

การเลือกตัวคูณลดกำลังสำหรับการออกแบบเหล็กปลอกรับแรงเฉือนในคาน โดยพิจารณาถึงการกระจายของกำลังครากของเหล็กเส้นจากบ้านพักอาศัย ในเขตกรุงเทพมหานคร

SELECTING OF THE STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR BEAM SHEAR STIRRUP DESIGN BASED ON YIELD STRENGTH DISTRIBUTION OF STEEL BARS FROM HOUSES IN BANGKOK METROPOLITAN AREA

ฉัตร สุจินดา (Chatr Suchinda)¹

¹อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีปทุม (chatr@spu.ac.th)

บทคัดย่อ : ค่าตัวคูณลดกำลังที่ใช้ในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก วสท 1008-38 เป็นค่าที่คัดลอกมาจากมาตรฐาน ACI-318 ซึ่งสะท้อนถึงข้อมูลทางสถิติของวัสดุและคุณภาพการก่อสร้างของประเทศสหรัฐอเมริกา ถ้าหากใช้ค่าตัวคูณลดกำลังดังกล่าว แต่การกระจายของมาตรฐานวัสดุและคุณภาพก่อสร้างไม่เหมือนกับของประเทศที่คัดลอกมา อาจทำให้โครงสร้างที่ออกแบบมีความปลอดภัยไม่เพียงพอ บทความนี้ได้นำเสนอถึงหลักการและขั้นตอนในการเลือกค่าตัวคูณลดกำลัง เพื่อใช้ในการออกแบบเหล็กปลอกรับแรงเฉือนขนาด RB6 และ RB9 ในคาน โดยการนำข้อมูลทางสถิติของกำลังครากของเหล็กเส้นตัวอย่างที่เก็บจากสถานที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยจำนวน 100 หลัง ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และข้อมูลทางสถิติอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง มาใช้ในการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของโครงสร้าง ด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล บทความนี้ยังได้เสนอแนะค่าของตัวคูณลดกำลัง ซึ่งรักษาระดับความเชื่อมั่นให้ใกล้เคียงกับของมาตรฐาน ACI-318 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงมาตรฐานการออกแบบอาคารของประเทศไทยต่อไปในอนาคต

ABSTRACT : The strength reduction factors used in reinforced concrete building standards EIT 1008-38 were adopted from ACI-318 standards which reflect the statistical data of American standard of construction materials and quality control. If these strength reduction factors have been used but the statistical distribution of the materials and construction quality are not the same as the adopted country, the designed structures may not have enough safety. This article presents the concepts and steps of selecting the strength reduction factor for RB6 and RB9 beam shear stirrup design based on the statistical data of the yield strength of the steel bar samples corrected from 100 house sites in Bangkok metropolitan area and other related statistical data using structural reliability analyses by the method of Monte Carlo simulations. This paper also suggests the strength reduction factor which maintains nearly the same level of reliability as the ACI-318 building codes for further improvement of Thai building codes in the future.

KEYWORDS : Strength Reduction Factor, Beam Shear Stirrups, Reliability Analyses

1. ความนำ

ค่าของตัวคูณลดกำลัง (Strength Reduction Factor) ที่อยู่ในมาตรฐาน วสท 1008-38 (มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริม

เหล็ก โดยวิธีกำลัง) [1] เป็นค่าที่คัดลอกมาจากมาตรฐาน ACI 318-89 ของประเทศสหรัฐอเมริกา [2] ค่านี้เป็นค่าที่ได้มาจากการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ได้มาจากการ

กระจายของคุณภาพวัสดุและมาตรฐานการก่อสร้างของประเทศสหรัฐอเมริกา หากมีการศึกษาข้อมูลดังกล่าวสำหรับการก่อสร้างในประเทศไทย และได้นำมาใช้เป็นตัวกำหนดถึงค่าของคุณลดกำลังสำหรับประเทศไทยเอง โดยเฉพาะ ก็ย่อมจะมีความเหมาะสมมากกว่าการใช้ค่าที่คัดลอกมาจากต่างประเทศ

ทางคณะกรรมการแก้ไขกฎกระทรวงด้านวิศวกรรมโครงสร้างและปฐพี [3] ได้เสนอให้แบ่งการใช้ตัวคุณลดกำลังออกเป็นสองกรณีดังนี้ กรณีที่ 1 คือกรณีการก่อสร้างที่มีการระบุมาตรฐานงานก่อสร้างและการควบคุมคุณภาพวัสดุเป็นอย่างดี ให้ใช้ค่าตัวคุณลดกำลังเหมือนในมาตรฐาน วสท 1008-38 [1] ส่วนกรณีที่ 2 คือกรณีการก่อสร้างที่ไม่มีการระบุ ให้ใช้ค่าตัวคุณลดกำลังในอัตราส่วน $\frac{5}{6}$ เท่าของที่ใช้สำหรับกรณีที่ 1 อย่างไรก็ตามอัตราส่วนนี้ ผู้เขียนไม่พบถึงที่มาอันเป็นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หรือหลักฐานซึ่งแสดงถึงความเที่ยงตรงของค่าอัตราส่วนดังกล่าวแต่อย่างใด

2. ความสำคัญของงานวิจัย

บทความนี้เป็นกรนำเสนอถึงการเลือกตัวคุณลดกำลังที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบเหล็กปลอกกรีบแรงเฉือนในคาน (การเลือกตัวคุณลดกำลังสำหรับ โมเมนต์คัต ได้ถูกนำเสนอไปแล้วโดยผู้แต่ง [4]) โดยอาศัยข้อมูลทางสถิติของกำลังครากของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 และ RB9 ซึ่งเก็บได้จากสถานที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานครจำนวน 100 แห่ง และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานการก่อสร้างอื่น ๆ เพื่อนำไปใช้สำหรับกรณีที่ 2 คือกรณีการก่อสร้างที่ไม่มีการระบุ

3. ปัจจัยของวัสดุและคุณภาพการก่อสร้างที่มีผลต่อกำลังการรับแรงเฉือนในคาน

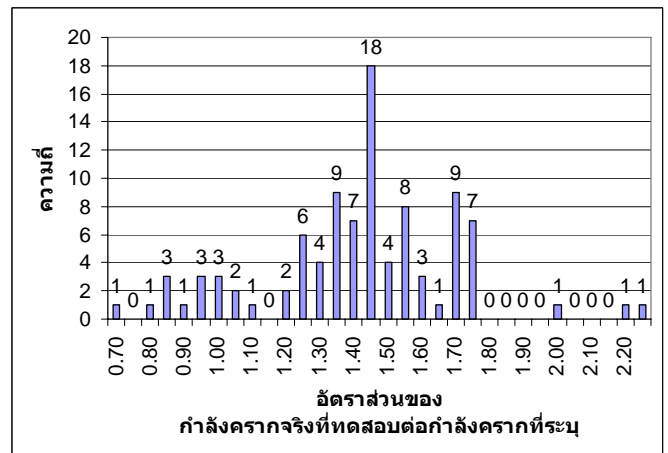
กำลังการรับแรงเฉือนของคานขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

3.1 การกระจายกำลังครากของเหล็กเส้นตัวอย่าง

จากการทดสอบเพื่อหาลำลังครากของเหล็กเส้น RB6 จำนวน 42 ตัวอย่าง และเหล็กเส้น RB9 จำนวน 96 ตัวอย่าง ได้อัตราส่วนของกำลังครากจริงที่ทดสอบ $F_y (kg)$ ได้ต่อกำลังครากที่ระบุ นำมาเขียนเป็นแผนภูมิแท่งความถี่ ได้ดังในภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 แผนภูมิแท่งความถี่แบ่งตามอัตราส่วนของกำลังครากจริงต่อกำลังครากที่ระบุ ของเหล็กเส้น RB6 จำนวน 42 ตัวอย่าง



ภาพที่ 2 แผนภูมิแท่งความถี่แบ่งตามอัตราส่วนของกำลังครากจริงต่อกำลังครากที่ระบุ ของเหล็กเส้น RB9 จำนวน 96 ตัวอย่าง

จากข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2 สามารถนำมาคำนวณหาค่าแฟกเตอร์ความเอนเอียง (Bias Factor) λ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของกำลังครากจริงต่อกำลังครากที่ระบุ และสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation) COV แสดงในตารางที่ 1

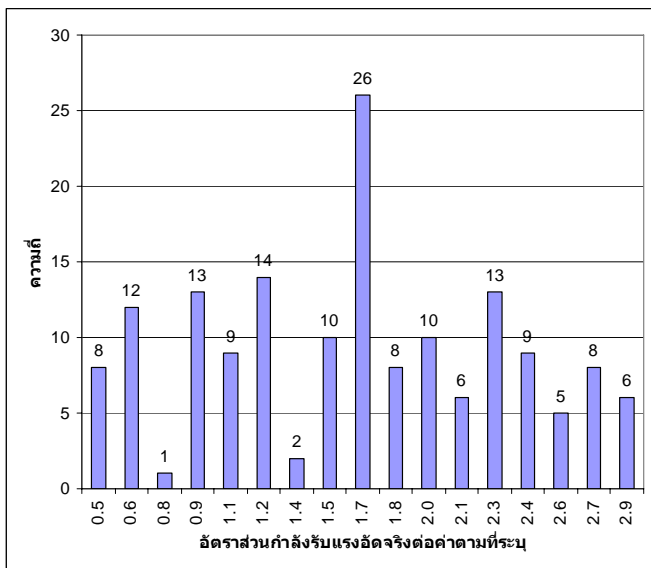
ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของการกระจายของอัตราส่วนกำลังครากของเหล็กเส้นตัวอย่าง

ขนาด	λ	COV
RB6	1.442	0.110
RB9	1.392	0.202

3.2 การกระจายของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

จากการศึกษาถึงการกระจายของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจากสถานที่ก่อสร้าง 8 แห่งในเขตปริมณฑล ในกรณีที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพ [5] จากก้อนคอนกรีตจำนวน 160 ตัวอย่าง เมื่อนำมาหาอัตราส่วนกำลังรับแรงอัดจริงของแต่ละตัวอย่างที่ทดสอบได้ต่อค่า $f'_c = 150 \frac{kg}{cm^2}$ ตามที่ระบุไว้ในข้อ

8 ในกฎกระทรวงฉบับที่ 6 [6] ข้อ 8 จะให้การกระจายในภาพที่ 3 ซึ่งนำไปหาค่าแฟกเตอร์ความเอนเอียง $\lambda = 1.546$ และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน $COV = 0.437$



ภาพที่ 3 แผนภูมิแท่งความถี่ของแฟกเตอร์ความเอนเอียง ของค้ำรับแรงอัดประตัย ของงานบ้านที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพ

3.3 การกระจายของระยะเรียงของปลอก

มาตรฐานข้อกำหนดสำหรับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับสำหรับการก่อสร้างคอนกรีตและวัสดุ ACI 117-90 [7] ข้อ 2.2.4 ได้กำหนดให้ระยะของเหล็กเสริมที่ก่อสร้างจริงจะต้องผิดพลาดจากที่ระบุไว้ไม่เกิน 2.5 cm เนื่องจากผู้เขียนไม่พบข้อมูลทางสถิติใด ๆ ที่แสดงถึงการกระจายของระยะเรียงเหล็กปลอกจากการก่อสร้างจริง ดังนั้นในบทความนี้จึงสมมุติให้ใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% ที่ความคลาดเคลื่อนของระยะเรียงเหล็กปลอกจะไม่เกิน ± 2.5 cm (เป็นค่าความเชื่อมั่นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในทางสถิติ [8]) ซึ่งจะสามารถคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ดังนี้

$$2\sigma = 2.5\text{cm} \quad (1)$$

เมื่อ

σ คือความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเรียงเหล็กปลอก ดังนั้นจะสามารถคำนวณสัมประสิทธิ์การแปรผันได้จาก

สมการที่ 2

$$COV = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{\left(\frac{2\sigma}{2}\right)}{s} = \frac{2.5\text{cm}}{2s} \quad (2)$$

เมื่อ

μ คือค่าเฉลี่ยของระยะเรียงของเหล็กปลอกจริง ซึ่งให้เท่ากับระยะเรียง s ตามที่ระบุไว้ในแบบก่อสร้าง

และเมื่อพิจารณาถึงการเลือกระยะเรียงของเหล็กปลอกในขั้นตอนการออกแบบ ซึ่งนิยมปัดลงให้เป็นจำนวนเต็ม เพื่อง่ายต่อการระบุไว้ในแบบก่อสร้างและการผูกเหล็ก ปรากฏว่าการกระจายดังกล่าวมีค่าแฟกเตอร์ความเอนเอียงของปริมาณเหล็กปลอก $\left(\frac{A_v}{s}\right) \lambda = 1.03$ และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน $COV = 0.06$ [9]

3.4 การกระจายของความลึกประสิทธิผลของคาน

มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38) [1] และมาตรฐาน ACI 318-05 [10] ได้กำหนดความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับสำหรับความลึกประสิทธิผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับสำหรับความลึกประสิทธิผล

ความลึกประสิทธิผล	ว.ส.ท. 1008-38 [1]	ACI 318-05[11]
ไม่เกิน 20 cm	± 0.5 cm	$\pm 3/8'' (\pm 0.95$ cm)
เกินกว่า 20 cm	± 1.0 cm	$\pm 1/2'' (\pm 1.27$ cm)

จากข้อมูลทางสถิติ จะได้ค่าแฟกเตอร์ความเอนเอียง $\lambda = 0.99$ และมีสัมประสิทธิ์การแปรผัน $COV = 0.04$ สำหรับความลึกประสิทธิผลของคานหล่อในที่ [11]

3.5 กระจายของความกว้างของคาน

มาตรฐานความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับสำหรับการก่อสร้างคอนกรีตและวัสดุ ACI 117-90 [7] ข้อ 4.4.1 ได้กำหนดความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับสำหรับขนาดของเสา คาน ดอม่อ ผนัง (เฉพาะความหนา) และ พื้น (เฉพาะความหนา) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับสำหรับขนาดชิ้นส่วนโครงสร้าง [8]

ขนาดของชิ้นส่วน	ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้	
30 cm หรือต่ำกว่า	$+ 3/8'' (+0.95$ cm)	$-1/4'' (-0.64$ cm)
30 cm แต่ไม่เกิน 90 cm	$+1/2'' (+1.27$ cm)	$-3/8'' (-0.95$ cm)
90 cm ขึ้นไป	$+1'' (+2.54$ cm)	$-3/4'' (-1.91$ cm)

จากข้อมูลทางสถิติ ความกว้างของคานหล่อในที่ มีค่าแฟกเตอร์ความเอนเอียง $\lambda = 1.01$ และมีสัมประสิทธิ์การแปรผัน $COV = 0.04$ [11]

4. แบบจำลองค้ำรับแรงเฉือนในคาน

มาตรฐาน วสท 1008-38 [1] ได้กำหนดให้การออกแบบและตรวจสอบหน้าตัดใด ๆ ของชิ้นส่วนโครงสร้างจะต้องมีความสามารถในการรับแรงได้ตามผลของน้ำหนักบรรทุกทุกตั้งในสมการที่ 3 (ตัดแรงกระทำด้านข้างออกเนื่องจากพิจารณาเฉพาะกรณีอาคารบ้านพักอาศัยเท่านั้น)

$$1.4D + 1.7L \leq \phi R \quad (3)$$

เมื่อ D คือผลของน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead load)

L คือผลของน้ำหนักบรรทุกจร (Live load)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณได้มาจากสมการ 11-3 และสมการ 11-15 ในมาตรฐาน ACI318-05 [10] หรือสมการ 44-3 และสมการ 44-12 ในมาตรฐาน วสท 1008-38 [1]

$$V_n = V_c + V_s = 0.53\sqrt{f'_c}b_w d + \frac{A_v f_y d}{s} \quad (4)$$

เมื่อ

V_n คือกำลังรับแรงเฉือน “ปกติ” ทั้งหมดของคาน (kg)

V_c คือกำลังรับแรงเฉือนในส่วนของคอนกรีต (kg)

V_s คือกำลังรับแรงเฉือนในส่วนของเหล็กปลอก (kg)

f'_c คือกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ($\frac{kg}{cm^2}$) ตามมาตรฐาน

ATSM C39 [12]

b_w คือ ความกว้างของคาน (cm) ไม่นับความกว้างประสิทธิภาพของคานในส่วนที่อยู่ในพื้นที่ ในกรณีออกแบบคานหน้าตัดรูปตัวที

$A_v f_y$ คือพื้นที่หน้าตัด (cm^2) คูณด้วยหน่วยแรงที่จุดครากของเหล็กปลอก ($\frac{kg}{cm^2}$) ซึ่งก็คือค่ากำลังครากของเหล็กแต่ละเส้นหรือ F_y (kg)

s คือระยะเรียงของปลอก (cm) โดยวัดจากกึ่งกลางของปลอกอันหนึ่งถึงกึ่งกลางของปลอกอีกอันหนึ่งที่อยู่ถัดไป

อย่างไรก็ตามข้อกำหนด 11.5.5 ในมาตรฐาน ACI318-05 [10] หรือ 4405(ง) ในมาตรฐาน วสท 1008-38 [1] ได้กำหนดระยะเรียงต่ำสุดไว้ดังนี้

เมื่อ $V_s \leq 1.1\sqrt{f'_c}b_w d$ ระยะเรียงต้องไม่เกิน $\frac{d}{2}$

เมื่อ $V_s > 1.1\sqrt{f'_c}b_w d$ ระยะเรียงต้องไม่เกิน $\frac{d}{4}$

ข้อกำหนด 11.5.6.3 ในมาตรฐาน ACI318-05 [11] ได้กำหนดปริมาณเหล็กปลอกต่ำสุด $A_{v,min} = 0.20\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_y}$ แต่

ต้องไม่ต่ำกว่า $3.5 \frac{b_w s}{f_y}$ ส่วนมาตรฐาน วสท 1008-38 [1] ได้

กำหนดปริมาณเหล็กปลอกต่ำสุด $A_{v,min} = 3.5 \frac{b_w s}{f_y}$ ซึ่งในกรณี

บ้านพักอาศัยโดยทั่วไปถ้าค่า $f'_c = 150 \frac{kg}{cm^2}$ จะทำให้ ค่าของ

$3.5 \frac{b_w s}{f_y}$ เป็นตัวควบคุมปริมาณเหล็กปลอกต่ำสุด

สูตรในการคำนวณกำลังรับแรงเฉือนนี้ เป็นสูตรโดยประมาณ ซึ่งในแง่ของการออกแบบจะส่งผลทำให้คานที่ออกแบบมีกำลังรับแรงเฉือนเกินกว่ากำลังปกติจริง ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีค่าแฟกเตอร์ของความเอนเอียงสำหรับการออกแบบ (Professional Bias Factor) $\lambda = 1.075$ และ $COV = 0.10$ [13]

5. การวิเคราะห์ความเชื่อมั่น

ดัชนีความเชื่อมั่น (Reliability Index) β [14] เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความเชื่อมั่นของโครงสร้าง ซึ่งเป็นฟังก์ชันของโอกาสที่โครงสร้างจะไม่พัง หรือในทางคณิตศาสตร์คือความน่าจะเป็น ที่ผลของน้ำหนักบรรทุกจริงที่กระทำต่อโครงสร้างที่พิจารณา Q จะไม่เกินกว่า กำลังการรับแรงของชิ้นส่วนโครงสร้างจริง R ของหน้าตัดนั้น ๆ $P(Q < R)$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งตัวแปร Q และ R เป็นตัวแปรสุ่ม เนื่องจากผลของน้ำหนักบรรทุกจริง Q ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของผู้อยู่อาศัยในโครงสร้างนั้น ๆ ส่วนกำลังการรับแรงของชิ้นส่วนโครงสร้างจริง R จะขึ้นอยู่กับคุณภาพวัสดุและการก่อสร้างของชิ้นส่วนที่พิจารณา

ผลของน้ำหนักบรรทุก Q สามารถคำนวณได้จากผลของน้ำหนักคงที่บวกน้ำหนักจรตั้งในสมการที่ 5

$$Q = D + L \quad (5)$$

ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของผลของน้ำหนักบรรทุก แต่ละประเภทที่เกิดขึ้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกแต่ละประเภท [15]

ประเภทของน้ำหนักบรรทุก	ณ. เวลาใด ๆ		สูงสุดในรอบ 50 ปี	
	λ_{load}	ν_{load}	λ_{load}	ν_{load}
คงที่ D (ห่อในที่)	1.05	0.10	1.05	0.10
จร L	0.24	0.65	1.00	0.18

ค่าดัชนีความเชื่อมั่น β [14] สามารถคำนวณได้จาก การกระจายของผลของน้ำหนักบรรทุกทุก Q และการกระจายของกำลังรับแรง R ดังในสมการที่ (5)

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}} \quad (5)$$

เมื่อ

μ_Q คือค่าเฉลี่ยของผลของน้ำหนักบรรทุกทุก Q

μ_R คือค่าเฉลี่ยของกำลังการรับแรง R

σ_Q คือความเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลของน้ำหนักบรรทุก

Q

σ_R คือความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังการรับแรง R

ผู้เขียนได้คำนวณค่าดัชนีความเชื่อมั่น β โดยใช้การจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) [8,14] ซึ่งอาศัยหลักการของการคำนวณตัวแปร Q และ R จากการสุ่มตัวเลข ให้มีลักษณะการกระจายตามที่กำหนด สำหรับการวิเคราะห์นี้ ตัวแปร Q คำนวณได้จากการสุ่มตัวเลขในสมการที่ 5 ส่วนตัวแปร R คำนวณได้จากการสุ่มตัวเลขในสมการที่ 4

เนื่องจากตัวแปร R ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายตัว จึงต้องคำนวณค่า β สำหรับตัวแปรต่าง ๆ กันดังนี้คือ (1) อัตราส่วน $\frac{D}{D+L}$

ซึ่งมีผลต่อการกำหนดค่ากำลังในการออกแบบ ตามสมการที่ 3 ในทางปฏิบัติ $\frac{D}{D+L}$ ในคานจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.7 [13]

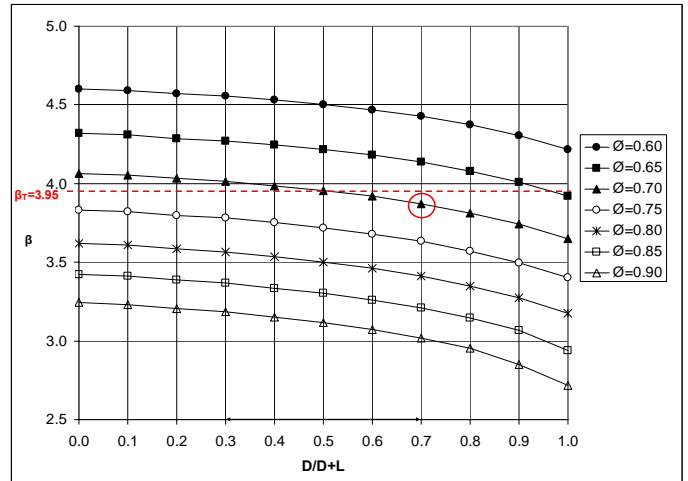
(2) ความกว้างของคาน b_w ศึกษาในช่วง 15 cm ถึง 40 cm (3) ความลึกของคาน h กำหนดให้เท่ากับ 1.5 เท่าของ b_w (ถือว่าเป็นอัตราส่วนโดยทั่วไป [16]) (3) ความลึกประสิทธิผล d คำนวณได้จาก ระยะหุ้มของเหล็กเสริมตามข้อกำหนด 7.7.1 ในกรณีคานอยู่ที่ในร่มตามมาตรฐาน ACI 318-05 [10], ขนาดของเหล็กปลอก, และจำนวนและขนาดของเหล็กเสริมตามยาว ซึ่งกำหนดโดยสมมุติปริมาณเหล็กเสริมตามยาวให้เท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราส่วนปริมาณเหล็กเสริมที่พังแบบสมดุล ρ_b (Balanced Failure) (4) ค่า $\frac{V_s}{V_c}$ ในช่วง 0 ถึง 4 (ตามข้อกำหนด 11.5.7.9 ใน

มาตรฐาน ACI 318-05 [10] หรือข้อกำหนด 4405 ข้อ 8 ในมาตรฐาน วสท 1008-38 [1]) แล้วทดลองคำนวณระยะเรียงของเหล็กปลอก s เพื่อเลือกขนาดเหล็กปลอกที่เหมาะสม (ว่าจะใช้ปลอกเดี่ยว RB6, ปลอกเดี่ยว RB9, หรือปลอกคู่ RB9) โดยจำกัดระยะเรียงจะต้องไม่ต่ำกว่า 10 cm และตัดกรณีที่ระยะเรียงต่ำกว่า 10 cm ออกไป

เพื่อให้ค่า β ที่คำนวณได้มีความแม่นยำ จึงต้องกำหนดให้จำนวนครั้งในการสุ่มตัวเลขมาก ๆ สำหรับการวิเคราะห์นี้ใช้ 10,000 ครั้งต่อการคำนวณค่า β แต่ละกรณี

ภาพที่ 4 แสดงถึงกราฟความสัมพันธ์ของดัชนีความเชื่อมั่น β สำหรับกรณีที่ค่า h และ $\frac{V_s}{V_c}$ ทำให้ค่า β ต่ำที่สุด (กรณี

ควบคุม) กับอัตราส่วน $\frac{D}{D+L}$

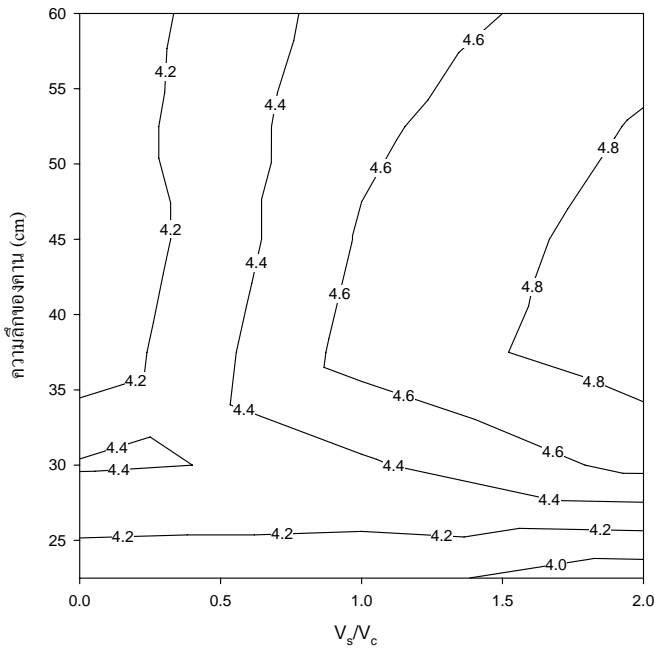


ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความเชื่อมั่น β กับอัตราส่วน $\frac{D}{D+L}$

จากกราฟในภาพที่ 4 เมื่อพิจารณาเฉพาะอัตราส่วน $\frac{D}{D+L}$ ในทางปฏิบัติ (ระหว่าง 0.3 ถึง 0.7) จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีความเชื่อมั่น β มีค่าต่ำสุดเมื่อ $\frac{D}{D+L} = 0.7$ (เป็นกรณีควบคุม) ดังนั้นหากใช้วิธีกำหนดค่าตัวคูณลดกำลังเพื่อรักษาไว้ซึ่งดัชนีความเชื่อมั่นเดิม [14] ของมาตรฐาน ACI 318 (Target Reliability Index) $\beta_T = 3.95$ [13] จะได้ $\phi = 0.70$ เป็นค่าตัวคูณลดกำลังที่เหมาะสม

ภาพที่ 5 แสดงถึงตัวอย่างแผนภูมิ Contour ของดัชนีความเชื่อมั่น β ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความลึกของคาน h และอัตราส่วน $\frac{V_s}{V_c}$ ในกรณี $\frac{D}{D+L} = 0.7$ เมื่อเลือกใช้ตัวคูณลดกำลัง $\phi = 0.70$

จากภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีความเชื่อมั่น β เมื่อเลือกใช้ตัวคูณลดกำลัง $\phi = 0.70$ จะมีค่าแปรเปลี่ยนระหว่าง 3.8 ถึง 4.9 ซึ่งกรณีที่ค่า β ต่ำสุด (กรณีควบคุม) เกิดขึ้นเมื่อความลึกของคาน $h = 22.5\text{cm}$ และ $\frac{V_s}{V_c} = 2$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถ้าใช้ตัวคูณลดกำลังค่าใดค่าหนึ่ง que เลือกมาที่เหมาะสมที่สุด (เป็นค่าคงที่) ในการออกแบบ จะได้โครงสร้างที่มีระดับความเชื่อมั่น



ภาพที่ 5 แผนภูมิ Contour ของดัชนีความเชื่อมั่น β เมื่อเทียบกับอัตราส่วน $\frac{V_s}{V_c}$ และความลึกของคานเมื่อกำหนด $\frac{D}{D+L} = 0.7$ และ $\phi = 0.70$

แปรเปลี่ยนตามตัวแปรอื่น ๆ ซึ่งหากต้องการรักษาไว้ซึ่งระดับความเชื่อมั่นที่สม่ำเสมอ ควรจะกำหนดค่าตัวคูณลดกำลังให้เป็นฟังก์ชันของตัวแปรที่มีผลกระทบนั้น ๆ (แต่จะส่งผลให้สูตรสำหรับการออกแบบมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น)

6. สรุป

จากการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นสำหรับการออกแบบคานรับแรงเฉือน โดยอาศัยข้อมูลการกระจายของกำลังครากของเหล็กเส้นตัวอย่าง RB6 และ RB9 และการกระจายของข้อมูลวัสดุและคุณภาพการก่อสร้างอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเท่าที่ผู้แต่งสามารถหามาได้ เพื่อนำมาใช้เลือกตัวคูณลดกำลังที่เหมาะสม ในกรณีที่ 2 คือกรณีการก่อสร้างที่ไม่มีกระบวนการ ค่าตัวคูณลดกำลังที่เลือกคือ $\phi = 0.70$ ซึ่งเท่ากับที่คณะกรรมการแก้ไขกฎกระทรวงด้านวิศวกรรมโครงสร้างและปฐพีได้เสนอเอาไว้ อันเป็นการยืนยันได้ว่าค่าดังกล่าวถูกเลือกอย่างเหมาะสมดีแล้ว

7. เอกสารอ้างอิง

[1] คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา ประจำปี 2537-2538, 2538. มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง ว.ส.ท. 1008-38. กทม : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

[2] ACI Committee 318, 1989. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-89) and Commentary (ACI318R-89). Farmington Hill, Michigan : American Concrete Institute.

[3] คณะอนุกรรมการแก้ไขกฎกระทรวงด้านวิศวกรรมโครงสร้างและปฐพี, 2548, . ระดมความคิดเห็นการแก้ไขกฎกระทรวงด้านวิศวกรรมโครงสร้างและปฐพี. โรงแรมรามการ์เด้น.

[4] ฉัตร สุจินดา, 2548, ตค. 25-27. การเลือกตัวคูณลดกำลังเพื่อใช้ในการออกแบบโมเมนต์ค้ำคานและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยพิจารณาถึงการกระจายของมวลต่อความยาวของเหล็กเส้น สำหรับบ้านพักอาศัย ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 1, ระยองริชชอร์ท.

[5] สุวรรณรัตน์ พิภทอง และคณะ, 2547. การศึกษากำหนดของคอนกรีตที่ไม่มีกระบวนการควบคุมคุณภาพในเขตปริมณฑล. โครงการระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

[6] กฎกระทรวงฉบับที่ 6 2527 ออกตาม พรบ. ควบคุมอาคาร 2522.

[7] ACI Committee 117, 1990. Standard Specification for Tolerance for Concrete Construction and Materials (ACI117-90). Farmington Hill, Michigan : American Concrete Institute.

[8] Vose, D., 2000. Risk Analysis – A Quantitative Guide. West Sussex, England : John Wiley and Sons.

[9] Mirza, S. A. and macGregor, J. G., 1979. Variations in dimensions of reinforced concrete members. J. of Structural Div., ASCE, 105(ST4) : 751-766.

[10] ACI Committee 318, 2005. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-05) and Commentary (ACI318R-05). Farmington Hill, Michigan : American Concrete Institute.

[11] Nowak, A. S. and Szerszen, M. M., 2003. Calibration of Design Code for Building (ACI318): Part 1 – Statistical Models for Resistance. ACI Structural Journal, V. 100(3) : 377-382.

[12] ASTM Subcommittee C09.61, 2005. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Specimens (ASTM C39/C39M-05). ASTM International.

[13] Szerszen, M. M. and Nowak, A. S., 2003. Calibration of Design Code for Building (ACI318): Part 2 – Reliability Analysis and Resistance Factor. ACI Structural Journal. V. 100(3) : 383-391.

[14] Nowak, A. S. and Collins, K. R., 2000. Reliability of Structures. New York : McGraw-Hill.

[15] Ellingwood, B., Galambos, T. V., MacGregor J. G. and Cornell, C. A., 1980. Development of a Probability Based Load Criterion for American National Standards A58. NBS Special Reports 577, US. Department of Commerce, National Bureau of Standards.

[16] Leet, K., 1991. Reinforced Concrete Design. 2nd ed. New York : McGraw-Hill, Inc