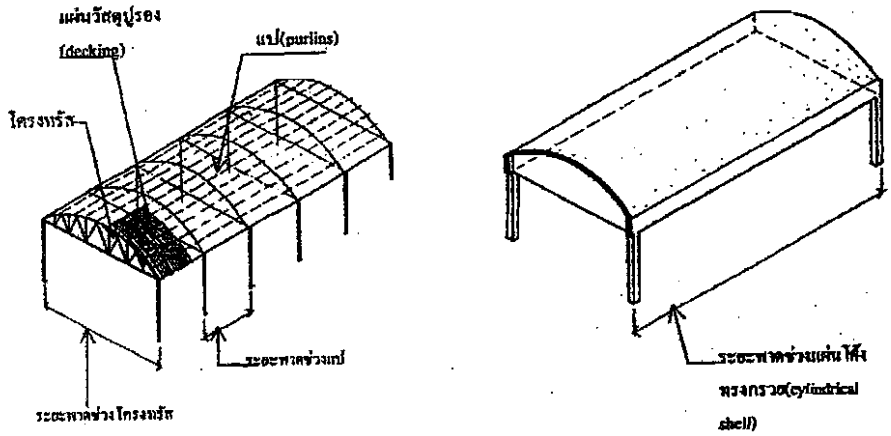
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ความหมายของหลังคา

หลังคา (roof) หมายถึง ส่วนปกคลุมภายนอก ซึ่งอยู่ด้านบนของอาคาร รวมถึงโครงสร้างที่ค้ำจุนหลังคาด้วย ดังนั้นระบบโครงสร้างของหลังคาจึงมักเป็นส่วนที่มีราคาแพงที่สุดส่วนหนึ่งของอาคาร การเลือกระบบโครงสร้างหลังคาให้มีความประหยัดจึงต้องคำนึงถึงวิธีการก่อสร้าง และความคงทนในการใช้งาน

2.2 ระบบโครงสร้างของหลังคา

หลังคาอาจแบ่งออกตามลักษณะทางโครงสร้างได้เป็น 2 ระบบใหญ่ ๆ คือ โครงสร้างหลังคาสเกเลตัน (skeleton roof structure) และโครงสร้างหลังคาที่ใช้พื้นผิวรับน้ำหนัก (surface and membrane structure for roof)

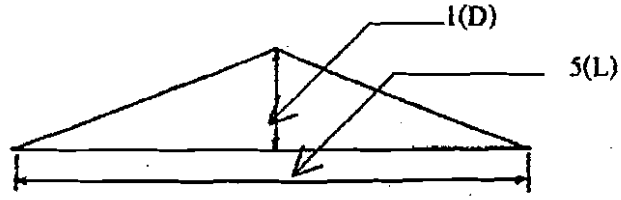


ภาพที่ 2.1 แสดงโครงหลังคาสเกเลตันแบบโครงทรัสโบว์สตริง
และโครงหลังคาพื้นผิวรับน้ำหนัก

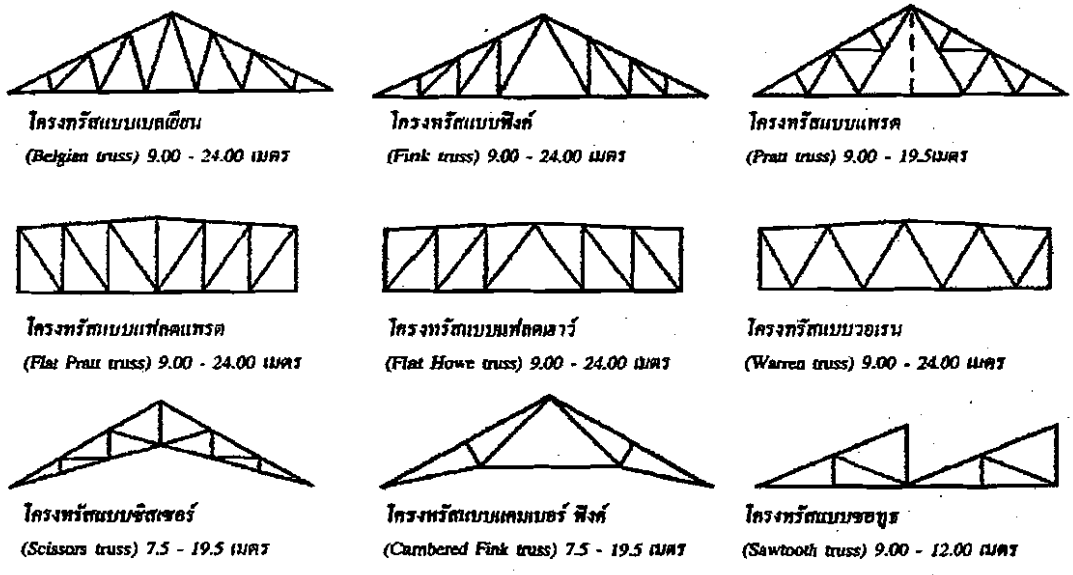
2.2.1 โครงสร้างหลังคาสเกเลตัน หมายถึง โครงหลังคาที่ประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนโครงสร้าง หลายชิ้นที่สานต่อกันและช่วยกันรับน้ำหนัก และถ่ายลงมาสู่คำแพงหรือเสาที่รองรับโครงหลังคา และถ่ายน้ำหนักลงสู่ฐานรากในที่สุด สามารถแบ่งออกตามลักษณะของโครงสร้างได้เป็น 3 แบบ คือ

1. <u>หลังคาที่มีความเอียงลาด (pitched roofs)</u> โครงสร้างของหลังคาเอียงลาดสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

1. โครงไม้ขนาดเล็ก (light wood framing)
2. โครงแผ่นกระดานและคานไม้ (wood plank and beam roof system)
3. จันทันโครงทรัสไม้ (wood truss rafter)
4. โครงเหล็ก (steel roofs) โครงสร้างหลังคาทำด้วยเหล็ก



<u>ภาพที่ 2.2</u> แสดงอัตราส่วนของความลึกโครงทรัส (D) และความยาวช่วงเสา (L) = 1:5 และความลึก (D) = L/6, L/7 สำหรับหลังคาเอียงลาด และ L/8, L/10 สำหรับหลังคาแบน และโครงโบว์สตริง L/6, L/8



<u>ภาพที่ 2.3</u> แสดงรูปแบบโครงทรัส

ระยะห่างโครงทรัสโดยเฉลี่ย 4.50 - 4.80 เมตร, บางครั้งอาจวางห่าง 2.40 - 2.60

ระยะพาดช่วงเสา : ระบุได้ภาพ

<u>2. หลังคาที่มีโครงสร้างเป็นสามมิติ</u> (tree – dimensional structure) ที่กล่าวถึงในที่นี้ เป็นโครงที่พัฒนาจากโครงทรัสที่เราเรียกว่า one – way truss on truss subsystem หรือโครงทรัสทางเดียวที่มีลักษณะของคานหลักและคานรอง โดยที่ให้ความลึกของโครงทรัสหนักและ

โครงทรัสที่เป็นคานรองมีความลึกเท่ากัน และวางสลับกันระหว่างคอร์ดบนและคอร์ดล่างของโครงทรัส โดยใช้ส่วนเวบเป็นส่วนเชื่อมระหว่างคอร์ดบนและคอร์ดล่าง

3. หลังคาแบน (flat roofs) หลังคาแบนส่วนใหญ่สร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ (reinforced concrete roof slabs) และคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป (precast concrete roof slabs) ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งหล่อกับที่และแบบสำเร็จรูป

2.2.2 โครงสร้างหลังคาที่ใช้พื้นผิวรับน้ำหนัก โครงสร้างพื้นผิว (surface structure) เป็นโครงสร้างที่รับแรงเค้นเนื่องจากน้ำหนักตายตัวและ น้ำหนักอื่นที่มากระทำโดยการกระจายออกตามพื้นผิวที่ห้อหุ้มทุกทิศทางและถ่ายลงสู่ฐานรองรับหรือดิน ตัวอย่างโครงสร้างในระบบนี้ได้แก่

1. โครงสร้างเปลือกบาง (thin shells)
2. โครงสร้างแผ่นพับ (folded plates)
3. โครงสร้างหลังคารองรับด้วยอากาศ (air - supported roofs structure)

2.3 ปัจจัยที่ควรคำนึงในการออกแบบ

ในการออกแบบหลังคา มีปัจจัยหลายอย่างที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งเราควรพิจาณาควบคู่กันไป ดังเช่น การรับน้ำหนัก, เครื่องมุงหลังคา, ความลาดเอียงของหลังคา, การระบายน้ำฝนออกจากหลังคาและการเลือกใช้โครงสร้างรองรับหลังคา

2.4 การออกแบบโครงสร้างเหล็ก

การออกแบบโครงสร้างเหล็กมีวิธีการเฉพาะสำหรับแต่ละส่วนโครงสร้าง ขึ้นกับแรงหรือโมเมนต์ที่ส่วนโครงสร้างนั้นต้องรับหรือต้านทาน แรงหรือโมเมนต์ที่กระทำต่อส่วนของโครงสร้างคำนวณหาค่าได้จากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีโครงสร้าง ส่วนของโครงสร้างเหล็กที่ต้องพิจารณาออกแบบ

ในการคำนวณและออกแบบโครงสร้างใด ๆ วิศวกรผู้ออกแบบ ต้องพิจารณาออกแบบส่วนของโครงสร้างนั้น ๆ ให้สอดคล้องเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานหรือข้อบัญญัติที่ได้กำหนดไว้ ส่วนมาตรฐานกำหนดของประเทศไทยคือมาตรฐาน ว.ส.ท. (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย) ซึ่งให้ข้อกำหนดส่วนใหญ่คล้ายกับที่ได้กำหนดไว้ในมาตรฐาน AISC โดยแบ่งเป็น

2.4.1 การออกแบบโดยวิธี ASD

เกณฑ์ของการออกแบบโดยวิธี ASD คือหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนรูปตัดของส่วนโครงสร้างที่พิจารณาเลือกใช้เมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (working stress: f) ต้องไม่เกินกว่าค่าหน่วยแรง

กระทำต่าง ๆ ที่คาดว่าส่วนโครงสร้างนั้นจะต้องรับ ในการออกแบบต้องพิจารณาจัดรวมน้ำหนักหรือแรงกระทำต่างๆ เพื่อให้ได้น้ำหนักบรรทุกใช้งานสูงสุดที่กระทำต่อส่วนของโครงสร้าง เช่น

น้ำหนักบรรทุกใช้งาน	=	D
หรือ	=	D + L
หรือ	=	0.75 [D + L + (W หรือ E)]

น้ำหนักบรรทุกใช้งานสูงสุดที่ได้จากสามกรณีข้างต้น เป็นน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่จะนำไปออกแบบต่อไป

2.4.2 การออกแบบโดยวิธี LRFD

หลักเกณฑ์ของการออกแบบโดยวิธี LRFD คือในสภาวะที่ส่วนโครงสร้างจะเกิดการวิบัติน้ำหนักประลัยหรือน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (factored load) ที่กระทำต่อส่วนของโครงสร้างที่พิจารณา หรือกำลังรับแรงที่ต้องการ (required strength) ต้องมีค่าไม่เกินกว่ากำลังต้านทานสูงสุดของส่วนโครงสร้างนั้นเมื่อได้ลดค่าลงแล้ว (design strength) น้ำหนักประลัยสูงสุดที่คาดว่าจะกระทำต่อส่วนของโครงสร้าง เช่นเดียวกันกับที่กล่าวในวิธี ASD มีดังต่อไปนี้

น้ำหนักประลัย	=	1.4D
หรือ	=	1.2D + 1.6L
หรือ	=	1.2D + (0.5L หรือ 0.8W)*
หรือ	=	1.2D + 1.3W +0.5L*
หรือ	=	1.2D ± 1.0E +0.5L*
หรือ	=	0.9D ± (1.3W หรือ 1.0E)

** ให้ใช้ตัวคูณน้ำหนักสำหรับน้ำหนักบรรทุกจร (L) เท่ากับ 1.0 เมื่อเป็นพื้นที่สำหรับที่จอดรถยนต์ หรือศูนย์จัดแสดงสาธารณะที่คาดว่าจะมีประชาชนจำนวนมากเข้าชม หรือเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกจรเกินกว่า 500 กก.ต่อ ตารางเมตร*

2.5 การออกแบบโครงสร้างรับแรงดึง (Tension Member)

โครงสร้างรับแรงดึง เป็นส่วนของโครงสร้างที่รับแรงดึงตรงปลายทั้งสองข้าง โดยกระทำผ่านศูนย์ถ่วงของรูป โครงงานชิ้นนี้ได้เลือกใช้ใช้มาตรฐานกำหนดของ AISC ซึ่งให้ข้อกำหนดในการออกแบบไว้สองวิธี คือ วิธี ASD (Allowable Stress Design) และวิธี LRFD (Load and Resistance Factor Design)

2.5.1 การออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงดึงโดยวิธี ASD

1. สำหรับส่วนโครงสร้างรับแรงดึงทั่วไป (ยกเว้นท่อนเหล็กและเหล็กแผ่นเจาะรูทำข้อต่อ) ให้พิจารณาใช้ค่าน้อยของหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ต่อไปนี้

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดทั้งหมด $F_t = 0.6 F_y$

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดสุทธิประสิทธิผล $F_t = 0.5 F_u$

2. สำหรับท่อนเหล็กหรือเคเบิ้ลรับแรงดึง

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ $F_t = 0.33F_u$

3. สำหรับข้อต่อแบบหมุนได้ในเหล็กแผ่น (pin-connected plate) หรือรูหมุดตาไก่ (pin hole) ให้พิจารณาใช้ค่าน้อยของหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ต่อไปนี้

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดทั้งหมด $F_t = 0.6F_y$

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดสุทธิที่ผ่านรูเจาะ $F_t = 0.45 F_y$

อนึ่ง หน่วยแรงกดรองรูเจาะที่ยอมให้ $F_p = 0.9F_y$

4. สำหรับส่วนโครงสร้างที่รับแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน (block shear)

แรงดึงที่ยอมให้ $= 0.5 F_u A_{nt} + 0.3 F_u A_{nV}$

2.5.2 การออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงดึงโดยวิธี LRFD

1. สำหรับส่วนโครงสร้างรับแรงดึงทั่วไป (ยกเว้นท่อนเหล็กและเหล็กแผ่นเจาะรูทำข้อต่อ) ให้พิจารณาใช้ค่าน้อยของกำลังรับแรงดึงประลัย ($\phi_t P_n$) ตามสภาวะของการวิบัติต่อไปนี้

เมื่อหน้าตัดทั้งหมดเกิดการคลาก :

กำลังรับแรงดึงประลัย $= 0.9 F_y A_g$ (เมื่อใช้ $\phi_t = 0.9$)

เมื่อหน้าตัดสุทธิประสิทธิผลเกิดการฉีกขาด :

กำลังรับแรงดึงประลัย $= 0.75 F_u A_e$ (เมื่อใช้ $\phi_t = 0.75$)

2. สำหรับท่อนเหล็กหรือเคเบิ้ลรับแรงดึง

กำลังรับแรงดึงประลัย $= 0.75\ (0.75 F_u A_b)$ (เมื่อใช้ $\phi_t = 0.75$)

3. สำหรับข้อต่อแบบหมุนได้ในเหล็กแผ่น (pin-connected plate) หรือรูหมุดตาไก่ (pin hole) ให้พิจารณาใช้ค่าน้อยของกำลังแรงประลัย ($\phi_t P_n$) ตามสภาวะของการวิบัติต่อไปนี้

เมื่อหน้าตัดทั้งหมดเกิดการคลาก :

กำลังรับแรงดึงประลัย = $0.9 F_y A_g$ (เมื่อใช้ $\phi_t = 0.9$)

เมื่อหน้าตัดสุทธิประสิทธิผลเกิดการฉีกขาด :

กำลังรับแรงดึงประลัย = $0.75 F_u A_e$ (เมื่อใช้ $\phi_t = 0.75$)

เมื่อรับแรงกดประลัยตรงรูเจาะ :

กำลังรับแรงดึงประลัย = $0.75 (1.8 F_y A_{pb})$ (เมื่อใช้ $\phi = 0.75$)

เมื่อรับแรงเฉือน :

กำลังรับแรงเฉือนประลัย = $0.75 (0.6 F_u A_{sf})$ (เมื่อใช้ $\phi_{sf} = 0.75$)

4. สำหรับส่วนโครงสร้างที่รับแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน (block shear)

ให้พิจารณาหากำลังรับแรงดึงประลัยจากข้อกำหนดต่อไปนี้

เมื่อ $F_u A_{nt} \geq 0.6 F_u A_{nv}$ (นั่นคือชิ้นส่วนถูกดึงขาดและดรากจากการเฉือน):

กำลังรับแรงดึงประลัย = $0.75 (0.6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt})$ (เมื่อใช้ $\phi_t = 0.75$)

เมื่อ $0.6 F_u A_{nv} > F_u A_{nt}$ (นั่นคือชิ้นส่วนถูกเฉือนขาดและดรากจากแรงดึง) :

กำลังรับแรงดึงประลัย = $0.75 (0.6 F_y A_{nv} + F_u A_{nt})$ (เมื่อใช้ $\phi_t = 0.75$)

2.5.3 อัตราส่วนความชะลูด

มาตรฐาน AISC/ASD/LRFD ได้กำหนดอัตราส่วนความชะลูดสำหรับโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึง ดังนี้

ค่า $\frac{KL}{r} \leq 300$ (ยกเว้นท่อนเหล็กกลม rod)

สำหรับท่อนเหล็กกลม ให้ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อยเท่ากับ 15 มิลลิเมตร

2.6 การออกแบบชิ้นส่วนรับแรงอัด (Compression Members)

โครงสร้างส่วนรับแรงอัด เป็นส่วนของโครงสร้างที่จะต้องออกแบบให้ต้านทานต่อแรงอัด ซึ่งกระทำตรงปลายทั้งสองข้างและผ่านศูนย์ถ่วงของรูปตัด การพิจารณาออกแบบส่วนของโครงสร้างที่รับแรงอัดดังสมการต่อไปนี้ สำหรับรูปตัดของส่วนโครงสร้างที่มีอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความหนาของแต่ละชิ้นส่วนไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดให้สำหรับรูปตัดแบบไม่คอมแพคดังตารางที่ 6ในภาคผนวก ก นั่นคือ

ก) เมื่อขอบด้านข้างข้างหนึ่งที่ขนานกับแนวแรงไม่ถูกยึด (unstiffened element)

โดยทั่วไป ให้ใช้ไม่เกิน $0.56\sqrt{E/F_y}$

เหล็กฉากเดี่ยวหรือเหล็กฉากคู่ที่มีแผ่นแทรก ให้ใช้ได้ไม่เกิน $0.45\sqrt{E/F_y}$

เหล็กแผ่นตั้งของเหล็กรูปตัวที ให้ใช้ได้ไม่เกิน $0.75\sqrt{E/F_y}$

ข) เมื่อขอบด้านข้างทั้งสองด้านที่ขนานกับแนวแรงถูกยึด (stiffened element)

โดยทั่วไป ให้ใช้ได้ไม่เกิน $1.49\sqrt{E/F_y}$

ท่อเหล็กรูปตัดสี่เหลี่ยม ให้ใช้ได้ไม่เกิน $1.40\sqrt{E/F_y}$

2.6.1 การออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงอัดโดยวิธี ASD

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้บนหน้าตัดทั้งหมด (A_g) ต่อไปนี้ ขึ้นอยู่กับการโก่งเดาะของเสาทั้งในช่วงอิลาสติกและอินอิลาสติก โดยใช้ค่าอัตราส่วนความชะลูด C_c เป็นตัวกำหนดโดยที่

$C_c = \sqrt{2\pi^2 E / F_y}$

เมื่อ $KL/r \leq C_c$: หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ F_a คำนวณได้จาก

$$F_a = \frac{1 - \frac{1}{2}\left(\frac{KL/r}{C_c}\right)^2}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8}\left(\frac{KL/r}{C_c}\right) - \frac{1}{8}\left(\frac{KL/r}{C_c}\right)^3} F_y$$

เมื่อ $KL/r > C_c$: หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ F_a คำนวณได้จาก

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2}$$

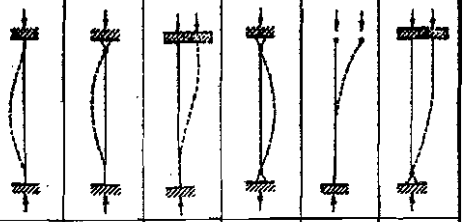
2.6.2 การออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงอัดโดยวิธี LRFD

กำลังรับแรงอัดประลัย $\phi_c P_n$ หาได้จากสมการ

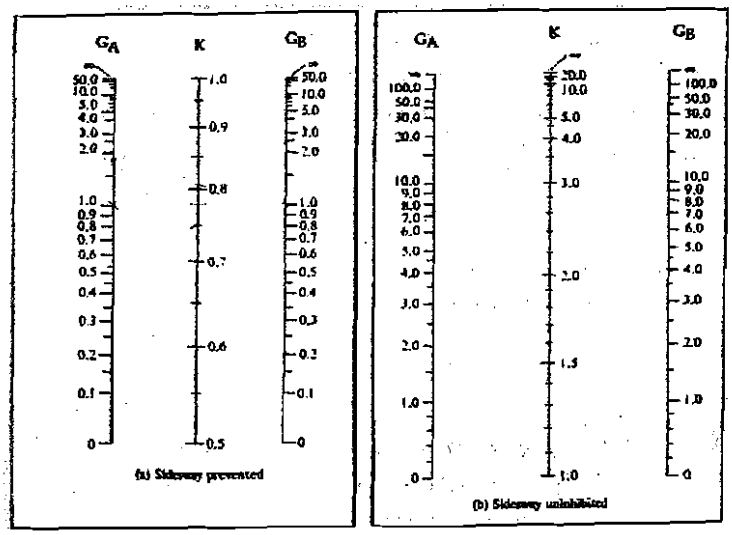
$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g$ $\sqrt{b^2 - 4ac}$ โดยให้ใช้ ϕ_c เท่ากับ 0.85

2.6.3 ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล (Effective Length Factor: K)

มาตรฐาน AISC/ASD/LRFD ได้ให้ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับการใช้ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผลที่ต้องพิจารณาในการออกแบบส่วนโครงสร้างรับแรงอัด โดยอาจเลือกใช้ค่าตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล K ตามที่แสดงดังภาพที่ 2.4 หรือพิจารณาโดยละเอียดจาก Alignment Chart ดังที่แสดงดังภาพที่ 2.5

	(ก)	(ข)	(ค)	(ง)	(จ)	(ฉ)
ลักษณะการโค้งงอของเสา แสดงโดยเส้นประ						
ค่า K ตามทฤษฎี	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
ค่า K ที่ใช้ในการออกแบบ	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
ตัวอักษณ์ของการยึดปลาย		การหมุนที่ปลายเสา		การเคลื่อนที่ของปลายเสา		
		ไม่มี		ไม่มี		
		มี		ไม่มี		
		ไม่มี		มี		
		มี		มี		

ภาพที่ 2.4 แสดงตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผลของเสา

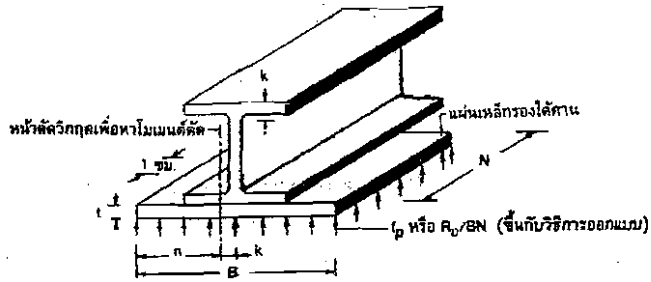


ภาพที่ 2.5 แสดง Alignment Chart

2.7 การออกแบบแผ่นเหล็กรองรับแรงกดสำหรับคาน (Beam Bearing Plate)

แผ่นเหล็กรองรับแรงกดสำหรับคาน เป็นแผ่นเหล็กช่วยกระจายน้ำหนักตรงบริเวณฐานรองรับหรือตรงตำแหน่งที่มีน้ำหนักกระทำแบบจุด เพื่อป้องกันมิให้เหล็กแผ่นตั้งของคานเกิดการวิบัติโดยการคลากหรือการยู้

ถ้าใช้แผ่นเหล็กกว้างเท่ากับ B ในแนวที่ตั้งฉากกับความยาวคาน และแผ่นเหล็กมีความยาวที่ขนานกับความยาวคานเท่ากับ N การออกแบบเพื่อหาขนาดความหนา (t) ของแผ่นเหล็กกระทำโดยสมมติให้หน่วยแรงกดที่เกิดขึ้นใต้แผ่นเหล็กกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดเนื้อที่ของแผ่นเหล็ก (B × N) ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำต่อแผ่นเหล็กให้พิจารณาโดยถือว่าแผ่นเหล็กทำหน้าที่เสมือนคานยื่นยาวเท่ากับ n ซึ่งวัดจากขอบของแผ่นรองถึงหน้าตัดวิกฤตที่อยู่ห่างจากแนวศูนย์ของหน้าตัดคานเป็นระยะเท่ากับ k นั่นคือระยะของ n เท่ากับ (B – 2k)/2 ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงการออกแบบเพื่อหาขนาดความหนาของแผ่นเหล็ก

2.7.1 การออกแบบแผ่นเหล็กรองรับแรงกดสำหรับคานโดยวิธี ASD

ถ้า P เป็นแรงกดที่กระทำบนแผ่นเหล็กขนาด (B × N) ดังนั้น หน่วยแรงกดที่กระทำใต้แผ่นเหล็ก $f_p = P/BN$ เมื่อพิจารณาให้แผ่นเหล็กด้านที่ยาว N มีค่าเท่ากับหนึ่งหน่วย ดังนั้น

โมเมนต์ดัดที่กระทำ $$M = f_p\, n \times \frac{n}{2} = \frac{f_p\, n^2}{2}$$

แต่ $\frac{M}{F_b} = S$ โดยที่ โมดูลัสอิลาสติก $S = \frac{I}{c} = \frac{(1/12)(1)(t^3)}{t/2} = \frac{t^2}{6}$

แทนค่าจะได้ $\frac{f_p\, n^2}{2F_b} = \frac{t^2}{6}$ หรือ ความหนาของแผ่นเหล็ก $t = \sqrt{\frac{3 f_p\, n^2}{F_b}}$

ในเมื่อ หน่วยแรงดัดรอบแกนรองที่ยอมให้ $f_p = 0.75\, F_y$

ดังนั้น ความหนาของแผ่นเหล็กที่ต้องการ $t = 2n\sqrt{\frac{f_p}{F_y}}$

2.7.2 การออกแบบแผ่นเหล็กรองรับแรงกดสำหรับคานโดยวิธี LRFD

ถ้า R_u เป็นแรงกดที่กระทำบนแผ่นเหล็กขนาด (B × N) ดังนั้นหน่วยแรงกดที่กระทำใต้เหล็กแผ่น = R_u/BN เมื่อพิจารณาให้แผ่นเหล็กด้านที่ยาว N มีค่าเท่ากับ 1 หน่วย

โมเมนต์ดัดประลัยที่กระทำ $M_u = \frac{R_u}{BN}(n)\left(\frac{n}{2}\right) = \frac{R_u\, n^2}{2BN}$

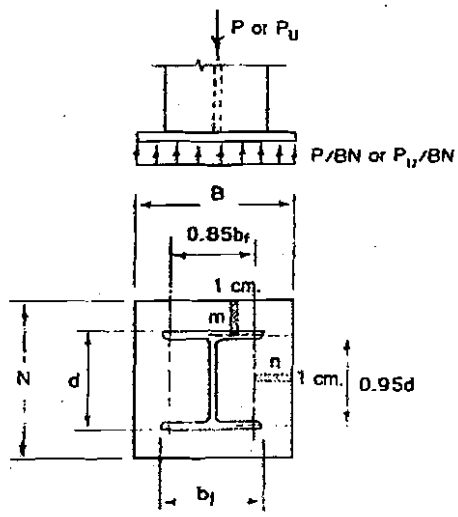
แต่กำลังรับแรงดัดประลัย $\phi_b M_p = 0.9\left[F_y\left(t^2/4\right)\right]$

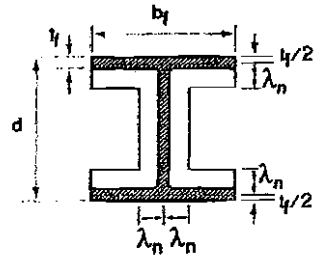
ดังนั้น ความหนาของแผ่นเหล็กที่ต้องการ $t = \sqrt{\frac{2.222\ R_u\ n^2}{BN\ F_y}}$

2.8 แผ่นเหล็กรองรับแรงกดสำหรับเสา (Column Base Plate)

แผ่นเหล็กรองรับแรงกดสำหรับเสา เป็นแผ่นเหล็กช่วยกระจายแรงหรือน้ำหนักจากเสาสู่ฐานรากรองรับ เช่น ตอม่อคอนกรีต โดยหน่วยแรงกดที่กระทำต่อฐานรากรองรับต้องไม่เกินกว่าค่าที่กำหนด และแผ่นเหล็กต้องสามารถรับโมเมนต์ดัดที่เกิดจากแรงกดได้ทั้งสองทิศทาง

ถ้าใช้แผ่นเหล็กกว้างเท่ากับ B และยาวท่ากับ N เพื่อรับแรงกระทำร่วมศูนย์ การออกแบบเพื่อหาขนาดความหนา (t) ของแผ่นเหล็ก กระทำโดยสมมุติให้ หน่วยแรงกดที่เกิดขึ้นใต้เหล็กแผ่นกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดเนื้อที่ของแผ่นเหล็ก (B × N) หากแรงกดอัดจากเสามีค่ามาก ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่แผ่นเหล็กต้องรับให้พิจารณาโดยถือว่าแผ่นเหล็กทำหน้าที่เสมือนคานยื่น ยาวเท่ากับ m และ n โดยที่ระยะ m มีค่าเท่ากับ $[N-0.95d]/2$ และระยะ n มีค่าเท่ากับ $[B-0.8b_f]/2$ ดังภาพที่ 2.9 แต่เมื่อแรงกดอัดจากเสามีค่าน้อย ต้องพิจารณาหาค่าโมเมนต์ดัดที่แผ่นเหล็กนั้นต้องรับ โดยถือว่าแผ่นเหล็กทำหน้าที่เสมือนคานยื่นที่ยาวเท่ากับ λ_n ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\left(\lambda/4\right)\left(d\ b_f\right)^{1/2}$ ดังภาพที่ 2.7





ภาพที่ 2.7 แสดงระยะ m และ n ของแผ่นเล็ก ภาพที่ 2.8 แสดงระยะ λ_n ของแผ่นเล็ก

ในเมื่อ $\lambda = \frac{2\sqrt{x}}{1+\sqrt{1-x}} \le 1\Delta + (A_1)^{1/2} = 0.5\left(0.95d - 0.80\ b_f\right)$

ซึ่งระยะ $x = \left[\frac{4\ d\ b_f}{\left(d+b_f\right)^2}\right]\left[\frac{P/A_1}{F_p}\right]$ ตามมาตรฐาน AISD / ASD

หรือ $= \left[\frac{4\,d\,b_f}{(d+b_f)^2}\right]\left[\frac{P_u}{\phi_c P_p}\right]$ ตามมาตรฐาน AISD / LRFD

ระยะแขนโมเมนต์ที่มีค่ามากที่สุด จะนำไปใช้คำนวณหาค่าความหนาของแผ่นเหล็ก

2.8.1 การออกแบบแผ่นเหล็กรองรับแรงกดสำหรับเสาโดยวิธี ASD

1. เนื้อที่ของเหล็กแผ่นที่ต้องการ A_1 เป็นค่ามากที่สุดที่ได้จากสมการต่อไปนี้:

$$A_1 = \left[P/\left(0.35\,f_c'\right)\right]^2 / A_2$$

$$A_1 = P/\left(0.7\,f_c'\right)$$

$$A_1 = (d)(b_f)$$

2. ความหนาของแผ่นเหล็ก t ที่ต้องการ หาได้จากค่าของ m หรือ n หรือ λ_n ดังนี้

$$t = 2\ (m \text{ หรือ } n \text{ หรือ } \lambda_n) \cdot \sqrt{\frac{P}{Bn\ F_y}}$$

2.8.2 การออกแบบแผ่นเหล็กรองรับแรงกดสำหรับเสาโดยวิธี LRFD

1.เนื้อที่ของเหล็กแผ่นที่ต้องการ A_1 เป็นค่ามากที่สุดที่ได้จากสมการต่อไปนี้:

$$A_1 = \left[P_u/(0.6)\left(0.85\,f_c'\right)\right]^2 / A_2$$

$$A_1 = P_u/(0.6)\left(0.7\ f_c'\right)$$

$$A_1 = (d)(b_f)$$

2.ความหนาของแผ่นเหล็ก t ที่ต้องการ หาได้จากค่าของ m หรือ n หรือ λ_n ดังนี้

$$t = 2\ (m \text{ หรือ } n \text{ หรือ } \lambda_n) \cdot \sqrt{\frac{2\ P_u}{0.9\,Bn\ F_y}}$$

รับแรงกดในแต่ละทิศ มีค่าเท่า ๆ กัน

2.9 การออกแบบรอยต่อเชื่อม (Welded Connections)

ในปัจจุบัน การประกอบโครงสร้างเหล็ก มักทำโดยวิธีเชื่อมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากลักษณะหรือท่าของการต่อ และการทำรอยเชื่อมต่อนั้น อาจจำแนกแบบของการเชื่อมต่อออกเป็น 3 แบบที่สำคัญ คือ

1. การเชื่อมต่อแบบฟิลเลท (Fillet weld) หรือในที่นี้เรียกว่า การเชื่อมแบบต่อทาบ

2. การเชื่อมแบบต่อชนหรือในร่อง (Butt weld หรือ Groove weld) ที่เชื่อมในร่องลึกตลอดความหนาของชิ้นส่วน หรือเพียงบางส่วนของความหนาของชิ้นส่วนนั้น

3. การเชื่อมอุดแบบปลั๊กหรือสลอท (plug or slot weld) ในรูกลมหรือช่องยาว

ตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ในภาคผนวก ก ได้ให้ข้อกำหนดในการพิจารณาหากำลังรับแรงของรอยต่อเชื่อมโดยวิธี ASD และวิธี LRFD ตามลำดับ

สำหรับโครงงานชิ้นนี้เลือกใช้การเชื่อมต่อแบบฟิลเลทหรือแบบต่อทาบ (fillet weld) ซึ่งกำลังรับแรงของรอยต่อแบบต่อทาบ ให้พิจารณาจากำลังรับแรงเฉือนบนเนื้อที่ประสิทธิผลของรอยต่อเชื่อมเสมอไป ไม่ว่าแรงจะกระทำในทิศทางใดก็ตาม

2.9.1 การออกแบบรอยต่อเชื่อมโดยวิธี ASD

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของลวดเชื่อม $=(0.3F_{Exx})(0.707\times size\times L)$ กก.

หรือ $=(0.3F_{Exx})(0.707\times size)$ กก./ซม.

ฉะนั้น หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของลวดเชื่อม $\left[0.707\left(0.3F_{Exx}\right)\right]$

= 1,040 (size) กก./ซม. (เมื่อใช้ลวดเชื่อมชนิด E 70)

= 890 (size) กก./ซม. (เมื่อใช้ลวดเชื่อมชนิด E 60)

2.9.2 การออกแบบรอยต่อเชื่อมโดยวิธี LRFD:

กำลังรับแรงอัดประลัยของลวดเชื่อม $\phi F_w A_w$ เมื่อตัวคูณลดกำลัง $\phi = 0.75$

$= (0.75)(0.6F_{Exx})(0.707\times size\times L)$

หรือ $= (0.45F_{Exx})(0.707\times size)$

= 1,555 (size) กก./ซม.(เมื่อใช้ลวดเชื่อมชนิด E 70)

= 1,335 (size) กก./ซม.(เมื่อใช้ลวดเชื่อมชนิด E 60)