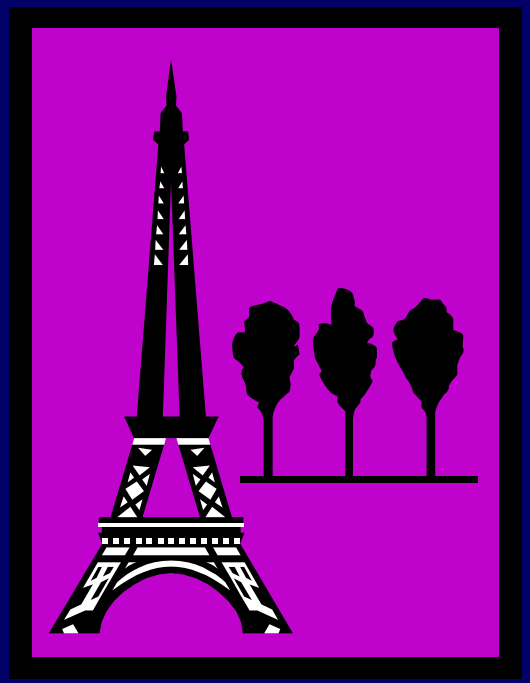
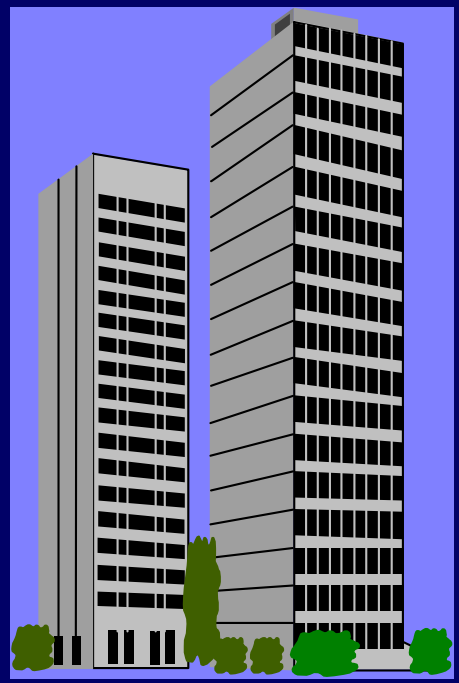
บทที่ 5

การวิเคราะห์โครงสร้าง
Analysis of Structures





บทที่ 5 การวิเคราะห์โครงสร้าง

เป็นการวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของแรงที่ทำให้เกิดผลต่อชิ้นส่วนที่เป็นส่วนประกอบโครงสร้างในลักษณะต่าง ๆ

เนื้อหา

5.1 แรงภายใน
5.2 คำนิยามของโครงข้อหมุน
5.3 โครงข้อหมุนอย่างง่าย
5.4 Analysis of trusses by the method of joins
5.5 จุดต่อภายใต้สภาวะน้ำหนักบรรทุกพิเศษ
5.6 โครงข้อหมุน 3 มิติ
5.7 Analysis of trusses by the method of sections
5.8 Trusses made of several simple trusses
5.9 โครงสร้างซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนซึ่งมีหลายแรงกระทำ

5.10 Analysis of a Frame
5.11 โครงซึ่งจะไม่คงรูปเมื่อถูกถอดออกจากจุดรองรับ
5.12 Machines

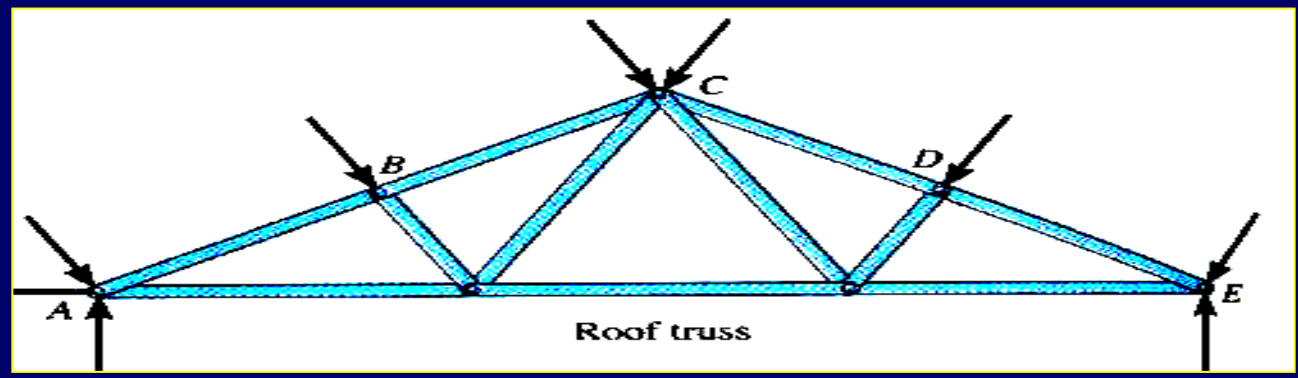
วัตถุประสงค์

เป็นการศึกษาต่อเนื่องจากบทที่ 4 โดยทำความเข้าใจถึงพฤติกรรมของแรงที่เกิดในชิ้นส่วนแต่ละชิ้นของโครงสร้าง เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้าง

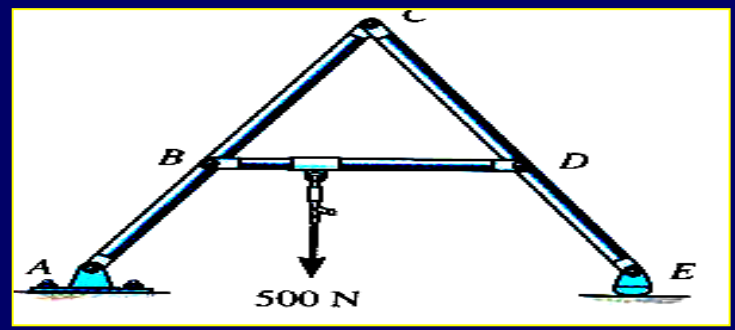
โครงสร้างที่จะนำมาวิเคราะห์

ประกอบด้วย

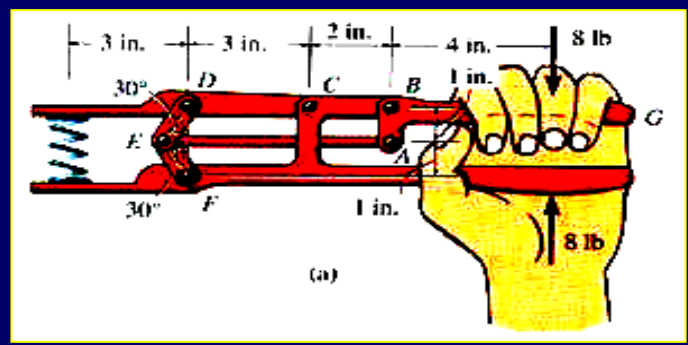
TRUSS



FRAME



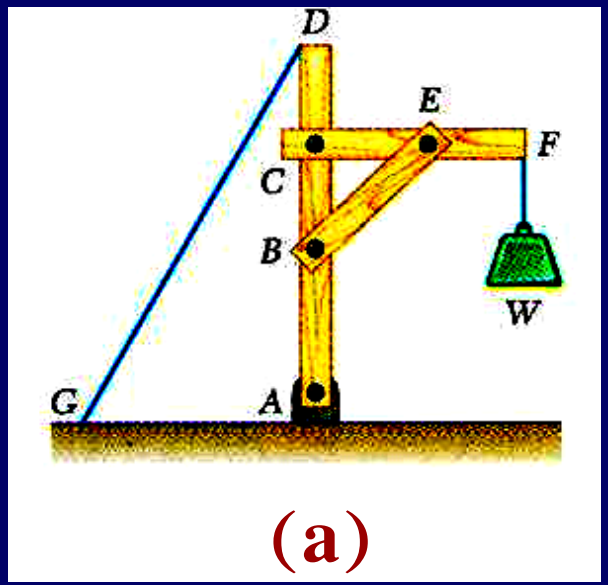
MACHINE



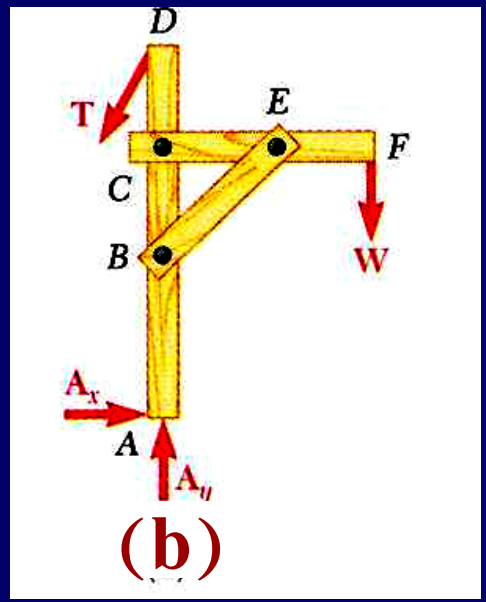
JENKS
JENKS HIRE

5.1 แรงภายใน

หมายถึงแรงที่เกิดกับชิ้นส่วนแต่ละชิ้น
ซึ่งส่งผลมาจากแรงภายนอกทั้งหมด

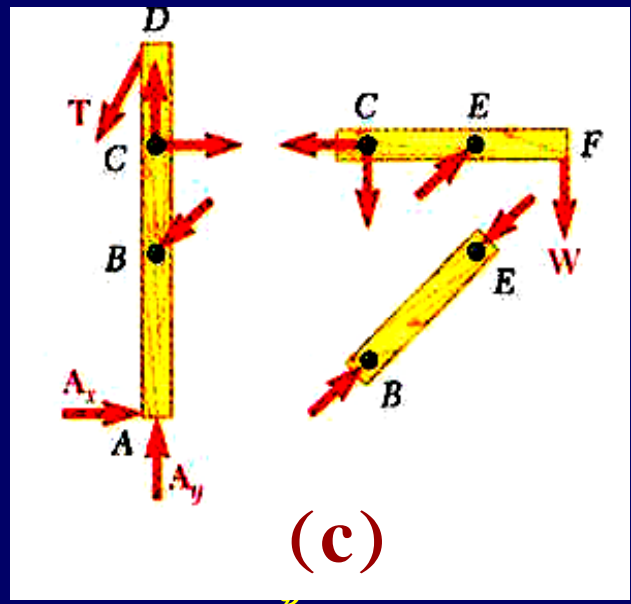


(a)



(b)

แรงกระทำต่อโครงสร้าง

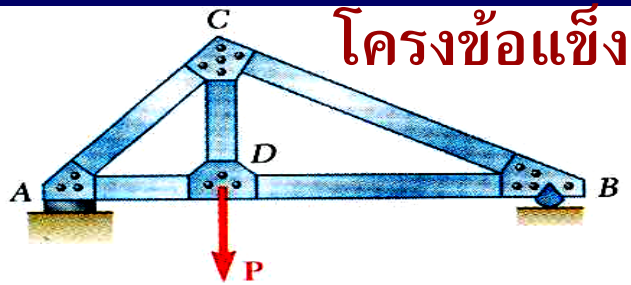


(c)

แรงในชิ้นส่วนต่าง ๆ

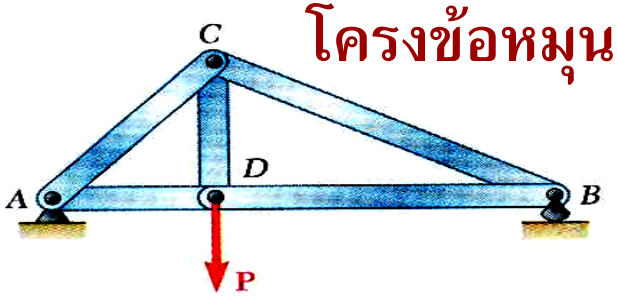
5.2 คำนิยามของโครงข้อหมุน (TRUSS)

โครงข้อแข็ง



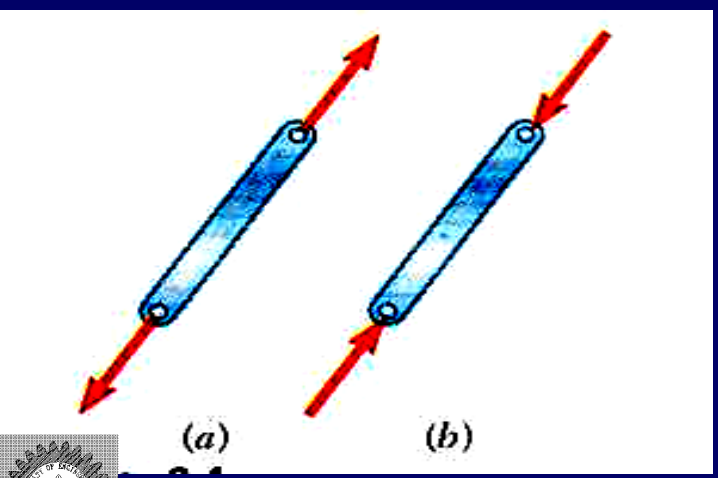
(a)

โครงข้อหมุน

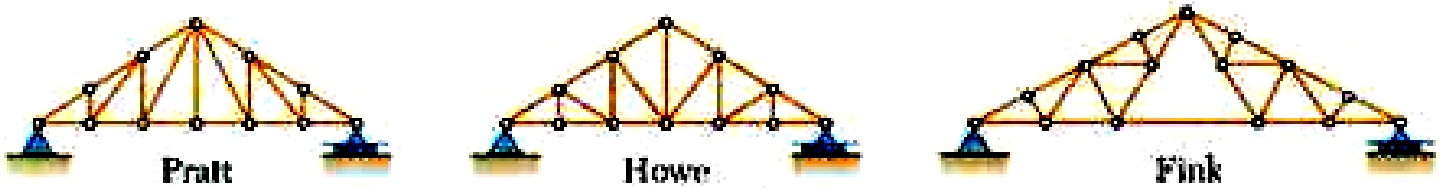


(b)

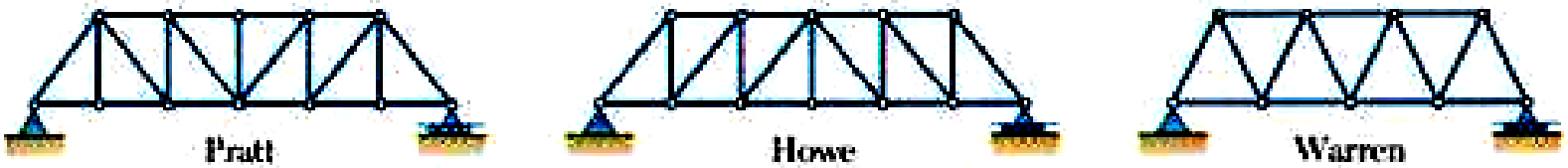
1. จุดต่อชิ้นส่วนโครงสร้างทุกจุด ต้องเป็นจุดต่อแบบ Pin (หมุนได้)
2. น้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำ ต้องกระทำที่จุดต่อเท่านั้น

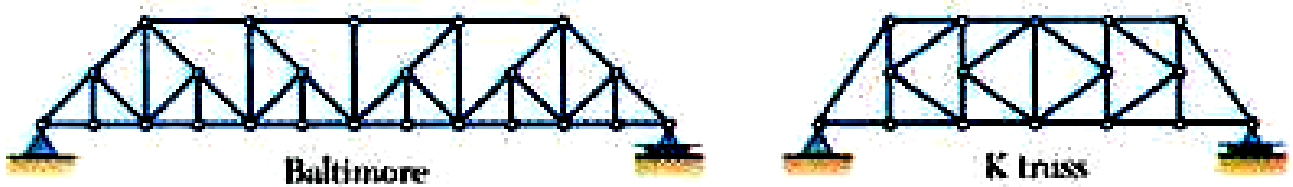


แรงที่เกิดในชิ้นส่วนทุกชิ้น
จะเป็นลักษณะ Two Force Member
คือมีแรงในแนวแกนชิ้นส่วน
โดยอาจจะเป็นแรงดึงหรือแรงอัดก็ได้

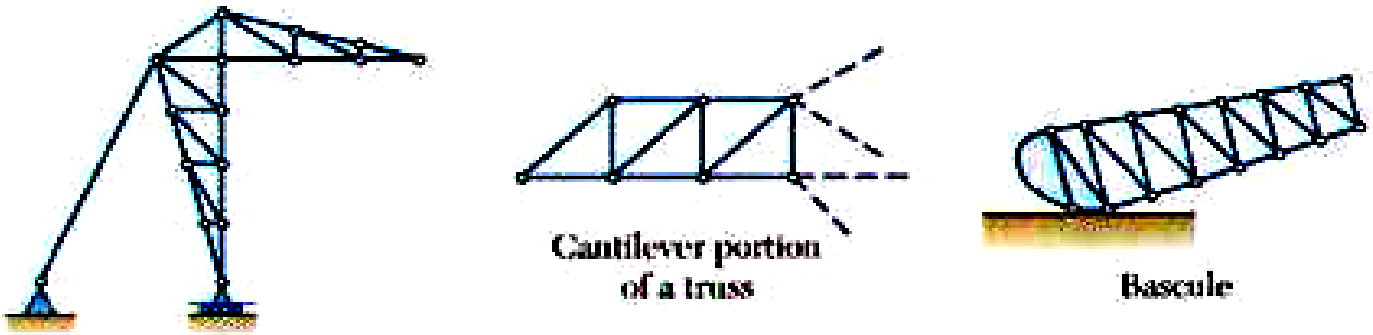


Typical Roof Trusses



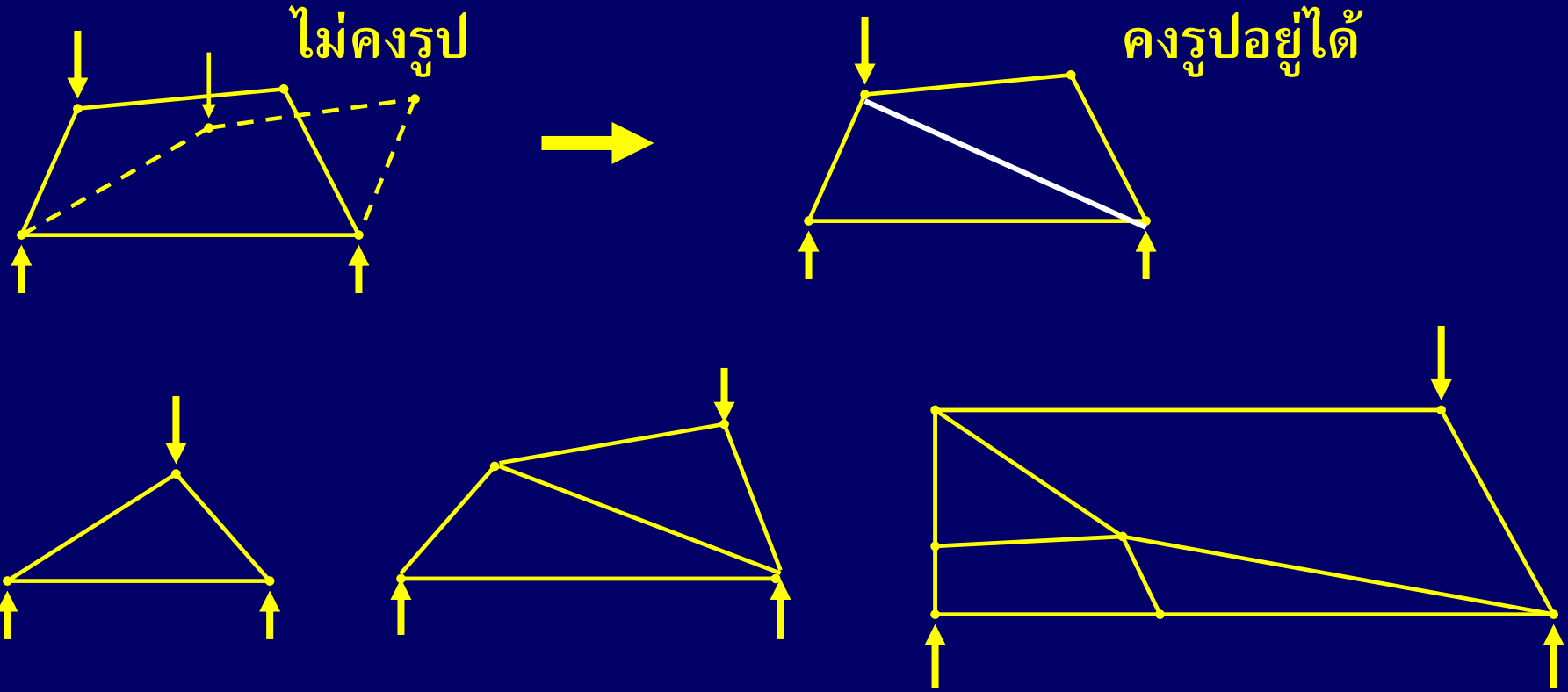


Typical Bridge Trusses



Other Types of Trusses

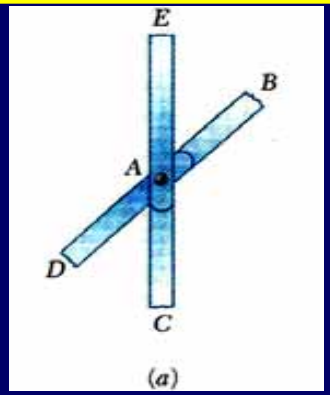
5.3 โครงข้อหมุนอย่างง่าย (Simple Truss)



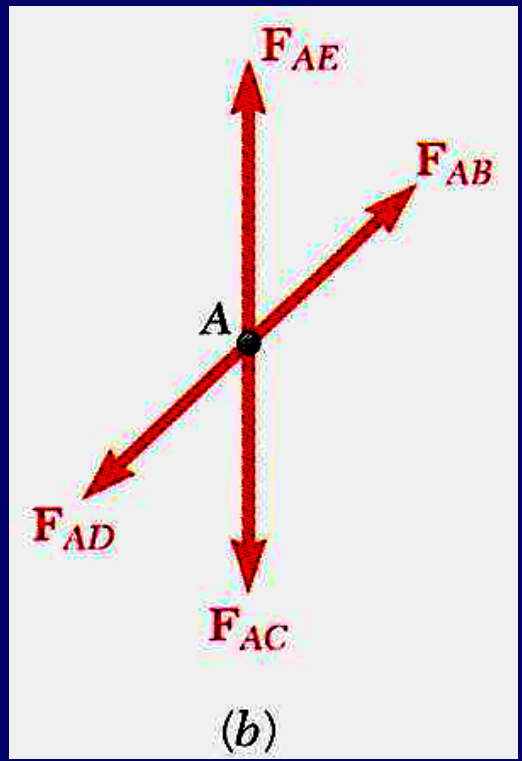
5.5 จุดต่อภายใต้สภาวะน้ำหนักบรรทุกพิเศษ

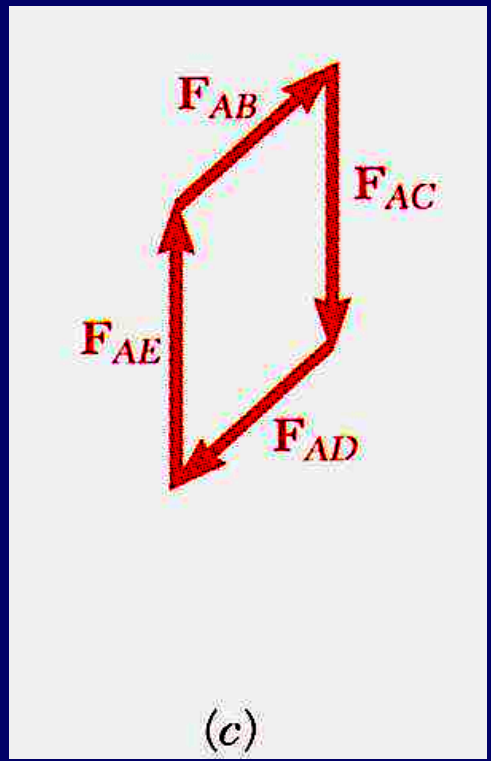
โครงสร้างทุกโครงสร้าง ต้องคงรูปและอยู่ในสภาวะสมดุล

$\sum M = 0 \; ; \quad \sum F = 0$



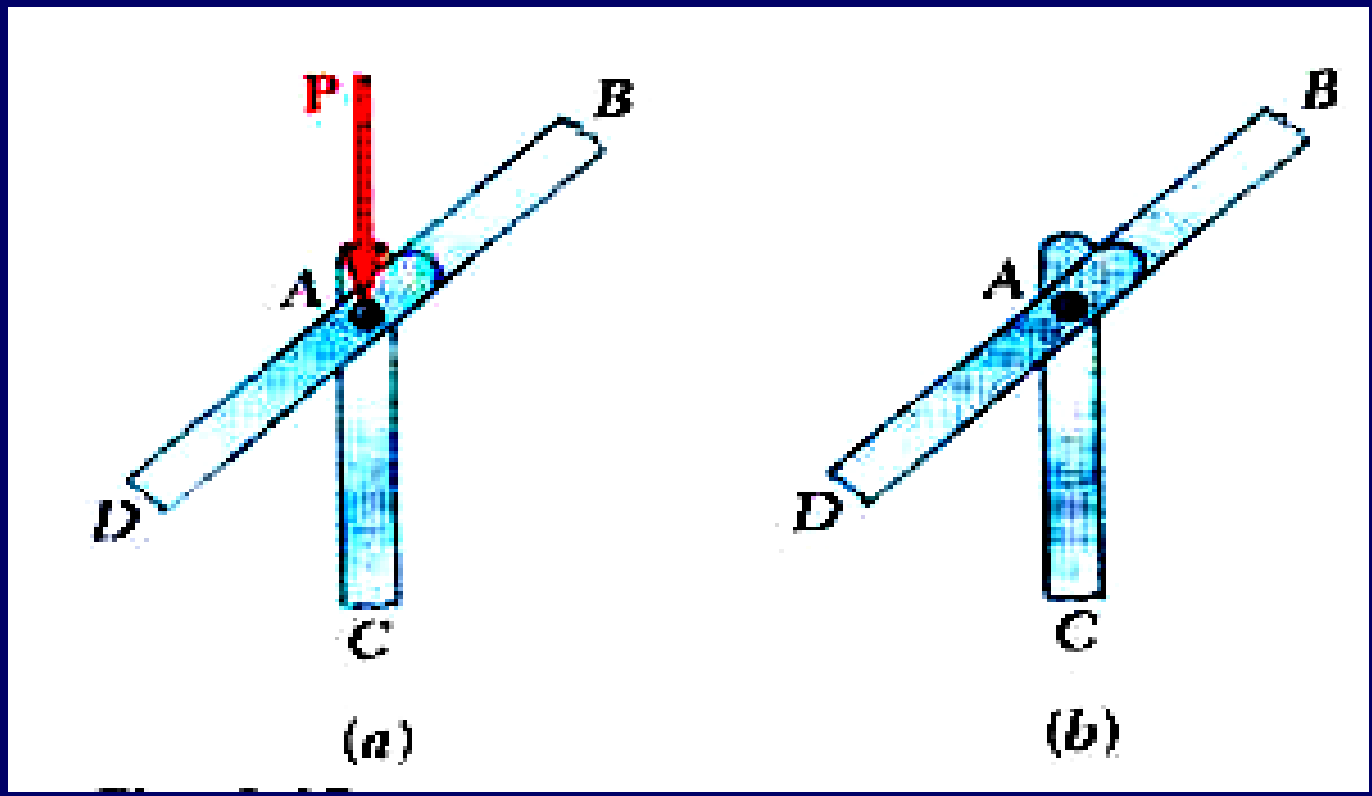
โครงข้อหมุนต่อเชื่อมเป็นลักษณะเส้นตรงตัดกัน แรงในชิ้นส่วนตรงข้ามกันจะเท่ากัน





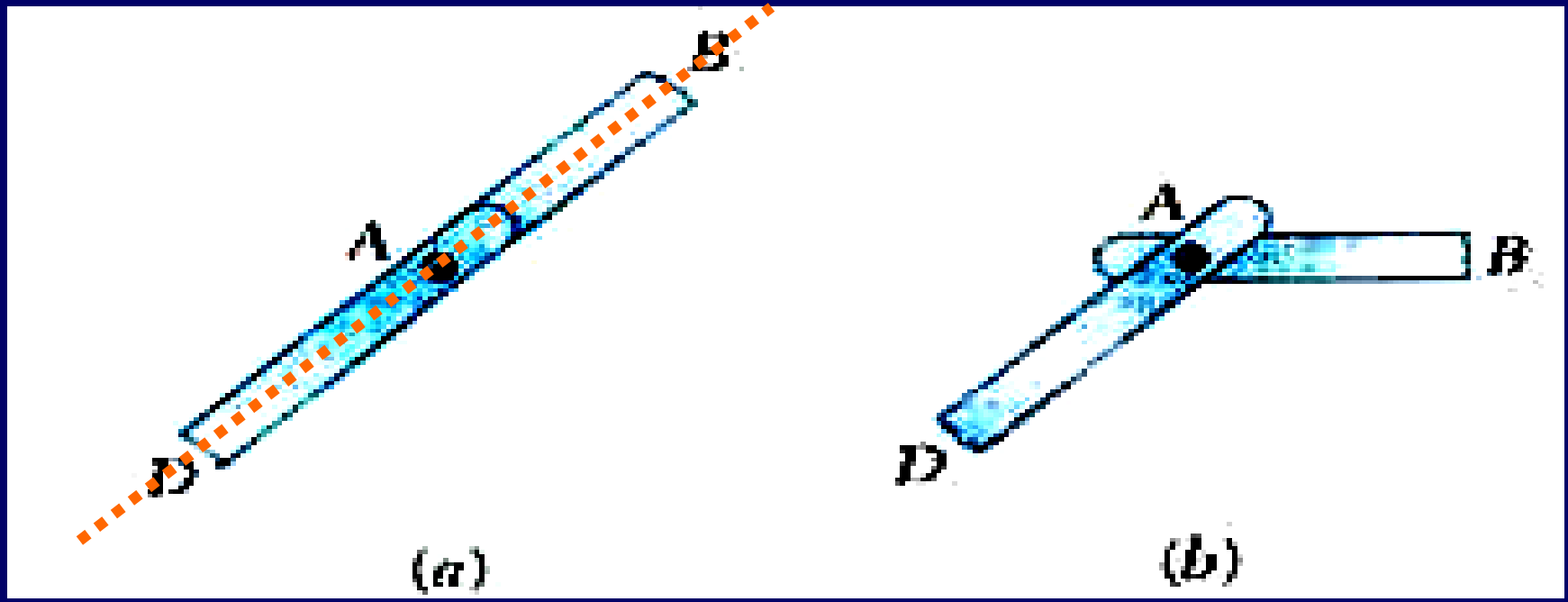
$F_{AE} = F_{AC}$ และ $F_{AB} = F_{AD}$

เมื่อมีแรงกระทำต่อจุดต่อเชื่อม โดยอยู่ในแนวชิ้นส่วนหนึ่ง ชิ้นส่วนนั้นจะรับแรงกระทำนั้นไปทั้งหมด



แรงใน AC จะเท่ากับ P

ถ้า P=0 หรือไม่มีแรงกระทำ แรงใน AC จะเท่ากับ 0



ถ้าจุดต่อมีชิ้นส่วนเพียง 2 ชิ้น จะสมดุลภายใต้แรงกระทำได้ ชิ้นส่วน 2 ชิ้นนั้น ต้องอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน

การวิเคราะห์โครงสร้าง

คือการหาแรงในชิ้นส่วนต่าง ๆในโครงสร้าง
ที่ได้รับผลจากแรงกระทำภายนอก

แรงกระทำภายนอก

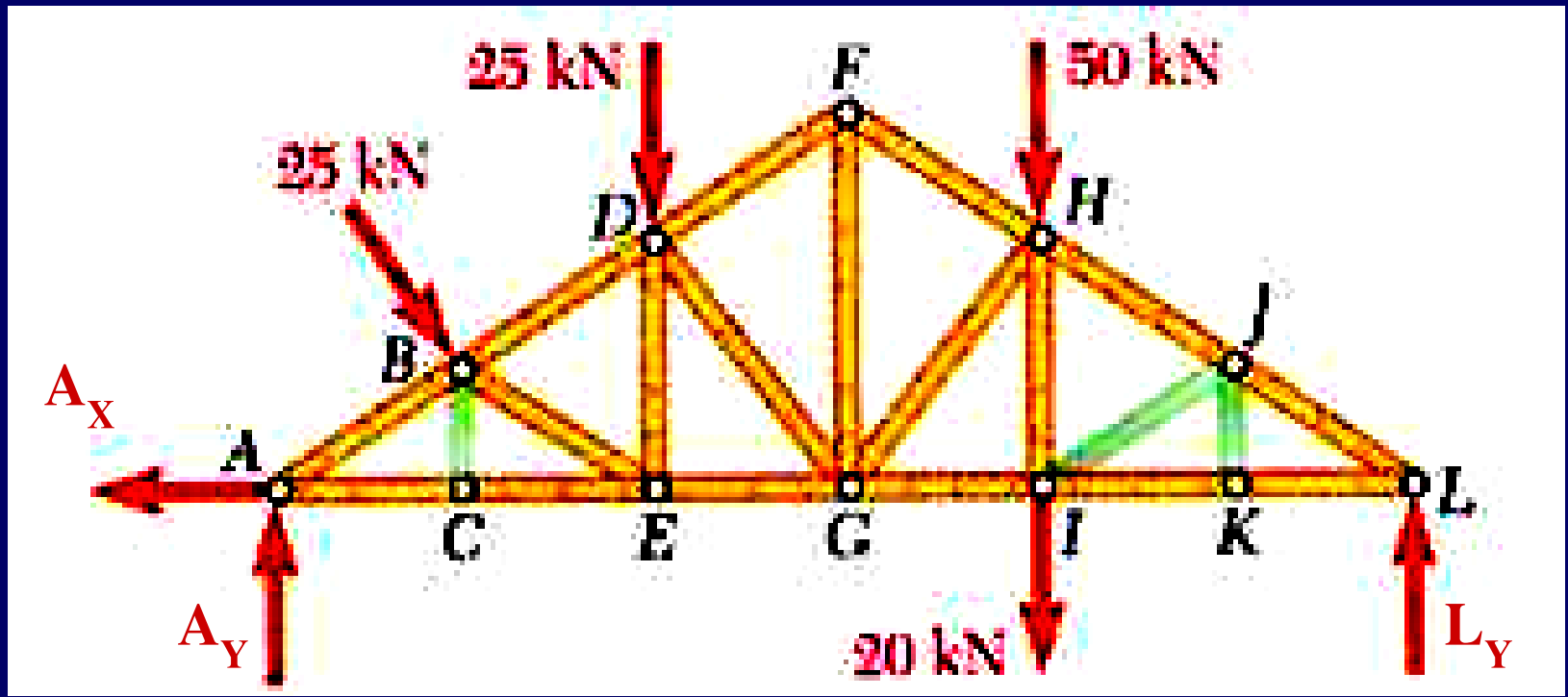
หมายถึง น้ำหนักบรรทุก หรือแรงอื่นใด
รวมทั้งแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับทั้งหมด

เขียน FBD ทั้งโครง เพื่อคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ

เขียน FBD บางส่วน เพื่อหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับและ จุดต่อ

โดยอาศัยสมการสมดุลของวัตถุคงรูป

$$\sum M = 0 ; \quad \sum F_X = 0 ; \quad \sum F_Y = 0$$

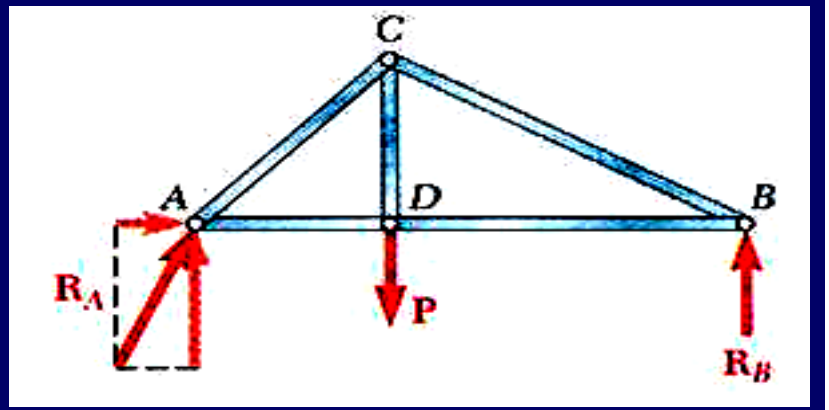


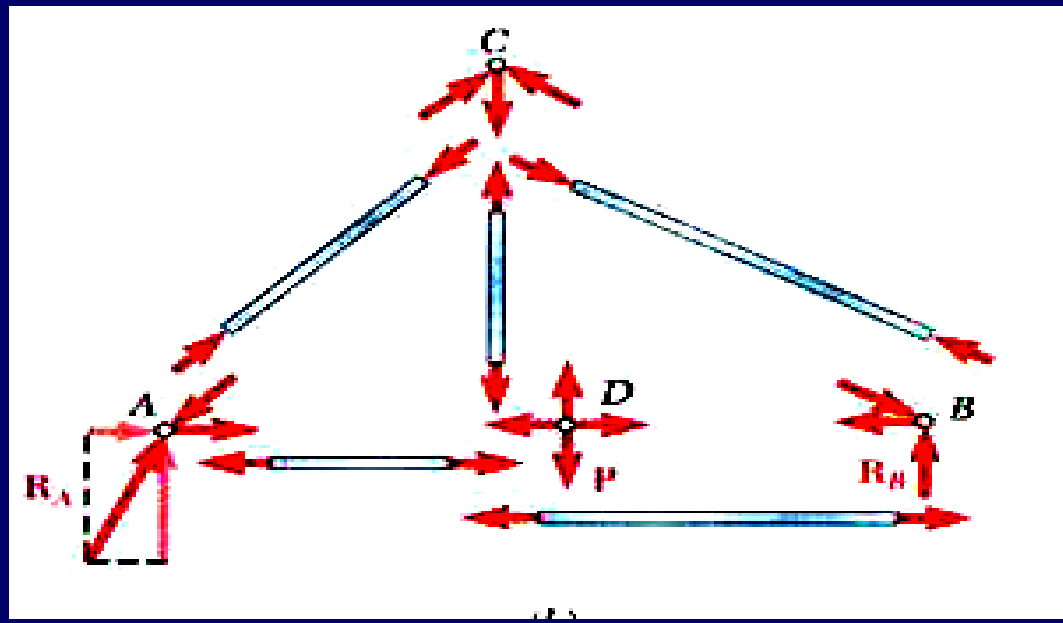
การวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนโครงสร้าง มีวิธีการอยู่ 2 วิธี

1. การพิจารณาจุดต่อ Joint Method

2. การพิจารณารอยตัดผ่าน Section Method

5.4 การพิจารณาจุดต่อ





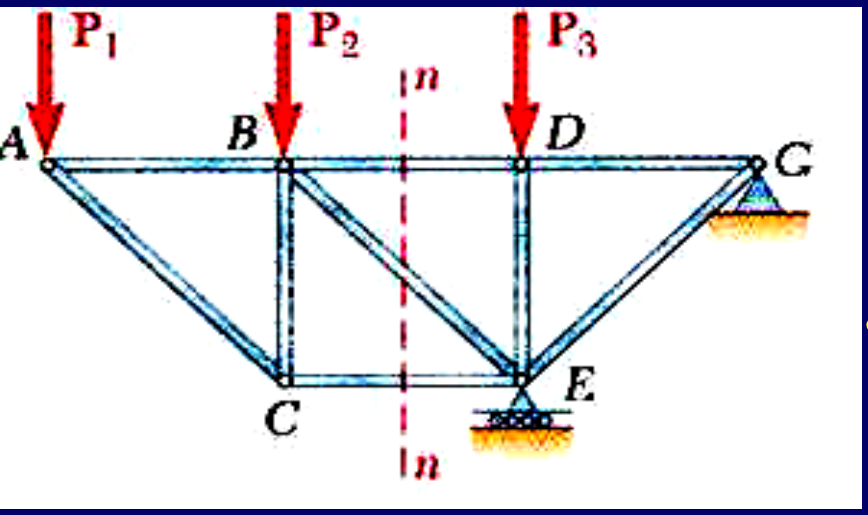
เขียน FBD จุดต่อ ใส่แรงให้ครบ

เลือกจุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (Unknown ไม่เกิน 2)

ใช้สมการสมดุลของอนุภาค 2 สมการ $\sum F_X = 0$; $\sum F_Y = 0$

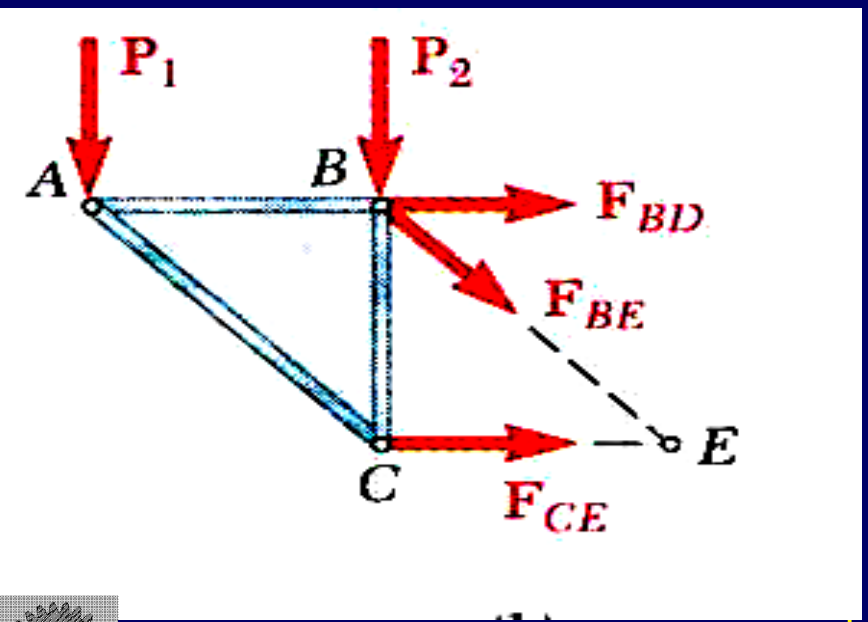
การกำหนดทิศทางของแรงแทนชิ้นส่วน ต้องดูความน่าจะเป็นจากรูป

5.7 การพิจารณารอยตัดผ่าน



เลือกแนวตัดผ่านโครงสร้าง

ที่จะทำให้เกิด Unknown ไม่เกิน 3 ตัว

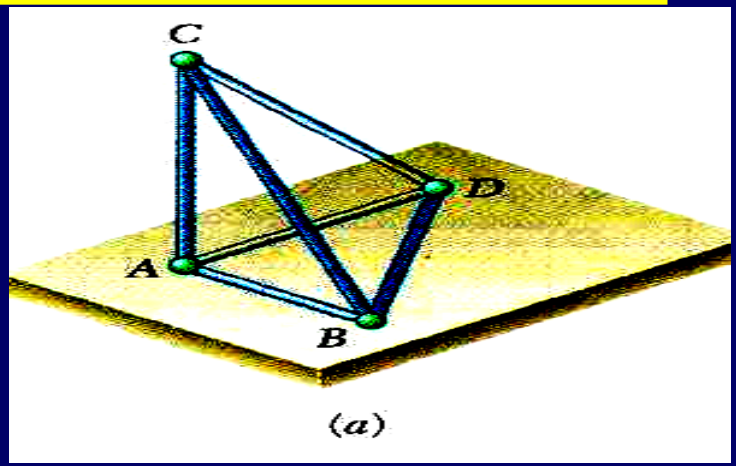


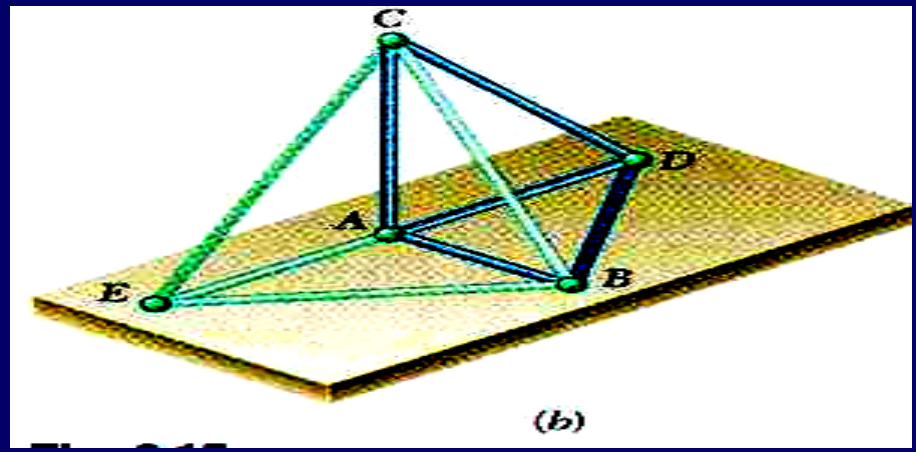
แยกออกมาเขียน FBD

ใช้สมการสมดุลวัตถุคงรูป 3 สมการ

$$\sum F_X = 0 \quad \sum F_Y = 0 \quad \sum M = 0$$

5.6 โครงข้อหมุน 3 มิติ



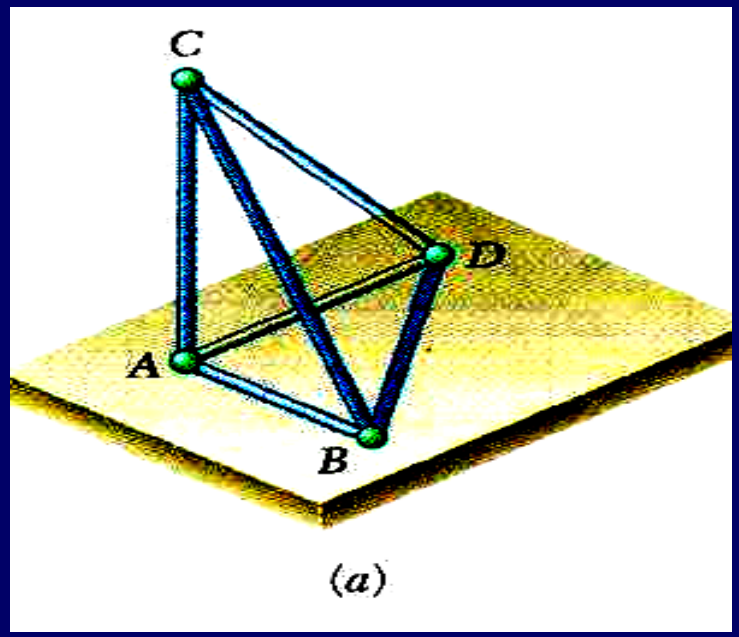


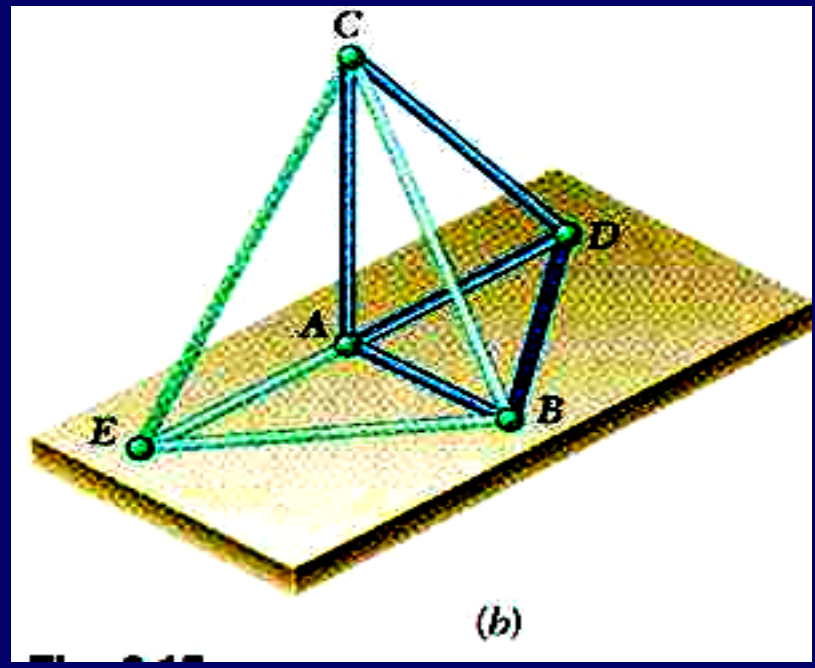
การออกแบบ

- ต้องรักษาความคงรูปอยู่ได้ โดยจัดรูปโครงสร้างเป็นสามเหลี่ยม
- จุดรองรับต้องสามารถคำนวณได้ (Statically Determinate)

โดยกำหนดจุดรองรับเป็นลักษณะ

- BALL
- ROLLER
- BALL and SOCKET





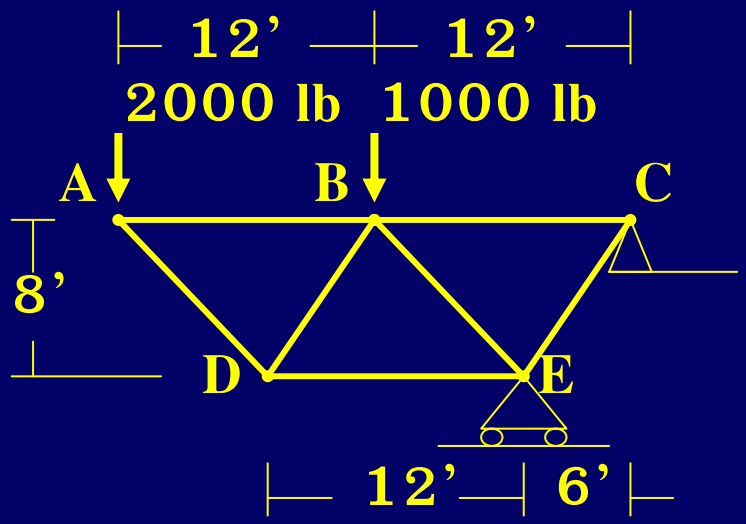
การวิเคราะห์ เหมือนกับ 2 มิติ

แต่มีสมการสมดุล 6 สมการ

$$\sum F_X = 0 \; ; \qquad \sum F_Y = 0 \; ; \qquad \sum F_Z = 0$$

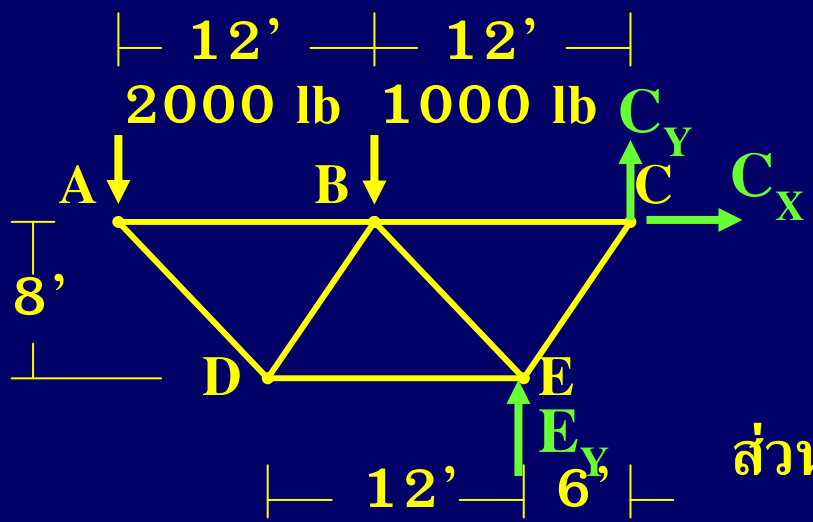
$$\sum M_X = 0 \; ; \qquad \sum M_Y = 0 \; ; \qquad \sum M_Z = 0$$

ตัวอย่าง 5.1



ข้อมูล โครงข้อหมุน ABCDE มีจุดรองรับที่ C เป็น hinge หรือ pin และ E เป็น roller บรรทุกน้ำหนักที่ A 2000 lb และที่ B 1000 lb ดังรูป

ปัญหา ให้หาแรงในแต่ละชิ้นส่วน โดยวิธี Joint Method



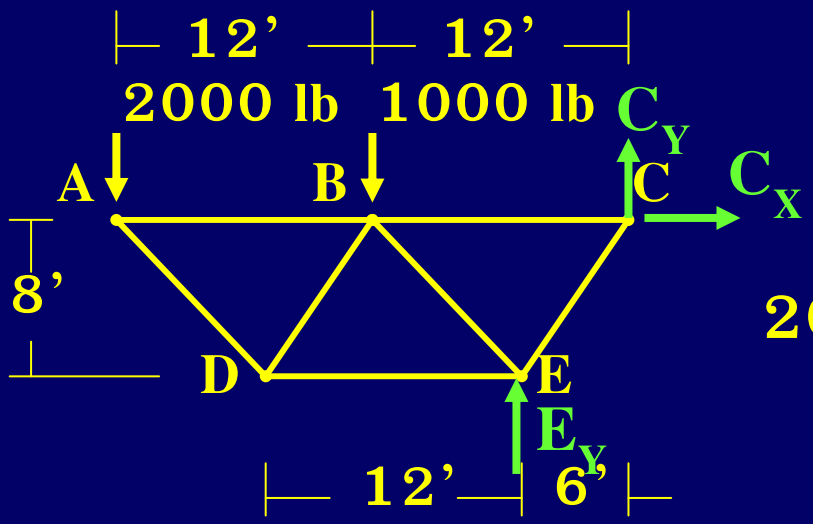
วิธีทำ

เขียน FBD ทั้งโครง

กำหนดแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ

ที่จุด C ไม่รู้ทิศทางแรงปฏิกิริยา กำหนดเป็น C_X และ C_Y

ส่วนที่ E แรงปฏิกิริยาตั้งฉากกับจุดรองรับ



คำนวณหาแรงปฏิกิริยา

$$\sum M_C = 0$$

$$2000(24) + 1000(12) - E(6) = 0$$

$$E = 10\,000 \text{ lb.}$$

$$\sum F_X = 0 ; \qquad C_X = 0$$

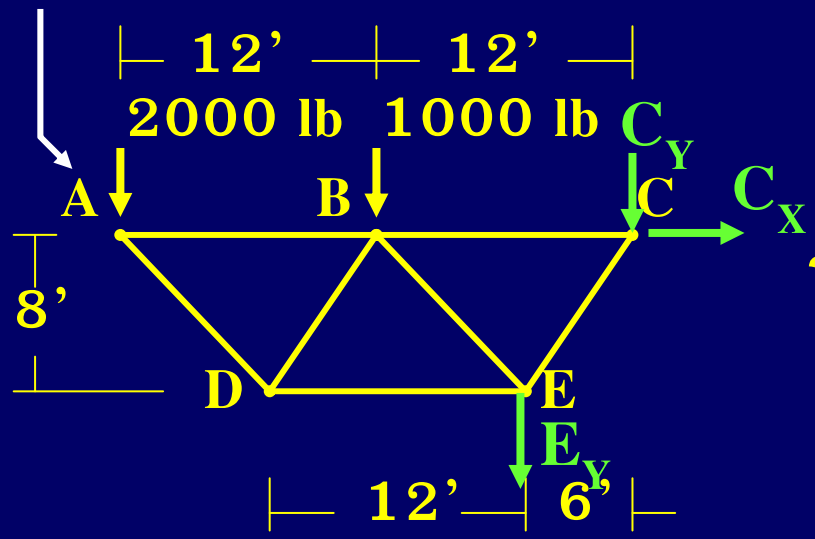
$$\sum F_Y = 0$$

$$C_Y + 10000 - 2000 - 1000 = 0$$

$$C_Y = -7000$$

แสดงว่าที่สมมุติให้ C_Y ชี้ขึ้นนั้นไม่ใช่ จะต้อง ชี้ลง

$$C_Y = 7000 \text{ lb} \downarrow$$



แรงปฏิกิริยาที่ C ; C_Y = 7000 lb

ที่ E ; E = 10 000 lb

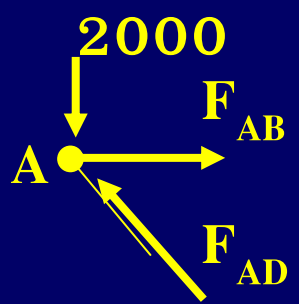
เลือกจุดต่อมาพิจารณาทีละจุด

โดยเลือกจุดที่มี Unknown ไม่เกิน 2 ตัว

จากรูป จุดต่อ A มี Unknown 2 ตัว

คือ แรงใน AB และ แรงใน AD

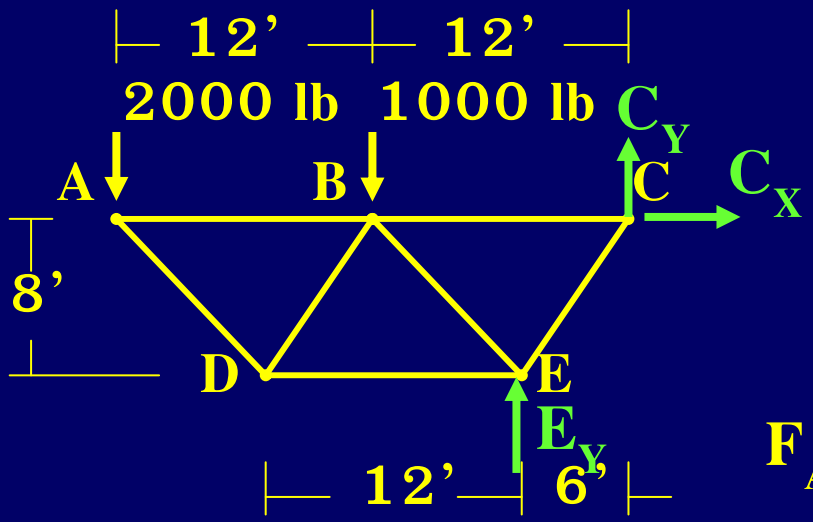
จุดต่อ A



กำหนดทิศทางแรงในชิ้นส่วนเป็นดังรูป

ให้ F_{AB} เป็นแรงดึง F_{AD} เป็นแรงอัด

โดยพิจารณาจากพฤติกรรมที่กระทำต่อจุด



จากรูปและระยะที่กำหนดให้
ได้สามเหลี่ยมที่มีสัดส่วนด้านเป็น

6 : 8 : 10

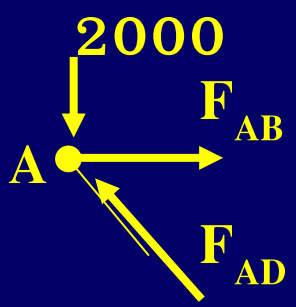
ใช้สัดส่วนแรงต่อด้าน

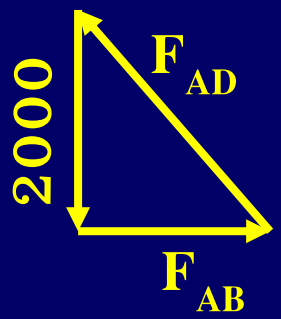
$F_{AB}/6 = F_{AD}/10 = 2000/8$

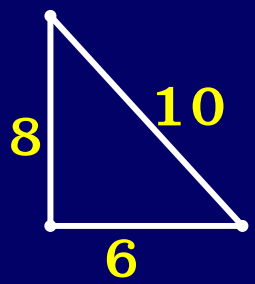
แก้สมการ ได้

F_{AB} = 1500 lb (แรงดึง; T)

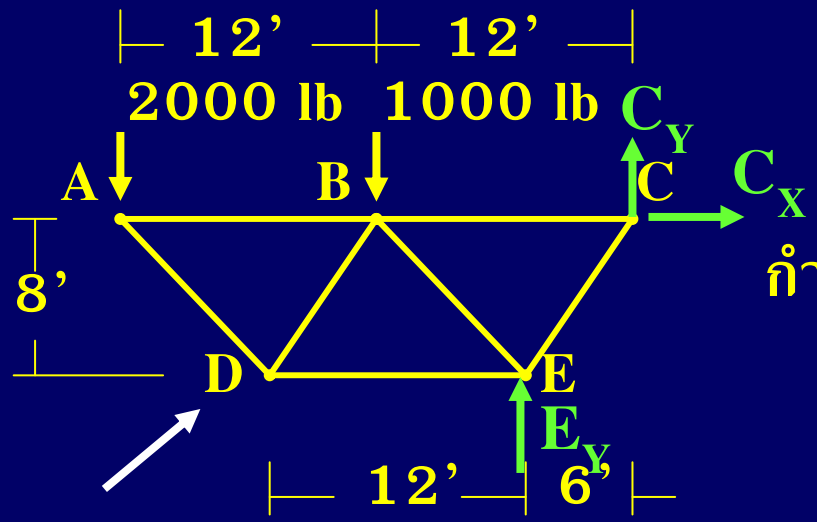
F_{AD} = 2500 lb (แรงอัด; C)







เมื่อคำนวณแล้วค่าที่ได้มีค่าเป็น +
แสดงว่าที่กำหนดลักษณะแรงF_{AB},F_{AD} ไว้
เป็นความจริง



ต่อไปนำจุด D มาพิจารณา

มี Unknown 2 ตัว คือ F_{DB} และ F_{DE}

ส่วน F_{AD} ได้ค่าจากจุด A แล้ว

กำหนดทิศทางของแรงในชิ้นส่วน

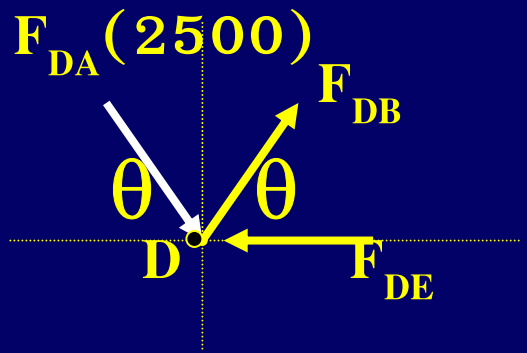
F_{DB} เป็นแรงดึง (T) และ

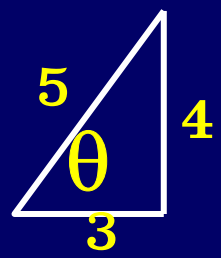
F_{DE} เป็นแรงอัด (C)

ส่วนแรง F_{DA} เป็นแรงอัด มีค่า 2500 lb (C)

ทราบจากการวิเคราะห์จุด A

จุดต่อ D





ค่า cosθ และ sinθ

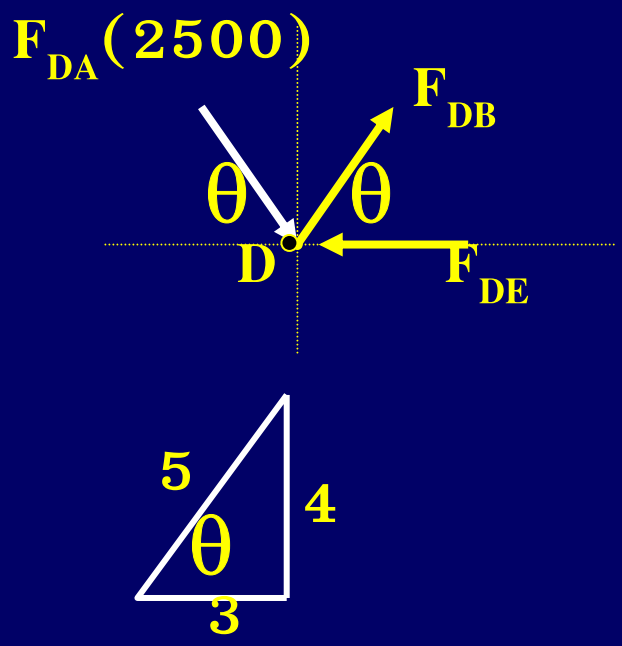
หาได้จากรูปและระยะในโครงสร้าง

$\cos\theta = 3/5 = 0.6$

$\sin\theta = 4/5 = 0.8$

$\cos\theta = 3/5 = 0.6$; $\sin\theta = 4/5 = 0.8$

จุดต่อ D



$\sum F_X = 0$

$$F_{DA} \cos\theta + F_{DB} \cos\theta - F_{DE} = 0$$

$$0.6\,(2500) + 0.6\,F_{DB} - F_{DE} = 0 \qquad (1)$$

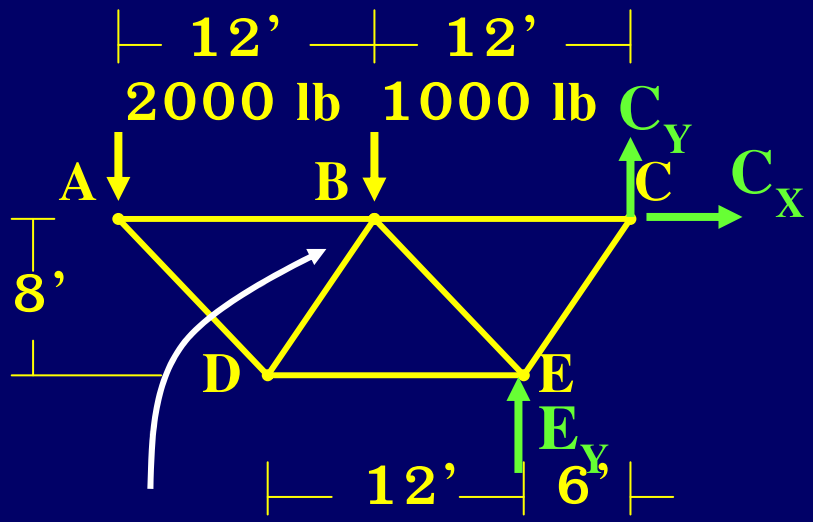
$\sum F_Y = 0$

$$F_{DA} \sin\theta - F_{DB} \sin\theta = 0$$

$$F_{DA} = F_{DB} = 2500 \text{ lb (T)} \quad ****$$

แทนค่า F_{DB} ใน (1)

$$F_{DE} = 3000 \text{ lb. (C)} \quad ****$$



ต่อไปนำจุด B มาพิจารณา

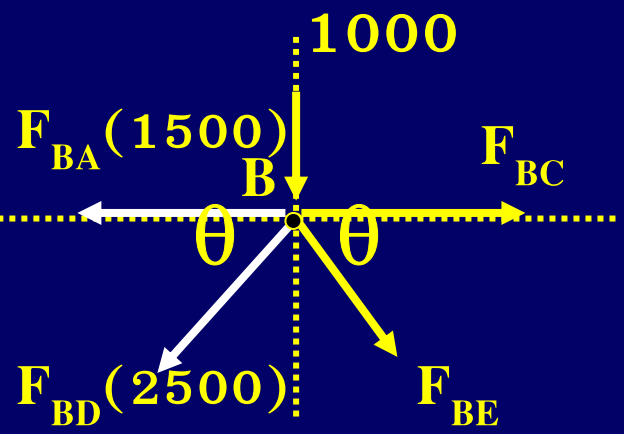
Unknown 2 ตัว คือ F_{BC} และ F_{BE}

กำหนดทิศทางของแรงในชิ้นส่วน

F_{BC} เป็นแรงดึง (T)

F_{BE} เป็นแรงดึง (T)

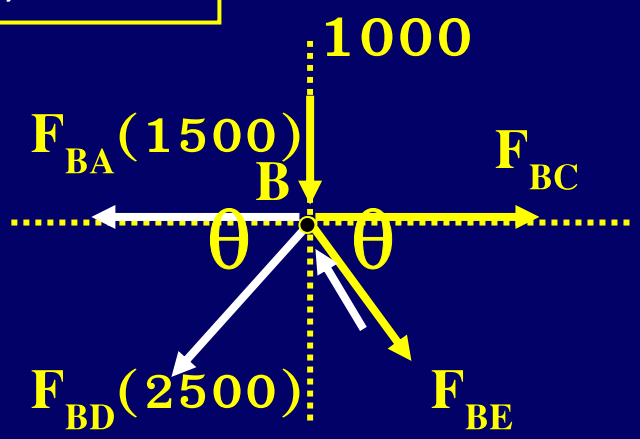
จุดต่อ B



แรง F_{BA} เป็นแรงดึง 1500 lb (T)ได้จากจุด A

แรง F_{BD} เป็นแรงดึง 2500 lb (T)ได้จากจุด D

จุดต่อ B



$\sum F_Y = 0$

$-100 - (F_{BD} \sin\theta) - (F_{BE} \sin\theta) = 0$

$-100 - 2500(0.8) - 0.8\, F_{BE} = 0$

$F_{BE} = -3750$ lb

เครื่องหมายเป็น –

แสดงว่าที่สมมุติไว้เป็นตรงกันข้าม

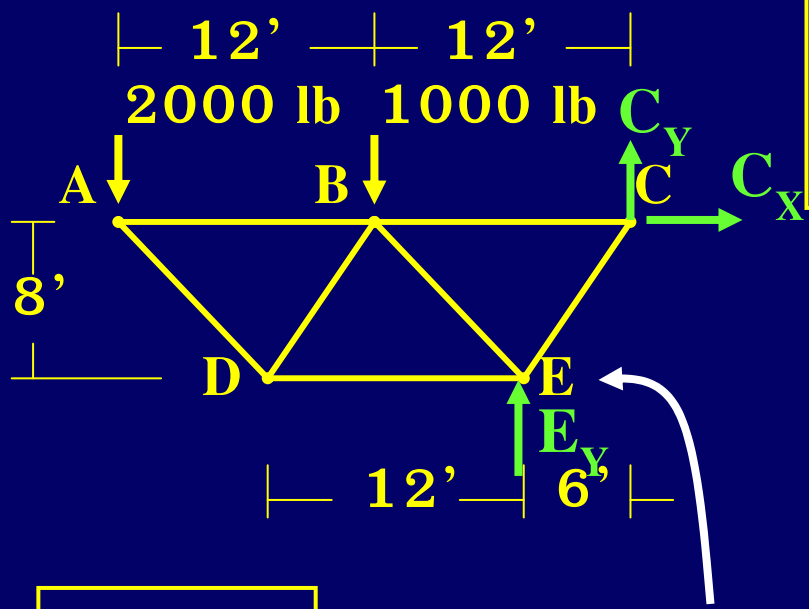
$F_{BE} = 3750$ lb (C) *****

$\sum F_X = 0$

$F_{BC} - F_{BA} - (F_{BD} \cos\theta) - (F_{BE} \cos\theta) = 0$

$F_{BC} - 1500 - 0.6(2500) - 0.6(3750) = 0$

$F_{BC} = 5250$ lb. (T) *******



แรงปฏิกิริยาที่ C ; C_Y = 7000 lb

ที่ E ; E = 10 000 lb

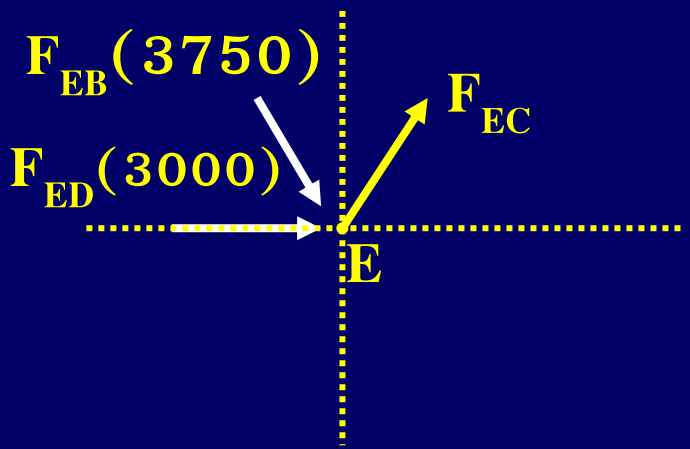
ต่อไปนำจุด E มาพิจารณา

เหลือ Unknown 1 ตัว คือ F_{EC}

กำหนดทิศทางของแรงในชิ้นส่วน

F_{EC}เป็นแรงดึง (T)

จุดต่อ E



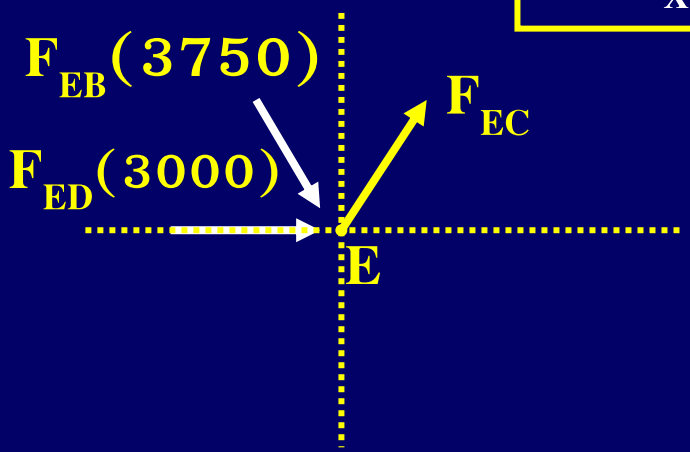
F_{EB} เป็นแรงอัด 3750 (C)

F_{ED} เป็นแรงอัด 3000 lb (C)

แรงปฏิกิริยาที่ C ; C_Y = 7000 lb

ที่ E ; E = 10 000 lb

จุดต่อ E



$\sum F_X = 0$

$$F_{ED} + (F_{EC}\cos\theta) + (F_{EB}\cos\theta) = 0$$

$$3000 - 0.6(F_{EC}) + 0.6(3750) = 0$$

$$F_{EC} = -8750 \text{ lb}$$

$$F_{EC} = 8750 \text{ lb (C)} \quad *****$$

ได้ค่าแรงในชิ้นส่วนครบแล้ว สามารถตรวจสอบ

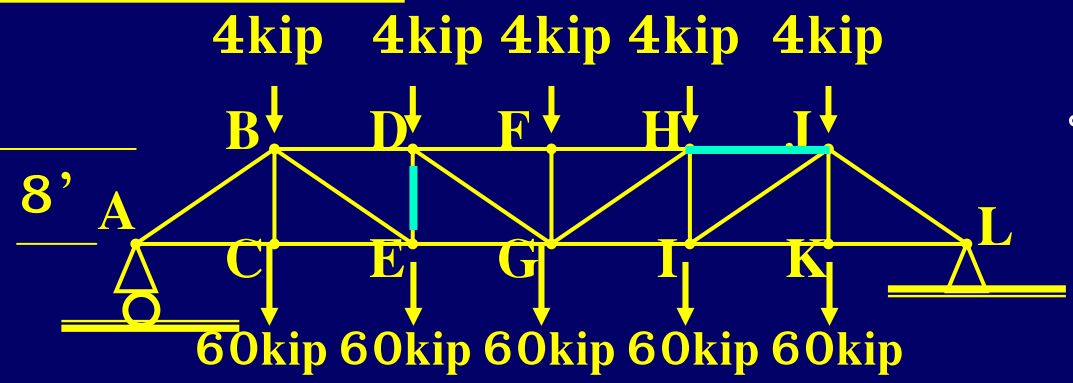
โดยนำจุดต่อ C มาตรวจสอบความสมดุล

หาก $\sum F_X = 0$ และ $\sum F_Y = 0$ แสดงว่าถูกต้อง

ตัวอย่าง 5.2

ข้อมูล โครงข้อหมุน มีจุดรองรับ และมีแรงกระทำที่จุดต่อ ดังรูป

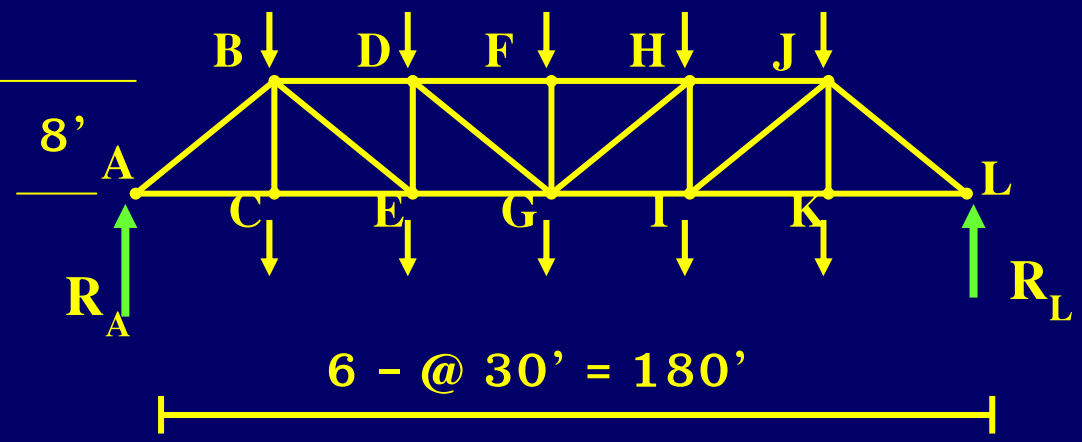
ปัญหา ให้หาแรงในชิ้นส่วน DE และ HJ โดยวิธี Section



วิธีทำ

เขียน FBD ทั้งโครง

หาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ R_A และ R_L

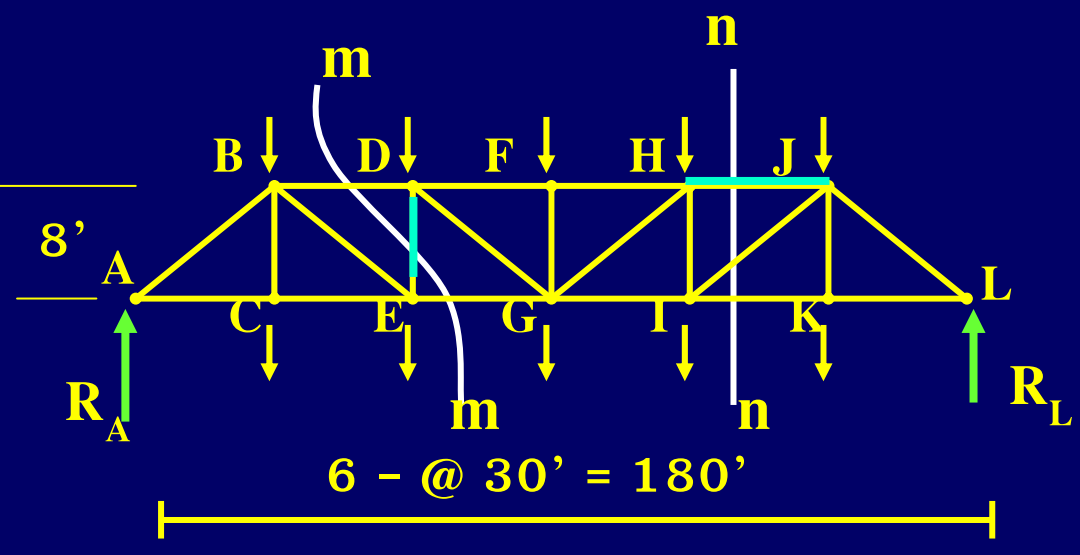


$$\sum M_A = 0$$

$$R_L = 160 \text{ kip}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_A = 160 \text{ kip}$$



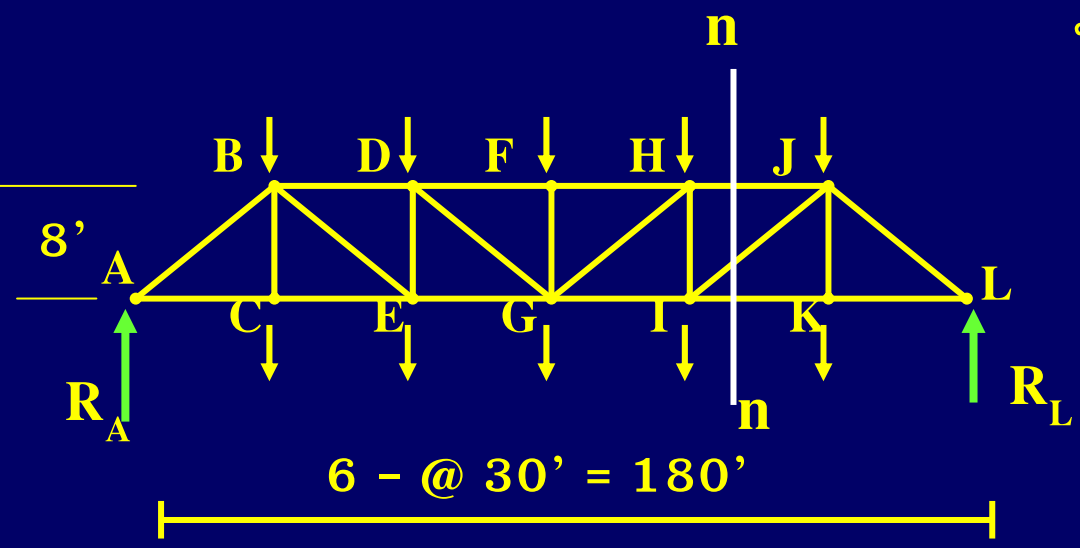
ลากเส้นตัดผ่านโครงสร้าง

โดยให้ผ่านชิ้นส่วนที่ต้องการ

และมี Unknown ไม่เกิน 3 ตัว

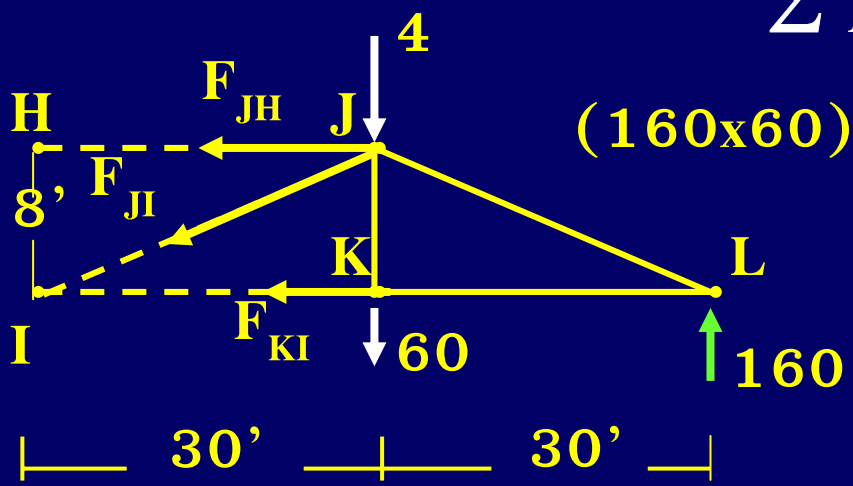
ได้ section m–m ผ่าน DE

และ n–n ผ่าน HJ



หาแรงในชิ้นส่วน HJ

นำชิ้นส่วนที่ถูกตัดโดยเส้น n–n ซีกขวา มาเขียน FBD เฉพาะส่วน



$$\sum M_I = 0$$

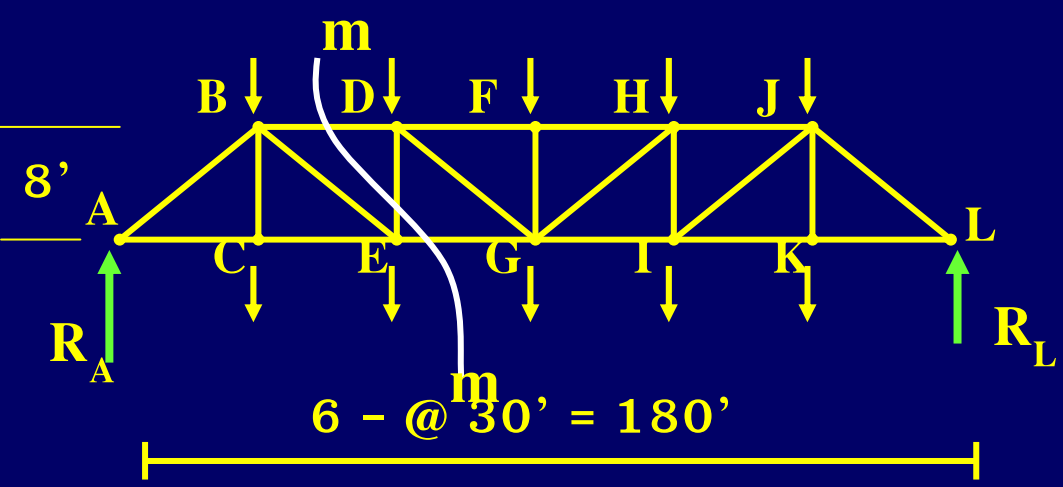
$$(160x60)-(60x30)-(4x30)+(F_{JH})(20) = 0$$

F_{JH} = – 384 kip

F_{JH} = 384 kip (C)

แรงในชิ้นส่วน HJ เท่ากับ 384 kip แรงอัด

หาแรงในชิ้นส่วน DE



นำชิ้นส่วนที่ถูกตัดโดยเส้น m–m ซีกซ้าย มาเขียน FBD เฉพาะส่วน

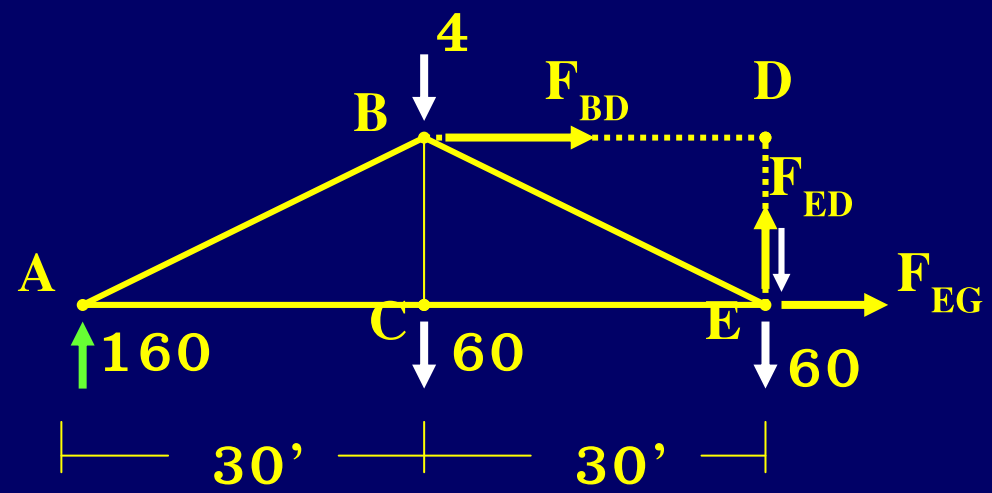
$$\sum F_Y = 0$$

$$160 - 60 - 4 - 60 + F_{ED} = 0$$

$$F_{ED} = -36 \text{ kip}$$

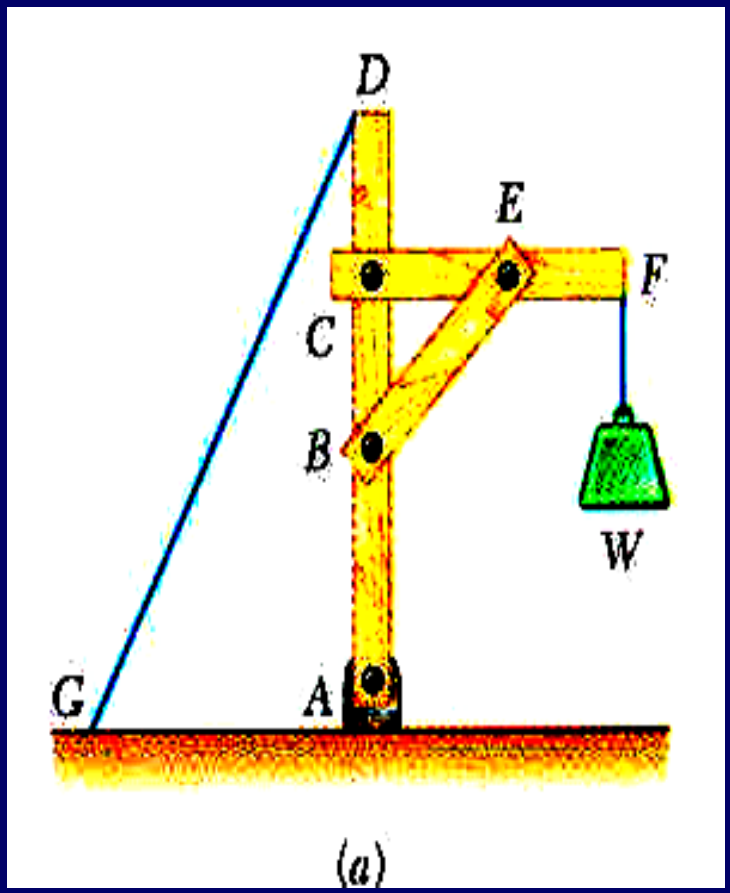
ค่าติดลบแสดงว่าทิศทางตรงข้าม

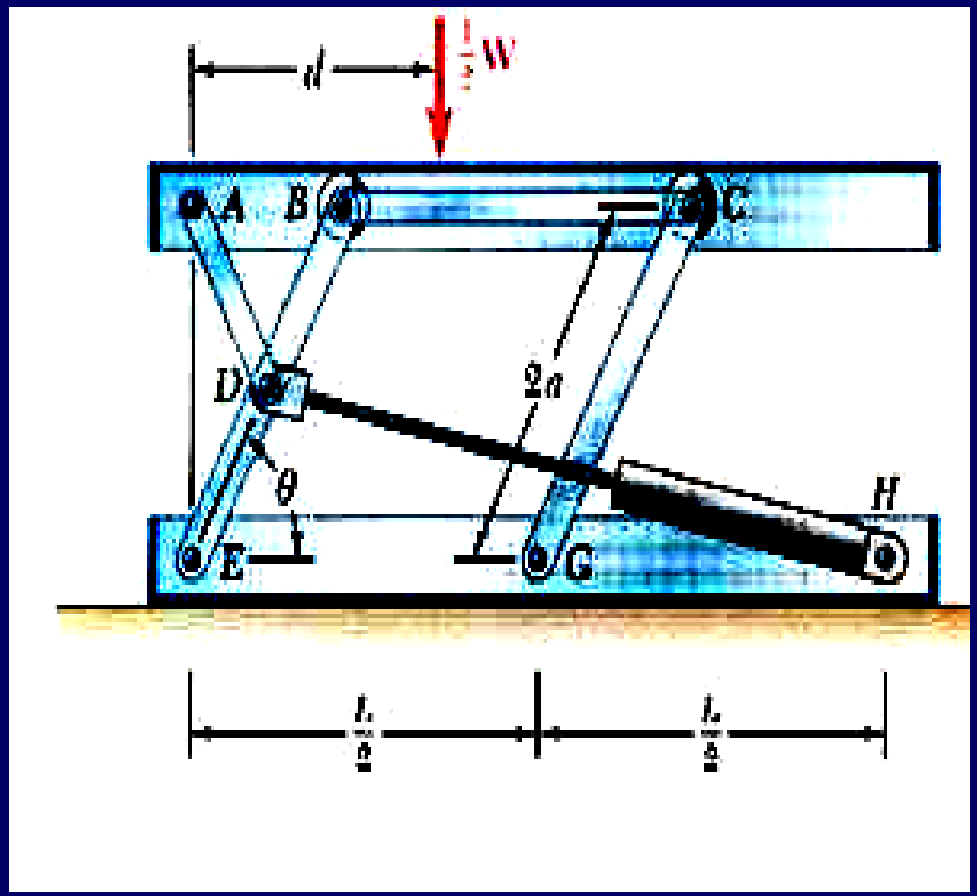
$$F_{ED} = 36 \text{ kip (C)}$$



แรงในชิ้นส่วน DE เท่ากับ 36 kip แรงอัด

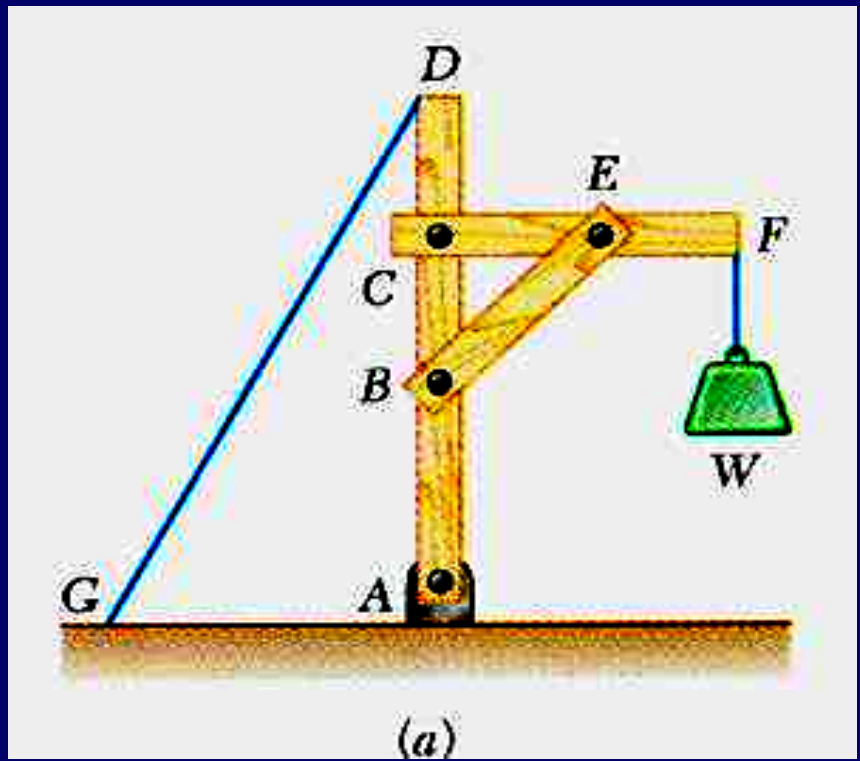
FRAME and MACHINE



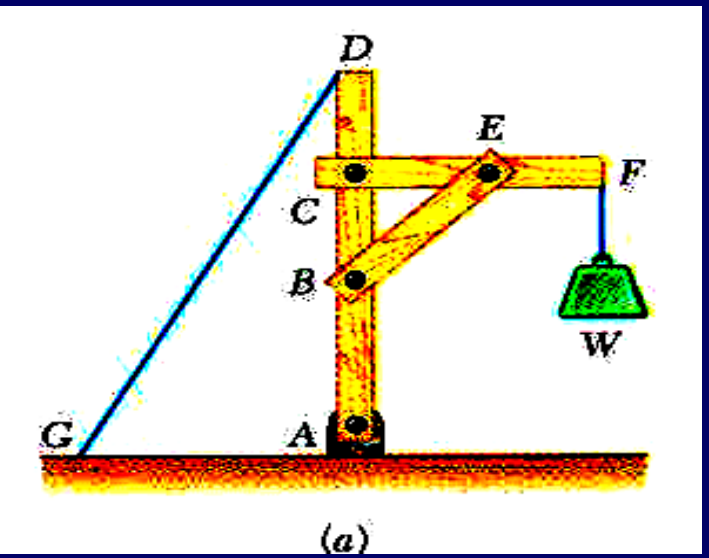


5.9 FRAME โครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนที่มีหลายแรง

หมายถึงโครงสร้างที่มีแรงกระทำไม่อยู่ในแนวแกนทั้งหมด มีแรงมากกว่า 2 แรง แต่อาจจะมีบางชิ้น ที่เป็น Two Force Member

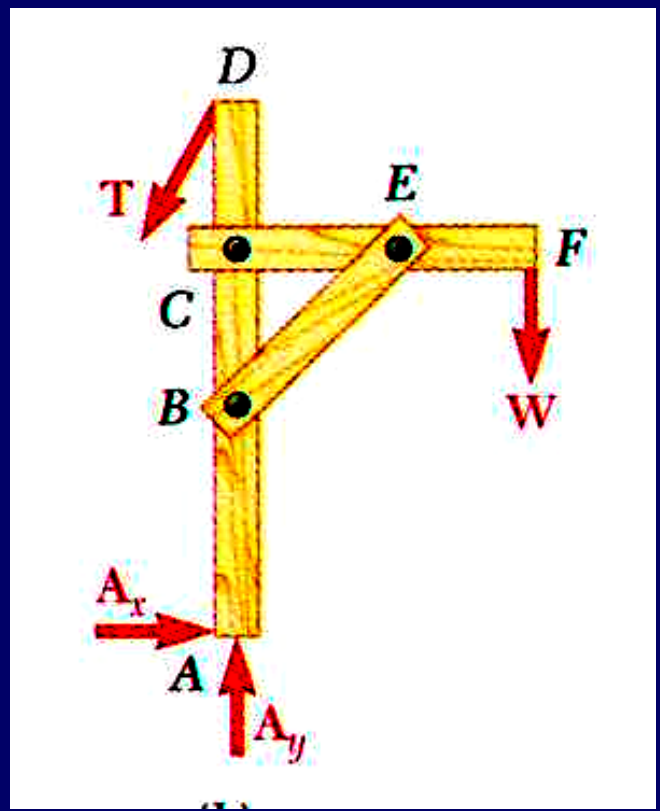


5.10 การวิเคราะห์แรงใน FRAME

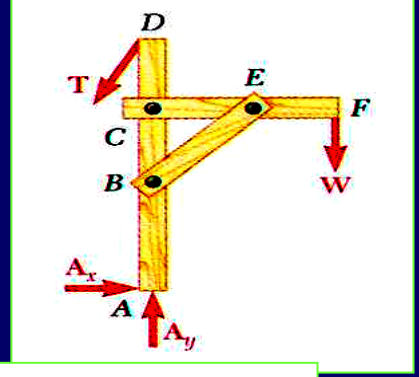


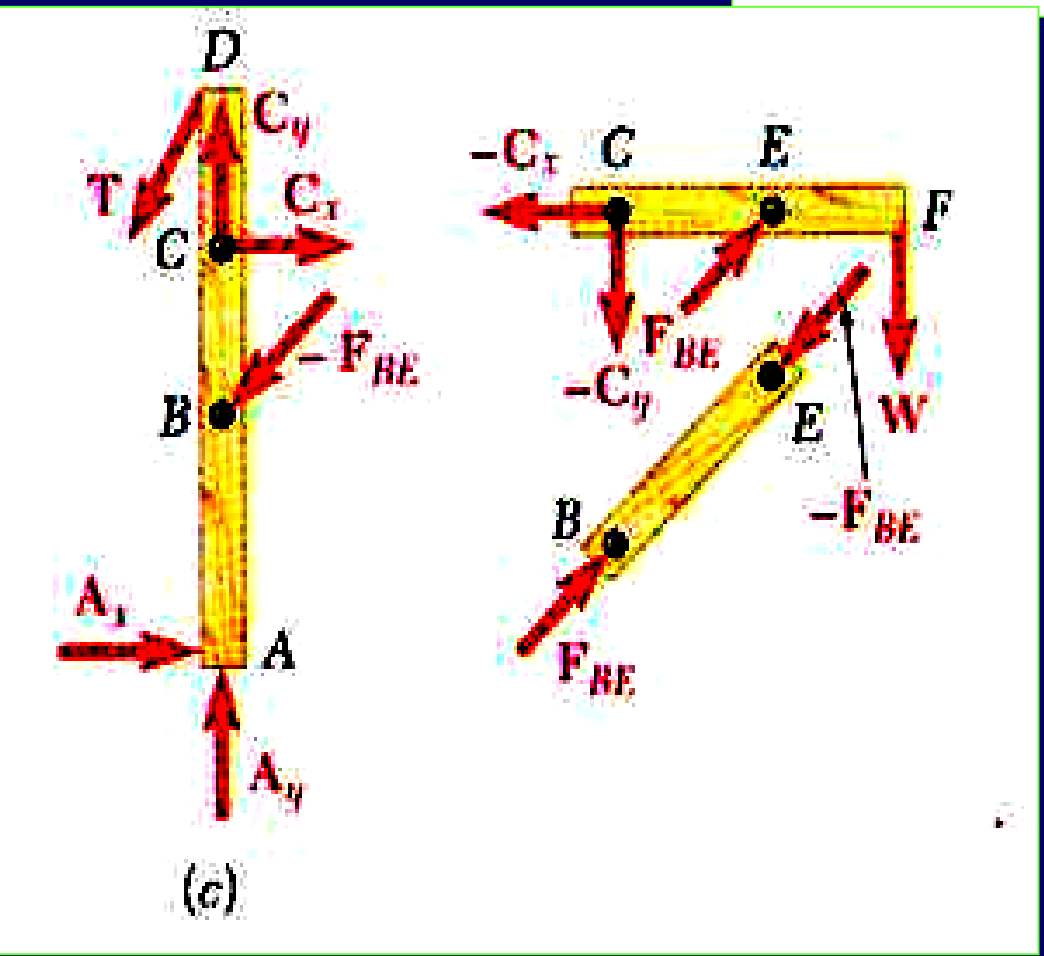
ลักษณะการเชื่อมต่อ อาจจะต่อที่กลางท่อน
การบรรทุกน้ำหนัก ไม่อยู่ที่จุดต่อ

เขียน FBD ทั้งโครง
หาแรงปฏิกิริยา



5.10 การวิเคราะห์แรงใน FRAME





เขียน FBD แยกส่วน

ใส่แรงที่จะเกิดขึ้น

ตามเงื่อนไขต่าง ๆให้ครบ

เลือกชิ้นส่วนที่สามารถนำมา

หาแรงกระทำในชิ้นส่วนต่าง ๆ

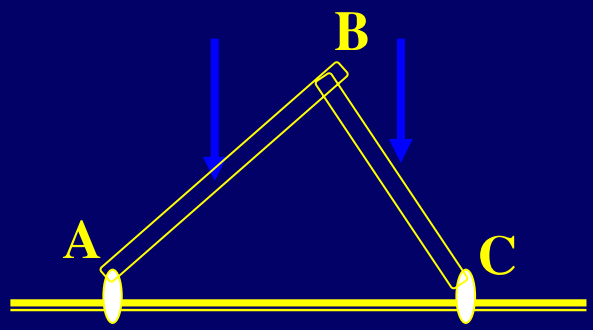
ใช้สมการสมดุลวัตถุคงรูป

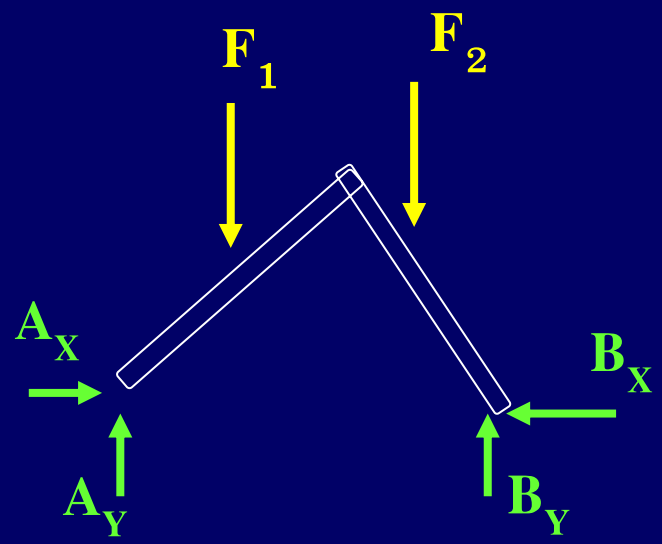
จาก FBD แยกส่วน พบว่า

BE เป็น Two Force Member

นอกนั้นเป็น Multi Force Member

5.11 โครงซึ่งจะไม่คงรูปเมื่อถอดออกจากจุดรองรับ





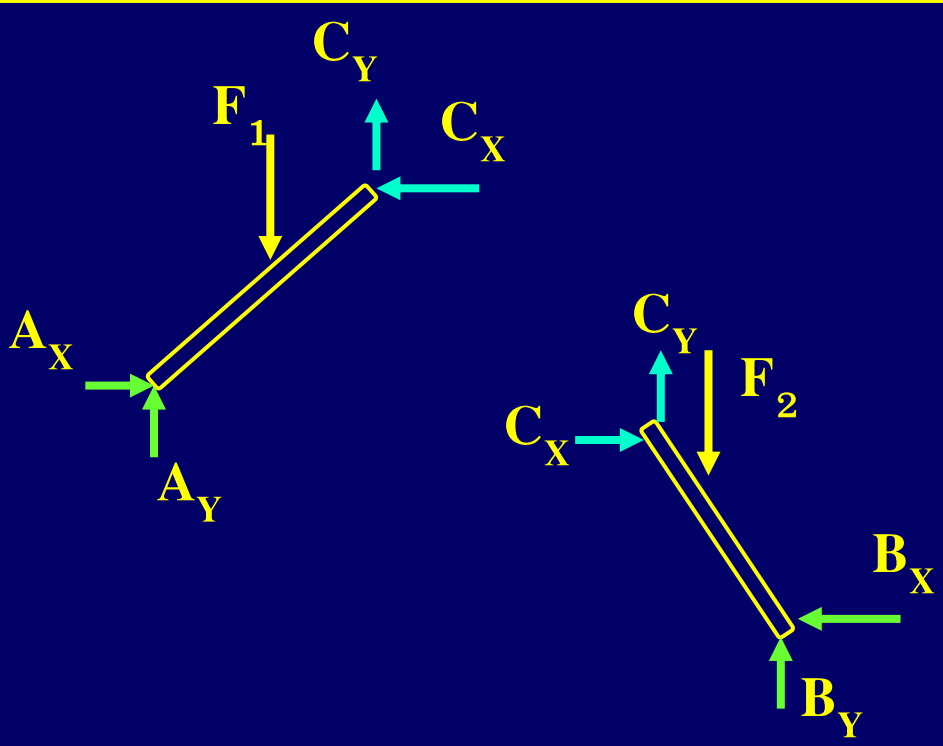
FRAME ในรูปนี้ คงรูปอยู่ได้ เพราะจุดรองรับเป็น Hinge ทั้งคู่ หากถอดออก หรือเปลี่ยนเป็น Roller FRAME นี้จะไม่คงรูป

เมื่อเขียน FBD ทั้งโครง จะปรากฏ Unknown 4 ตัว คือ

A_X, A_Y, B_X, B_Y

ทำให้แก้สมการหาค่าไม่ได้ เพราะมีสมการให้ใช้เพียง 3 สมการเท่านั้น

5.11 โครงซึ่งจะไม่คงรูปเมื่อถอดออกจากจุดรองรับ



เมื่อเขียน FBD แยกส่วน

แต่ละส่วนก็จะมี Unknown 4 ตัว

แก้สมการในแต่ละส่วนไม่ได้

แต่เมื่อพิจารณาชิ้นส่วน 2 ชิ้นร่วมกัน

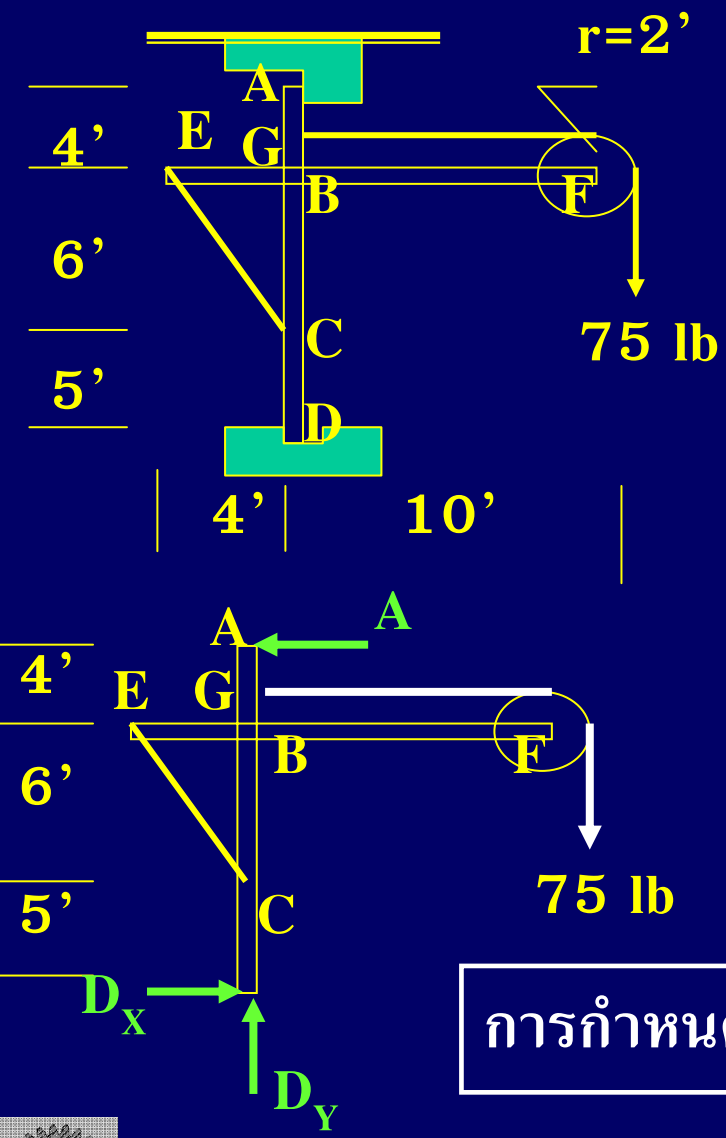
พบว่ามี Unknown 6 ตัว

และสามารถสร้างสมการได้ 6 สมการ

ดังนั้นการวิเคราะห์แรงของชิ้นส่วนโครงสร้างใน FRAME

บางครั้งอาจจะต้อง พิจารณาหลายชิ้นส่วนร่วมกัน

ตัวอย่าง 5.4



ข้อมูล น้ำหนัก 75 lb บรรทุกบนโครง โดยคล้องผ่านรอกที่มีรัศมี 2 ฟุต ดังรูป

ปัญหา หาแรงดึงในเคเบิล EC และแรงย่อยที่ B

วิธีทำ เขียน FBD ทั้งโครง

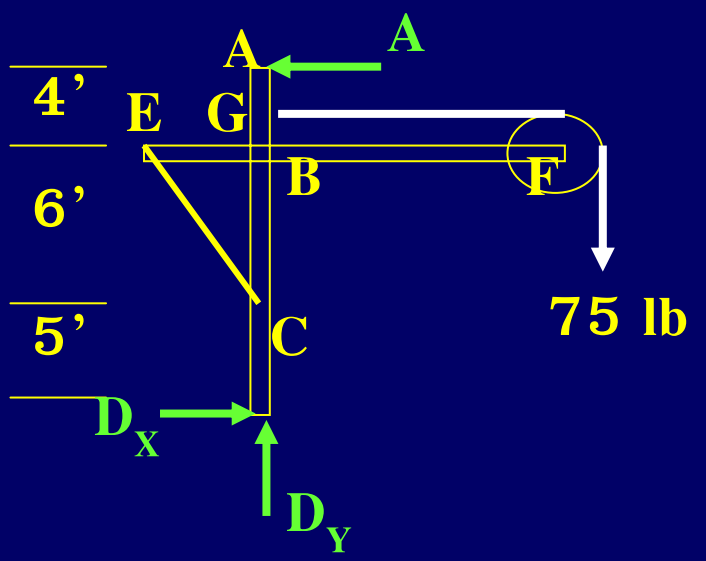
มีแรงปฏิกิริยาคือ

A, D_X, D_Y

การกำหนดทิศทางของแรงใด ๆ ต้องดูตามความน่าจะเป็น

ตัวอย่าง 5.4

หาแรงปฏิกิริยาที่ A และ D



$$\sum F_Y = 0$$

$$D_Y - 75 = 0$$

$$D_Y = 75 \text{ lb.}$$

$$\sum M_D = 0$$

$$-(75 \times 12) + A(15) = 0$$

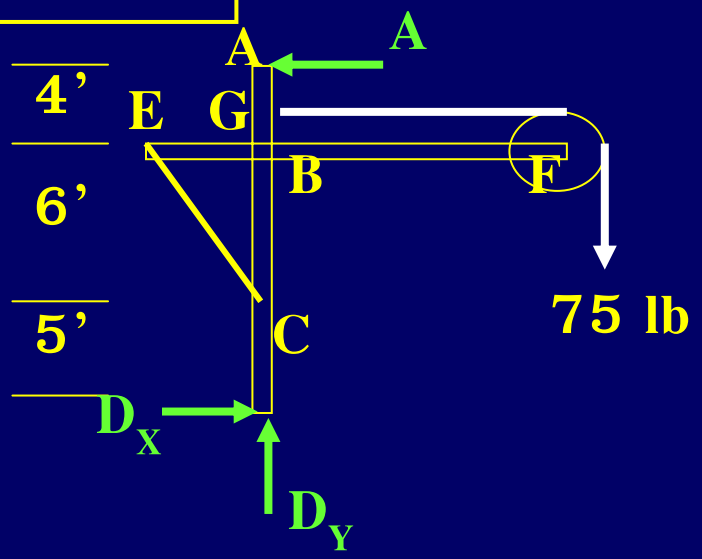
$$A = 60 \text{ lb.}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$-60 + D_X = 0$$

$$D_X = 60 \text{ lb.}$$

ตัวอย่าง 5.4



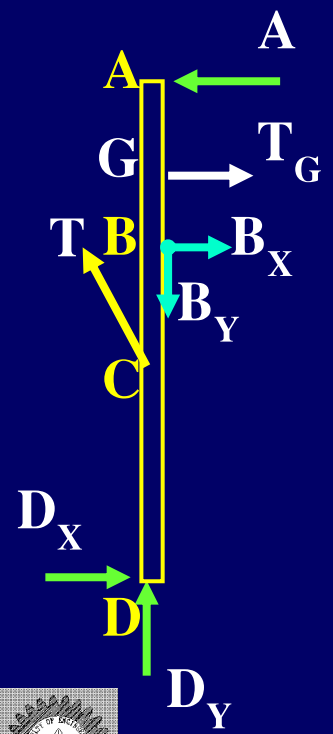
เขียน FBD แยกส่วน

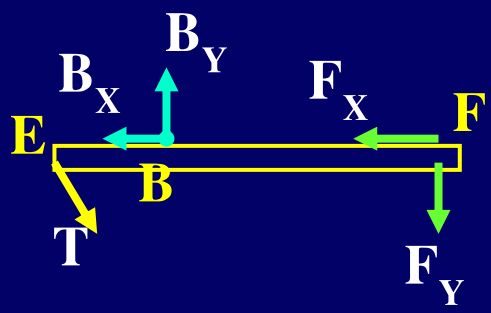
พิจารณาลูกรอก F

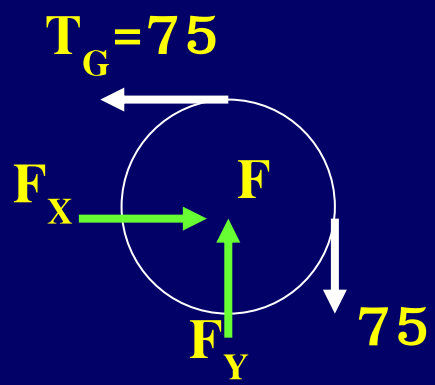
เชือกคล้องรอก จะได้ $T_G = 75$ lb

$\sum F_X = 0$; จะได้ $F_X = 75$ lb

$\sum F_Y = 0$; จะได้ $F_Y = 75$ lb

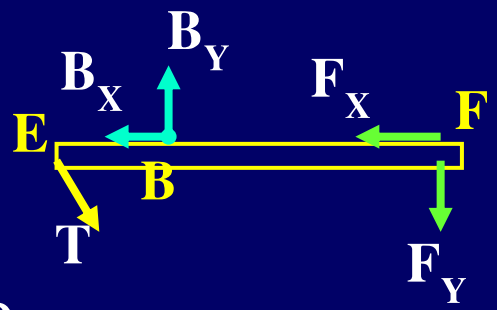


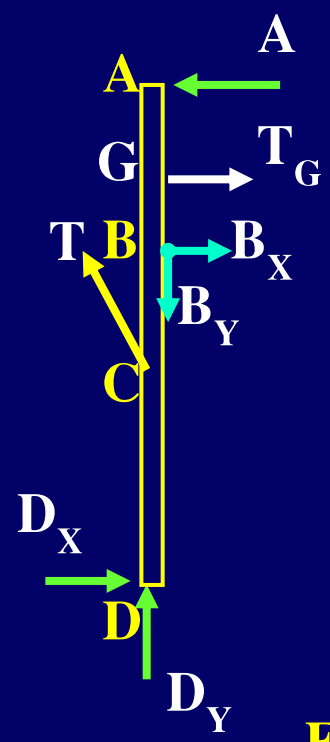


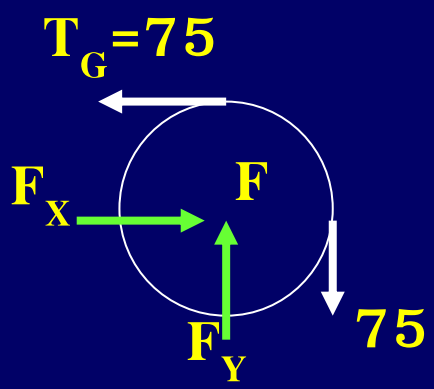


$T_G = 75$ lb., $F_X = 75$ lb., $F_Y = 75$ lb

พิจารณาชิ้นส่วน EF







$\Sigma M_E = 0$

$B_Y(4) - (75x14) = 0$

$B_Y = 263$ lb.

$\Sigma M_B = 0$

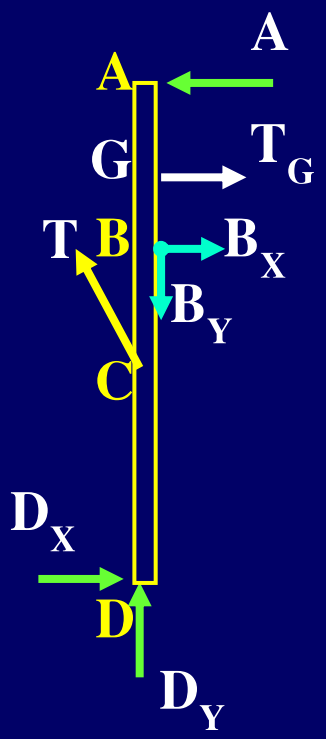
$(T\cos\alpha)(4) - (75x10) = 0$

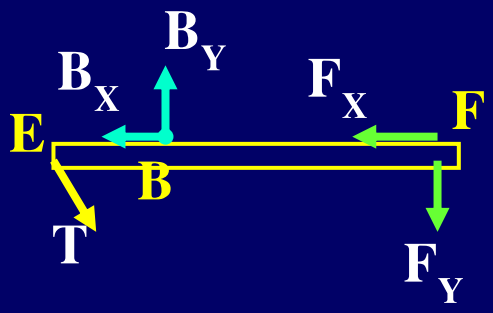
$T = 225$ lb

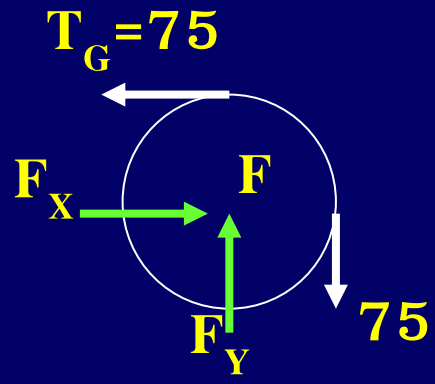
$\Sigma F_X = 0$

$T\sin\alpha - B_X - 75 = 0$

$B_X = 50$ lb.







สรุป

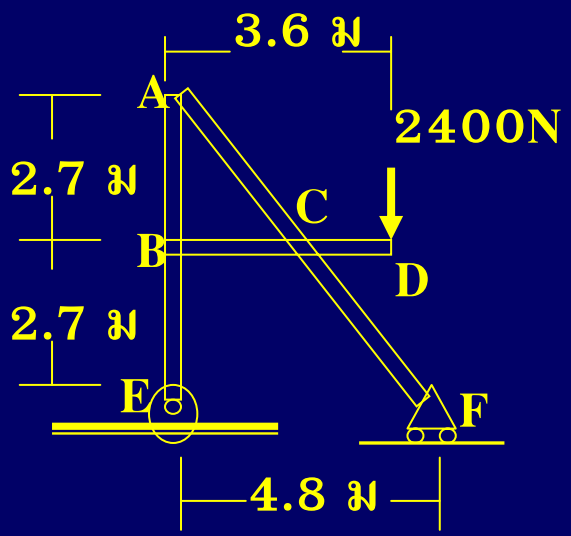
แรงดึงTในเคเบิล EC = 225 lb

แรงย่อยที่ B; B_X = 50 lb, B_Y = 263 lb

ยังเหลือชิ้นส่วนที่ไม่ได้นำมาช่วยคำนวณ คือ ชิ้นส่วน ABD

สามารถนำมาตรวจสอบความถูกต้องได้ โดย $\Sigma F_X = 0$, $\Sigma F_Y = 0$

ตัวอย่าง 5.5

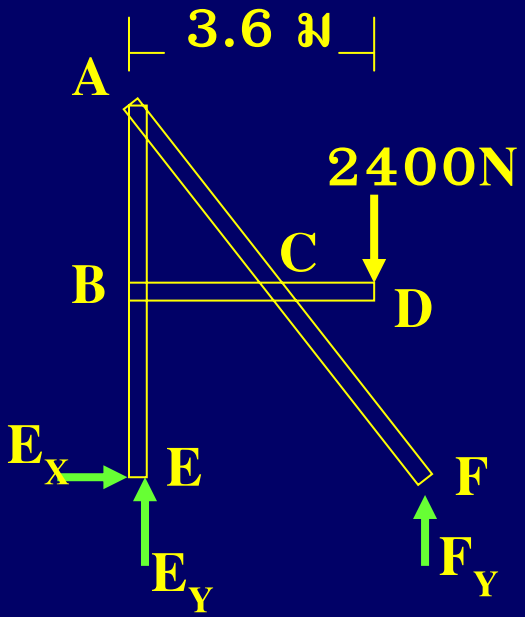


ข้อมูล

นำหนัก 2400 N บรรทุกบนโครงดังรูป

ปัญหา

หาแรงย่อยที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนแต่ละชิ้น

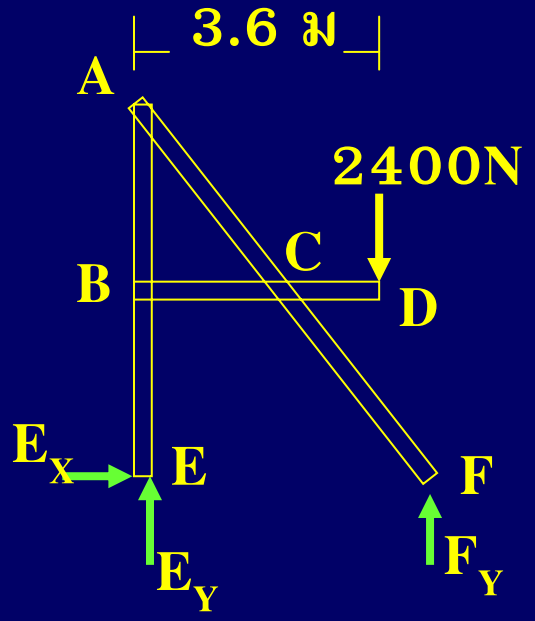


วิธีทำ **เขียน FBD ทั้งโครง**

หาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ

E_X, E_Y, F_Y

ตัวอย่าง 5.5



$$\sum M_E = 0$$

$$F_Y (4.8) - 2400(3.6 = 0$$

$$F_Y = 1800 \text{ N}$$

$$\sum F_X = 0$$

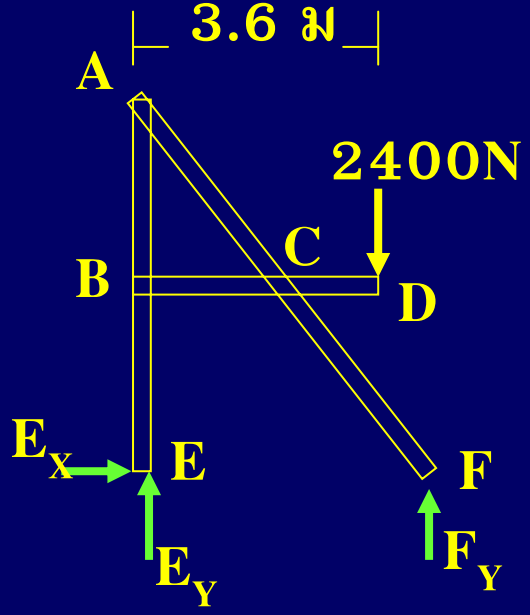
$$E_X = 0$$

$$\sum F_Y = 0$$

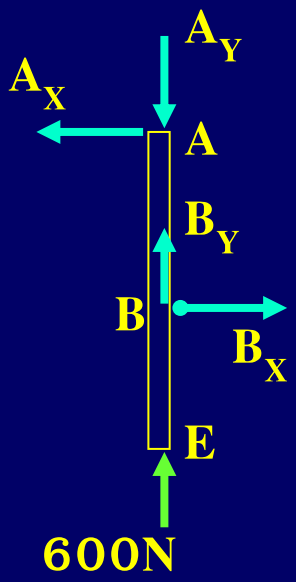
$$E_Y + F_Y - 2400 = 0$$

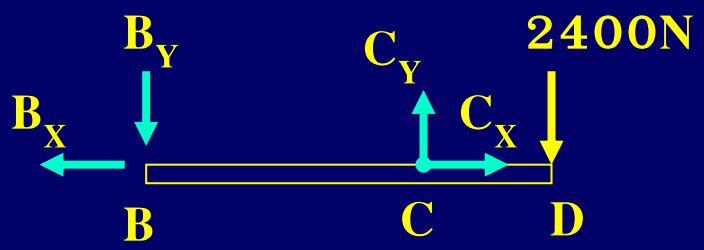
$$E_Y = 600 \text{ N}$$

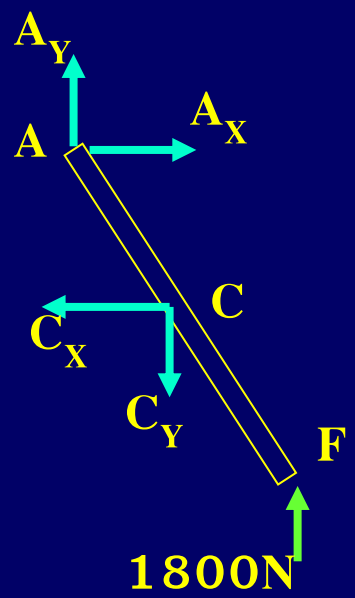
ตัวอย่าง 5.5

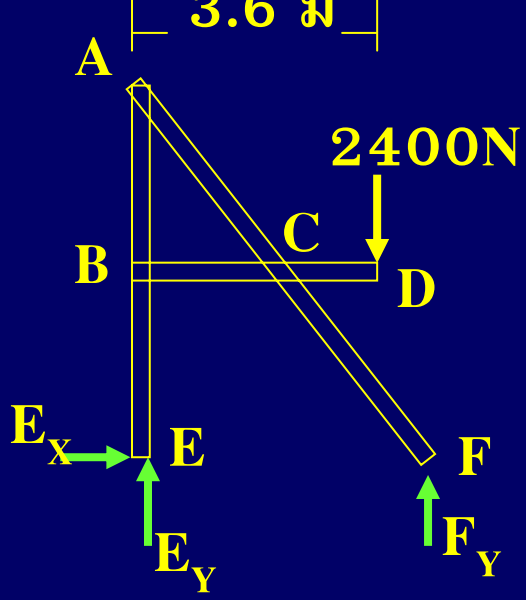


เขียน FBD แยกชิ้นส่วนทั้ง 3 ชิ้น ใส่แรงทั้งหมดให้ครบ โดยกำหนดทิศทางตามที่ควรจะเป็น หากค่าออกมาเป็น – แสดงว่าทิศทางตรงข้ามกับที่กำหนดไว้

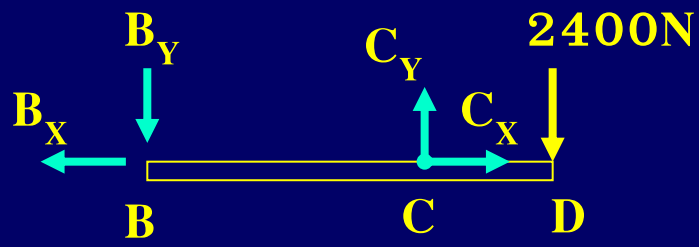








พิจารณาชิ้นส่วน BD



$$\sum M_B = 0$$

$$-(2400X3.6) + C_Y(24) = 0$$

$$C_Y = 3600\ N$$

$$\sum M_C = 0$$

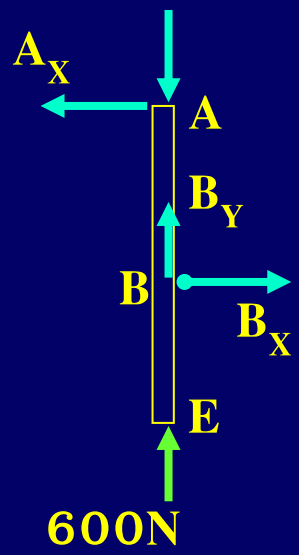
$$-(2400x1.2) + B_Y(2.4) = 0$$

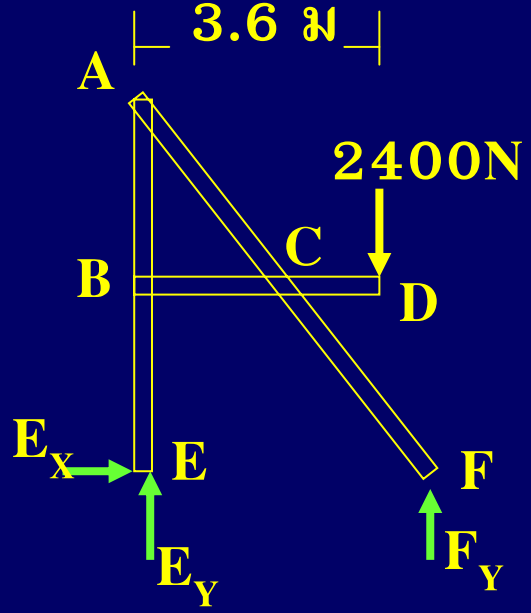
$$B_Y = 1200\ N$$

$$\sum F_X = 0$$

$$-B_X + C_X = 0 \quad \text{----} (1)$$

พิจารณาชิ้นส่วน AE





$$\sum M_A = 0 \qquad B_X = 0$$

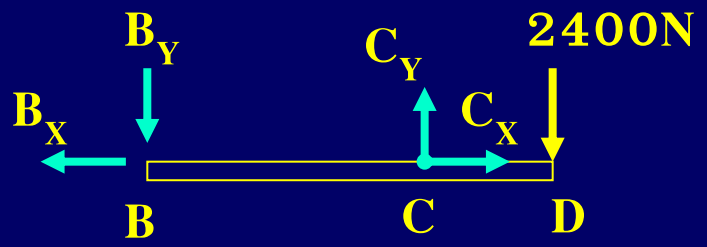
$$\sum F_X = 0 \qquad A_X = 0$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$-A_Y + B_Y + 600 = 0$$

$B_Y = 1200$ $\qquad A_Y = 1800$ N

จาก (1) $\quad B_X = C_X$; $\qquad C_X = 0$

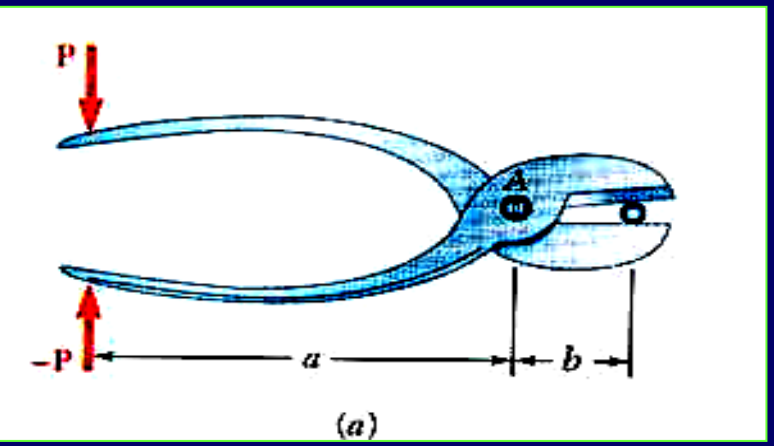


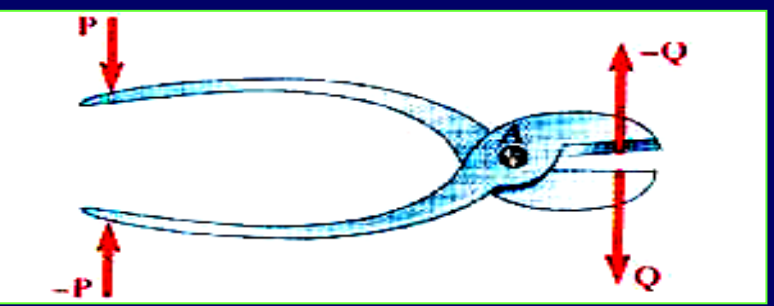
$A_X = 0$, $B_X = 0$, $C_X = 0$,

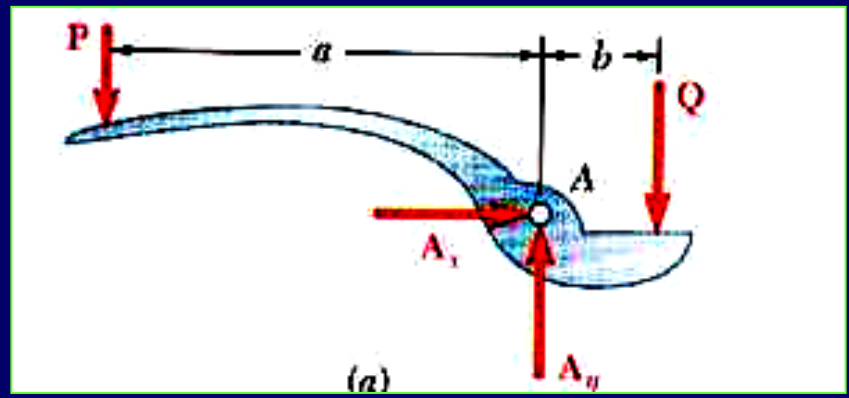
$A_Y = 1800$N, $B_Y = 1200$ N , $C_Y = 3600$ N

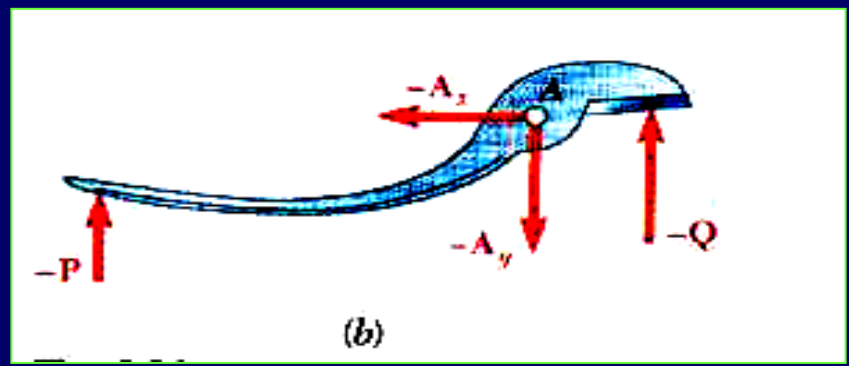
5.12 การวิเคราะห์แรงใน MACHINE

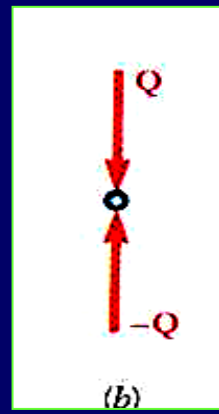
เป็นการวิเคราะห์แรงของชิ้นส่วนในเครื่องกลต่าง ๆ ซึ่งใช้หลักการเดียวกับ FRAME



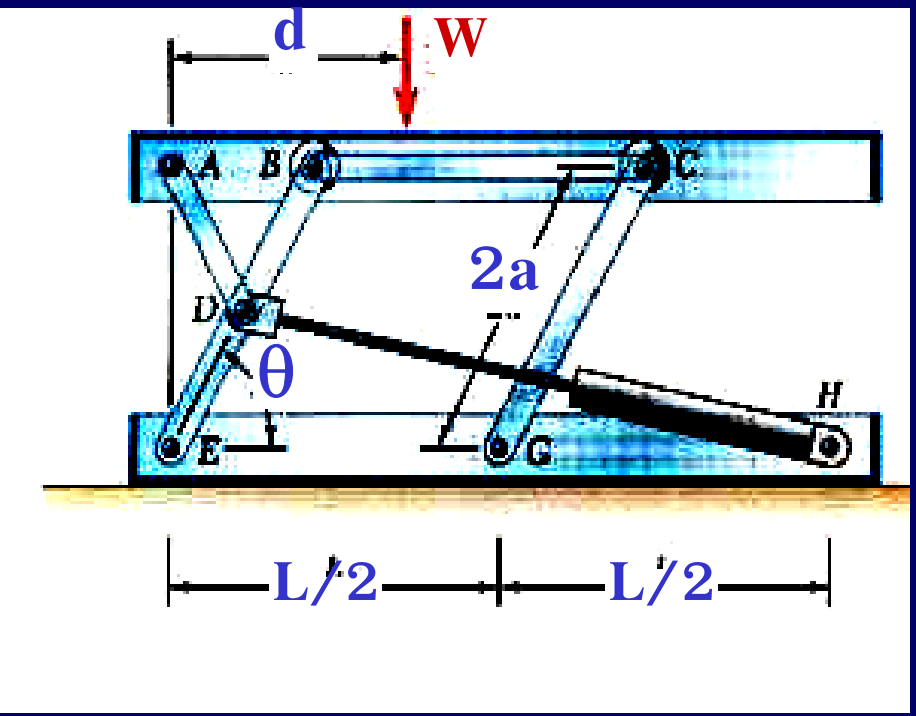








ตัวอย่างที่ 5.7

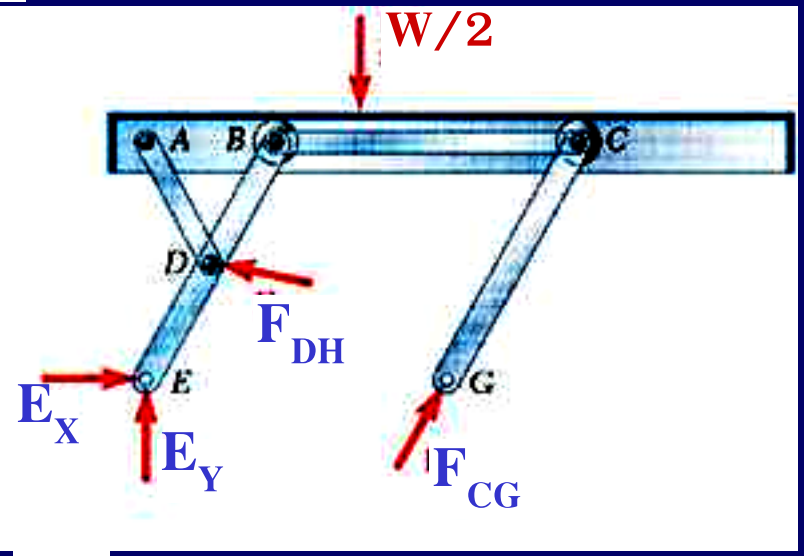


ข้อมูล แท่นแม่แรง ยกกล่องหนัก 1000 kg ใช้กระบอกไฮดรอลิก DH 2 ชุด ดังรูป

θ= 60ฐ a = 0.70 L = 3.20

ปัญหา

1. หาแรงจากกระบอกไฮโดรลิก
2. แสดงผลพิสูจน์ว่าการบรรทุกน้ำหนัก ไม่ขึ้นกับระยะ d



วิธีทำ

เขียน FBD ส่วนโครงแม่แรงทั้งหมด

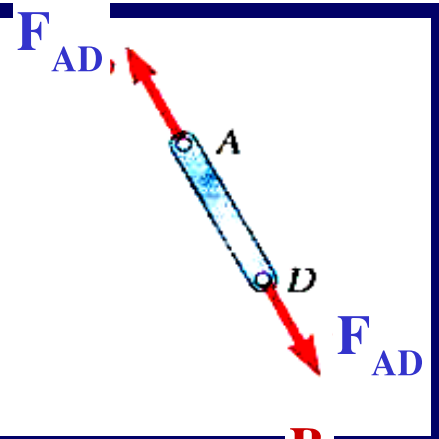
พบว่ามี Unknown 4 ตัว

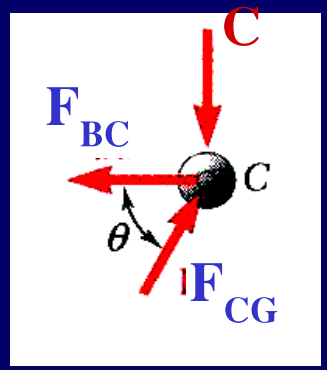
คือ

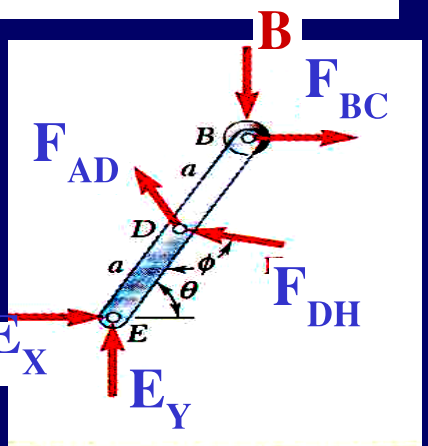
F_{DH}, F_{GC}, E_X, E_Y

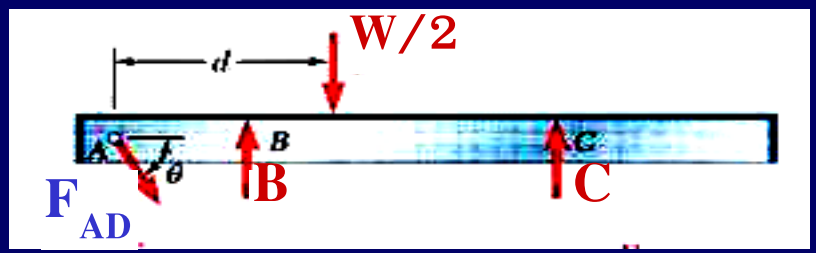
มากกว่าสมการที่มี 3 สมการ

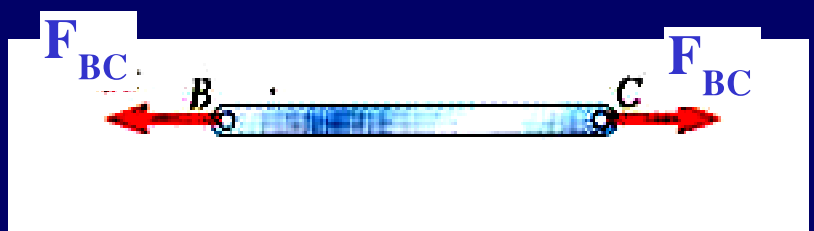
ต้องแยก FBD ของชิ้นสวนย่อยแต่ละชิ้น

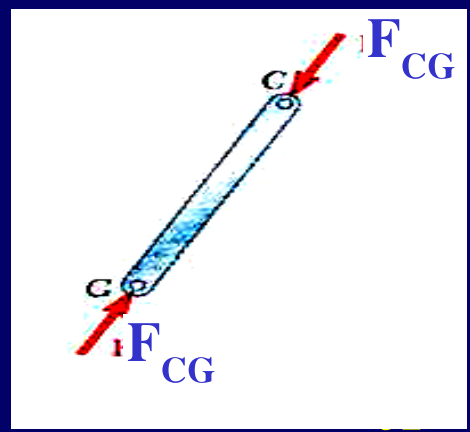


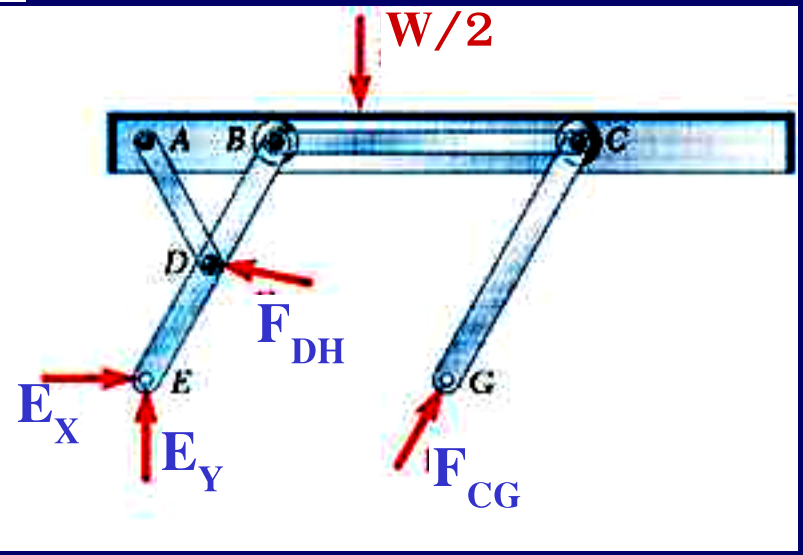




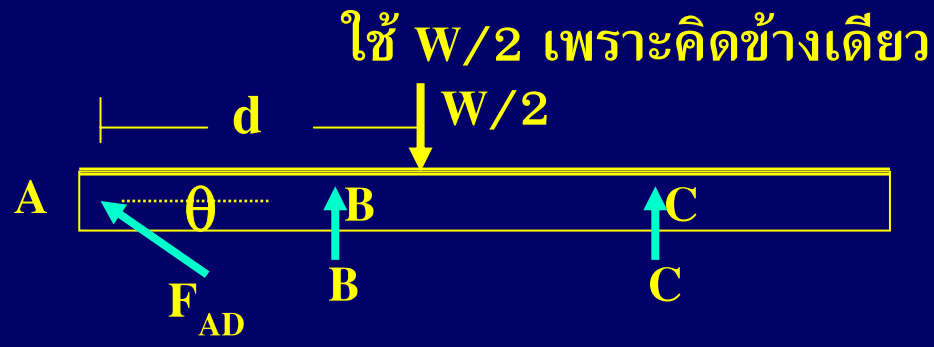








พิจารณา FBD ของชิ้นส่วนแท่น ABC

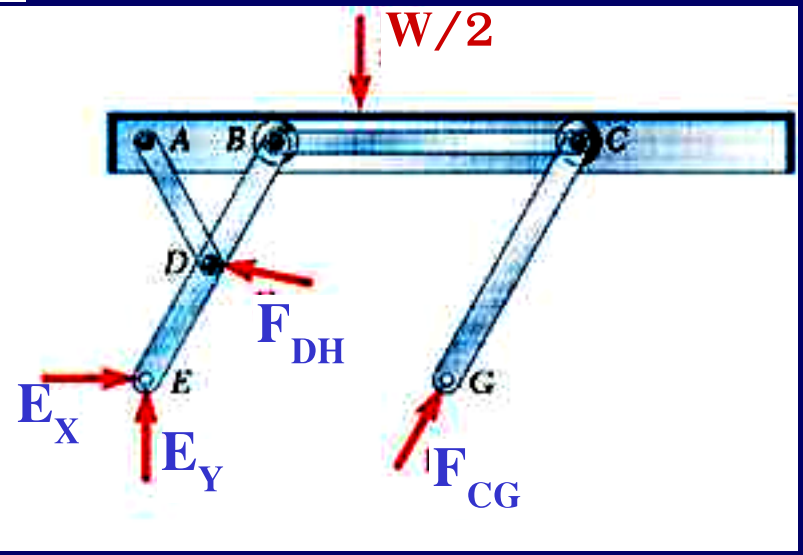


ที่ A ทิศทางแรงอยู่ใน AD เพราะเป็น Two Force Member
ที่ B และ C สัมผัสลูกล้อ แรงขึ้นตรง

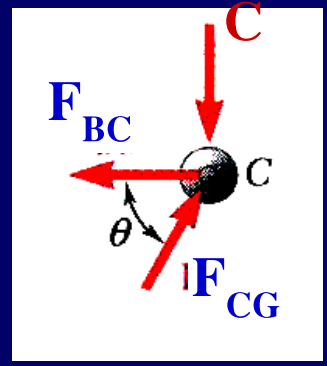
$$\sum F_X = 0; \qquad F_{AD}\cos\theta = 0 \quad \text{---->} \quad F_{AD} = 0$$

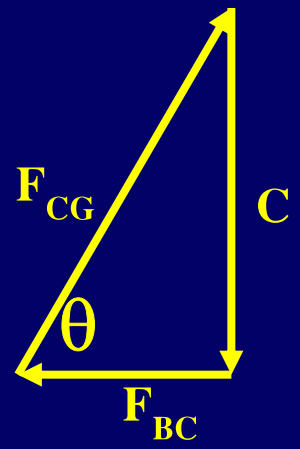
$$\sum F_Y = 0; \qquad B+C-(1/2)W = 0$$

$$B+C = (1/2)W \text{ ----(1)}$$



FBD ของลูกล้อ C





มีแรง 3 แรง

เขียน สามเหลี่ยม

$$F_{BC} = C(\cot\theta) \quad (ก)$$

FBD ชิ้นส่วนขา EDB

$\sum M_E = 0$

$[F_{DH}\{(a)\cos(\phi - 90)\}] - [B\{2(a)\cos\theta\}]$

$- [F_{BC}\{2(a)\sin\theta\} = 0$

$F_{DH}\sin\phi - 2B\cos\theta - 2F_{BC}\sin\theta = 0$

แทนค่า $F_{BC} = C(\cot\theta)$ จาก (ก) จะได้

$F_{DH}\sin\phi - 2B\cos\theta - 2C(\cot\theta)\sin\theta = 0$

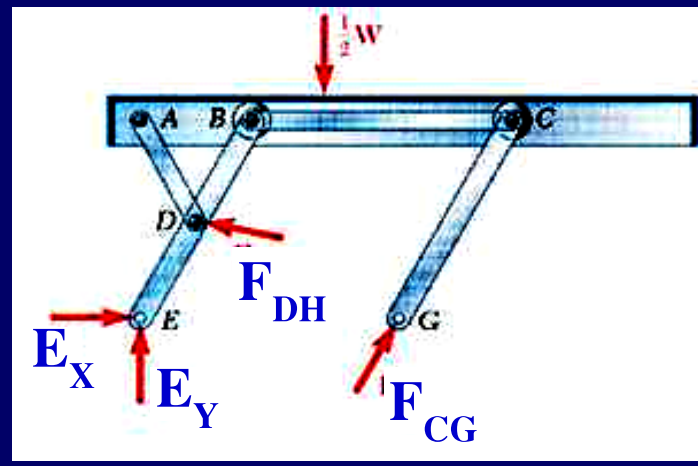
$F_{DH}\sin\phi - 2B\cos\theta - 2C(\cos\theta) = 0$

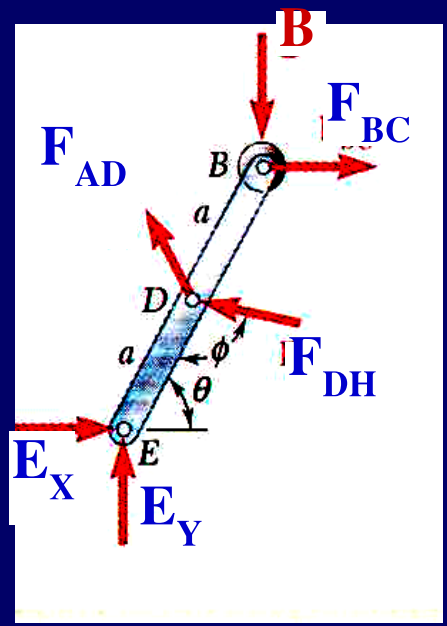
$F_{DH}\sin\phi - 2(B+C)\cos\theta = 0$

แทนค่า $B+C = (1/2)W$ จาก (1) $B+C = (1/2)W$

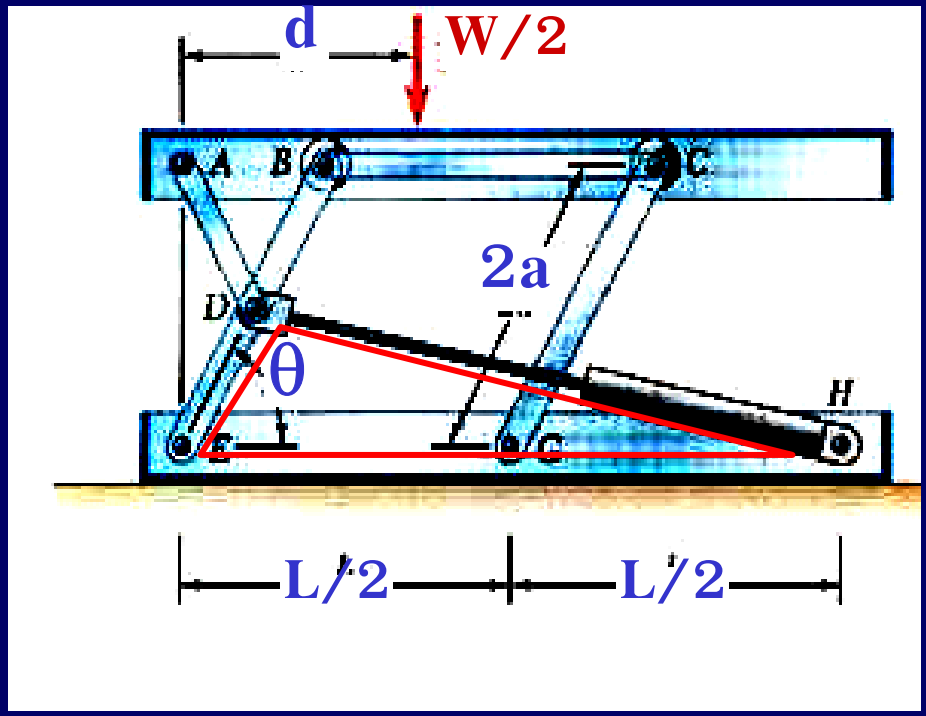
$F_{DH}\sin\phi - 2/(1/2)W(\cos\theta) = 0$

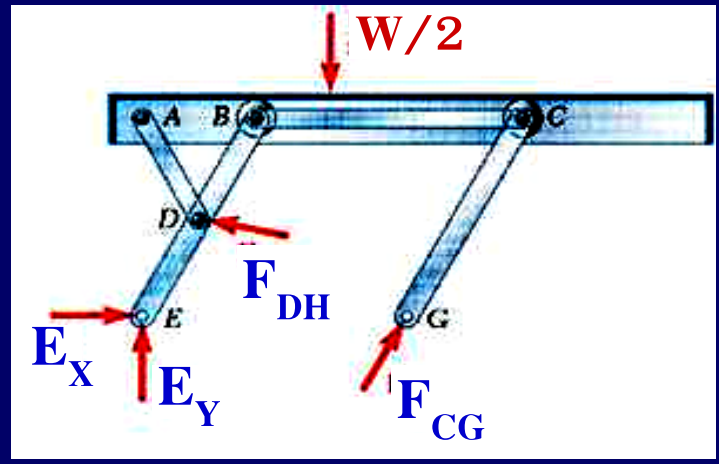
$F_{DH} = W[(\cos\theta)/(\sin\phi)$ .. (2)



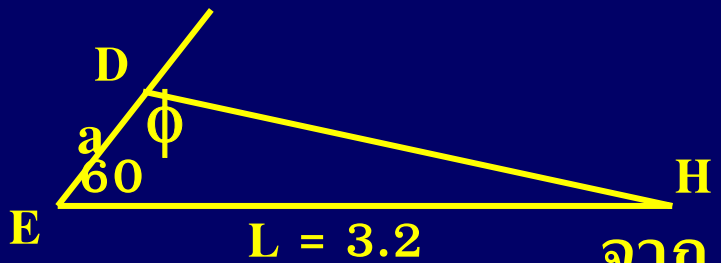


แสดงว่า แรง F_{DH} ไม่เกี่ยวกับระยะ d





จากสามเหลี่ยม DHE

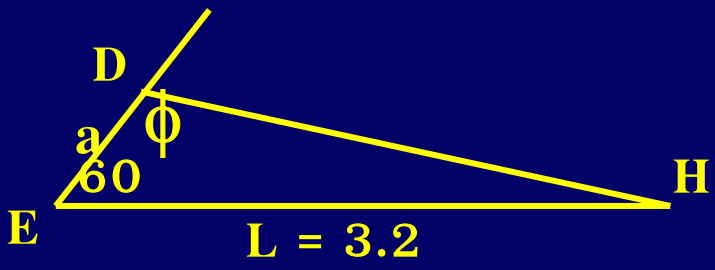


a=0.7

จาก $F_{DH} = W[(\cos\theta)/(\sin\phi)$ -- (2)

หาค่า F_{DH} โดยจะต้องทราบค่า$\sin\phi$

ค่า$\sin\phi$ หาได้จากสามเหลี่ยม DHE



a=0.7

ใช้ Cosine Law

$(DH)^2 = a^2+L^2 - 2aL\cos 60$ฐ

DH = 2.91 m

ใช้ Sine Law

$DH/\sin 60 = EH/\sin\phi$

$\sin\phi = EH(\sin 60)/DH$

$\sin\phi = 0.95233$

$F_{DH} = W[(\cos\theta)/(\sin\phi)$ -- (2)

แทนค่า $\sin\phi = 0.95233$ ลงใน (2)

$F_{DH} = 1000(\cos 60/0.95233)$

$F_{DH} = 5.15$ kN

สรุป 1. แรงในกระบอก ไฮดรอลิกเท่ากับ 5.15 kN

2. แรงในกระบอก ไฮดรอลิก ไม่ขึ้นกับตำแหน่งการวางน้ำหนัก (d)

บทที่ 5