



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

## การเสริมกำลังพนักงานใน โครงการด้านงานแผ่นดินไหว

รองศาสตราจารย์ ดร. ไพบุลย์ ปัญญาคะโป  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

## อาคารเรียน กระทรวงศึกษาธิการ



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY



สปช. 105/29 (2ชั้น)



สปช.2/28 (3 ชั้น)



สปช.2/28 (4 ชั้น)



สปช.2/28 พิเศษ (4 ชั้น)

# การวิบัติของผนังก่อ ผลจากพฤติกรรม โครงอาคาร - ผนังก่ออิฐ



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป

# การวิบัติแบบเสาสัน ผลจากพฤติกรรม โครงอาคาร - ผนังก่ออิฐ



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY



แรงเฉือน



แรงเฉือน



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป



# การวิบัติแบบเสาสั้น ผลจากพฤติกรรม โครงสร้าง - ผนังก่ออิฐ

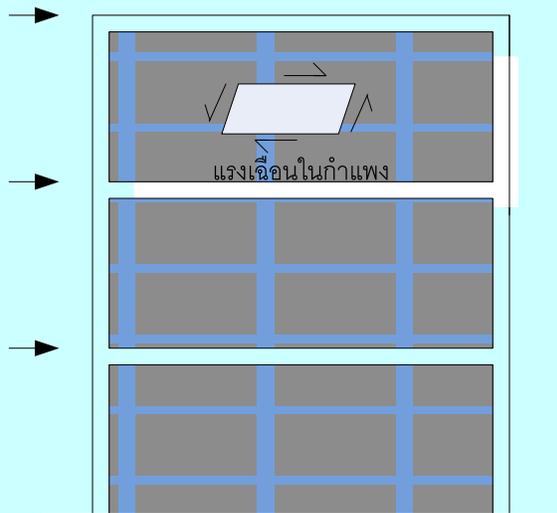


## ความเสียหายของโครงสร้างผนังก่อ รร.แม่ลาววิทยาคม

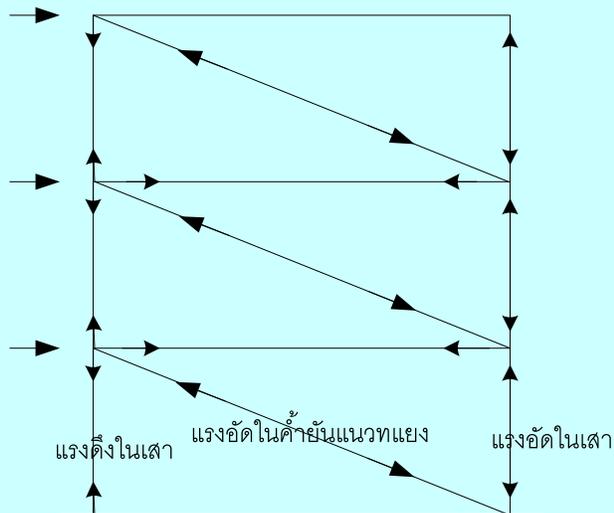




# พฤติกรรมรับแรงของโครงอาคารผนังก่ออิฐ



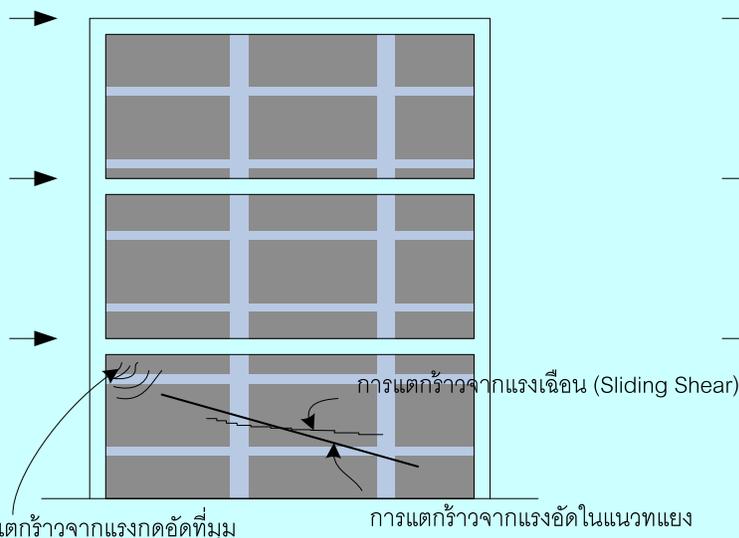
ก) พฤติกรรมแรงเฉือนในกำแพง



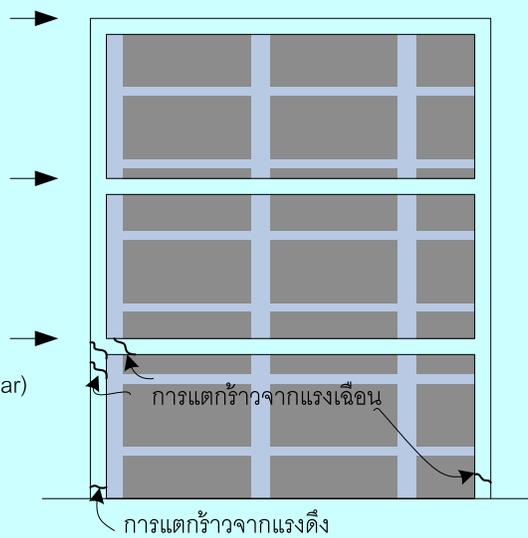
ข) พฤติกรรมแรงค้ำยันในระบบกำแพง เสา-คาน



# รูปแบบการวิบัติของโครงอาคารผนังก่ออิฐ



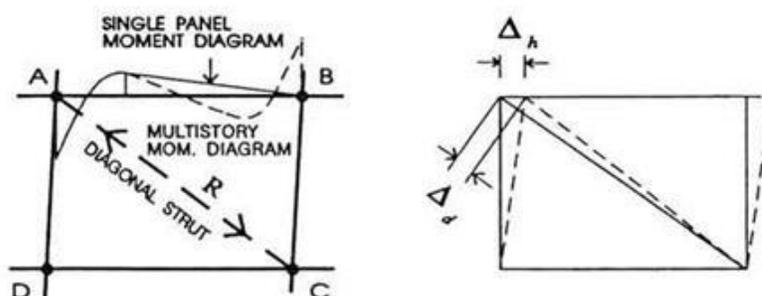
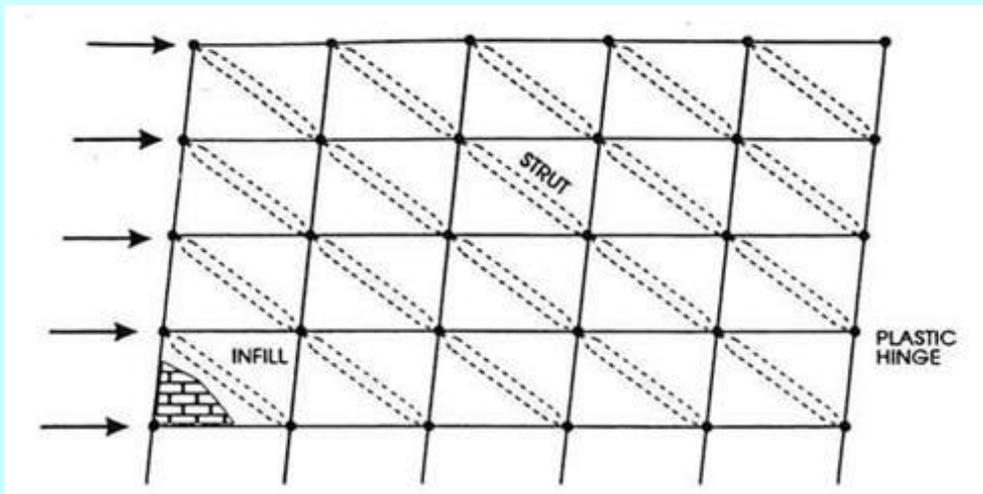
ก) รูปแบบการวิบัติของผนังอิฐ



ข) รูปแบบการวิบัติของโครงคาน-เสา

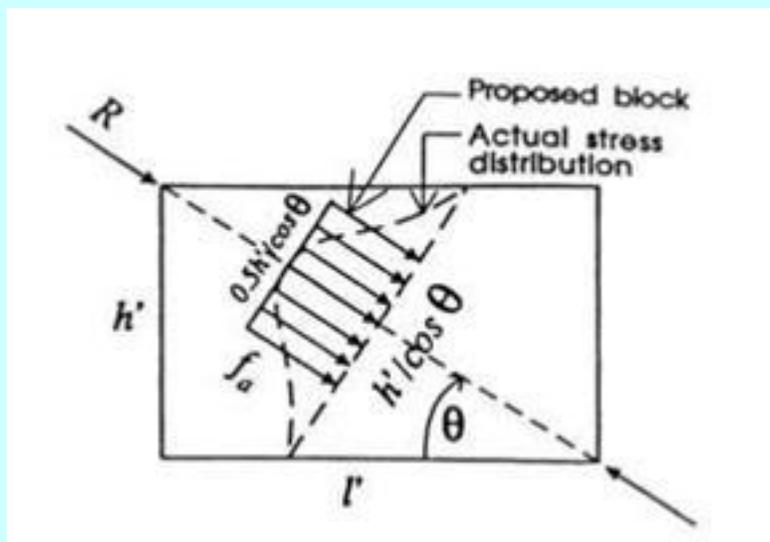


# กำลังต้านทานของโครงอาคารผนังก่อ


 คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป

# กำลังต้านทานแรงกดอัดในแนวทแยง (Diagonal Compression Resistant)



$$R = R_{DC} = \frac{0.5h'tf_a}{\cos \theta}$$

 เมื่อ  $f_a = 0.6\phi f'_m$      $\phi = 0.65$ 

$t$  คือ ความหนาของผนังก่ออิฐ

$h'$  คือ ความสูงของผนังก่ออิฐ

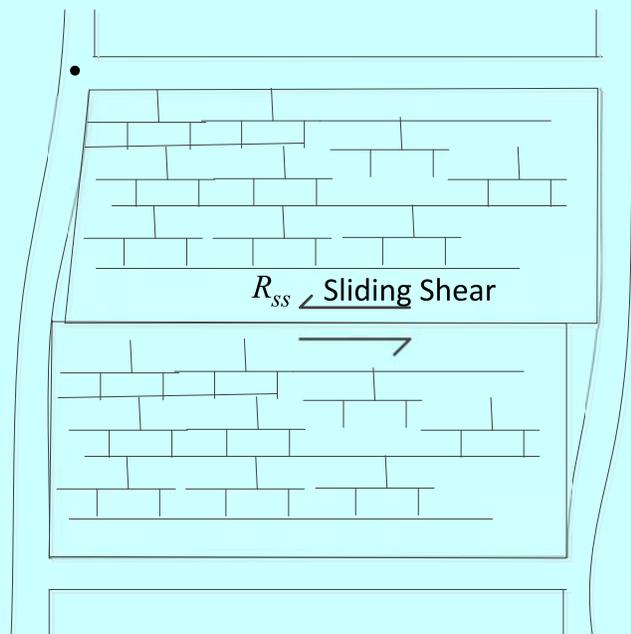
$f'_m$  คือ กำลังอัดของผนังก่ออิฐ


 คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป



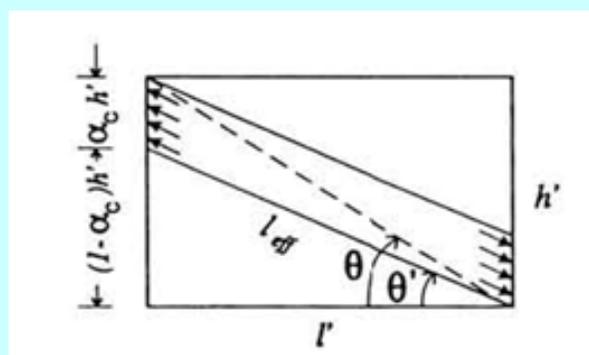
# กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล (Sliding Shear Resistant)



$$R_{ss} = \frac{\gamma v t l'}{1 - 0.45 \tan \theta'}$$

$\gamma$  คือ ตัวคูณสำหรับกำลังแรงเฉือนประลัย = 1.3

$v$  คือ กำลังแรงเฉือนของผนังอิฐ = 6.5 ksc



# กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล

$$\tan \theta' = \frac{(1 - \alpha_c)h'}{l'}$$

$$\alpha_c = \frac{1}{h} \sqrt{\frac{2M_{pj} + 2\beta_c M_{pc}}{\sigma_c t}} \quad (\alpha_c \text{ มีค่าไม่เกิน } 0.4)$$

$$\sigma_c = \frac{f'_m}{\sqrt{1 + 3\mu^2 r^4}}$$

$$\mu = 0.45, \quad r = \frac{h}{l}$$

$\beta_c \leq \beta_u = 0.2, \quad \beta_b \leq \beta_u = 0.2$  อาจใช้เท่ากับ 0.2

$M_{pj}$  คือ ค่าโมเมนต์พลาสติกที่น้อยสุดระหว่าง  $M_{pc}$  และ  $M_{pb}$

$M_{pc}$  คือ ค่าโมเมนต์พลาสติกของเสา

$M_{pb}$  คือ ค่าโมเมนต์พลาสติกของคาน



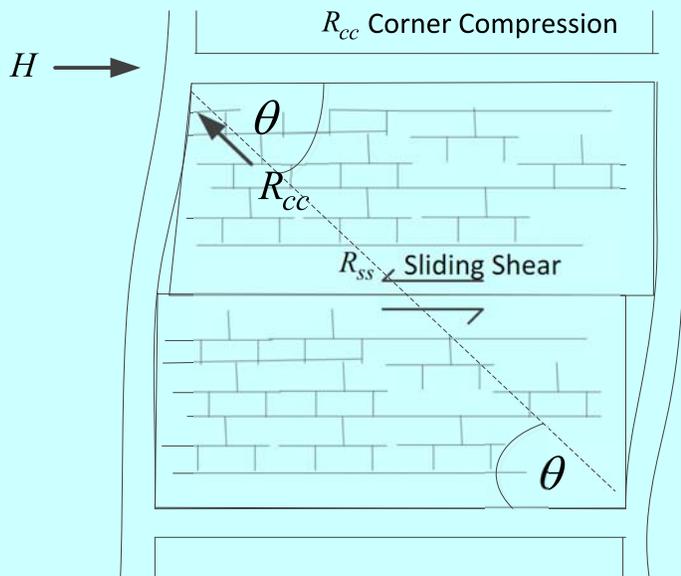
# กำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนัง (Corner Compression Resistant)

$$R_{cc} = \frac{(1 - \alpha_c) \alpha_c t h \sigma_c + \alpha_b l t \tau_b}{\cos \theta}$$

$$\tau_b = \mu \sigma_b$$

$$\sigma_b = \frac{f'_m}{\sqrt{1 + 3\mu^2}}$$

$$\alpha_b = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{2M_{pj} + 2\beta_b M_{pb}}{\sigma_{bt}}}$$



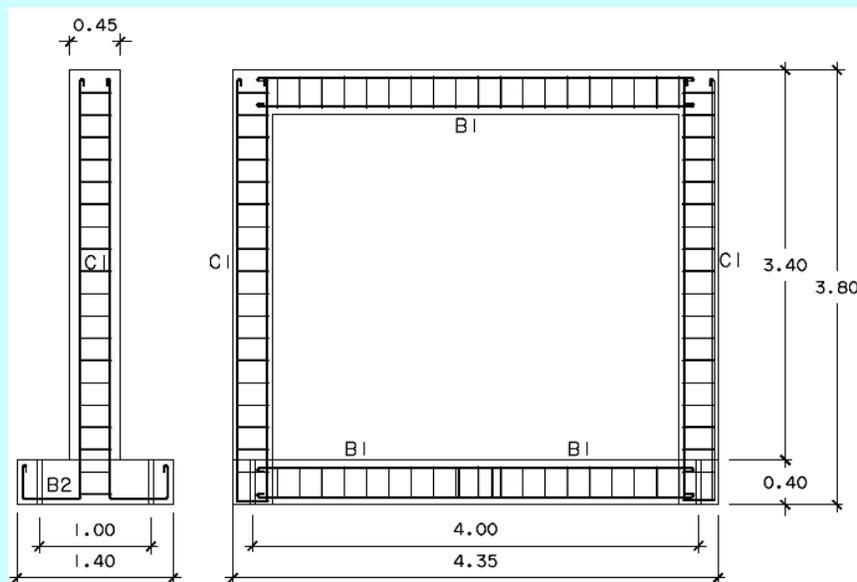
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รศ.ดร.ไพบูรณ์ ปัญญาคะโป

## ตัวอย่างการคำนวณ



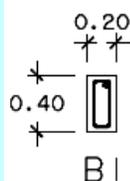
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY



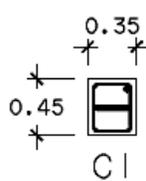
$h = 340 \text{ cm}$ ,

$h' = 320 \text{ cm}$

$l = 400 \text{ cm}$ ,  $l' = 365 \text{ cm}$



2 - RB 15 mm.  
1 - RB 6 mm. @ 0.20m.  
3 - RB 15 mm.



8 - RB 19 mm.  
2 - RB 6 mm. @ 0.20m.



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รศ.ดร.ไพบูรณ์ ปัญญาคะโป

# การคำนวณกำลังต้านทานของโครงอาคารผนังก่ออิฐ

## ตารางที่ 12.9 คุณสมบัติของอิฐก่อ

ตัวอย่าง	ลักษณะของตัวอย่าง	กำลังรับแรงของอิฐ (Mpa)	กำลังรับแรงของปริซึมอิฐก่อ (Mpa)
W1	โครงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ก่อผนังด้วยอิฐมอญ (ความหนาของผนัง 7.5 ซม.)	3.21	7.27
W2	โครงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ก่อผนังด้วยอิฐมวลเบา (ความหนาของผนัง 10 ซม.)	2.45	2.56

กำลังต้านทานของโครงอาคารเปล้า (BF)  $R_{BF} = \frac{2M_{pc}}{h}$

จากการคำนวณด้วยโปรแกรม CSI-Column  $M_{pc} = 13,000$  กก.-ม. (127.53 KN-m)

$$R_{BF} = \frac{2M_{pc}}{h} = \frac{2 \times 13,000}{3.60} = 7,222 \text{ กก. (70.85 KN)}$$

กำลังต้านทานแรงกดอัดในแนวทแยง (Diagonal Compression Resistant) สำหรับผนังอิฐมอญ

คำนวณจาก

$$R = R_{DC} = \frac{0.5h'f_a}{\cos \theta} = \frac{0.5 \times 300 \times 7.5 \times (0.6 \times 0.65 \times 72.7)}{\cos 39^\circ} = \frac{31,897}{\cos 39^\circ}$$

พิจารณาแรงกระทำในแนวราบ

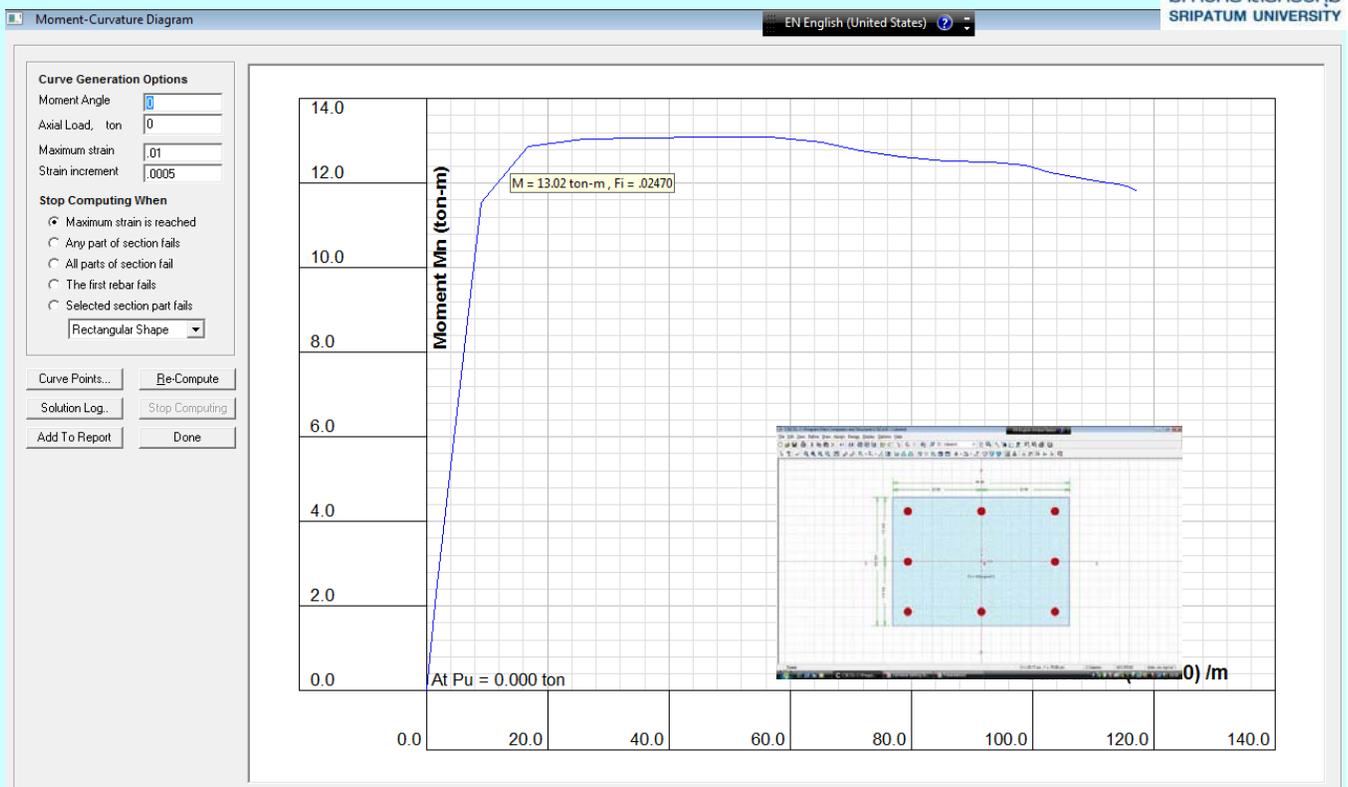
$$R_{DC} \cos \theta = 31,897 \text{ กก. (312.9 KN)}$$

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป



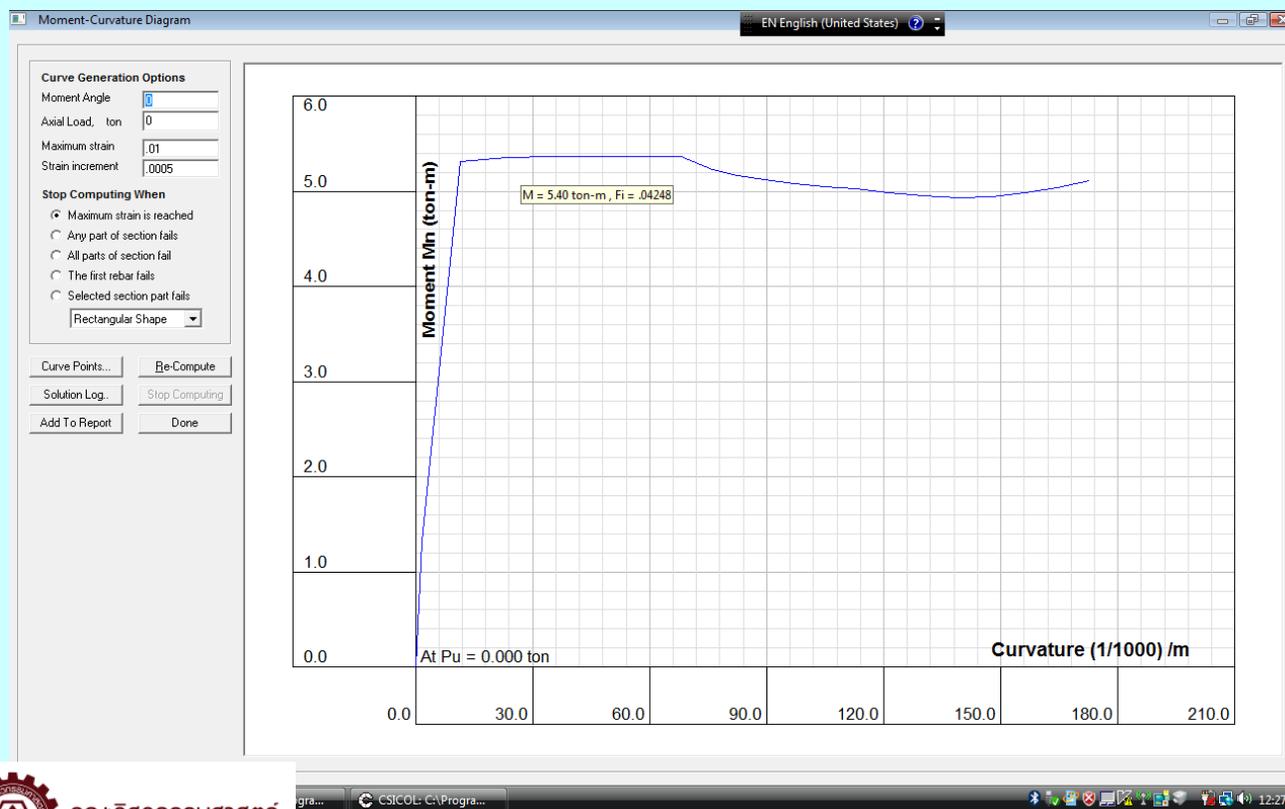
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

## ค่าโมเมนต์พลาสติกของเสา





# ค่าโมเมนต์พลาสติกของคาน



กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล (Sliding Shear Resistant) คำนวณได้จาก

$$R_{ss} = \frac{\gamma vt l'}{1 - 0.45 \tan \theta'}$$

เมื่อ  $\tan \theta' = \frac{(1 - \alpha_c) h'}{l'} = \frac{(1 - 0.17) 320}{365} = 0.73$

และ  $\alpha_c = \frac{1}{h} \sqrt{\frac{2M_{pj} + 2\beta_c M_{pc}}{\sigma_c t}} = \frac{1}{340} \sqrt{\frac{2(5,400 \times 100) + 2 \times 0.2(13,000 \times 100)}{63.35 \times 7.5}} = 0.17$

$$\sigma_c = \frac{f'_m}{\sqrt{1 + 3\mu^2 r^4}} = \frac{72.7}{\sqrt{1 + 3(0.45)^2 (0.85)^4}} = 63.35$$

$$\mu = 0.45, \quad r = \frac{h}{l} = \frac{340}{400} = 0.85$$

$$R_{ss} = \frac{1.3 \times 6.5 \times 7.5 \times 365}{1 - (0.45 \times 0.73)} = 34,448 \text{ กก. (337.9 KN)}$$



กำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนัง (Corner Compression Resistant) ในทิศทางแนวราบ

$$R_{cc} \cos \theta = (1 - \alpha_c) \alpha_c t h \sigma_c + \alpha_b t l \tau_b$$

$$\tau_b = \mu \sigma_b = 0.45 \times 57.34 = 25.8$$

$$\sigma_b = \frac{f'_m}{\sqrt{1 + 3\mu^2}} = \frac{72.7}{\sqrt{1 + 3(0.45)^2}} = 57.34$$

$$\alpha_b = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{2M_{pj} + 2\beta_b M_{pb}}{\sigma_b t}} = \frac{1}{400} \sqrt{\frac{2(5,400 \times 100) + 2 \times 0.2(5,400 \times 100)}{57.34 \times 7.5}} = 0.14$$

$$R_{cc} \cos \theta = (1 - 0.17) \times 0.17 \times 7.5 \times 340 \times 63.35 + 0.14 \times 7.5 \times 400 \times 25.8$$

$$= 33,629 \text{ กก.} \quad (329.9 \text{ KN})$$

กำลังต้านทานกำหนดด้วยค่าที่น้อยกว่า คือ กำลังแรงกดอัดในแนวทแยง

ดังนั้น กำลังต้านทานรวมของโครงอาคารผนังอิฐมวลเบา

$$H = R_{BF} + R_{DC} \cos \theta = 7,222 + 31,897 = 39,119 \text{ กก.} \quad (383.8 \text{ KN})$$

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY



โครงเฟรมคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ทดสอบ BF



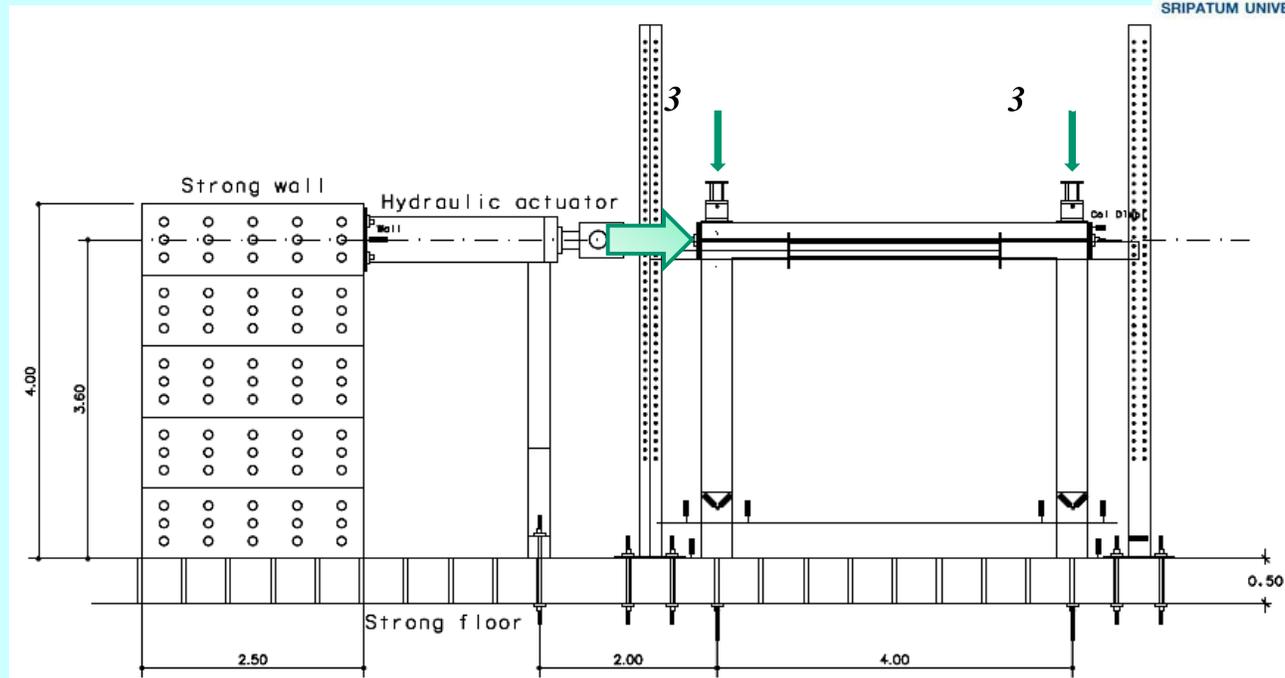


ผนังก่ออิฐมวลเบาในโครงเฟรมคอนกรีตเสริมเหล็ก (W1)



ผนังก่ออิฐมวลเบาในโครงเฟรมคอนกรีตเสริมเหล็ก (W2)

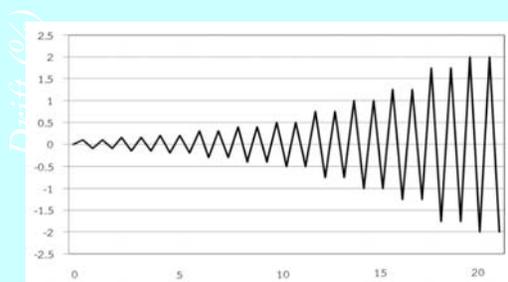




## การติดตั้งตัวอย่างการทดสอบ

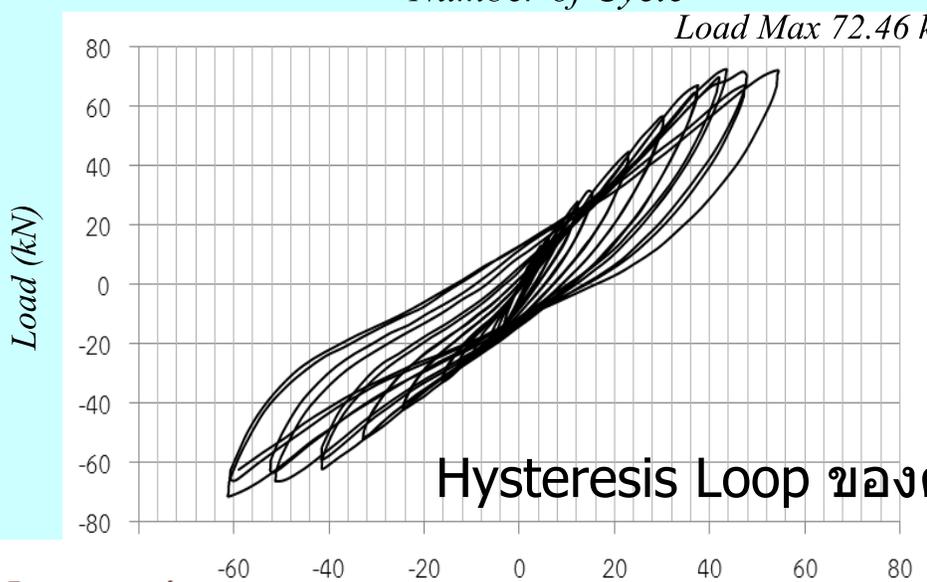


คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม



Number of Cycle

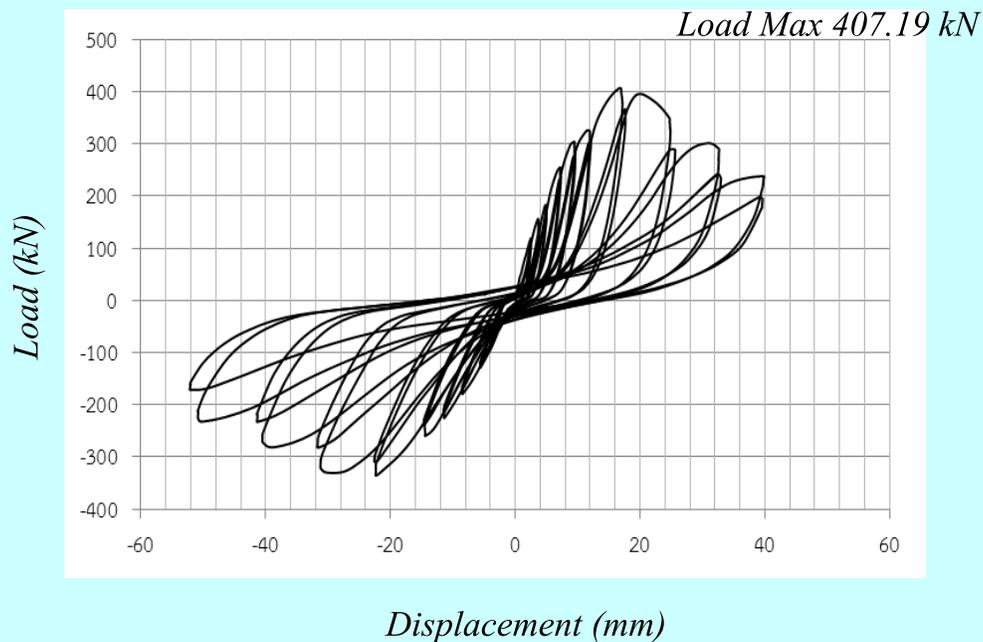
Load Max 72.46 kN



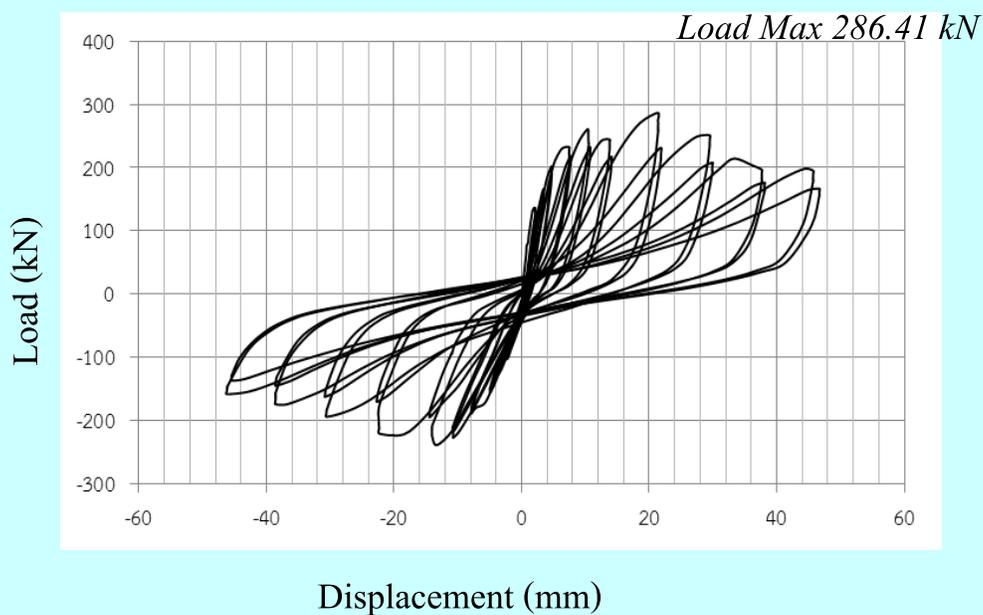
Hysteresis Loop ของตัวอย่าง BF



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม



## Hysteresis Loop ของตัวอย่าง W1



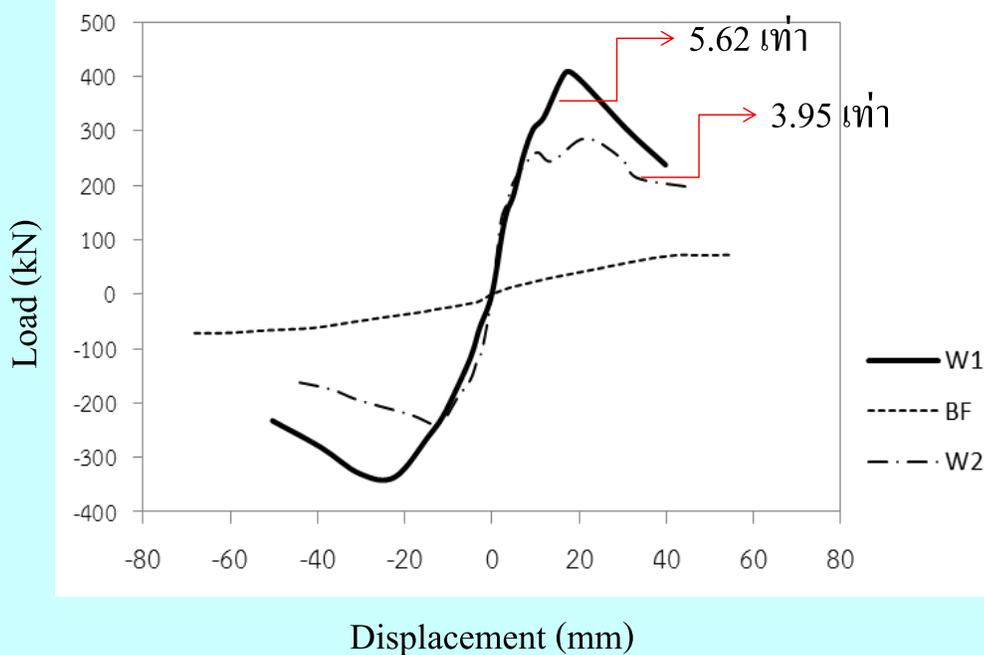
## Hysteresis Loop ของตัวอย่าง W2





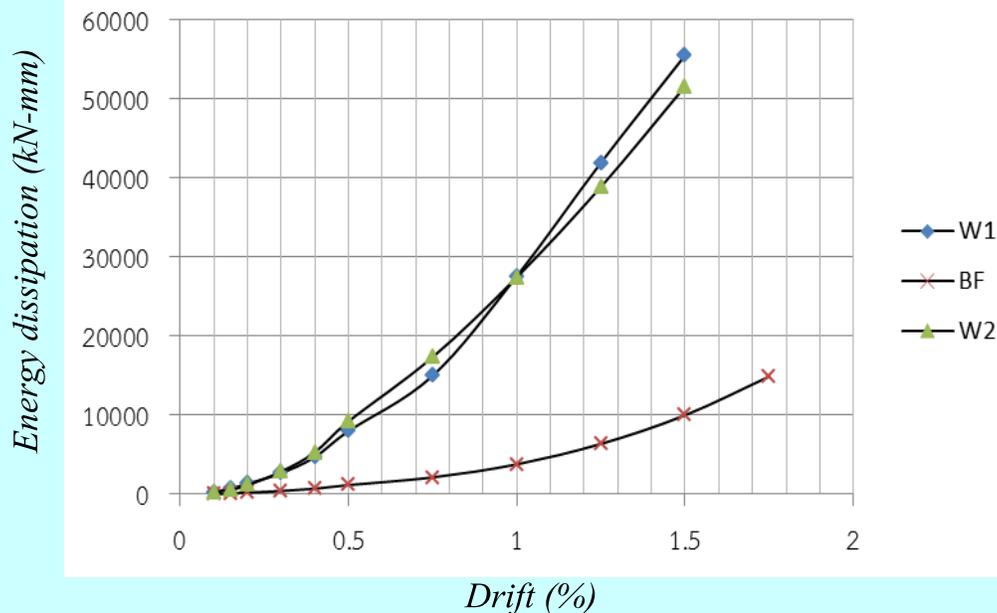
## ตารางที่ 1 ผลการทดสอบตัวอย่าง BF, W1 และ W2

ตัวอย่าง	กำลังรับแรงสูงสุด (kN)	ค่าการเคลื่อน ตัว ณ จุดรับ แรงสูงสุด (mm)	ค่าสติฟเนส (kN/mm)	การสลายพลังงาน สะสม (kN-mm)
BF	72.46	43.51	1.66	14911.17
W1	407.19	16.82	24.20	55505.63
W2	286.41	21.32	13.43	51572.74



## Envelope curve ของตัวอย่าง BF, W1 และ W2





W1 max 55505.63 kN-mm

W2 max 51572.14 kN-mm

BF max 14911.17 kN-mm

## Energy dissipation ของตัวอย่าง BF, W1 และ W2



การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +0.5 %



การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +1.0 %



การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +2.0 %

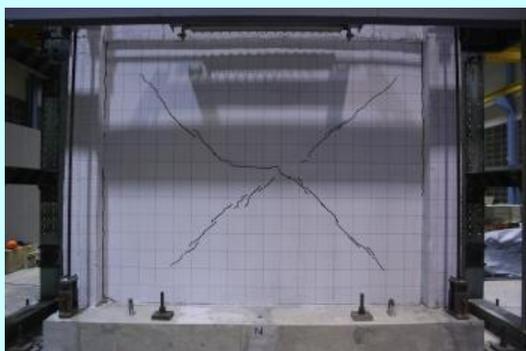




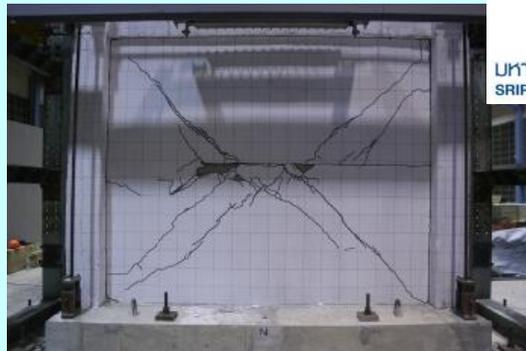
## การวิบัติบริเวณรอยต่อของเสาและคาน



คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม



การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +0.5 %



การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +1.0 %



การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +1.5 %

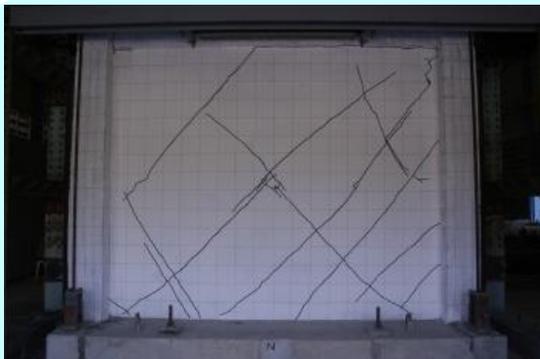


มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY



คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างการทดสอบ W1



การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +0.5 %



การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +1.0 %



การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +1.5 %



## ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างการทดสอบ W2



ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการคำนวณและผลการทดสอบตัวอย่าง BF, W1 และ W2

ตัวอย่าง	ผลการคำนวณ		ผลการทดสอบ	
	กำลังรวม (KN)	การวิบัติ	กำลังรวม (KN)	การวิบัติ
<b>BF</b>	70.85	-	72.46	-
<b>W1</b>	383.8	แรงกดอัดในแนว ทแยง	407.19	แรงกดอัดในแนว ทแยง
<b>W2</b>	217.8	แรงกดอัดในแนว ทแยง	286.41	แรงกดอัดในแนว ทแยง



# การเสริมกำลังผนังก่ออิฐในโครงอาคาร



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

ในกรณีที่ผนังมีการเสริมกำลังด้วยวิธี Ferrocement กำลังต้านทานแรงเฉือนคำนวณได้จาก

$$V_s = \eta v_f A_v f_y$$

เมื่อ  $V_s$  คือ กำลังต้านทานแรงเฉือนของผนังเสริมกำลัง

$\eta$  คือ ตัวคูณประสิทธิภาพของวัสดุเสริมกำลังในทิศทางแรงกระทำที่พิจารณา

$v_f$  คือ อัตราส่วน ระหว่างปริมาตรของวัสดุเสริมกำลังและปริมาตรของ Ferrocement

$$v_f = \frac{V_m}{V_c}$$

$$V_m = N W_m \times A_v$$

$$V_c = \gamma_m t_f \times A_v$$

$N$  คือ จำนวนชั้นของตะแกรงเสริมกำลัง

$W_m$  คือ หน่วยน้ำหนักของตะแกรงเสริมกำลังต่อพื้นที่แผ่นตะแกรง

$\gamma_m$  คือ ความหนาแน่นของวัสดุเสริมกำลัง

$t_f$  คือ ความหนาของ Ferrocement

$A_v$  คือ พื้นที่หน้าตัดของปูนมอร์ตาร์ฉาบผิว

$f_y$  คือ กำลังครากของวัสดุเสริมกำลัง

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะ โป



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

หากกำหนดให้โครงอาคารผนังก่ออิฐในตัวอย่างข้างต้น จะต้องออกแบบให้ต้านทานแรงกระทำด้านข้าง 500 KN แสดงการคำนวณ ดังนี้

เลือกใช้ตะแกรงเหล็กฉีก ขนาด No.22 มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 1.15 กก. ต่อแผ่น (ขนาด 0.91x1.83 m)

มีกำลังคราก  $f_y = 3,500$  กก./ตร.ซม.

กำลังต้านทานแรงเฉือนคำนวณได้จาก

$$V_s = \eta v_f A_v f_y$$

$\eta = 0.65$  (ในทิศทางตามยาว)

$$v_f = \frac{V_m}{V_c} = \frac{N W_m}{\gamma_m t_f}$$

กำหนดให้ความหนาของ Ferrocement เท่ากับ 25 mm ใช้ตะแกรงเหล็กฉีก No.22 จำนวน 1 ชั้นและเสริมทั้งสองด้านของผนัง

$$W_m = \frac{1.15}{0.91 \times 1.83} = 0.69 \text{ กก./ตร.ม.}$$

$$v_f = \frac{1 \times 0.69}{7,800 \times 0.025} = 0.0035$$

$$V_s = 2(0.65 \times 0.0035 \times 2.5 \times 365 \times 3,500) = 14,532 \text{ กก. (142.6 KN)}$$

ดังนั้น กำลังต้านทานของโครงอาคารเสริมกำลังผนังก่ออิฐ

$$H = V_{BF} + R_{DC} \cos \theta + V_s$$

$$= 7,222 + 31,897 + 14,532 = 53,651 \text{ กก. (526.3 KN)} > 500 \text{ KN}$$

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะ โป



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม



# การเสริมกำลังผนังก่ออิฐในอาคารเพื่อ ต้านทานแผ่นดินไหว

## บ้านดงมะเดะ อ. แม่ลาว จ. เชียงราย

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะ โป



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

# การเสริมกำลังผนังก่ออิฐในอาคารเพื่อ ต้านทานแผ่นดินไหว



รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะ โป



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

# ผนังก่ออิฐแตกร้าวเนื่องจาก เสาอาคารไม่มีคานคอนกรีตยึดระหว่างหัวเสา



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

แรงกระทำจากแผ่นดินไหว

ไม่มีคานคอนกรีตยึดระหว่างหัวเสา



รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาอะโป



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

# ผนังก่ออิฐแตกร้าวเนื่องจาก เสาอาคารไม่มีคานคอนกรีตยึดระหว่างหัวเสา



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY



การเชื่อมเหล็กยึดหัวเสา  
หลังจากเหตุการณ์  
แผ่นดินไหว

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาอะโป



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

# ผนังก่ออิฐแตกร้าวเนื่องจาก เสาอาคารไม่มีคานคอนกรีตยึดระหว่างหัวเสา



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY



รศ.ดร.ไพบูรณ์ ปัญญาคะโป



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

## แนะนำการเสริมกำลังผนังบ้านที่เสียหาย



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY



นักศึกษา ป.เอกแนะนำการเสริม  
ตะแกรงเหล็กฉีกสำหรับผนังก่ออิฐ

รศ.ดร.ไพบูรณ์ ปัญญาคะโป



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

# การติดตั้งตะแกรงเหล็กฉีกและฉาบปูน



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY



รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป



คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม