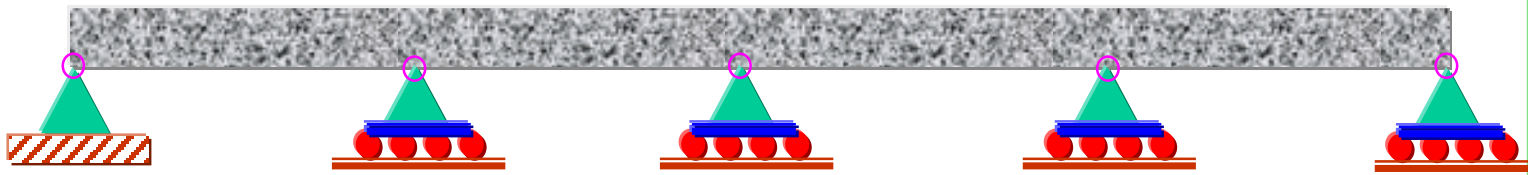
คาน[Beam or Girder]

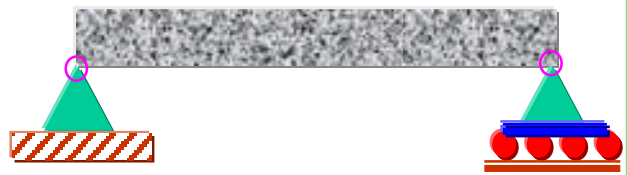
ประเภทของคาน

คานต่อเนื่อง

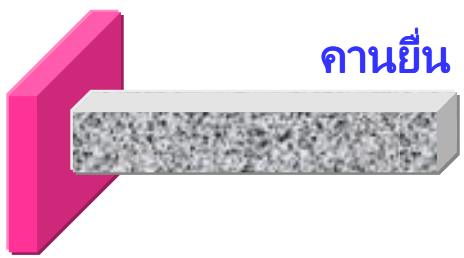


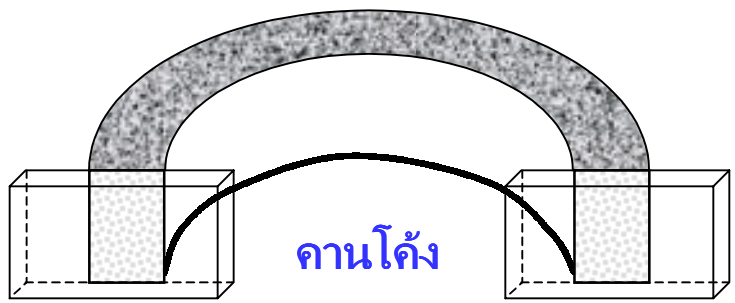
คานช่วงเดียว-ปลายยื่น

คานช่วงเดียว



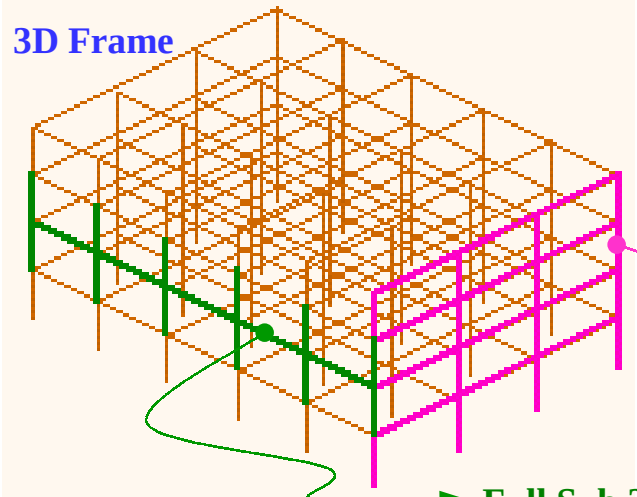
คานยื่น

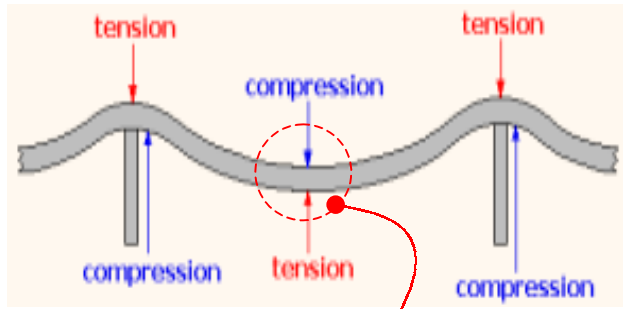




คานโค้ง

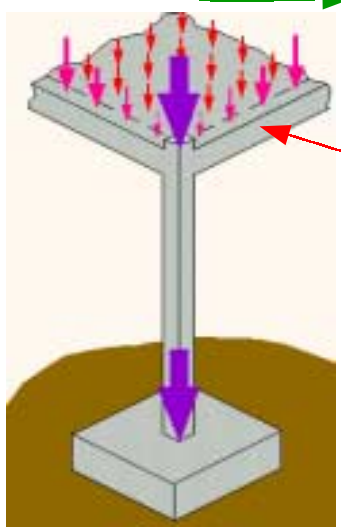
คาน[Beam or Girder]

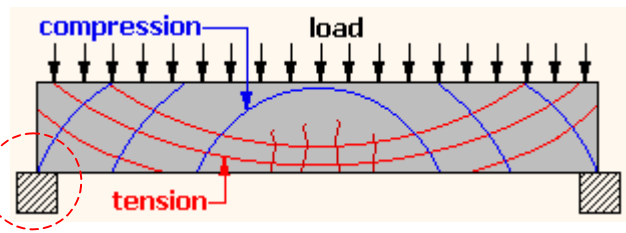




Complete 2D Frame

Full Sub 2D Frame(Equivalent Frame)





To be beam when axial load is less than 10% of axial capacity

คาน[Beam or Girder]

❶ประเภทของคานที่จะต้องออกแบบ(ในที่นี้หมายถึงคานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมเท่านั้น)

① คานหน้าตัดเสริมเหล็กรับแรงดึง(เมื่อ $M_R \geq$ Mmax. หรือ $t_{use} > t_{req}$) เรียกว่า "Singly section"

② คานหน้าตัดเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด(เมื่อ $M_R <$ Mmax. หรือ $t_{use} < t_{req}$) เรียกว่า "Doubly section"

และจะเรียกลักษณะของการออกแบบคานทั้ง 2 ประเภทดังกล่าว โดยวิธีการพิจารณาจาก "ค่าของหน่วยแรงที่เกิดในเนื้อวัสดุ(คอนกรีต และ เหล็กเสริม)" ได้ดังนี้

➲ ถ้าหน่วยแรงในคอนกรีตสูงถึงค่า allowable ก่อนหน่วยแรงในเหล็กเสริม เราเรียกว่า "Over Reinforced Design" ซึ่งการวิบัติจะเกิดขึ้นเกือบจะทันทีทันใด ทำให้ไม่สามารถทราบล่วงหน้าได้(อันตราย)

➲ ถ้าหน่วยแรงในคอนกรีตสูงถึงค่า allowable พร้อมๆกันกับหน่วยแรงในเหล็กเสริม เราเรียกว่า "Balanced Reinforced Design"

➲ ถ้าหน่วยแรงในคอนกรีตสูงถึงค่า allowable หลังหน่วยแรงในเหล็กเสริม เราเรียกว่า "Under Reinforced Design" ซึ่งการวิบัติจะแสดงรอยร้าวให้เห็นก่อน ซึ่งเป็นสัญญาณแสดงการเตือนล่วงหน้า(ต้องการ)

คาน[Beam or Girder]

❷ข้อควรพิจารณาสำหรับการออกแบบคาน :

การ spec. higher “fc” หรือ “fy” ไม่ควรทำทั้งนี้เพราะ

1.ทำให้ไม่สามารถสร้างความมั่นใจในวิชาชีพ

2.จะเป็น Over design ที่ไม่ทราบ Margin of safety

3.อาจได้ Design result ที่มี Safety factor ต่ำลง กล่าวคือ

3.1.ถ้าเดิมหน้าตัดเป็น Over R. D. อยู่แล้ว การกำหนด higher “fy” ก็จะยิ่งเป็นการไม่ประหยัด เพราะเดิมเหล็กก็ทำงานไม่เต็มที่อยู่แล้ว

3.2.ถ้าเดิมหน้าตัดเป็น Under R. D. อยู่แล้ว การกำหนด higher “fy” ก็จะยิ่งทำให้หน้าตัดเป็น Under R. D. ต่ำลงไปอีก(เมื่อรับแรงดัดสูงสุดที่เพิ่มขึ้น) จนอาจกลายเป็น Over R. D. โดยที่ความสามารถในการต้านโมเมนต์ดัดเพิ่มไม่มาก

อนึ่ง...เพื่อความเข้าใจในข้อ 1. - 3. ดังกล่าวขอให้หรือพิจารณาที่ค่าของ fs และ ค่าของ j ในสมการการหา As และพฤติกรรมการดัดของคาน(1.หากค่า fc สูงค่า j จะต่ำซึ่งจะทำให้ค่า As สูงขึ้น 2.ในขณะที่หากค่า fs สูงค่า As ก็ต่ำลง)

คาน[Beam or Girder]

❸ความลึกของคาน(t_{use}) : เมื่อไม่มีการตรวจสอบการแอ่นตัว(△)

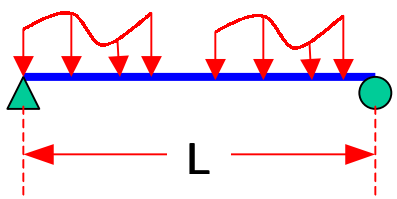
① คานช่วงเดียว : $t \geq (L/16)*[0.4 + (fy/7{,}000)]$

② คานต่อเนื่องข้างเดียว : $t \geq (L/18.5)*[0.4 + (fy/7{,}000)]$

③ คานต่อเนื่องทั้ง 2 ข้าง : $t \geq (L/21)*[0.4 + (fy/7{,}000)]$

④ คานยื่น : $t \geq (L/8)*[0.4 + (fy/7{,}000)]$

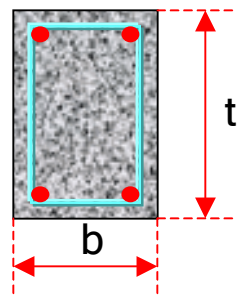
แต่ในทางปฏิบัติจริงแล้ว ขนาดของคานมักจะยึดเอาตามความต้องการทาง "สถาปัตยกรรม" ก่อน แล้วจึงออกแบบเหล็กเสริมใส่ไปช่วยต้านทานแรง แต่ที่นิยมทำกันมากคือการกำหนดขนาดหน้าตัดดังนี้



$t \approx L_{(cm.)}/10$; cm.

$b \approx t/2 = L_{(cm.)}/20$; cm.

(b ไม่ควรโตกว่าหน้าตัดเสา)



เมื่อ L = ช่วงยาวของคาน(โดยทั่วไปมักวัดจากกึ่งกลางเสา ถึง กึ่งกลางเสา)

คาน[Beam or Girder]

➲ ข้อกำหนดเพิ่มเติมเกี่ยวกับขนาดหน้าตัดคาน :

1.ถ้า shear stress(v) = Vmax./(b*d) > 1.325√fc' จะต้องขยายหน้าตัดคานขึ้น

2.ถ้าคานอยู่ในเงื่อนไขดังต่อไปนี้ จะออกแบบโดยวิธี WSD. ไม่ได้(คานลึกเกินไป Strain diagram จะไม่เป็นเส้นตรง) คือ

-Simple beam : ถ้า depht/span > 4/5

-Continuous beam : ถ้า depht/span > 2/5

3.คานที่ยาวมากๆ จะต้องมี Lateral support ทุกๆระยะ "50*b" ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันการดุ้งที่ Comp. ในคอนกรีต(ที่หลังคานบริเวณกึ่งกลางคาน) และในขณะเดียวกันถ้า L > 30*b ก็จะกลายเป็น "คานแคบ"

🗣 ข้อสังเกต : ในการออกแบบจริงนั้น "ค่าความลึกประสิทธิผล(d)" ในเงื่อนไข Balanced Design(ideal) การหาค่อนข้างลำบาก ดังนั้นจึงนิยมใช้ค่า d ที่มากกว่า(t-covering-∅/2) ซึ่งจะทำให้การออกแบบหน้าตัดดังกล่าวกลายเป็นแบบ "Under Reinforced Design" ซึ่งเป็นการออกแบบหน้าตัดที่วิศวกรต้องการ

คาน[Beam or Girder]

❹น้ำหนักที่กระทำต่อคาน : ไม่แน่นอนมีทั้ง Point , Uniform & Impact Load

☑ น้ำหนักตัวเอง = $2,400*b_{(m.)}*t_{(m.)}$; kg./m.

☑ น้ำหนักที่ส่งถ่ายมาจากแผ่นพื้น = ดูในเรื่องการออกแบบแผ่นพื้น; kg./m.

☑ น้ำหนักผนังต่างๆ = $w*h_{(m.)}$; kg./m. เช่น

-ก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบเรียบ 2 ด้าน w = 180 kg./$m.^2$

-ก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบเรียบ 2 ด้าน w = 360 kg./$m.^2$

-ก่ออิฐบล๊อค w = 120-150 kg./$m.^2$

☑ น้ำหนักของคานฝากหรือเสา = Reaction ของคานฝากหรือเสา ; kg.

☐ น้ำหนักที่ส่งถ่ายมาจากบันได(ถ้ามี) = ดูในเรื่องการออกแบบบันได ; kg./m.

☐ น้ำหนักประกอบอื่นๆ (ถ้ามี) เช่น งานระบบต่างๆ , แอร์ , พัดลม , ประตูเหล็ก และอื่นๆ(ที่ใช้คานเป็นตัวหิ้ว-รองรับ) รวมถึง “โมเมนต์บิด”

คาน[Beam or Girder]

ตารางแสดง : ค่าน้ำหนักโดยประมาณของพื้นชนิดต่างๆ	
ชนิดของวัสดุปูพื้น	**น้ำหนัก(โดยประมาณ) ; กก./ม^2**
น้ำหนักของปูนทรายปรับระดับ	1,658*$t_{(m.)}$
พื้นซีเมนต์ขัดมันหนา 2.50 ซม.	55
พื้นหินขัดหนา 2.50 ซม. รวมการฝังเส้นทองเหลือง	80
พื้นปูหินอ่อนหรือหินอัคนี(หรือ 2,645*$t_{(m.)}$)	55
พื้นปูหินแกรนิต (หรือ 2,800*$t_{(m.)}$)	60
พื้นปูหินทราย	2,400*$t_{(m.)}$
พื้นปูหินปูน	2,550*$t_{(m.)}$
พื้นปูกระเบื้องยางหนา 1.6 มม.	3.5
พื้นปูกระเบื้องยางหนา 2 มม.	4.5
พื้นปูปาเก้ไม้แดงหนา 1/2”	15
พื้นปูปาเก้ไม้สักหนา 1/2”	10
พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป + คอนกรีตทับหน้า	2,450* $t_{(m.)}$ + 2,400* $t_{(m.)}$
พื้นไม้หนา 1” รวมตงไม้	30
พื้นไม้สักหนา 1”	20

คาน[Beam or Girder]

ตาราง : แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกตายตัวของวัสดุ(2544)

ชนิดของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุก	หน่วย
คอนกรีตล้วน(หน่วยน้ำหนัก)	2,323	กก./ลบ.ม.
คอนกรีตเสริมเหล็ก(หน่วยน้ำหนัก)	2,400	กก./ลบ.ม
คอนกรีตอัดแรง(หน่วยน้ำหนัก)	2,450	กก./ลบ.ม
ไม้(หน่วยน้ำหนัก)	1,100	กก./ลบ.ม
เหล็ก(หน่วยน้ำหนัก)	7,850	กก./ลบ.ม
แผ่นยิปซั่ม	880	กก./ลบ.ม
ปูนฉาบ	1,685	กก./ลบ.ม
ดินทั่วๆไป	1,600	กก./ลบ.ม
ดินแน่น	1,900	กก./ลบ.ม
กระเบื้องราง	18	กก./ลบ.ม

คาน[Beam or Girder]

กระเบื้องลอนคู่	14	กก./ตร.ม.
กระเบื้องลูกฟูกลอนเล็ก	12	กก./ตร.ม.
กระเบื้องลูกฟูกลอนใหญ่	17	กก./ตร.ม.
สังกะสี	5	กก./ตร.ม.
Metal Sheet	5 - 10 ; t * 7,850	กก./ตร.ม.
แปไม้(สำหรับงานทั่วไป)	5	กก./ตร.ม.
แปเหล็ก(สำหรับงานที่ช่วงไม่ใหญ่มาก)	7 - 10	กก./ตร.ม
พื้นไม้หนา 1 นิ้ว รวมตรง	30	กก./ตร.ม
อิฐมอญก่อครึ่งแผ่นฉาบเรียบสองด้าน	180	กก./ตร.ม
อิฐมอญก่อเต็มแผ่นฉาบเรียบสองด้าน	360	กก./ตร.ม

คาน[Beam or Girder]

ผนังกระจก	5	กก./ตร.ม
ผนังกระเบื้องแผ่นเรียบหนา 4 มม.	7	กก./ตร.ม
ผนังกระเบื้องแผ่นเรียบหนา 8 มม.	14	กก./ตร.ม
ผนังอิฐบล๊อกหนา 10 มม.	100	กก./ตร.ม
ผนังคอนกรีตบล๊อก 10 มม.	100 - 150	กก./ตร.ม
ผนังคอนกรีตบล๊อก 15 มม.	170 - 180	กก./ตร.ม
ผนังคอนกรีตบล๊อก 20 มม.	220 - 240	กก./ตร.ม
ฝาไม้ ½” รวมคร่าว	22	กก./ตร.ม
ผนังก่ออิฐบล๊อกแก้วและอิฐมวลเบา	90	กก./ตร.ม
ผนังเซลโลกรีต + ไม้คร่าว	30	กก./ตร.ม
ผนังแผ่นเอสเบสโตลักส์	5	กก./ตร.ม
* กระเบื้องคอนกรีต เช่น ซีแพ็คโมเนียร์ *	50 - 60	กก./ตร.ม

คาน[Beam or Girder]

❺การวิเคราะห์หาค่า Moment(Mb & Mt) , Shear , Axial , Reaction

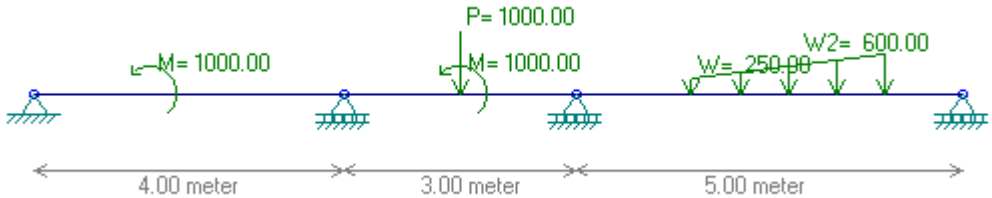
ที่ถูกต้องแล้วการวิเคราะห์หาค่าดังกล่าว ต้องอาศัยความรู้พื้นฐานในรายวิชา กำลังวัสดุ , กลศาสตร์ของแข็ง ,ทฤษฎีโครงสร้าง และ การวิเคราะห์โครงสร้าง รวมไปถึงการใช้ Software ต่างๆ โดยค่า “สูงสุด(ไม่คิดทิศทางหรือเครื่องหมาย)” ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ จะถูกนำไปใช้สำหรับ “การออกแบบ” และ “การตรวจสอบ” โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าของ Bending Moment(รวมถึง Shear) ในกรณีของคานต่อเนื่อง ก่อนที่จะนำไปใช้จริงควรจะมีการพิจารณาก่อนให้รอบครอบ ซึ่งมักจะใช้กันผิดๆเสมอๆ(อาจเนื่องมาจาก “การไม่รู้” , “ความไม่เข้าใจ” , ฯล)

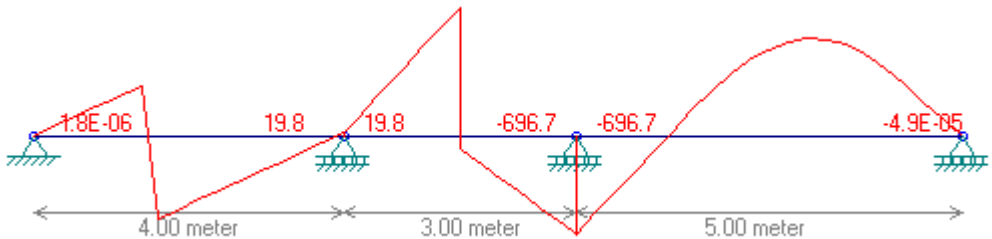
🗣ความรู้เสริม : ค่าโมเมนต์ดัด(Mb) ที่จะนำไปใช้ในการออกแบบที่ถูกต้องคือ “Envelope Moment” ที่ได้จากการทำ(หลักการ) “Moment Redistribution” แล้ว(ซึ่งมี Code มาตรฐานอยู่แล้ว เช่น ACI. , BS.) โดยที่ค่าของ Moment ที่จะนำมาทำ Moment Redistribution นั้น จะเป็นค่า Moment ที่ได้จากการจัดวางน้ำหนักบรรทุกในกรณีต่างๆที่น่าจะเกิดหรือคาดว่าจะเกิด(แสดง ตย.ในหน้าถัดไป)

🗣ข้อสังเกต : จะเห็นว่าวิธีการทำดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยากและต้องใช้เวลา ดังนั้นวิธีที่จะทำได้ง่ายและเร็วขึ้นคือการใช้ Software ช่วย เช่น GRASP , STAAD , SAP , ETAB , ROBOT , ฯลฯ

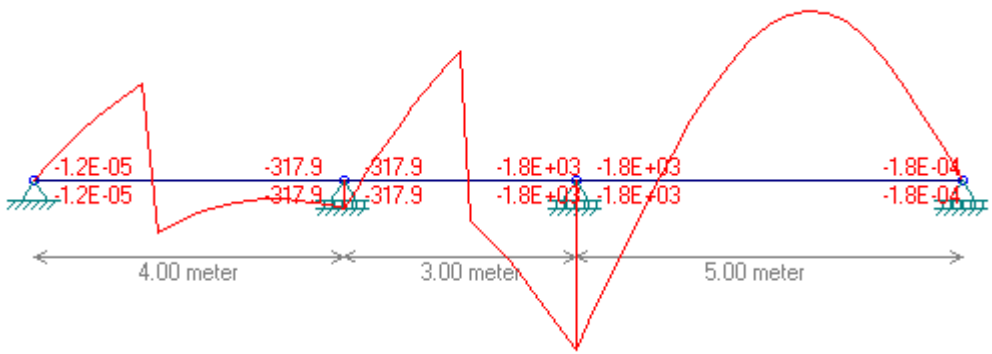
คาน[Beam or Girder]

ตัวอย่าง





Moment Diagram : ผลจากการวิเคราะห์ปกติ



Envelope Moment : ผลจากการทำ Moment Redistribution

คาน[Beam or Girder]

รูปแบบในการวิเคราะห์โครงสร้างหาค่าดังกล่าวมักจะเห็นใน ② ลักษณะคือ

①.การวิเคราะห์โดยวิธีละเอียด(ทั้งทฤษฎีอีลาสติคและกำลังประลัย) เช่น

-วิธีการเปลี่ยนรูปร่างที่สอดคล้อง(Superposition Method)

แนะนำให้ใช้ -วิธีสมการสามโมเมนต์(Three-Moment Equation) ☑

-วิธีมุมลาด-การแอ่นตัว(Slope-Deflection Method) ✓

แนะนำให้ใช้ -วิธีการกระจายโมเมนต์(Moment-Distribution Method) ✓

-วิธีงานน้อยที่สุด(Theorem of Least Work) ☑

-วิธีเสาอุปมาน(Column Analogy Method)

-วิธีพลาสติก(Plastic Method) ✓

แนะนำให้ใช้ -วิธีเมทริกซ์(Matrix Method) ✓

แนะนำให้ใช้ -วิธีแยกชิ้นส่วนย่อย(Finite Element Method) ☑

-Meshless Method

คาน[Beam or Girder]

②.การวิเคราะห์โดยประมาณ(สะดวก-รวดเร็วและง่าย) เช่น

-วิธีปอรตัล(Portal Method) ☑

-วิธีคานยื่น(Cantilever Method)

-วิธีโครงทดแทน(Substitute Frame)

แนะนำให้ใช้ -วิธีใช้สูตรสำเร็จรูป(สำหรับคานช่วงเดียวเท่านั้น) ☑

$M_{max} = C_m WL$; kg.-m.

เมื่อ C_m = ค่า สปส. ของโมเมนต์ดัด(อ่านจากตารางที่ 3)

W = ค่าน้ำหนักที่กระทำทั้งหมด ; kg.

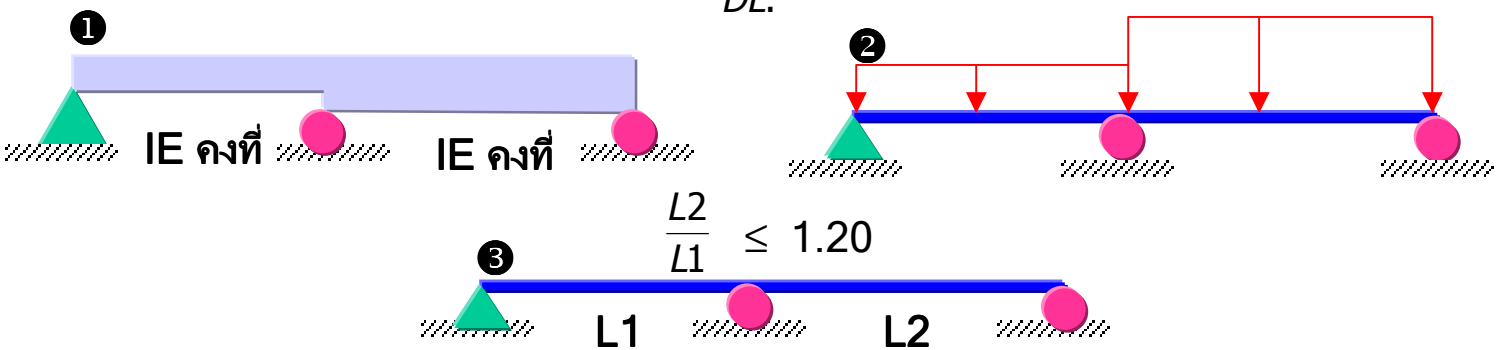
L = ช่วงยาวของคาน ; m.

แนะนำให้ใช้ -วิธี ส.ป.ส.ของโมเมนต์(สำหรับคาน-พื้นทางเดียวต่อเนื่อง) ☑

ซึ่งมาตรฐานของ ACI. และ วสท. ยอมให้ใช้ได้ ดังแสดงในตารางที่ 2 แต่ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้(อย่างเคร่งครัด)

คาน[Beam or Girder]

1. ขนาดของหน้าตัดในแต่ละช่วงจะต้องคงที่เสมอ(IE คงที่)
2. น้ำหนักที่กระทำในแต่ละช่วงต้องเป็นน้ำหนักแผ่กระจายเต็มช่วง
3. ความยาวของช่วงที่อยู่ติดกันจะต้องยาวกว่ากันไม่เกิน 20%
4. อัตราส่วนของ $\frac{LL.}{DL.} \leq 3$ เสมอ

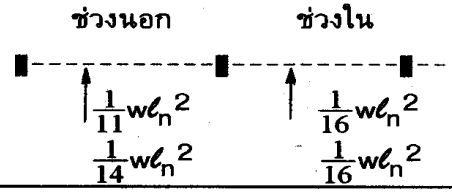


🗣 ข้อควรระวัง : หากเงื่อนไขไม่เป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าว ผลที่จะตามมาคือ Moment และ Shear จะเกิดขบวนการ “Redistribution” ซึ่งเดิมที่เคยเป็นโมเมนต์ลบอาจจะสลับกลายมาเป็นโมเมนต์บวก หรือเดิมโครงสร้างมีการแอ่นตัวน้อยอาจจะสลับกลายมาเป็นแอ่นตัวมาก(จนถึงวิบัติได้)

คาน[Beam or Girder]

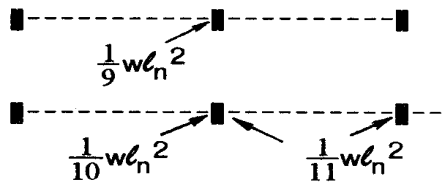
ตารางที่ 2 แสดง : ค่าของโมเมนต์และแรงเฉือนในคานต่อเนื่อง กรณีไม่ได้ใช้โปรแกรมคำนวณ มาตรฐานของ ACI. และ มสท.

โมเมนต์บวก

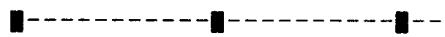


โมเมนต์ลบ

ที่ขอบนอกของที่รองรับตัวในแรก :

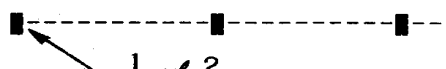


ที่ขอบรองรับทุกแห่ง :



สำหรับแผ่นพื้นที่มีช่วงยาวไม่เกิน 3.0 เมตร หรือ
คานที่มี $\sum K_c/\sum K_b$ ที่มาบรรจบกันและมีค่า > 8 $\frac{1}{12}w\ell_n^2$ ที่ขอบรองรับทุกแห่ง

ที่ขอบในของที่รองรับตัวริมเมื่อหล่อชิ้นส่วนเป็นเนื้อเดียวกันกับที่รองรับ :



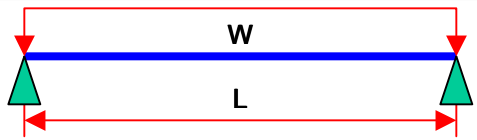
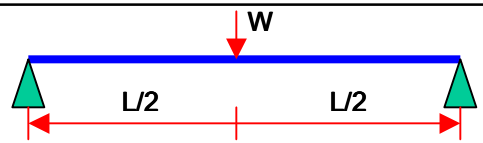
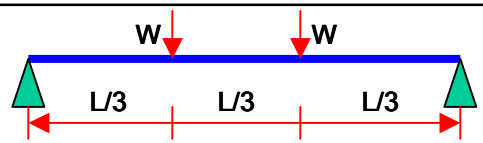
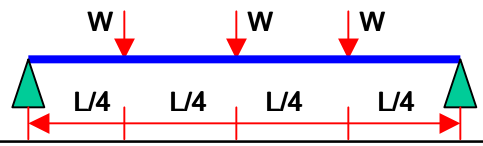
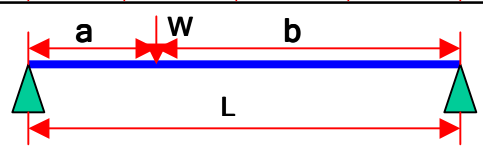
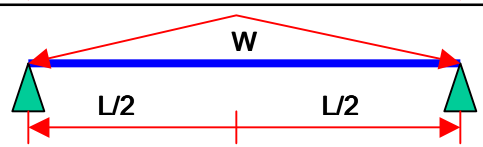
แรงเฉือน

-ที่ขอบของที่รองรับตัวในแรก ..... $\frac{1.15}{2}w\ell_n$

-ที่ขอบของที่รองรับตัวอื่นๆ ..... $\frac{1}{2}w\ell_n$

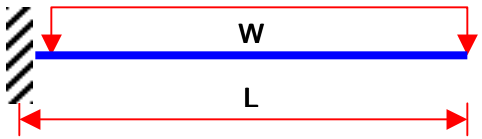
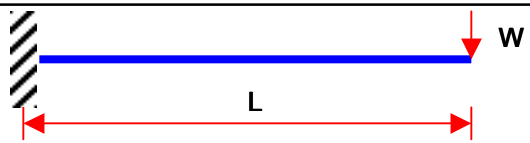
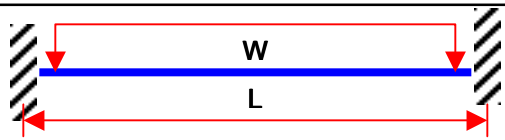
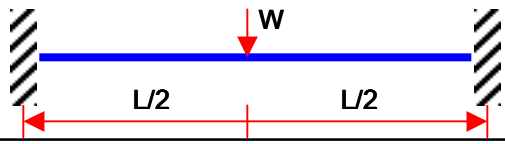
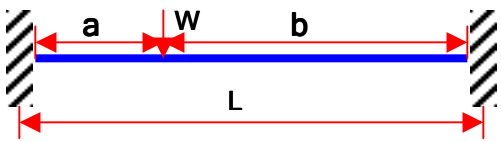
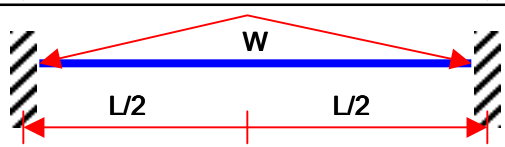
คาน[Beam or Girder]

ตารางที่ 3 แสดงค่า : สปส. ของโมเมนต์และการแอ่นตัวของคานช่วงเดียว กรณีใช้สูตร

รูปแบบของน้ำหนักที่กระทำบนคาน	ค่า สปส.โมเมนต์ C_m	ค่า สปส.การแอ่นตัว C_d
	1/8	5/384
	1/4	1/48
	1/3	23/648
	1/2	19/384
	$(ab/L^2)[1/(9\sqrt{3})]$	$(a/L)[1-(a^2/L^2)]^{3/2}$
	1/6	1/60

คาน[Beam or Girder]

ตารางที่ 3 แสดงค่า : สปส. ของโมเมนต์และการแอ่นตัวของคานช่วงเดียว กรณีใช้สูตร

รูปแบบของน้ำหนักที่กระทำบนคาน	ค่า สปส.โมเมนต์ C_m	ค่า สปส.การแอ่นตัว C_d
	1/2	1/8
	1	1/3
	1/12	1/324
	1/8	1/192
	$\frac{ab^2}{L^3}$	
	5/48	7/1920

คาน[Beam or Girder]

ความรู้เสริม : เป็นที่ทราบกันแล้วว่า ก่อนที่เราจะออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้นั้น จะต้องมีการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาแรงภายใน(ที่ตอบสนองต่อแรงภายนอกที่มากระทำ เช่น Moment , Shear ลฯ) เพื่อใช้สำหรับการออกแบบในโครงสร้างต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้าง คสล. , โครงสร้าง คอร. , โครงสร้างไม้และเหล็ก ลฯ โดยวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ก็มีทั้งโดยวิธีละเอียดและวิธีโดยประมาณดังที่ได้กล่าวมาก่อนแล้ว

แต่สิ่งที่สำคัญสุดคือ "การจำลอง(Model)โครงสร้าง" เพื่อการวิเคราะห์ซึ่งมักจะหรือค่อนข้างละเลยกัน(แถมยังจำลองโครงสร้างแบบเข้าข้าง หรือให้เป็นตามความคิดของตนเอง ซึ่งขัดแย้งกับโครงสร้างของจริง...อยู่เสมอๆ) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นให้ระลึกอยู่เสมอว่าค่าต่างๆที่ได้จากการวิเคราะห์เป็น "ค่าโดยประมาณ" ทั้งสิ้น

การจำลองโครงสร้าง(จากโครงสร้างจริงในสภาพ 3 มิติไปเป็นแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์)มีด้วยกันหลายระดับ เช่น จำลองโครงสร้างให้เป็นแบบ 3D Frame(พฤติกรรมการแสดงออกของโครงสร้าง จะใกล้เคียงกับของจริงมากที่สุด แต่ขั้นตอนการวิเคราะห์ยุ่งยากและซับซ้อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมมติฐานของแต่ละทฤษฎี(วิธี)ที่ใช้วิเคราะห์ เช่น ทฤษฎี "Rigid Floor Diaphragm Assumption" ซึ่งเป็นการสมมติให้พื้นเปลี่ยนตำแหน่งได้ แต่ไม่เสียรูปในระนาบของพื้นเอง

คาน[Beam or Girder]

กล่าวคือพื้นมีความแข็งเกร็งสูง นั้นคือพื้นจะทำตัวคล้ายเป็นตัวเชื่อม-ยึดโครงสร้างในแนวดิ่ง(คาน-เสา-ผนังรับแรงเฉือน ซึ่งก็คือ 2D Frame นั้นเอง) เข้าด้วยกันให้กลายเป็นโครงสร้าง 3D Frame ซึ่งการวิเคราะห์โครงสร้างโดยสมมติฐานดังกล่าวนี้ เป็นที่ยอมรับและใช้กันเป็นสากลทั่วโลก) จำลองโครงสร้างให้เป็นแบบ 2D Frame(ซึ่งจะใช้ได้เมื่อแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง กระทำอยู่ในแนวหรือระนาบเดียวกันกับโครงสร้างที่เราจะจำลองเท่านั้น) ซึ่งมีอยู่ในหลายลักษณะที่เห็นกันประจำคือ(ดูในรูปหน้าถัดไป) 1.)Full 2D Frame 2.)Full Sub 2D Frame หรือที่มักนิยมเรียกว่า"Equivalent Frame" 3.)Partial Sub 2D Frame และ 4.)Continuous Beam ซึ่งการจำลองโครงสร้างให้เป็น 2D Frame ในแต่ละรูปแบบนั้น จะให้ผลเฉยหรือค่าที่เราต้องการที่แตกต่างกันมาก(ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีความถูกต้องเรียงจากมากไปหาน้อยคือ 1.) , 2.) , 3.) , 4.))

สิ่งหนึ่งที่ผู้เขียนอยากจะฝากคือ ในการออกแบบคานอาคารทั่วๆไป วิศวกรมักจะวิเคราะห์หาค่า R,M,V,N โดยการจำลองให้เป็นคานต่อเนื่อง(สมมติให้จุดต่อระหว่าง คาน-เสา เป็น Hinge & Roller) โดยลืมคิดไปว่าในสภาพของจริงนั้นจุดต่อระหว่าง คาน-เสา จะเป็น Rigid Joint หรือ Semi Rigid Joint(ผู้เขียนเองมองว่าโดยทั่วไปจะอยู่ในสภาพนี้) ซึ่งจากลักษณะของจุดต่อดังกล่าว จะมีการส่งถ่ายโมเมนต์กันระหว่าง คาน-เสา เสมอขึ้นอยู่กับค่า Stiffness ของคาน-เสา

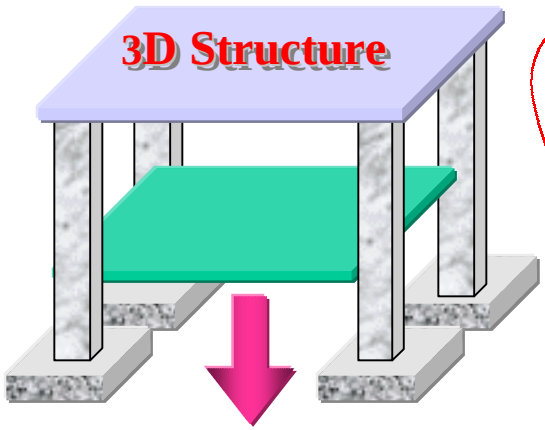
คาน[Beam or Girder]

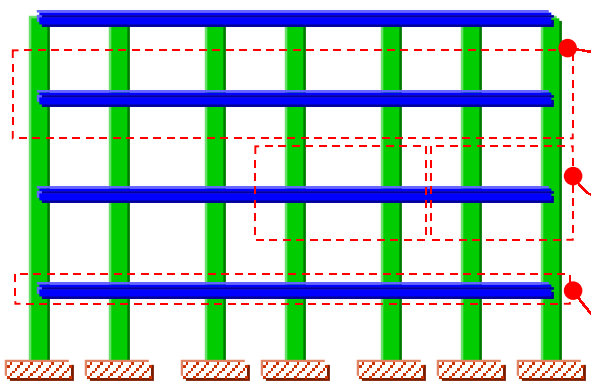
ซึ่งชิ้นส่วน(Member)ใดจะแบ่งเอาโมเมนต์ไปรับไว้มากหรือน้อย ก็ขึ้นอยู่กับค่า Stiffness ของชิ้นส่วนที่มาต่อเชื่อมกัน(Stiffness ผู้เขียนเองมักเรียกว่า “โมเมนต์ต้านทานภายใน” มีรูปสมการคือ $I_C E_C/L$ มีหน่วยเป็น “แรง - ระยะ”) โดยชิ้นส่วนใดมีค่า Stiffness สูงก็จะรับเอาโมเมนต์ไว้มาก ขณะที่ชิ้นส่วนที่มีค่า Stiffness ต่ำก็จะรับเอาโมเมนต์ไปไว้น้อย ตามส่วนที่ควรจะเป็น ซึ่งผลก็คือ(ในสภาพความเป็นจริงนั้น)คานจะรับโมเมนต์น้อยลง อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากเสาได้ก้าวเข้ามาช่วยแบ่งเอาโมเมนต์จากคานไปส่วนหนึ่ง(ในการวิเคราะห์โครงสร้างนั้นผู้เขียนเองมองว่าจะต้องมีโมเมนต์เกิดขึ้นในเสาเสมอไม่มากก็น้อย ไม่ว่าโครงสร้างที่กำลังทำการวิเคราะห์นั้นจะรับแรงในสภาพเป็นเช่นไรก็ตาม) ดังนั้นถ้าหากว่าเราทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยจำลองให้เป็นคานต่อเนื่อง ซึ่งจากสภาพของจุดรองรับที่สมมติขึ้นนั้น จะไม่มีการกระจายหรือส่งถ่ายโมเมนต์จากคานไปยังชิ้นส่วนอื่น(เสา)เลย ทำให้ได้ค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในคานมากกว่าความเป็นจริง ในขณะที่ในเสากลับไม่มีโมเมนต์เกิดขึ้นเลยแทนที่จะมี(ทำให้เรามักเข้าใจกันผิดคิดว่าเสารับแต่เฉพาะแรงตามแนวแกนเท่านั้น...ซึ่งเป็นความคิดที่เข้าข้างตนเอง) ดังนั้นขนาดของคานที่ออกแบบก็จะโตเกินความจริง ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ

ฉะนั้นด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมา ผู้เขียนมีความเห็นว่าในการวิเคราะห์โครงสร้างนั้นอย่างน้อยสุดควรจำลองให้เป็น Full Sub Frame น่าจะสมเหตุสมผล

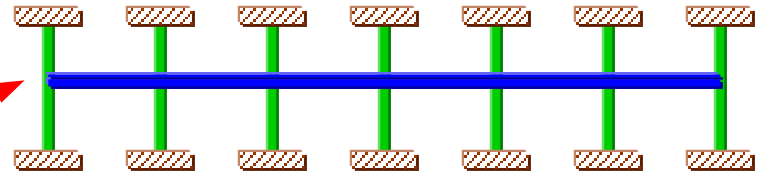
คาน[Beam or Girder]

รูปแสดงแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์โครงสร้าง

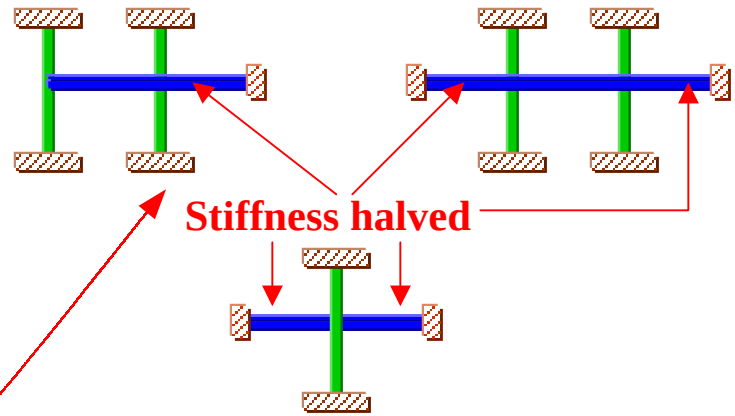




Complete 2D Frame(Full 2D Frame)



① Full Sub 2D Frame(Equivalent Frame)



② Partial Sub Frame & Single Column

Beam on simple support

-For beams on walls -For beams on other beam

③ Continuous beam

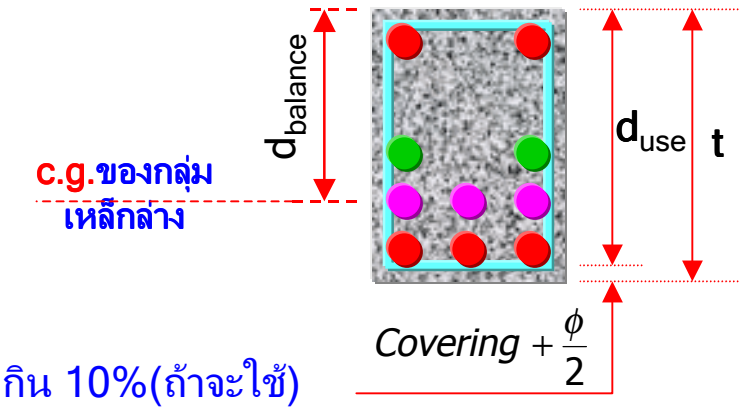
คาน[Beam or Girder]

❻ขนาดของคานที่ต้องการจริง

ที่ถูกต้องแล้วขนาดของคานจะต้องหามาจากการ "ลองผิดลองถูก(Trial and Error)" โดยการกำหนดหรือเลือก "ความกว้าง(b)" ขึ้นมาก่อน แล้วแทนค่าลงในสมการข้างล่างนี้ก็จะได้ "ความลึก(t_{req})" ที่ต้องการใช้จริงๆ

$$d \geq \sqrt{\frac{M_{max.(kg.-m.)} * 100}{R_{(ksc.)} * b_{(cm.)}}}; cm.$$

$$\therefore t_{req} \quad d + covering + \frac{\phi}{2}$$



หมายเหตุ : d_{use} น้อยกว่า $d_{balance}$ ไม่ควรเกิน 10%(ถ้าจะใช้)

🗣ข้อสังเกต : 1.ความลึกประสิทธิผลที่ถูกต้องคือ $d_{balance}$ แต่นิยมใช้ค่า d ที่มากกว่าดังแสดงในรูป(เหตุผลอธิบายไว้ในหัวข้อที่ ❸ กอปรกับ d_{use} หาได้ง่ายกว่า)

2.ค่าของ ∅ ดังกล่าวหมายถึง "เส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กลูกตั้ง(Stirrup)" ไม่ใช่เส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กแกนชั้นล่างสุด

คาน[Beam or Girder]

❼ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ และ การจัดวาง

📖 เหล็กเสริมหลัก(Main Steel) :

①คานหน้าตัดเสริมเหล็กรับแรงดึง “Singly section” : $M_R \geq Mmax.$

$$A_{st} = \frac{M_{\max.(kg.-cm.)}}{fs_{(ksc.)} * j * [t_{use} - \text{cov}ering]_{(cm.)}} ; cm.^2$$

②คานหน้าตัดเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด “Doubly section” : $M_R < Mmax.$

1.เหล็กเสริมรับแรงดึง(A_{st}) = $A_{st1} + A_{st2}$

$$A_{st1} = \frac{M_{R(kg.-cm.)}}{fs_{(ksc.)} * j * d_{(cm.)}} ; cm.^2$$

$$A_{st2} = \frac{\left(M_{\max.(kg.-cm.)} - M_{R(kg.-cm.)}\right)}{fs_{(ksc.)} * \left(d_{(cm.)} - d'_{(cm.)}\right)} ; cm.^2$$

คาน[Beam or Girder]

2.เหล็กเสริมรับแรงอัด(A_{sc})

$$A_{sc} = \frac{\left(M_{\max.(kg.-cm.)} - M_{R(kg.-cm.)}\right)}{fs'_{(ksc.)} * \left(d_{(cm.)} - d'_{(cm.)}\right)}; cm.^2$$

เมื่อ fs’ = 2fs[(k-(d’/d))/(1-k)] ≤ 1,200 ksc.

ข้อควรระวัง : สำหรับเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวกหรือโมเมนต์ลบ ในทุกๆหน้าตัดที่พิจารณาปริมาณของเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวกหรือโมเมนต์ลบดังกล่าว จะต้องใช้หรือมีปริมาณเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้ด้วย

1.) $\rho_{\min} = \frac{A_{st(cm.^2)}}{b_{(cm.)} * d_{(cm.)}} \geq \frac{14}{fy_{(ksc.)}}$ หรือ

2.)1.34 เท่าของ A_{st} ที่คำนวณได้

(หมายเหตุ : ยกเว้นถ้าทุกๆหน้าตัดมีปริมาณเหล็กรับโมเมนต์บวกหรือโมเมนต์ลบ ≥ 1.34*A_{st} ก็ไม่ต้องพิจารณาในข้อที่ 1.)

คาน[Beam or Girder]

📖 การจัดวาง(การหยุด-ดัด-ตัด) :มาตรฐานของ ACI. และ วสท. ได้ให้ข้อกำหนดสำหรับการหยุด-ดัด-ตัด สำหรับเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัดในคาน ดังนี้

1.เหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด(ทั้งเหล็กบน-ล่าง) จะต้องวาง(วิ่ง)เลยจุดดัดกลับ(inflection point)ในทางทฤษฎี ไม่น้อยกว่าค่าดังต่อไปนี้(ให้ใช้ค่ามากสุด)

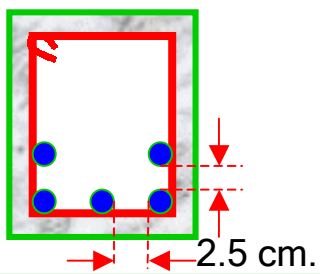
แสดงในรูปหน้าถัดไป

-เท่ากับระยะของ “ความลึกประสิทธิผล” ของหน้าตัด

-เท่ากับ 12∅(เมื่อ ∅ คือเส้น ผศ. ของเหล็กแกนที่ใหญ่สุด)

2.เหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก(จำนวนไม่น้อยกว่า 1/3 ของเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวกทั้งหมด) จะต้องวาง(วิ่ง)เลยเข้าไปในฐานรองรับไม่น้อยกว่า 15 cm.

3.เหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบ(จำนวนไม่น้อยกว่า 1/3 ของเหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบทั้งหมด) จะต้องวาง(วิ่ง)เลยจุดดัดกลับ(เข้าไปในช่วงคาน) ไม่น้อยกว่าค่าดังต่อไปนี้(ให้ใช้ค่ามากสุด)



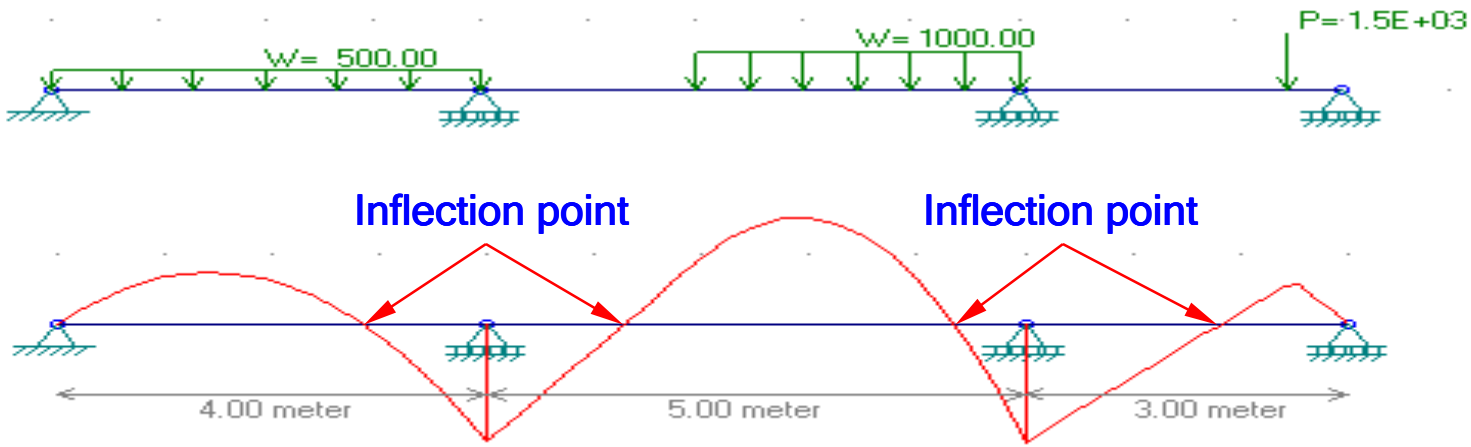
-เท่ากับระยะของ “ความลึกประสิทธิผล” ของหน้าตัด

-เท่ากับ 12∅(เมื่อ ∅ คือเส้น ผศ. ของเหล็กแกนที่ใหญ่สุด)

-เท่ากับ 1/16 เท่าของช่วงว่างระหว่างคาน

คาน[Beam or Girder]

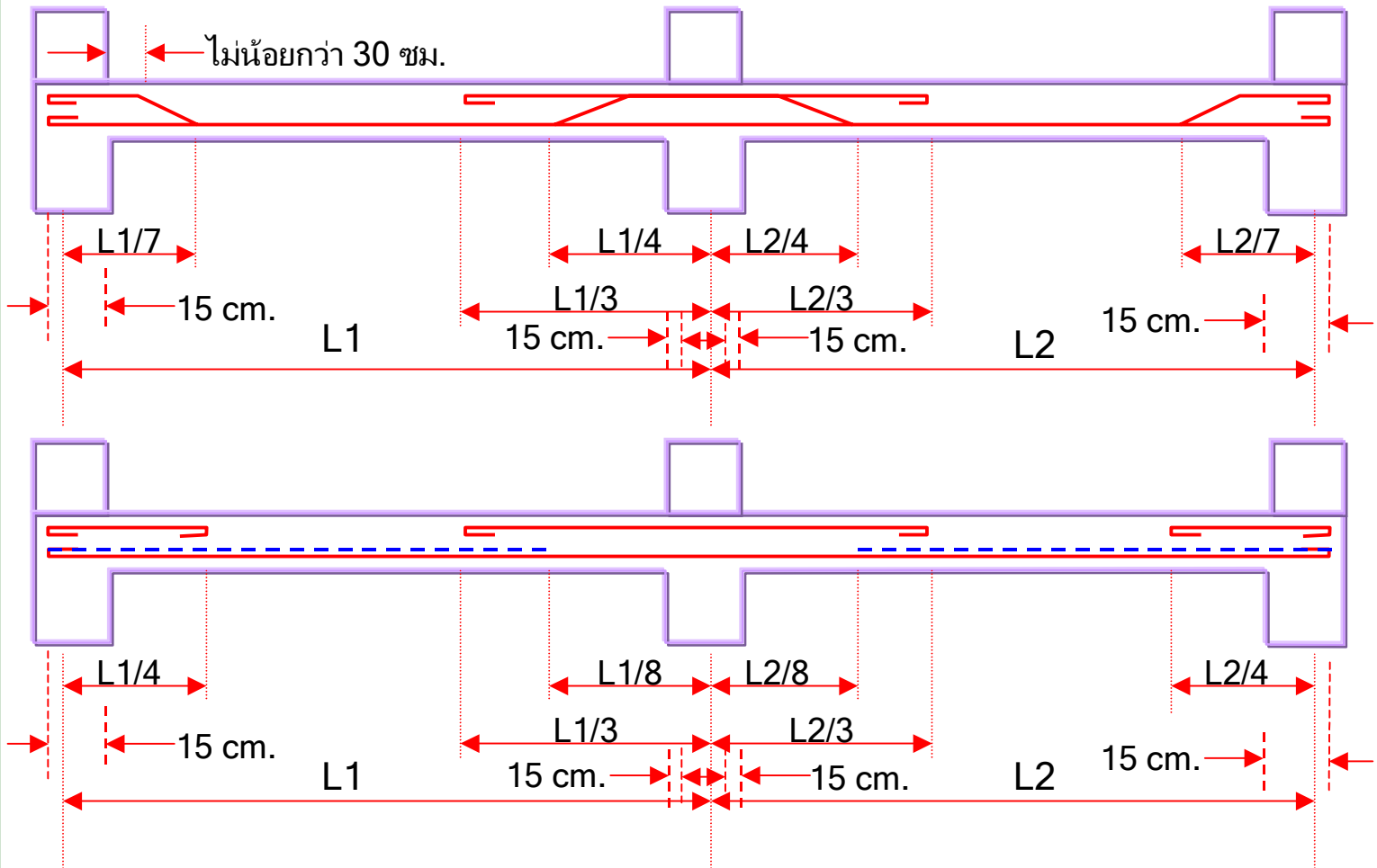
รูปแสดงตัวอย่างของจุดดัดกลับ(หาจาก BMD. ที่จุด : $M^+ \rightarrow M^-$ หรือ $M^- \rightarrow M^+$)



หมายเหตุ : หากเราหา “ระยะการหยุด-ดัด-ตัด” ตามข้อกำหนดของ ACI. และ วสท. จะเห็นว่าค่อนข้างยุ่งยาก โดยเฉพาะกรณีของคานต่อเนื่องหลายๆ ช่วง ดังนั้นเราอาจหา(ใช้)ระยะดังกล่าวได้คร่าวๆจากรูปดังแสดงในหน้าถัดไป แต่ควรอยู่ภายใต้เงื่อนไขดังนี้คือ ① ความยาวคานในแต่ละช่วงต้องต่างกันไม่มาก และ ② น้ำหนักที่กระทำในแต่ละช่วงควรจะแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอเหมือนๆกัน

คาน[Beam or Girder]

แสดงรายละเอียดการเสริมเหล็ก และ ระยะยึดเหนี่ยว(โดยประมาณ)



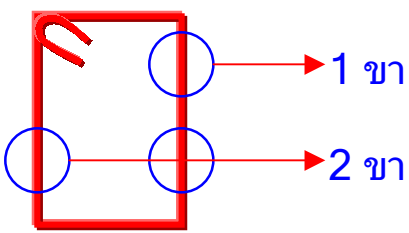
คาน[Beam or Girder]

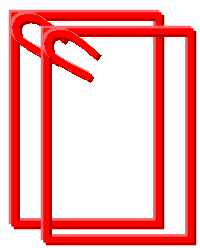
📖 เหล็กเสริมลูกตั้ง(Stirrup) : หรือที่นิยมเรียกกันติดปากว่า “เหล็กปลอก”

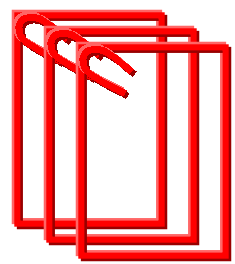
สมการที่ใช้ออกแบบจะอยู่ในรูปของ ระยะห่าง(s)ของเหล็กปลอก ซึ่งค่าระยะห่างที่คำนวณออกมาได้จะนำไปใช้เลยไม่ได้ จะต้องนำไปตรวจสอบกับข้อกำหนดต่างๆก่อน แล้วจึงประมวลผลออกมาว่าจะใช้อย่างไร(โดยทั่วไปเหล็กปลอกมักนิยมใช้ขนาด 6 mm., 9 mm.เป็นเบื้องต้น ซึ่งอาจใช้ 1 ปลอก/loop , 2ปลอก/loop ,...ก็ได้ตามความเหมาะสม)

$$s = \frac{2A_{s(cm.^2)} * 0.4fy_{(ksc.)} * d_{(cm.)}}{\left[V_{\max.(kg.)} - \left(0.29\sqrt{fc'_{(ksc.)}} * b_{(cm.)} * d_{(cm.)}\right)\right]}; cm. \le \frac{2A_{s(cm.^2)}}{0.0015 * b_{(cm.)}}; cm.$$

เมื่อ A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กที่จะใช้ทำเหล็กปลอก(ทั้งหมดต่อloop)
โดยให้คิดพื้นที่หน้าตัดเพียง 1 ขาต่อปลอกเท่านั้น







คาน[Beam or Girder]

ข้อกำหนดในการเลือกใช้ระยะห่างของเหล็กเสริมลูกตั้ง(Stirrup)

1.ถ้า Vmax $\leq$ $(0.29\sqrt{fc'})bd$ ให้ใช้

$$s = d/2 \leq \frac{2A_{S(cm.^2)}}{0.0015 * b_{(cm.)}};cm.$$

2.ถ้า $(0.29\sqrt{fc'})bd$ < Vmax < $(0.795\sqrt{fc'})bd$ ให้ใช้

$$s = \frac{2A_{S(cm.^2)} * 0.4fy_{(ksc.)} * d_{(cm.)}}{\left[V_{\max.(kg.)} - \left(0.29\sqrt{fc'_{(ksc.)}} * b_{(cm.)} * d_{(cm.)}\right)\right]};cm. \leq \frac{2A_{S(cm.^2)}}{0.0015 * b_{(cm.)}};cm.$$

3.ถ้า $(0.795\sqrt{fc'})bd$ < Vmax < $(1.32\sqrt{fc'})bd$ ให้ใช้

$$s = d/4 \leq 30 \text{ cm.}$$

4.ถ้า Vmax > $(1.32\sqrt{fc'})bd$ ให้กลับไปเพิ่มขนาดคานขึ้น

คาน[Beam or Girder]

🗣ความรู้เสริมเกี่ยวกับเหล็กปลอก : พฤติกรรมในการถ่ายแรงของเหล็กปลอก (stirrup)ในคานคอนกรีต จะเป็นไปในลักษณะคล้ายกับ Truss ซึ่งเราเรียกว่า "Truss action" โดยมีเนื้อของคอนกรีตทำหน้าที่คล้าย struts(ดูรูปหน้าถัดไป) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นไม่ได้หมายความว่าคาน คสล. จะถ่ายเท Load เหมือน Truss เป็นแต่เพียงช่วยเพิ่ม strength ในส่วนของ shear mechanisms ดังนี้

1.เหล็กปลอกช่วยลัดเหล็กแกน(บน-ล่าง) ทำให้ "dowel action"ทำงานได้ดีขึ้น(หิ้วเหล็กแกน)

2.ทำให้เกิด Truss action ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวมีส่วนช่วยเพิ่ม "bond force"

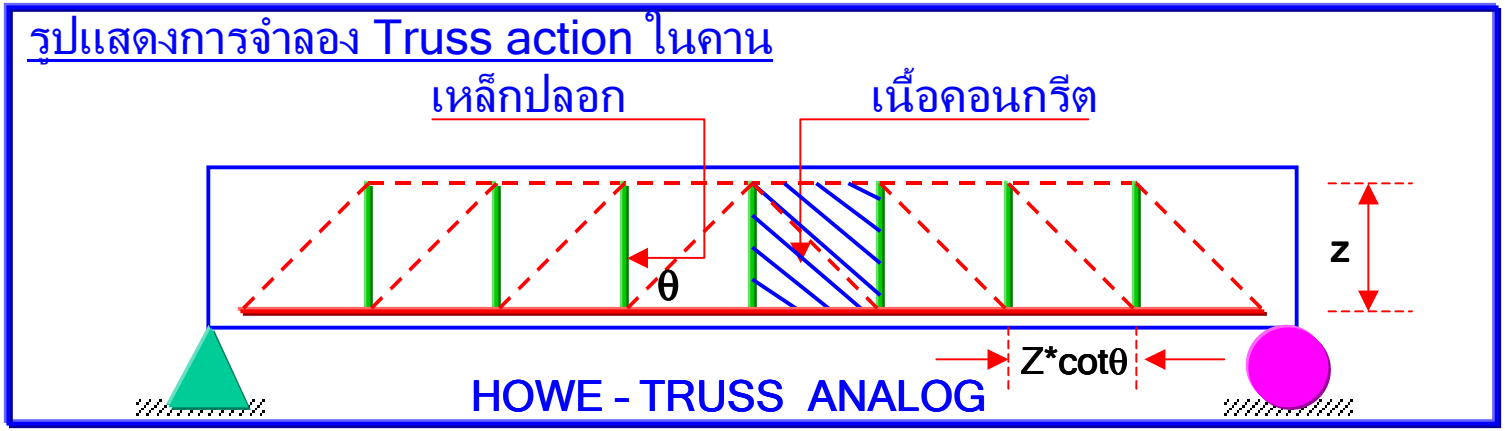
3.ในช่วง elastic เหล็กปลอกจะช่วยจำกัด "diagonal crack" ซึ่งก็เท่ากับเป็นการสงวน "agg. Interlocking action" ไว้สำหรับ Load ในช่วงที่สูงกว่า

4.ทำให้มี confinement ใน concrete ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่ม conc. Comp. Strength

5.ช่วยลดการ slip เมื่อเกิดการ crack ทั้งนี้เนื่องจากผลในข้อที่ 2.

คาน[Beam or Girder]

รูปแสดงการจำลอง Truss action ในคาน



❽หน่วยแรงเฉือน

การตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนในคาน จริงๆแล้วเพื่อเป็นการตรวจสอบหน้าตัดคานที่เราเลือกใช้ว่า มีความเพียงพอต่อการต้านแรงเฉือนหรือไม่ ซึ่งจะนำไปสู่การตัดสินใจในการเลือกออกแบบเหล็กลูกตั้ง(stirrup) โดย

① ถ้า $V_{max}/bd \leq 0.29\sqrt{f'_c}$; ksc. : ก็ไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กลูกตั้ง (stirrup) เพราะโดยตัวของคอนกรีตเองก็สามารถรับได้ แต่ในทางปฏิบัติจริงเราต้องใส่ที่ระยะ $s = d/2$

② แต่ถ้า $V_{max}/bd > 0.29\sqrt{f'_c}$; ksc. : จะต้องออกแบบเหล็กลูกตั้ง (stirrup) ตามรายละเอียดการออกแบบเหล็กลูกตั้งในหัวข้อที่ ❼

คาน[Beam or Girder]

③ ถ้า Vmax/bd > 1.32 √fc' ; ksc. : จะต้องเพิ่มขนาดหน้าตัดคานหรือเพิ่มค่า fc'หรือทำพร้อมๆกันทั้ง 2 อย่าง

∴ กล่าวโดยสรุป คือ ในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก หน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่ยอมให้จะต้องไม่เกินค่า 1.32 √fc' ; ksc. โดยที่ค่าของ Vmax ให้คิดที่ระยะ d จากขอบของจุดรองรับ(ยกเว้นคานหูช้างและคานยื่นช่วงสั้นๆ) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นเพื่อความปลอดภัย-สะดวกและรวดเร็วก็อาจใช้ Vmax = Reaction เลยก็ได้

❾หน่วยแรงยึดเหนี่ยว

หน่วยแรงยึดเหนี่ยวในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน คือ

①หน่วยแรงยึดเหนี่ยวเนื่องจากผลของการดัดงอ(Flexural Bond Stress)

$$u_{(ksc.)} = \frac{V_{max(kg.)}}{\sum o_{(cm.)} * j * d_{(cm.)}} ; kg./cm.^2$$

คาน[Beam or Girder]

เมื่อ $\sum O$ = ผลรวมเส้นรอบรูปของเหล็กเสริม(เฉพาะเหล็กแกนเท่านั้น)

$$=\Sigma\ \pi\phi_{(cm.)};cm.$$

②หน่วยแรงยึดเหนี่ยวเนื่องจากผลของการฝังยึด(Anchorage Bond Stress)

$$L_{dev.length}=\frac{fs_{(ksc.)}*\phi_{(cm.)}}{4*u_{(ksc.)}};cm.$$

ทั้งนี้โดยที่ค่า u ในสมการทั้ง 2 จะต้องไม่เกินหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ดังต่อไปนี้

1.สำหรับเหล็กรับแรงดึง(ค่า ∅ ถ้ามีหลายขนาดให้ใช้ขนาดโตสุดแทนค่า)

$$\text{เหล็กบน}_{(\text{มีคอนกรีตอยู่ใต้เหล็ก 30 ซม.})}=\frac{2.29\sqrt{fc'_{(ksc.)}}}{\phi_{(cm.)}}\leq 25\ \text{ksc.(สำหรับเหล็กข้ออ้อย)}$$

$$\text{เหล็กบน}_{(\text{มีคอนกรีตอยู่ใต้เหล็ก 30 ซม.})}=\frac{1.145\sqrt{fc'_{(ksc.)}}}{\phi_{(cm.)}}\leq 11\ \text{ksc.(สำหรับเหล็กกลม)}$$

2.สำหรับเหล็กรับแรงอัดประเภทข้ออ้อย(ถ้าเป็นเหล็กกลมให้ใช้ครึ่งหนึ่ง)

$$\frac{1.72\sqrt{fc'_{(ksc.)}}}{\phi_{(cm.)}} \leq 28 \text{ ksc.}$$

∴ กล่าวโดยสรุป คือ ในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก หน่วยแรงยืดเหนี่ยวที่ยอมให้ ที่จะใช้แทนค่าในสมการทั้ง 2 หรือใช้เพื่อการตรวจสอบ ในทางปฏิบัติจริงมักนิยมใช้ค่าที่ “หน่วยแรงยืดเหนี่ยวที่ยอมให้ของเหล็กรับแรงดึง สำหรับเหล็กบน” เสมอ

❿ขั้นตอนการออกแบบคาน

① คำนวณหาค่าคงที่ต่างๆ(n , k , j, R)

② จากแบบแปลนทางสถาปัตยกรรม(ถ้ามี) กำหนดหรือเลือกใช้ขนาดของคาน(ตามสภาพความต้องการใช้งานและความเหมาะสมทางวิศวกรรม) แล้วทำการวิเคราะห์หาน้ำหนักทั้งหมดที่มากระทำต่อคาน(ตัวหรือเบอร์ที่กำลังพิจารณา)...ดูในหัวข้อที่ ❸ และ ❹

③ ทำการวิเคราะห์หาค่า แรงปฏิกริยา , แรงเฉือน , โมเมนต์ดัดและโมเมนต์บิด(ถ้ามี) แนะนำให้วิเคราะห์หาค่าดังกล่าวโดย “วิธีละเอียด” เป็นเบื้องต้น เช่น

คาน[Beam or Girder]

วิธีสมการ 3 โมเมนต์ , วิธีการกระจายโมเมนต์ , หรือ Software ต่างๆด้านงานวิเคราะห์โครงสร้างโดยเฉพาะ(แนะนำว่าก่อนที่จะใช้ Software ใดๆนั้น ควรทำความเข้าใจในสมมติฐานของ Software นั้นๆให้เข้าใจเสียก่อน จากคู่มือการใช้หรือจากการอบรม แต่ผลสุดท้ายก็ต้องขึ้นอยู่กับวิจารณญาณของเราเองเป็นสำคัญ)

ส่วนการวิเคราะห์โดย "วิธีแบบประมาณ" ถึงแม้ว่าจะสะดวกและรวดเร็ว แต่โดยความเห็นส่วนตัวของผู้เขียนแล้ว แนะนำให้ใช้วิธีดังกล่าวสำหรับเพื่อ "การตรวจสอบ" คร่าวๆในเบื้องต้นของผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดย "วิธีละเอียด" และจาก Software ต่างๆว่าน่าจะถูกต้องหรือเปล่า เท่านั้น

แต่ถ้าหากว่ามีความจำเป็นที่จะต้องใช้การวิเคราะห์โดย "วิธีแบบประมาณ" จริงๆ แนะนำให้ใช้ วิธีใช้สูตรสำเร็จ และ วิธีใช้ ส.ป.ส.ของโมเมนต์ ตามมาตรฐานของ ACI. และ วสท.(แต่แนะนำว่าควรปฏิบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐานดังกล่าว อย่างเคร่งครัด)...ดูในหัวข้อที่ ❺ ตารางที่ 1. และ 2.

④ ทำการตรวจสอบขนาดหน้าตัดคานที่เลือกใช้(ทำหรือไม่ทำก็ได้) แต่โดยทั่วไปแล้วมักไม่นิยมตรวจสอบกัน แต่จะไปตรวจสอบที่ค่าของ M_R เปรียบเทียบกับค่าของ M_{max} แทน แล้วนำไปคำนวณหาหรือปรับแก้ที่ปริมาณเหล็กเสริมแทน...ดูในหัวข้อที่ ❻

คาน[Beam or Girder]

⑤ คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมหลัก(แกน)ที่ต้องการ...ดูในหัวข้อที่ ❼

-ปริมาณเหล็กเสริมหลัก(∅ ต่ำสุดไม่น้อยกว่า 12 mm.)

⑥ ทำการตรวจสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจริง พร้อมกับระยะฝังยึดเหล็ก(เช่น ในกรณีของคานยื่น ฯล)... ดูในหัวข้อที่ ❾

⑦ ทำการตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดจริง...ดูในหัวข้อที่ ❽

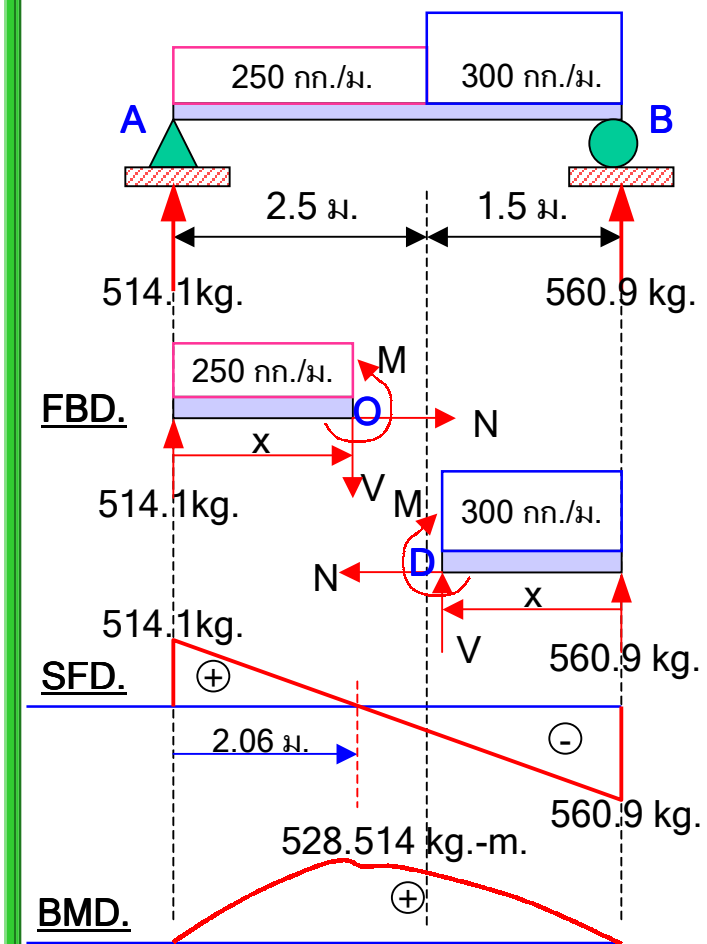
⑧ คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมลูกตั้งที่ต้องการ...ดูในหัวข้อที่ ❼

-ขนาดและระยะห่างของเหล็กลูกตั้ง(∅ ต่ำสุดไม่น้อยกว่า 6 mm)

⑨ เขียนรายละเอียดแสดงการเสริมเหล็ก และการจัดวาง... ดูในหัวข้อที่ ❼

คาน[Beam or Girder]

ตัวอย่างที่ 1 จากรูปที่กำหนดให้ จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อกำหนดให้



-ใช้ข้อกำหนดของ “เทศบัญญัติ กทม.”

-fc’ = 240 ksc.

-เหล็กเกรด SD-40(ขนาด ≥ 12 mm)

-เหล็กเกรด SR-24(ขนาด ≤ 9 mm)

-ระยะหุ้มของคอนกรีต 3.0 ซม.

-สมมติ “ไม่ต้องคิดน้ำหนักของตัวมันเอง”

① คำนวณหาค่าคงที่มาก่อน(เสมอ)

$n = 2.04*10^6/(4,270*(2.323^{1.5})*\sqrt{240})$

$= \underline{8.710 > 6}$ OK.

$k = 1/[1+(1,700/(8.710*65))] = \underline{0.25}$

$j = 1-[0.25/3] = \underline{0.917}$

คาน[Beam or Girder]

R = 1/2*65*0.25*0.917 = 7.451 ksc.

② สมมติเลือกใช้ความลึกคาน

ข้อกำหนด t ต้อง ≥ [(4*100)/16]*[0.4+(4,000/7,000)] ≥ 24.28 cm

∴ เลือกใช้ที่ t = L/10 = (4*100)/10 = 40 cm. ≥ 24.28 cm...OK.

∴ เลือกใช้ที่ b = t/2 = 40/2 = 20 cm.

③ หาน้ำหนักที่มากระทำ : โจทย์บอกว่าไม่ต้องคิดน้ำหนักของคาน(SW.)

∴ น้ำหนักต่างๆที่กระทำต่อคานจึงมีแต่เฉพาะดังที่รูปแสดง

④ วิเคราะห์หาค่า Mmax. , Vmax. , น้ำหนักถ่ายลงจุดรองรับ

เนื่องจากรูปที่ให้มาเป็น “คานช่วงเดียวอย่างง่าย(simple beam)” ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยง่าย โดยใช้สมการสมดุลย์สถิตย์ทั้ง 3 สมการ ดังนี้

$\circlearrowleft+\Sigma M_A=0$; R_{By} = [(250*2.5*(2.5/2) + (300*1.5*(2.5+(1.5/2)))]/4

= 560.94 kg. (+↑)

$\uparrow+\Sigma Fy=0$; R_{Ay} = [(250*2.5)+(300*1.5)] - R_{By} = 514.10 kg. (+↑)

คาน[Beam or Girder]

FBD.(ซ้าย) $\downarrow+\Sigma F_y=0$; V - 514.10 + (250*X) = 0 ; V = 514.10-250X

$\circlearrowleft+\Sigma M_O=0$; M+(250X*(X/2))-514.1X = 0 ; $M = 514.1X-125X^2$

FBD.(ขวา) $\uparrow+\Sigma F_y=0$; V + 560.94 - (300*X) = 0 ; V = 300X-560.94

$\circlearrowright+\Sigma M_D=0$; M+(300X*(X/2))-560.94X = 0 ; $M = 560.94X-150X^2$

$\therefore V_{max_{(\text{ที่ } x=0 \text{ ม.})}}$ = 560.94 kg.(ดูจากเส้น SFD.)

ขณะที่ Mmax จะเกิดที่ V(shear force) = 0(ดูจากเส้น SFD. & BMD.)

$\therefore$ V=0 ; 514.1-250X = 0 ;X = (514.1/250) = 2.06 ม.

$\therefore M_{max_{(\text{ที่ } x=2.06 \text{ ม.})}} = 514.1(2.06)-125(2.06^2)$

= 528.514 kg.-m.(ดูจากเส้น BMD.)

⑤ ตรวจสอบความหนาที่ต้องการจริง

$$d = \sqrt{\frac{528.514 * 100}{7.451 * 20}} = 18.83cm.$$

คาน[Beam or Girder]

สมมติเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก DB 12 mm.(A_s = 1.131 cm.^{2}/เส้น)

ใช้เหล็กลูกตั้ง RB 6 mm.(A_s = 0.283 cm.^{2}/เส้น)

$\therefore t_{req.} \approx 18.83 + 3.0 + (6/10)/2 =$ 22.13 cm. < 40 cm....OK.

⑥ ออกแบบปริมาณเหล็กเสริมหลัก

ก่อนที่เราจะหาปริมาณเหล็กเสริมได้ จะต้องทำการตรวจสอบก่อนดังนี้

1.$M_R = [7.451*20*(40-3.0)^2]/100 = 2,040.08$ kg.-m.

2.Mmax = 528.514 kg.-m.

จะเห็นว่า M_R > Mmax. ∴ ต้องออกแบบเป็นคาน หน้าตัดเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว(Singly Section)

$\therefore A_{st} = [528.514*100/(1,700*0.917*(40-3))]$

$= 0.916$ cm.^{2}

แต่ตามข้อกำหนดของ วสท. ระบุว่าปริมาณเหล็กจะต้อง ไม่น้อยกว่า 14/fy ยกเว้นที่ทุกหน้าตัดใช้ที่ 1.34 เท่าของที่เราคำนวณได้

คาน[Beam or Girder]

∴ กำหนดใช้ที่ A_{st} = 1.34*0.916 = 1.23 cm.^{2}

∴ จะต้องใช้เหล็ก DB 12 mm. = 1.23/1.131 = 1.09 เส้น

Say = 2 เส้น(A_s = 2.262 cm.^{2} > 1.23 cm.^{2})

⑦ สอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ และ ระยะฝังยึดที่ต้องการ

1.หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด(u)

เมื่อ ΣO = 2(π*12/10) = 7.54 cm.

∴ u = 560.94/[7.54*(0.917*(40-3))] = 2.192 ksc.

ตามข้อกำหนด u ≤ (2.29*√240)/(12/10) = 29.56 ksc. ≤ 25 ksc.

∴ u = 2.192 ksc. < 25 ksc....OK.

2.ระยะฝังยึดที่ต้องการ($L_{development\ length}$)

เมื่อหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ = 29.56 ksc. แต่ใช้ไม่เกิน 25 ksc.

∴ $L_{dev.\ length}$ = 1,700*(12/10)/(4*25) = 20.40 cm.

⑧ ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริง

ข้อกำหนดของ วสท. ให้ใช้ Vmax. ที่ระยะ d จากขอบของที่รองรับ

∴ จากสมการแรงเฉือนทั้ง 2(ที่ใช้ plot SFD.) เมื่อแทน X = d = 0.4-0.03 = 0.37 m. ลงไปในสมการทั้ง 2 จะได้ Vmax = - 449.94 kg.

แต่ทั้งนี้หรือเพื่อความสะดวก-ปลอดภัยและรวดเร็ว อาจเลือกใช้ Vmax = Reaction สูงสุดคือ 560.94 kg. ก็ได้

∴ v = 449.94/[20*(40-3)] = 0.608 ksc. < 0.29√240(4.49 ksc.)

นั้นแสดงว่าขนาดหน้าตัดที่เราเลือกออกแบบ(20 cm. x 40 cm.) สามารถรับแรงเฉือนได้โดยตัวมันเอง โดยไม่จำเป็นต้องใส่เหล็กลูกตั้งหรือเหล็กอื่นๆช่วยรับแรง แต่ด้วยเหตุผลที่อธิบายในหัวข้อที่ ❼(ความรู้เสริม)และเพื่อความสะดวกต่อการทำงาน(ช่วยยึดเหล็กแกน)

ดังนั้นเราจึงยังต้องใส่เหล็กลูกตั้งเข้าไปด้วย ซึ่งตามข้อกำหนดของ วสท. ระบุว่าถ้า v ≤ 0.29√fc' ให้ใช้ S = d/2 ≤ [2As/(0.0015*b)]

สมมติเลือกใช้เหล็กลูกตั้ง RB 6 mm. 1ปลอก/Loop

∴ S = d/2 = (40-3)/2 = 18.50 cm.

∴ S = (2*0.283)/(0.0015*20) = 18.86 cm.

เลือกใช้เท่าไรก็ได้ที่ทำงานได้ง่ายและสะดวก แต่ต้องไม่เกิน 2 ค่านี้

สรุป : เลือกใช้ 1-RB 6 mm. @ 0.175 m.

คาน[Beam or Girder]

⑨ เขียนแสดงรายละเอียดการเสริมเหล็ก