การเปรียบเทียบผลของการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างรับโมเมนต์ดัดระหว่างที่ออกแบบตามมาตรฐาน ACI318-99 และ ACI318-02

ผศ. ดร. ฉัตร สุจินดา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ข้อปรับปรุงที่สำคัญ ACI318-99 -> 02

- เปลี่ยน Load Factors
  - ACI318-99: U=1.4D+1.7L
  - ACI318-02: U=1.2D+1.6L ตาม ASCE7
- Recalibrate ค่า Φ ใหม่
- เปลี่ยนข้อกำหนดในการออกแบบ Flexure, Compression, RC, PC
  - ACI318-99: แยกสูตรในการคำนวณ Flexure, Compression, RC, PC
  - ACI318-02: Unified Method (Mast, 1992)

ข้อเสียของวิธี ACI318-99

1.

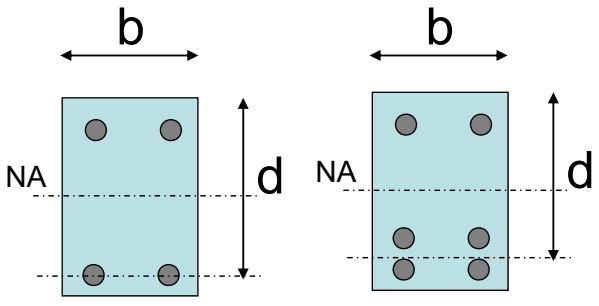
ก) ACI318-99 ห้ามไม่ให้ ρ เกินกว่า $0.75\rho_b$ สำหรับชิ้นส่วนที่มีแรงตามแนวแกนไม่เกิน $0.10f'_cA_c$ แต่เหมือนว่าผอมให้มีปริมาณเหล็กรับแรงดึงมากกว่านั้นสำหรับชิ้นส่วนที่มีแรงตามแนวแกนมากกว่า ซึ่งไม่สมเหตุสมผล

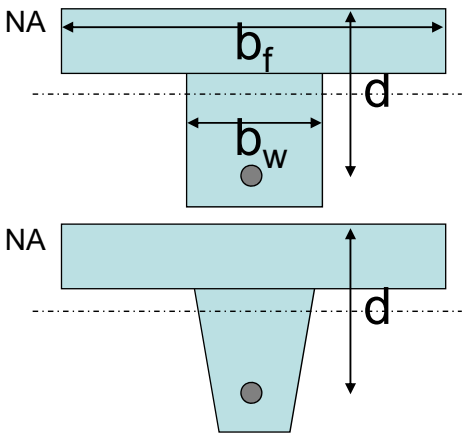
ข) สำหรับ PC ได้กำหนดขีดจำกัดของเหล็กเสริมไว้สูงกว่าของ RC ซึ่งก็ไม่สมเหตุสมผล เพราะหลักการของการออกแบบอยู่บนพื้นฐานของสมดุลของแรง T=C

ปัญญาหานี้ควรจะต้องหาข้อกำหนดใหม่เพื่อแบ่งประเภทเป็น Tension Controlled หรือ Compression Controlled

ข้อเสียของวิธี ACI318-99 (ต่อ)

2. ขีดจำกัดของ ACI318-99 กำหนดค่า limit ของ ρ (Reinf. Ratio) สำหรับ RC และ ω (Reinf. Index) สำหรับ PC ซึ่งค่าทั้งสองต้องการค่า b และ d ที่ถูกต้อง ซึ่งจะคำนวณได้ง่ายหากเป็นหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีเหล็กเสริม layer เดียว แต่ถ้าเป็นหน้าตัดรูปตัว T หรือหน้าตัดอื่นๆ จะคำนวณได้ยากมากกว่า ยิ่งถ้า web ของหน้าตัดมีลักษณะสอบเข้า ยิ่งยากมากที่สุด ซึ่งหน้าตัดแบบนี้จะพบบ่อยใน PC

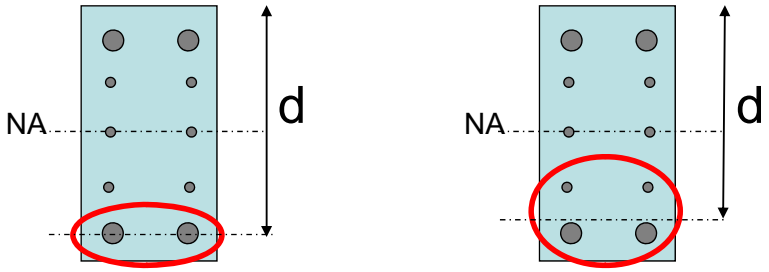




ข้อเสียของวิธี ACI318-99 (ต่อ)

3. นิยามของ d และ d_p แตกต่างกันสำหรับ RC และ PC

ก) สำหรับ RC: ได้นิยามให้ d คือระยะถึง “จุด Centroid ของเหล็กรับแรงดึง” ซึ่งนิยามนี้คำนวณง่ายหากเหล็กเสริมรับแรงดึงกระจุกอยู่ใกล้ๆ ผิวด้านนอกฝั่งแรงดึง แต่ถ้าเป็นหน้าตัดลึก ที่มีเหล็กเสริมกระจายไปทั่ว จะไม่สามารถแยก เหล็กรับแรงดึง กับ เหล็กรับแรงอัดได้ทันที ซึ่งเมื่อจะตรวจสอบ ρ การที่ไม่พิจารณาเหล็กเสริมที่อยู่เหนือเหล็กรับแรงดึงหลัก จะไม่ Conservative เนื่องจากการพิจารณาเหล็กดังกล่าวจะไปลด d และเพิ่ม ρ

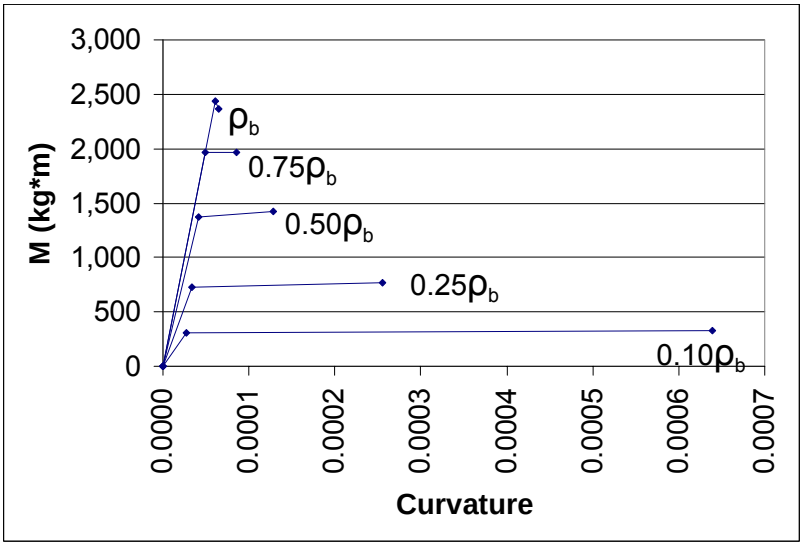


ข้อเสียของวิธี ACI318-99 (ต่อ)

ข) สำหรับ PC: ได้นิยามให้ d_p คือระยะถึง “จุด Centroid ของลวดอัดแรง” ซึ่งหมายถึงลวดอัดแรง**ทั้งหมด** ซึ่งรวมไปถึงลวดในบริเวณที่รับแรงอัดด้วย แต่ A_{ps} นิยามว่าเป็นลวดอัดแรงในบริเวณรับแรงดึง และ $\rho_p = A_{ps}/bd_p$ ซึ่งชัดเจนว่าไม่เข้ากัน และก็ไม่ถูกต้องที่เดียวหากจะนิยาม d_p ให้เป็นของลวดอัดแรงในบริเวณรับแรงดึงเพียงอย่างเดียวในบางกรณี ACI318-99 ยอมให้ปริมาณเหล็กสูงกว่า $0.75\rho_b$

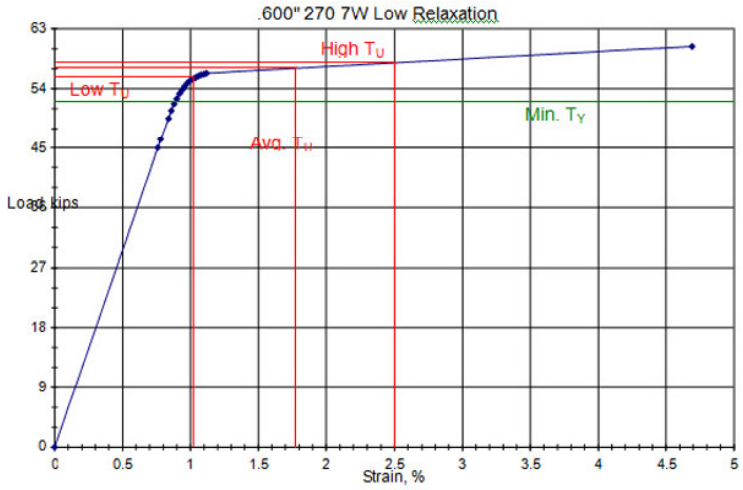
ข้อเสียของวิธี ACI318-99 (ต่อ)

4. นิยามของ Balanced Strain Condition สำหรับ RC คือเหล็กเสริมถึงจุดคราก พร้อมกับ คอนกรีต Crush ค่าขีดจำกัด ρ มีไว้เพื่อให้มั่นใจว่าเป็นเหล็กเสริมจะเกินจุดครากไป เพื่อให้มีการเตือนก่อนการพัง



ข้อเสียของวิธี ACI318-99 (ต่อ)

4. (ต่อ) แต่สำหรับ PC ลวดอัดแรงไม่ได้แสดงจุดครากอย่างชัดเจน ซึ่ง ACI318-99 ได้กำหนด ให้มีจุดครากที่ 90ksi เหนือค่า effective prestress (เกรด 270k) แต่ถ้าเอา 90ksi แทนลงไปในสูตรของ RC ผลของขีดจำกัด ρ จะแตกต่างไป จาก $0.75\rho_b$ ของขีดจำกัดในสูตร PC มาก

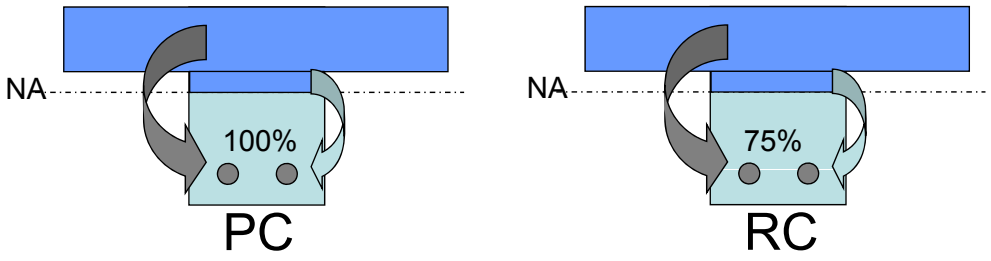


ข้อเสียของวิธี ACI318-99 (ต่อ)

5. การจัดการกับส่วนของ Flange (หน้าตัดรูปตัว T) ใน RC และ PC นั้นแตกต่างกันมาก

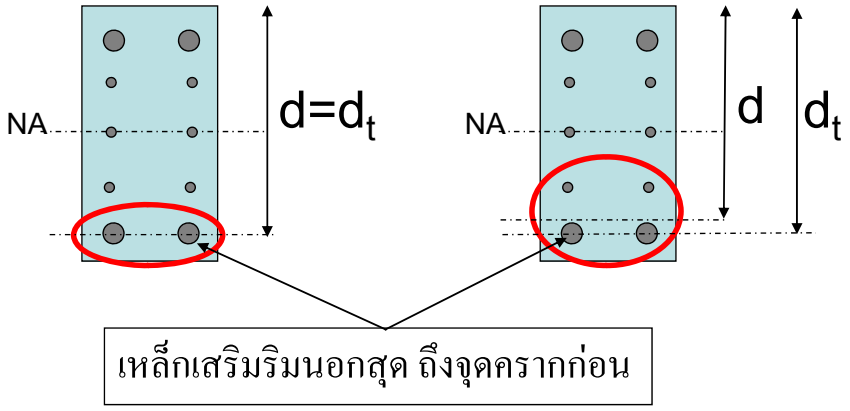
ก) สำหรับ PC: แรงอัดของคอนกรีตในส่วน Flange จะถูกทำให้สมดุลโดยแรงดึงในเหล็กเสริมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ตำแหน่งของ NA อยู่ที่เดิม

ข) สำหรับ RC: แรงอัดในคอนกรีตในส่วนที่เกินจากความหนาของ Flange จะถูกทำให้สมดุลได้แค่ 75% ของเหล็กเสริมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ความลึกของ NA ต่ำลง (Skogman และคณะ,1988)



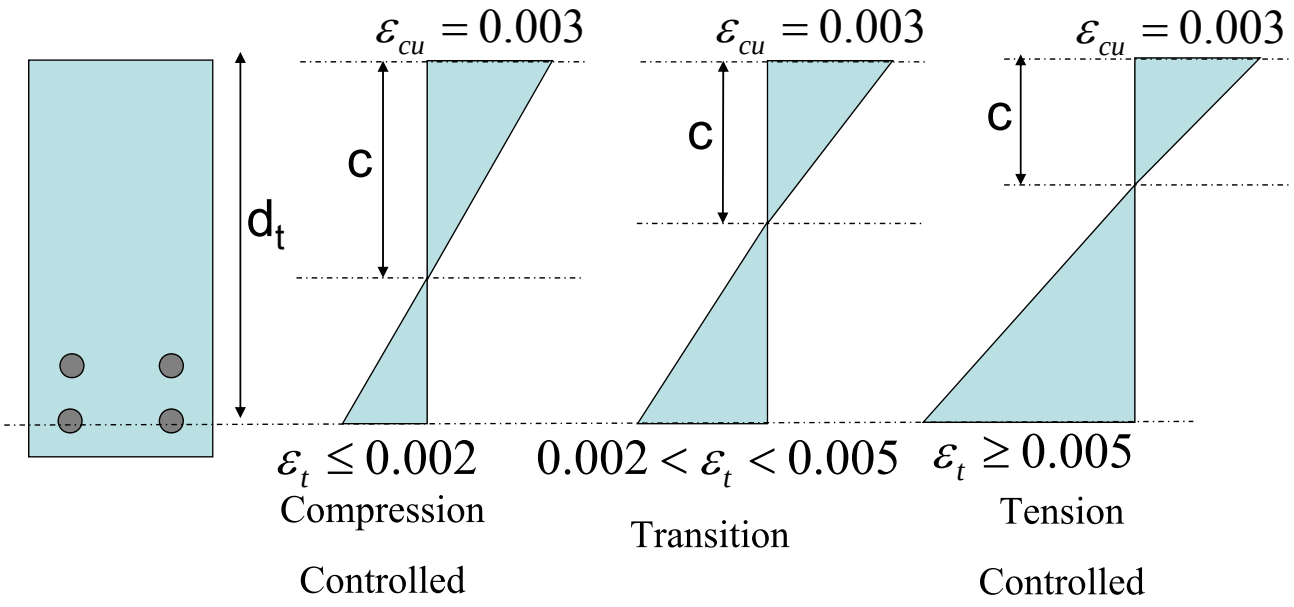
วิธีหนึ่งเดียว = Unified Method

1. หลักการของ Extreme Depth, d_t



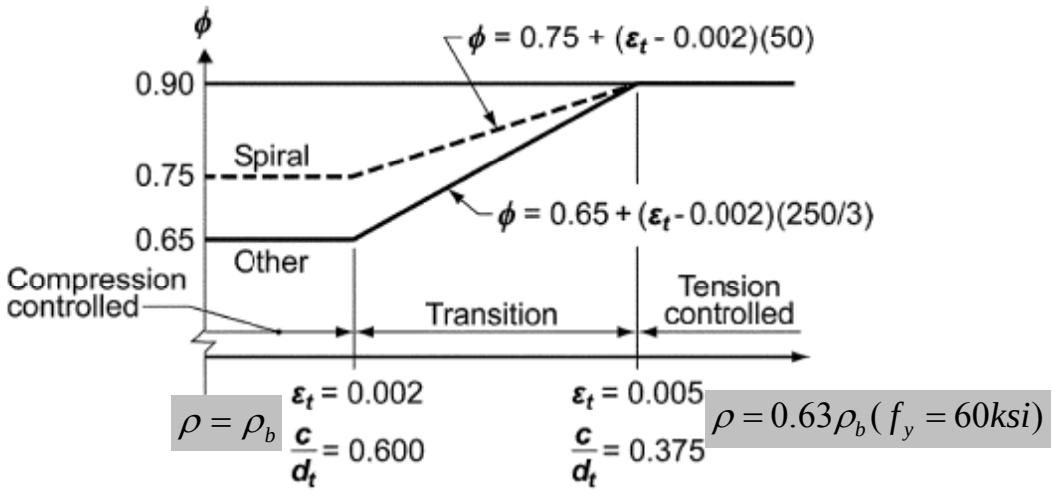
วิธีหนึ่งเดียว = Unified Method (ต่อ)

2. หน้าตัด Tension กับ Compression Controlled



วิธีหนึ่งเดียว = Unified Method (ต่อ)

2. หน้าตัด Tension กับ Compression Controlled (ต่อ)



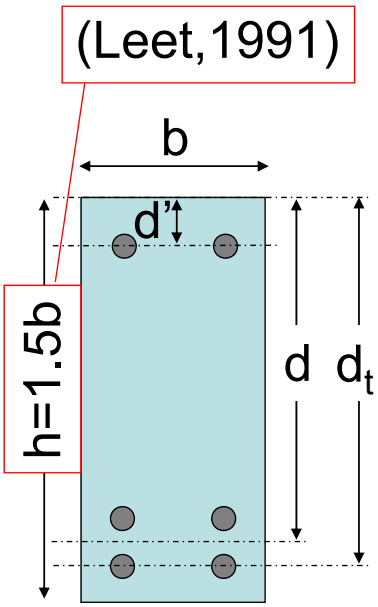
Interpolation on c/d_t: Spiral $\phi = 0.75 + 0.15[(1/c/d_t) - (5/3)]$
Other $\phi = 0.65 + 0.25[(1/c/d_t) - (5/3)]$

วิธีการศึกษา

1. ออกแบบหน้าตัดรับแรงดัด ทั้งตามวิธี ACI318-99 และ ACI318-02 ทั้งในช่วง Singly and Doubly Reinforced Sections
2. หน้าตัดขนาดต่างๆ ในช่วง b=30-70cm, h=1.5b, f'c=150-300ksc, fy=3000-5000ksc

กรณีศึกษา เปรียบเทียบผลการออกแบบ

ACI318-99 vs ACI318-02



f'c (ksc)	fy (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

วิธีการศึกษา

3. เขียนกราฟเปรียบเทียบ

ก) แกน x เป็นปริมาณเหล็กเสริมรวม As+As' (สะท้อนถึงต้นทุนหรือราคา)

ข) แกน y เป็น Working Moment (M_D+M_L) (สะท้อนถึงความสามารถรับแรง)

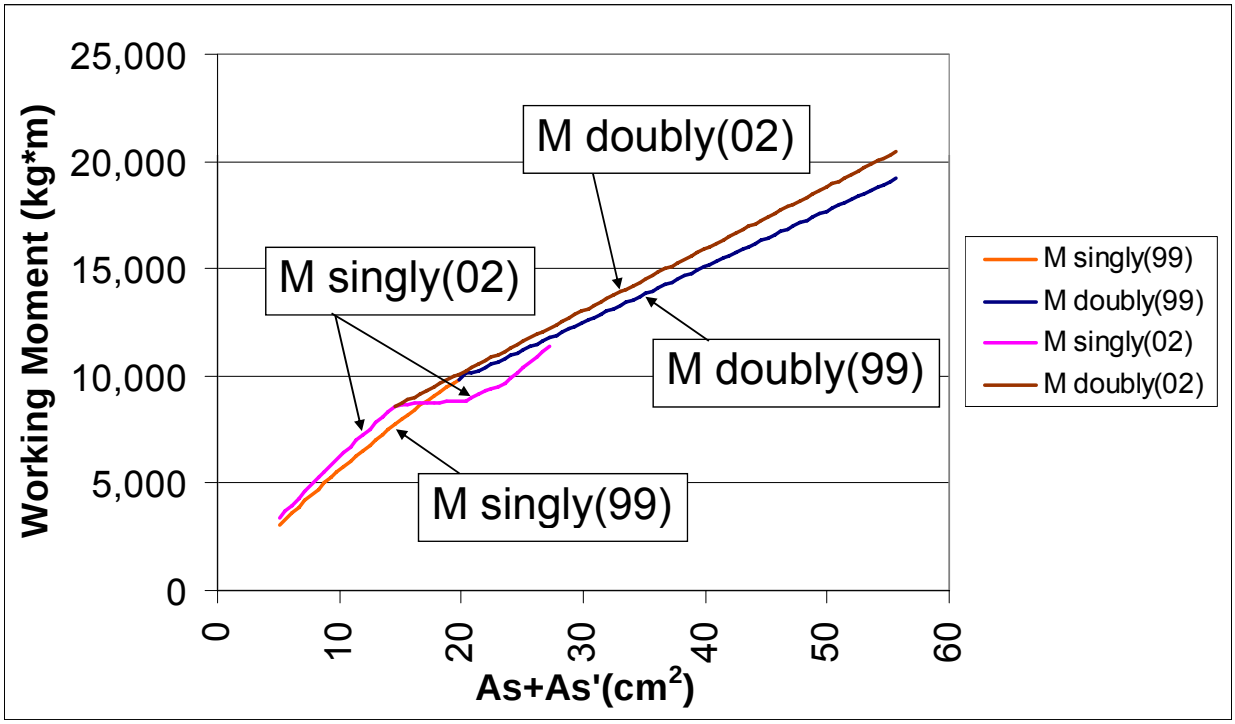
- เปรียบเทียบ M_U ไม่ได้เพราะ ACI318-99 และ ACI318-02 ตั้งอยู่บนค่า M_U ที่แตกต่างกัน ($M_U=1.4M_D+1.7M_L$ vs $M_U=1.2M_D+1.6M_L$)

การคำนวณ Working Moment, M

- สำหรับคาน $0.3 \le D/(D+L) \le 0.7$
  - ใช้ค่ากลาง $D/(D+L)=0.5$ หรือ $M_D=M_L$-----(1)
- ACI318-99
  - $M_U=1.4M_D+1.7M_L$-----(2)
  - จากสมการ (1) และ (2) จะได้ $M=(M_D+M_L)=0.645M_U$
- ACI318-02
  - $M_U=1.2M_D+1.6M_L$-----(3)
  - จากสมการ (1) และ (3) จะได้ $M=(M_D+M_L)=0.714M_U$

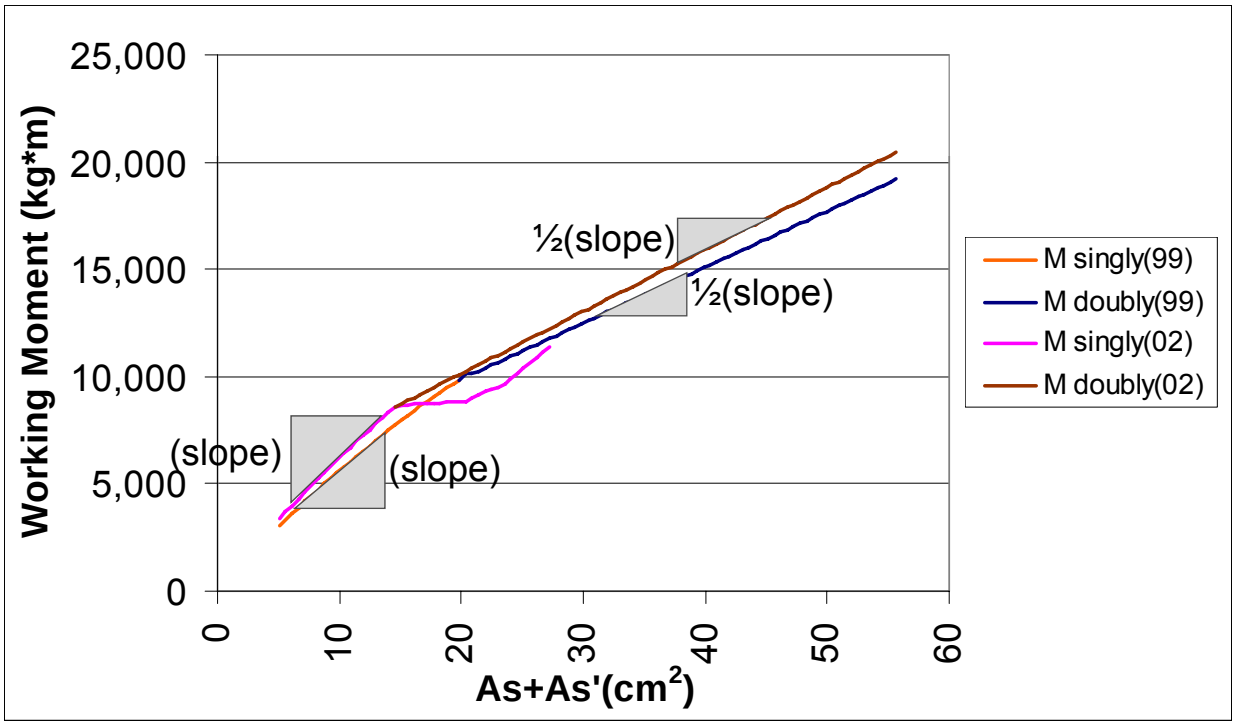
อภิปรายผล (1)

กรณี b=30cm, h=45cm, f'_c=150ksc, f_y=3000ksc



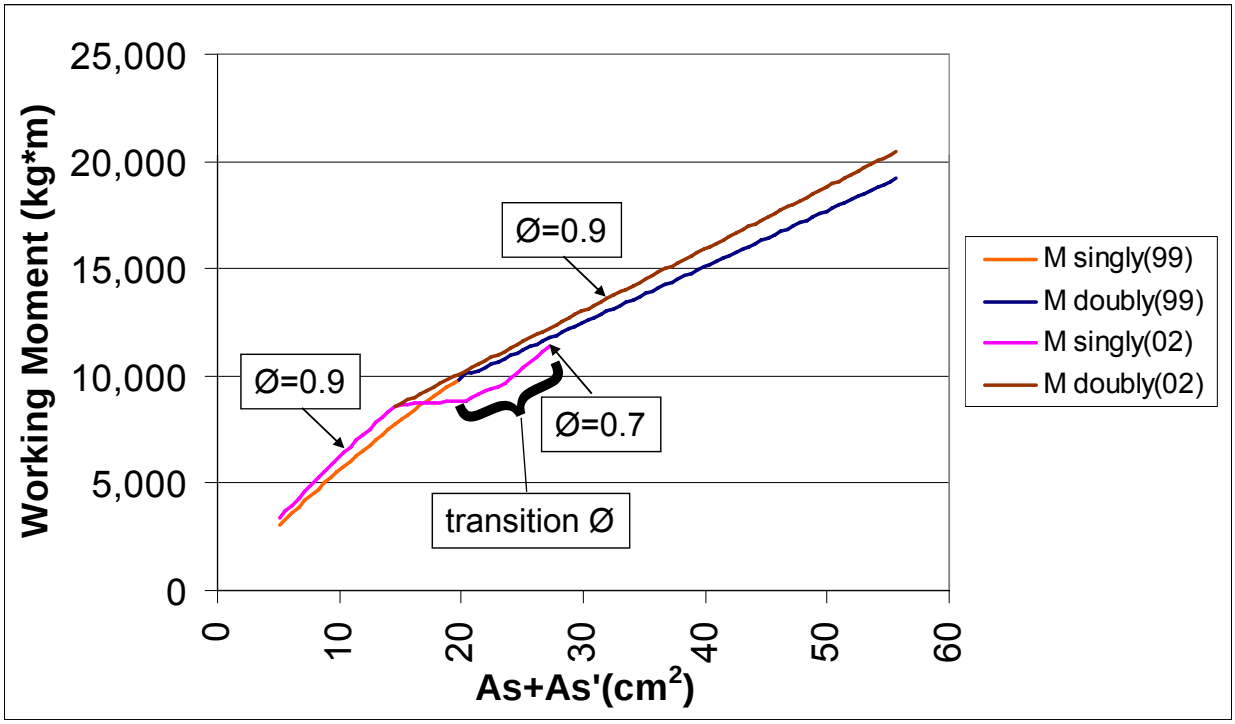
อภิปรายผล (2)

กรณี b=30cm, h=45cm, f'_c=150ksc, f_y=3000ksc



อภิปรายผล (3)

กรณี b=30cm, h=45cm, f'_c=150ksc, f_y=3000ksc



สรุป

1. สำหรับหน้าตัดที่พิจารณาแต่เหล็กเสริมรับแรงดึง(Singly Reinforced Section) ในช่วงอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ทำให้ $\rho \le 0.63\rho_b$ ค่าโมเมนต์ใช้งานที่ได้จากมาตรฐาน ACI318-02 มีค่าสูงกว่า ACI318-99
2. Singly Reinforced Section กรณี $0.63\rho_b \le \rho \le 0.75\rho_b$ ค่าโมเมนต์ใช้งานที่ได้จากมาตรฐาน ACI318-99 มีค่าน้อยกว่าในช่วงต้นแต่มากกว่าในช่วงท้าย เมื่อเทียบกับค่าโมเมนต์ใช้งานที่ได้จากมาตรฐาน ACI318-02 เนื่องจาก ACI318-02 ได้กำหนดให้มีการลดค่าของตัวคูณลดกำลังลงเมื่อ แต่ค่า Load Factor ของมาตรฐาน ACI318-02 น้อยกว่าของมาตรฐาน ACI318-99

สรุป (ต่อ)

3. สำหรับการออกแบบตามมาตรฐาน ACI318-02 ถ้า แนะนำให้เปลี่ยนไปใช้หน้าตัดแบบที่เสริมเหล็กทั้งแรงดึงและแรงอัด (Doubly Reinforced Section) แทน ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพของการเพิ่มโมเมนต์ใช้งานต่อการเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมรวมที่ดีกว่า
4. ในกรณีของหน้าตัดที่เสริมทั้งเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด (Doubly Reinforced Section) ค่าโมเมนต์ใช้งานที่ออกแบบตามมาตรฐาน ACI318-02 จะสูงกว่าค่าโมเมนต์ประลัยที่ออกแบบตามมาตรฐาน ACI318-99

สรุป (ต่อ)

5. หากจะพิจารณานำวิธีหนึ่งเดียวหรือ Unified Method ใน ACI318-02 มาใช้ในมาตรฐานของไทยหรือ วสท. 1008 อันใหม่ ควรจะต้องวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของโครงสร้าง โดยใช้สถิติการก่อสร้างของประเทศไทย เพื่อ Recalibrate ค่า Φ ใหม่ เนื่องจากวิธีนี้ให้ผลของโมเมนต์ที่คำนวณได้แต่ต่างจากวิธีเดิมที่อยู่ใน ACI318-99 และ วสท. 1008-38 เดิม