

การศึกษาทางพารามิเตอร์เพื่อกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ที่เหมาะสม

ในเหล็กเสริมสำหรับมาตรฐานการออกแบบ

A PARAMETRIC STUDY FOR CHOOSING APPROPRIATE ALLOWABLE STRESS FOR REBARS IN THE DESIGN CODE

ฉัตร สุจินดา (Chatr Suchinda)¹

¹มหาวิทยาลัยศรีปทุม chatr.su@spu.ac.th

บทคัดย่อ : มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน วสท. 1007-34 ได้กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ สำหรับเหล็กเสริมข้ออ้อยซึ่งมีกำลังครากน้อยกว่า 4,000 กก/ชม² ให้ใช้ร้อยละ 50 ของกำลังคราก แต่ต้องไม่เกิน 1,500 กก/ชม² ถ้าเหล็กเสริมข้ออ้อยซึ่งมีกำลังครากมากกว่าหรือเท่ากับ 4,000 กก/ชม² ให้ใช้ได้ไม่เกิน 1,700 กก/ชม² แต่ในปัจจุบันมีเหล็กเสริมที่มีกำลังครากมากกว่า 4,000 กก/ชม² แต่มีราคาต่อหน่วยเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งหากได้มีการปรับปรุงมาตรฐานใหม่ โดยยอมให้ใช้หน่วยแรงที่ยอมให้เพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้สามารถประหยัดค่าวัสดุได้อย่างมากมาย บทความนี้นำเสนอการศึกษาทางพารามิเตอร์ ถึงผลกระทบของค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม ที่ใช้ในขั้นตอนการออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน ที่มีผลต่อน้ำตัดที่ออกแบบ ซึ่งหน้าตัดที่ออกแบบได้น่าวิเคราะห์หาความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดด้วยวิธีกำลัง จากการศึกษาพบว่า หากเพิ่มหน่วยแรงที่ยอมให้เป็น 2,200 กก/ชม² และ 2,800 กก/ชม² สำหรับเหล็กเสริมที่มีกำลังคราก 4,000 กก/ชม² และ 5,000 กก/ชม² ตามลำดับ จะทำให้หน้าตัดที่ออกแบบมาได้ มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกใกล้เคียงกับน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในขั้นตอนการออกแบบ จะเห็นได้ว่าค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ทั้งสองเกินกว่า 1,700 กก/ชม² ดังนั้นจึงแนะนำให้ยกเลิกข้อกำหนดที่ว่า หน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริมที่มีกำลังครากมากกว่าหรือเท่ากับ 4,000 กก/ชม² ให้ใช้ได้ไม่เกิน 1,700 กก/ชม² ออกไปจากมาตรฐาน วสท. 1007 ในฉบับใหม่

ABSTRACT : The EIT1007-34 which is the standards for reinforced concrete design (working stress method) suggests to use the allowable stress for rebars having yield strength lower than 4,000 kg/cm² at 50 percent of their yield strengths but shall not exceed 1,500 kg/cm². For the deformed rebars having yield strength higher than or equal to 4,000 kg/cm², the allowable stress shall not exceed 1,700 kg/cm². Nowadays, rebars that have yield strengths higher than 4,000 kg/cm² have a little higher unit cost. If the higher allowable stress can be used, it could lower the material cost significantly. This paper presents a parametric study of the result of changing the allowable stresses in rebars during the design process using working stress method. Then, the finished design sections were evaluated for their bending strengths using the strength method. From this investigation, it was found that by using allowable stresses of 2,200 and 2,800 kg/cm² for the rebars having yield strength of 4,000 and 5,000 kg/cm² respectively, the analyzed load capacities are approximately equal to the design loads. It can be seen that these allowable stresses exceed 1,700 kg/cm². Therefore, it was recommended in this paper that the limitation which the allowable stresses shall not exceed 1,700 kg/cm² for the rebars having yield strengths higher than or equal to 4,000 kg/cm² should be deleted from the new version of EIT1007 standard.

KEYWORDS : Parametric study, Reinforced concrete design, Allowable stress, Rebars, Code development

1. ความนำ

มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน วสท. 1007-34[1] หัวข้อ 6103 ได้กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริมรับแรงดึง (ในกรณีชิ้นส่วนโครงสร้างรับโมเมนต์คดที่มีเหล็กเสริมรับแรงอัดให้คำนวณตามข้อกำหนด 6201 ซึ่งแปรผันโดยตรงกับค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมรับแรงดึงเช่นกัน) นำมาสรุป เฉพาะกรณีที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานเหล็กเส้น มอก 20-2543[2] และ 24-2548[3] ไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม สำหรับเหล็กเส้นชั้นคุณภาพต่าง ๆ กัน

ประเภท	ชั้นคุณภาพ	f_y (ksc)	f_s (ksc)
เหล็กกลม	SR-24	2,400	1,200
เหล็กข้ออ้อย	SD-30	3,000	1,500
	SD-40	4,000	1,700
	SD-50	5,000	1,700

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าหากออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานตามมาตรฐาน วสท. 1007-34[1] และหากเลือกใช้เหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD-40 จะไม่ได้ใช้ประโยชน์สูงสุดของขีดความสามารถในการรับแรงอย่างเต็มที่ ที่ $f_s = 0.5 f_y$ เนื่องจากขีดจำกัดที่ยอมให้ใช้หน่วยแรงที่ยอมให้จะต้องไม่เกิน 1,700ksc ยิ่งหากผู้ออกแบบเลือกใช้เหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD-50 ก็ยังไม่เกิดผลประโยชน์ใด ๆ เพิ่มขึ้นในแง่ของการออกแบบเลย ในทางกลับกันหากผู้ออกแบบใช้วิธีกำลังตามมาตรฐาน วสท. 1008-38[4] หรือ ACI318-05[5] กลับไม่คิดขีดจำกัดดังกล่าว จึงทำให้สามารถใช้ความสามารถในการรับแรงของเหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD-40 และ SD-50 ได้เต็มที่

ปัจจุบัน ในภาวะที่ราคาของวัสดุก่อสร้างโดยเฉพาะเหล็กเส้นได้ถีบตัวสูงขึ้นอย่างมากมา ในขณะที่เทคโนโลยีของการผลิตเหล็กเส้นสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงให้สูงขึ้นโดยไม่เพิ่มราคาไปมากนัก (ราคาต่อหน่วยของเหล็กเส้นมาตรฐาน SD-30 และ SD-40 ต่างกันไม่เกิน 1%[6]) อย่างไรก็ตามยังมีผู้ออกแบบอีกมากมายที่นิยมใช้วิธีหน่วยแรงใช้งานกันอยู่ (ผู้เขียนได้เข้าร่วมการประชุม [7] ซึ่งได้มีการแบ่งกลุ่มย่อยและประธานกลุ่มย่อยในเรื่องการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กได้

ซักถาม ปรากฏว่าจากผู้เข้าร่วมกลุ่มย่อยทั้งหมดประมาณ 30 ท่าน มีผู้ใช้วิธีกำลังเพียง 1 ท่าน ส่วนที่เหลือใช้วิธีหน่วยแรงใช้งานในการออกแบบ)

2. ความสำคัญของงานวิจัย

หากได้มีการศึกษาถึงหน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม (f_s) ที่เหมาะสมโดยเฉพาะในกรณีของเหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD40 และ SD50 เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงมาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน วสท. 1007-34[1] ซึ่งแปลมาจากมาตรฐาน ACI318-63[8] เก้าแก่อายุ 44 ปี โดยอาจจะเป็นการปรับค่าของหน่วยแรงที่ยอมให้เหมาะสมกับวิทยาการการผลิตวัสดุในปัจจุบัน ก็ย่อมจะเป็นผลทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานตามมาตรฐานอันใหม่นี้ สามารถใช้ขีดความสามารถรับแรงของเหล็กเสริมได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังเป็นการสนับสนุนให้ผู้ออกแบบหันไปใช้เหล็กเส้นข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD-40 และ SD-50 กันมากขึ้น และเนื่องจากราคาต่อหน่วยของเหล็กเส้นที่มีกำลังการรับแรงที่สูงขึ้นไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงส่งผลให้สามารถประหยัดค่าวัสดุก่อสร้างได้ อันเป็นการประหยัดงบประมาณทั้งในภาคเอกชนและรัฐบาล และเนื่องจากวัสดุเหล็กเป็นสินค้านำเข้า จึงเป็นการลดการขาดดุลทางการค้าของประเทศได้อีกด้วย

3. การศึกษาทางพารามิเตอร์

3.1 หลักการ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีหน่วยแรงใช้งาน และวิธีกำลัง วิธีหน่วยแรงใช้งานจะจำกัดค่าของหน่วยแรงในวัสดุ (ทั้งในคอนกรีตและเหล็กเสริม) ที่เป็นผลมาจากน้ำหนักบรรทุก “ใช้งาน” (Working Load) ซึ่งจะต้องไม่เกินกว่าหน่วยแรงสูงสุดที่ยอมให้ ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือการคำนวณต่าง ๆ จะถูกจำกัดให้อยู่แต่ใน Proportional Limit ดังนั้นวิธีหน่วยแรงใช้งานจึงไม่สามารถบอกได้ถึงความสามารถในการรับแรงอย่างแท้จริง ต่างกับวิธีกำลังซึ่งในขั้นตอนการออกแบบจะต้องให้ค่าหน่วยแรงในวัสดุที่คำนวณได้จากน้ำหนักบรรทุกที่คูณแฟกเตอร์แล้ว (Factored Load) ทหารด้วยตัวคูณลดกำลัง (Strength Reduction Factor) ไม่เกินกว่าหน่วยแรงที่ทำให้วัสดุพัง ดังนั้นวิธีกำลังจึงสามารถทำนายความสามารถในการรับแรงของชิ้นส่วน

โครงสร้างได้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริง ในขณะที่วิธีหน่วยแรงใช้งานเป็นการ “เดา” หน้าตัดที่เหมาะสม

การศึกษาทางพารามิเตอร์ครั้งนี้ เป็นการทดลองออกแบบหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับโมเมนต์ดัด โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน ตามมาตรฐาน วสท. 1007-34[1] ทั้งในกรณีหน้าตัดที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึง (Singly Reinforced Sections) และหน้าตัดที่มีทั้งเหล็กเสริมรับแรงดึงและแรงอัด (Doubly Reinforced Sections) โดยได้ทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการออกแบบหน้าตัดอันได้แก่ หน่วยแรงที่ยอมให้ในคอนกรีต (f_c) อัตราส่วนปริมาตรเหล็กเสริม (ซึ่งถูกกำหนดโดยอัตราส่วนของความสามารถในการรับโมเมนต์เนื่องจากเหล็กเสริมต่อ

ความสามารถในการรับโมเมนต์เนื่องจากคอนกรีต $\frac{M_s}{M_c}$, (ถ้า

$\frac{M_s}{M_c} \leq 1$ หน้าตัดเป็น Singly Reinforced แต่ถ้า $\frac{M_s}{M_c} > 1$ หน้า

ตัดเป็น Doubly Reinforced), ความลึกประสิทธิผลของหน้าตัด

(d, d') และที่สำคัญคือ หน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม (f_s)

จากนั้นได้ใช้วิธีกำลังตามมาตรฐาน วสท. 1008-38[4] หรือ

ACI318-05[5] เพื่อคำนวณความสามารถในการรับโมเมนต์ดัด

ของหน้าตัดที่ออกแบบมาได้ในขั้นตอนข้างต้น ในขั้นตอนนี้

จะต้องมีการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เพิ่มเติมคือ แฟกเตอร์

ของน้ำหนักบรรทุกคงที่ (λ_D) และน้ำหนักบรรทุกจร (λ_L),

อัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด

$\left(\frac{D}{D+L}\right)$ และตัวคูณลดกำลัง (ϕ) จากนั้นได้มีการเปรียบเทียบ

ค่าของโมเมนต์ดัดที่ใช้ในขั้นตอนการออกแบบออกแบบโดยวิธี

หน่วยแรงใช้งาน M_{design} (แปลงให้เป็น Factored moment แล้ว)

กับค่าความสามารถการรับโมเมนต์ดัดคำนวณได้โดยวิธีกำลัง

หรือ $M_{analyze}$ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกหน่วยแรงที่ยอมให้

ในเหล็กเสริม (f_s) ที่เหมาะสมที่สุด สำหรับกรณีต่าง ๆ กัน

3.2 ช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษา

พารามิเตอร์และช่วงของค่าที่ใช้ทดลองได้สรุปไว้ในตารางที่

2 ซึ่งในตารางนี้ ค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ และค่าที่ใช้ในการ

ทดลองออกแบบหน้าตัด ได้ถูกพิจารณาจาก กฎกระทรวงฯ [9],

มาตรฐาน วสท. 1007-34[1], วสท. 1008-38[4], ACI318-05[5],

ส่วนช่วงของค่าอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อน้ำหนักบรรทุก

ทั้งหมด $\left(\frac{D}{D+L}\right)$ ได้มาจากงานวิจัย [10]

ตารางที่ 2 ช่วงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ศึกษา

ชื่อพารามิเตอร์ (หน่วย)	ค่าที่ทดลอง/ที่มา
$f_c = 0.45 f_{cs}$ (ksc)	0.375 เท่าของ (100, 150, ..., 500) (กฎกระทรวงฯ) 0.45 เท่าของ (100, 150, ..., 500) (วสท.1008-38)
f_y (ksc)	4000 (มอก. 24-2548 SD-40) 5000 (มอก. 24-2548 SD-50)
d (cm)	34.2, 38.8, 42.7, 47.7, 53.1, 57.1, 60.35, 65.05, 70.05
d' (cm)	5.8, 6.2, 7.3, 7.3, 6.9, 7.9, 9.65, 9.95
$\lambda_D, \lambda_L, \phi^*$	1.2, 1.6, 0.9 (ACI318-05 กรณี 1 ⁺) 1.2, 1.6, 0.75 (ACI318-05 กรณี 2 ⁺⁺) 1.4, 1.7, 0.9 (วสท 1008 กรณี 1 ⁺) 1.4, 1.7, 0.75 (วสท 1008 กรณี 2 ⁺⁺) 1.7, 2.0, 0.9 (กฎกระทรวงฯ กรณี 1 ⁺) 1.7, 2.0, 0.75 (กฎกระทรวงฯ กรณี 2 ⁺⁺)
$\frac{D}{D+L}$	0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 **

* การเลือกตัวคูณลดกำลัง (ϕ) จากสถิติในประเทศไทยได้ถูกศึกษาไว้แล้ว โดยผู้เขียน [11],[12],[13]

+ กรณี 1 หมายถึง กรณีการก่อสร้างที่มีการระบุมาตรฐานงานก่อสร้างและการควบคุมคุณภาพวัสดุเป็นอย่างดี [7]

++กรณี 2 หมายถึง กรณีการก่อสร้างที่ไม่มีภาระบุฯ [7]

** ค่าอัตราส่วน $\frac{D}{D+L}$ ของคานอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 0.7 ส่วนของพื้นอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 0.6 [10]

4. ผลการศึกษา

จากการทดลองหาอัตราส่วนความสามารถการรับโมเมนต์ดัด

ที่คำนวณได้ ($M_{analyze}$) ต่อความสามารถการรับโมเมนต์ดัดที่

ออกแบบ (M_{design}) (แปลงให้เป็น Factored moment แล้ว) มี

การค้นพบดังต่อไปนี้

เนื่องจากค่า $M_{analyze}$ เป็นค่าที่วิเคราะห์ความสามารถของ

หน้าตัดที่ออกแบบได้โดยวิธีกำลังซึ่งเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือกว่า

ส่วนค่า M_{design} เป็นค่าของโมเมนต์ดัดที่นำไปใช้ในขั้นตอน

การออกแบบหน้าตัดนั้น โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน ดังนั้นหาก

อัตราส่วน $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ มีค่าเท่ากับ 1 พอดีก็แสดงว่าการคำนวณ

ออกแบบทำได้อย่างพอเหมาะพอควร ถ้า $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ มีค่าน้อยกว่า

1 แสดงว่าหน้าตัดที่ออกแบบได้เป็น Under-design ซึ่งจะต้อง

ปรับค่าพารามิเตอร์ของการออกแบบให้หน้าตัดใช้วัสดุเพิ่มขึ้น

(เช่นลดหน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริมลง) ในทางกลับกันถ้า

$\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าหน้าตัดที่ออกแบบได้เป็น Over-design ซึ่งจะต้องปรับค่าพารามิเตอร์ของการออกแบบให้

หน้าตัดใช้วัสดุลดลง (เช่นเพิ่มหน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม

ขึ้น) จากการคำนวณค่าของ $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ ในตารางคำนวณโดย

แปรเปลี่ยนความลึกประสิทธิภาพ (d) ของหน้าตัดตั้งแต่ 32.4 cm

ไปจนถึง 70.05 cm (ความลึกประสิทธิภาพคำนวณมาจากความลึก

ทั้งหมด (h) ที่เป็นตัวเลขลงตัวเช่น 40 cm, 45 cm, 50 cm,...

แล้วห้กลับด้วยระยะหุ้มตามข้อกำหนดของ ACI318-05[5] และ

จุดศูนย์กลางของกลุ่มเหล็กเสริมที่สมมุติ (ความลึกประสิทธิภาพ

ของเหล็กเสริมรับแรงอัด (d') ก็คำนวณได้มาในลักษณะ

เดียวกัน) พบว่าความลึกประสิทธิภาพ d และ d' ไม่มีผลกระทบ

ใด ๆ ต่ออัตราส่วน $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ เช่นเดียวกับความกว้างของหน้า

ตัด (b) ดังนั้นพารามิเตอร์ทั้งสองตัวจึงถูกตัดออกจากการศึกษา

ในครั้งนี้ กราฟในภาพที่ 1 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

$\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ กับ $\frac{M_s}{M_c}$ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกรณีแฟกเตอร์ของ

น้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกันคือ 1.2D+1.6L, 1.4D+1.7L และ

1.7D+2.0L (กรณี $\phi = 0.9$) และกำหนดให้ $f_s = 1700ksc$ จะ

แฟกเตอร์ของน้ำหนักบรรทุกคงที่กับน้ำหนักบรรทุกจรนั้น

แตกต่างกัน ซึ่งต่อไปนี้จะอาศัยค่ากลางคือ $\frac{D}{D+L} = 0.5$ เป็น

ตัวแทนในการศึกษาทางพารามิเตอร์ครั้งนี้

กราฟในภาพที่ 2 เป็นการศึกษาถึงผลของกำลังประลัยของ

คอนกรีต f'_c ที่มีผลต่ออัตราส่วน $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ ของหน้าตัด กราฟนี้

พิจารณาเลือกแฟกเตอร์ของน้ำหนักบรรทุก 1.4D+1.7L,

$\phi = 0.9$, $\frac{D}{D+L} = 0.5$, $f_c = 0.45f'_c$, $f_y = 4000ksc$

$f_s = 1700ksc$ แต่มีการแปรเปลี่ยนค่า f'_c ซึ่งจากกราฟจะเห็น

ได้ว่า f'_c มีความสำคัญต่อหน้าตัดที่ออกแบบ เช่นเมื่อ $\frac{M_s}{M_c} = 0.1$

การเปลี่ยนค่า f'_c จาก 100ksc ไปเป็น 500ksc จะมีผลทำให้

อัตราส่วน $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ เปลี่ยนไป 5.9%

กราฟในภาพที่ 3 แสดงถึงตัวอย่างอันหนึ่งของความสัมพันธ์

ระหว่างอัตราส่วน $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ เมื่อทดลองแปรเปลี่ยนค่าหน่วย

แรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม f_s สำหรับ $\frac{M_s}{M_c}$ ที่แตกต่างกัน จาก

กราฟจะเห็นได้ว่า หากเลือกกรณีที่ทำให้ค่า $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ ต่ำสุดเมื่อ

$\frac{M_s}{M_c} = 2.0$ ซึ่งในทางปฏิบัติผู้ออกแบบมีอิสระในการกำหนด

ดังนั้นต่อไปนี้จะพิจารณาเฉพาะกรณี $\frac{M_s}{M_c} = 2.0$ ซึ่งถือว่าเป็น

กรณีควบคุม จากกราฟนี้จะเห็นได้ว่าค่า f_s “ที่เหมาะสม” (ค่า

f_s ที่ทำให้ $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ ใกล้เคียง 1 มากที่สุด) คือ

$f_s = 2200ksc$ สำหรับกรณี $(1.4D + 1.7L)/0.9$,

$f_y = 4000ksc$, $f'_c = 300 \frac{kg}{cm^2}$ และ $f_c = 0.45f'_c$

กราฟในภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ กับ

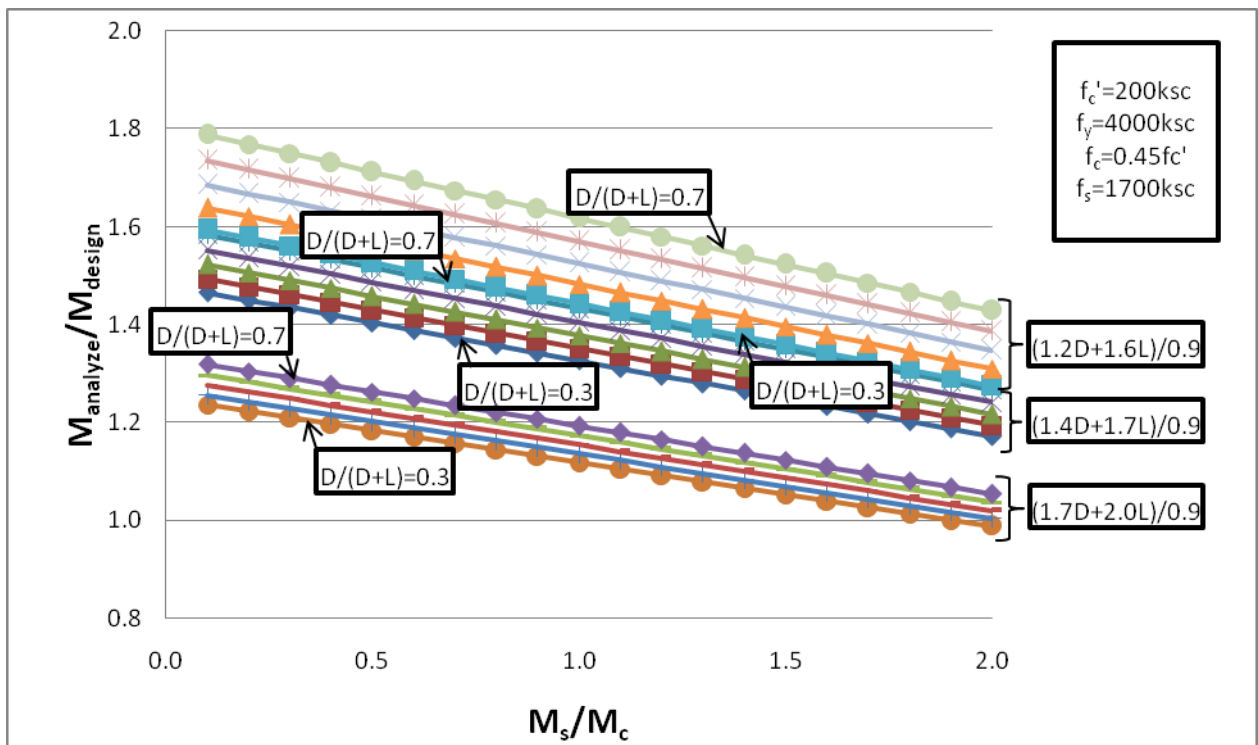
f_s เมื่อกำหนด $\frac{M_s}{M_c} = 2.0$ สำหรับแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกที่

แตกต่างกัน และทดลองค่า f'_c ต่าง ๆ กัน (ดูในกราฟ) ซึ่งจะเห็น

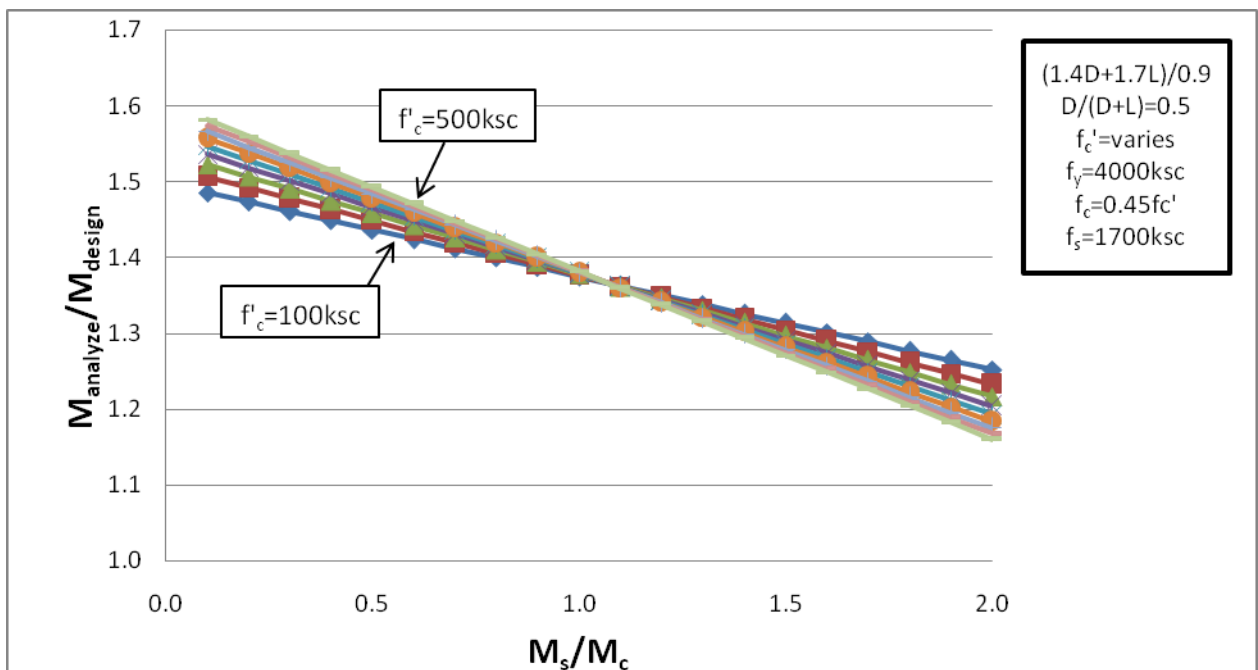
ได้ว่าหากพิจารณาค่ากลางของ f'_c ที่ 300ksc จะได้ค่า f_s ที่

เหมาะสมคือ 2500, 2200 และ 1700ksc สำหรับแฟกเตอร์

น้ำหนักบรรทุกตัวคูณลดกำลัง $\left(\frac{1.2D+1.6L}{0.9} \right)$,



ภาพที่ 1 อัตราส่วน $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ สำหรับแฟกเตอร์ของน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร ที่แตกต่างกัน

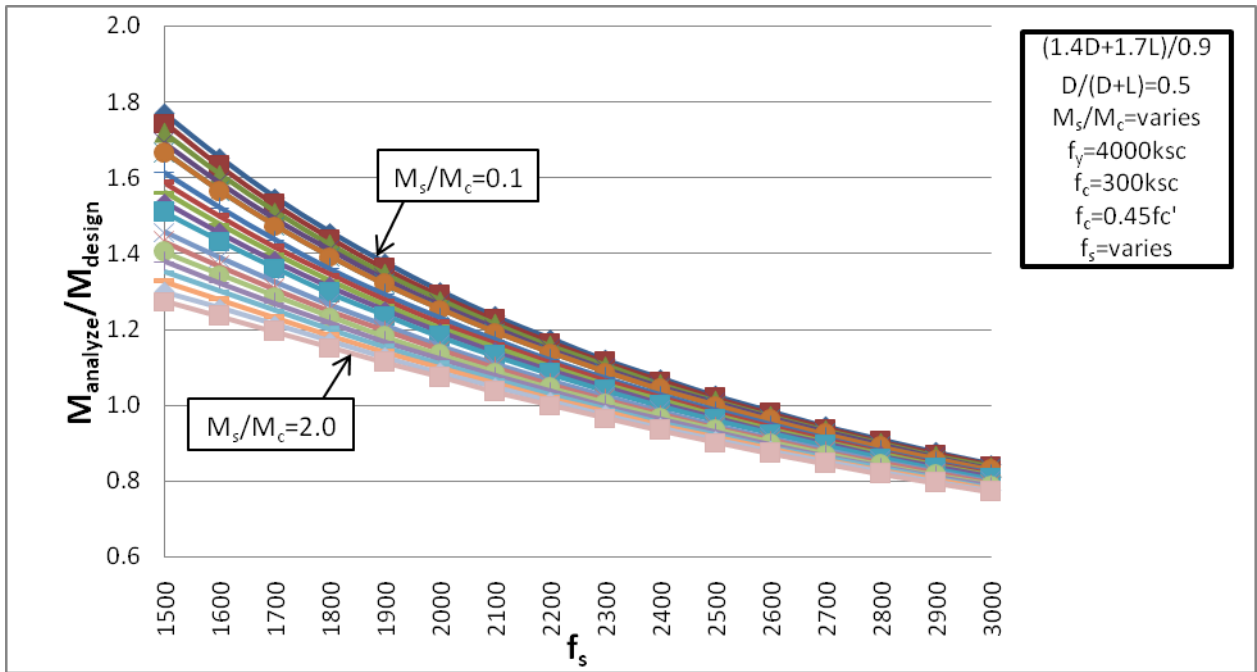


ภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ กับ $\frac{M_s}{M_c}$ เมื่อแปรเปลี่ยน f'_c กรณี $\frac{D}{D+L} = 0.5$ (ค่ากลาง)

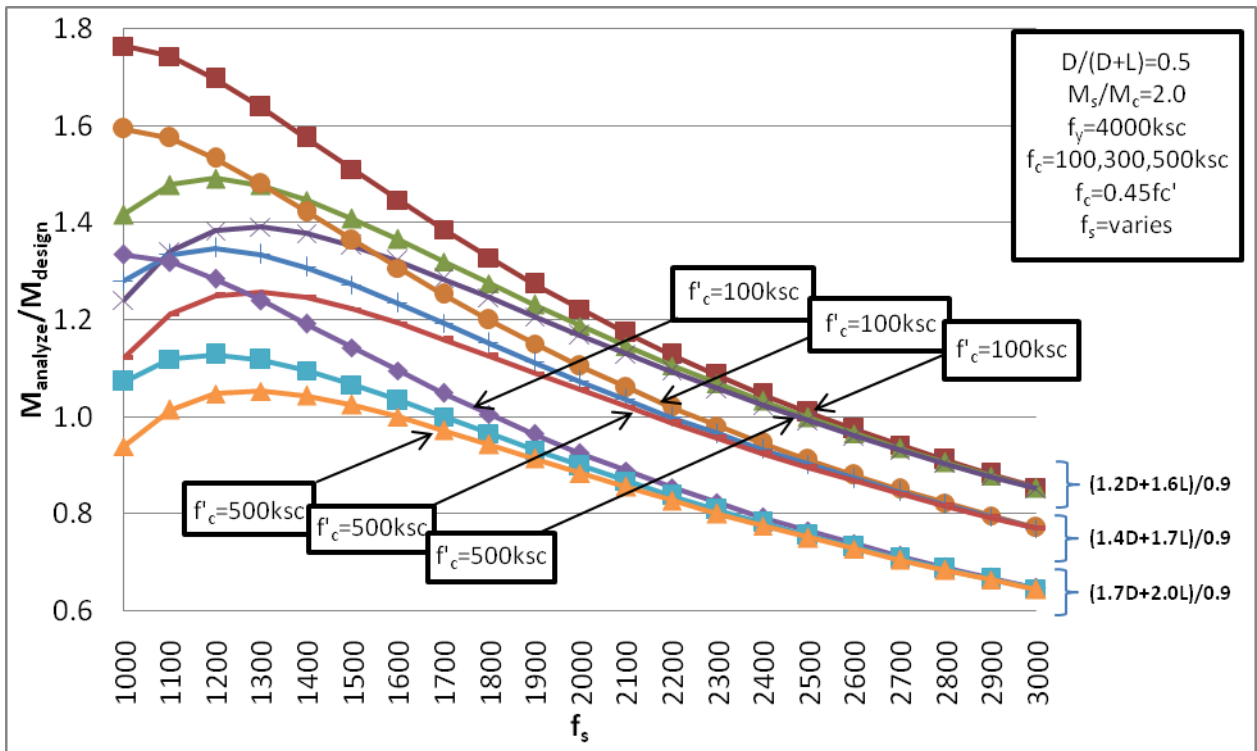
และ $\left(\frac{1.7D+2.0L}{0.9}\right)$ ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ถึง 6 ได้สรุปค่า f_s ที่เหมาะสมเมื่อ

$$\frac{f_c}{f'_c} = 0.375, 0.45 \text{ และ } f_y = 4000ksc, 5000ksc$$



ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ กับ f_s



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ กับ f_s สำหรับแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกัน

7. สรุป

จากการศึกษาทางพารามิเตอร์ โดยทดลองออกแบบหน้าตัดที่รับโมเมนต์ค้ดโดยวิธีหน่วยแรงใช้งานจากค่า M_{design} (ที่รับเป็น Factored Moment แล้ว) ทั้งหน้าตัดแบบ Singly Reinforced

$\left(\frac{M_s}{M_c} \leq 1.0\right)$ และแบบ Doubly Reinforced $\left(\frac{M_s}{M_c} > 1.0\right)$ แล้วทำการคำนวณความสามารถในการรับโมเมนต์ค้ด $M_{analyze}$ โดยวิธีกำลัง เมื่อเลือกกรณีควบคุม

ตารางที่ 3 f_s ที่เหมาะสม กรณี $\frac{f_c}{f'_c} = 0.45$ และ $f_y = 4000ksc$

$\frac{f_c}{f'_c}$	f_y	ϕ	Load Factors	f'_c	f_s ที่เหมาะสม
0.45	4000	0.9	1.2D+1.6L	100	2500
				300	2500
				500	2500
			1.4D+1.7L	100	2200
				300	2200
				500	2200
			1.7D+2.0L	100	1800
				300	1700
				500	1600
		0.75	1.2D+1.6L	100	2000
				300	2000
				500	1900
			1.4D+1.7L	100	1800
				300	1700
				500	1600
1.7D+2.0L	100	1400			
	300	1200			
	500	1300			

ตารางที่ 5 f_s ที่เหมาะสม กรณี $\frac{f_c}{f'_c} = 0.45$ และ $f_y = 5000ksc$

$\frac{f_c}{f'_c}$	f_y	ϕ	Load Factors	f'_c	f_s ที่เหมาะสม
0.45	5000	0.9	1.2D+1.6L	100	3200
				300	3100
				500	3100
			1.4D+1.7L	100	2800
				300	2800
				500	2800
			1.7D+2.0L	100	2300
				300	2200
				500	2100
		0.75	1.2D+1.6L	100	2600
				300	2600
				500	2600
			1.4D+1.7L	100	2400
				300	2300
				500	2300
1.7D+2.0L	100	1900			
	300	1800			
	500	1800			

ตารางที่ 4 f_s ที่เหมาะสม กรณี $\frac{f_c}{f'_c} = 0.375$ และ $f_y = 4000ksc$

$\frac{f_c}{f'_c}$	f_y	ϕ	Load Factors	f'_c	f_s ที่เหมาะสม
0.375	4000	0.9	1.2D+1.6L	100	2600
				300	2600
				500	2600
			1.4D+1.7L	100	2300
				300	2300
				500	2300
			1.7D+2.0L	100	1900
				300	1800
				500	1800
		0.75	1.2D+1.6L	100	2100
				300	2100
				500	2100
			1.4D+1.7L	100	1900
				300	1800
				500	1800
1.7D+2.0L	100	1500			
	300	1400			
	500	1300			

ตารางที่ 6 f_s ที่เหมาะสม กรณี $\frac{f_c}{f'_c} = 0.375$ และ $f_y = 5000ksc$

$\frac{f_c}{f'_c}$	f_y	ϕ	Load Factors	f'_c	f_s ที่เหมาะสม
0.375	5000	0.9	1.2D+1.6L	100	3200
				300	3200
				500	3200
			1.4D+1.7L	100	2900
				300	2900
				500	2900
			1.7D+2.0L	100	2400
				300	2300
				500	2300
		0.75	1.2D+1.6L	100	2600
				300	2600
				500	2600
			1.4D+1.7L	100	2400
				300	2300
				500	2300
1.7D+2.0L	100	1900			
	300	1800			
	500	1800			

$\frac{M_s}{M_c} = 2.0$ ซึ่งเป็นกรณีที่ทำให้ค่าอัตราส่วน $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ ต่ำสุด และ

ใช้ค่ากลาง $\frac{D}{D+L} = 0.5$ จะได้หน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็ก

เสริม f_s ที่เหมาะสม (f_s ที่ทำให้ $\frac{M_{analyze}}{M_{design}}$ ใกล้เคียง 1 มาก

ที่สุด) สำหรับกรณีพารามิเตอร์ที่ศึกษาต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 3 ถึง 6

8. ข้อเสนอแนะ

หากมีมาตรฐานให้เลือกทั้งสองวิธีคือ วสท. 1007 (วิธีหน่วยแรงใช้งาน) และ วสท. 1008 (วิธีกำลัง) และจะต้องกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม f_s ที่เหมาะสม เพื่อให้ผลของหน้าตัดที่ออกแบบมาจากทั้งสองวิธีนั้น ใกล้เคียงกันมากที่สุด จะได้ค่าที่เหมาะสมคือ $f_s = 2200ksc$ ($f_s = 0.55f_y$) สำหรับเหล็กเส้นที่มี $f_y = 4000ksc$ (เกรด SD-40) และ $f_s = 2800ksc$ ($f_s = 0.56f_y$) สำหรับเหล็กเส้นที่มี $f_y = 5000ksc$ (เกรด SD-50) ดังนั้นหากกำหนดให้มาตรฐาน วสท. 1007 ใช้หน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม $f_s = 0.5f_y$ จะได้น้ำหนักตัดที่มีความสามารถในการรับโมเมนต์ที่ออกแบบได้ สูงกว่าน้ำหนักตัดที่ออกแบบโดยมาตรฐาน วสท. 1008 (วิธีกำลัง) เล็กน้อย ดังนั้นผู้เขียนจึงขอแนะนำให้ยกเลิกข้อกำหนด $f_s \leq 1700ksc$ ในข้อ 6103 ออกไปจากมาตรฐาน วสท. 1007 ฉบับใหม่ ซึ่งจะไม่เป็นผลทำให้หน้าตัดที่ออกแบบมาได้มีความสามารถในการรับโมเมนต์ตัดต่ำกว่าหน้าตัดที่ออกแบบโดยวิธีกำลัง (วสท. 1008-38) แต่อย่างไร

หากคณะกรรมการร่างมาตรฐาน วสท. 1007 ฉบับใหม่มีความเห็นที่จะกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม f_s จากเกณฑ์อื่น ๆ นอกเหนือจากที่ผู้เขียนได้แนะนำ ก็สามารถใช้ตารางที่ 3 ถึง 6 ในบทความนี้เป็นข้อมูลประกอบเพื่อใช้พิจารณาได้ (ควรจะมีการตรวจสอบการคำนวณหรือ Auditing เสียก่อน) ซึ่งผู้เขียนได้ศึกษาเงื่อนไขต่าง ๆ ครอบคลุมไว้หลายกรณี

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา ประจำปี 2533-34, 2534. มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน ว.ส.ท. 1007-34. กทม : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- [2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2543. มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 20-2543 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต: เหล็กเส้นกลม. กทม: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- [3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2548. มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 24-2548 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต: เหล็กข้ออ้อย. กทม: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- [4] คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา ประจำปี 2537-2538, 2538. มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง ว.ส.ท. 1008-38. กทม : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

- [5] ACI Committee 318, 2005. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-05) and Commentary (ACI318R-05). Farmington Hill, Michigan : American Concrete Institute.
- [6] หนังสือพิมพ์เดลินิวส์, 31 สค. 2547. ราคาเหล็กเส้น-ข้ออ้อย วันที่ 1-15 พ.ย. สูงขึ้นเล็กน้อย. บริษัทมิลเลนเนียม สตีล จำกัด (มหาชน) < URL:http://www.millenniumsteel.com/th/news/s-20041031-01.php >
- [7] คณะอนุกรรมการแก้ไขกฎกระทรวงด้านวิศวกรรมโครงสร้างและปฐพี, 2548, ระดมความคิดเห็นการแก้ไขกฎกระทรวงด้านวิศวกรรมโครงสร้างและปฐพี. โรงแรมรามารการ์เด็น.
- [8] ACI Committee 318, 1963. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-63) Farmington Hill, Michigan : American Concrete Institute.
- [9] กฎกระทรวงฉบับที่ 6 2527 ออกตาม พรบ. ควบคุมอาคาร 2522.
- [10] 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.
- [11] นัตร สุจินดา, 2548. การเลือกตัวคูณลดกำลังเพื่อใช้ในการออกแบบโมเมนต์คัตในคานและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยพิจารณาถึงการกระจายของมวลต่อความยาวของเหล็กเส้น สำหรับบ้านพักอาศัย ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. การประชุมวิชาการคอนกรีต ประจำปีครั้งที่ 1, ระยองริชอร์ต, ระยอง.
- [12] นัตร สุจินดา, 2549. การเลือกตัวคูณลดกำลังสำหรับการออกแบบเหล็กปลอกรับแรงเฉือนในคาน โดยพิจารณาถึงการกระจายของกำลังครากของเหล็กเส้นจากบ้านพักอาศัย ในเขตกรุงเทพมหานคร. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 11, เมอร์ลิน บีช ริชอร์ต, กูเก็ต.
- [13] นัตร สุจินดา, 2549. การเลือกตัวคูณลดกำลังสำหรับการออกแบบเสาต้นรับแรงอัดตามแนวแกน โดยพิจารณาถึงข้อมูลทางสถิติของมาตรฐานงานก่อสร้างและวัสดุในเขต กทม. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 2, โรงแรมเจริญศรี แกรนด์ รอยัล, อุตรธานี.

เกี่ยวกับผู้เขียน



ดร. นัตร สุจินดา

อาจารย์ประจำ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
สอนวิชาการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก
งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของ
โครงสร้าง และปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการ
มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก