



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 โครงสร้าง - ผนังก่ออิฐ



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป

การวิบัติแบบเสาสัน ผลจากพฤติกรรม โครงสร้าง - ผนังก่ออิฐ



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



แรงเฉือน



แรงเฉือน



คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป



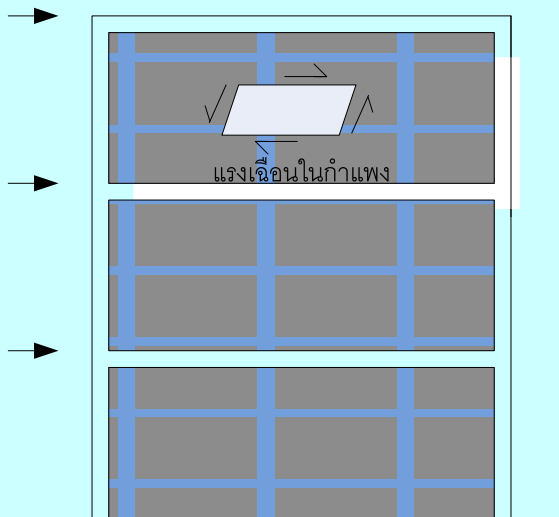
การวิบัติแบบเสาสัน ผลจากพฤติกรรม โครงสร้าง - ผนังก่ออิฐ



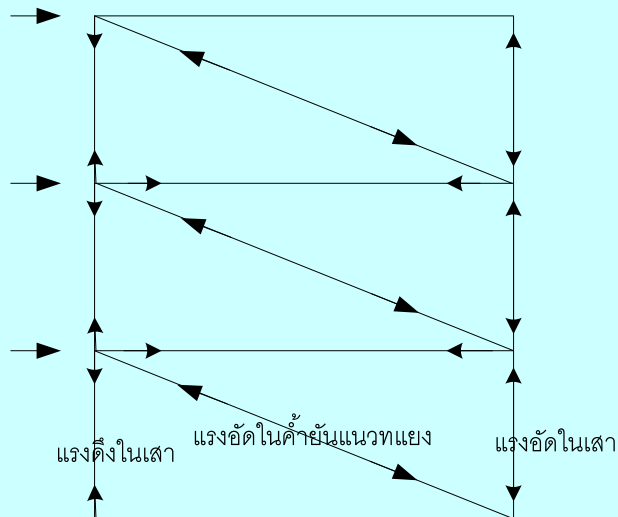
ความเสียหายของโครงสร้างผนังก่อ รร.แม่ลาววิทยาคม



พฤติกรรมรับแรงของโครงอาคารผนังก่ออิฐ



ก) พฤติกรรมแรงเฉือนในกำแพง



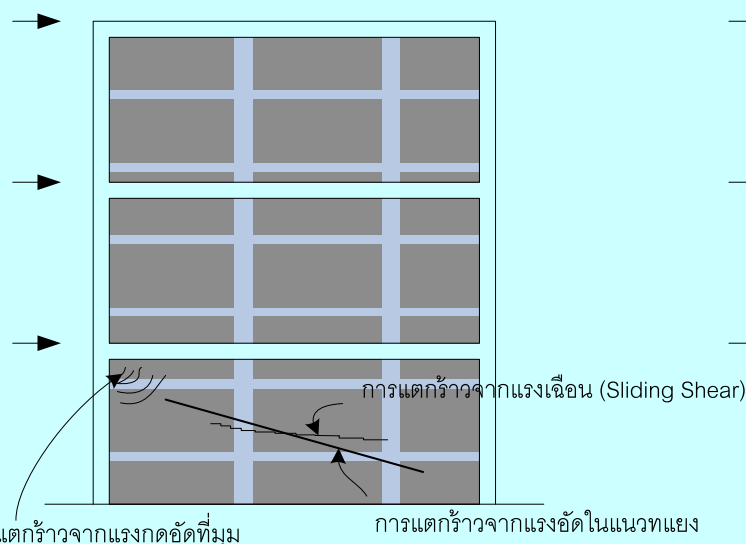
ข) พฤติกรรมแรงค้ำยันในระบบกำแพง เสา-คาน



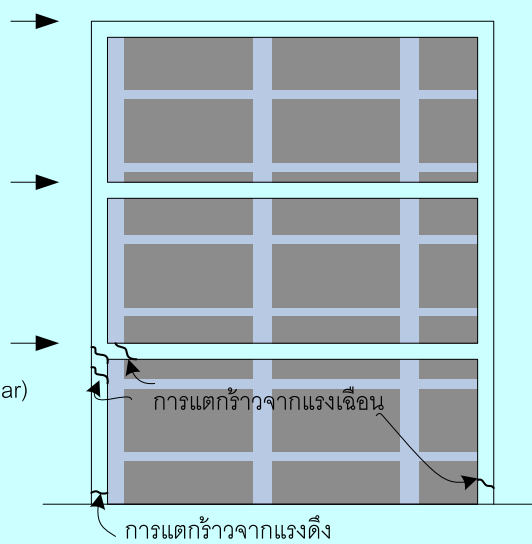
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รศ.ดร.ไพบูรณ์ ปัญญาคะ โป

รูปแบบการวิบัติของโครงอาคารผนังก่ออิฐ



ก) รูปแบบการวิบัติของผนังอิฐ



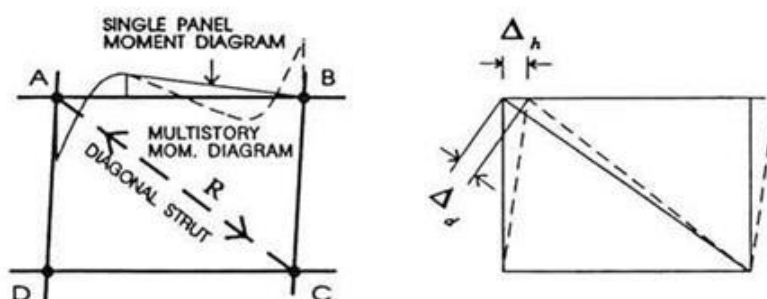
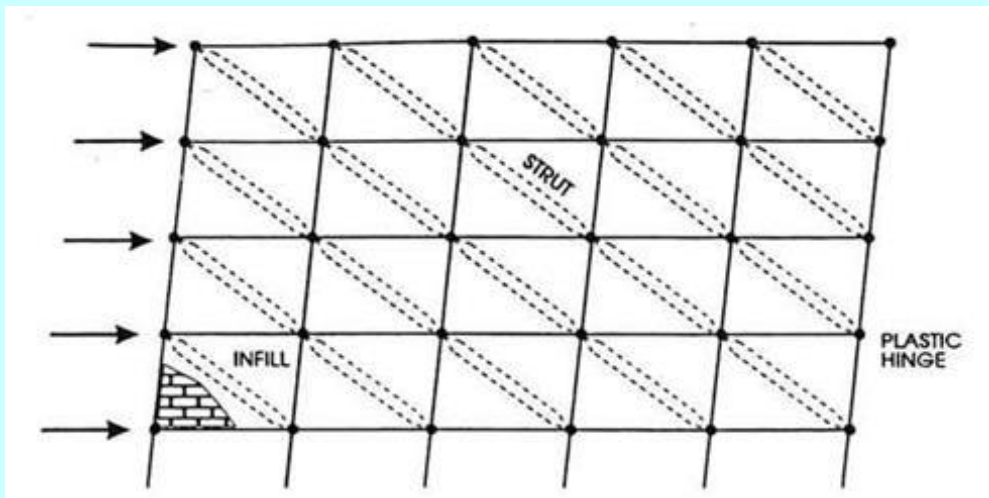
ข) รูปแบบการวิบัติของโครงคาน-เสา



คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

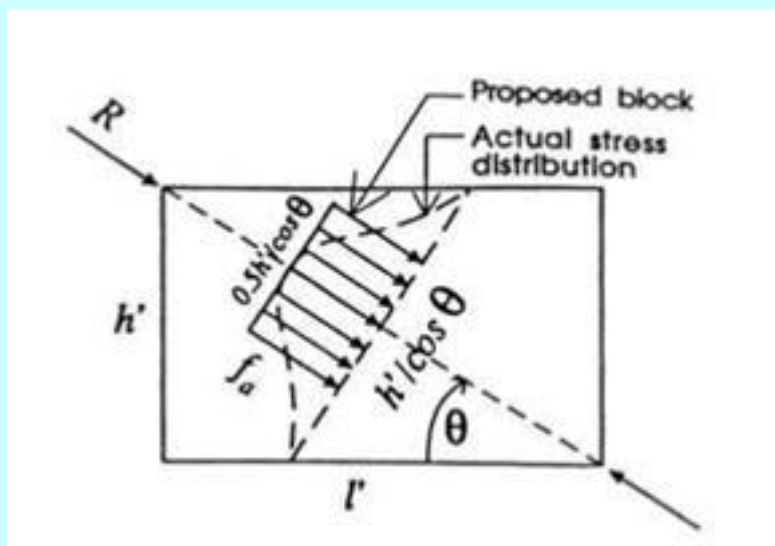
รศ.ดร.ไพบูรณ์ ปัญญาคะ โป

กำลังต้านทานของโครงอาคารผนังก่อ


 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รศ.ดร.ไพบูรณ์ 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

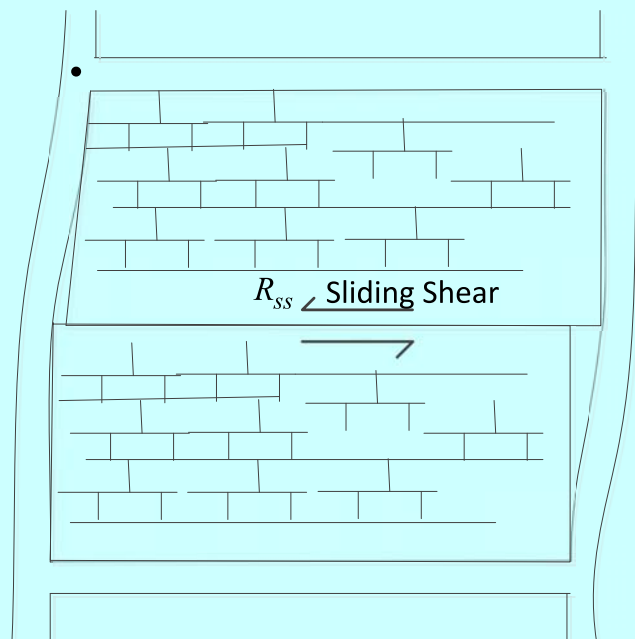
f'_m คือ กำลังอัดของผนังก่ออิฐ


 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รศ.ดร.ไพบูรณ์ ปัญญาคะโป



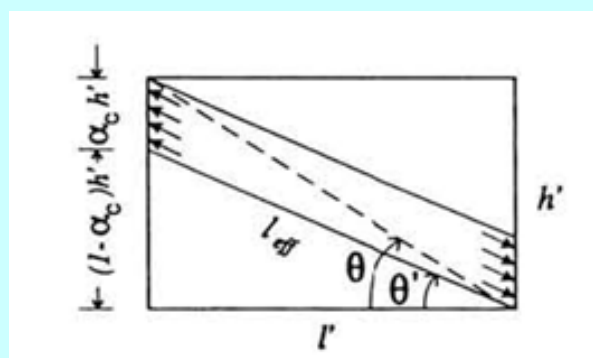
กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล (Sliding Shear Resistant)



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

γ 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



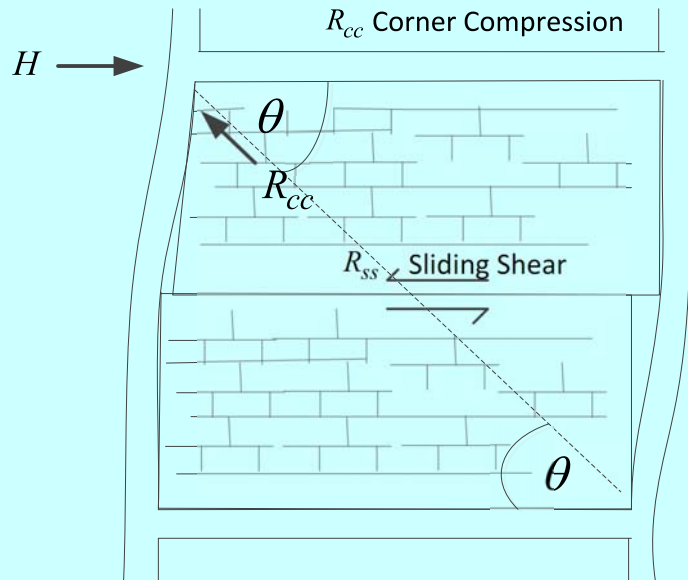
กำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนัง (Corner Compression Resistant)

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

$$\tau_b = \mu \sigma_b$$

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

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



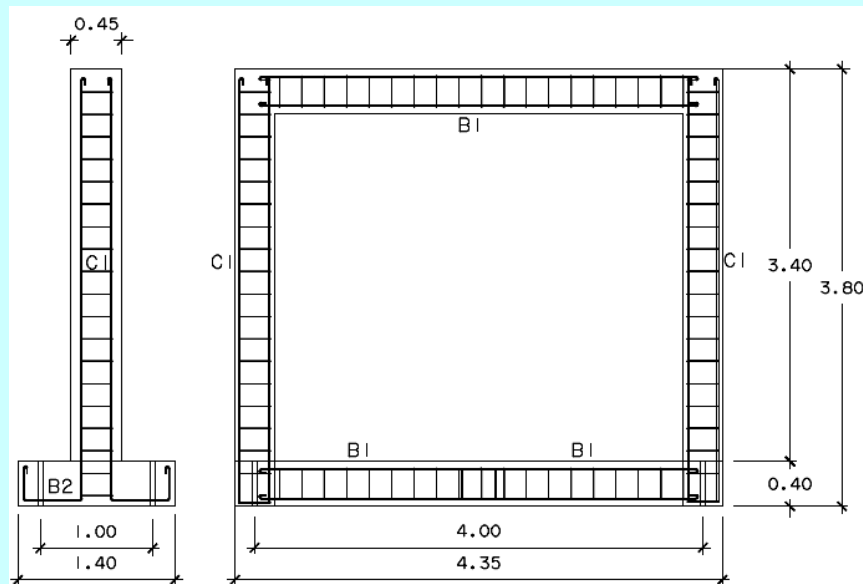
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รศ.ดร.ไพบูรณ์ ปัญญาคะโป

ตัวอย่างการคำนวณ



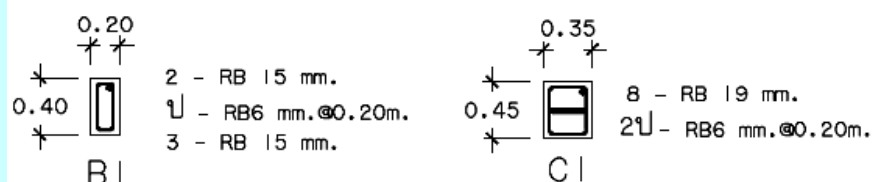
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



$h = 340 \text{ cm}$,

$h' = 320 \text{ cm}$

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



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

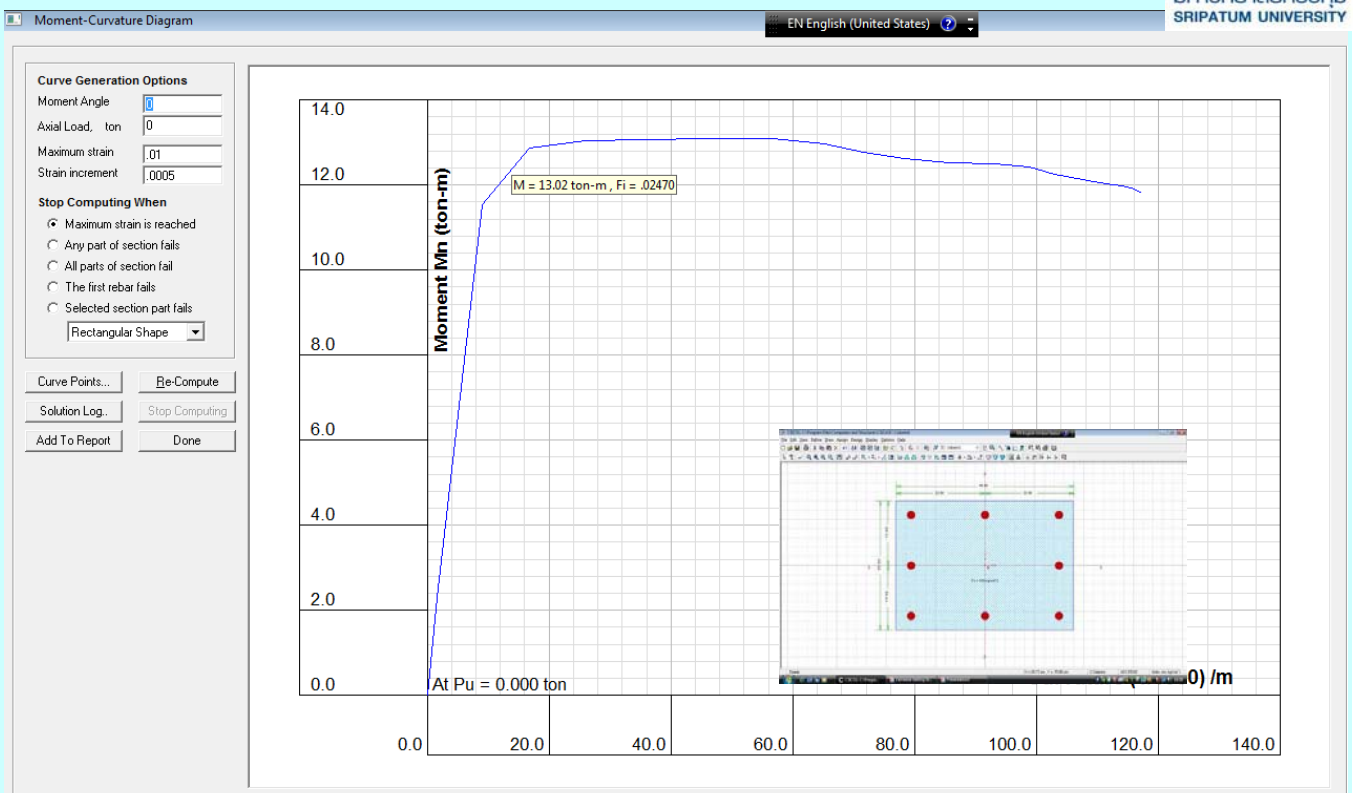
$$R_{DC} \cos \theta = 31,897 \text{ กก. (312.9 KN)}$$

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป



คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ค่าโมเมนต์พลาสติกของเสา

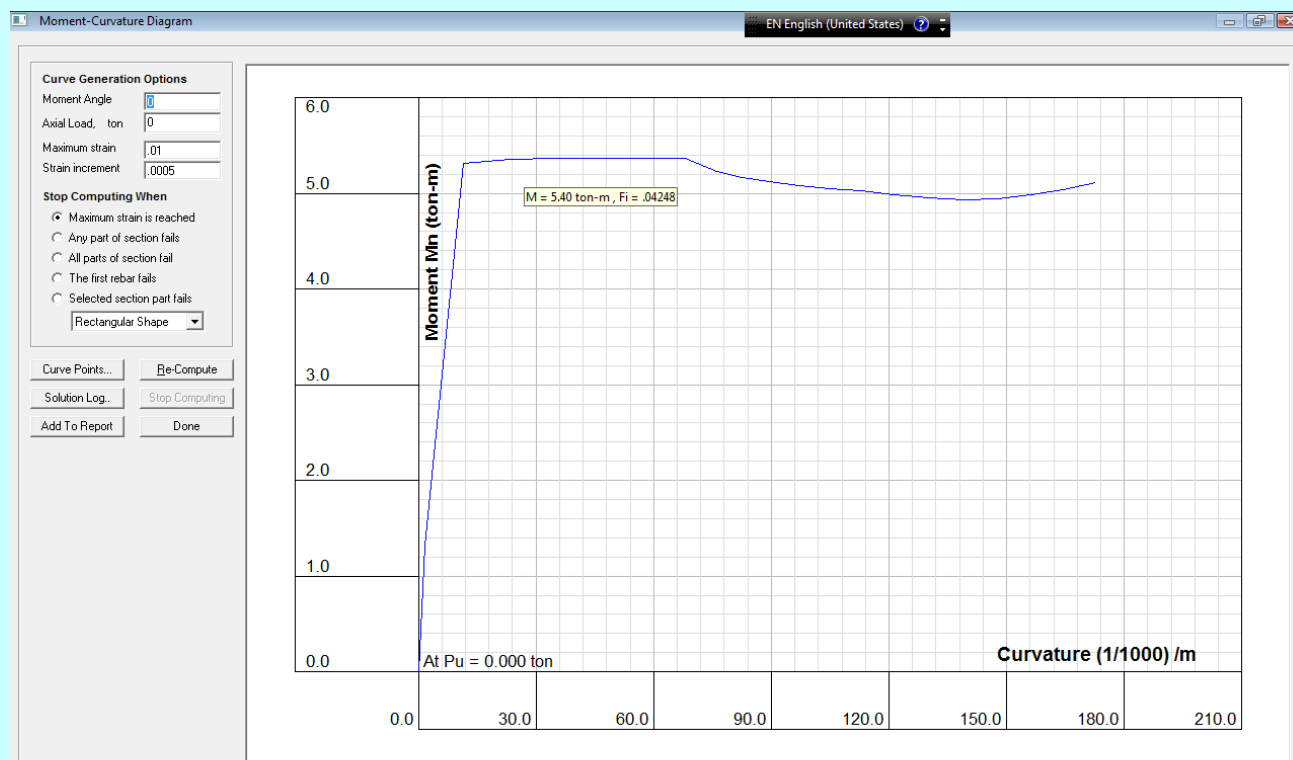


คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป



ค่าโมเมนต์พลาสติกของคาน



กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล (Sliding Shear Resistant) คำนวณได้จาก

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

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

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

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

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

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



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 กำลังต้านทานรวมของโครงอาคารผนังอิฐมวลฉนวน

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

รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป



คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



โครงเฟรมคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ทดสอบ BF



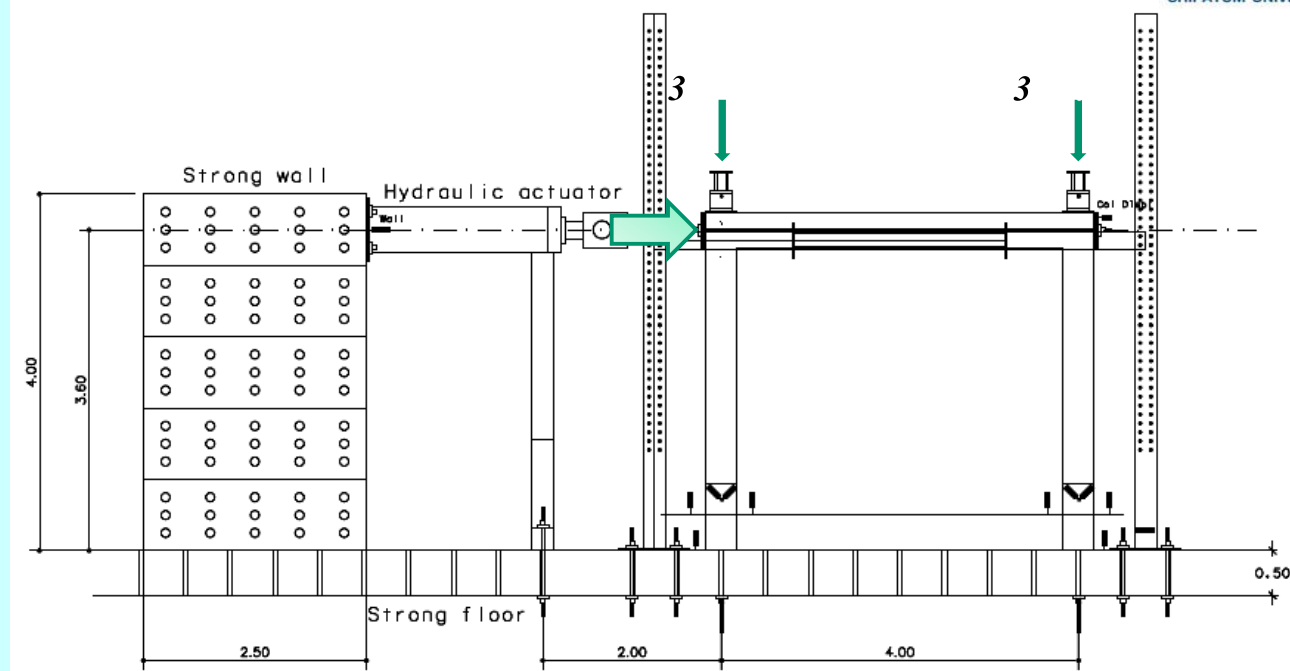


ผนังก่ออิฐมวลเบาในโครงเฟรมคอนกรีตเสริมเหล็ก (W1)



ผนังก่ออิฐมวลเบาในโครงเฟรมคอนกรีตเสริมเหล็ก (W2)

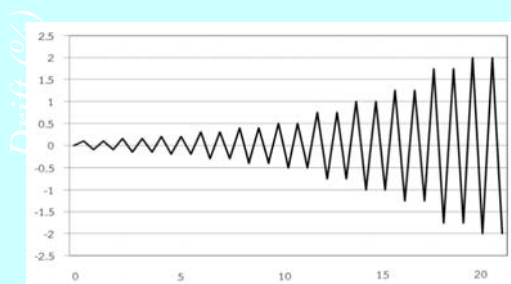




การติดตั้งตัวอย่างการทดสอบ

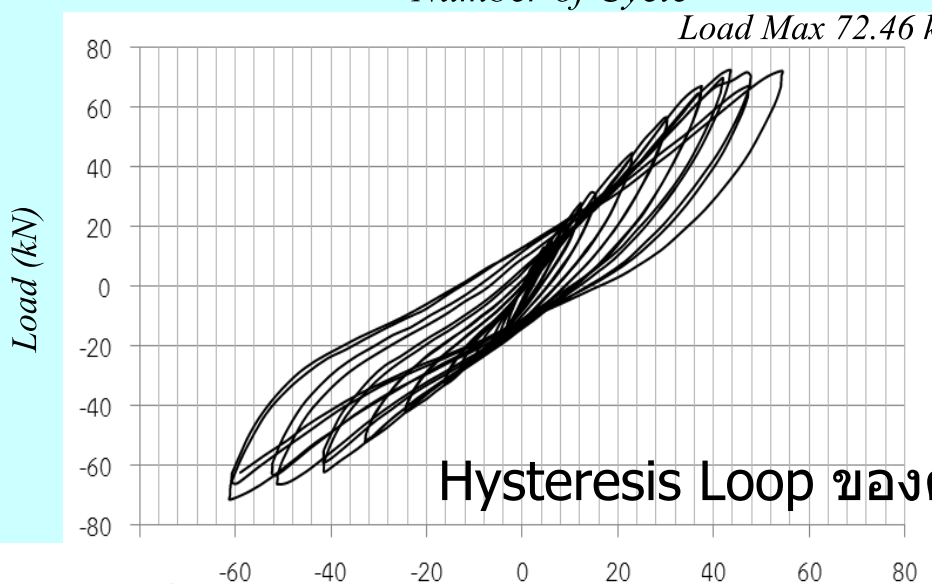


คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม



Number of Cycle

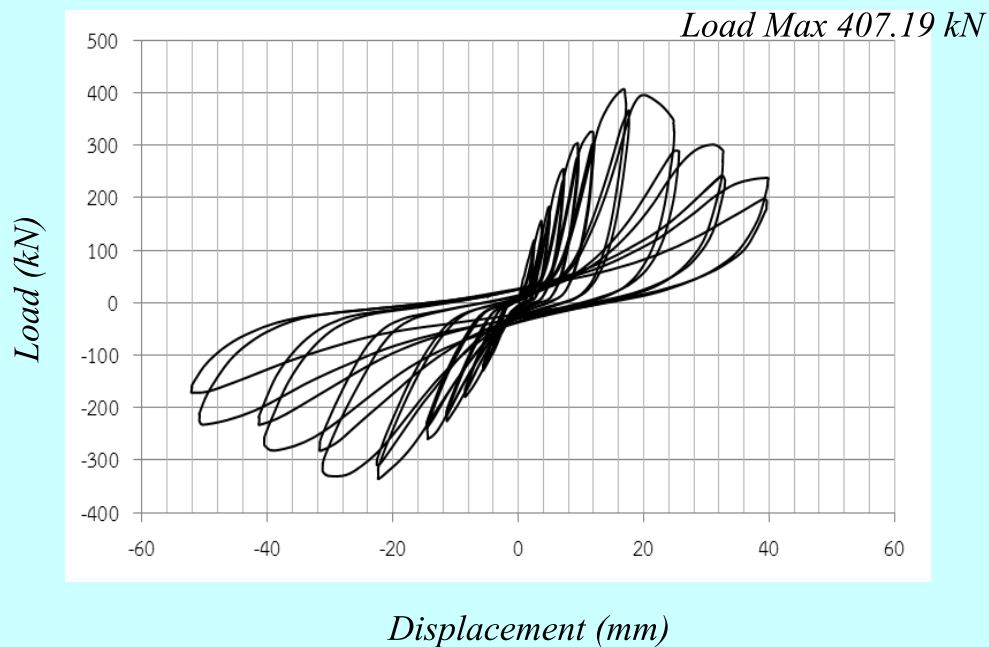
Load Max 72.46 kN



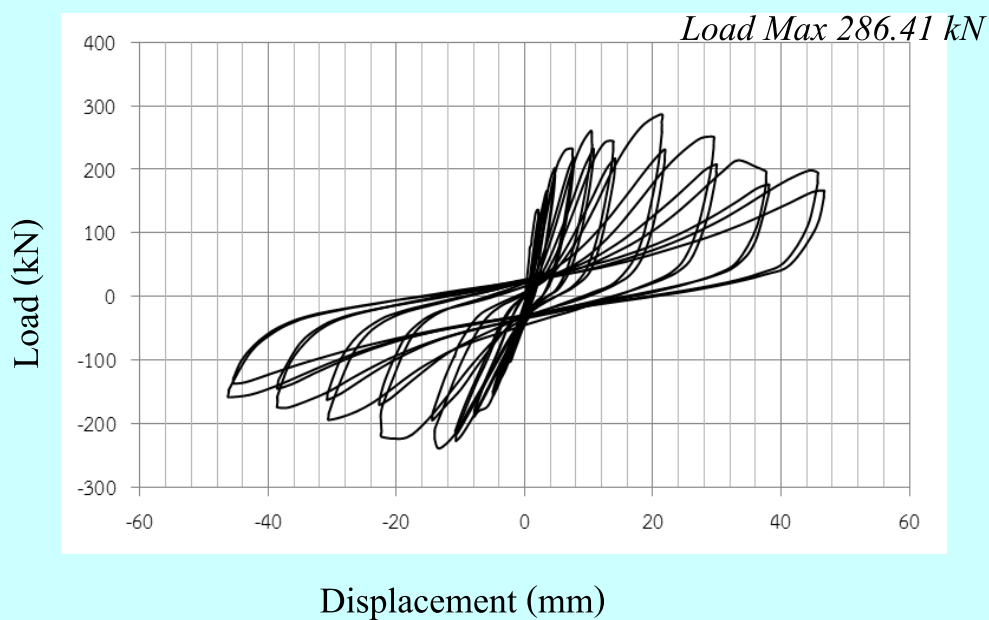
Hysteresis Loop ของตัวอย่าง BF



คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม



Hysteresis Loop ของตัวอย่าง W1

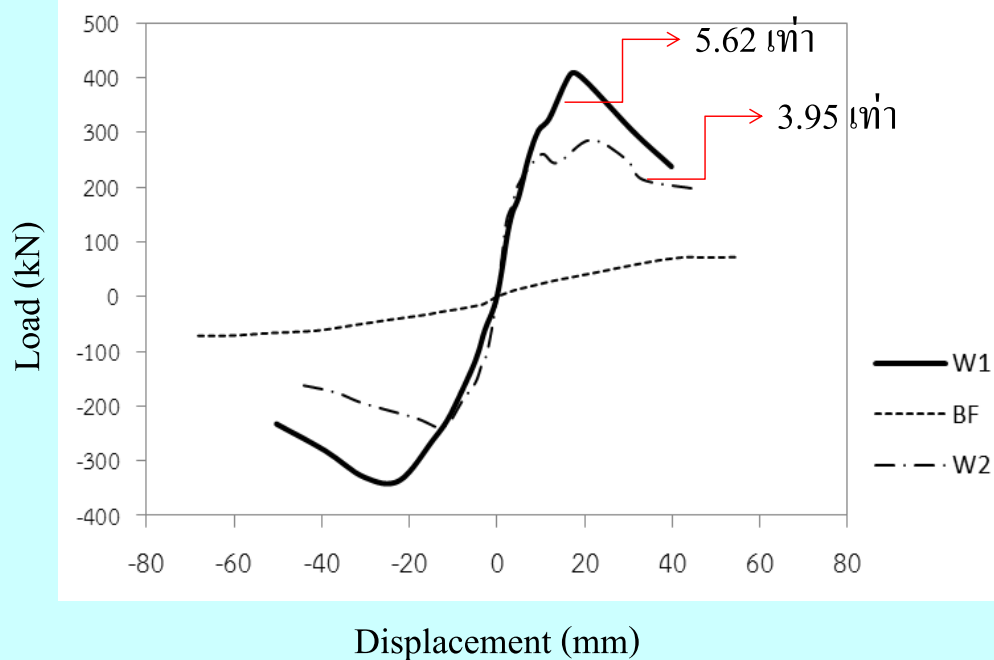


Hysteresis Loop ของตัวอย่าง W2



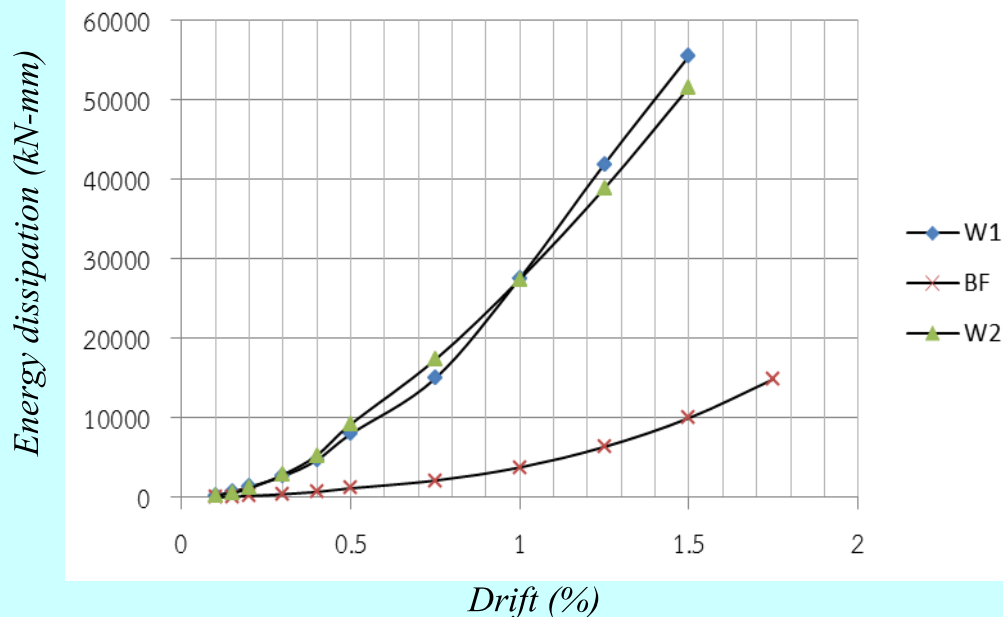
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบตัวอย่าง BF, W1 และ W2

ตัวอย่าง	กำลังรับแรงสูงสุด (<i>kN</i>)	ค่าการเคลื่อน ตัว ณ จุดรับ แรงสูงสุด (<i>mm</i>)	ค่าสติฟเนส (<i>kN/mm</i>)	การสลายพลังงาน สะสม (<i>kN-mm</i>)
<i>BF</i>	72.46	43.51	1.66	14911.17
<i>W1</i>	407.19	16.82	24.20	55505.63
<i>W2</i>	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 %

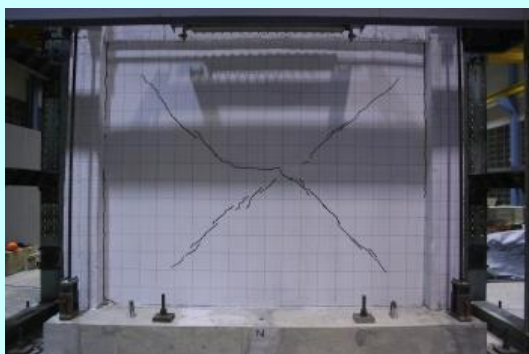




การวิบัติบริเวณรอยต่อของเสาและคาน



คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม



การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +0.5 %



การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +1.0 %



การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +1.5 %

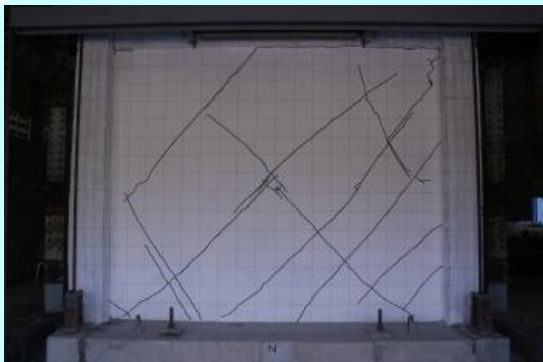


มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



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
BF	70.85	-	72.46	-
W1	383.8	แรงกดอัดในแนว ทแยง	407.19	แรงกดอัดในแนว ทแยง
W2	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

η คือ ตัวคูณประสิทธิภาพของวัสดุเสริมกำลังในทิศทางแรงกระทำที่พิจารณา

v_f คือ อัตราส่วน ระหว่างปริมาตรของวัสดุเสริมกำลังและปริมาตรของ Ferrocement

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

$$V_m = NW_m \times A_v$$

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

N คือ จำนวนชั้นของตะแกรงเสริมกำลัง

W_m คือ หน่วยน้ำหนักของตะแกรงเสริมกำลังต่อพื้นที่แผ่นตะแกรง

γ_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)

$$v_f = \frac{V_m}{V_c} = \frac{NW_m}{\gamma_m t_f}$$

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 ปัญญาคะโป



คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

การเสริมกำลังผนังก่ออิฐในอาคารเพื่อ ต้านทานแผ่นดินไหว



รศ.ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป



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