บทที่ 8

การหาค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับองค์อาคารประเภทต่างๆ

ค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับองค์อาคารประเภทต่างๆขึ้นอยู่กับลักษณะของการวิบัติ ความสำคัญขององค์อาคาร และผลหรืออันตรายที่จะตามมาของการวิบัตินั้น ถ้าการวิบัติเป็นแบบวัสดุเปราะ (brittle) หรือผลที่ตามมาของการวิบัติมีอันตรายมาก ค่าดัชนีความปลอดภัยที่ใช้ในการออกแบบจะต้องมีค่าสูง แต่ถ้าการวิบัติเป็นแบบวัสดุเหนียว (ductile) ค่าดัชนีของความปลอดภัยก็อาจใช้ค่าต่ำกว่าได้ ค่าดัชนีของความปลอดภัยที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างในประเทศสหรัฐอเมริกาแสดงได้ดังนี้ [12]

ผลของการวิบัติ	การวิบัติเป็นแบบวัสดุเหนียว	การวิบัติเป็นแบบวัสดุเปราะ
ไม่อันตรายมาก	2.5 - 3.0	3.0 - 3.5
อันตรายมาก	3.0 - 3.5	4.0 หรือมากกว่า

8.1 ตัวคูณลดกำลังรับแรงดัด

การออกแบบองค์อาคารรับแรงดัดตามข้อกำหนดของ ว.ส.ท. กำหนดให้ออกแบบโดยใช้ปริมาณเหล็กเสริมน้อยกว่า 0.75 เท่าของปริมาณเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุลย์ ทำให้การวิบัติขององค์อาคารเป็นการวิบัติแบบแรงดึงเป็นหลัก องค์อาคารจึงมีสภาพเป็นวัสดุเหนียว ดังนั้นดัชนีของความปลอดภัยที่ใช้ออกแบบจะมีค่าเท่ากับ 3.0

ค่าตัวคูณลดกำลังสามารถคำนวณได้จาก

$$\phi_n = \text{อัตราส่วนกำลัง} \times \bar{R}/R_n \exp(-0.75\beta\Omega_R) \qquad (7.1)$$

โดยที่ $\bar{R}/R_n$ = อัตราส่วนระหว่างกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยต่อกำลังที่ออกแบบไว้ อัตราส่วนกำลังมีค่าเท่ากับ 1.05 และค่า Ω_R หาค่าได้จาก

$$\Omega_R^2 = \delta_R^2 + \Delta_R^2 = \text{ความไม่แน่นอนรวม} \qquad (7.2)$$

โดยที่ Δ_R = ความผิดพลาดในการทำนายของสมการที่ใช้คำนวณกำลังรับแรง ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1

$$= \sqrt{\delta^2_{\text{อัตราส่วนกำลัง}} + 0.03^2}$$

$$= \sqrt{0.11^2 + 0.03^2}$$

ดังนั้น $\Delta_R = 0.114$

การคำนวณค่าตัวคูณลดกำลังแสดงไว้ในตารางที่ 8.1

ค่า ϕ_n สำหรับองค์อาคารรับแรงดัดมีค่าไม่แตกต่างกันมากสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมและการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะให้ค่า ϕ_n สูงกว่าเล็กน้อย โดยทั่วไปค่า ϕ_n มีค่าอยู่ระหว่าง 0.73 ถึง 0.95 (สำหรับในช่วงที่ทำการศึกษา) ค่า ϕ_n มีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนระหว่างปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ต่อปริมาณเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุลย์มากขึ้น และเมื่ออัตราส่วนนี้มีค่ามากกว่า 0.6 ค่า ϕ_n จะมีค่าลดลงอย่างมาก นอกจากนี้การใช้วัสดุกำลังสูงจะทำให้ค่าของ ϕ_n ต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากค่า $\bar{R}/R_n$ มีค่าน้อยลงเมื่อกำลังวัสดุที่ใช้มากขึ้น ถึงแม้ว่าความไม่แน่นอนรวมของกำลังรับแรงดัดจะมีค่าน้อยลงเมื่อกำลังวัสดุที่ใช้มากขึ้นก็ตาม แต่ผลของการลดลงของ $\bar{R}/R_n$ มีมากกว่าค่า ϕ_n สำหรับองค์อาคารรับแรงดัดแสดงโดยกราฟดังรูปที่ 8.1

8.2 ตัวคูณลดกำลังรับแรงอัด และแรงอัดร่วมกับแรงดัด

องค์อาคารรับแรงอัดและองค์อาคารรับแรงอัดร่วมกับแรงดัดโดยมากได้แก่เสา โดยที่การวิบัติของเสาที่มีแรงกระทำเยื้องศูนย์น้อยกว่าระยะเยื้องศูนย์สมดุลย์เป็นการวิบัติแบบแรงอัดเป็นหลัก และเสามีความสำคัญทางโครงสร้างมากกว่าคาน ดังนั้นค่าดัชนีความปลอดภัยที่เลือกใช้ในการคำนวณค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับเสาปลอดเดี่ยวจึงกำหนดให้เท่ากับ 3.5 และสำหรับเสาปลอกเกลียวซึ่งมีความเหนียวมากกว่ากำหนดให้เท่ากับ 3.2 เมื่อระยะเยื้องศูนย์ที่แรงกระทำน้อยกว่า 0.4 เท่าของความลึกเสาและมีจะค่าลดลงเป็นสัดส่วนกันจนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 3.0 เมื่อระยะเยื้องศูนย์มีค่ามากกว่า 1.4 เท่าของความลึกเสา

มาตรฐานของ ว.ส.ท. กำหนดให้กำลังของเสาที่รับแรงอัดร่วมกับแรงดัดที่ใช้ออกแบบคำนวณจากสมการ

$$P_u = \phi P'_u \qquad (7.3)$$

และ

$$M_u = \phi M'_u \qquad (7.4)$$

ในการวิเคราะห์ได้กำหนดให้กำลังของเสาประเภทนี้ให้อยู่ในรูปของ

$$R = \sqrt{P'^2_u + (M'_u/t)^2}$$

ค่า ϕ_n ที่คำนวณได้จากตัวแปร R จะเท่ากับค่า ϕ ที่ใช้ในสมการที่ 7.3 และ 7.4 ซึ่งคำนวณได้จาก สมการที่ 7.1 และ 7.2 โดยอัตราส่วนกำลังมีค่าเท่ากับ 1.05 และค่า Δ_R มีค่าเท่ากับ

โดยที่ Δ_R = ความผิดพลาดในการทำนายของสมการที่ใช้คำนวณกำลังรับแรงดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1

$$= \sqrt{\delta^2_{\text{อัตราส่วนกำลัง}} + 0.03^2}$$

$$\Delta_R = \sqrt{0.145^2 + 0.03^2} = 0.148$$

การคำนวณค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับเสาที่มีปริมาณเหล็กเสริมเท่ากับ 3.3 % กำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 200 และ 280 กก./ซม.^{2} กำลังคลากของเหล็กเสริมเท่ากับ 2400 และ 4000 กก./ซม.^{2} ได้แสดงไว้ในตารางที่ 8.2 ถึง 8.5

ค่า ϕ_n สำหรับเสาปลอกเดี่ยวมีค่าอยู่ระหว่าง 0.54-0.76 และสำหรับเสาปลอกเกลียวมีค่าอยู่ระหว่าง 0.55-0.77 โดยตัวประกอบที่มีผลต่อค่า ϕ_n คือ ขนาดเสา กำลังวัสดุที่ใช้ ปริมาณของเหล็กเสริม และระยะเยื้องศูนย์ ที่อัตราส่วนระหว่างระยะเยื้องศูนย์ต่อระยะเยื้องศูนย์สมดุลย์มีค่าน้อย ขนาดของเสาจะไม่มีผลต่อค่า ϕ_n แต่เมื่อระยะเยื้องศูนย์มากขึ้นค่า ϕ_n ของเสาขนาดเล็กจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ค่า ϕ_n ของเสาขนาดใหญ่จะไม่ลดลงมากนัก และจะมีค่าต่ำสุดที่ช่วงระยะเยื้องศูนย์เท่ากับระยะเยื้องศูนย์สมดุลย์ จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับเสาขนาดใหญ่ ค่า ϕ_n จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.62 ถึง 0.77 ส่วนในเสาขนาดเล็ก ค่า ϕ_n จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.55 ถึง 0.75 แสดงได้โดยกราฟในรูปที่ 8.2

8.3 ตัวคูณลดกำลังรับแรงเฉือน

การวิบัติขององค์อาคารรับแรงเฉือนจัดเป็นแบบวัสดุเปราะ ค่าดัชนีความปลอดภัยที่ใช้จะมีค่าเท่ากับ 3.5 ค่าตัวคูณลดกำลังคำนวณได้จาก สมการที่ 7.1 และ 7.2 โดยใช้ค่าอัตราส่วนกำลัง มีค่าเท่ากับ 1.2 และค่า Δ_R มีค่าเท่ากับ 0.197/1.2 = 0.164

ค่า ϕ_n จะมีค่าน้อยลงเมื่อใช้กำลังวัสดุสูงขึ้น ที่กำลังคอนกรีตและเหล็กเสริมเท่ากับ 200 และ 2400 กก./ซม.^{2} ค่า ϕ_n จะมีค่าประมาณ 0.8 ถึง 0.85 และเมื่อกำลังคอนกรีตและเหล็กเสริมเท่ากับ 280 และ 4000 กก./ซม.^{2} ค่า ϕ_n จะมีค่าประมาณ 0.7 สำหรับที่กำลังวัสดุต่ำ เมื่ออัตราส่วนระหว่างแรงเฉือนที่รับโดยเหล็กเสริมต่อแรงเฉือนที่รับโดยคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น ค่า ϕ_n จะมีค่ามากขึ้น แต่ที่กำลังวัสดุสูง ค่า ϕ_n จะมีค่าคงที่ และการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะให้ค่าสูงกว่าเล็กน้อย

8.4 การเปรียบเทียบค่าตัวคูณลดกำลัง

ผลการวิเคราะห์ค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงขององค์อาคารต่างๆตามที่กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 8.1 ,8.2 และ 8.3 สำหรับกำลังรับแรงดัด แรงอัด และแรงเฉือน ตามลำดับ จะให้ค่าที่แตกต่างกันตามชนิดขององค์อาคาร ซึ่งอาจเปรียบเทียบได้กับค่าจากผลการวิเคราะห์ของ Mirza และ MacGregor [9] ดังแสดงในรูปที่ 8.5 ,8.6 และ 8.7 สำหรับกำลังรับแรงดัด กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงเฉือน ตามลำดับ โดยพิจารณาแยกสำหรับตัวคูณลดกำลังรับแรงต่างๆได้คือ

ตัวคูณลดกำลังรับแรงดัด ค่าตัวคูณลดกำลังที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าประมาณ 0.75-0.90 ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับผลการวิเคราะห์ของ Mirza และ MacGregor และมีแนวโน้มที่เหมือนกัน คือ เมื่ออัตราส่วน p/p_b มากขึ้น จะทำให้ค่าตัวคูณลดกำลังลดลง และอัตราการลดลงนี้จะมากขึ้นเรื่อยๆ

ค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงอัด จากการวิเคราะห์ผลในงานวิจัยนี้ ซึ่งพิจารณาในช่วงระยะเยื้องศูนย์ที่แรงกระทำมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1.3 เท่าของระยะเยื้องศูนย์สมดุลย์ และปริมาณเหล็กเสริมประมาณ 3.3% ได้ผลเปรียบเทียบตามแสดงในรูปที่ 8.6 ซึ่งจะพบว่าค่าที่ได้จากการวิจัยนี้จะเกาะกลุ่มภายในของเขตล่างและขอบเขตบนในช่วงแรกของกราฟ โดยมีค่าประมาณ 0.6-0.7 ส่วนในช่วงต่อมาจะมีค่าต่ำกว่าขอบเขตล่างเล็กน้อย อันอาจเนื่องมาจากค่าดัชนีความปลอดภัยที่ใช้และลักษณะการผันแปรของตัวแปรรับแรงไม่เหมือนกัน

สำหรับค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงเฉือน ตามการเปรียบเทียบในรูปที่ 8.7 งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเฉพาะช่วงที่อัตราส่วน v_s/v_c มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 4 โดยให้ค่าตัวคูณลดกำลังอยู่ในช่วง 0.75-0.90 ซึ่งมีค่ามากกว่าที่ Mirza และ MacGregor วิเคราะห์ได้ ความแตกต่างเพียงเล็กน้อยนี้ อาจเนื่องมาจากการใช้แบบจำลองในการคำนวณกำลังที่แตกต่างกันดังที่กล่าวแล้วในตอนต้น แต่ลักษณะกราฟของค่าตัวคูณลดกำลังมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วน v_s/v_c มีค่ามากขึ้น จะเป็นไปในรูปแบบเดียวกันและสอดคล้องกันเป็นอย่างดี