CEN 432

การออกแบบคอนกรีตอัดแรง

บทที่ 1 บทนำ

TUMCIVIL.COM Engineering Software Center
engfanatic CLUB & member

หัวข้อที่ต้องศึกษา

1.1 คอนกรีตอัดแรงคืออะไร

1.2 ประวัติความเป็นมาของคอนกรีตอัดแรง

1.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างคอนกรีตอัดแรงกับคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

1.4 วิธีการอัดแรง

- 1.4.1 คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อน
- 1.4.2 คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กทีหลัง

1.5 ข้อกำหนดของการออกแบบ

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

TUMCIVIL.COM Engineering Software Center
engfanatic CLUB & member

หัวข้อที่ต้องศึกษา

1.6 น้ำหนักบรรทุกโครงสร้าง

1.7 หลักการวิเคราะห์และออกแบบคอนกรีตอัดแรง

1.7.1 หลักการรวมแรง (combined load concept)

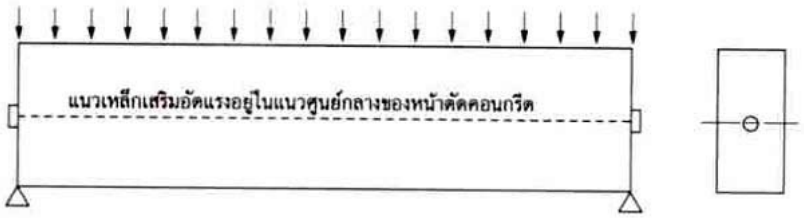
1.7.2 หลักการแรงคู่ควบคุมภายใน (internal couple concept)

1.7.3 หลักการพยุงเพื่อต้านทานน้ำหนักบรรทุกภายนอก

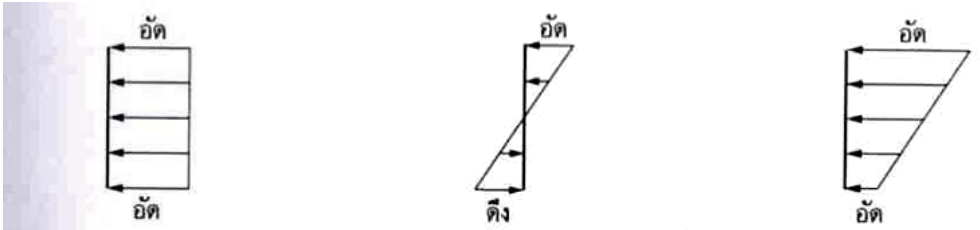
1.1 คอนกรีตอัดแรงคืออะไร

การอัดแรง (prestress) หมายถึง การให้ความเค้น (stress) แก่องค์อาคาร (member) แม้คณะที่องค์อาคารนั้นยังไม่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำ ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างคอนกรีตเสริมเหล็กกับคอนกรีตอัดแรง คือ คอนกรีตเสริมเหล็กจะประกอบไปด้วยคอนกรีตและเหล็กเสริม แต่ในคอนกรีตอัดแรงเหล็กเสริมกับคอนกรีตจะอยู่ในสภาพตั้งแต่แรก ทั้งๆที่ยังมิได้รับแรงกระทำจากภายนอก

หน่วยที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีตของคานคอนกรีตอัดแรง

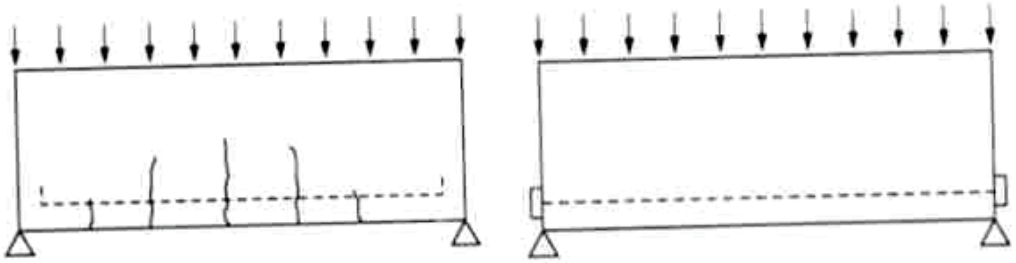


(ก) คานคอนกรีตอัดแรง



(ข) หน่วยแรงเนื่องจากการอัดแรง (ค) หน่วยแรงเนื่องจากโมเมนต์ภายนอก (ง) ผลรวมหน่วยแรงจาก (ข) และ (ค)

คานคอนกรีตเสริมเหล็กและคานคอนกรีตอัดแรง



(ก) คอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป (ข) คอนกรีตอัดแรง

คานคอนกรีตเสริมเหล็กและคานคอนกรีตอัดแรง

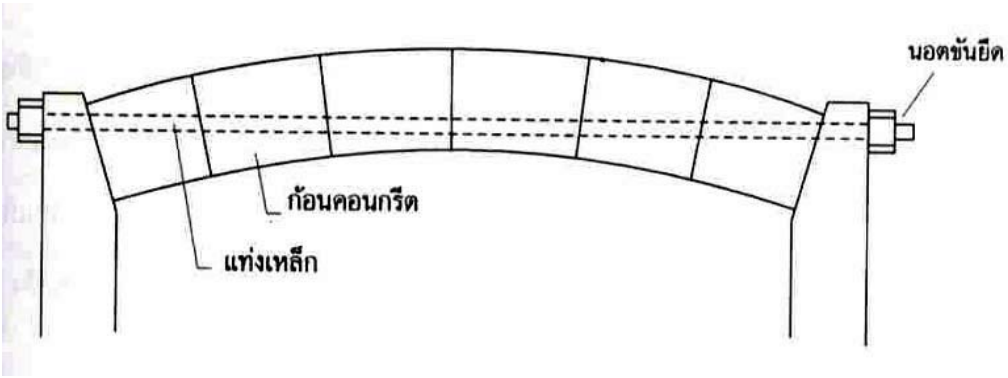
TUMCIVIL.COM
engfanatic CLUB

1.2 ประวัติความเป็นมาของคอนกรีตอัดแรง

ความรู้ในการอัดแรงได้ปรากฏเป็นหลักฐานมาเป็นเวลานานแล้ว แต่ผู้ที่นำความรู้เรื่องอัดแรงมาใช้กับงานคอนกรีตเป็นคนแรก คือ P.H. Jackson วิศวกรชาวอเมริกา โดยการใช้แท่งเหล็กขัดยึดก้อนคอนกรีตเพื่อใช้เป็นพื้นและหลังคาในปี ค.ศ. 1886

TUMCIVIL.COM
engfanatic CLUB

การใช้งานคอนกรีตอัดแรงโดย P.H. Jackson



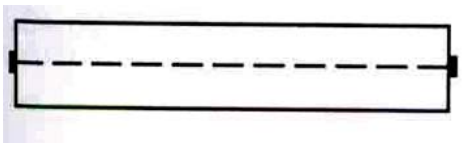
การใช้งานคอนกรีตอัดแรงโดย P.H. Jackson

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000
TUMCIVIL.COM engfanatic CLUB

หน่วยการยืดตัวและหน่วยแรงดึงที่เกิดในลวดอัดแรง

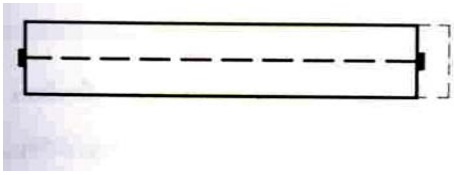
ความยาวเดิม

$(\varepsilon_s = 0, \sigma_s = 0)$



เมื่อลวดถูกดึงค้างไว้บนคอนกรีต

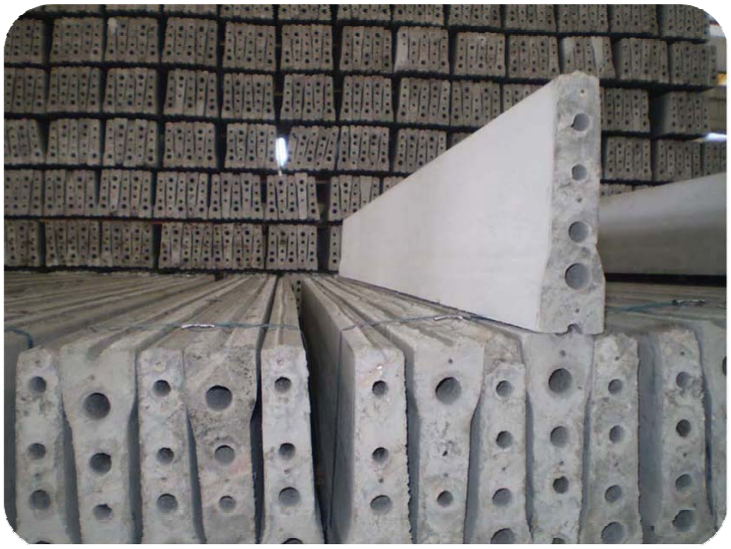
$(\varepsilon_s = 0.0059, \sigma_s = 12,000$ กก./ซม.$^2)$



เมื่อคอนกรีตหดตัว เนื่องจากผลของ
การหดตัว และ การคืบ

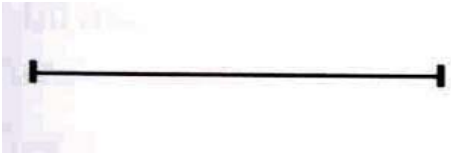
$(\varepsilon_s = 0.0050, \sigma_s = 10,200$ กก./ซม.$^2)$

หน่วยการยืดตัวและหน่วยแรงดึงที่เกิดในลวดอัดแรง



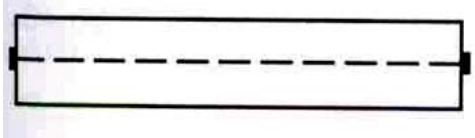
หน่วยการยืดตัวและหน่วยแรงดึงที่เกิดในลวดอัดแรง

หน่วยการยืดตัวและหน่วยแรงดึงที่เกิดในลวดอัดแรง



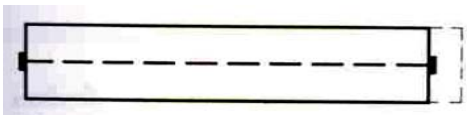
ความยาวเดิม

$(\varepsilon_s = 0, \sigma_s = 0)$



เมื่อลวดถูกดึงค้างไว้บนคอนกรีต

$(\varepsilon_s = 0.0059, \sigma_s = 12,000$ กก./ซม.$^2)$



เมื่อคอนกรีตหดตัว เนื่องจากผลของการหดตัว และ การคืบ

$(\varepsilon_s = 0.0050, \sigma_s = 10,200$ กก./ซม.$^2)$

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000
TUMCIVIL.COM engfanatic CLUB

หน่วยการยืดตัวและหน่วยแรงดึงที่เกิดในลวดอัดแรง

1.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างคอนกรีตอัดแรงกับคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

ก) ด้านเวลา

โดยทั่วไปการก่อสร้างระบบคอนกรีตอัดแรงกระทำได้เร็วกว่าระบบคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป เนื่องมาจากมีข้อได้เปรียบต่างๆ เช่น การวางเหล็กเสริมที่น้อยกว่าสามารถถอดแบบได้ทันทีเมื่อขั้นตอนการดึงเหล็กเสริมอัดแรงเสร็จสิ้น

1.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างคอนกรีตอัดแรงกับคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

ข) ด้านราคา

ทางตรง วัสดุที่ใช้งานคอนกรีตอัดแรงเป็นวัสดุที่มีคุณภาพสูง คือ คอนกรีตและเหล็กเสริมที่มีกำลังสูงโดยที่ปริมาณวัสดุที่ใช้จะน้อยและโครงสร้างมีขนาดลดลง

1.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างคอนกรีตอัดแรงกับคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

ข) ด้านราคา

ทางอ้อม เนื่องจากระบบคอนกรีตอัดแรงสามารถทำได้รวดเร็ว ทำให้ประหยัดค่าโสหุ้ย (overhead) ในการก่อสร้าง และการถอดแบบที่เร็วขึ้น ทำให้สามารถนำไม้แบบมาหมุนเวียนได้เร็วขึ้น ซึ่งทำให้ลดจำนวนไม้แบบที่ใช้ลง

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000
TUMCIVIL.COM engfanatic CLUB

1.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างคอนกรีตอัดแรงกับคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

ค) ด้านคุณภาพ

ก) คอนกรีตอัดแรงเหมาะสำหรับโครงสร้างที่มีความยาวและรับน้ำหนักบรรทุกมาก ทำให้รูปร่างไม่ใหญ่โตเทอะทะ

ข) คอนกรีตอัดแรงสามารถออกแบบให้ไม่มีรอยแตกร้าวในคอนกรีตขณะใช้งาน

ค) การโก่งตัว (deflection) ของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง

ง) คอนกรีตอัดแรงสามารถต้านทานการกัดกร่อน (corrosion)

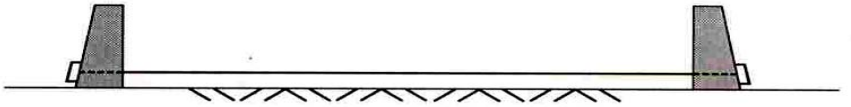
1.4 วิธีการอัดแรง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วการอัดแรงเป็นการทำให้เกิดแรงดึงสูงในเหล็กเสริม ซึ่งก่อให้เกิดหน่วยแรงอัดในคอนกรีต การดึงเหล็กก่อนหรือหลังการเทคอนกรีตนี้ สามารถทำให้แบ่งชนิดของคอนกรีตอัดแรงเป็น

- คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อน (pretensioned concrete)

- คอนกรีตอัดแรงดึงเหล็กที่หลัง (porttensioned concrete)

ขั้นตอนการอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อน



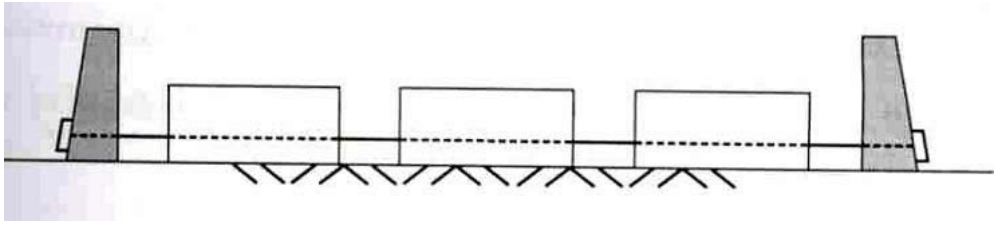
(ก) เหล็กเสริมอัดแรงถูกดึงค้างไว้ระหว่างที่ค้ำ (abutment) ทั้งสองข้าง

(ข) หล่อคอนกรีตและทำการบ่ม

(ค) ตัดเหล็กเสริมอัดแรงที่ปลายทั้งสอง

1.4.1 คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อน

การดึงเหล็กจะกระทำก่อนการหล่อคอนกรีต เหล็กเสริมอัดแรงจะถูกดึงค้างไว้ที่ระหว่างที่ค้ำ ที่ปลายทั้งสองข้าง หลังจากที่ติดตั้งไม้แบบ ก็จะหล่อคอนกรีตลงในไม้แบบซึ่งมีเหล็กเสริมที่ดึงค้างไว้



การหล่อชิ้นงานหลายๆชิ้นพร้อมกันโดยการอัดแรงชนิดดึง เหล็กก่อน

1.4.2 คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กทีหลัง

คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กทีหลัง เริ่มต้นโดยการหล่อคอนกรีตในไม้แบบที่ได้ติดตั้งโดยจะต้องมีการฝังท่อสำหรับร้อยเหล็กเสริม ในตำแหน่งที่ออกแบบไว้ โดยปกติเหล็กเสริมอัดแรงจะร้อยผ่านท่อไว้โดยยังไม่ดึงก่อนการเทคอนกรีตในกรณีที่ระบบมีการยึดเหนียวนิยมใช้กับอาคารใหญ่ เช่น อาคารสำนักงาน โรงแรม และโรงพยาบาล เป็นต้น

1.5 ข้อกำหนดของการออกแบบ

การออกแบบคอนกรีตอัดแรง มีขั้นตอนมากว่าคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปเนื่องจากมีขั้นตอนที่มากว่า การออกแบบต้องควบคุมถึงความปลอดภัยของโครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุก และการเสียรูป (deformation) ซึ่งอาจจะเกิดในระหว่างการก่อสร้างและการใช้งาน โดยปกติขั้นตอนการออกแบบต้องมีการวิเคราะห์ตรวจสอบโครงสร้างภายใต้สถานะ 2 ประเภทดังนี้

ก) สถานการณ์ใช้งาน (service state)

ที่สถานการณ์ใช้งานโครงสร้างต้องมีความสามารถในการใช้งานตามกำหนด หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและในเหล็กจะต้องไม่เกินค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ การโก่งตัว การแตกร้าวและการกัดกร่อนต้องไม่มากเกินข้อกำหนด

ข) สถานะประลัย (ultimate state)

เป็นสถานะที่โครงสร้างสิ้นสุดความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก การวิเคราะห์ที่สถานะนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักเกินน้ำหนักบรรทุกก่อนโครงสร้างจะพังลง ซึ่งในการออกแบบจะต้องมีตัวคูณน้ำหนัก ไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนด มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตอัดแรง ว.ส.ท. ปี 2537

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000
TUMCIVIL.COM engfanatic CLUB

1.6 น้ำหนักบรรทุกโครงสร้าง

ในการออกแบบผู้ออกแบบจะต้องคำนวณน้ำหนักบรรทุกที่ (dead load) และน้ำหนักบรรทุกจร (live load) สำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่สามารถคำนวณได้โดยปริมาตรของคอนกรีตและความหนาแน่นของคอนกรีต โดยความหนาแน่นของคอนกรีตเท่ากับ 2,400 กก/ม3 ส่วนการกำหนดน้ำหนักการบรรทุกจร ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของโครงสร้างนั้นๆ

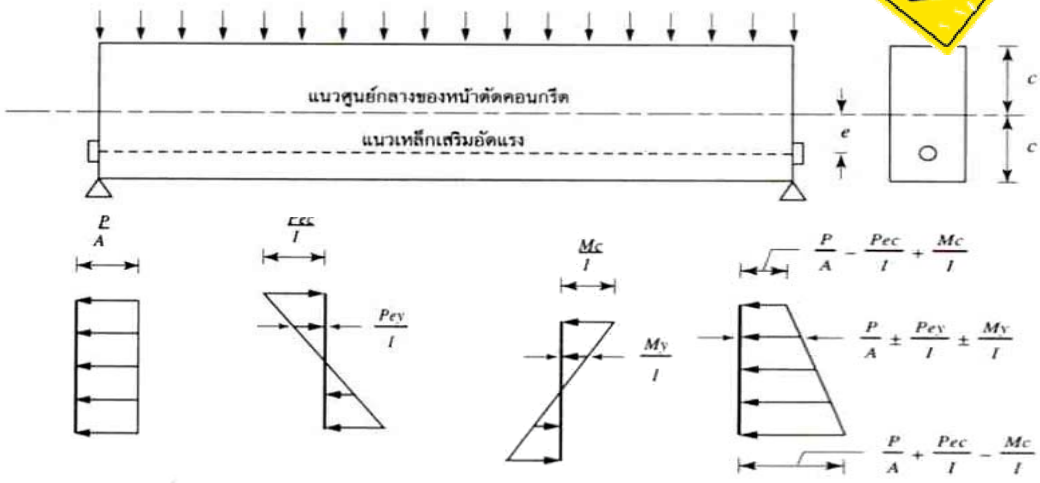
1.7 หลักการวิเคราะห์และออกแบบคอนกรีตอัดแรง

มีหลักการ 3 แบบที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบคอนกรีตอัดแรง หลักการแต่ละแบบเหมาะกับการคำนวณแต่ละอย่าง ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้หลักการทั้งสามเพื่อให้ได้การวิเคราะห์ที่ดีที่สุด

1.7.1 หลักการรวมแรง (combined load concept)

หลักการนี้ใช้วิธีการคำนวณหน่วยแรง ที่เกิดขึ้นบนคอนกรีตจากผลแรงต่างๆแยกอิสระ เช่น คำนวณหน่วยแรงที่เกิดจากการอัดแรง หน่วยที่เกิดจากน้ำหนักตัวเอง หน่วยแรงที่เกิดจากภายนอก แล้วจึงนำทั้งหมดมารวมกัน

การกระจายของหน่วยแรงบนหน้าตัดคอนกรีต



หน่วยแรงที่เกิดจากผลของการอัดแรงในส่วนของแรงตามแนวแกน

หน่วยแรงที่เกิดจากผลของการอัดแรงในส่วนของการเยื้องศูนย์

หน่วยแรงที่เกิดจากโมเมนต์ภายนอก

หน่วยแรงที่เกิดจากการอัดแรงและจากโมเมนต์ภายนอก

ก) หน่วยแรงดันที่เกิดจากผลของการอัดแรง

หน่วยแรงที่เกิดจากแรงตามแนวแกน มีค่าเท่ากับ

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

หน่วยแรงที่เกิดจากโมเมนต์เนื่องจากการเยื้องศูนย์ (Pe)

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{Pey}{I}$$

ดังนั้นหน่วยแรงที่เกิดจาดผลการอัดแรงมีค่า

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{Pey}{I}$$

โดยที่

σ	คือ	หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีต ณ ตำแหน่งใด ๆ
P	คือ	แรงอัดประสิทธิผลของเหล็กเสริมอัดแรง
A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของคาน
e	คือ	ระยะเยื้องศูนย์ของเหล็กเสริมอัดแรงจากแนวศูนย์กลางของหน้าตัดคาน
y	คือ	ระยะระหว่างตำแหน่งบนหน้าตัดคอนกรีตที่พิจารณากับแนวศูนย์กลางของหน้าตัด
I	คือ	โมเมนต์อินเนอร์เชีย (moment inertia) ของหน้าตัด

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000
TUMCIVIL.COM Engineering Software Center
engfanatic CLUB a member

ข) หน่วยที่เกิดจากโมเมนต์ภายนอก

ถ้าโมเมนต์ภายนอก M กระทำต่อหน้าตัดคานหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีต ณ ตำแหน่งใดๆมีค่า

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

หน่วยแรงรวมที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีต ณ ตำแหน่งใดๆ จึงมีค่า

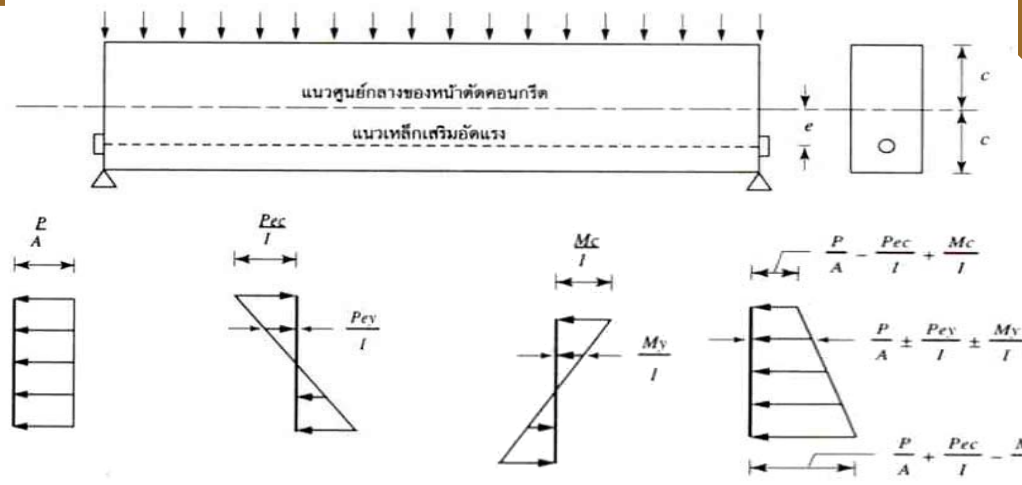
$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{Pey}{I} \pm \frac{My}{I}$$

และหน่วยที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีตที่ผิวบนสุด หรือ ล่างสุด ของหน้าตัดคอนกรีตมีค่า

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{Pec}{I} \pm \frac{Mc}{I}$$

โดยที่ c คือ ระยะที่วัดจากกลางของหน้าตัดถึงผิวบนหรือล่างสุดของคาน

ข) หน่วยที่เกิดจากโมเมนต์ภายนอก



หน่วยแรงที่เกิดจากผลของการอัดแรงในส่วนของแรงตามแนวแกน

หน่วยแรงที่เกิดจากผลของการอัดแรงในส่วนของการเยื้องศูนย์

หน่วยแรงที่เกิดจากโมเมนต์ภายนอก

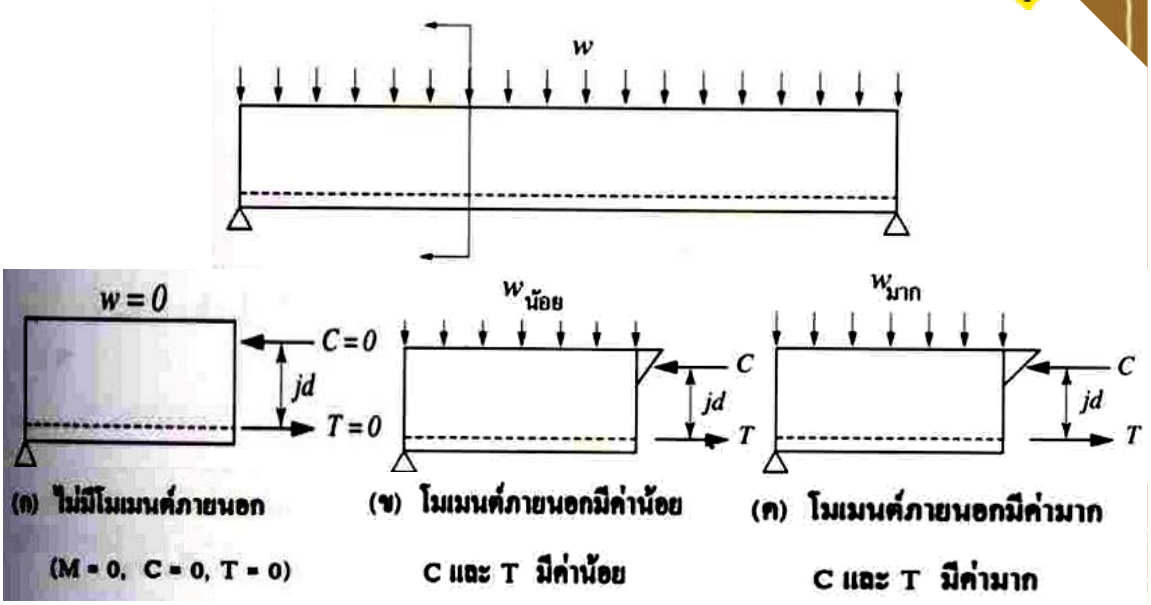
หน่วยแรงที่เกิดจากการอัดแรงและจากโมเมนต์ภายนอก

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000
TUMCIVIL.COM engfanatic CLUB

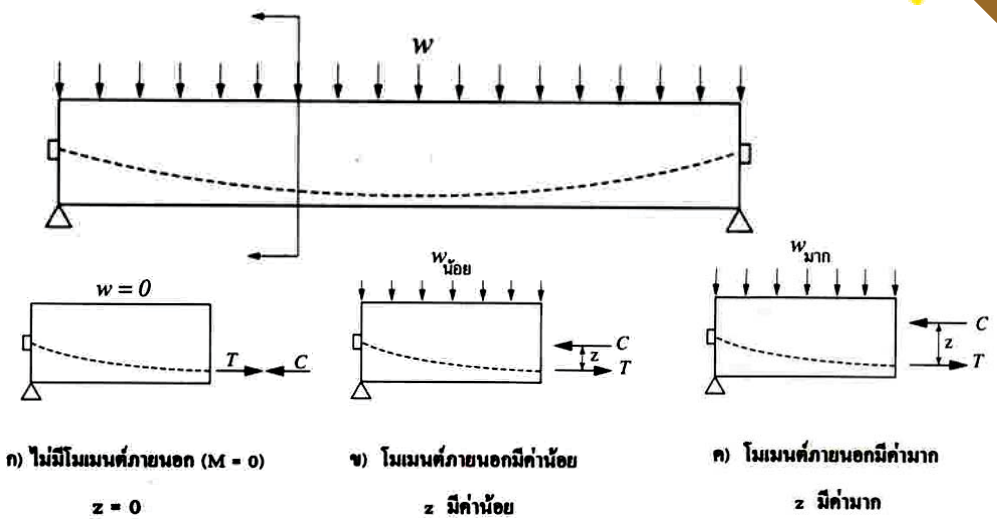
1.7.2 หลักการแรงคู่ควบคุมภายใน (internal couple concept)

หลักการนี้เป็นหลักการที่ใช้ในคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป และคอนกรีตอัดแรงหลักการนี้คือ โมเมนต์ภายนอกทั้งหมด M จะถูกต้านทานโดยโมเมนต์ภายในซึ่งเกิดจากแรงคู่ควบ C-T การทำบนหน้าตัดคานโดยที่ C คือแรงอัดที่เกิดขึ้นบนคอนกรีต และ T คือ แรงในเหล็ก ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงอัดประสิทธิผล P นั้นเอง

แรงคู่ควบ C-T และแขนโมเมนต์ jd ในคอนกรีตเสริมทั่วไป



แรงคู่ควบ C-T และแขนโมเมนต์ Z ในคอนกรีตอัดแรง



ก) ไม่มีโมเมนต์ภายนอก (M = 0)
z = 0

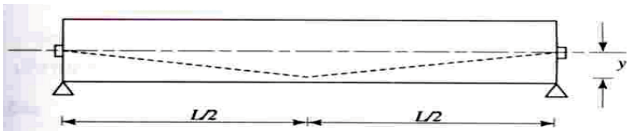
ข) โมเมนต์ภายนอกมีค่าน้อย
z มีค่าน้อย

ค) โมเมนต์ภายนอกมีค่ามาก
z มีค่ามาก

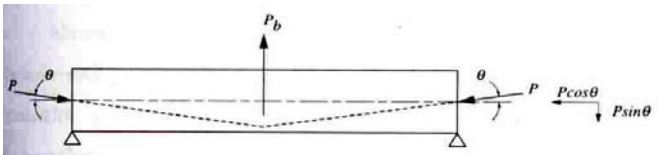
1.7.3 หลักการพยุงเพื่อต่านทานน้ำหนักบรรทุกภายนอก

หลักการนี้พิจารณาการอัดแรงเป็นการทำเพื่อผลการต้านทานน้ำหนักบรรทุกภายนอกโดยพิจารณาจากการแรงกระทำทั้งหมดของเหล็กเสริมอัดแรงต่อคานทั้งระบบ เหล็กเสริมอัดแรงที่ตำแหน่งใดมีการหักงอ ณ ตำแหน่งใดจะเกิดแนวดิ่งกระทำต่อคานด้วย

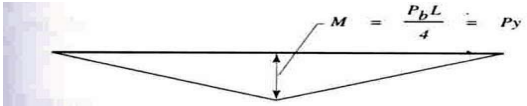
แรงพยุงของคานคอนกรีตอัดแรงที่มีแนวเหล็กเสริมแรงหักมุมตรงกึ่งกลางช่วงคาน



(ก) คานคอนกรีตอัดแรงมีแนวเหล็กเสริมอัดแรงหักมุมตรงกึ่งกลางช่วงคาน



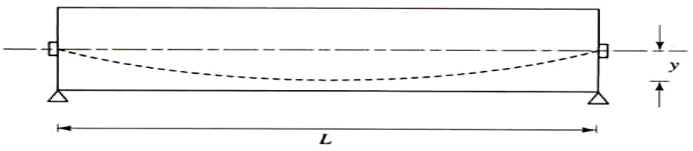
(ข) แรงกระทำบนคานเนื่องจากเหล็กเสริมอัดแรง



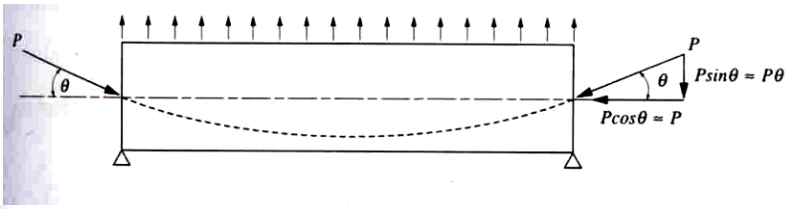
(ค) โมเมนต์เนื่องจากการเยื้องศูนย์ (P_e) ของแนวเหล็กเสริมอัดแรงดังรูป (ก) และโมเมนต์ที่เกิดจากแรงพยุง P_b ในรูป (ข)

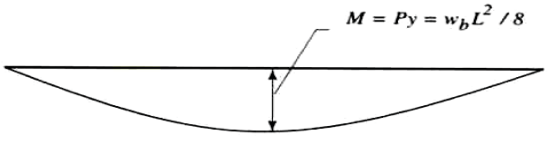
มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000
TUMCIVIL.COM Engineering Software Center
engfanatic CLUB & member

แรงพยุงของคอนกรีตอัดแรงที่มีแนวเหล็กเสริมอัดแรงเป็นรูปโค้งพาราโบล่า



(ก) คานคอนกรีตอัดแรงมีแนวเหล็กเสริมอัดแรงเป็นรูปโค้งพาราโบล่า



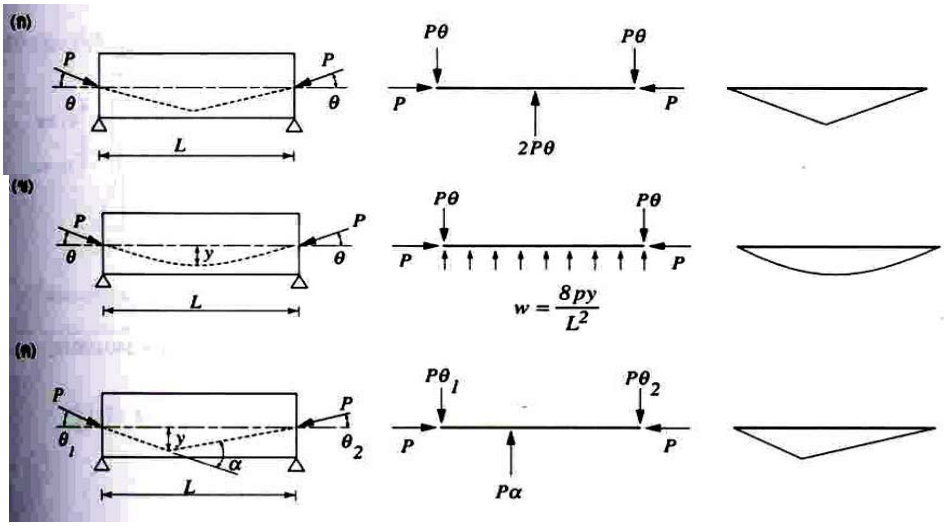


(ค) โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากเหล็กเสริมอัดแรงเป็นรูปโค้งพาราโบล่า

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000
TUMCIVIL.COM Engineering Software Center
engfanatic CLUB & member

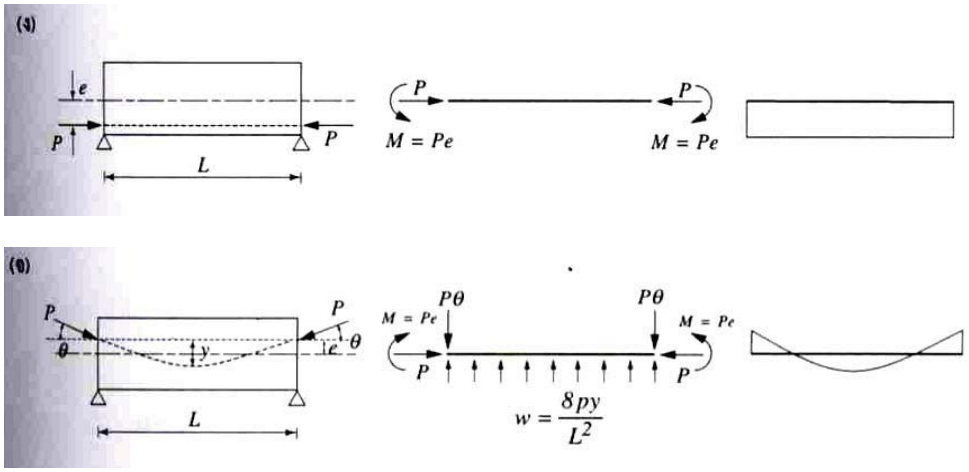
แรงพยุงโมเมนต์ที่เกิดจากแนวเหล็กเสริมอัดแรงลักษณะต่าง ๆ

แนวเหล็กเสริมอัดแรง	แรงพยุงระหว่างช่วงคานและกระทำที่ปลายคาน	โมเมนต์ที่เกิดจากการอัดแรง



แรงพยุงโมเมนต์ที่เกิดจากแนวเหล็กเสริมอัดแรงลักษณะต่าง ๆ

แนวเหล็กเสริมอัดแรง	แรงพยุงระหว่างช่วงคานและกระทำที่ปลายคาน	โมเมนต์ที่เกิดจากการอัดแรง



มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000
TUMCIVIL-COM engfanatic CLUB