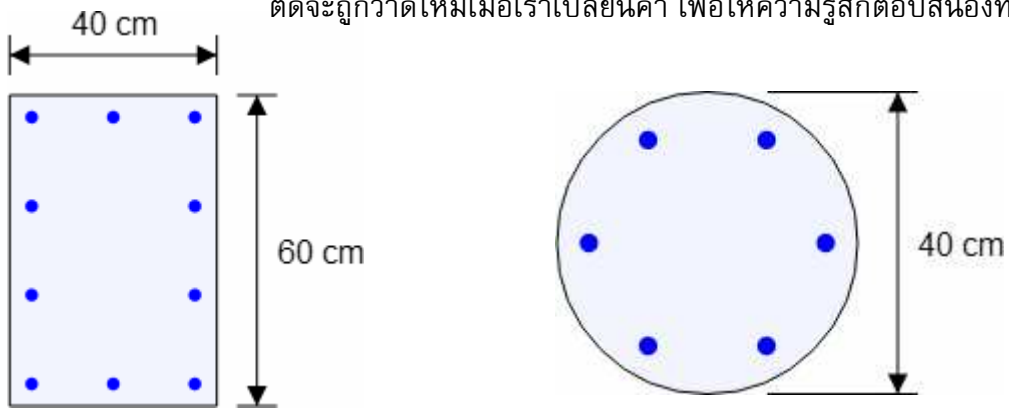


RC Column Analysis

Combined Axial & Moment Strength

เป็น app ที่มีขนาดไม่ใหญ่รูปร่างหน้าตาธรรมดา แต่ถือได้ว่าซับซ้อนยุ่งยากมากตัวหนึ่งครับ เลยต้องมาเขียนความเป็นมาบันทึกไว้ก่อนที่จะลืมครับ เริ่มจากการวาดหน้าตัดเสาจะมีให้เลือกสองแบบคือหน้าตัดสี่เหลี่ยม และหน้าตัดกลม แล้วเลือกขนาดและจำนวนเหล็ก โดยหน้าตัดจะถูกวาดใหม่เมื่อเราเปลี่ยนค่า เพื่อให้ความรู้สึกตอบสนองที่ดี



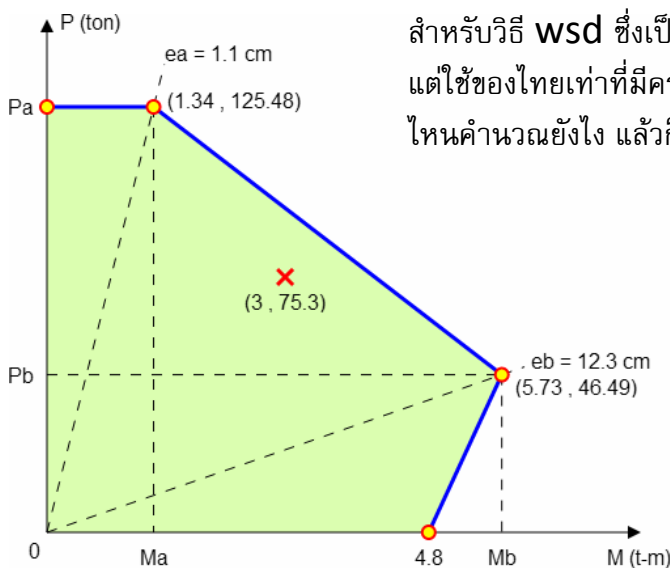
app จะคำนวณกำลังรับแรงตามแนวแกนให้เลย เพราะเป็นสูตรง่ายๆคือใช้พื้นที่คอนกรีตและเหล็กเสริมคูณกำลังวัสดุ แล้วก็เลือกวิธีคิดซึ่งจะมีทั้ง **wsd** และ **sdm**

$$P_a = A_g (0.25 f_c + f_s \rho_g) = 125.48 \text{ ton}$$

$$P = 75.3 \text{ ton}, M_x = 3 \text{ t-m}$$

คำนวณ โดย **WSD(วสท)**

Interaction Diagram ก็เป็นขั้นตอนไฮไลท์ของ app นี้ละครับ



สำหรับวิธี **wsd** ซึ่งเป็นวิธีเก่าจนหาหนังสือต่างประเทศไม่มีแล้ว ก็ได้แต่ใช้ของไทยเท่าที่มีครับ ก็ไม่ยากเท่าไรเพราะมีเป็นสูตรเลยว่าจุดไหนคำนวณยังไง แล้วก็ลากเส้นเป็นอันจบ

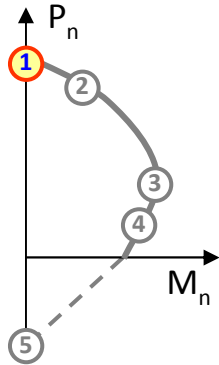
แต่ก็อดไม่ได้คิดอะไรใส่เข้าไปเหมือนกัน คือในการคิดหน้าตัดแปลงเพื่อหา I ของหน้าตัด เพราะยังไงก็ต้องคิดต่างเนื่องจาก A_{st} จะคิดแยกตามเส้นเหล็กเสริมซึ่งมีตำแหน่งต่างกัน จะได้ใช้กับหน้าตัดที่มีเหล็กกระจายได้ด้วย ไม่นั้นจะมีแต่เหล็กบนกับล่าง และในหน้าตัดกลมเหล็กก็กระจายตามเส้นรอบรูป

SDM Interaction Diagram อันนี้ซีครับของจริง ที่แรกก็คิดว่าทำตามขั้นตอนใน text book

ไปก็คงได้ แต่ความจริงไม่เป็นเช่นนั้นครับ เพราะ strain condition ในแต่ละสถานะมันต่างกัน ทำให้ผมต้องคิดวิธีเอาเองในบางช่วง จะขอเล่าเหมือนเป็นการเดินทางไปตามจุดต่างๆดังนี้ครับ

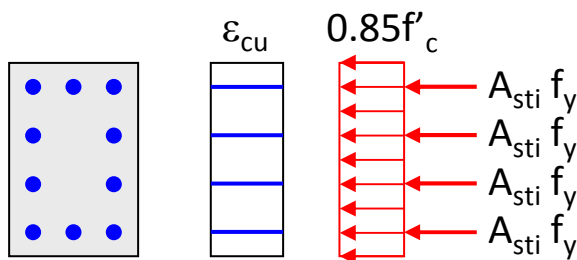
Point ① Pure Aiaxial

จุดแรกนี้ง่ายที่สุดครับ เป็นกำลังรับแรงตามแนวแกนล้วนๆ



$$P_{n1} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y$$

ทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริมจะรับแรงอัดเกิด strain และ stress ดังในรูป



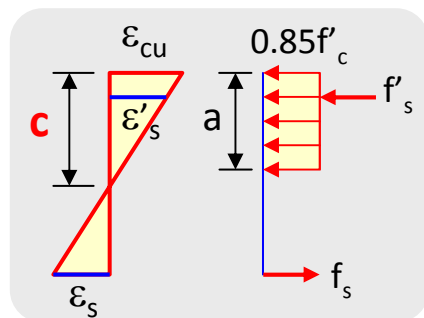
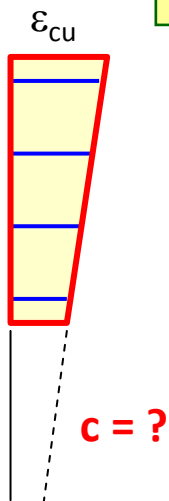
i หรือไอแต่ละตัวนี้แหละครับต่อไปจะเป็นปัญหา ตอนนี้อยู่ทุกเส้นครากหมด (comp)

ZONE I : Full Compression

เริ่มออกจากจุด ① โมเมนต์ตัดจะทำให้ strain เริ่มเอียงคือด้านรับแรงอัดยังอยู่ที่ ϵ_{cu} แต่ด้านดึงจะน้อยลง

$$P_{nc} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st})$$

หนังสือทั่วไปเกือบทุกเล่มจะเริ่มโดยใช้ระยะ C (แกนสะเทิน) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง strain ในเหล็กเสริมเทียบกับ ϵ_{cu} ของคอนกรีต

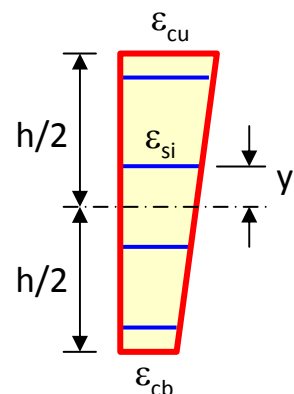


จากนั้นก็หา strain ที่ได้มาคำนวณเป็น stress ในเหล็กโดยไม่เกิน f_y

แต่ C ตอนนี้อยู่หน้าตัดไปไกลเลย ถ้าคิดที่จุด ① ค่า C เป็น ∞ ครับ

แถมเหล็กก็ได้มีแค่เหล็กดึงกับเหล็กอัด 2 เส้น แต่อาจกระจายไปตามตำแหน่งต่างๆอีก

ผมก็เลยต้อง "คิดเองทำเองครับ" คือจับเอา strain ที่ผิวล่างมาอ้างอิงแทน จริงน่าจะใช้ ϵ_t ที่เหล็กเส้นล่างสุดก็ดี เพื่อใช้คำนวณ strain ในเหล็กเส้นต่างๆ ส่วนคอนกรีตนั้น $a = \beta c$ คือความลึกรับแรงอัดในช่วงแรกนี้ยังเต็มหน้าตัดอยู่คือ $a = h$



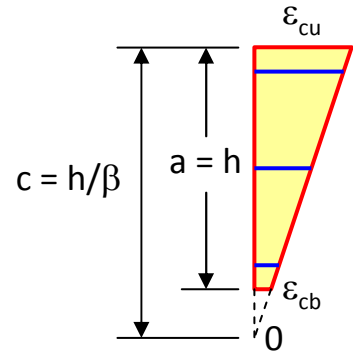
$$\epsilon_{si} = \epsilon_{cb} + (\epsilon_{cu} - \epsilon_{cb})(y_i + h/2)/h$$

เราจะ vary ค่า ϵ_{cb} จาก $\epsilon_{cu}(0.003)$: pure axial ลงค่าลงเรื่อยๆจนไปถึง... เอ ถึงไหนดี ?

ที่แรกก็ว่าจะถึงศูนย์ $\epsilon_{cb} = 0$: zero tension แต่ไม่ดีเพราะตรงนี้ $c = h$ ทำให้ $a = \beta c < h$

Full comp: $a = h$ ได้เป็น $c = h/\beta$ แทน ค่าหน่วยเป็น ϵ_{cb} จะได้

$$\epsilon_{cb} = \left(\frac{c-a}{c}\right) \epsilon_{cu} = \left(\frac{h/\beta - h}{h/\beta}\right) \epsilon_{cu} = (1-\beta) \epsilon_{cu}$$



กำหนด $\epsilon_{cb} = \gamma_{min} \epsilon_{cu}$ โดยให้ γ_{min} เป็นตัว vary จาก 1 ลงมาถึง $1 - \beta$

แทนค่าลงในสูตร strain เหล็กเสริมจะได้

$$\epsilon_{si} = \epsilon_{cu} \left[\gamma_{min} + \left(\frac{h}{2} + y_i\right) (1 - \gamma_{min}) / h \right]$$

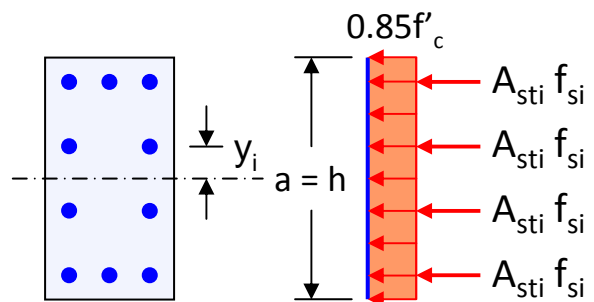
เปลี่ยนเป็น stress โดยคูณด้วย E_s เข้าไป ($E_s \epsilon_{cu} = 2.04 \times 10^6 \times 0.003 = 6,120$)

$$f_{si} = 6,120 \left[\gamma_{min} + \left(\frac{h}{2} + y_i\right) (1 - \gamma_{min}) / h \right] \text{ โดยตรวจสอบให้ } -f_y \leq f_{si} \leq f_y$$

กำลังตามแนวแกน P_n ได้จากกำลังคอนกรีตเต็มหน้าตัดบวกกับของเหล็กเสริมซึ่งหาได้จากผลคูณหน่วยแรงพื้นที่ของแต่ละเส้น

$$P_n = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + \sum A_{si} f_{si}$$

ส่วนกำลังโมเมนต์ดัด M_n ได้จากผลรวมของแรงคูณระยะทางของเหล็กเสริมแต่ละเส้นซึ่งจะมีค่าเป็นลบเมื่ออยู่ต่ำกว่าศูนย์กลาง (y_i เป็นลบ)

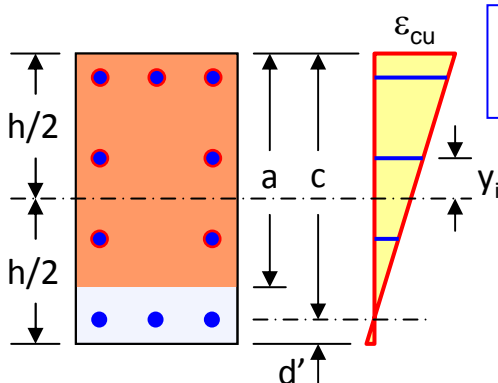


$$M_n = \sum A_{si} f_{si} y_i \quad \text{แต่ไม่มีกำลังโมเมนต์จากคอนกรีตเพราะแรงอัดสม่ำเสมอทั้งหน้าตัด}$$

Point ② Zero Tension

โมเมนต์เพิ่มขึ้น strain ที่ผิวล่างน้อยลงจนเป็น 0

และถ้าต่อไปอีกนิด strain ในเหล็กเสริมเส้นล่างสุด $\epsilon_{sb} = 0$



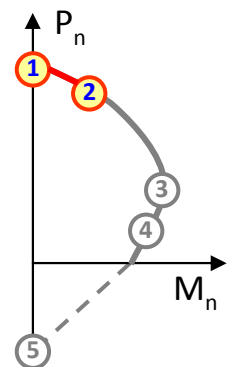
จุดนี้พื้นที่รับแรงอัดไม่เต็มหน้าตัด $c = h - d', a = \beta c$

$$P_n = 0.85 f'_c (ba - A_{st2}) + \sum A_{si} f_{si}$$

เมื่อ A_{st2} คือเหล็กเสริมในพื้นที่รับแรงอัด

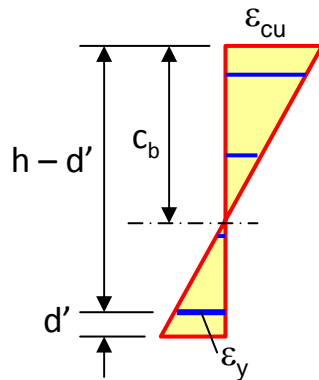
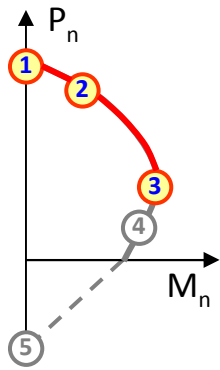
กำลังโมเมนต์ดัด M_n ก็จะมีของคอนกรีตเข้ามาเพิ่ม

$$M_n = 0.85 f'_c (ba - A_{st2}) \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + \sum A_{si} f_{si} y_i$$



Point ③ Balance Condition

สถานะที่เหล็กเส้นล่างสุดครากพอดี $\epsilon_s = \epsilon_y = f_y/E_s$



$$c_b = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y} (h - d')$$

$$c_b = \frac{6,120}{6,120 + f_y} (h - d')$$

ส่วนการคำนวณ f_{si} ในแต่ละเส้นยังใช้สูตรเดิมได้

ZONE II : Compression Control

vary : $c = h - d' \rightarrow c_b$

จาก point ② \rightarrow ③ ก็ vary ค่า c ตามหนังสือทั่วไปเขาทำกัน ซึ่งจริงๆ แล้วไม่ค่อยดีเพราะจุดไปกระจุกตัวบริเวณ ③ มากเกินไป vary ค่า $\epsilon_s = 0.1\epsilon_y, 0.2\epsilon_y, \dots, \epsilon_y$ น่าจะดีกว่า (เอาไว้วันหลัง)

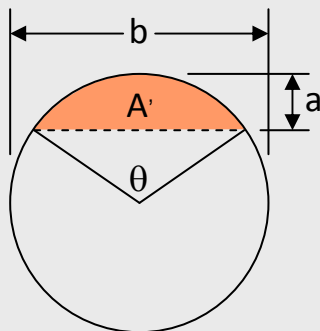
หน้าตัดกลม

เป็นความท้าทายอย่างหนึ่งใน app นี้ทีเดียว แรงในเหล็กเสริมยังคิดแบบเดิมได้

แต่แรงอัดบนหน้าตัดคอนกรีตจะเริ่มไม่เต็มเมื่อ $a < b$ (หน้าเสา) ก็ไปค้นในเน็ตปรากฏว่าได้สูตรที่

ง่ายกว่าใน textbook ครับ มาจาก Wikipedia เลย เรียกว่า Circular segment area

แยกเป็นสอง case คือ $a < r$ เมื่อ $r = b/2 =$ รัศมีวงกลม

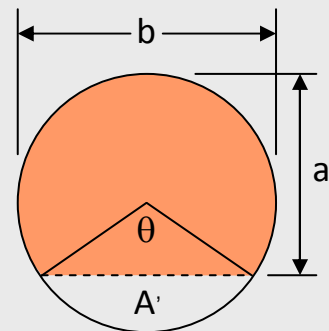


$$A' = \frac{r^2}{2} (\theta - \sin\theta)$$

และ case : $a > r$

พื้นที่คือ $A - A'$

$$\text{เมื่อ } A = \pi b^2 / 4$$



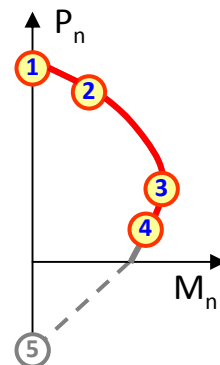
Point ④ Tension Limit

กลับมากำหนดโดย ϵ_s อีกแล้ว

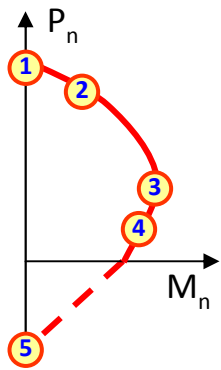
tensile strain ของเหล็กล่างสุด

ตามหนังสือ $\epsilon_t = -2.5\epsilon_y$ แต่พอลองดู ได้ P_n ตีลบ เลยมาได้แค่

$-2.0\epsilon_y$ สำหรับเสาสี่เหลี่ยม และ $-1.2\epsilon_y$ สำหรับเสากลม



Point ⑤ Full Tension



จุดนี้ง่ายที่สุดคือเสารับแรงดึงล้วน คิดแต่กำลังจากเหล็กเสริม

$$P_n = -A_{st} f_y$$

ช่วงจากจุด ④ ถึงจุด ⑤ เป็นช่วงโมเมนต์รับคือมันไม่ค่อยได้ใช้ ก็เลยลากเส้นตรงเอาเลย ตัดแกนนอนตรงไหนก็ให้เป็น M_0 ไป

To be continued . . .

