บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 พฤติกรรมและกำลังของผนังในการรับแรงด้านข้าง

4.1.1 น้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวของผนัง

ผลการทดสอบในการวัดค่าการโก่งตัวของผนังเทียบกับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง (P_V) ดังแสดงในรูปที่ 3.16 (ก ข ค ง) พบว่าค่าการโก่งตัวที่วัดได้ก่อนผนังวิบัติมีลักษณะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงว่าพฤติกรรมของผนังระหว่างทดสอบยังอยู่ในช่วงอีลาสติก เมื่อนำค่าการโก่งตัวที่ลากด้วยเส้นเฉลี่ยในรูปที่ 3.16 ไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ไฟไนท์เอเลเมนท์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก ข ค ง) จะพบว่าค่าการโก่งตัวที่คำนวณได้ให้ค่าต่ำเฉลี่ยประมาณ 0.72-0.93 เท่าของผลการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.1.2 การโก่งตัวในแนวราบ

รูปที่ 3.11 แสดงการวัดค่าการโก่งตัวของผนังทดสอบ จากรูปจะพบว่าค่า Δ_3 ได้รวมเอาระยะเคลื่อนที่ในแนวราบ เนื่องจากค่าโก่งตัวในแนวดิ่งที่จุด B แต่ในการทดสอบค่าโก่งตัวในแนวดิ่งที่จุด B หาไม่ได้ ต้องอาศัยผลการวิเคราะห์จากไฟไนท์เอเลเมนท์ ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อนำค่าการโก่งตัวในแนวราบสูงสุดและสัดส่วนความยาวต่อความสูงไปเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จะได้ความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองเป็นเส้นตรง โดยความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Delta_h = 0.091\left(\frac{L}{H}\right) + 0.251 \qquad (4.1)$$

เมื่อ Δ_h = ค่าการโก่งตัวในแนวราบ มม.

$\frac{L}{H}$ = สัดส่วนความยาวต่อความสูงของผนัง

4.1.3 กำลังของผนัง

ผลการทดสอบพบว่ากำลังรับแรงในแนวราบของผนังทดสอบ CW1-CW3 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยเฉลี่ยประมาณ 19.5 ตัน ส่วนผนังทดสอบ CW4 มีค่า 11.13 ตัน ในการวิเคราะห์กำลังรับแรงของผนังด้วยไฟไนท์เอเลเมนท์ โดยใช้คำหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ในผนังตามมาตรฐาน ACI Code[20] กำหนดให้หน่วยแรงเฉือนของผนังแปรตามแรงกดทับในแนวดิ่งดังนี้

$$V_c = 0.87\sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{4\ell_w h} \qquad (4.2)$$

เมื่อ V_c = หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของปูนก่อ กก/ซม^2

f'_c = กำลังอัดประลัยของปูนก่อ กก/ซม^2

N_u = แรงกดทับในแนวดิ่ง กก

ℓ_w = ความยาวของผนัง ซม

h = ความหนาของผนัง ซม

ผลการคำนวณพบว่า เมื่อหน่วยแรงเฉือนที่รอยต่อมีค่าเท่ากับค่าที่ยอมให้ตาม ACI Code ค่าหน่วยแรงดึงหลักที่กลางผนังของผนังทดสอบทั้ง 4 แผงมีค่าสูงสุดเพียง $0.71\sqrt{f'_c}$ ยังต่ำกว่าค่าที่ยอมให้คือ $0.79\sqrt{f'_c}$[20] และค่าหน่วยแรงอัดหลักของชิ้นส่วนที่คิดกับแรงกระทำมีค่าสูงสุดเพียง $0.80\ f'_c$ ซึ่งน้อยกว่าค่าประลัย $0.85\ f'_c$ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อนำค่ากำลังที่วิเคราะห์ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบพบว่า ให้ค่าสอดคล้องกับผนังทดสอบ CW2 และ CW3 แต่สำหรับผนังทดสอบ CW1 และ CW4 จะให้ค่าต่ำกว่าประมาณ 25 % ของผลการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ทั้งนี้เข้าใจว่าเกิดจากฝีมือการอัดปูนทรายได้ไม่เต็มหน้าตัด ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เป็นรูปที่แสดงลักษณะของปูนทรายที่อัดไม่เต็มหน้าตัด จะเห็นริ้วรอยของร่องอากาศตลอดความยาวของผนัง

4.2 การกระจายหน่วยแรงในผนัง

4.2.1 น้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดในผนัง

ผลการทดสอบในการวัดค่าความเครียดด้วยเกจไฟฟ้ากับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง

ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ถึง 3.14 พบว่าค่าความเครียดมีลักษณะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง ในจำนวนผนัง 4 แผงจะพบว่าค่าความเครียดสูงสุดที่วัดได้มีค่าประมาณ 0.00015 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและค่าความเครียดของคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 3.2 พบว่าความเครียดในช่วงนี้ยังอยู่ในช่วงอีลาสติก ดังนั้นจึงสามารถแทนค่าความเครียดที่วัดได้ด้วยค่าเฉลี่ยเส้นตรง โดยอาศัยลิสสะแคว์ช่วยในการกำหนดค่าเฉลี่ยนี้ เมื่อนำค่าความเครียดเฉลี่ยนี้ไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์เอเลเมนท์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ถึง 4.7 พบว่าค่าความเครียดที่คำนวณได้ให้ค่าต่ำเฉลี่ยประมาณ 0.6-0.85 เท่าของผลการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 (ก,ข)

4.2.2 ความเครียดในแนวทะแยงมุมด้านรับแรง

ในการวิเคราะห์หาค่าความเครียดในแนวทะแยงมุมนี้ได้อาศัยวิธีและเขียนรูปตามวิธีของมอร์ (Mohr'scircle) หรือวิธีการรวมหน่วยแรง (Combined Stress) เพื่อหาค่าหน่วยแรงในแนวทะแยงมุมแล้วเปลี่ยนเป็นค่าความเครียด เมื่อนำค่าความเครียดจากผลการคำนวณไปเขียนเทียบกับความยาวในแนวทะแยงมุม ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ก ข ค ง) พบว่าค่าความเครียดจะมีค่าเป็นศูนย์ที่ปลายขอบมุมทั้ง 2 และจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดที่บริเวณจุดตัดของแนวแรง จากนั้นค่าความเครียดจะค่อย ๆ ลดลงจนมีค่าต่ำสุดที่กลางผนัง ในการเปรียบเทียบค่าความเครียดเฉลี่ยตลอดแนวทะแยงมุมกับค่าต่ำสุดที่กลางผนังพบว่า ค่าความเครียดเฉลี่ยจะมีค่าสูงกว่าความเครียดที่กลางผนังประมาณ 1.4 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 4.5 สำหรับค่าความเครียดที่วัดจากเกจไฟฟ้าเป็นค่าความเครียดในแนวแกน x และแนวแกน y จึงต้องแปลงเข้ามาอยู่ในแนวทะแยงมุม ดังแสดงในสมการที่ 4.6 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่ได้จากไฟไนท์เอเลเมนท์ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ก ข ค ง) จากรูปพบว่า ค่าความเครียดที่วัดได้ให้ค่าสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ และเมื่อนำค่าความเครียดสูงสุดในแนวทะแยงมุมของการทดสอบซึ่งก็คือค่าที่วัดได้ใกล้แรงกระทำกับค่าสัดส่วนความยาวต่อความสูงไปเขียนกราฟ พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ดังนี้

$$\varepsilon_d = -32.55 \left(\frac{L}{H}\right) + 206.37 \qquad \mu\varepsilon \qquad (4.3)$$

เมื่อ ε_d = ค่าความเครียดสูงสุดในแนวทะแยงมุม

$\frac{L}{H}$ = สัดส่วนความยาวต่อความสูงของผนังทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17086280

4.2.3 หน่วยแรงหลักและหน่วยแรงเฉือนบนผนัง

รูปที่ 4.9 (ก ข ค ง) เป็นการแสดงเส้นระดับของหน่วยแรงอัดหลักและหน่วยแรงดึงหลักที่เกิดขึ้นบนผนัง ที่กำลังสูงสุดที่จุดวิบัติ จากรูปพบว่า หน่วยแรงอัดหลักสูงสุดจะเกิดที่ผนังส่วนที่ติดกับแรงกระทำในแนวราบ ซึ่งผนังบริเวณนั้นจะเป็นรูกลวง โดยจะมีค่าสูงสุดในผนังทดสอบจำนวน 4 แผง ประมาณ 0.40-0.60 เท่าของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต สำหรับหน่วยแรงดึงหลักสูงสุดจะเกิดที่กลางผนังส่วนที่มีรูกลวงตัดผ่าน โดยมีค่าสูงสุดอยู่ระหว่าง 8.4-12.7 กก/ซม^2 หรือประมาณ 0.50 $\sqrt{f'_c}$ - 0.77 $\sqrt{f'_c}$ ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.7 สำหรับหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่รอยต่อระหว่างปูนทรายกับแผ่นตัวอย่างจะมีค่าสูงสุดที่จุดตัดกันระหว่างแนวแรงในแนวทะแยงมุมกับแนวรอยต่อ โดยมีค่าสูงสุดในผนังทดสอบจำนวน 4 แผง ประมาณ 10.4-16.6 กก/ซม^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.10

4.3 สูตรคำนวณกำลังอย่างง่าย

4.3.1 กำลังของผนังคำนวณด้วยสูตรปรับจากการวิจัยในอดีต

การคำนวณกำลังของผนังทดสอบที่เสนอโดย Benjamin และ William ในสมการที่ (2.18) ซึ่งพิจารณาการวิบัติของผนังเนื่องจากหน่วยแรงเฉือนสูงสุดเกินค่าพิกัด โดยที่หน่วยแรงเฉือนสูงสุดนี้จะขึ้นกับค่าหน่วยแรงยึดหน่วงระหว่างปูนทรายกับแผ่นตัวอย่าง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ค่าหน่วยแรงกดทับในแนวดิ่ง และค่าแฟคเตอร์ลดกำลังเนื่องจากฝีมือ (ในงานอิฐก่อมีค่าระหว่าง 0.60-1.00) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$P_h = \frac{C\tau_b Lt(\frac{L}{H})}{1.50(\frac{L}{H}) - \mu C} \qquad (4.4)$$

เมื่อ P_h = กำลังรับแรงในแนวราบ กก

τ_b = หน่วยแรงยึดหน่วง กก/ซม^2

μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

L = ความยาวของผนัง ซม

t = ความหนาของผนัง ซม

$\frac{L}{H}$ = สัดส่วนความยาวต่อความสูงของหนัง

C = แฟคเตอร์ลดกำลังเนื่องจากฝีมือ

เมื่อแทนค่า τ_b = 12.5 กก/ซม^2 μ = 0.70 และ C = 0.60 พบว่ากำลังรับแรงในแนวราบที่คำนวณได้ให้ค่าสอดคล้องในผนังทดสอบ CW1 และ CW2 แต่สำหรับผนังทดสอบ CW3 และ CW4 จะให้ค่าแตกต่างจากผลการคำนวณ ±25 % ดังแสดงในตารางที่ 4.8

การคำนวณกำลังของผนังทดสอบที่เสนอโดย Turnsek และเพื่อนในสมการที่ (2.28) ซึ่งพิจารณาการวิบัติของผนังเนื่องจากแรงดึงในแนวทะแยงเกินค่าพิกัด โดยที่กำลังของผนังจะขึ้นกับค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ในผนัง พื้นที่หน้าตัดในการรับแรงเฉือน และสัดส่วนความยาวต่อความสูงของผนัง มีรูปแบบของสมการดังนี้

$$P_h = \frac{\frac{2}{9}\sigma_t Lt\left(1+\sqrt{1+0\left(\frac{L}{H}\right)^2}\right)}{\left(\frac{L}{H}\right)} \qquad (4.5)$$

เมื่อ P_h = กำลังรับแรงในแนวราบของผนัง กก

σ_t = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ในผนัง มีค่าเท่ากับ 0.79 $\sqrt{f'_c}$

L = ความยาวของผนัง

t = ความหนาของผนัง

$\left(\frac{L}{H}\right)$ = สัดส่วนความยาวต่อความสูงของผนัง

ผลการคำนวณเมื่อพิจารณาหน่วยแรงดึงที่ปูนก่อและความหนาของปูนก่อมีค่าเท่ากับ 10 ซม. จะพบว่าให้ค่าสูงกว่าผลการทดสอบประมาณ 16-77 % แต่ถ้าพิจารณาหน่วยแรงดึงและความหนาของแผ่นผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูป ซึ่งมีความหนา 5 ซม. จะให้ค่าความแตกต่างตั้งแต่ +5 ถึง -30 % ของผลการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ดังนั้นสูตรคำนวณกำลังของ Turnsek และเพื่อนไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูป ซึ่งมีคุณสมบัติของวัสดุที่แตกต่างกันถึง 2 ชนิด ทั้งนี้เพราะว่าให้ค่าในการทำนายกำลังสูงเกินไปเมื่อใช้คุณสมบัติของปูนก่อ แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้คุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้หล่อแผ่นคอนกรีตกลวงสำเร็จรูป ถึงแม้ว่ากำลังที่คำนวณได้จะอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้แต่ผิดหลักการ เพราะไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมการวิบัติที่เกิดขึ้นในผนังทดสอบ

การคำนวณกำลังของผนังทดสอบที่เสนอโดยเอนกในสมการที่ (2.33) ซึ่งพิจารณาการวิบัติของผนัง เนื่องจากแรงดึงในแนวทะแยงเช่นกัน โดยที่กำลังของผนังจะขึ้นกับค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ พื้นที่หน้าตัดในการรับแรงเฉือน และค่าแฟคเตอร์ K_1, K_2 ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนของหน่วยแรงที่กลางผนัง มีรูปแบบของสมการดังนี้

$$P_h = \frac{\sigma_t Lt\left[K_1+K_2+\sqrt{(K_1+K_2)^2+4(1-K_1K_2)}\right]}{3(1-K_1K_2)} \qquad (4.6)$$

เมื่อ P_h = กำลังรับแรงในแนวราบของผนัง กก

σ_t = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ในผนัง มีค่าเท่ากับ $0.79\sqrt{f'_c}$

L = ความยาวของผนัง ซม

t = ความหนาของผนัง ซม

K_1 = ค่าสัดส่วน $\frac{\sigma_y}{\tau_{xy}}$ ที่กลางผนัง ได้จากผลการวิเคราะห์ไฟไนท์เอเลเมนท์

K_2 ค่าสัดส่วน $\frac{\sigma_y}{\tau_{xy}}$ ที่กลางผนัง ได้จากผลการวิเคราะห์ไฟไนท์เอเลเมนท์

ผลการคำนวณพบว่า เมื่อแทนค่าหน่วยแรงดึงและความหนาของปูนก่อ พบว่าจะให้ค่าสูงประมาณ 1.70-3.20 เท่าของผลการทดสอบ และเมื่อแทนค่าคุณสมบัติของแผ่นผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปให้ค่าสูงประมาณ 1.02-1.85 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 4.10 เพราะฉะนั้นสูตรคำนวณกำลังของเอนกก็ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปเช่นกัน

4.3.2 สูตรคำนวณอย่างง่ายเสนอในรายงานนี้

1. ในการประมาณกำลังของผนังเมื่อพิจารณาการวิบัติเนื่องจากค่าหน่วยแรงเฉือนที่รอยต่อเกินค่าพิกัด โดยที่กำลังของผนังจะขึ้นกับค่าหน่วยแรงเฉือนเฉลี่ยของปูนก่อคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของรอยต่อมีค่าดังนี้

$$P_h = \tau_{xya} Lt \qquad (4.7)$$

เมื่อ $\tau_{xya} = \frac{\tau_{xy}}{1.5}$

$P_h = \frac{\tau_{xy} Lt}{1.5}$

P_h = กำลังรับแรงในแนวราบของผนัง

L = ความยาวของผนัง ซม

t = ความหนาของรอยต่อ ซม

τ_{xy} = หน่วยแรงเฉือนสูงสุดของผนังที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACE Code

$= 0.87\sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{4\ell_w h}$

โดยที่ f'_c = กำลังอัดประลัยของปูนก่อ กก/ซม^2

N_u = แรงกดทับในแนวดิ่ง กก

ℓ_w = ความยาวของผนัง ซม

h = ความหนาของรอยต่อ ซม

ดังนั้น $P_h = \frac{Lt}{1.5}\left[0.87\sqrt{f'_c} + \frac{P_v}{4Lt}\right]$

จากสมการที่ 2.19

$P_v = \frac{P_h H}{L}$

$P_h = \frac{Lt}{1.5}\left[0.87\sqrt{f'_c} + \frac{P_h H}{4L^2 t}\right]$

$P_h = \frac{3.48\sqrt{f'_c}\, Lt(\frac{L}{H})}{6(\frac{L}{H})-1}$ (4.8)

เมื่อพิจารณาแฟคเตอร์คูณลดเนื่องจากคุณภาพฝีมือ "C" ด้วย

$P_h = C\left[\frac{3.48\sqrt{f'_c} Lt(\frac{L}{H})}{6(\frac{L}{H})-1}\right]$ (4.9)

เมื่อ $\frac{L}{H}$ = สัดส่วนความยาวต่อความสูงของผนัง

ผลการคำนวณโดยใช้สูตรอย่างง่ายพบว่า เมื่อ C = 1.00 กำลังของผนังที่คำนวณได้จะมีค่าสูงประมาณ 7-60 % ของผลการทดสอบ ทั้งนี้เมื่อแทนค่า C = 0.60 พบว่า ผลการคำนวณที่ได้มีค่าต่ำประมาณ 5-35 % ของผลการทดสอบ และเมื่อแทนค่า C = 0.75 กำลังที่คำนวณได้จะมีค่าแตกต่างประมาณ 20 % ในทางลบและบวก เพราะฉะนั้นอาจสรุปได้ว่า ค่าแฟคเตอร์ลดกำลัง เนื่องจากคุณภาพฝีมือในงานวิจัยนี้มีค่าประมาณ 0.60-0.75 ซึ่งเมื่อใช้แฟคเตอร์ระหว่างนี้จะทำให้กำลังที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในช่วงต่ำกว่าของผลการทดสอบและสูงสุดไม่เกิน 20 % ผลการคำนวณแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.11

2. การประมาณความแข็งแรงของผนัง เมื่อพิจารณาการวิบัติ เนื่องจากหน่วยแรงดึงในแนวทะแยงโดยใช้ทฤษฎีกำลังวัสดุเบื้องต้นเพื่อหาหน่วยแรงดึงสูงสุดในผนังตามวิธีการรวมหน่วยแรง (Combined Stress) ดังนี้

$$\sigma_t = \frac{\sigma_x+\sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \qquad (4.10)$$

เมื่อ $\sigma_x = -\frac{P_h}{A_c} = -\frac{P_h}{Ht} \cdot \frac{A_g}{A_c}$

หรือ $\sigma_x = -\frac{P_h}{Ht} \cdot K$

$\sigma_y = -\frac{P_v}{Lt} = -\frac{P_h H}{L^2 t}$

$\tau_{xy} = 1.5\frac{P_h}{Lt}$

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ 4.10

$$\sigma_t = -\left(\frac{P_h K}{2Ht} + \frac{P_h H}{2L^2 t}\right) + \sqrt{(-1)^2\left(\frac{P_h K}{2Ht} - \frac{P_h H}{2L^2 t}\right)^2 + \left(\frac{1.5P_h}{Lt}\right)^2} \qquad (4.11)$$

$$\left[\sigma_t + \left(\frac{P_h K}{2Ht} + \frac{P_h H}{2L^2 t}\right)\right]^2 = \left(\frac{P_h K}{2Ht} - \frac{P_h H}{2L^2 t}\right)^2 + \left(\frac{1.5P_h}{Lt}\right)^2 \qquad (4.12)$$

$$\sigma_t^2 + \frac{P_h \sigma_t}{Lt}\left(K\left(\frac{L}{H}\right) + \frac{1}{\left(\frac{L}{H}\right)}\right) = \frac{P_h^2}{L^2 t^2}(2.25-K) \qquad (4.13)$$

$$\frac{(2.25-K)}{L^2 t^2}\left(\frac{L}{H}\right) P_h^2 - \left(1+K\left(\frac{L}{H}\right)^2\right)\frac{\sigma_t P_h}{Lt} - \left(\frac{L}{H}\right)\sigma_t^2 = 0 \qquad (4.14)$$

$$P_h = \frac{\sigma_t Lt\left[1+K\left(\frac{L}{H}\right)^2 + \sqrt{K^2\left(\frac{L}{H}\right)^4 + (9-2K)\left(\frac{L}{H}\right)^2 + 1}\right]}{(4.5-2K)\left(\frac{L}{H}\right)} \qquad (4.15)$$

เมื่อ σ_t = หน่วยแรงดึงสูงสุดที่ยอมให้ในปูนก่อมีค่าเท่ากับ $0.79\sqrt{f'_c}$

σ_x = หน่วยแรงตั้งฉากในแนวแกน x กก/ซม^2

σ_y = หน่วยแรงตั้งฉากในแนวแกน y กก/ซม^2

τ_{xy} = หน่วยแรงเฉือนสูงสุดบนแนวแกนสะเทิน กก/ซม^2

P_h = กำลังรับแรงในแนวราบของผนัง กก

A_g = พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตรวม ตามแนวแกน x ซม^2

A_c = พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตสุทธิ ตามแนวแกน y ซม^2

$K = \frac{A_g}{A_c}$

L = ความยาวของผนัง ซม

t = ความหนาบริเวณรอยต่อ ซม

$\frac{L}{H}$ = สัดส่วนความยาวต่อความสูงของผนัง

ผลการคำนวณพบว่า กำลังของผนังที่คำนวณได้มีค่าสูงประมาณ 2.0-7.3 เท่าของผลการทดสอบ ดังนั้นการพิจารณาการวิบัติของผนังเนื่องจากหน่วยแรงดึงหลักไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูป ดังแสดงในตารางที่ 4.12

3. การพิจารณากำลังของผนัง เนื่องจากหน่วงแรงอัดเกินค่าพิกัดที่ขอบมุมด้านรับแรงสำหรับแรงกระทำรูปสามเหลี่ยมที่โครงข้อแข็งกระทำต่อผนัง โอกาสที่ผนังจะวิบัติด้วยหน่วยแรงอัดเกินค่าพิกัดเป็นไปได้ยาก จะเกิดขึ้นได้เพราะในการทดสอบซึ่งแทนแรงกระทำด้วย

แรงแบบจุด แต่ทั้งนี้ในการทดสอบก็ได้มีการรองจุดที่แรงกระทำด้วยแผ่นเหล็ก เพื่อให้มีการกระจายน้ำหนักเข้าผนัง สำหรับการทดสอบในงานวิจัยนี้ใช้แผ่นเหล็กที่มีความยาวประมาณ 30 ซม. พบว่าผลการคำนวณหน่วยแรงอัดในผนังกลวงที่ติดกับแผ่นเหล็กมีค่าประมาณ 40 % ของกำลังอัดประลัยของความเครียด

4.4 สติฟเนสของผนังคอนกรีต

ค่าสติฟเนสของผนังคอนกรีตได้จากกำลังด้านข้างของที่จุดวิบัติ หารด้วยค่าการโก่งตัวในทิศทางเดียวกัน เมื่อนำค่าสติฟเนสในเทอมไม่มีหน่วย จากผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์เอเลเมนท์ไปเขียนรูปเทียบกับสัดส่วนความยาวต่อความสูงของผนัง $(\frac{L}{H})$ ในรูปที่ 4.12 จะพบว่าความสัมพันธ์ของค่าสติฟเนสกับสัดส่วน $\frac{L}{H}$ จะแปรผันโดยตรงด้วยสัดส่วน $\frac{L}{H}$ กำลังหนึ่ง โดยอาศัยลีสสแควร์ช่วยในการกำหนดรูปร่างของกราฟจากผลการทดสอบ ซึ่งมีความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$\frac{P_h}{\Delta_h E t} = 0.09\ (\frac{L}{H}) + 0.094 \qquad (4.16)$$

สมการที่ (4.16) จะได้เส้นกราฟที่ค่อนข้างขนานกับผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์เอเลเมนท์ ดังนั้นค่าสติฟเนสด้านข้างมีค่าเท่ากับ

$$\frac{P_h}{\Delta_h} = Et(0.09(\frac{L}{H}) + 0.094) \qquad (4.17)$$

เมื่อพิจารณาสติฟเนสของผนังเนื่องจากแรงเฉือนเพียงอย่างเดียว จากสมการที่ (2.37)

$$\Delta_s = \frac{1.711x10^{-6}\ P_h}{(\frac{L}{H})}$$

$$\frac{P_h}{\Delta_s} = \frac{(\frac{L}{H})}{1.711x10^{-6}} \qquad (4.18)$$

$$\frac{P_h}{\Delta_s} = 0.203\ Et\left(\frac{L}{H}\right) \qquad (4.19)$$

เมื่อ P_h = กำลังสูงสุดในแนวราบของผนัง กก

E = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต 2.87×10^5 กก/ซม^2

t = ความหนาของหน้าตัดรวม 10 ซม

Δ_h = ค่าการโก่งตัวในแนวราบจากผลการทดสอบหรือผลการวิเคราะห์ไฟไนท์เอเลเมนท์

Δ_s = ค่าการโก่งตัวในแนวราบเมื่อพิจารณาเนื่องจากแรงเฉือนอย่างเดียว

$\frac{L}{H}$ = สัดส่วนความยาวต่อความสูงของผนัง

จากการเปรียบเทียบค่าสติฟเนสโดยใช้สูตรเอ็มไพริกัลจากสมการที่ (4.17) จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับผลการทดสอบประมาณ 20 % และค่าสติฟเนสที่คำนวณด้วยโปรแกรมไฟไนท์เอเลเมนท์จะให้ค่าแตกต่างจากผลการทดสอบประมาณ -1 ถึง +40 % สำหรับค่าสติฟเนสที่คำนวณด้วยค่าการโก่งตัวเนื่องจากแรงเฉือนอย่างเดียวในสมการที่ (4.19) จะให้ค่าสอดคล้องเฉพาะผนังทดสอบ CW2, CW3 และ CW4 และจะให้ค่าแตกต่างมากประมาณ +45 % ในผนังทดสอบ CW1 ดังแสดงในตารางที่ 4.13

4.5 การโก่งเดาะของผนังคอนกรีต

ในการพิจารณาการโก่งเดาะของผนังคอนกรีต แยกพิจารณาได้เป็น 3 กรณีคือ

กรณีที่ 1 การโก่งเดาะในแนวดิ่งเนื่องจากแรงแนวดิ่ง จุดที่น่าสนใจมี 2 จุดคือ บริเวณคอนกรีตกลวงและบริเวณแนวปูนก่อ จากสมการที่ (2.48) และ (2.49) เมื่อหาค่ารัศมีไจเรชั่นของบริเวณคอนกรีตกลวง r_2= 3.75 ซม. แล้วแทนค่าลงในสมการการโก่งเดาะจะได้ค่าหน่วยแรงที่ทำให้ผนังเกิดการโก่งเดาะที่บริเวณคอนกรีตกลวงมีค่าประมาณ 635 กก/ซม^2 และจากสมการที่ (2.50) เมื่อหาค่า รัศมีไจเรชั่นของแนวปูนก่อ r_3 = 2.887 ซม แทนค่าลงในสมการการโก่งเดาะจะได้หน่วยแรงวิกฤติที่แนวปูนก่อประมาณ 182 กก/ซม^2 จากผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์เอเลเมนท์พบว่า หน่วยแรงตั้งฉากในแนวดิ่งของบริเวณคอนกรีตกลวงใกล้แรงกระทำของผนังทดสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 56-98 กก/ซม^2 และที่แนวปูนก่อมีค่าระหว่าง 12-26 กก/ซม^2 เพราะฉะนั้นน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งขณะที่ผนังวิบัติในตอนทดสอบจะไม่ทำให้เกิดการโก่งเดาะในแนวดิ่ง

กรณีที่ 2 การโก่งเดาะในแนวนอนเนื่องจากแรงในแนวราบ อาศัยสมการที่ (2.51) และ (2.52) เมื่อหาค่ารัศมีไจเรชั่นของผนังจะได้ r_4 = 3.341 ซม แล้วแทนค่าลงในสมการการโก่งเดาะจะได้ค่าหน่วยแรงวิกฤติมีค่าอยู่ระหว่าง 292-1176 กก/ซม^2 ซึ่งค่าหน่วยแรงที่ได้ยังมีค่าสูงกว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กรณีที่ 3 การโก่งเดาะในแนวทะแยงมุม สำหรับค่าการโก่งเดาะในแนวทะแยงมุมสามารถพิจารณาได้เป็น 2 จุดคือ การโก่งเดาะที่แนวปูนก่อ และการโก่งเดาะผ่านคอนกรีตกลวง แต่จากผลการคำนวณค่าหน่วยแรงวิกฤติในกรณีที่ 1 ทำให้ทราบว่า การโก่งเดาะผ่านแนวปูนก่อจะให้ค่าหน่วยแรงวิกฤติที่ต่ำกว่าผ่านเนื้อคอนกรีต ดังนั้นในการพิจารณาการโก่งเดาะในแนวทะแยงมุมในสมการที่ (2.53) จะใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่ารัศมีไจเรชั่นของปูนก่อซึ่งมีค่าต่ำ จากผลการคำนวณพบว่า ค่าหน่วยแรงที่ทำให้ผนังเกิดการโก่งเดาะมีค่าอยู่ระหว่าง 150-286 กก/ซม^2 จากผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์เอเลเมนท์พบว่า หน่วยแรงอัดหลักในแนวทะแยงที่บริเวณแนวปูนก่อมีค่าสูงสุดอยู่ระหว่าง 19-32 กก/ซม^2 สำหรับค่าหน่วยแรงอัดในแนวทะแยงมุมเมื่อหาโดยใช้ทฤษฎีค้ำยันเสมือนซึ่งเสนอโดย Yamada[18] ซึ่งสมมุติให้ค่าความกว้างประสิทธิผลมีค่าเท่ากับ $\frac{2}{3}$ L sin θ (จากสมการที่ 2.55) สำหรับความหนาของค้ำยันเสมือน (t_s) ในผนังคอนกรีตกลวง หรือพิจารณาสัดส่วนที่พื้นที่หน้าตัดสุทธิต่อพื้นที่หน้าตัดรวม ($\frac{A_c}{A_g}$) ของหน้าตัดตามแนวแกน x จะมีค่า 0.67 ดังนั้นในการพิจารณาความหนาของค้ำยันเสมือนนี้ จะสมมุติให้ความหนาของค้ำยันเสมือนมีค่าเท่ากับความหนาของหน้าตัดรวมคูณด้วยสัดส่วน $\frac{A_c}{A_g}$ เพราะฉะนั้นพื้นที่ประสิทธิผลของค้ำยันเสมือนในผนังคอนกรีตกลวงจะมีค่าดังนี้

$$A_w = \frac{2}{3} Lt \frac{A_c}{A_g} \sin \theta \qquad (4.20)$$

$$\sigma_s = \frac{R}{A_w} \qquad (4.21)$$

เมื่อ A_w = พื้นที่ประสิทธิผลของค้ำยันเสมือน

σ_s = ค่าหน่วยแรงอัดในแนวทะแยงมุม

R = แรงลัพธ์สูงสุดในแนวทะแยงมุมที่จุดวิบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$\frac{A_c}{A_g}$ = สัดส่วนของพื้นที่สุทธิต่อพื้นที่รวมของผนังตามแนวแกน x

L = ความยาวของผนัง

t = ความหนารวมของผนัง มีค่าเท่ากับ 10 ซม

ผลการคำนวณพบว่า ค่าหน่วยแรงอัดในแนวทะแยงจะมีค่าอยู่ระหว่าง 28-44 กก/ซม^2 ซึ่งมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับค่าหน่วยแรงวิกฤติในแนวทะแยงมุมที่คำนวณได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และสำหรับค่าหน่วยแรงอัดในแนวทะแยงมุมซึ่งหาจากค่าพื้นที่ประสิทธิผลในสมการที่ (2.60) ซึ่งเสนอโดยเอนก มีค่าดังนี้

$$A_w = \frac{RLd}{E\Delta_{uz}\cos(\theta-\alpha)} \qquad (4.22)$$

$$\sigma_s = \frac{R}{A_w} = \frac{E\Delta_{uz}\cos(\theta-\alpha)}{Ld} \qquad (4.23)$$

เมื่อ Ld = ความยาวในแนวทะแยงมุมของผนัง ซม ซม

Δ_{uz} = ระยะเคลื่อนที่สัพธ์ของขอบมุมผนังด้านรับแรง ซม

θ = มุมระหว่างเส้นทะแยงมุมกับแนวราบ องศา

α = มุมระหว่างระยะเคลื่อนที่สัพธ์ (Δ_{uz}) กับแนวราบ องศา

E = ค่าโมดูลัสของคอนกรีต 2.87×10^5 กก/ซม^2

ผลการคำนวณหาหน่วยแรงอัดในแนวทะแยงมุมโดยสมการที่ (4.22) จะให้ค่าอยู่ระหว่าง 26-42 กก/ซม^2 ดังแสดงในตารางที่ 4.15 เมื่อเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงอัดในแนวทะแยงมุมระหว่างสมการที่ (4.22) กับสมการที่ (4.21) พบว่าให้ค่าหน่วยแรงอัดที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งแสดงว่าในการประมาณค่าความกว้างประสิทธิผลโดยวิธีของ Yamada ในสมการที่ (4.21) เมื่อได้รับการปรับแก้แล้ว จะให้ค่าสอดคล้องกับวิธีการประมาณโดยอาศัยค่าการยืดหดตัวในแนวทะแยงที่ขอบมุมด้านรับแรง โดยอาศัยผลการคำนวณไฟไนท์เอเลเมนท์ที่เสนอโดยเอนก ในสมการที่ (2.60)

ในการพิจารณาค่าการโก่งเดาะของผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปทั้ง 3 กรณีพบว่า ค่าหน่วยแรงที่คำนวณได้จากน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติในตอนทดสอบให้ค่าต่ำกว่าหน่วยแรงวิกฤติที่ทำให้ผนังเกิดการโก่งเดาะทั้ง 3 กรณี