บทที่ 2

การคำนวณออกแบบโครงข้อแข็งเหล็กระนาบอย่างเหมาะสมโดยใช้วิธีงานสมมุติ

กล่าวนำ

ในการออกแบบโครงข้อแข็งเหล็กระนาบ เริ่มต้นด้วยการสร้างแบบจำลองโครงสร้างในระนาบ 2 มิติ จากโครงสร้างจริงที่ต้องการออกแบบ ซึ่งแบบจำลองโครงสร้างจะประกอบด้วย องค์อาคาร ข้อต่อ สภาพของฐานรองรับ

ข้อมูลสำหรับพิจารณา คือแรงที่กระทำกับโครงข้อแข็ง สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท

1. น้ำหนักที่กระทำถาวรต่อโครงสร้าง ได้แก่น้ำหนักของโครงสร้างเอง และน้ำหนักบรรทุกที่มีตำแหน่งการกระทำคงที่ตลอดเวลา เรียกว่า น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load) เกิดจากแรงดึงดูดของโลก จึงมีทิศทางในแนวดิ่งเสมอ

2. น้ำหนักกระทำที่โครงสร้าง จะต้องบรรทุกเมื่ออยู่ในสภาพใช้งาน หรือที่เรียกว่าน้ำหนักบรรทุกจร (Live load) ขึ้นกับสภาพการใช้งาน

3. น้ำหนักที่กระทำทางด้านข้างได้แก่ แรงลม ซึ่งมีขนาดตามความสูงของโครงสร้าง

เมื่อพิจารณาแรงต่างๆแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างและออกแบบให้ถูกต้องตามข้อกำหนดในการออกแบบ

โดยมีสมมุติฐานในการวิเคราะห์และออกแบบโครงข้อแข็งระนาบว่า ข้อต่อทุกจุดเป็นข้อแข็ง(Rigid Joint) สามารถถ่ายแรงในแนวแกน แรงเฉือน ข้อต่อสามารถถ่ายโมเมนต์ได้โดยที่มุมของข้อต่อไม่เปลี่ยนแปลง พิจารณาน้ำหนักที่กระทำทางด้านข้างเฉพาะน้ำหนักที่กระทำเป็นจุดกระทำที่จุดต่อเท่านั้น

การวิเคราะห์โครงข้อแข็งระนาบ

ในการวิเคราะห์โครงสร้างจะอาศัยหลักการของการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement Method) แล้วใช้วิธีการรวมสติฟเนสโดยตรง (Direct Stiffness Method) รวมสติฟเนสของโครงสร้างทั้งระบบจากสติฟเนสขององค์อาคารย่อย ๆ โดยใช้วิธีการทางเมตริกซ์ช่วยในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยที่ความสัมพันธ์ของสติฟเนสและการเปลี่ยนตำแหน่งที่สอดคล้องกับแรงกระทำภายนอกเป็นดังสมการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$[K]\{u\} = \{F\} \qquad (2.1)$$

เมื่อ $[K]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของโครงข้อแข็ง ในระบบโคออร์ดิเนตโกลบัล

$\{u\}$ = เมตริกซ์การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงข้อแข็งที่เราต้องการทราบ

$\{F\}$ = เมตริกซ์ของแรงที่กระทำกับโครงข้อแข็ง

ซึ่งค่าสติฟเนสเมตริกซ์ของโครงข้อแข็ง $[K]$ เริ่มจากการหาสติฟเนสขององค์อาคารรับแรงดัดและแรงในแนวแกน แล้วทำการแปลงให้แต่ละสติฟเนสขององค์อาคารย่อยในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว (Local coordinate) เข้าสู่ระบบโคออร์ดิเนตโกลบัล (Global coordinate) แล้วรวมสติฟเนสย่อยเป็นสติฟเนสรวมของโครงข้อแข็ง โดย

$$[K] = [a]^T[k][a] \qquad (2.2)$$

เมื่อ $[a]$ = เมตริกซ์แปลงโคออร์ดิเนต (Transform matrix)

$[a]^T$ = ทรานสโพส(Transpose) ของเมตริกซ์ $[a]$

$[k]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของโครงข้อแข็ง ในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว (Local coordinate)

การรวมน้ำหนักบรรทุกเพื่อวิเคราะห์หาแรงภายในของแต่ละองค์อาคารของโครงข้อแข็ง จะพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ การรวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรซึ่งเป็นน้ำหนักกระทำตามช่วงเวลาปกติ และพิจารณาสำหรับน้ำหนักที่กระทำเป็นช่วง ๆ เนื่องจากแรงลม โดยมาตรฐาน AISC กำหนดให้เพิ่มค่าหน่วยแรงที่ยอมให้อีกหนึ่งในสาม เนื่องจากเป็นน้ำหนักที่กระทำชั่วคราว ดังนั้นจึงใช้ค่าแรงที่ได้จากสามในสี่ของผลรวมของ น้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจรและน้ำหนักเนื่องจากแรงลม

ในงานวิจัยนี้ จึงแบ่งการพิจารณารวมน้ำหนักบรรทุกเป็น 2 กรณี

Case a : D+L (2.3)

Case b : 0.75(D+L+W) (2.4)

เมื่อ D = น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำถาวรกับโครงข้อแข็ง

L = น้ำหนักบรรทุกจรที่โครงข้อแข็งต้องบรรทุกเมื่ออยู่ในสภาพใช้งาน

W = น้ำหนักกระทำเนื่องจากแรงลม

จากสมการ (2.1) เมตริกซ์การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงข้อแข็ง {u} หาได้จาก

$$[K]^{-1}\{F\} = \{u\} \qquad (2.5)$$

แรงภายในขององค์อาคาร{S}หาได้จาก

$$\{S\} = [k][a]\{u\} \qquad (2.6)$$

จากสมการสมดุล (Equilibrium equation) จะหาแรงปฏิกิริยา {R}ที่จุดรองรับได้ดังนี้

$$\{R\} = [a]^{T}\{S\} \qquad (2.7)$$

นำแรงหนึ่งหน่วย(Virtual force)กระทำที่จุดสูงสุดของโครงข้อแข็ง เพราะเป็นจุดที่เกิดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างรวมสูงสุด จะได้แรงภายในของแต่ละองค์อาคารเพื่อนำมาพิจารณาออกแบบโดยอาศัยหลักการของงานสมมุติต่อไป

จากหลักการของงานสมมุติ "เมื่อให้ระบบแรงสมมุติใด ๆ ที่ยอมรับได้ทางสถิตย์ (System of statically admissible virtual forces) เคลื่อนที่ไปด้วยระยะเปลี่ยนตำแหน่งจริงและการเปลี่ยนรูปร่างที่สอดคล้องกัน (Real and compatible displacements and deformations) แล้ว งานสมมุติประกอบซึ่งกระทำโดยแรงสมมุติภายนอก เท่ากับพลังงานความเครียดสมมุติประกอบหรืองานสมมุติภายในซึ่งกระทำโดยแรงสมมุติภายใน" โดยที่ระบบแรงสมมุติที่ยอม รับได้ทางสถิตย์ คือ ระบบแรงสมมุติที่ประกอบด้วยแรงสมมุติภายนอกและหน่วยแรงสมมุติซึ่ง อยู่ในสมดุลและไม่ขึ้นกับระบบแรงในโครงสร้างจริงอีกทั้งไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับสภาพ เหนี่ยวรั้งของโครงสร้างจริง (ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, 2533) ดังนั้น

งานภายนอก (W_E) = งานภายใน (W_I)

งานภายนอก เกิดจากแรงสมมุติ Q เคลื่อนที่ไปด้วยระยะเปลี่ยนตำแหน่งจริง δ

$$W_E = Q.\delta \qquad (2.8)$$

เมื่อ δ = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งรวมของโครงข้อแข็ง ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการหา

Q = แรงสมมุติที่กระทำกับโครงข้อแข็ง

งานภายในเกิดจากหน่วยแรงจริงเคลื่อนที่ไปด้วยความเครียดสมมุติ มีค่าเท่ากับผลรวมของงานภายในของแต่ละองค์อาคาร

ให้ $W_{I,i}$ คือ งานภายในขององค์อาคารที่ i หาได้จาก ค่าตัวประกอบเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวขององค์อาคาร (The Member's displacement participation factor , DPF) กรณีของโครงข้อแข็งระนาบ จะพิจารณาค่าของ DPF ที่เกิดจากผลของ แรงดัด แรงเฉือน รอบแกนเอกขององค์อาคารและผลของแรงในแนวแกน เท่านั้น ค่า DPF ของโครงข้อแข็งเหล็กระนาบจะมีค่าดังนี้

$$W_{I,i} = DPF_i = DFmaj_i + DVmaj_i + DA_i \qquad (2.9)$$

โดยที่ $DFmaj_i$ เกิดจากการดัดรอบแกนเอกขององค์อาคาร i

$DVmaj_i$ เกิดจากการเฉือนในแนวแกนเอกขององค์อาคาร i

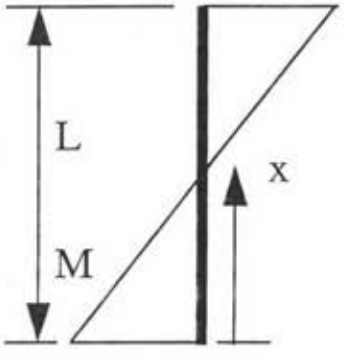
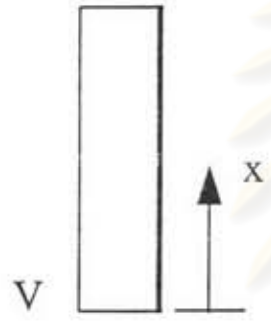
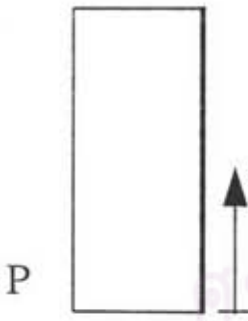
DA_i เกิดจากแรงในแนวแกนขององค์อาคาร i

ค่าต่าง ๆ นี้จะสามารถหาได้ในกรณีที่เราทราบค่าแรงจริงและแรงสมมุติขององค์อาคารดังแสดงในรูปที่ 2.1

ในกรณีที่พิจารณาแรงสมมุติภายนอก Q มีค่า หนึ่งหน่วยจาก (2.8)และ(2.9) จะได้

$$\delta = \sum_{i=1}^{n} DPF_i = \sum_{i=1}^{n} (DFmaj_i + DVmaj_i + DA_i) \qquad (2.10)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REAL FORCE	VIRTUAL FORCE	DPF
		Major Axis Bending $DFmaj = \int_0^L \frac{M(x)m(x)}{EImaj} dx$
		Major Axis Shear $DVmaj = \int_0^L \frac{V(x)v(x)}{GA^*} dx$
		Axial $DA = \int_0^L \frac{P(x)p(x)}{EA} dx$

รูปที่ 2.1 แสดงค่า DPF เนื่องจากแรงดัด แรงเฉือนและแรงในแนวแกนขององค์อาคาร

ค่า SI_i เท่ากับการเปลี่ยนแปลงของ DPF_i (ΔDPF_i) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรขององค์อาคาร (Δv_i) และเมื่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรมีค่าน้อยมาก ค่า SI_i จะเป็นดังนี้

$$SI_i = \lim_{\Delta v \to 0}\left[\frac{\Delta DPF_i}{\Delta V_i}\right] = \frac{DPF_i}{V_i} \qquad (2.11)$$

ขั้นตอนการคำนวณเพื่อเปลี่ยนแปลงขนาดขององค์อาคาร

1. ในกรณีที่รู้ค่าการเคลื่อนตัวเป้าหมาย จะหาค่า SI เป้าหมายได้จาก

$$SI_{target} = \frac{\delta_{target}}{V_{total}} \qquad (2.12)$$

เมื่อ δ_{target} = ระยะการเคลื่อนตัวเป้าหมาย

V_{total} = ปริมาตรของวัสดุ

2. คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดใหม่ของแต่ละองค์อาคาร

$$SI_{target} = \frac{DPF^i_{new}}{A^i_{new}L_i} = \frac{1}{A^i_{new}L_i}\left(\frac{DF^i_{old}I^i_{old}}{I^i_{new}} + \frac{DA^i_{old}A^i_{old}}{A^i_{new}} + \frac{DV^i_{old}A^{*i}_{old}}{A^{*i}_{new}}\right) \qquad (2.13)$$

DF^i_{old} เป็น DPF เริ่มต้น เกิดจากการดัด

DA^i_{old} เป็น DPF เริ่มต้น เกิดจากแรงในแนวแกน

DV^i_{old} เป็น DPF เริ่มต้น เกิดจากแรงเฉือน

โดยที่ $I^i_{old} = r^2_{old}A^i_{old}$, $I^i_{new} = r^2_{new}A^i_{new}$ เมื่อ r = รัศมีไจเรชั่น

$A^{*i}_{old} = \kappa_{old}A^i_{old}$, $A^{*i}_{new} = \kappa_{new}A^i_{new}$ เมื่อ κ = สัดส่วนของพื้นที่รับแรงเฉือนต่อพื้นที่ทั้งหมด

A^* = พื้นที่รับแรงเฉือน

A = พื้นที่รับแรงทั้งหมด

$$SI_{target} = \frac{A^i_{old}}{(A^i_{new})^2 L_i}\left(\frac{DF^i_{old} r^2_{old}}{r^2_{new}} + DA^i_{old} + \frac{DV^i_{old}\kappa_{old}}{\kappa^i_{new}}\right) \quad (2.14)$$

เมื่อ $r_{new} = r_{old}$, $\kappa_{new} = \kappa_{old}$ จะได้

$$A^i_{new} = \sqrt{\frac{A^i_{old} DPF^i_{old}}{SI_{target} L_i}} \quad (2.15)$$

$r_{new} = r_{old}$ จะถูกต้องเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัดน้อย
$\kappa_{new} = \kappa_{old}$ จะถูกต้องเมื่อหน้าตัดอยู่ในกลุ่มของความลึกเดียวกัน

เมื่อได้ A^i_{new} เลือกขนาดองค์อาคารใหม่ จะได้ค่า DPF^i_{new} และ SI^i_{new} ดังนี้

$$DPF^i_{new} = DF^i_{old}\left[\frac{I^i_{old}}{I^i_{new}}\right] + DA^i_{old}\left[\frac{A^i_{old}}{A^i_{new}}\right] + DV^i_{old}\left[\frac{A^{*i}_{old}}{A^{*i}_{new}}\right] \quad (2.16)$$

$$SI^i_{new} \doteq \frac{DPF^i_{new}}{A_{new} L_i} \quad (2.17)$$

เปรียบเทียบ SI^i_{new} กับ SI_{target} ถ้าอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด (5%) ให้บันทึกขนาดขององค์อาคารไว้ แต่ถ้าไม่ได้ ให้ทำการคำนวณซ้ำ

3. เมื่อได้ขนาดขององค์อาคารใหม่ รวมผลของ DPF จะได้ค่าระยะการเคลื่อนตัวใหม่ เปรียบเทียบกับ การเคลื่อนตัวที่ยอมให้เกิดได้ ถ้าต่างกันมาก ต้องกลับไปเริ่ม ที่ขั้นตอนที่ 1 แล้วทำซ้ำจนได้การเคลื่อนตัวที่ยอมได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในทางทฤษฎีเมื่อค่า SI มีค่าเท่ากันทุกองค์อาคารก็จะได้โครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ทุกองค์อาคารต้องมีกำลังเพียงพอต่อแรงภายในด้วย ดังนั้นจึงกำหนดเงื่อนไขบังคับรองซึ่งเป็นเงื่อนไขบังคับเกี่ยวกับหน่วยแรงขึ้นตามข้อกำหนดในการออกแบบ ได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

<u>การออกแบบโครงสร้างข้อแข็งระนาบ</u>

ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างข้อแข็งเหล็กระนาบ คำตอบที่ได้คือแรงภายในแต่ละองค์อาคาร ซึ่งได้แก่ แรงในแนวแกน แรงเฉือน และโมเมนต์ ซึ่งแรงที่ได้จะนำไปออกแบบแต่ละองค์อาคารตามข้อกำหนด เพื่อให้ได้องค์อาคารที่สามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัยตามมาตรฐานข้อกำหนดโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ของ AISC/ASD 1989

ค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (F_b) สำหรับองค์อาคารรับแรงดัด

ในกรณีที่โครงสร้างส่วนรับแรงดัดมีหน้าตัดสมมาตรกับแกนรอง มีความยาวปราศจากการยึดด้านข้างของปีกรับแรงอัด (L_b) น้อยกว่าค่าที่น้อยระหว่าง 2 ค่า (L_1,L_2) แสดงว่าโครงสร้างมีการยึดเพียงพอ

$$L_1 = \frac{1.41 \times 10^6}{(d / A_f) F_y} \qquad (2.18)$$

$$L_2 = \frac{637 b_f}{\sqrt{F_y}} \qquad (2.19)$$

จากสัดส่วนของความกว้างของปีกคานต่อความหนาของปีกคาน ในขณะที่โครงสร้างมีการยึดเพียงพอสามารถแบ่งประเภทหน้าตัดได้ 3 ประเภท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. หน้าตัดแบบอัดแน่น (Compact section)

$$\text{เมื่อ} \quad \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{545}{\sqrt{F_y}}$$

$F_{bx} = 0.66\,F_y$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (สำหรับการดัดรอบแกนหลัก) (2.20)

$F_{by} = 0.75\,F_y$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (สำหรับการดัดรอบแกนรอง) (2.21)

ข. หน้าตัดแบบไม่อัดแน่น (Non compact section)

$$\text{เมื่อ} \quad \frac{545}{\sqrt{Fy}} \leq \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{796}{\sqrt{Fy}}$$

$$F_b = Fy\left[0.790 - 0.000238(b_f / 2t_f)\sqrt{Fy}\right] \quad \text{กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร} \quad (2.22)$$

ค. หน้าตัดชิ้นส่วนชะลูด (Slender element section)

$$\text{เมื่อ} \quad \frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{796}{\sqrt{Fy}}$$

$F_b = 0.60F_y$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (2.23)

ถ้า $L_b > L_1$ หรือ $L_b > L_2$ แสดงว่ามีการยึดทางด้านข้างไม่เพียงพอ อาจจะเกิดการโก่งทางข้างของปีก ทำให้กำลังต้านทานต่อน้ำหนักบรรทุกลดลง หน่วยแรงดัดที่ยอมให้จะพิจารณาจากสัดส่วนของ KL_b/r_T

L_b = ความยาวปราศจากการยึดด้านข้างของปีกรับแรงอัด

r_T = รัศมีไจเรชั่นของการบิด มีค่า $\sqrt{\dfrac{(Iy)/2}{A_f + (A_w)/6}}$

A_f = พื้นที่หน้าตัดของส่วนปีก

A_w = พื้นที่หน้าตัดของส่วนเอว

เมื่อ $\frac{KL_b}{r_T} \leq \sqrt{\frac{717x10^4 C_b}{F_y}}$

$$F_b = 0.60F_y \qquad (2.24)$$

กรณี KL_b/r_T มีค่ามากกว่า $\sqrt{\frac{717x10^4 C_b}{F_y}}$ จะใช้ค่าหน่วนแรงดัดที่ยอมให้มากที่สุด จาก 3 สูตร ข้างล่างนี้ แต่ต้องไม่เกินค่า 0.6 F_y

เมื่อ $\sqrt{\frac{717x10^4 C_b}{F_y}} \leq \frac{KL_b}{r_T} \leq \sqrt{\frac{3585x10^4 C_b}{F_y}}$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y(KL_b / r_T)^2}{10756x10^4 C_b}\right]F_y \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร} \qquad (2.25)$$

เมื่อ $\frac{KL_b}{r_T} \geq \sqrt{\frac{3585x10^4 C_b}{F_y}}$

$$F_b = \frac{1195x10^4 C_b}{(KL_b / r_T)^2} \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร} \qquad (2.26)$$

เมื่อปีกรับแรงอัดเป็นแผ่นเต็ม หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีเนื้อที่หน้าตัดไม่น้อยกว่าเนื้อที่หน้าตัดของปีกรับแรงดึง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$F_b = \frac{843600\, C_b}{(L_b d)/A_f} \qquad (2.27)$$

C_b เป็นสัมประสิทธิ์เนื่องจากโมเมนต์ที่ปลาย

$$= 1.75 + 1.05\left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0.3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \leq 2.3 \qquad (2.28)$$

M_1 , M_2 = โมเมนต์ดัดรอบแกนหลักที่ปลายของช่วงคานที่ไม่มีการยึด ซึ่ง $M_1 < M_2$

M_1/M_2 เป็นบวกเมื่อคานเกิดความโค้งคู่ (Double curvature)

C_b = 1.0 ถ้าโมเมนต์ภายในมากกว่าโมเมนต์ที่ปลาย

ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (F_a) สำหรับองค์อาคารรับแรงอัด

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ขององค์อาคารมีค่าขึ้นกับสัดส่วนความชะลูดซึ่งคำนวณจาก

สัดส่วนความชะลูด = KL/r

เมื่อ KL = ความยาวประสิทธิผลขององค์อาคารที่จะเกิดการโก่งเดาะ , เซนติเมตร

r = รัศมีไจเรชั่นของพื้นที่รอบแกนที่จะเกิดการโก่งเดาะ

K = ตัวคูณประกอบของความยาวประสิทธิผล

L = ช่วงยาวอิสระที่ไม่มีสิ่งยึดทางข้าง

1) หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ พิจารณาจากพื้นที่ยอมให้ พิจารณาจากพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดขององค์อาคารรับแรงอัดหลัก ซึ่งมีค่ามากของสัดส่วนความชะลูด $KL/r < Cc$

เมื่อ $$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \qquad (2.29)$$

$$F_a = \frac{\left[1-\frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right]}{\frac{5}{3}+\frac{3(KL/r)}{8C_c}-\frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}}F_y \qquad (2.30)$$

2) องค์อาคารรับแรงอัดหลักที่มีสัดส่วนความชะลูด KL/r > Cc

หน่วยแรงอัดในแนวแกนที่ยอมให้

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2} \qquad (2.31)$$

สำหรับองค์อาคารที่รับแรงดัดและแรงอัดร่วมกัน หน่วยแรงที่ยอมให้เป็นดังนี้

ก. เมื่อ $f_a / F_a > 0.15$: ต้องคำนึงว่าโมเมนต์มีค่าสูงสุดเกิดขึ้นภายใน หรือที่ปลายขององค์อาคาร

กรณีที่ 1 เมื่อโมเมนต์สูงสุดเกิดขึ้นภายในองค์อาคาร จะได้

$$\frac{f_a}{F_a}+\frac{f_b}{F_b}\cdot\frac{C_m}{1-f_a/F'_e} \leq 1.0 \qquad (2.32)$$

f_a = หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

f_b = หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

F_b = หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

F'_e = หน่วยแรงอัดออยเลอร์ที่ยอมให้ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

$$= \frac{12\pi^2 E}{23\lambda^2} \quad (\lambda = KL/r) \qquad (2.33)$$

C_m = สัมประสิทธิ์มีค่าขึ้นกับลักษณะขององค์อาคารว่าเป็นชนิดที่มีการยึด หรือปราศจากการยึด และลักษณะการเกิดของโมเมนต์ว่าเกิดจากน้ำหนักบรรทุกกระทำจากด้านข้าง หรือเป็นโมเมนต์ที่กระทำที่ปลาย

กรณีที่ 2 เมื่อโมเมนต์สูงสุดเกิดขึ้นที่ปลาย จะได้

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1.0 \qquad (2.34)$$

ข. เมื่อ $f_a / F_a \leq 0.15$ กรณีนี้ไม่คำนึงผลของแรงอัดตามแนวแกน จะได้

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1.0 \qquad (2.35)$$

สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบด้วยวิธีงานสมมุติ

1. เริ่มจากการป้อนข้อมูลที่ประกอบด้วย

1.1 ข้อมูลของข้อต่อ ประกอบด้วยจำนวนจุดต่อทั้งหมด ระยะของแต่ละจุดเทียบกับแกนอ้างอิงและมีจุดใดบ้างที่เป็นฐานรองรับ

1.2 ข้อมูลขององค์อาคาร ประกอบด้วยจำนวนขององค์อาคาร ความต่อเนื่องของแต่ละองค์อาคารที่อยู่ระหว่างจุดต่อ

1.3 ข้อมูลวัสดุ ประกอบด้วยชนิดของวัสดุ กลุ่มของวัสดุ มีองค์อาคารใดบ้างที่ อยู่ในแต่ละกลุ่ม

1.4 ข้อมูลของน้ำหนักกระทำภายนอก มี 3ชนิด คือ

1.4.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่

1.4.2 น้ำหนักบรรทุกจร

1.4.3 น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลม

2. หาพื้นที่หน้าตัดเริ่มแรกจากอัตราส่วนความชะลูดไม่เกินค่าที่กำหนด ได้ค่ารัศมีไจเรชันที่ต้องการ นำไปเปิดตารางเหล็กเพื่อหาค่าพื้นที่หน้าตัดที่มีค่ารัศมีไจเรชันที่มากกว่าหรือเท่ากับรัศมีไจเรชันที่ต้องการ

3. คำนวณค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ยอมให้

4. พิจารณาน้ำหนักบรรทุกกระทำทางด้านข้าง และวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาแรงภายในและการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง

5. พิจารณาหาการเปลี่ยนตำแหน่งที่มากที่สุด รวมทั้งจุดต่อที่เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งทางด้านข้างมากที่สุด นำแรง 1 หน่วยกระทำกับจุดต่อนั้นในทิศทางที่เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งมากที่สุด จากนั้นวิเคราะห์หาแรงภายในของโครงสร้างที่เกิดจากแรง 1 หน่วย

6. นำหลักการของงานสมมุติมาปรับขนาดพื้นที่ตามสมการที่ (2.15) และค่าดัชนีความไวตามสมการที่ (2.17)

7. นำขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ได้มารับน้ำหนักบรรทุกกระทำกรณีที่ 1 หาแรงภายในที่เกิดขึ้น

8. ตรวจสอบหน่วยแรงด้วยข้อกำหนด ในกรณีที่หน่วยแรงมีค่ามากกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ปรับเพิ่มขนาดให้สอดคล้องกับหน่วยแรงภายในที่เกิดขึ้น

9. หากรณีที่มีปริมาตรรวมน้อยที่สุดนับเป็นกรณีวิกฤต นำพื้นที่หน้าตัดของกรณีวิกฤตไปวิเคราะห์หาแรงภายในจากกรณีที่เหลือ แล้วนำไปตรวจสอบหน่วยแรงตามข้อกำหนด ถ้าองค์อาคารใดมีหน่วยแรงไม่เพียงพอให้ปรับเพิ่มองค์อาคารนั้น จากนั้นนำพื้นที่หน้าตัดชุดใหม่ไปวิเคราะห์หาแรงภายในและนำไปตรวจสอบหน่วยแรงตามข้อกำหนดจนได้พื้นที่หน้าตัดที่มีกำลังสามารถรับแรงภายในได้ทุกกรณีของน้ำหนักกระทำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย