บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมสร้างคลังแบบทดสอบ (Test builder) โดยการนำข้อสอบรายวิชาการออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก ลงไปในโปรแกรมช่วยสร้างคลังแบบทดสอบซึ่งจะเป็นข้อสอบที่จะสามารถใช้สอบในการสอบใบประกอบวิชาชีพได้เพื่อเป็นประโยชน์แก่นักศึกษาวิศวกรรมโยธาที่จบใหม่ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ง่ายและสะดวกรวดเร็วกับการที่จะทำข้อสอบและเพื่อเป็นการฝึกฝนของวิศวกรที่จะเตรียมความพร้อมในการสอบใบประกอบวิชาชีพระดับภาคีวิศวกรซึ่งแบ่งวิชาที่จะสอบออกเป็น 2 กลุ่มวิชาได้แก่

1.กลุ่มวิชาบังคับ 4 วิชา คือ

1.1 การเขียนแบบวิศวกรรม (Engineering drawing)

1.2 กลศาสตร์วิศวกรรม (Engineering mechanics)

1.3 กลศาสตร์ของวัสดุ (Engineering materials)

1.4 การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer programming)

2.กลุ่มวิชาเลือก (เฉพาะสาขาวิศวกรรมโยธา) 4 วิชา (ไม่ซ้ำกลุ่ม) จาก 8 กลุ่มวิชา (3 วิชาแรกบังคับสอบ 5 วิชาหลังเลือกอันใดอันหนึ่ง)คือ

2.1 ทฤษฎีโครงสร้างและการวิเคราะห์โครงสร้าง (Teheory of stucture / Stuctural analysis)

2.2 การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กและการออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (Reinforced concrete design / Timber and steel design)

2.3 กลศาสตร์ของดิน (Soil mechanics)

2.4 วิศวกรรมการทาง (Highway engineering)

2.5 วิศวกรรมชลศาสตร์ (Hydraulic engineering)

2.6 วิศวกรรมการประปาและสุขาภิบาล (Water supply and sanitary engineering / Water supply engineering and design)

2.7 สำรวจ การสำรวจเส้นทาง การสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่าย (Surveying / Route surveying / Photogrammetry)

2.8 การบริหารงานก่อสร้าง ระบบสิ่งแวดล้อมและการจัดการ (Construction management / Environmental systems and management)

การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็กประกอบด้วยการออกแบบวิธี ASD และวิธี LRFD โดยเนื้อหาส่วนใหญ่นำมาจากหนังสือของ ศาสตราจารย์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร ซึ่งในวิชานี้จะประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 4 หัวข้อหลักๆ คือ

2.1 ส่วนโครงสร้างรับแรงดึงและแรงอัด (Tension and compression member)

2.1.1 องค์อาคารรับแรงดึง

องค์อาคารรับแรงดึง (Tension members) มักจะพบในโครงสร้างเหล็กทั่วไป ปกติจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลัก เช่น สะพาน โครงข้อหมุน หอสูง เป็นต้น การออกแบบเพื่อหาขนาดของส่วนโครงสร้างนี้ค่อนข้างง่าย เนื่องจากไม่ต้องระวังเรื่องการโค้งโก่งงอ (Buckling) แต่สิ่งที่ต้องพิจารณานอกเหนือจากการออกแบบหาขนาดของชิ้นส่วนคือการออกแบบเพื่อทำรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนหนึ่งกับอีกชิ้นส่วนอื่นเพื่อถ่ายแรงดึง โดยอาจต่อกันโดยการเชื่อมหรือหรือใช้สลักเกลียว เป็นต้น

การคำนวณองค์อาคารรับแรงดึง จากสูตรดังนี้

$f_t = P/A_{net}$

เมื่อ f_t คือหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น, ksc

P คือแรงดึงในแนวแกนขององค์อาคารผ่านจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด, kg

A_{net} คือพื้นที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคารที่หักพื้นที่ของรูเจาะ, cm^2

สูตรการคำนวณสำหรับส่วนโครงสร้างรับแรงดึง

วิธี ASD

1. **กำหนดค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้สำหรับส่วนโครงสร้างรับแรงดึงทั่วไปหน่วยหน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดทั้งหมด** $F_t = 0.6F_y$

   หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดสุทธิประสิทธิผล $F_t = 0.5F_u$

2. กำหนดค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้สำหรับส่วนโครงสร้างที่รับแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน

   แรงดึงที่ยอมให้ $T_{bs} = 0.3F_uA_{nv}+0.5F_uA_{nt}$

   เมื่อ F_y = กำลังจุดคลากของเหล็ก

   F_u = กำลังรับแรงดึงประลัยต่ำสุดของเหล็ก

   A_{nt} = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่รับแรงดึง

   A_{nv} = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่รับแรงเฉือน

วิธี LRFD

1. กำหนดค่ากำลังรับแรงดึงประลัยสำหรับส่วนโครงสร้างรับแรงดึงทั่วไปให้ใช้ค่าน้อยที่สุดดังต่อไปนี้

   เมื่อเกิดการคลากกำลังรับแรงดึงประลัย $= 0.9F_yA_g$

   เมื่อเกิดการแตกร้าวกำลังรับแรงดึงประลัย $= 0.75F_uA_e$

2. กำหนดค่ากำลังรับแรงดึงประลัยสำหรับส่วนโครงสร้างรับแรงดึงร่วมกับแรงเฉือนดังต่อไปนี้

   เมื่อ $F_uA_{nt} > 0.6F_uA_{nv}$ กำลังรับแรงดึงประลัยเท่ากับ

   $P_{bs} = 0.75(F_uA_{nt}+0.6F_yA_{gv})$

   เมื่อ $0.6F_uA_{nv} > F_uA_{nt}$ กำลังรับแรงดึงประลัยเท่ากับ

   $P_{bs} = 0.75(0.6F_uA_{nv}+F_yA_{gt})$

   เมื่อ A_{gt} คือ เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดที่รับแรงดึง

   A_{gv} คือ เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดที่รับแรงเฉือน

   A_{nt} คือ เนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่รับแรงดึง

   A_{nv} คือ เนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่รับแรงเฉือน

2.1.2 องค์อาคารรับแรงอัด

โครงสร้างที่รับแรงอัดที่เห็นได้ง่ายคือ เสา ค้ำยัน ส่วนของปีกคาน เป็นต้น แรงอัดนี้จะพยายามจะทำให้โครงสร้างเกิดการแอ่นตัวหรือโค้งโก่งตัว

สูตรการคำนวณองค์อาคารรับแรงอัด

โดยวิธี ASD

$F_a = P/A$

เมื่อ f_a คือหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้น, ksc

P คือแรงในแนวความยาว, kg

A คือพื้นที่หน้าตัดเสาตั้งฉากกับแกนความยาว, cm^2

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ จากมาตรฐาน AISC เมื่อ

เมื่อ $KL/r < Cc$ เสาจะพังด้วยการคลาก จัดเป็นเสาสั้น หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ คือ

$$Fa = \{ [1-0.5(KL/r/Cc)^2]/[(5/3)+(3/8)[KL/r/Cc]-(1/8)[KL/r/Cc]^3]\}F_y$$

เมื่อ $KL/r > Cc$ เสาจะพังด้วยการโก่งเดาะ จัดเป็นเสายาว

$$Fa = 12\P^2E/[23(KL/r)^2]$$

โดยที่ $Cc = [2 \P^2 E/F_y]^{0.5}$

เมื่อ F_a = หน่วยแรงอัดตั้งฉากกับหน้าตัดเสาที่ยอมให้, ksc

F_y = หน่วยแรงคลาก, ksc

E = มอดุลัสยืดหยุ่นของเหล็กเท่ากับ 2,100,000 , ksc

K = ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล ค่านี้ขึ้นอยู่กับการรองรับที่ปลาย

L = ความยาวเสาอิสระไม่มีสิ่งยึดทางข้าง, cm

r = รัศมีไจเรชั่น, cm

I_{NA} = โมเมนต์อินเนอร์เชียที่น้อยที่สุดของหน้าตัดเสา, cm^4

A = พื้นที่หน้าตัดเสา, cm^2

โดยวิธี LRFD สูตรที่ใช้คือ

$P_n = \emptyset F_{cr} A_g$

เมื่อ P_n **= กำลังต้านทานแรงอัดประลัยที่ระบุ**

$\emptyset$ **= ตัวคูณลดกำลังสำหรับส่วนโครงสร้างรับแรงอัดเท่ากับ 0.85**

A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของส่วนโครงสร้างรับแรงอัด

F_{cr} = หน่วยแรงอัดวิกฤตขึ้นกับตัวแปรความชะลูด [$\lambda_c = KL/r\,(F_y/E)^{0.5}$]

เมื่อ λ_c < 1.5 เสาจะโก่งเดาะในช่วงอินอิลาสติก หน่วยแรงอัดวิกฤตหาได้จาก

$F_{cr} = (0.658)F_y$

เมื่อ λ_c > 1.5 เสาจะโก่งเดาะในช่วงอิลาสติก หน่วยแรงอัดวิกฤตหาได้จาก

$F_{cr} = 0.877\,\pi^2 E/(KL/r)^2$

2.2 การเชื่อมต่อขององค์อาคาร (Connections)

การต่อกันของโครงสร้าง

การต่อกันของโครงสร้าง อาจทำได้ 2 แบบคือ

1. **ต่อกันของโครงสร้างโดยใช้ตัวยึด เช่น ใช้หมุดย้ำหรือสลักเกลียว เป็นการต่อยึดชิ้นส่วนของโครงสร้างหลายๆชิ้นให้ติดกัน เพื่อให้รอยต่อสามารถรับแรงและถ่ายแรงกระทำได้ตามต้องการ สำหรับการต่อโดยใช้หมุดย้ำนี้ ในปัจจุบันไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก**

กำลังรับแรงดึงและกำลังรับแรงเฉือนของตัวยึด

วิธี ASD, กำลังรับแรงดึงที่ยอมให้ของตัวยึด $= F_t A_b$

กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้ของตัวยึด $= F_v A_b$

เมื่อ F_t, F_v = หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

A_b = เนื้อที่หน้าตัดของตัวยึด

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวยึด

วิธี LRFD, กำลังรับแรงดึงประลัยของตัวยึด $= \emptyset F_t A_b$

กำลังรับแรงเฉือนประลัยของตัวยึด $= \emptyset F_v A_{bg}$

เมื่อ F_t, F_v = หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงเฉือน ประลัย

Ab = เนื้อที่หน้าตัดของตัวยึด

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวยึด

Ø = ตัวคูณลดกำลัง = 0.75

หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้; $F_p = 1.2F_u$

เมื่อ F_p คือหน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้, ksc

F_u คือหน่วยแรงดึงประลัยของเหล็ก, ksc

2. การต่อโครงสร้างโดยการเชื่อมซึ่งเป็นอีกวิธีที่ได้รับความนิยมมาก การต่อโดยการเชื่อม**เป็นการต่อโลหะให้ติดกัน โดยการใช้ความร้อนเผาตรงบริเวณรอยต่อให้ละลายพร้อมกัน นั้นก็จะใช้ลวดเชื่อมหลอมเหล็กโครงสร้างเข้าด้วยกัน**

วิธี ASD กำลังของลวดเชื่อม $= F_w A_w$

กำลังของชิ้นโลหะ $= F_{BM} A_{BM}$

วิธี LRFD กำลังของลวดเชื่อม $= \emptyset F_w A_w$

กำลังของชิ้นโลหะ $= \emptyset F_{BM} A_{BM}$

เมื่อ F_w คือ หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้หรือหน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของลวดเชื่อม

F_{BM} คือ หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้หรือหน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของชิ้นโลหะ

A_w คือ เนื้อที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อม

2.3 คานและเสา (Beams, beam-columns)

การคำนวณองค์อาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน สามารถทำได้โดยการรวมค่าอัตราส่วนของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงๆ กับหน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับโมเมนต์ดัดกับค่าของอัตราส่วนของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงกับหน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับแรงในแนวแกน โดยมีค่าไม่เกิน 1.00 ผลที่ได้เรียกว่า Interaction คือ

วิธี ASD

$$f_a/F_a + f_b/F_b \leq 1.00$$

กรณีมีโมเมนต์เกิดขึ้นสองแกนคือ ในแกน x และแกน y สมการคือ

$$f_a/F_a + f_{bx}/F_{bx} + f_{by}/F_{by} \leq 1.00$$

เมื่อ f_a คือ หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นจริง, ksc

F_a คือ หน่วยแรงอัดที่ยอมให้, ksc

f_{bx} คือ หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นจริงทางแกน x, ksc

f_{by} คือ หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นจริงทางแกน y, ksc

F_{bx} คือ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ทางแกน x, ksc

F_{by} คือ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ทางแกน y, ksc

วิธี LRFD

$$P_u/(\emptyset_c P_n) + M_{ux}/(\emptyset_b M_{nx}) + M_{uy}/(\emptyset_b M_{ny}) \leq 1.00$$

เมื่อ P_u คือ แรงอัดประลัยตามแนวแกนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว

M_{ux}, M_{uy} คือ โมเมนต์ดัดประลัยรอบแกนX และแกน Y ตามลำดับที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว

$\emptyset_c P_n$ คือ กำลังรับแรงอัดประลัย (ใช้ตัวคูณ $\emptyset_c = 0.85$)

$\emptyset_b M_{nx}, \emptyset_b M_{ny}$ คือ กำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยรอบแกน X และแกน Y ตามลำดับ (ใช้ตัวคูณ $\emptyset_b = 0.9$)

2.4 คานประกอบขนาดใหญ่ (Built-up members, plate girders)

คานเหล็กประกอบขนาดใหญ่เป็นส่วนโครงสร้างที่รับแรงดัดและแรงเฉือน จะมีช่วงความยาวคานมากและรับน้ำหนักบรรทุกมาก คานเหล็กประกอบได้จากการนำเหล็กแผ่นขนาดต่างๆ อย่างน้อย 3 แผ่นมาประกอบให้มีรูปตัดคล้ายกับเหล็กรูปพรรณตัว I หรือตัว W

คานเหล็กประกอบที่มีอัตราส่วนความชะลูด

h/tw ของเหล็กแผ่นตั้งเกินกว่า $5.76(E/F_y)0.5$ วิธี ASD

h/tw ของเหล็กแผ่นตั้งเกินกว่า $5.70(E/F_y)0.5$ วิธี LRFD

จะถือว่าเป็นคานเหล็กประกอบขนาดใหญ่