

บทที่ 4

วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการวิจัย

4.1 ผลกระทบของอัตราส่วนความชื้นของกำแพง

4.1.1 ผลกระทบของอัตราส่วนความชื้นต่อกำลังรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด

จากการทดลองกำแพงชุด A และ AG มีอัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 5.9 มีกำลังเท่ากับ 233 กก./ซม.² และ 254 กก./ซม.² ตามลำดับ ส่วนกำแพงชุด B และ BG มีอัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 9.9 มีกำลังเท่ากับ 206 กก./ซม.² และ 239 กก./ซม.² ตามลำดับ ผลการทดลองกำแพงรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดพบว่า กำแพงชุด B และ BG ซึ่งมีอัตราส่วนความชื้นสูงกว่าจะรับน้ำหนักได้น้อยกว่ากำแพงชุด A และ AG ซึ่งมีอัตราส่วนความชื้นน้อยกว่าเหมือนกับโครงสร้างอื่น ๆ ทั่วไป

แต่จากการทดลองกำแพงชุดที่กรอกปูน AG และ BG พบว่า กำแพงชุด BG รับน้ำหนักได้มากกว่าชุด B 16 เปอร์เซ็นต์ แต่กำแพงชุด AG รับน้ำหนักมากกว่ากำแพงชุด A 9 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าการกรอกปูนกรอกเข้าไปจะทำให้มีผลกระทบต่อกำแพงรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดได้มากกว่าก็ต่อเมื่อกำแพงมีอัตราส่วนความชื้นที่สูงขึ้น นั่นคือกำแพงที่มีความชื้นต่ำเมื่อกรอกปูนกรอกเข้าไปจะทำให้รับน้ำหนักได้ไม่แตกต่างมากนักจากกำแพงที่ไม่กรอกปูนกรอกเลย แต่เมื่อกำแพงมีความชื้นสูงขึ้นการกรอกปูนกรอกจะทำให้กำแพงรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดได้มากขึ้น

4.1.2 ผลกระทบของอัตราส่วนความชื้นต่อพฤติกรรมของรอยแตกร้าว

พฤติกรรมการแตกร้าวของกำแพงชุด A เมื่อเทียบกับกำแพงชุด B แล้วปรากฏว่าลักษณะของรอยร้าวในระนาบตั้งฉากกับผิวสัมผัสของกำแพงจะมีลักษณะของรอยแยกเฉียงทำมุมประมาณ 30 องศา กับแนวดิ่งในชุด A ส่วนกำแพงที่มีความชื้นสูงกว่าในชุด B จะมีรอยแยกเฉียงทำมุมที่น้อยกว่าคือประมาณ 20 องศา กับแนวดิ่งสามารถอธิบายได้จากสมมุติฐานของ Page and Shrive (1990) การกระจายของแรงผ่านคานเอนดังรูปที่ 4.1

เมื่อกำหนดให้

D คือความสูงของคอนกรีตบล็อก

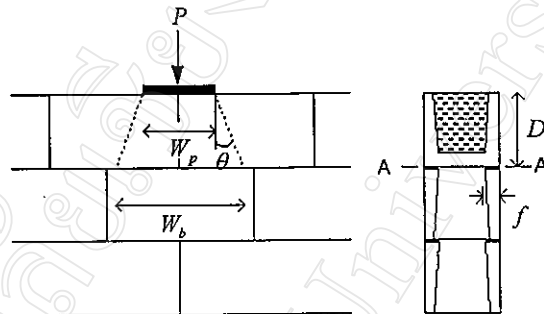
P คือน้ำหนักที่กระทำ

W_p ความยาวแผ่นเหล็กถ่ายแรง

W_b ความยาวของแรงที่กระจายไปในกำแพงคอนกรีต

f ความหนาของเปลือกบล็อก

θ มุมที่แรงกระจายกระทำกับแนวดิ่ง



รูปที่ 4.1 การกระจายของแรงกระทำเป็นจุดผ่านคานเอ็นตามสมมุติฐานของ Page and Shrive (1990)
(ที่มา : Page and Shrive, 1990)

จากรูปที่ 4.1 ค่าความเค้นที่หน้าตัด A-A มีค่าเท่ากับแรง P ต่อพื้นที่รับแรงทำให้ได้สมการ
ที่ (4.1)

$$\text{ความเค้นที่หน้าตัด A-A} = \frac{P}{2fW_b} \quad (4.1)$$

จากสมการ 4.1 เปรียบเทียบค่า W_b ที่ได้จากกำแพงชุด A และชุด B พบว่าเมื่อกำหนดให้ค่าความเค้นที่หน้าตัด A-A เท่ากัน แต่กำแพงชุด A รับน้ำหนักได้มากกว่าชุด B ทำให้ค่า W_b ของกำแพงชุด A มากกว่ากำแพงชุด B และจากรูปที่ 4.1 มุมที่แรงกระจายทำกับแนวดิ่งมีค่าดังสมการที่ (4.2)

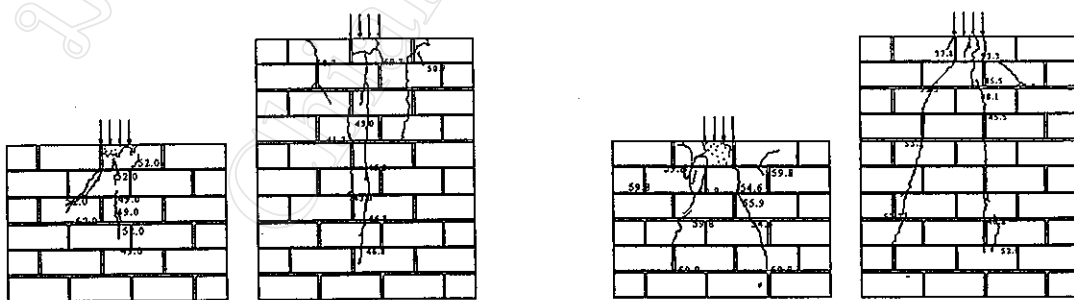
$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{W_b - W_p}{2D} \right) \quad (4.2)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (4.2) และนำค่า W_b มาแทนค่าในสมการที่ (4.2) พบว่าค่าแรงชุด A ซึ่งมีค่า W_b ที่มากกว่าค่าแรงชุด B ทำให้ค่า θ ของค่าแรงชุด A ซึ่งมีความชะลูดต่ำกว่ามีมุมมองการกระจายของแรงที่กระทำกับแนวค้ำกว้างกว่าค่าแรงชุด B ที่มีความชะลูดสูงกว่า

4.2 ผลกระทบของปูนกรอก

4.2.1 ผลกระทบของปูนกรอกต่อพฤติกรรมการแตกร้าว

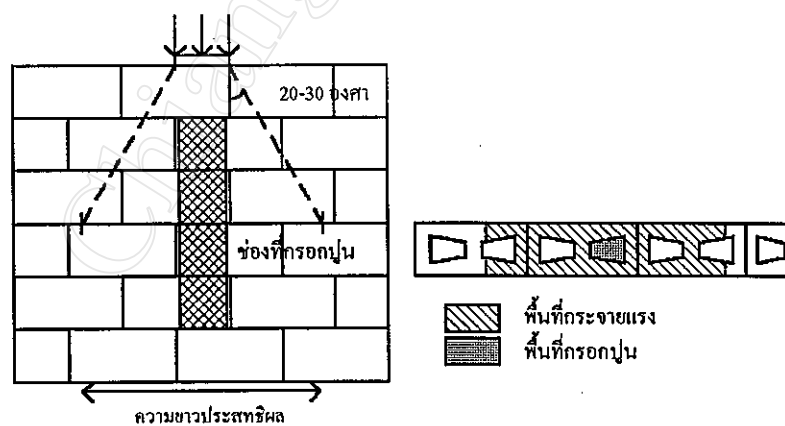
เมื่อสังเกตรอยแตกร้าวของค่าแรงที่ไม่กรอกปูนกรอกและค่าแรงที่กรอกปูนกรอกจากการทดลองพบว่า ค่าแรงที่กรอกปูนกรอกจะรับน้ำหนักได้มากกว่าค่าแรงที่ไม่กรอกปูนกรอกเล็กน้อย แต่พฤติกรรมการแตกร้าวนั้นสามารถเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนคือ ค่าแรงที่ไม่มีการกรอกปูนกรอกจะมีการแตกร้าวในระนาบตั้งฉากกับผิวสัมผัสของค่าแรงของบล็อกเป็นเส้นค้ำลงภายใต้แผ่นเหล็กถ่ายแรงที่กระทำดังรูปที่ 4.2 ก. แต่ค่าแรงที่มีการกรอกปูนกรอกจะไม่เกิดรอยร้าวตรงบริเวณนั้น แต่จะไปเกิดรอยร้าวตรงบล็อกและรอยต่อของปูนก่อแนวค้ำด้านข้างแทน ดังรูปที่ 4.2 ข. สรุปได้ว่าการกรอกปูนกรอกทำให้ค่าแรงรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและไม่เกิดรอยแตกร้าวบริเวณใต้แผ่นเหล็กถ่ายแรง แต่จะไปแตกบริเวณรอยต่อของปูนก่อแนวค้ำและคอนกรีตบล็อกด้านข้างแทน



รูปที่ 4.2 ก. ค่าแรงชุด A และ B ซึ่งไม่มีปูนกรอกตรงกลาง
ข. ค่าแรงชุด AG และ BG มีปูนกรอกตรงกลาง

4.2.2 ผลกระทบของปูนกรอกต่อกำลังรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด

จากการทดลองกำแพงรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดพบว่ากำแพงที่กรอกปูนกรอก 1 ช่อง ได้แผ่นเหล็กถ่ายแรงรับน้ำหนักได้มากกว่ากำแพงที่ไม่กรอกปูนทั้งชุดทดสอบ A และชุด B เนื่องจากกำแพงที่กรอกปูนกรอกมีพื้นที่ในการกระจายน้ำหนักมากกว่ากำแพงที่ไม่มีการกรอกปูนกรอก พื้นที่ในการกระจายแรงของกำแพงเมื่อไม่มีปูนกรอกมีเพียงเปลือกบล็อกลึกและเอวบล็อกเท่านั้นที่รับแรง แต่กำแพงที่มีการกรอกปูนกรอกจะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นมาตรงช่องที่กรอกปูน 1 ช่อง จึงทำให้กำแพงคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่มีการกรอกปูนกรอกรับน้ำหนักได้มากกว่ากำแพงที่ไม่ได้กรอกปูนกรอก แต่จากการทดลองที่ได้ผลของกำลังของกำแพงกรอกปูนกรอกได้ค่าไม่มากเท่าที่ควรคือรับน้ำหนักเพิ่มขึ้น 9 เปอร์เซ็นต์และ 16 เปอร์เซ็นต์ในชุด A และชุด B ตามลำดับ อาจจะเนื่องมาจากเมื่อเทียบพื้นที่ที่เกิดจากการกระจายน้ำหนักกระทำเป็นจุดผ่านแผ่นเหล็กถ่ายแรงเป็นมุมประมาณ 20 - 30 องศาเทียบกับแนวตั้ง และวัดระยะความยาวประสิทธิผลของพื้นที่ที่ครึ่งหนึ่งของความสูงของกำแพง (รูปที่ 4.3) ในกำแพงที่กรอกปูนกับไม่กรอกปูนจะเห็นว่าพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นมาจากการกรอกปูน 1 ช่องมีค่าประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับพื้นที่ของกำแพงที่ไม่กรอกปูน จึงทำให้กำแพงรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้ไม่มากดังผลการทดลอง ดังนั้นการกรอกปูน 1 ช่องได้แผ่นเหล็กถ่ายแรงทำให้กำแพงรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและช่วยทำให้กำแพงวิบัติช้าลงเท่านั้น



รูปที่ 4.3 พื้นที่กระจายของแรงกระทำจากแผ่นเหล็กถ่ายแรงสู่กำแพง

4.3 เปรียบเทียบน้ำหนักที่ทำให้เริ่มเกิดรอยร้าว

น้ำหนักที่ทำให้เริ่มเกิดรอยร้าวที่ได้จากการสังเกตคือน้ำหนักที่ได้จากการทดลองเมื่อเริ่มเห็นรอยร้าวรอยแรกในกำแพง ทั้งในระนาบขนานกับผิวสัมผัสของกำแพง (In-Plane) และในระนาบตั้งฉากกับผิวสัมผัสของกำแพง (Out of - Plane) น้ำหนักที่ทำให้เริ่มเกิดรอยร้าวที่ได้จากกราฟ คือค่าที่อ่านจากกราฟระหว่าง Out-of-Plane Expansion VS. Load กับ Lateral Expansion VS. Load ของกำแพง (รูปที่ 3.13-3.24) ซึ่งค่าที่ได้นี้จะสังเกตขณะที่กราฟมีการกระโดดหรือมีระยะขยายตัวที่สูงมาก โดยการเริ่มเกิดขึ้นของรอยร้าวในระนาบขนานกับผิวสัมผัสของกำแพง (First Crack In-Plane) จะสังเกตจากกราฟ Out-of-Plane Expansion VS. Load ส่วนการเริ่มเกิดขึ้นของรอยร้าวในระนาบตั้งฉากกับผิวสัมผัสของกำแพง (First Crack Out-of-Plane) จะสังเกตจากกราฟ Lateral Expansion VS. Load

จากตาราง 4.1 สังเกตเห็นได้ว่า ค่าที่ได้จากการเริ่มเกิดขึ้นของรอยร้าวในระนาบตั้งฉากกับผิวสัมผัสของกำแพงจะมีค่าน้อยกว่าของในระนาบขนานกับผิวสัมผัสของกำแพง ทั้งที่ได้จากการสังเกตที่กำแพงและที่ได้จากกราฟ แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการวิบัติของกำแพงรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่ได้จากการทดลองนี้จะวิบัติเริ่มจากด้านในระนาบตั้งฉากกับผิวสัมผัสของกำแพงก่อนคือจะมีรอยแยกต่าง ๆ ทั้งตรงและเฉียงทำมุมกับแนวตั้งออกจากแผ่นเหล็กถ่ายแรงบริเวณใต้แผ่นเหล็กถ่ายแรง (การปริแยกของบล็อก) ซึ่งเป็นเพียงรูปแบบการวิบัติที่มองเห็นได้จากภายนอกเท่านั้น แต่สุดท้ายแล้วการวิบัติของกำแพงนั้นจะเป็นการวิบัติจากในระนาบขนานกับผิวสัมผัสของกำแพง (Splitting of Web) ซึ่งตรงกับผลการทดลองของ Page and Shrive (1990) ที่ได้การวิบัติของกำแพงในแนวตั้งในระนาบตั้งฉากกับผิวสัมผัสของกำแพงก่อน แล้วสุดท้ายก็เป็นการวิบัติในระนาบขนานกับผิวสัมผัสของกำแพงซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้จากภายนอก

ตาราง 4.1 เปรียบเทียบกำลังเริ่มเห็นรอยร้าวรอยแรก

ชุดทดสอบ	First Crack In-Plane				First Crack Out-of-Plane			
	จากการสังเกต*		จากกราฟ**		จากการสังเกต*		จากกราฟ***	
	น้ำหนัก (ตัน)	กำลัง (กก./ซม.)	น้ำหนัก (ตัน)	กำลัง (กก./ซม.)	น้ำหนัก (ตัน)	กำลัง (กก./ซม.)	น้ำหนัก (ตัน)	กำลัง (กก./ซม.)
A1	52.0	231	53.3	237	45.5	202	45.5	202
A2	52.0	231	50.7	225	43.0	191	39.1	174
A3	49.0	218	50.7	225	49.0	218	44.3	197
เฉลี่ยชุด A	51.0	227	51.6	229	45.8	204	43.0	191
AG1 ****	40.4	174	40.4	180	39.1	174	37.8	168
AG2	54.6	243	52.0	231	49.0	218	48.1	214
AG3	59.8	266	55.9	248	54.6	243	48.1	214
เฉลี่ยชุด AG	57.2	254	54.0	240	51.8	230	48.1	214
B1	40.4	180	37.8	168	37.8	168	31.3	139
B2	50.7	225	43.0	191	40.4	180	36.5	162
B3	48.1	214	44.3	197	43.0	191	44.3	197
เฉลี่ยชุด B	46.4	206	41.7	185	40.4	180	37.4	166
BG1	53.3	237	46.8	208	45.5	202	43	191
BG2	59.8	266	45.5	202	44.3	197	45.5	202
BG3	48.1	214	45.5	202	46.8	208	44.3	197
เฉลี่ยชุด BG	53.7	239	45.9	204	45.5	202	44.3	197

หมายเหตุ: * First Crack จากการสังเกต ได้จากการทดลองเมื่อเริ่มเห็นรอยร้าวรอยแรกในกำแพง

** First Crack In-Plane จากกราฟ ได้จากกราฟ Out-of-Plane Expansion VS. Load

*** First Crack Out-of-Plane จากกราฟ ได้จากกราฟ Lateral Expansion VS. Load

**** First Crack ของกำแพง AG1 ไม่นำมาคำนวณค่าเฉลี่ย

4.4 เปรียบเทียบกำลังกับผลการทดลองของ Page and Hendry (1988) และ Page and Shrive (1990)

เนื่องจากไม่มีสูตรคำนวณค่าที่แน่นอนของกำลังรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด หรือมีก็เป็นเพียงสูตรที่ใช้ในการออกแบบเช่นสูตรของ Eurocode 6 Part 1-1, ENV 1996-1-1 ในสมการที่ (1.19) พบว่าให้ค่ากำลังของกำแพงที่ต่ำเนื่องจากมีค่าอัตราส่วนปลอดภัย ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้ไปเทียบเคียงกับผลการทดลองของ Page and Hendry (1988) ที่ทดสอบกำแพงอิฐรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด และ Page and Shrive (1990) ที่ทดสอบกำแพงคอนกรีตบล็อกกลวงรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด ซึ่งผลงานวิจัยของทั้งคู่ได้หาค่ากำลังของกำแพงรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด ไว้ในรูปแบบจำนวนเท่าของกำลังรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดต่อกำลังรับน้ำหนักแผ่กระจายคงที่ (Strength Enhancement) อยู่ในรูปของกราฟค่าขอบล่างระหว่าง Strength Enhancement กับ อัตราส่วนความยาวแผ่นเหล็กถ่ายแรงต่อความยาวกำแพง (Load Length Ratio) (รูปที่ 1.13 และ รูปที่ 1.23)

การเทียบเคียงผลการทดลองจากงานวิจัยนี้กับกราฟระหว่าง Strength Enhancement กับ Load Length Ratio ให้นำกำลังของกำแพงรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดหารด้วยกำลังรับน้ำหนักแผ่กระจายคงที่ แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้ทดลองหาค่ากำลังของกำแพงรับน้ำหนักแบบแผ่กระจายคงที่ ดังนั้นจึงได้ใช้สูตรในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักแบบแผ่กระจายคงที่มาใช้แทน โดยสูตรที่ใช้คำนวณกำลังรับแรงอัดของกำแพงรับน้ำหนักแผ่กระจายคงที่ที่ใช้เปรียบเทียบมี 4 สูตรดังสมการที่ (1.16) (1.17) (1.15) และ (1.14)

$$\text{สูตรของ Parson (1931)} \quad M = Kb\sqrt{mu} \quad (1.16)$$

$$\text{สูตรของ Rostampour (1973)} \quad f_{mw} = 0.9 f_b^{0.67} f_m^{0.33} \quad (1.17)$$

สูตรของ Hamid and Drysdale (1979)

$$\text{-กรณีไม่มีปูนกรอก} \quad f'_{mu} = \eta \frac{3.6\sigma_{ib} + \alpha\sigma_{cm}}{3.6\sigma_{ib} + \alpha\sigma_{cb}} \left(\frac{\sigma_{cb}}{K} \right) \quad (1.15)$$

$$\text{-กรณีมีปูนกรอก} \quad f'_{mg} = (1 - \eta)\sigma_{cg} \quad (1.14)$$

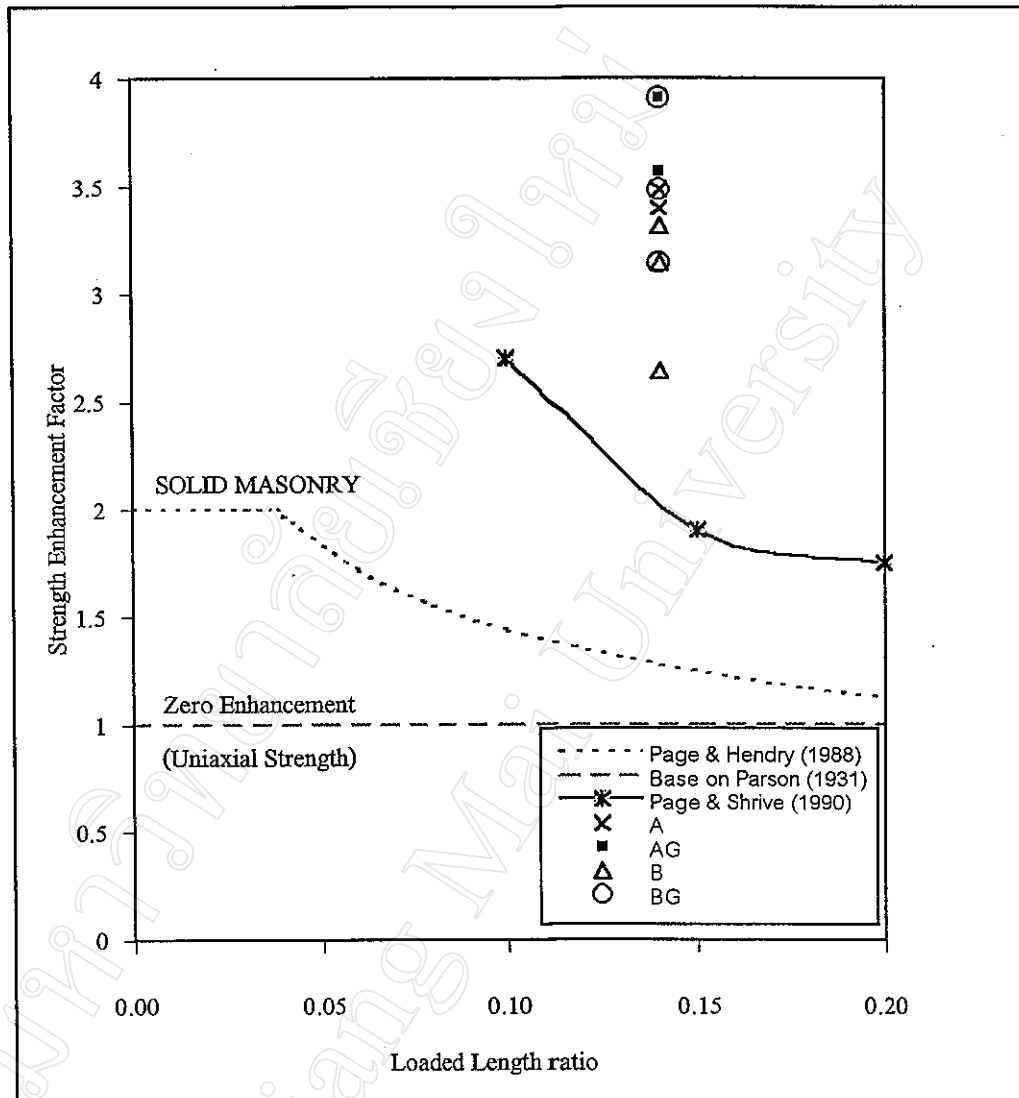
สูตรของ Parson (1931) และ Rostampour (1973) เป็นสูตรที่ได้จากผลการทดลองกำแพงรับน้ำหนักแผ่กระจายคงที่ แต่สูตรของ Hamid and Drysdale (1979) เป็นสูตรที่ได้จากผลการทดลองปริมิมอิฐบล็อกกลวง เมื่อนำไปประยุกต์ใช้สูตรในกรณีไม่มีปูนกรอกเสมือนกับคำนวณกำลังของกำแพงรับน้ำหนักแผ่กระจายคงที่และไม่ได้กรอกปูนกรอกเลย แต่ในสูตรที่มีปูนกรอกนำไปใช้เสมือนกับเป็นกำลังของกำแพงรับน้ำหนักแผ่กระจายคงที่และมีปูนกรอกทุกช่องของกำแพง

กำลังอัดเฉลี่ยของปูนก่อที่ใช้เท่ากับ 160 กก./ซม.² กำลังอัดของปูนกรอกที่ใช้เท่ากับ 211 กก./ซม.² และกำลังอัดเฉลี่ยของบล็อกเท่ากับ 94 กก./ซม.² เมื่อคิดจากหน้าตัดรวม หรือ 171 กก./ซม.² เมื่อคิดจากหน้าตัดสุทธิ เมื่อนำค่า Strength Enhancement ที่คำนวณได้ไปพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Page and Hendry (1988) และ Page and Shrive (1990) (ดังรูปที่ 4.4 – 4.6) พบว่าสูตรที่ใช้ในการคำนวณนั้นอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยและให้ค่า Strength Enhancement มากกว่าค่าขอบล่างของผลการทดลองของ Page and Hendry (1988) และ Page and Shrive (1990) ยกเว้นกำแพง B1 ให้ค่าต่ำกว่าค่าขอบล่างของ Page and Shrive (1990) และพบว่าสูตรที่ใช้ค่ากำลังของกำแพงรับน้ำหนักแผ่กระจายคงที่ของ Rostampour (1973) เป็นฐาน ให้ค่าใกล้เคียงมากที่สุดกับผลการทดลองของ Page and Shrive (1990)

ตาราง 4.2 เปรียบเทียบสูตรที่ใช้คำนวณกับผลการทดลอง

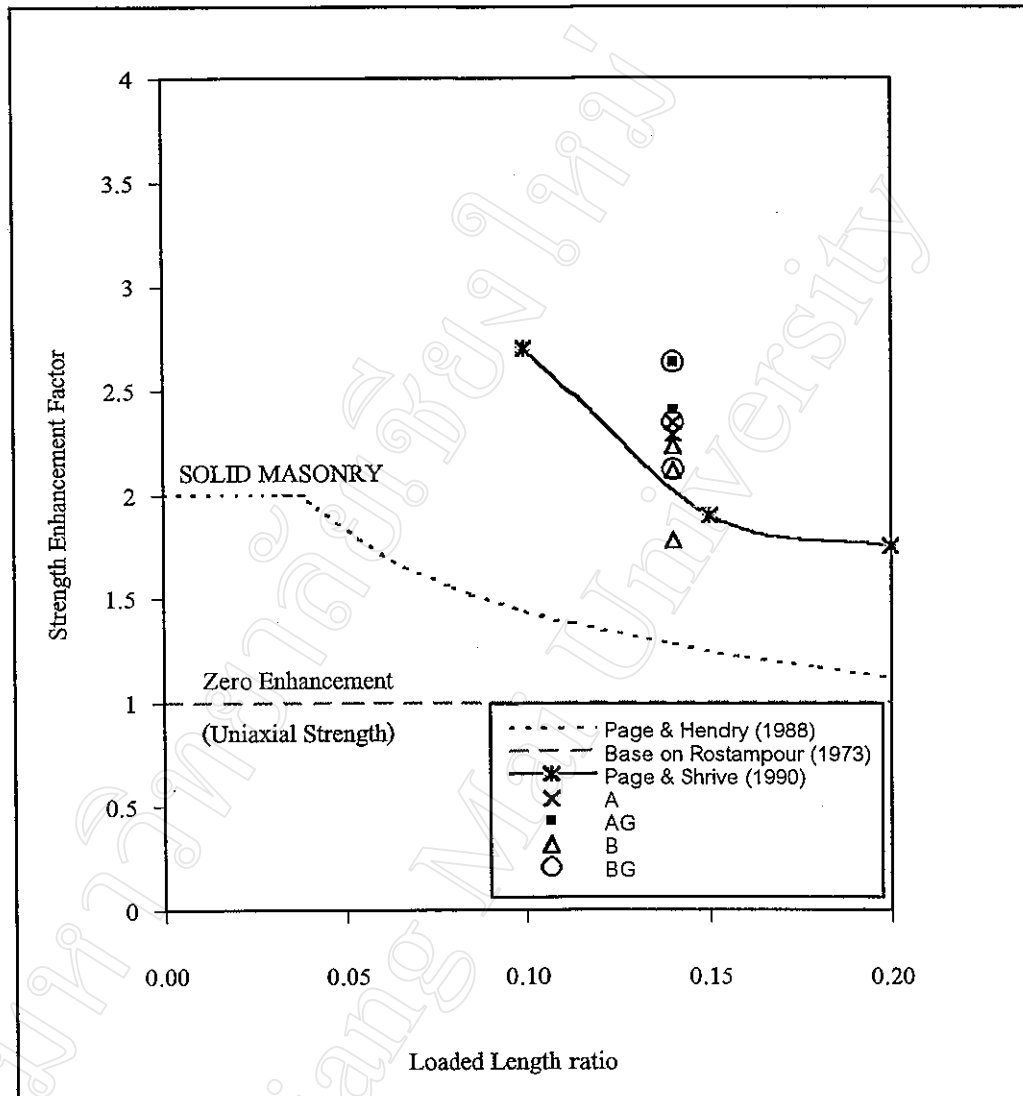
สูตรที่ใช้เป็นฐาน (Zero Enhancement)		Parson (1931)	Rostampour (1973)	Hamid and Drysdale(1979)	
				ไม่มีปูนกรอก	มีปูนกรอก
กำลังของกำแพงรับน้ำหนักแผ่กระจายคงที่ (กก./ซม. ²)		68	101	87	95
Strength Enhancement	กำแพง A1	3.5	2.3	2.7	2.5
	กำแพง A2	3.4	2.3	2.7	2.4
	กำแพง A3	3.4	2.3	2.7	2.4
	กำแพง AG2	3.6	2.4	2.8	2.6
	กำแพง AG3	3.9	2.6	3.1	2.8
	กำแพง B1	2.6	1.8	2.1	1.9
	กำแพง B2	3.3	2.2	2.6	2.4
	กำแพง B3	3.1	2.1	2.5	2.3
	กำแพง BG1	3.5	2.3	2.7	2.5
	กำแพง BG2	3.9	2.6	3.1	2.8
	กำแพง BG3	3.1	2.1	2.5	2.3

หมายเหตุ : รายละเอียดการคำนวณดูในภาคผนวก ก



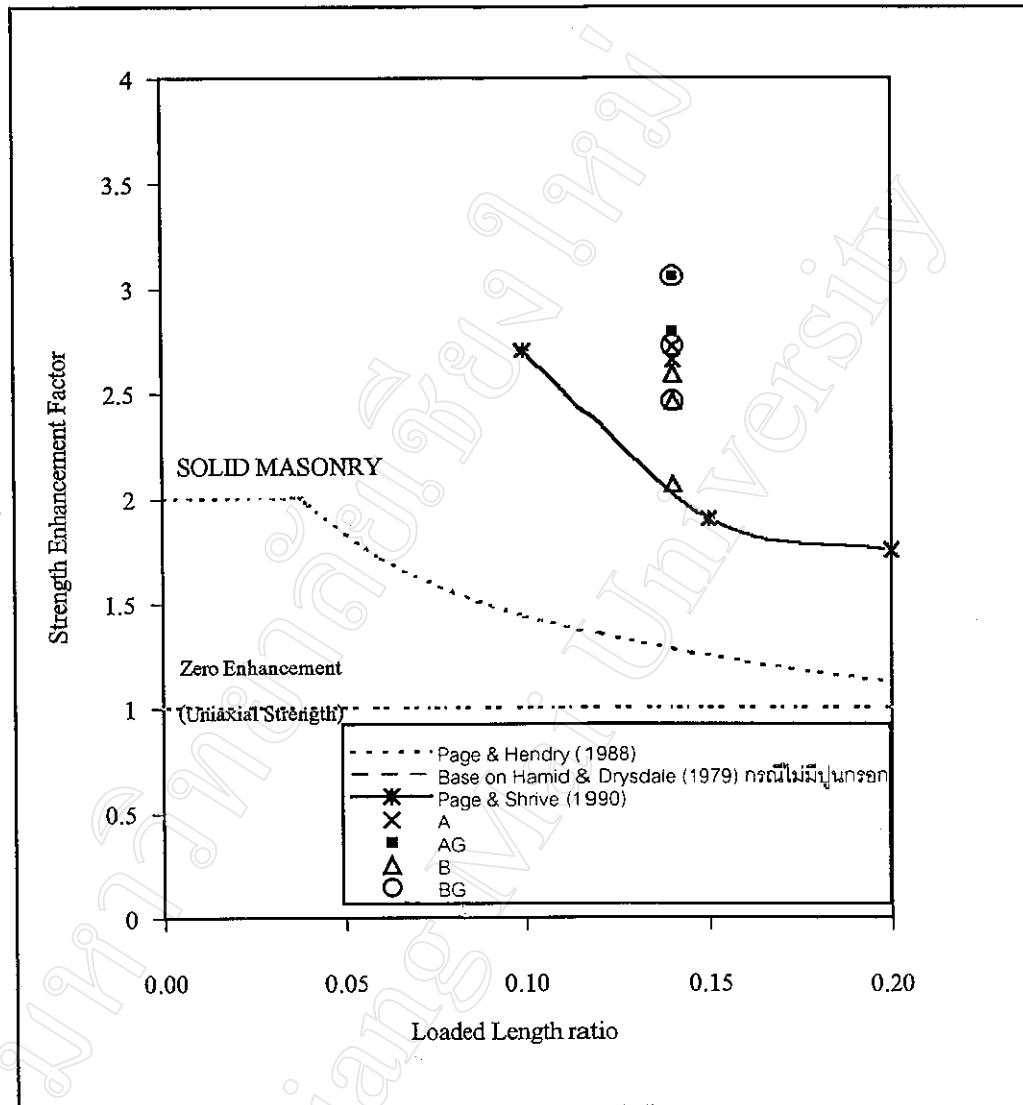
หมายเหตุ : $\odot$ $\otimes$ $\triangle$ ข้อมูลเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้สูตรของ Parson (1931) เป็นฐาน



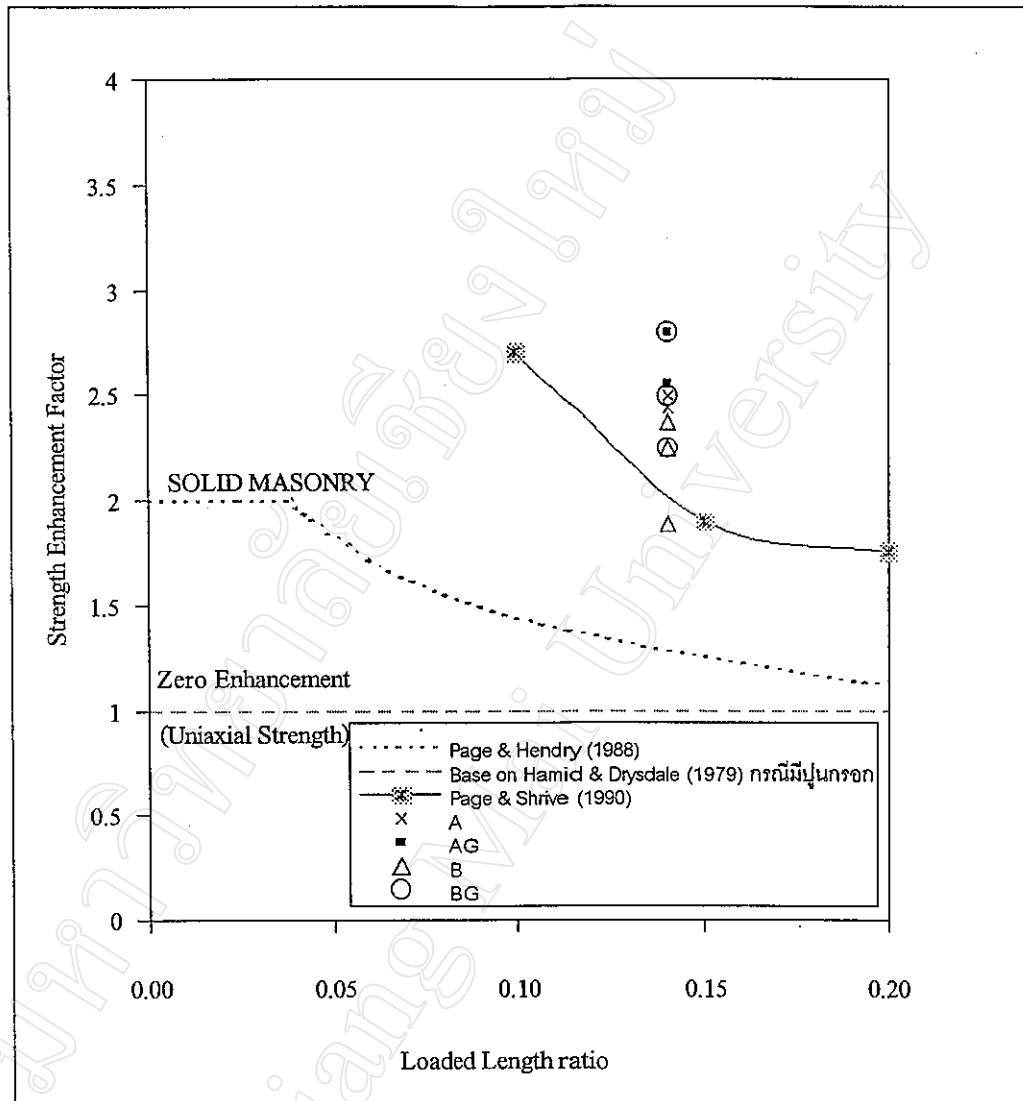
หมายเหตุ: $\odot$ $\otimes$ $\triangle$ ข้อมูลมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้สูตรของ Rostampour (1973) เป็นฐาน



หมายเหตุ: ○ ⊗ ▲ ข้อมูลมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้ Hamid and Drysdale (1979) กรณีไม่มีปูนกรอกเป็นฐาน



หมายเหตุ: ● ⊗ ⊠ ข้อมูลมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้ Hamid and Drysdale (1979) กรณีมีปูนกรอกเป็นฐาน