)$ ของคาน

2.2 ถ้าปลายข้างหนึ่งถูกยึดรั้งไม่ให้หมุนและอีกปลายหนึ่งมีสภาพยึดหมุนให้ใช้ความยาวประสิทธิผล

$$h' = 2 \cdot h \cdot \left(0.78 + 0.22 \cdot r'\right) \geq 2 \cdot h \qquad (2.18)$$

เมื่อ r' เป็นค่าสำหรับปลายที่ถูกยึดรั้งไว้

2.3 ถ้าปลายเสาถูกยึดรั้งไม่ให้หมุนทั้งสองปลาย ให้ใช้ความยาวประสิทธิผล

$$h' = h \cdot \left(0.78 + 0.22 \cdot r'\right) \geq h \qquad (2.19)$$

โดยที่ r' เป็นค่าเฉลี่ยสำหรับปลายเสาทั้งสอง

2.4 สำหรับเสาปลายอิสระซึ่งมีโคนถูกยึดแน่น ให้ใช้ความยาวประสิทธิผลเป็นสองเท่าของความยาวตลอดเสา

$$h' = 2 \cdot h \qquad (2.20)$$

2.8 การลดลงเนื่องจากความยาวขององค์อาคารต้านทานแรงดัด

ว.ส.ท. 5303 กำหนดวิธีคำนวณค่าตัวคูณลดกำลังไว้ดังนี้

2.8.1 ว.ส.ท. 5303(ก) กำหนดไว้ว่า ถ้าแรงอัดเป็นค่ากำหนดขนาดหน้าตัด ต้องหาค่าแรงตามแกนและโมเมนต์ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วยตัวคูณลดกำลังเสาสำหรับลดกำลังเสาชะลูดตามข้อ 1, 2, หรือ 3 ข้างล่างนี้เสียก่อน แล้วจึงคำนวณออกแบบ โดยใช้สูตรที่เหมาะสม สำหรับองค์อาคารขนาดสั้นตามที่กำหนดไว้ในข้อ 6600

1) ในกรณีที่ปลายทั้งสองข้างขององค์อาคารนั้น ไม่เกิดการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ทางด้านข้าง และถูกยึดแน่นในลักษณะที่เกิดจุดดัดกลับขึ้นหนึ่งจุดระหว่างปลายทั้งสองแล้ว ไม่ต้องลดกำลังด้านแรงอัด ($R = 1.0$)ถ้า h/r ไม่เกิน 60 สำหรับ h/r ที่มีค่าระหว่าง 60 ถึง 100 ให้คำนวณออกแบบ โดยวิเคราะห์ตามข้อ 5303 (ค) หรืออาจใช้ตัวคูณลดกำลังต่อไปนี้

$$R = 1.32 - 0.006 \cdot \frac{h}{r} \leq 1.0 \qquad (2.21)$$

ถ้า h/r เกิน 100 ให้วิเคราะห์ตามข้อ 5303 (ค)

2) ในกรณีที่ปลายทั้งสองขององค์อาคารไม่เกิดการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ทางด้านข้างได้ และองค์อาคารนั้นโก่งแบบโค้งเดี่ยว (Single curvature) ให้ใช้ตัวคูณลดกำลัง

$$R = 1.07 - 0.008 \cdot \frac{h}{r} \leq 1.0 \qquad (2.22)$$

3) ในการคำนวณออกแบบองค์อาคารที่มีปลายยึดครั้ง และเคลื่อนที่สัมพัทธ์ทางด้านข้างได้ ให้ใช้ตัวคูณลดกำลังเสาดังนี้

$$R = 1.07 - 0.008 \cdot \frac{h'}{r} \leq 1.0 \qquad (2.23)$$

4) หากการคำนวณออกแบบนั้นถูกควบคุมโดยแรงตามแนวราบ ซึ่งกระทำในช่วงเวลาสั้นๆ เช่น แรงลม แรงแผ่นดินไหว อาจเพิ่มตัวคูณลดกำลังเสา ได้อีกร้อยละ 10 ซึ่งมีค่าดังนี้

$$R = 1.18 - 0.009 \cdot \frac{h'}{r} \leq 1.0 \qquad (2.24)$$

5) สำหรับเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ให้ใช้รัศมีไจเรชั่น r มีค่า 0.3 ของความยาวด้านซึ่งขนานกับทิศทางของแรงคัด ($r = \sqrt{\frac{b \cdot h^3/12}{b \cdot h}} = 0.3 \cdot h$ หรือ $r = \sqrt{\frac{h \cdot b^3/12}{b \cdot h}} = 0.3 \cdot b$ แล้วแต่กรณี)สำหรับเสาหน้าตัดกลมให้ใช้ 0.25 ของเส้นผ่านศูนย์กลาง $r = \sqrt{\frac{\pi \cdot d^4/64}{\pi \cdot d^2/4}} = 0.25 \cdot d$ สำหรับหน้าตัดรูปอื่นๆให้คำนวณค่า r จากหน้าตัดเต็มของคอนกรีต ($r = \sqrt{\frac{I}{A}}$)

2.8.2 ว.ส.ท. 5303 (ข) กำหนดว่า ในกรณีที่การคำนวณออกแบบหน้าตัดถูกควบคุมโดยแรงดึง $(P < P_b)$ ต้องเพิ่มแรงตามแกน และโมเมนต์ตามเกณฑ์กำหนดในข้อ 5303 (ก) แต่ให้ตัวคูณลดกำลังเสาแปรผันแบบเส้นตรงกับแรงตามแกน โดยมีค่าตามสมการ (1.1) และ (1.2) ที่สภาพสมดุลตามนิยามไว้ในข้อ 6607 จนถึงค่า $R = 1.0$ เมื่อแรงตามแกนเท่ากับศูนย์ หรือ

$$R = 1 - P \cdot (1 - R_b) \cdot P_b \qquad (2.25)$$

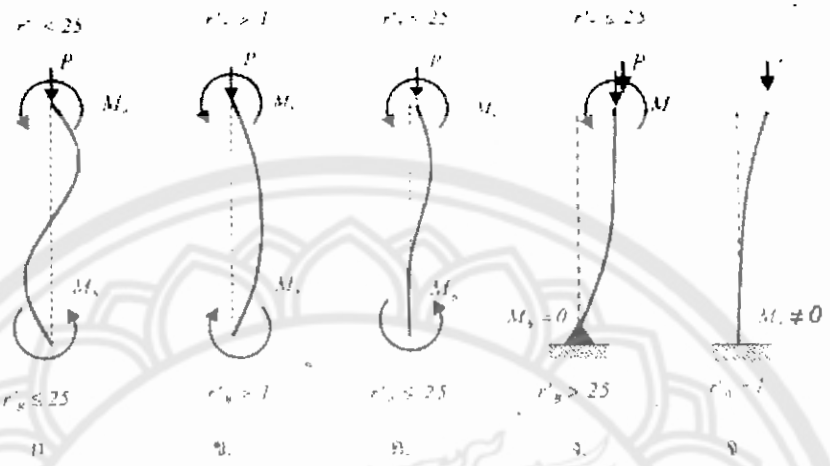
เมื่อ P : น้ำหนักตามแกนของเสา

P_b : น้ำหนักตามแนวแกนของเสาที่สภาวะสมดุล

R_b : ตัวคูณลดกำลังเสาชะลูดที่สภาวะสมดุล

2.8.3 ว.ส.ท. 5303 (ค) กำหนดว่า ในกรณีที่ไม่ตรงกับเกณฑ์กำหนดใดๆในภาคนี้ ทำให้การวิเคราะห์โดยคำนึงถึงระยะโก่งที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อโมเมนต์ในเสาด้วย ในการวิเคราะห์ดังกล่าว

ให้ใช้โมดูลัสยืดหยุ่นไม่เกิน 1/3 ของค่าที่กำหนดไว้ในข้อ 6202 สำหรับการคำนวณระยะโก่งดันเกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง



รูปที่ 10 สภาพยึดรั้งปลายเสา และตัวคูณลดกำลัง

ที่มา : สถาพร โภคา. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.9 การถ่ายน้ำหนักจากเสาผ่านระบบพื้น

ว.ส.ท. 5304 กำหนดไว้ว่า ในกรณีที่ค่ากำลังคอนกรีตที่กำหนดไว้ในเสาเกินกว่าร้อยละ 40 ของกำลังคอนกรีตระบบพื้น ต้องจัดให้มีการถ่ายน้ำหนักไปยังคอนกรีตที่มีกำลังต่ำกว่า โดยวิธีใดวิธีหนึ่งต่อไปนี้

1) ในการเทคอนกรีตซึ่งมีกำลังเท่ากับคอนกรีตในเสาในส่วนของพื้นที่ต่อกับเสาโดยมีเนื้อที่ขยายเป็น 4 เท่าของเนื้อที่โดนเสาโดยหล่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2) ในการคำนวณกำลังต้านของเสา ช่วงที่ผ่านระบบพื้น ต้องใช้กำลังของคอนกรีตที่มีค่าต่ำกว่าและต้องใส่เหล็กเดือย

3) ในการคำนวณกำลังต้านทานของเสาช่วงที่ผ่านพื้น ซึ่งมีแผ่นพื้นหรือคานขนาดลึกเท่ากันโดยประมาณยึดโดนเสาทั้งสี่ด้าน ให้ใช้กำลังคอนกรีตร้อยละ 75 ของกำลังคอนกรีตเสาบวกร้อยละ 35 ของกำลังคอนกรีตพื้น