

การเปรียบเทียบผลของการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างรับโมเมนต์ดัด  
ระหว่างที่ออกแบบตามมาตรฐาน ACI318-99 และ ACI318-02  
A Comparison of Design Results of Flexural Members  
Between using ACI318-99 and ACI318-02 Standards

ฉัตร สุจินดา (Chatr Suchinda)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม chart.su@spu.ac.th

**บทคัดย่อ :** มาตรฐาน ACI318-02 ได้ปรับปรุงข้อกำหนดเกี่ยวกับการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างรับโมเมนต์ดัดไปจากมาตรฐาน ACI318-99 โดยมาตรฐาน ACI318-99 เดิมได้จำกัดอัตราส่วนเหล็กเสริมในชิ้นส่วนโครงสร้างที่รับโมเมนต์ดัดจะต้องไม่เกินร้อยละ 75 ของอัตราส่วนเหล็กเสริมสมดุล ซึ่งอัตราส่วนเหล็กเสริมสมดุลจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำคัตมีความเครียดเนื่องจากแรงอัดของคอนกรีตที่ผิวด้านนอกสุดเป็น 0.003 แล้วจะเกิดความเครียดเนื่องจากแรงดึงที่ตำแหน่งศูนย์กลางของกลุ่มเหล็กเสริมเท่ากับค่าความเครียดที่จุดครากพอดี แต่ในมาตรฐาน ACI318-02 ได้กำหนดให้ผู้ออกแบบตรวจสอบความเครียดของเหล็กเสริมที่ตำแหน่งด้านริมบนสุดของเหล็กเสริม (แทนที่จะเป็นจุดศูนย์กลาง) หากเท่ากับ 0.005 หรือมากกว่า ให้ถือว่าเป็นชิ้นส่วนที่ถูกควบคุมโดยแรงดึง ซึ่งต้องใช้ตัวคูณลดกำลังสำหรับกรณีชิ้นส่วนรับโมเมนต์ดัด แต่หากเท่ากับ 0.002 หรือน้อยกว่า ให้ถือว่าเป็นชิ้นส่วนที่ถูกควบคุมโดยแรงอัด ซึ่งใช้ตัวคูณลดกำลังสำหรับกรณีชิ้นส่วนรับแรงอัด และหากค่าอยู่ระหว่าง 0.002 และ 0.005 ตัวคูณลดกำลังให้คำนวณจากสมการเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างทั้งสองกรณี บทความนี้ได้นำเสนอการเปรียบเทียบผลของการออกแบบจากมาตรฐานทั้งสอง ซึ่งผลของการเปรียบเทียบนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาปรับปรุงมาตรฐาน วสท. 1008 ใหม่ต่อไปในอนาคต

**ABSTRACT :** The ACI318-02 standard has been improved from the previous ACI318-99 standard which includes the aspect of the designing flexural members. From the previous ACI318-99, the reinforcement ratio is limited to 75 percent of the balanced reinforcement ratio which is defined as the condition when the section have its concrete strain at the extreme outer fiber of 0.003 and the strain of the rebar at its centroid equals to the yield strain. But the ACI318-02 recommends that the designer must check the tensile strain of rebar at the extreme outer fiber (instead of at its centroid). If it is 0.005 or more, the member is controlled by tension and the strength reduction factor for flexural members must be applied. If it is 0.002 or less, the member is controlled by compression and reduction factor for compression member must be applied. For the range in between 0.002 and 0.005, the strength reduction factor can be calculated based on linear equation interpolating between the two cases. This paper presents the comparison of the results from the designs based on these two different standards. This comparison results obtained from this research could be used for the improvement of the new version of EIT 1008 standard in the future.

**KEYWORDS :** Tensile Strain Check. Tension-Controlled Members, Reinforced Concrete Design Standards, Unified Method.

## 1. ความนำ

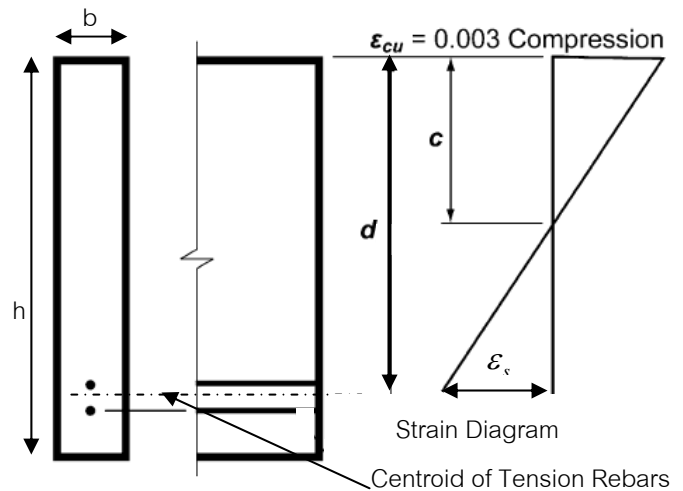
มาตรฐาน ACI318-02[1] ได้มีการพัฒนาปรับปรุงจากมาตรฐาน ACI318-99[2] ไปมาก การปรับเปลี่ยนที่สำคัญที่สุดได้แก่การเปลี่ยนไปใช้ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor) ตามมาตรฐาน SEI/ASCE7 [3] ตัวอย่างเช่นตัวคูณน้ำหนักบรรทุกตายตัวที่เคยเท่ากับ 1.4 ในมาตรฐาน ACI318-99 ได้เปลี่ยนเป็น 1.2 ในมาตรฐาน ACI318-02 ส่วนตัวคูณน้ำหนักบรรทุกจรที่เคยเท่ากับ 1.7 ในมาตรฐาน ACI318-99 ได้เปลี่ยนเป็น 1.6 ในมาตรฐาน ACI318-02 ดังนั้นจึงมีผลทำให้ค่าตัวคูณลดกำลัง (Strength Reduction Factor) ต้องถูกสอบเทียบใหม่โดยใช้การวิเคราะห์ความเชื่อมั่น[4,5] นอกจากนี้ในมาตรฐาน ACI318-02 ยังได้ปรับวิธีการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างรับโมเมนต์ดัดและรับแรงตามแนวแกน โดยให้ใช้วิธีหนึ่งเดียวหรือ Unified Method [6]

บทความนี้เป็นการนำเสนอผลของการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างที่รับโมเมนต์ดัดทั้งที่เป็นแบบหน้าตัดที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึงเพียงอย่างเดียว (Singly Reinforced Section) และที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึงและแรงอัด (Doubly Reinforced Section) ซึ่งได้ออกแบบเปรียบเทียบกันระหว่างมาตรฐาน ACI318-99 กับมาตรฐาน ACI318-02 ผลของการเปรียบเทียบนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนามาตรฐาน วสท. 1008 ใหม่ต่อไปในอนาคต

## 2. วิธีการออกแบบ

มาตรฐาน ACI318-99 ได้จำกัดอัตราส่วนเหล็กเสริม  $\rho$  ในชิ้นส่วนโครงสร้างที่รับโมเมนต์ดัดจะต้องไม่เกิน 75% ของอัตราส่วนเหล็กเสริมสมดุล  $\rho_b$  โดยกำหนดว่าอัตราส่วนเหล็กเสริมสมดุล จะเกิดขึ้นเมื่อหน้าตัดมีความเครียดเนื่องจากแรงอัดของคอนกรีตที่ผิวด้านนอกสุดเป็น 0.003 และเกิดความเครียดที่ตำแหน่งศูนย์กลาง

ของกลุ่มเหล็กเสริม  $\epsilon_s$  เท่ากับความเครียดที่จุดคราก  $\epsilon_y$  พอดี ซึ่งในการคำนวณหาความเครียดที่ตำแหน่งดังกล่าวจะต้องใช้ระยะความลึกประสิทธิผล  $d$  ซึ่งเป็นระยะในแนวตั้งจากผิวที่เกิดความเครียดอัดสูงสุดจนถึงจุดศูนย์กลางของกลุ่มเหล็กเสริมรับแรงดึง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผังความเครียดที่ใช้คำนวณหาความเครียดที่ตำแหน่งศูนย์กลางของกลุ่มเหล็กเสริม  $\epsilon_s$

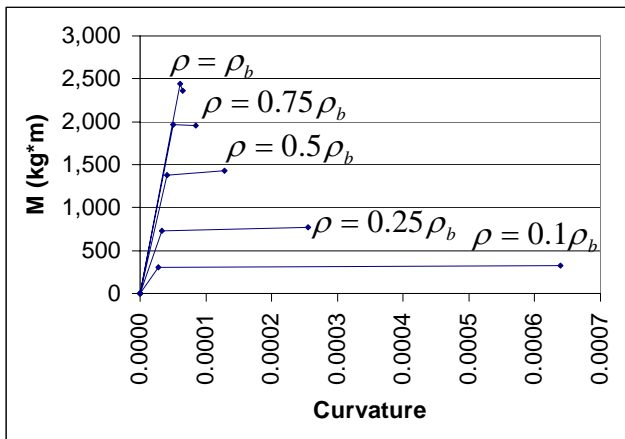
จากภาพที่ 1 ใช้ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตของสามเหลี่ยมคล้ายจะสามารถคำนวณหาความเครียดของเหล็กเสริมรับแรงดึงที่จุดศูนย์กลางของกลุ่มเหล็กเสริมได้ดังนี้

$$\frac{\epsilon_s}{(c-d)} = \frac{0.003}{c} \quad (1)$$

$$\epsilon_s = \frac{(c-d)}{c} 0.003 \quad (2)$$

เหตุผลที่มาตรฐาน ACI318-99 ได้จำกัดอัตราส่วนเหล็กเสริม  $\rho$  ไว้ที่  $0.75\rho_b$  เพราะหากอัตราส่วนเหล็กเสริมเกินกว่าค่าดังกล่าว หน้าตัดจะมีความเหนียว (Ductility) น้อยเกินไป ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัด  $M$  และความโค้ง

(Curvature)  $\phi$  ของหน้าตัดที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริมต่าง ๆ กัน



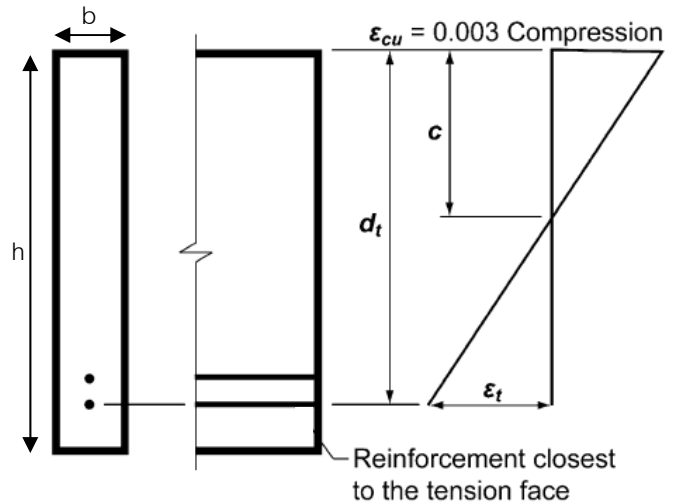
ภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์คดกับความโค้งหรือ  $M-\phi$  Curve ที่อัตราส่วนเหล็กเสริมต่าง ๆ กัน

ในขณะที่วิธีหนึ่งเดียว (Unified Method) ใน ACI318-02 อนุญาตให้หน้าตัดมีอัตราส่วนเหล็กเสริมเกินจาก  $0.75\rho_b$  ได้ แต่เนื่องจากหน้าตัดมีความเหนียวลดลง จึงต้องเพิ่มส่วนเพื่อในการออกแบบให้มากขึ้น ซึ่ง ACI318-02 ได้กำหนดขีดจำกัดของความเครียด (Strain) ที่ตำแหน่งเหล็กเสริมรับแรงดึงริมตลิ่ง  $\epsilon_t$  เนื่องจากเหล็กเสริมริมตลิ่งมีความเครียดสูงกว่า และจะถึงจุดครากก่อนเหล็กเสริมในส่วนอื่น ๆ ภาพที่ 3 แสดงผังความเครียดที่ใช้คำนวณหาความเครียดที่ตำแหน่งริมตลิ่งของเหล็กเสริม  $\epsilon_t$

จากภาพที่ 3 ในทำนองเดียวกับ  $\epsilon_s$  จะสามารถคำนวณ  $\epsilon_t$  ได้จากความสัมพันธ์ของสามเหลี่ยมคล้าย

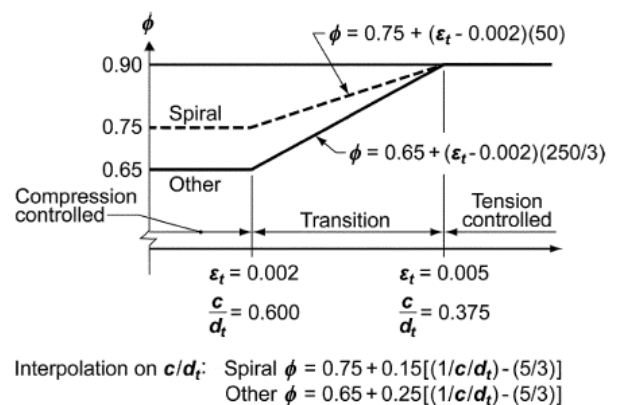
$$\epsilon_t = \frac{(c - d_t)}{c} 0.003 \quad (3)$$

ถ้า  $\epsilon_t \geq 0.005$  ให้ถือว่าเป็นหน้าตัดที่ถูกควบคุมโดยแรงดึง (Tension controlled) ซึ่งต้องใช้ตัว



ภาพที่ 3 ผังความเครียดที่ใช้คำนวณหาความเครียดที่ตำแหน่งริมตลิ่งของเหล็กเสริม  $\epsilon_t$

คูณลดกำลังสำหรับกรณีชิ้นส่วนรับโมเมนต์คด  $\phi = 0.9$  แต่ถ้า  $\epsilon_t \leq 0.002$  ให้ถือว่าเป็นหน้าตัดที่ถูกควบคุมโดยแรงอัด (Compression Controlled) ต้องใช้ตัวคูณลดกำลังสำหรับกรณีชิ้นส่วนรับแรงอัด  $\phi = 0.75$  (เหล็กปลอกเกลียว) และ  $\phi = 0.65$  (เหล็กปลอกอื่น ๆ) และหาก  $0.002 < \epsilon_t < 0.005$  ให้ใช้ตัวคูณลดกำลังโดยคำนวณได้จากสมการเส้นตรง ภาพที่ 4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดที่ริมตลิ่งของเหล็กเสริม  $\epsilon_t$  กับตัวคูณลดกำลัง  $\phi$  ที่แนะนำในมาตรฐาน ACI318-02



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดที่ริมตลิ่งของเหล็กเสริม  $\epsilon_t$  กับตัวคูณลดกำลัง  $\phi$  ในมาตรฐาน ACI318-02[1]

ค่าของ  $\varepsilon_t$  มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วน  $\frac{c}{d_t}$  โดยตรง ซึ่งจากสมการที่ (3) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{c}{d_t} = \left( \frac{\varepsilon_t}{0.003} + 1 \right)^{-1} \quad (4)$$

เมื่อ  $c$  คือความสูงของส่วนที่รับแรงอัดในหน้าตัด

ขีดจำกัดของหน้าตัดที่ควบคุมด้วยแรงอัดหรือ  $\varepsilon_t \leq 0.002$  ได้มาจากค่าของความเครียดที่จุดครากหรือ

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \text{ หรือจากสมการที่ (4) จะได้ } \frac{c}{d_t} = 0.600$$

หรือคืออัตราส่วนเหล็กเสริมที่จุดสมดุล  $\rho = \rho_b$  ส่วน

ขีดจำกัดของหน้าตัดที่ควบคุมด้วยแรงดึงหรือ  $\varepsilon_t \geq 0.005$  นั้นสัมพันธ์กับ  $\frac{c}{d_t} = 0.375$

จะสังเกตได้ว่าการออกแบบตามมาตรฐาน ACI318-02 หากค่าของโมเมนต์ที่ต้องการออกแบบ ทำให้  $\varepsilon_t < 0.005$  จะทำต้องลดค่าตัวคูณลดกำลัง  $\phi$  ลง จาก 0.9 ซึ่งอาจจะเป็นการประหยัดกว่าหากผู้ออกแบบเปลี่ยนไปใช้ Doubly Reinforced Section แทน โดยการเพิ่มเหล็กเสริมรับแรงอัดและควบคุมให้ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงในส่วนที่สมดุลกับแรงอัดในคอนกรีตมี  $\varepsilon_t = 0.005$  เพื่อให้ค่า  $\phi$  ไว้ที่ 0.9 ซึ่งการที่จะทราบว่าหน้าตัดแบบใดจะประหยัดกว่ากันจำเป็นต้องทดลองคำนวณดูก่อนเท่านั้น

## 2. ขั้นตอนการออกแบบ

ในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้ได้ครอบคลุมเหล็กเสริมข้ออ้อย 3 ชั้นคุณภาพคือ SD30, SD40 และ SD50 ซึ่งมีกำลังคราก  $f_y = 3,000, 4,000, 5,000 \text{ ksc}$  ตามลำดับ ส่วนคอนกรีตที่ศึกษามีกำลังอัดประลัย  $f'_c = 150, 200, 300 \text{ ksc}$  เพื่อให้ครอบคลุมวัสดุที่ใช้จริงในงานก่อสร้าง ในขั้นตอนการออกแบบจำเป็นต้องกำหนดขนาดของหน้าตัด ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้

ได้กำหนดให้ความลึกของคานเท่ากับ 1.5 เท่าของความกว้าง ซึ่งถือว่าเป็นอัตราส่วนโดยทั่วไป [7] และได้สมมุติให้เหล็กเสริมรับแรงดึงใช้เหล็กเส้นขนาด DB25 จัดเรียงเป็น 2 แถว ส่วนเหล็กเสริมรับแรงอัดใช้เหล็กเส้นขนาด DB25 จัดเรียงเป็น 1 แถว (อาจผิดเพี้ยนจากความเป็นจริงไปบ้างแต่สมมุติให้ง่ายต่อการคำนวณและได้ความต่อเนื่องของผลการออกแบบ) และใช้ระยะปกป้องคอนกรีต (Concrete Protection) ตามมาตรฐาน ACI318-99 และ ACI318-02 (เหมือนกัน) สำหรับกรณีภายนอก (Exterior Exposure) ขนาดความกว้าง  $b$  ความลึก  $h$  ความลึกประสิทธิภาพของเหล็กเสริมรับแรงดึงและแรงอัด  $d, d'$  ความลึกประสิทธิภาพของเหล็กเสริมรับแรงดึงริมอกสุด  $d_t$  ของคานทั้งหมดที่ศึกษาได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กรณีของคานทั้งหมดที่ศึกษา

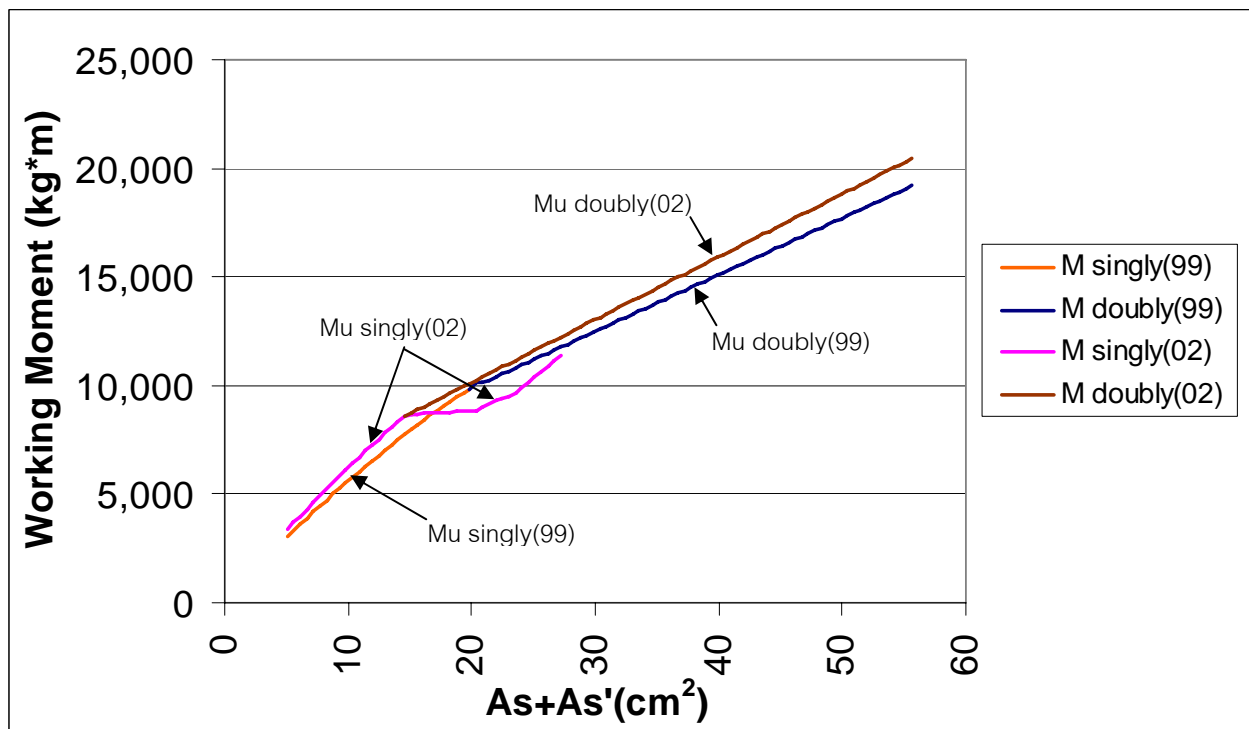
$f'_c$ (ksc)	$f_y$ (ksc)	$b$ (cm)	$h$ (cm)	$d$ (cm)	$d'$ (cm)	$d_t$ (cm)
150	3,000	30	45	36.25	6.25	43.75
200	4,000	50	75	66.25	6.25	68.75
250	5,000	70	105	96.25	6.25	98.75
300	5,000	70	105	96.25	6.25	98.75

ในการศึกษานี้ได้เลือกเปรียบเทียบค่าของโมเมนต์ใช้งาน  $M = M_D + M_L$  ของที่คำนวณได้ตามมาตรฐาน ACI318-99 และ ACI318-02 ซึ่งระหว่างสองมาตรฐานนี้มีข้อแตกต่างกันที่ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor) เช่นน้ำหนักบรรทุกรวม (Load Combination) ของน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load) กับน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) สำหรับ ACI318-99 คือ  $1.4D + 1.7L$  แต่สำหรับ ACI318-02 คือ  $1.2D + 1.6L$  ซึ่งข้อแตกต่างนี้มีผลต่อผลของการออกแบบด้วย จึงต้องเปรียบเทียบค่าของโมเมนต์ที่

เหมือนกันนั่นก็คือค่าโมเมนต์ใช้งาน ซึ่งช่วงของอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกตายตัวต่อน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดในทางปฏิบัติของคานหล่อในที่คือ  $0.3 \leq D/(D+L) \leq 0.7$  [8] ถ้าใช้ค่ากลางที่  $D/(D+L) = 0.5$  หรือ  $M_D = M_L$  สำหรับ ACI318-99 ซึ่ง  $M_u = 1.4M_D + 1.7M_L$  จะได้ความสัมพันธ์ของโมเมนต์ใช้งานกับโมเมนต์ประลัย  $M = 0.645M_u$  ส่วน ACI318-02 ซึ่ง  $M_u = 1.2M_D + 1.6M_L$  จะได้ความสัมพันธ์ของโมเมนต์ใช้งานกับโมเมนต์ประลัย  $M = 0.714M_u$

### 3. ผลการศึกษา

จากการคำนวณ ความสามารถในการรับโมเมนต์ใช้งาน (Working Moment)  $M = M_D + M_L$  สำหรับคานทั้ง 4 กรณี เมื่อนำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบกับปริมาณเหล็กเสริมรวม  $A_s + A'_s$  จะได้ดังแสดงไว้ในภาพที่ 5 (เฉพาะสำหรับกรณี  $f'_c = 200\text{ksc}$   $f_y = 4,000\text{ksc}$   $b = 50\text{cm}$   $h = 75\text{cm}$ ) ส่วนกรณีที่เหลืออีก 3 กรณีในตารางที่ 1 ไม่ได้นำมาแสดงเนื่องจากหน้ากระดาษมีจำกัด และเส้นกราฟสำหรับแต่ละกรณีมีลักษณะที่คล้ายกันทั้งหมด



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมรวมกับโมเมนต์ใช้งาน

กรณี  $f'_c = 200\text{ksc}$   $f_y = 4,000\text{ksc}$   $b = 50\text{cm}$   $h = 75\text{cm}$

### 4. อภิปรายผล

กราฟในภาพที่ 5 ได้แบ่งออกเป็นผลที่ได้จากมาตรฐาน ACI318-99 ซึ่งได้แบ่งย่อยออกเป็นหน้าตัดที่เสริมเหล็กเฉพาะรับแรงดึง (Singly Reinforced Section)  $M$  singly(99) และหน้าตัดที่เสริมทั้งเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด  $M$  doubly(99) ในทำนองเดียวกันผลของ

มาตรฐาน ACI318-02 ก็มี  $M$  singly(02) และ  $M$  doubly(02)

เมื่อเปรียบเทียบเส้นกราฟ  $M$  singly(99) และ  $M$  singly(02) ในช่วงที่  $\epsilon_r \geq 0.005$  จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของ  $M$  singly(02) มีความชันมากกว่า  $M$  singly(99) ทั้งนี้เนื่องจากตัวคานน้ำหนักบรรทุกทุกของทั้งน้ำหนักตายตัว

และนำหน้ากรของมาตรฐาน ACI318-02 มีค่าน้อยกว่าของมาตรฐาน ACI318-99 ทำให้การออกแบบตามมาตรฐาน ACI318-02 ในช่วงนี้ประหยัดกว่า

มาตรฐาน ACI318-99 ได้กำหนดให้ใช้ค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับกรณีโมเมนต์คด  $\phi = 0.9$  และจำกัดค่าอัตราส่วนเหล็กเสริม  $\rho \leq 0.75\rho_b$  ซึ่งจะสังเกตได้ว่า M singly(99) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเหล็กเสริม  $A_s$  เพิ่มขึ้นและสิ้นสุดเมื่อถึงขีดจำกัด  $0.75\rho_b$  ส่วนมาตรฐาน ACI318-02 ไม่มีการจำกัดค่าอัตราส่วนเหล็กเสริม  $\rho$  ซึ่งในกรณีของ M singly(02) นั้นสามารถเพิ่มอัตราส่วนเหล็กเสริมขึ้นไปได้จนถึงอัตราส่วนเหล็กเสริมสมดุล  $\rho_b$  อย่างไรก็ตาม ACI318-02 ได้กำหนดให้ลดค่า  $\phi$  ลงในเชิงเส้นตรงโดยเริ่มจาก  $\phi = 0.9$  เมื่อ  $\epsilon_t = 0.005$  ลงเหลือ  $\phi = 0.65$  เมื่อ  $\epsilon_t = 0.002$  ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าเส้นกราฟ M singly(02) จะมีค่าความชันที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อ  $\epsilon_t < 0.005$

ในมาตรฐาน ACI318-99 หากต้องการให้หน้าตัดสามารถรับโมเมนต์คดได้เพิ่มขึ้นมากกว่าโมเมนต์ที่  $\rho = 0.75\rho_b$  สามารถทำได้โดยการเพิ่มเหล็กเสริมรับแรงอัด ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเส้นกราฟ M doubly(99) นั้นมีความชัน (Slope) ที่น้อยกว่า M singly(99) ประมาณครึ่งหนึ่ง เนื่องจากในการเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัดนั้น จะต้องไปเพิ่มเหล็กเสริมรับแรงดึงในปริมาณที่สมดุลกันด้วย ดังนั้นหน้าตัดที่เสริมทั้งเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด (Doubly Reinforced Section) จึงมีประสิทธิภาพของการรับโมเมนต์ต่อวัสดุเหล็กเสริมรวมที่ใช้ น้อยกว่าหน้าตัดที่เสริมเหล็กเฉพาะรับแรงดึง (Singly Reinforced Section) ทำนองเดียวกันในมาตรฐาน ACI318-02 ก็สามารเพิ่มเหล็กเสริมรับแรงอัดได้ โดยเริ่มจากเมื่อ  $\epsilon_t = 0.005$  ซึ่งจะทำได้สามารถคงค่าของ  $\phi$  ไว้ที่ 0.9 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นกราฟ M singly(02) กับ M doubly(02)

ในช่วงที่  $\epsilon_t < 0.005$  จะเห็นได้ว่า M doubly(02) มีความชันประมาณครึ่งหนึ่งของ M singly(02) เช่นกัน

## 5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองออกแบบหน้าตัดรับโมเมนต์คด ตามมาตรฐาน ACI318-99 และ ACI318-02 ซึ่งมีข้อแตกต่างกันในเรื่องของขีดจำกัดของอัตราส่วนเหล็กเสริม ค่าตัวคูณลดกำลัง และค่าตัวคูณหน้าตัดรับแรงดึง สำหรับหน้าตัดที่มีขนาดตั้งแต่ 30x45 cm จนถึง 70x105 cm ที่ใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัย  $f'_c = 150 - 300 \text{ ksc}$  และเหล็กเส้นที่มีกำลังคราก  $f_y = 3,000 - 5,000 \text{ ksc}$  ได้ข้อสรุปดังนี้

1. สำหรับหน้าตัดที่พิจารณาแต่เหล็กเสริมรับแรงดึง (Singly Reinforced Section) ในช่วงอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ทำให้  $\epsilon_t \geq 0.005$  ค่าโมเมนต์ใช้งานที่ได้จากมาตรฐาน ACI318-02 มีค่าสูงกว่า ACI318-99
2. สำหรับหน้าในช่วงอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ทำให้  $\epsilon_t < 0.005$  แต่ไม่เกินกว่า 75% ของอัตราส่วนเหล็กเสริมสมดุล ค่าโมเมนต์ใช้งานที่ได้จากมาตรฐาน ACI318-99 มีค่าน้อยกว่าในช่วงต้นแต่มากกว่าในช่วงท้าย เมื่อเทียบกับค่าโมเมนต์ใช้งานที่ได้จากมาตรฐาน ACI318-02 เนื่องจาก ACI318-02 ได้กำหนดให้มีการลดค่าของตัวคูณลดกำลังลงเมื่อ  $\epsilon_t < 0.005$  แต่ค่าตัวคูณหน้าตัดรับแรงดึงของมาตรฐาน ACI318-02 น้อยกว่าของมาตรฐาน ACI318-99
3. สำหรับการออกแบบตามมาตรฐาน ACI318-02 ถ้า  $\epsilon_t < 0.005$  แนะนำให้เปลี่ยนไปใช้หน้าตัดแบบที่เสริมเหล็กทั้งแรงดึงและแรงอัด (Doubly Reinforced Section) แทน ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพของการเพิ่มโมเมนต์ใช้งานต่อการเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมรวมที่ดีกว่า

4. ในกรณีของหน้าตัดที่เสริมทั้งเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด (Doubly Reinforced Section) ค่าโมเมนต์ใช้งานที่ออกแบบตามมาตรฐาน ACI318-02 จะสูงกว่าค่าโมเมนต์ประลัยที่ออกแบบตามมาตรฐาน ACI318-99
5. หากจะพิจารณานำวิธีหนึ่งเดียวหรือ Unified Method ใน ACI318-02 มาใช้ในมาตรฐานของไทย หรือ วสท. 1008 อันใหม่ ควรจะต้องวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของโครงสร้าง โดยใช้สถิติการก่อสร้างของประเทศไทย[9] เพื่อสอบเทียบหาค่าตัวคูณลดกำลังที่เหมาะสมใหม่ เนื่องจากวิธีนี้ให้ผลของโมเมนต์ที่คำนวณได้แตกต่างจากวิธีเดิมที่อยู่ใน ACI318-99 และ วสท. 1008-38[10] เดิม

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ACI Committee 318. 2002. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-02). Farmington Hill, MI : American Concrete Institute.
- [2] ACI Committee 318. 1999. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-99). Farmington Hill, MI : American Concrete Institute.
- [3] SEI/ASCE Committee 7-02. 2002. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures., Reston, VA : ASCE
- [4] MacGregor, J. G. 1976 Safety and Limit States Design for Reinforced Concrete. Canadian Journal of Civil Engineering. V. 3 No. 4 pp. 484-513.
- [5] Nowak, A. S., and Szerszen, M. M. 2001 Reliability-Based Calibration for Structural Concrete. Ann Arbor, MI : Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan.
- [6] Mast, R.F. 1992. Unified Design Provision for Reinforced and Prestressed Concrete Flexural and Compression Members. ACI Structural Journal. V. 89, No. 2 pp. 185-199.
- [7] Leet, K., 1991. Reinforced Concrete Design. 2nd ed. New York : McGraw-Hill, Inc.
- [8] 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) pp 383-391.
- [9] ธีตร สุจินดา. 2550. ตัวคูณลดกำลัง สำหรับมาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยอาศัยข้อมูลทางสถิติในประเทศไทย. รายงานวิจัย. กทม. : มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- [10] คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา ประจำปี 2537-2538. มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง ว.ส.ท. 1008-38. กทม : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.