บทที่ 5

สรุปแนวทางการออกแบบ

จากบทที่กล่าวมาแล้วแสดงให้เห็นถึงวิธีการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยแบบจำลองสตรัท-ไท ซึ่งหลักการดังกล่าวก็คือการทดแทนหน่วยแรงอัดและแรงดึงภายในด้วยชิ้นส่วนสตรัทและไทที่มีขนาดจำกัด แล้วพิจารณาหาแรงภายในที่เกิดขึ้นด้วยสมการโครงข้อหมุน จากนั้นจึงตรวจสอบกำลังอัดของคอนกรีตและหาปริมาณเหล็กเสริมต่อไป จะเห็นได้ว่าการออกแบบด้วยวิธีการนี้ผู้ออกแบบสามารถมองเห็นและเข้าใจพฤติกรรมของแรงภายในทั้งชิ้นส่วนโครงสร้างได้ดี ทำให้การตรวจสอบกำลังคอนกรีตและการหาปริมาณเหล็กเสริมรวมทั้งการจัดเรียงสามารถทำได้สอดคล้องกับพฤติกรรมของแรงภายใน

<u>การสร้างแบบจำลอง</u>

สำหรับการสร้างแบบจำลอง B-regions(เช่น คาน, เสา)สามารถใช้แบบจำลองสตรัท-ไทมาตรฐานที่เป็นลักษณะโครงข้อหมุน โดยมีคอร์ดบน-ล่างที่ขนานกันเป็นตัวรับแรงอัดและแรงดึงจากโมเมนต์ ดัดส่วนแรงเฉือนจะถูกต้านไว้ด้วยคอร์ดแนวทแยงและคอร์ดรับแรงดึงแนวขวาง การหาแรงในแบบจำลองสามารถวิเคราะห์ได้จากแรงที่หน้าตัดร่วมกับสมการโครงข้อหมุน สำหรับการสร้างแบบจำลองในส่วนของ D-regions(เช่น คานลึก, ฐานราก)จะต้องพิจารณาเป็นกรณีๆไปขึ้นอยู่กับสัดส่วนของโครงสร้าง, ลักษณะของน้ำหนักที่กระทำ, และขนาดของจุดรองรับต่างๆ โดยอาศัยการพิจารณาการกระจายหน่วยแรงภายในตามทฤษฎีอีลาสติกเป็นข้อมูลเบื้องต้น การหาแรงภายในจะพิจารณาโดยตรงจากสมการโครงข้อหมุน

1. <u>คาน</u> แบบจำลองของโครงสร้างคาน จะใช้แบบจำลองของ B-regions โดยมีข้อพิจารณาคือการเลือกใช้มุมเอียงของสตรัทแนวทแยง ซึ่งมีผลต่อแรงและปริมาณเหล็กเสริมในแบบจำลองดังนี้

ก) ถ้ามุมเอียงของสตรัท θ มีค่าน้อย แรงที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งจะมีค่าน้อยตาม แต่แรงที่เกิดขึ้นในแนวราบและแรงในตัวสตรัทจะมีค่ามาก ส่งผลให้ต้องเสริมเหล็กตามยาวมากแต่เหล็กปลอกน้อย

ข) ถ้ามุมเอียงของสตรัท θ มีค่ามาก แรงที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งจะมีค่ามาก แต่แรงที่เกิดขึ้นแนวราบและแรงในตัวสตรัทจะมีค่าน้อย ส่งผลให้ต้องเสริมเหล็กปลอกมากแต่เหล็กตามยาวน้อย

ค) สำหรับผลรวมของปริมาตรเหล็กเสริมที่ต้องการ จะมีค่าต่ำสุดเมื่อกำหนดให้มุมเอียงของสตรัทมีค่าเท่ากับ 35.2 องศา ดังนั้นถ้าผู้ออกแบบต้องการประหยัดเหล็กเสริมก็สามารถเลือกใช้มุมเอียงของสตรัทให้อยู่ในช่วง 30-40 องศา ซึ่งเหมาะสมสำหรับกรณีที่แรงเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่าไม่สูงนัก

ง) หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นบนสตรัทแนวทแยง จะมีค่าต่ำสุดเมื่อกำหนดให้สตรัทเอียง 45 องศา ซึ่งหน่วยแรงอัดดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับ $\frac{2V}{b \cdot z}$ ดังนั้นในกรณีที่แรงเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมาก จึงควรเลือกกำหนดให้สตรัทมีมุมเอียง 45 องศาหรือใกล้เคียง เพื่อให้สามารถรับแรงได้สูงสุดก่อนจะวิบัติ

จ) สำหรับกรณีที่พิจารณากำลังของสตรัทแนวทแยงจากสมการของ Collins, Mitchell พบว่ากำลังรับแรงอัดของสตรัทจะมีค่ามากขึ้นเมื่อสตรัทมีมุมเอียงมากด้วย และเมื่อพิจารณาร่วมกับหน่วยแรงอัดที่เกิดในสตรัท จะพบว่าหน้าตัดคานรับแรงเฉือนได้สูงสุดเมื่อกำหนดมุมเอียงของสตรัทอยู่ในช่วง 55-60 องศา

2. <u>คานลึก</u> คานลึกเป็นลักษณะของ D-regions ดังนั้นการสร้างแบบจำลองจึงต้องทำเป็นกรณีๆ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้พิจารณาจากการกระจายของหน่วยแรงภายในตามทฤษฎีอีลาสติกโดยใช้โปรแกรมไฟไนท์เอลีเมนต์ช่วยในการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์นำมากำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อใช้สำหรับสร้างรูปร่างของแบบจำลอง ซึ่งพอสรุปค่าที่สำคัญได้ดังนี้

ก) คานลึกได้รับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ผิวบน กรณีสัดส่วน h/l ช่วง 0.5-1.5 จะพบว่ามุมเอียงของสตรัทแนวทแยงอยู่ในช่วง 55-73 องศา และอัตราส่วนของระยะแขนแรงคู่ควบภายในต่อความยาวคาน z/l อยู่ในช่วง 0.33-0.64

ข) คานลึกได้รับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ด้านล่าง กรณีสัดส่วน h/l ช่วง 0.5-1.5 จะพบว่ามุมเอียงของสตรัทแนวทแยงอยู่ในช่วง 48-65 องศา และอัตราส่วนของระยะแขนแรงคู่ควบภายในต่อความยาวคาน z/l อยู่ในช่วง 0.33-0.64

ค) คานลึกได้รับน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ผิวบน กรณีสัดส่วน h/l ช่วง 0.5-1.0 จะพบว่ามุมเอียงของสตรัทแนวทแยงอยู่ในช่วง 36-60 องศา และอัตราส่วนของระยะแขนแรงคู่ควบภายในต่อความสูงคาน z/h อยู่ในช่วง 0.72-0.87

ง) คานลึกได้รับน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ด้านล่าง กรณีสัดส่วน h/l ช่วง 0.5-1.0 จะพบว่ามุมเอียงของสตรัทแนวทแยงอยู่ในช่วง 50-80 องศา และอัตราส่วนของระยะแขนแรงคู่ควบภายในต่อความยาวคาน z/l อยู่ในช่วง 0.35-0.60

จ) สำหรับคานลึกที่มีช่องเปิด ถ้าช่องเปิดนั้นไม่ขวางเส้นทางของสตรัทเดิม(ของกรณีไม่มีช่องเปิด)หรืออยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางช่วงคาน ก็สามารถใช้แบบจำลองสตรัท-ไทเหมือนกับที่กล่าวมาแล้วได้ซึ่งอาจแก้ไขเพิ่มเติมโดยเลื่อนสตรัทหรือไทแนวราบขึ้น-ลงเพื่อหลีกช่องเปิดนั้น แต่ถ้าช่องเปิดนั้นขวางเส้นทางของสตรัทที่พุ่งสู่จุดรองรับโดยตรง จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองสตรัท-ไทบริเวณรอบๆช่องเปิดนั้นขึ้นมาใหม่

ค่าสัดส่วนของคานลึก h/l จะมีผลต่อรูปร่างของแบบจำลองคือเมื่อ h/l มีค่ามากขึ้น จะทำให้มุมเอียงของสตรัทแนวทแยงมีค่าเพิ่มขึ้น และจะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อสัดส่วน h/l มีค่ามากกว่า 1

ขนาดของจุดรองรับจะมีผลต่อรูปร่างของแบบจำลองคือ ถ้าจุดรองรับมีขนาดใหญ่จะทำให้มุมเอียงของสตรัทแนวทแยงมีความชันมากกว่ากรณีที่จุดรองรับมีขนาดเล็ก

3. ฐานราก การสร้างแบบจำลองของฐานรากจะพิจารณาในลักษณะสองมิติ โดยแบ่งการพิจารณาออกแบบสองระนาบที่ตั้งฉากกัน แล้วใช้โปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์การกระจายหน่วยแรงภายในเสมือนโครงสร้างคานลึก สัดส่วนของฐานรากจะมีผลต่อรูปร่างของแบบจำลองคือ เมื่อความลึกของฐานรากเพิ่มขึ้น จะทำให้มุมเอียงของสตรัทแนวทแยงมีค่ามากขึ้นด้วย ซึ่งส่งผลให้แรงภายในแบบจำลองมีค่าน้อยกว่ากรณีฐานรากมีความลึกน้อยๆ

ขนาดของเสาที่ถ่ายน้ำหนักลงสู่ฐานรากจะมีผลต่อรูปร่างของแบบจำลองคือ เมื่อเสามีขนาดใหญ่จะทำให้มุมเอียงของสตรัทแนวทแยงมีความชันมากกว่ากรณีที่เสามีขนาดเล็ก ซึ่งส่งผลให้แรงภายในแบบจำลองมีค่าน้อยกว่า

4. เสา เสาเป็นลักษณะของ B-regions จะใช้แบบจำลองสตรัท-ไทแบบโครงข้อหมุนเช่นเดียวกับคาน แต่มีข้อพิจารณาเพิ่มเติมในสมการการหาแรงภายในชิ้นส่วน คือนอกจากแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดแล้วยังต้องรวมผลของแรงอัดในแนวแกน N เข้าไปด้วย นอกจากนี้ในบริเวณที่ผลจากโมเมนต์ดัดและแรงตามแกนไม่ทำให้เกิดหน่วยแรงดึงที่ผิวด้านใดด้านหนึ่ง บริเวณดังกล่าวสามารถสร้างแบบจำลองเฉพาะ โดยการแทนแรงลัพธ์ด้วยสตรัทเดี่ยว การเลือกมุมเอียงของสตรัทแนวทแยงเพื่อประหยัดปริมาณเหล็กเสริมควรใช้มุมประมาณ 30° - 40°

การให้ขนาด

ขนาดของสตรัทและโนดถูกกำหนดด้วยรูปร่างของแบบจำลอง, และขนาดของจุดรองรับ รวมทั้งการจัดเรียงเหล็กเสริม ขนาดสตรัทที่สำผัสกับโนดสามารถคำนวนได้จากสมการ

$$w_2 = w_1 \sin\theta + w_3 \cos\theta$$

เมื่อ θ คือมุมเอียงของสตรัท , w_1 คือความกว้างของจุดรองรับ และ w_3 คือความลึกของแนวการเสริมเหล็กหรือแผ่นเหล็กยึดรั้ง

สำหรับกำลังอัดของคอนกรีต มีผู้วิจัยที่ผ่านมาหลายท่านได้เสนอการจำกัดค่ากำลังอัดไว้แตกต่างกัน ซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 4 เพื่อให้การออกแบบสอดคล้องกับ CEB Model Code 1990 จึงเสนอการจำกัดค่ากำลังอัดของคอนกรีตไว้สองกรณีคือ

กรณีสตรัทหรือโนดที่ไม่ร้าว $f^{*}_{cd} = 0.85[1-f'_c/2500]f_{cd}$

กรณีสตรัทหรือโนดที่ร้าว $f^{*}_{cd} = 0.65[1-f'_c/2500]f_{cd}$

เมื่อ $f_{cd} = f'_c/\gamma_M$ γ_M (Partial factor) = 1.5

สำหรับการออกแบบระยะยึดรั้งสามารถใช้วิธีมาตรฐานที่มีอยู่ ทั้งนี้ CEB Model Code 1990 กำหนดไว้ดังนี้

$$l_{b,net} = \alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5 l_b \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} \geq l_{b,\min}$$