

ตัวอย่างรายการคำนวณ

งานเสริมฐานราก เพื่อแก้ไขอาคารทรุด

สถานที่ก่อสร้าง

ผู้รับเหมา หลัก

.....

ผู้ออกแบบ เสริมเสาเข็มก่อสร้างฐานราก

นายบัญชา เพชรดำรงศาสตร์

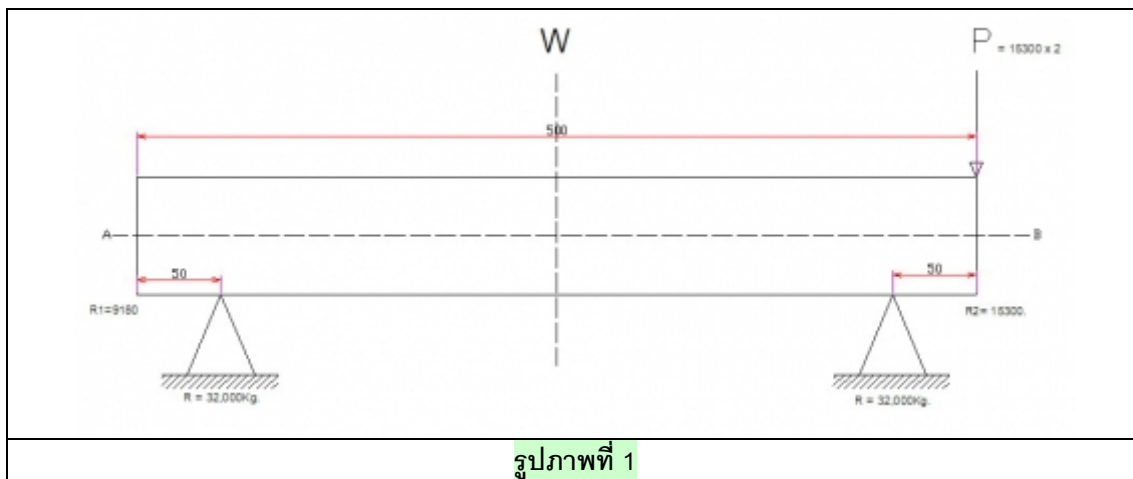
บจก. โพรคอนสตรัคชั่นแอนด์ดีเวลลอปเม้นท์

เลขที่ 137 ถ.แฮปปี้แลนด์สาย 1 คลองจั่น บางกะปิ กทม.10240

หมายเหตุ รายการคำนวณนี้ เฉพาะฐานราก จำนวนฐาน ซึ่งกำหนดระหว่างเจ้าของอาคาร กับ
ผู้รับเหมา ไม่ครอบคลุม โครงสร้างหรือ องค์อาคารโดยรวม

รายการคำนวณการออกแบบ เสริมฐานรากอาคาร

ในการ ออกแบบเพื่อแก้ไขเสริมฐานราก ต้องเข้าใจให้ตรงกัน ก่อนว่าเป็นงานทำงานเพื่อแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของอาคาร อันเนื่องจากฐานรากพิบัติ ต้องอาศัยส่วนประกอบของโครงสร้าง อาคารเช่นคาน เป็นแรงหนุน ซึ่งเป็นรูปแบบการทำงานที่ไม่มีทางเลือกเป็นอย่างอื่น นอกจากทุบอาคารทิ้งเพื่อ สร้างใหม่ ดังนั้นการทำงานในขั้นตอนต่างๆ ต้องแนชัดในเรื่องกำลังที่ยังคงอยู่ในทุกส่วนขององค์อาคาร คานเดิมเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ปลายสองด้าน มีฐานรากรองรับ รูปภาพประกอบในรายงานการคำนวณนี้ เป็นส่วนอ้างอิงเพื่อความเข้าใจที่ง่ายขึ้น



รูปภาพที่ 1

การคำนวณเกี่ยวกับงานด้านวิศวกรรมฯ นั้นเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า เป็นการหาลดลงทางวิธีพลศาสตร์เท่านั้น ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณ และมีโอกาสคลาดเคลื่อนได้ การปฏิบัติงานแก้ไขเสริมฐานรากเพื่อหยุดการทรุดตัวของอาคาร แตกต่างกับเสริมเพื่อยกปรับระดับอาคารพอสมควร หน่วยแรงต่างๆใช้การคำนวณหรือ ถูกวัดค่าโดยเครื่องมือ ซึ่งมีมาตราหน่วยวัดแสดง จึงเป็นค่าที่เชื่อถือได้ ในการแก้ไขเสริมฐานรากอาคาร เพื่อหยุดการทรุดตัวหรือยกปรับระดับอาคาร ได้ประยุกต์จากงาน ทดสอบแรงรับ น.น.บรรทุกของเสาเข็ม (PILE LOAD TEST) และงานทดสอบวัสดุคอนกรีตเสริมเหล็ก

โดยสภาวะปกติ หน่วยแรงภายในคานประกอบด้วย แรงตามแนวแกน N, V, M ซึ่งเป็นแรงสมดุล ของคาน แต่หากในสภาวะพิบัติ คานและหรือระบบโครงสร้าง เปลี่ยนรูป ต่อเมื่อมี ค่าหน่วยแรงที่ฐานรองรับ ด้านใดด้านหนึ่ง เช่น ฐานรองรับเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากับอีกด้านหนึ่ง ทำให้หน่วยแรงภายในคานเปลี่ยนรูป เหล็กเสริมรับแรงดึงและแรงอัด ภายใน ยึดตัวและหลุดตัว ก่อให้เกิดแรงปฏิกิริยาภายในคาน เช่นแรงเค้นดัด แรงเค้นเฉือน ความเครียดภายใน ความเครียดเฉือน โมเมนต์ดัด โมเมนต์เฉือน อื่น ๆ ฯลฯ เปลี่ยนค่าตามไปด้วย แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในคาน ในอาคารหน่วยนี้ อาจเสียภาวะสมดุลไป จุดต่อที่เสาตะม่อรองรับเกิดการแตกร้าว (Clack) อันเนื่องจาก ความเครียดเฉือนภายในคาน และ แรงเค้นเฉือนที่ปลาย ยึดติดเสาตะม่อ โดยสาเหตุจากฐานราก พิบัติที่มีแรง P กระทำ เกินกว่าค่าหน่วยแรงต้าน (R_2) จะรับได้

โดยหลักการแล้ว อาจจะกล่าวได้ว่าขณะทำการกดเข็มเพื่อเสริมฐานรากอาคาร โดยใช้ระบบคานหมุนรับแรงอัดกลับ ที่ใกล้จุดรองรับเดิม (Underpinning System) เมื่อแล้วเสร็จ เสมือนการเปลี่ยนรูปแบบคานรองรับอาคารจาก คานแบบที่มีปลายยึดรองรับ สองด้านเป็นคานแบบที่มีปลายยื่น ที่มีจุดรองรับสองด้าน ได้เช่นกัน และทำให้แรงโมเมนต์ (M) และแรงเฉือน (V) ที่จุดรองรับเดิมเป็น 0 ในกรณีที่ฐานรากเดิมพิบัติจนไม่มีความเสถียรพอที่จะรับแรง ลักษณะนี้เป็นการเสริมฐานรากใหม่รับแทนฐานรากเดิม แต่ในอาคารที่ฐานรากยังคงมีกำลังรับ น.น. ตามจุดรับต่างๆอยู่ เพียงแตรับน้ำหนักเกินตัว การเสริมฐานราก จึงเป็นการเสริมฐานรากเพื่อรับน้ำหนักร่วมกับฐานรากเดิม

ข้อแตกต่างระหว่างคานทั้งสองแบบนี้คือ การเสริมเหล็กรับแรงดึง, แรงอัดและระยะห่างของเหล็กปลอกเท่านั้น ดังนั้น เหล็กหมุน Support ซึ่งใช้ในการถ่ายแรง (Preload) จึงเหมือนกับเหล็กเสริมรับแรงดึง และแรงอัดภายนอก (External shear force)

สมการใน คำนวณ การเสริมฐานรากอาคาร หากจะใช้หลักการคำนวณตามหลักวิชาวิศวกรรมโยธา (งานก่อสร้างทั่วไป) มาใช้อย่างเดียวไม่ได้ ต้องอาศัยหลักการวิศวกรรมกลศาสตร์ และอื่นๆ มาประกอบการคำนวณ เช่นเดียวกับการคำนวณออกแบบ เสาตะม่อทางด่วน หรือทางยกระดับ หลายช่วงต้องออกแบบเสา รองรับแบบเอียงศูนย์

ข้อพิจารณา

1. แรงกระทำ P (point load) ที่จุดรองรับเดิม (ฐานรากเดิมที่ยังมีค่าหน่วยแรงของเสาเข็ม) รับแรงอัดที่จุดศูนย์กลาง สามารถลดแรงเฉือน เอียงศูนย์ของจุดรองรับใหม่ได้หรือไม่
2. แรงต้านที่ R ซึ่งเป็นแรงอัดดัดกลับ คานสามารถที่จะรองรับการกระจายน้ำหนักบนคานและ รับแรง P_y เอียงศูนย์ ได้เต็มประสิทธิภาพหรือไม่ และแรงดัดกลับได้ก่อให้เกิดการโก่งของคานหรือไม่
3. จุดรองรับด้านรับโมเมนต์สูงสุดได้ออกแบบให้มี Beam Support (Pre load) ซึ่งเป็นวัสดุเหล็ก H-Beam รับแรงกระจาย (Uniformly distributed load) ขนาด $150 \times 150 \times 0.80$ เมตร รับแรง ที่จุดศูนย์กลาง ด้านละ 0.40 ม.รับโมเมนต์เฉือน(แรงเค้นเฉือน) ปลายอีกด้านหนึ่ง มีเสาตะม่อของฐาน เดิม R_2 รองรับ จำเป็นหรือไม่ต้องเสริมเหล็กทแยง ไปยังจุดรองรับ P_y
4. หรืออีกนัยหนึ่ง Support ใต้คานจากปลาย R_2 ไปยังแกน W ที่ระยะ 0.80 เมตร เมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ ใช้เป็นเหล็กเสริมรับแรงดึง แทนเหล็กรับแรงดึงภายในคานคอนกรีตได้หรือไม่
5. เมื่อก่อสร้างฐานราก เทคอนกรีตใหม่รับร่วมกับฐานรากเดิม โดยเฉพาะคานมุม การ Pre load การเสริมเหล็กตามการออกแบบเสริมเหล็ก F1 และ F2 จะสามารถรับแรง P ได้หรือไม่
6. ในกรณีของเสาตะม่อใหม่ที่เทคอนกรีตหุ้มเสาเข็ม ที่จุดรองรับ สามารถรับแรงเค้นอัดและแรงเค้นดัด ตามแกนเมื่อมีแรง กระทำเอียง ศูนย์ ที่ระยะ 0.50ม.ได้หรือไม่

ดังนั้น รายการคำนวณ ยึดถือคุณลักษณะคาน เดิม ขนาดของคาน $0.25 \times 0.80 \times 5.00$ เมตร เป็นคานรับ น้ำหนักแบบกระจายและแบบจุด ตามมาตรฐาน วสท.

หน้าตัดคาน มีค่า $b > h/4$

น.น.ของคาน (Dead Load) = 816 กก./เมตร (x1.7)

คิณ.น.จร ที่กระทำลงบนคาน = 2040กก./เมตร $F_s = 2$ เท่า = 4080 กก./เมตร

รวมน.น.จร+คงที่ = 4896 กก./เมตร

แรงอัดประลัย คอนกรีต $f_c' = 150$ กก./ ซม.²

หน่วยแรงอัดคอนกรีต $f_c = 65$ กก./ ซม.²

ค่าหน่วยแรงดึงของเหล็ก $f_s = 1500$ กก./ ซม.²

ระยะความลึกประสิทธิภาพของคาน $d = 73$ ซม.

ระยะความหนา ที่คอนกรีตหุ้มเหล็ก เสริมด้านล่าง = 7 ซม.

คำนวณหาค่าคงที่ (Constant) n, k, j, r เพื่อใช้ในการคำนวณ

$$n = 2323000 / (1512 \times f_c') = 10.245$$

$$k = 1 / (1 + (f_s / (n \times f_c))) = .3074$$

$$j = 1 - (k/3) = 1$$

$$r = 0.5 \times f_c \times k \times j = 8.9665$$

น.น.กระจายที่กระทำบนคาน $W = WL = 24480$ กก.

โมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำบนคาน $WL / L/4$ ($l/2$)

$$M \quad M^+ = 8606.25 \text{ กก.-เมตร} \quad M^- = 15,300 \text{ กก.-เมตร} \quad M_{\max} = 15300 \text{ กก.-เมตร}$$

โมเมนต์ต้านทานโดย คอนกรีต $M_c = R \times (0.50 \times f_c) \times k \times j \times b \times (d/10)^2$

$$R = 1, \quad b = 25$$

$$M_c = 1 \times 0.50 \times 65 \times .3074 \times 1 \times 25 \times 73/10^2 = 11945.5847 \text{ กก.-เมตร}$$

โมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม $M_s = M_R - M_c$

$$M_s = 15300 - 11945.5847 = 3354.4153 \text{ กก.-เมตร}$$

ค่าหน่วยแรงเฉือนของคอนกรีตที่ยอมให้ $v_c = 0.29 \text{ SQR}(f_c')$

$$v_c = 0.29 \times \text{SQR}(150) = 3.5518 \text{ กก./ซม}^2$$

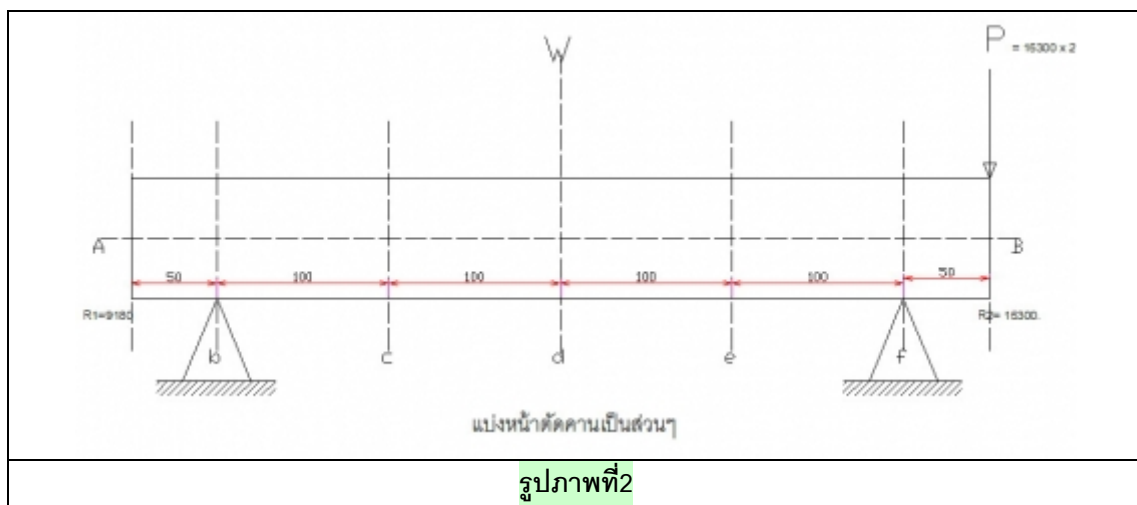
$$V_c = \text{แรงเฉือนต้านทานโดยคอนกรีต} = v_c \times b \times d \quad V_c = 3.5518 \times 25 \times 73 = 6482.035 \text{ กก./ม}^2$$

แรงปฏิกิริยาที่กระทำ ลงเสา ตะม่อ $R_1 = 9180 \text{ กก.}$ $R_2 = 15300 \text{ กก.}$ (วิเคราะห์เฉพาะ R_2)

แรงเฉือนสูงสุด = แรงปฏิกิริยาสุด ในที่นี้ $v_{c \max} = 15300 \text{ กก.}$

$$\text{แรงเฉือนที่เหลือปลดออกภายใน รับ} \quad V_{s1} = v_{c \max} - V_c$$

$$V_{s1} = 15300 - 6482.035 = 8817.965 \text{ กก.}$$

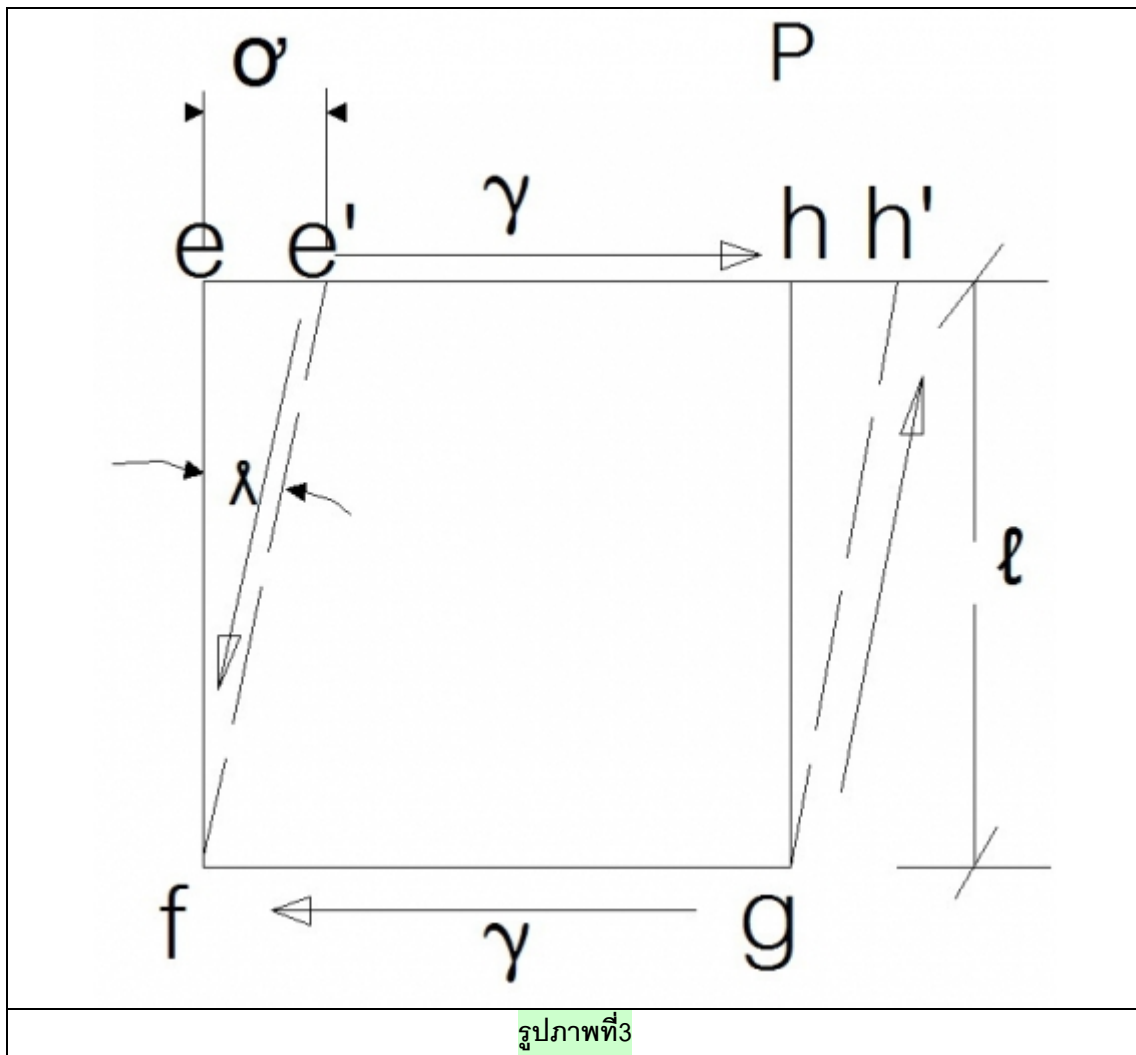


คานเดิม มีพื้นที่หน้าตัด ของเหล็กเสริมภายใน เช่น ปลอก รับแรงเฉือน เหล็กกลางรับแรงดึง เหล็กบนรับแรงอัด โดยปกติ คานจะมีระบบแรงภายในของคาน เพื่อคงสภาพสมดุลไว้ด้านแรงและแรงโมเมนต์ภายนอก ช่วงกึ่งกลางคานคอนกรีตที่ฐานรากรองรับสองด้าน AB ค่าแรงเฉือนคานจะมี ค่าคงที่คือ $W/2$ ตลอด ค่าสมดุลจะเปลี่ยน ต่อเมื่อ แรง P กระทำที่ A หรือ B มากเกินกว่าที่จุดรองรับด้าน

ในที่นี้ จะพิจารณา วิเคราะห์ค่าแรงเฉือนเฉพาะที่แกน Bf ช่วงหน่วยแรงกระทำ P และ P_2

หน่วยแรงภายในคาน จะเปลี่ยนรูปก็ต่อเมื่อ มีแรงกระทำเกินค่าหน่วยแรงภายในจะต้านทานได้ ในที่นี้ หน่วยแรงพิสูจน์ ได้จากเครื่องมือวัด เมื่อคานถูกแรงอัด กระทำที่จุด P_2 32000 กก. ผิวคานยังคงมีสภาพปกติ ไม่มีอาการแตกร้าว หรือกะเทาะของผิวคอนกรีตภายนอกแต่ประการใด ในตัวของคานเองยังคงสภาพสมดุล

โดย เมื่อฐานรากทรุดตัว แรงภายนอกคานเดิมจะกระทำต่อ จุดรองรับ ทำให้คานเกิดความเครียดเฉือนตามมูมดัง ในภาพที่3 แสดงให้เห็นถึงสภาพแรงภายในช่วง หน้าตัด คานเมื่อถูกแรงกระทำ คานจะเปลี่ยนรูป ก่อให้เกิดแรงเค้นและความเครียดเฉือนมายังปลายด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้มุมจุดต่อแตกร้าว เช่นที่จุดต่อระหว่างเสาตะม่อกับมูมคาน และในคานหน่วยนี้ได้เคยมีการเสริมความแข็งแรง ไว้แล้ว



วิเคราะห์จากคานรองรับเดิม

ในที่นี้จะวิเคราะห์เฉพาะช่วงที่เสริมฐาน ตามมุม efgh ตามแนวแกนรองรับใหม่ที่หน้าตัด B ซึ่งใช้วิเคราะห์ทั้งช่วงปลายคานเดิมและช่วงแกนจุดรองรับใหม่ ซึ่งรับทั้งแรงเค้น ตั้งฉาก σ_x ในแกน x กับ σ_y ในแกน y

(เสาเข็มและฐานรากเดิมยังมีค่าหน่วยแรง ในที่นี้ ค่าหน่วยแรง P ที่กระทำลงบนฐานรากเดิมมากกว่าแรงต้าน R_2 ซึ่งเป็นค่าหน่วยแรงที่ก่อให้เกิดการหลุดตัว - แรงต้านสูงสุด จากการคาดการณ์ 1/3)

คิดแรงปฏิกิริยา Point Load กระทำที่ฐาน R_2 เป็น $P_{\max} = 30600 \text{ กก.}$ $V_{\max} = 30600 \text{ กก.-ม.}$

ค่าหน่วยแรงต้านที่ R_2 (ฐานรากเดิม) $= 15,000 \text{ กก.} = P_{\max} - R_2 = 30600 - 15000$

$\therefore P_{\max} \text{ ที่ } R_2 = 15600 \text{ กก.} = M_{\max} \text{ -(ลบ)}$

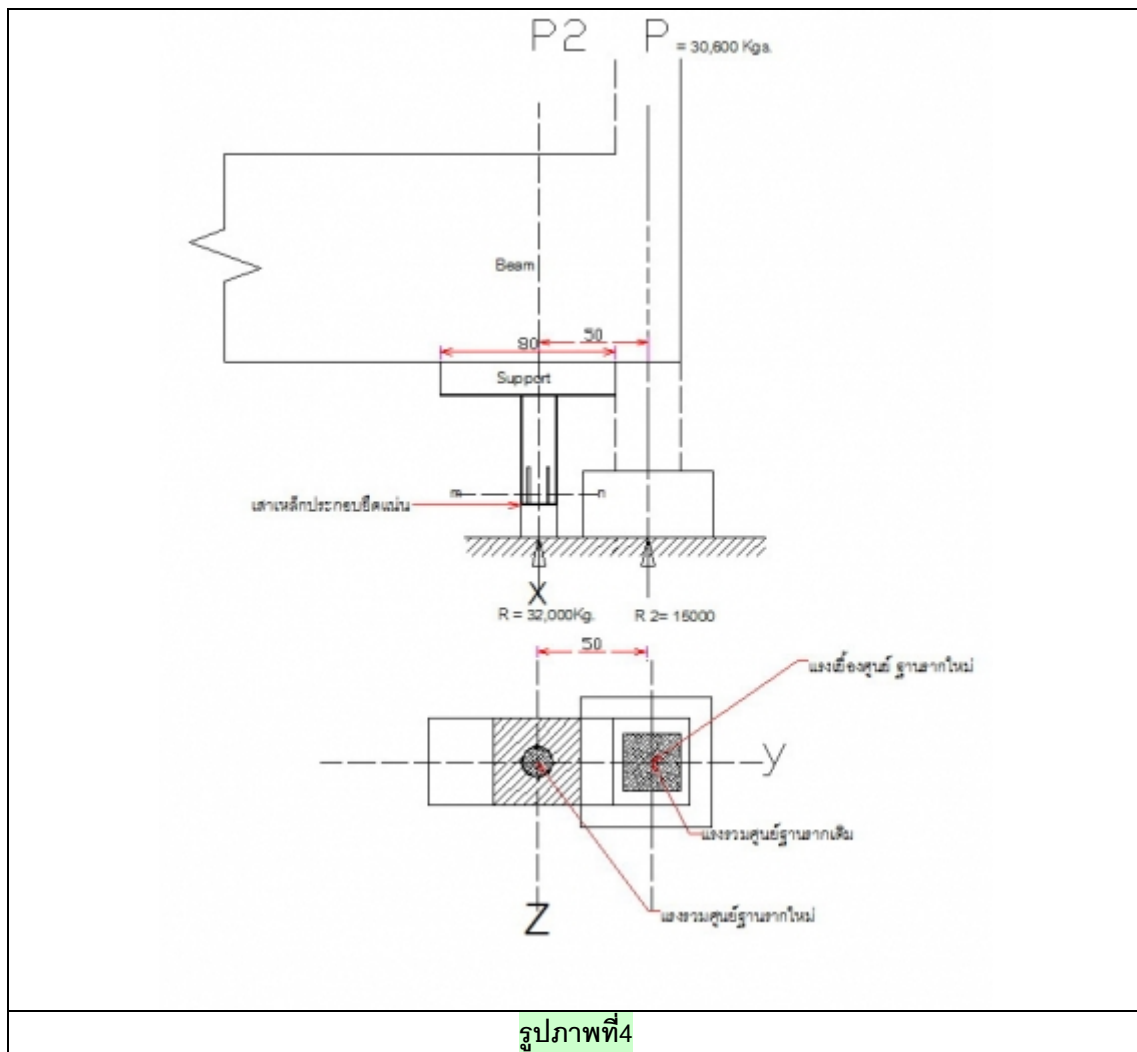
จึงได้ออกแบบเสริมฐานด้วยฐานรองรับจุดใหม่ รองรับเยื้องกับจุดศูนย์กลางเดิม ประมาณ 0.50 เมตร

โดยแรงต้านใต้คาน อัตราที่ฐาน $R = 32000$ กก. เมื่อเสริมจุดรองรับใหม่ ที่ปลายคานด้านใดด้านหนึ่งค่าโมเมนต์ ที่เป็นค่าลบ จะเป็นค่าบวก (M^- เป็น M^+) แรงเค้นเฉือนที่เป็น + จะกลายเป็นค่าลบ หรือมีค่าเหลือ 0 หรือ - 0

การเสริมฐานราก ได้ใช้หลักรูปตัว H (External Fix) เพื่อเป็น Support กระจายแรงเฉือนภายนอกคาน

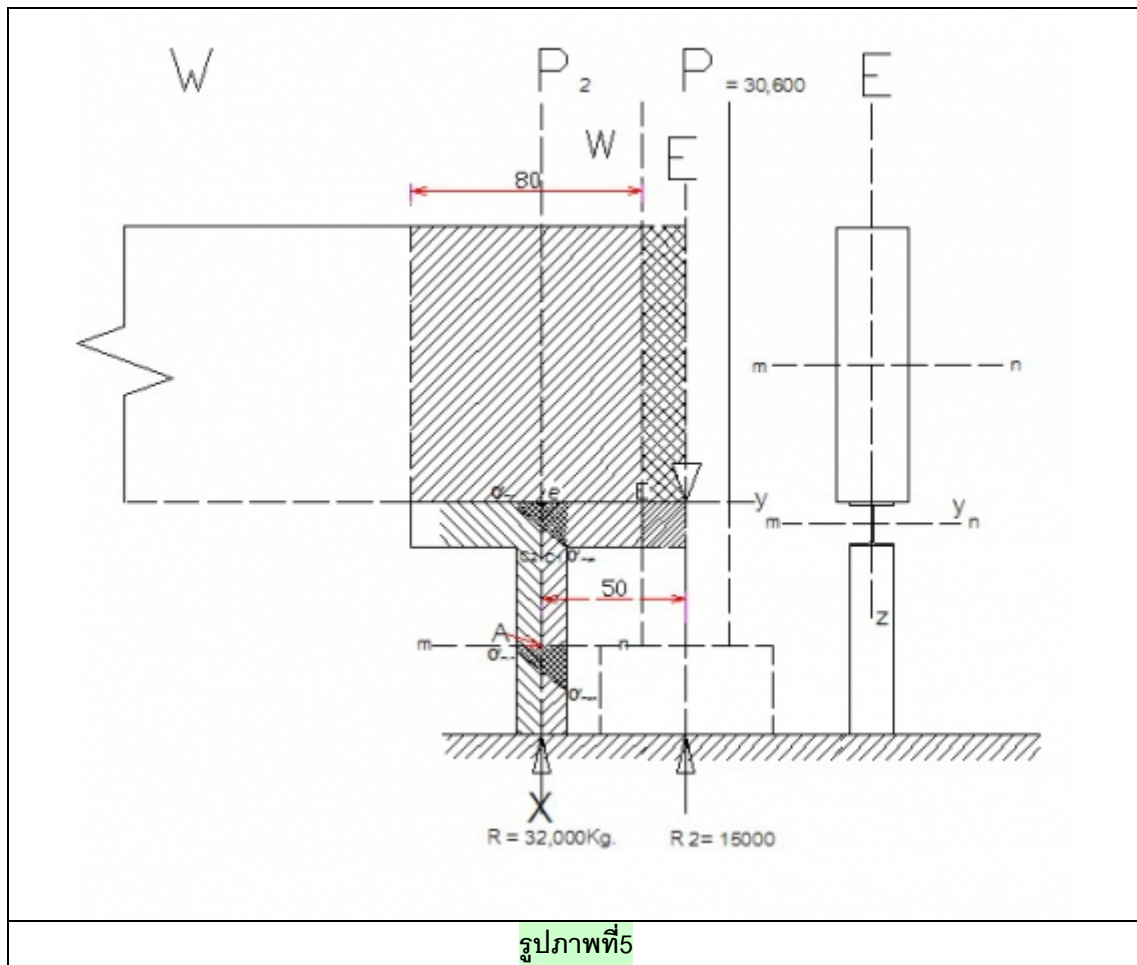
แรงเยื้องศูนย์ฐานรากใหม่ ตรงกับแรงรวมศูนย์ฐานรากเดิม ที่แกน Y, แรงรวมศูนย์ฐานรากใหม่ $= R_x/2$

ใช้คำนวณแรงเฉือน ที่ แกน E_y ซึ่งเป็นแรงกระทำเยื้องศูนย์ 0.50 ม. ตั้งฉากกับแกน E_x



รูปภาพที่4

เมื่อเสริมเสาเข็มใหม่ 1 จุด ห่างจากฐานรากเดิม ที่ระยะห่าง 0.50 ม. จะเกิดแรงปฏิกิริยาควบคู่หรือแรงคู่ขนานกับเสาเข็มเดิม $R_n = R + R_2 = 32000 + 15000 = 47000$ กก. ด้าน แรง $P_{max} = 30600$ กก.

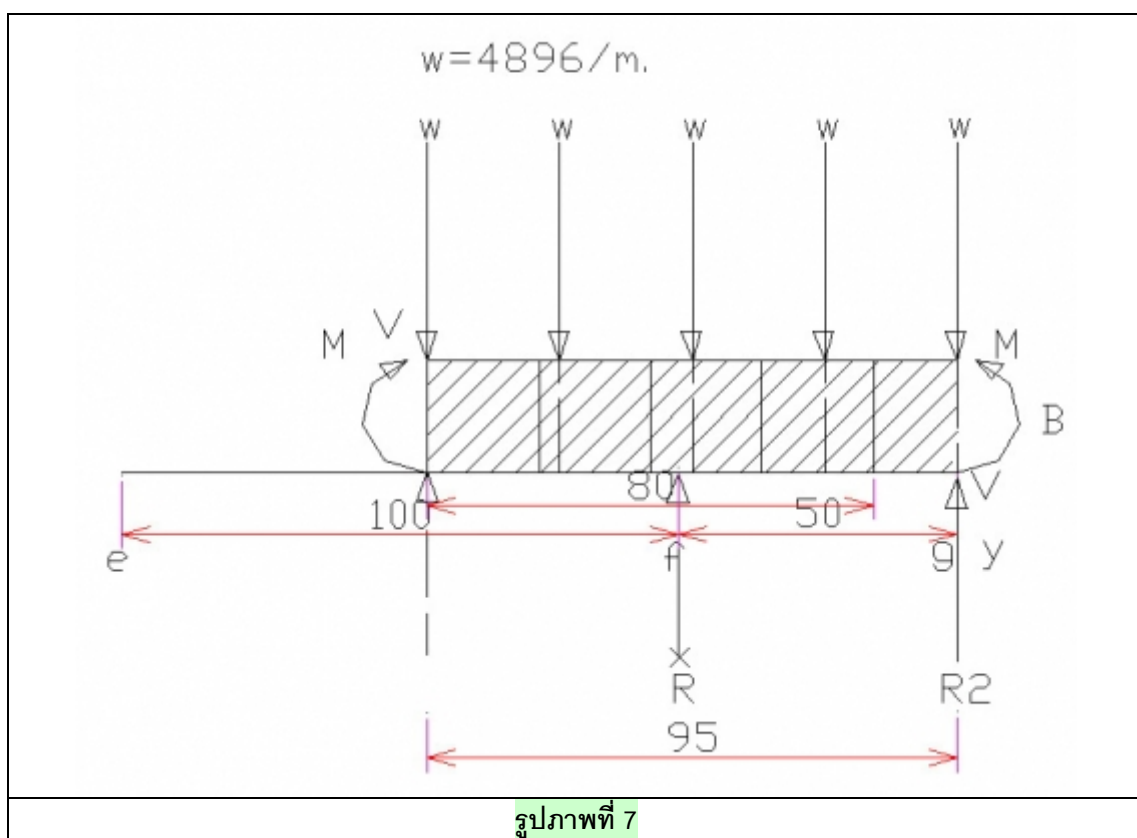
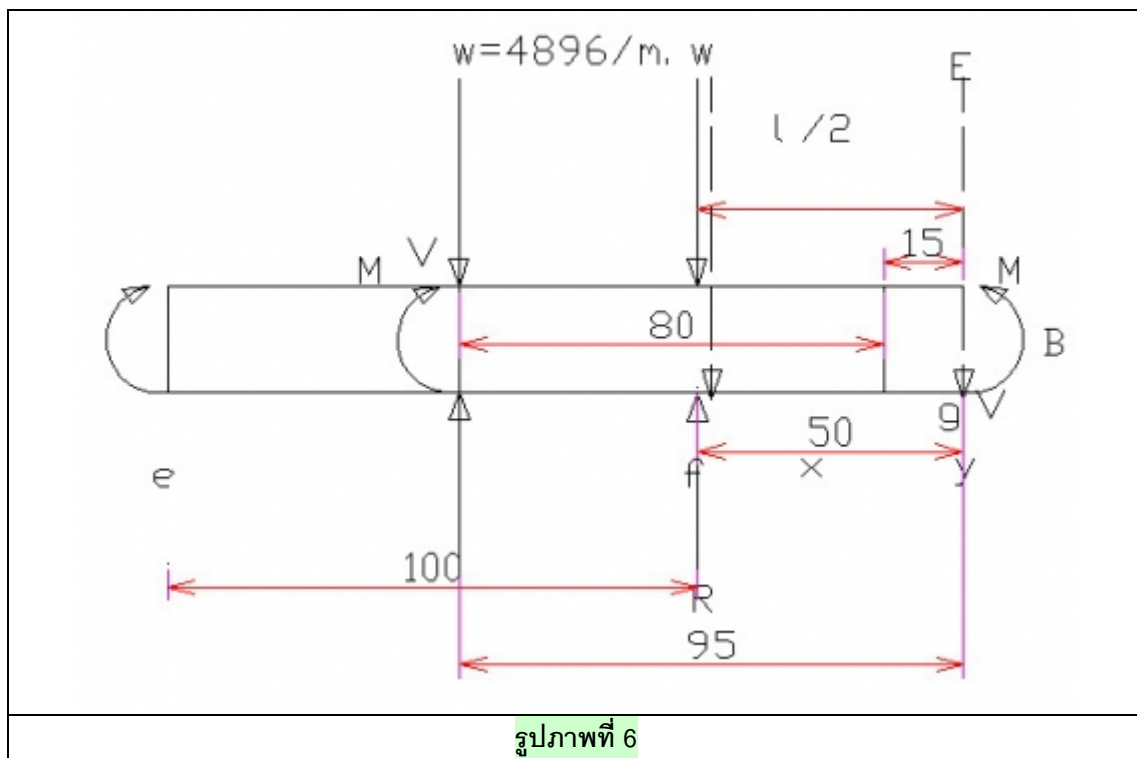


รูปภาพที่5

สรุปเพื่อพิสูจน์ว่าโมเมนต์และแรงเค้นเฉือนที่ปลายคานเดิมเมื่อเพิ่มจุดรองรับใหม่กับจุดรองรับเดิม สภาวะจะเป็นเช่นไร?

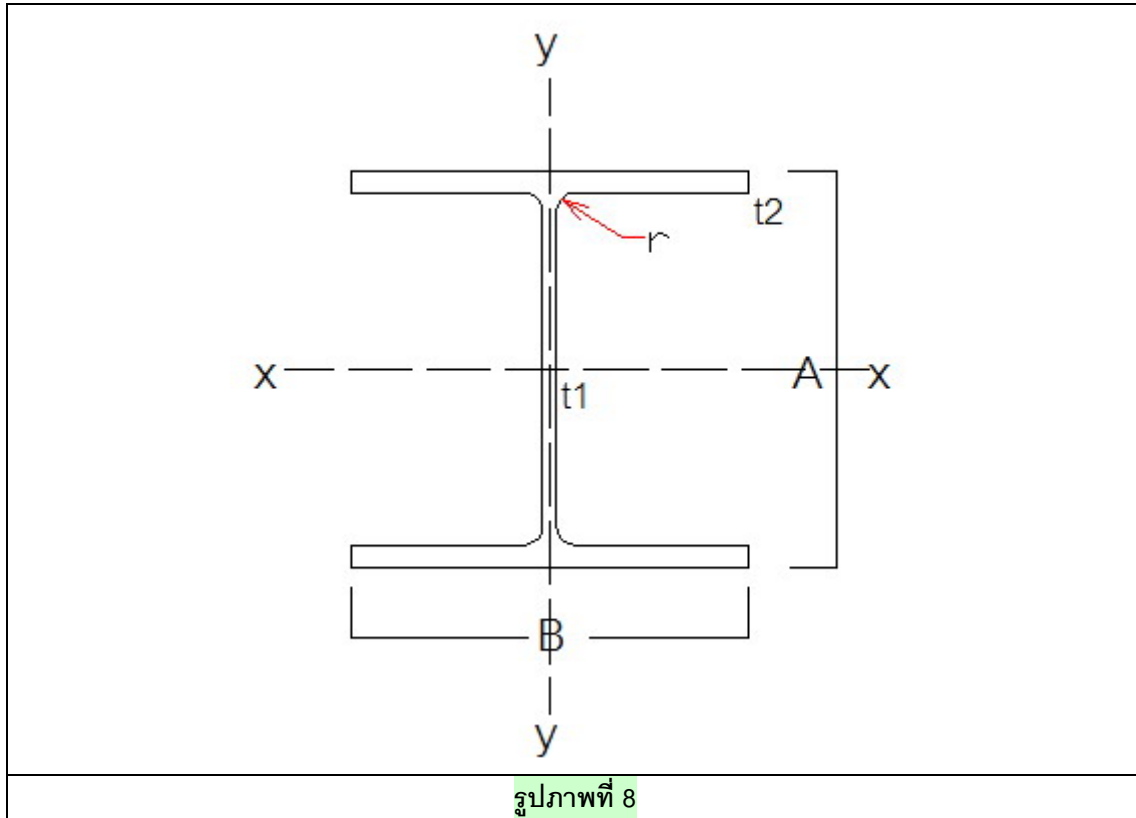
ในรูปภาพที่2 ได้แบ่งหน้าตัดคานไว้เป็นส่วนๆ เพื่อถ่ายทอดความเข้าใจ

รูปส่วนขยาย ภาพที่2



ช่วงปีกบน เหล็กรูปตัว H กระจายแรงรับน้ำหนัก 80 ซม.

คุณสมบัติของเหล็ก H



รูปภาพที่ 8

หน้าตัด A= 150 มม. หน้าตัด B=150 มม. พื้นที่หน้าตัด = 40.14 ซม.²

แกนกลาง $t_1 = 7$ มม. ปีก $t_2 = 10$ มม. รัศมีตามมุม $r = 11$ มม.

โมเมนต์ความเฉื่อย $I_x = 1640$ ม.⁴ $I_y = 563$ ม.⁴ รัศมีไจกลางเรชั่น $r_x = 6.39$ ซม. $r_y = 3.75$ ซม.

โมดูลัสหน้าตัด $Z_x = 219$ ซม.³ $Z_y = 75.1$ ซม.³ นน. Support = 25.2 กก.

เหล็ก H รองรับแรงเฉือนภายนอกแนวระนาบคาน หน้าตัด B ขนาด $15 \times 80 = 1200$ ซม.²

พื้นที่หน้าตัดปีกบนรับแรงอัด=1200ซม.² ปีกล่างรับแรงดึง 1200 ซม.²

ค่าความแกร่ง $E = 2 \times 10^6$ กก.ซม.²

ในที่นี้

$M = V_{\max}$ (ในกรณี $R_2 = 0$)

= 30600 กก.-เมตร

ในที่นี้แรงต้านรวมศูนย์จุดรองรับเดิม R_2 ที่มุม $g = 15000$ กก.

แรงปฏิกิริยา P ที่ $E = 15600$ กก.

แรงปฏิกิริยา P_2 ที่ $f = 14841$ กก.

เมื่อเสริมฐานราก

แรงเฉือนสูงสุดที่ $f = 15600 + 14841 = 30441$ กก.-เมตร $= M_{\max}$

แรงต้านรวมศูนย์จุดรองรับใหม่ R ที่มุม $f = 32000$ กก. $= rM_{\max} = rV_{\max}$

แรงเฉือนลดค่าโดย แรงต้าน $= 32000 - 30411 = -1589$ กก./เมตร² $= V_{\max} -$

แรงเฉือนที่ B $R_2 < 0 = 0$ เปลี่ยนเป็นแรงเค้นอัดที่ระนาบแกน $e-y$

พิจารณา เมื่อคานเหล็กรับแรงเค้นดึงทั้งแรงเค้นอัด ซึ่งเป็นแรงเค้นระนาบ จะเป็นเช่นไร

กระจายแรงเค้นอัด ระนาบหน้าตัดเหล็กรับแรงอัดเฉลี่ย $= 30441/40.14 = 758.37$ กก./ ซม.²

โมเมนต์ที่ระนาบแกน $l/3 = .80/3 = 0.267 = 30441/3(0.267) = 2709.25$ กก.-เมตร

แรงต้านตามแกน R_{xy} ช่วง $c_1 = 16000$ กก.

กระจายแรงเค้นต้าน ระนาบหน้าตัดเหล็กรับแรงต้านเฉลี่ย $= 16000/40.14 = 398.605$ กก./ ซม.²

แรงต้านตามแกน R_x ช่วง $c_2 = 16000$ กก.

กระจายแรงเค้นต้าน ระนาบหน้าตัดเหล็กรับแรงต้านเฉลี่ย $= 16000/40.14 = 398.605$ กก./ ซม.²

แรงเค้นต้าน ระนาบหน้าตัดเหล็กรับ รวม $= 797.21$ กก./ ซม.²

กระจายโมเมนต์ต้าน $l/3 = .80/3 = 0.267 = 32000/3(0.267) = 2848$ กก.-เมตร

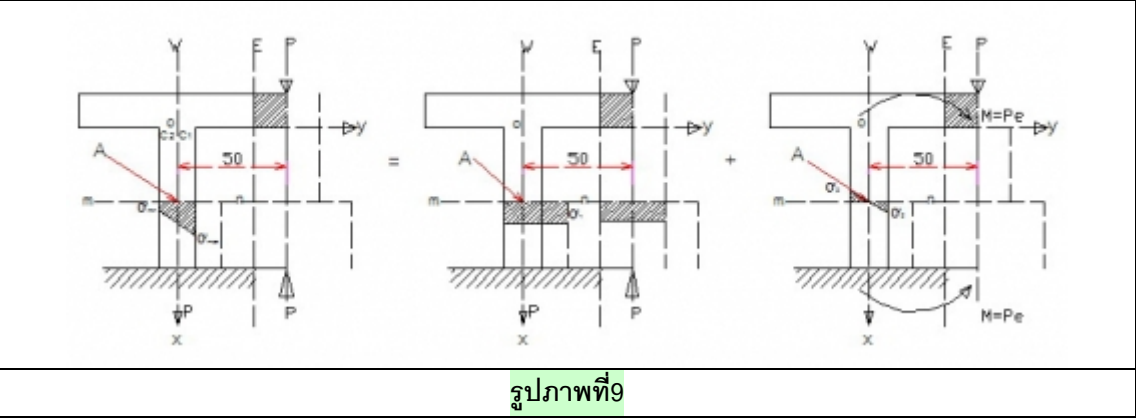
แรงปฏิกิริยา ทั้ง 2 จุด ได้ค่าโมเมนต์ต้านเป็นผลบวกทั้งหมด แรงเฉือน จึงเป็นลบ ในที่นี้ $= 0$

จะเห็นได้ว่าส่วนประกอบ เหล็กล้วน ในการเสริมฐาน ทำให้ค่า ที่กระทำที่ฐานรากเดิม เป็น 0 ทั้งหมด การเทคอนกรีตหุ้มเป็นเพียงการป้องกันการกัดกร่อนของสนิม เท่านั้น แต่เมื่อเทคอนกรีตเสริมเหล็กหุ้ม แรงต้านภายในจะเพิ่มขึ้นอีก จากแรงต้านโดยเหล็กเสริม + คอนกรีต และ คอนกรีตล้วน ซึ่งเป็นแรงรวมภายใน ด้านแรงภายนอก ที่จุดรองรับร่วม

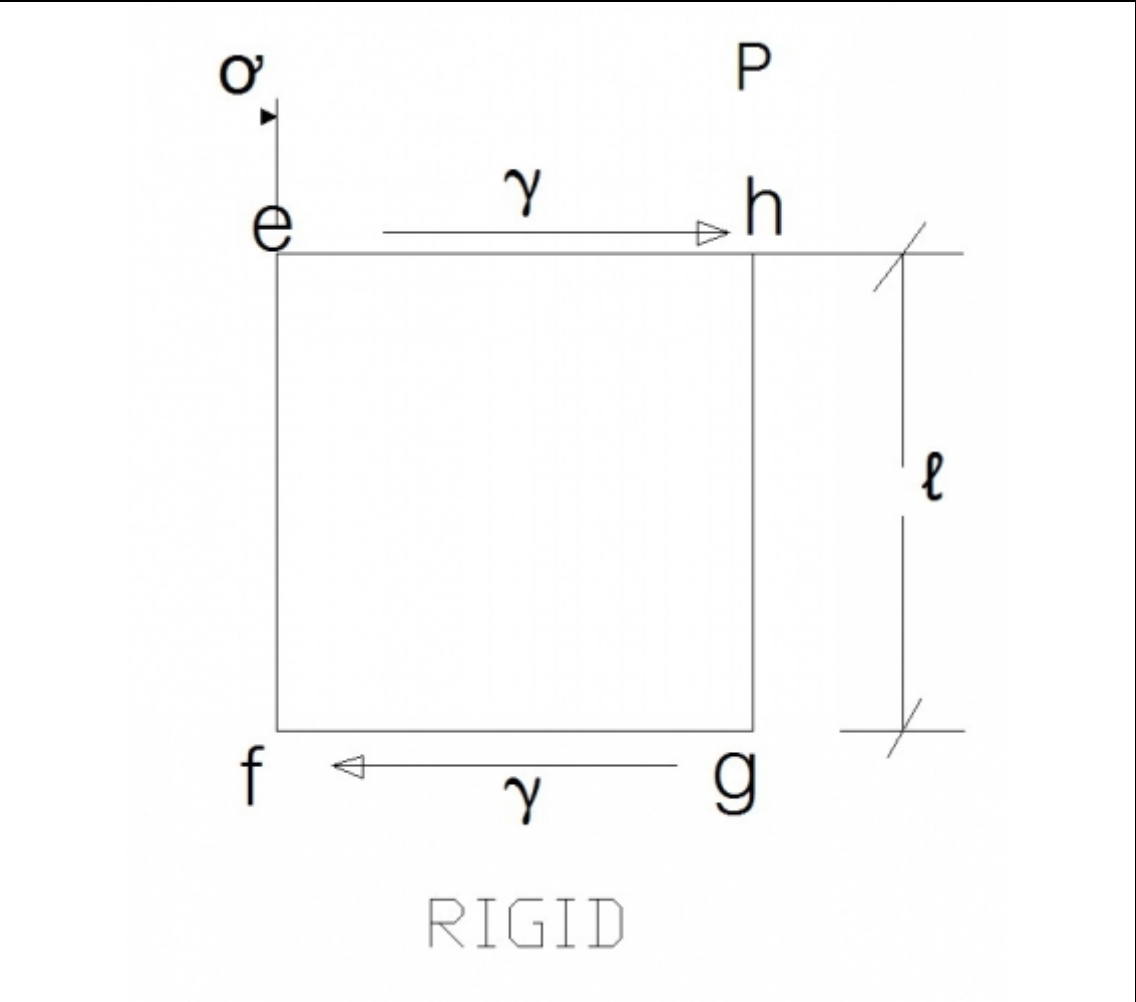
$\therefore P + P_2 - R_1 + R_2 = 30441 - 47000 = 16559$ กก. ในที่นี้ $P < R$ $M +$

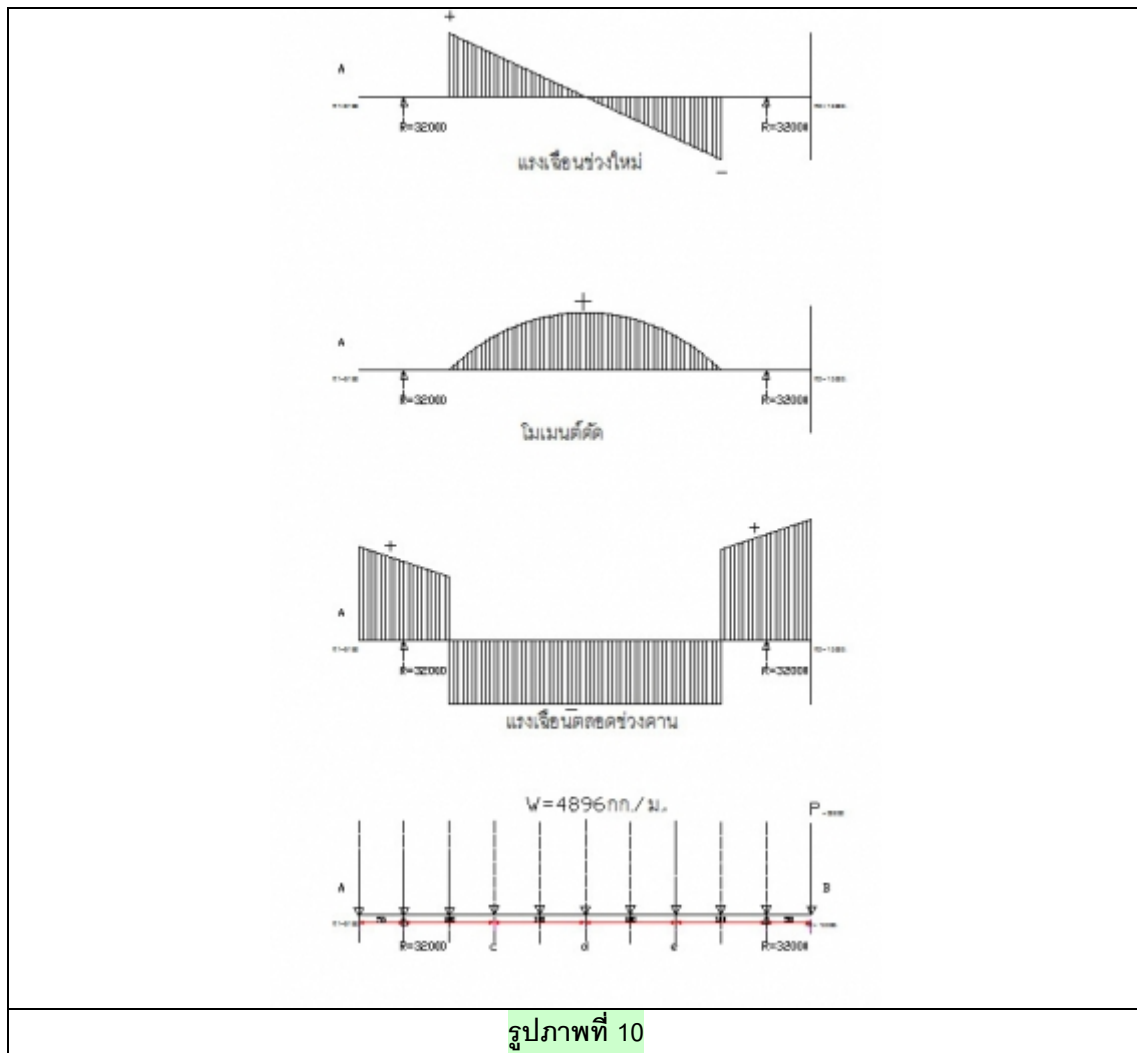
ค่าความปลอดภัย $= 1.55$ เท่า

(หมายเหตุ ที่ระนาบรับแรงอัด และแรงด้น ยังคงสภาพเสถียร(Rigid) เมื่อใช้แรงอัดถึง 32 ตัน)



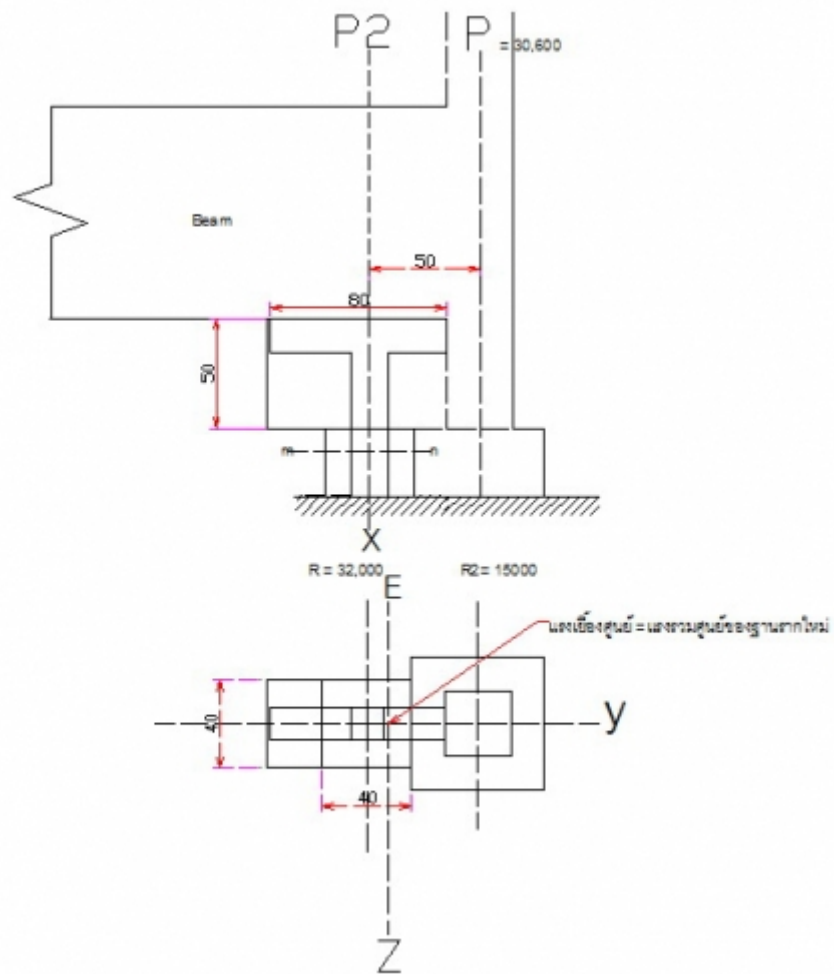
รูปภาพที่9



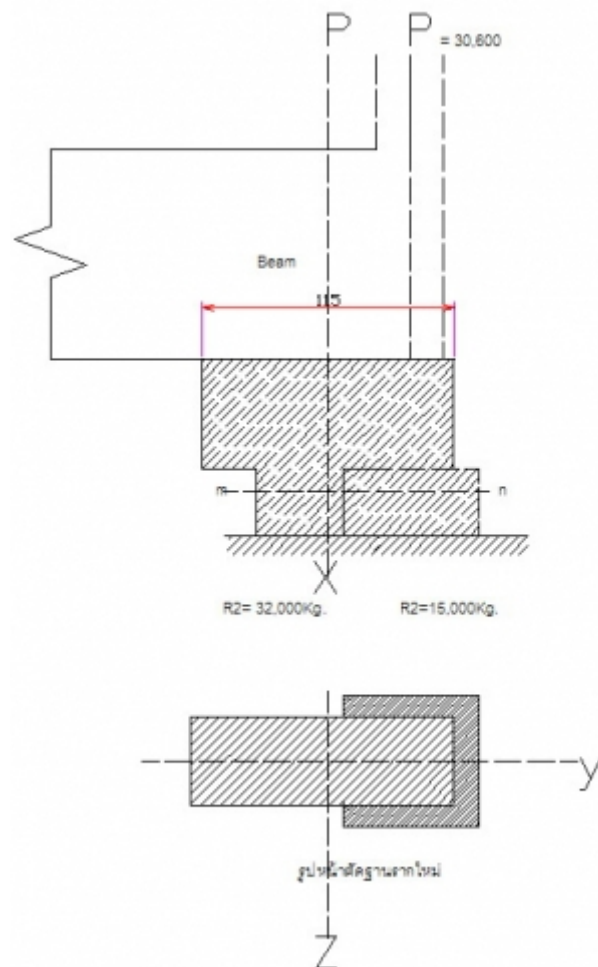


เมื่อนำค่าต่างๆที่ได้ มาคำนวณ โมเมนต์ เป็น+ ค่าแรงเค้นเฉือนเป็น $- < 0$ งานก่อสร้างฐานรากคอนกรีตหุ้มจึงไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กทแยง ไปยัง P และในการเสริมฐานรากเพื่อหยุดการหลุดตัว ไม่ได้ ตัดเสาตะม่อเดิม และเนื่องจาก หน่วยแรงเดิมยังคงมีแรงปฏิกิริยา ด้านแรงอยู่

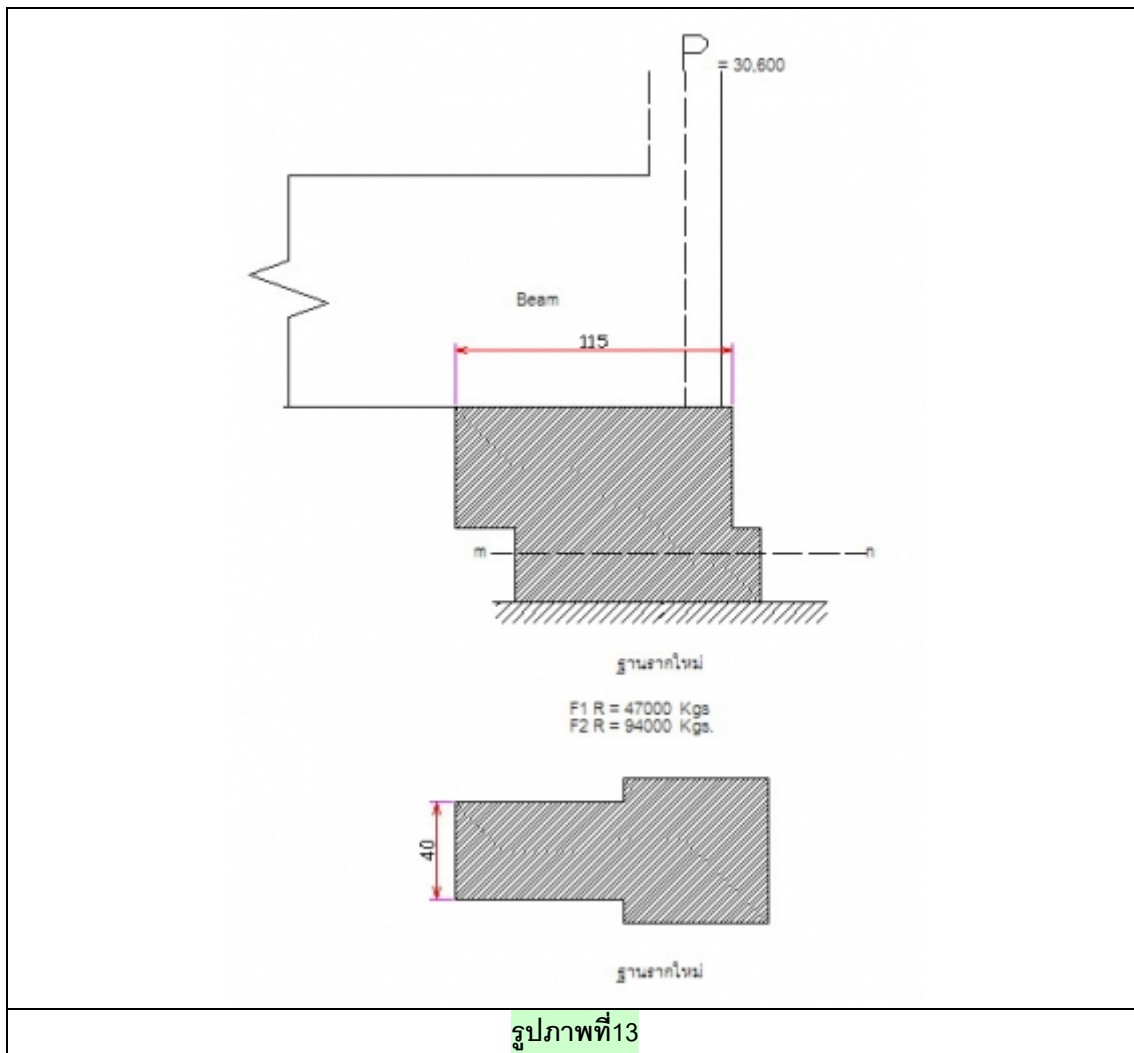
พิจารณา จากรูปประกอบทั้งหมด



รูปภาพที่11



รูปภาพที่ 12



ฐานรากเมื่อเสริมแล้วเสร็จ ประกอบด้วย

-ฐานหน้าตัดผสม ระหว่างคานคอนกรีต กับเสาคอนกรีต ยึดติดกับคาน เหล็กรูปตัว H 150 x 150 มม. เสริมคอนกรีตประสาน 400x800x500 มม. เมื่อเป็นส่วนเดียวกัน เป็นฐานรากร่วม จะได้ฐานหน้าตัดรับแรงอัดและแรงดึง $A_h = 130 \times 115 \times 50$ ซม.

-เสาตะม่อ หน้าตัดผสม ระหว่างเข็มเหล็กกลมเสริมคอนกรีต ยึดติดด้วยเพรทและ Dowell กับ เหล็กรูปตัว H ขนาด 150 มม. เสริมคอนกรีตเป็นส่วนเดียวกัน หน้าตัด $A = 400$ มม. $B = 400$ มม.

เสารับแรง Rigid