

กำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงผนังก่อแบบช่องเปิดหน้าต่างสมมาตร

SEISMIC CAPACITY OF INFILLED FRAME WITH SYMMETRICAL WINDOW OPENING

ไพบูลย์ ปัญญาคะโป

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม E-mail: phaiboon.pa@spu.ac.th

บทคัดย่อ : ความเสียหายของโครงสร้างอาคารที่มีผนังก่ออิฐในเหตุการณ์แผ่นดินไหวจะเป็นผลกระทบเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงข้อแข็งและผนังก่อ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โครงผนังก่อที่มีช่องเปิด รูปแบบความเสียหายค่อนข้างซับซ้อน และทำนายพฤติกรรมได้ยาก บทความนี้ เป็นการนำเสนอแบบจำลองการวิเคราะห์โครงผนังก่อที่มีช่องเปิด เพื่อการทำนายกำลังต้านทานแรงกระทำด้านข้างของโครงผนังก่อด้วยวิธีแบบจำลองค้ำยันเทียบเท่า โดยมีการทดสอบโครงผนังก่อต้นแบบเพื่อการเปรียบเทียบผลกับแบบจำลองที่นำเสนอ ได้จัดทำตัวอย่างทดสอบจำนวน 2 ชุด คือ โครงข้อแข็งและโครงผนังก่อที่มีช่องเปิดหน้าต่างแบบสมมาตรขนาดเต็มมาตราส่วน โดยการทดสอบแรงกระทำด้านข้างแบบไป-กลับจนกระทั่งวิบัติ ผลการคำนวณกำลังต้านทานของโครงผนังก่อด้วยแบบจำลองเท่ากับ 108.13 kN เปรียบเทียบกับผลการทดสอบเท่ากับ 107.25 kN ค่ากำลังต้านทานที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่าผลการทดสอบ ซึ่งแตกต่างกันเพียง 0.82% แบบจำลองที่นำเสนอจึงใช้ทำนายกำลังต้านทานของโครงผนังก่อได้อย่างดี

ABSTRACT: The damage of the infilled frame with opening under earthquake loading is due the failure mode of the infilled frame with opening is rather complex which is difficult to predict the seismic behavior. This paper presents the analytical modeling of the infilled frame with opening to predict the lateral strength of the infilled frame by using the equivalent strut model. Experimental test on the prototype frame was conducted to verify the proposed method. Two specimens were built to the full scale, which included: a) the reinforced concrete bare frame, and b) the infilled frame with symmetrical window opening. The specimens were subjected to the lateral cyclic load test to failure. The lateral strength of the infilled frame based on the proposed model equals to 108.13 kN which is comparable with the test result of 107.25 kN. The estimated maximum lateral strength of the infilled frame with opening is close to the experimental result with 0.82% difference. The proposed model can predict the lateral strength with a good accuracy.

KEYWORDS: Seismic capacity, Rigid frame, Infilled frame, Opening.

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จังหวัดเชียงราย เมื่อปี พ.ศ.2557 พบความเสียหายในกลุ่มอาคารขนาดเล็กจำนวนมาก โดยเฉพาะอาคารที่มีผนังก่ออิฐแบบมีช่องเปิด ทำให้เสาอาคารเกิดการวิบัติเสียหายจนไม่อาจใช้งานได้ ในกรณีโครงสร้างอาคารที่มีผนังก่ออิฐแบบเต็มแผ่น จากผลการศึกษา [1] ผนังก่ออิฐจะทำให้กำลังต้านทานและค่าสติฟเนสของโครงสร้างสูงขึ้น แต่หากมีช่องเปิดบางส่วนในผนังก่ออิฐ จะทำให้ค่ากำลัง

ต้านทานและสติฟเนสของโครงผนังก่อลดลงจากกรณีผนังก่ออิฐแบบเต็มแผ่นได้ ผลการศึกษาโครงอาคารที่มีรูปแบบผนังก่อที่แตกต่างกัน [2] พบว่า โครงผนังก่อแบบช่องเปิดประตูและหน้าต่าง จะทำให้เสาอาคารเกิดความเสียหายได้เป็นอย่างมาก ผลการศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างอาคารที่มีช่วงกว้างและมีผนังช่องเปิดที่มีรูปแบบแตกต่างกัน [3] กรณีโครงผนังก่อที่มีช่องเปิดแบบประตูบริเวณกลางผนัง ซึ่งเป็นช่องเปิดแบบสมมาตร พบว่า การวิบัติของเสาเป็นแบบเสาสั้น

รับแรงเฉือนเมื่อมุมผนังเกิดการแตกร้าว อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพฤติกรรมของโครงผนังกึ่งที่มีช่องเปิดมีความซับซ้อน ด้วยรูปแบบช่องเปิดที่มีความหลากหลายแตกต่างกัน ทำให้ทำนายพฤติกรรมความเสียหายได้ยาก นอกจากนี้ ผลงานวิจัยที่นำเสนอแบบจำลองโครงผนังกึ่งแบบมีช่องเปิด โดยวิธีแรงอัดค้ำยันเทียบเท่าและมีการสอบเทียบความถูกต้อง ด้วยผลการทดสอบยังมีจำกัด ดังนั้น การสร้างแบบจำลองผนังกึ่งอิฐแบบมีช่องเปิด เพื่อใช้ในการประเมินกำลังต้านทานของโครงผนังกึ่งที่มีช่องเปิด และการทดสอบเพื่อยืนยันแบบจำลองโครงผนังกึ่งแบบมีช่องเปิด จึงมีความจำเป็นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประเมินกำลังต้านทานของโครงสร้างอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหว

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

(1) เพื่อนำเสนอแบบจำลองการวิเคราะห์โครงผนังกึ่งที่มีช่องเปิด และทำนายกำลังต้านทานแรงกระทำด้านข้างของโครงผนังกึ่งด้วยวิธีแบบจำลองค้ำยันเทียบเท่า

(2) เพื่อสอบเทียบแบบจำลองด้วยการทดสอบโครงผนังกึ่งต้นแบบ

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากผลการศึกษาโครงผนังกึ่งที่มีช่องเปิด ได้มีการทำแบบจำลอง พฤติกรรมโครงผนังกึ่งแบบมีช่องเปิดด้วยค่าการลดกำลังจากกรณีผนังกึ่งแบบเต็มแผ่น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่มีผนังกึ่งอิฐแบบช่องเปิด โดยแบบจำลองที่เสนอโดย Mondal และ Jain [4] ใช้ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์และผลการทดสอบ เป็นการเสนอการลดกำลังเพื่อคำนวณความกว้างของแรงอัดค้ำยันกรณีผนังมีช่องเปิดหน้าต่างตรงกลาง พบว่า หากพื้นที่ช่องเปิดมีขนาดน้อยกว่า 5% ของแผ่นผนัง ไม่จำเป็นต้องคิดผลกระทบของช่องเปิด และเมื่อพื้นที่ช่องเปิดมีขนาดมากกว่า 40% ของแผ่นผนัง ผลของแรงอัดค้ำยันของแผ่นผนังจะมีค่าน้อยมากจนเป็นศูนย์ จากการศึกษากฎพฤติกรรมโครงสร้างอาคารที่มีช่องเปิดด้วย

แบบจำลองค่าการลดกำลังสำหรับผนังช่องเปิดเหล่านี้ โดย Kurmi และ Haldar [5] เมื่อพิจารณาขนาดและรูปร่างของประตูและหน้าต่างที่แตกต่างกัน พบว่า การเพิ่มช่องเปิดในผนังกึ่ง ทำให้โครงสร้างมีการลดกำลังต้านทาน ค่าสติฟเนส และความเหนียวได้อย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับการศึกษานี้ เป็นการใช่วิธีแรงอัดค้ำยันเพื่อจำลองพฤติกรรมการรับแรงของแผ่นผนังแต่ละส่วนที่ประกอบกันเป็นแผ่นผนังที่มีช่องเปิด โดยใช้สมมุติฐานว่า แผ่นผนังที่ล้อมรอบช่องเปิดแต่ละส่วนมีแรงต้านทานแบบแรงอัดค้ำยันแนวทแยงมุม เพื่อจะได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์กำลังต้านทานของโครงสร้างอาคารที่มีผนังกึ่งรูปแบบแตกต่างกันไปได้

3. 1 แบบจำลองโครงผนังกึ่งอิฐแบบช่องเปิดหน้าต่างสมมาตร

แบบจำลองโครงสร้างที่มีผนังช่องเปิด ใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่องเปิดแบบหน้าต่างอยู่ตรงกลางแสดงในรูปที่ 1 ในการวิเคราะห์แรงภายในแผ่นผนัง ใช้แบบจำลองแรงค้ำยัน เพื่อจำลองพฤติกรรมการรับแรงของผนัง เมื่อพิจารณาว่า รูปแบบการวิบัติของแผ่นผนังโดยทั่วไปเป็นแบบการแตกร้าวในแนวทแยงมุม แรงกระทำด้านข้างสูงสุด P คำนวณได้จากผลรวมของแรงต้านทานของโครงเปล่า R_{BF} และแรงต้านทานในแนวราบของผนังทั้งสามส่วน F_1 , F_2 และ F_3 ดังนี้

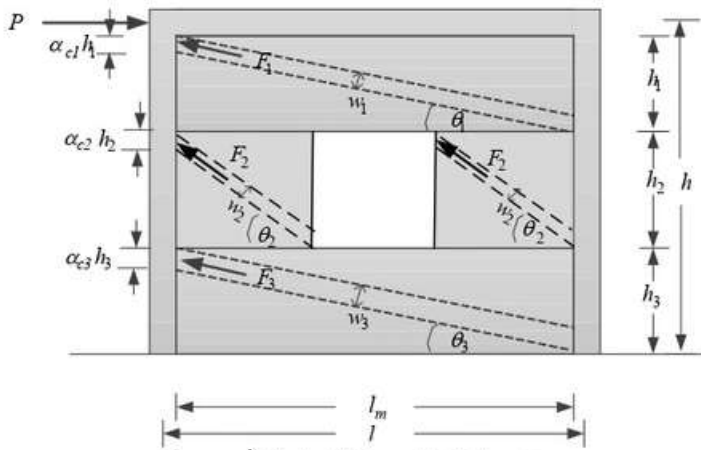
$$P = R_{BF} + F_1 \cos \theta_1 + 2F_2 \cos \theta_2 + F_3 \cos \theta_3 \quad (1)$$

เมื่อ F_1 , F_2 และ F_3 คือ แรงค้ำยันในแนวทแยงมุมสำหรับแผ่นผนังส่วนบน ส่วนกลางและส่วนล่าง ตามลำดับ

$$F_1 = n_1 t f_a \quad (2)$$

$$F_2 = n_2 t f_a \quad (3)$$

$$F_3 = n_3 t f_a \quad (4)$$



รูปที่ 1 แรงค้ำยันสำหรับโครงสร้างที่มีช่องเปิด

เมื่อ f_a คือ หน่วยแรงที่ยอมให้ของปริซึมอิฐ คำนวณได้จาก $f_a = 0.6\phi f'_m$, $\phi = 0.65$, f'_m คือ กำลังอัดประลัยของปริซึมอิฐ t คือ ความหนาของแผ่นผนังอิฐ และ $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ คือ มุมของแรงค้ำยันในแนวทแยงเทียบกับแนวราบสำหรับแผ่นผนังส่วนบน ส่วนกลางและส่วนล่าง ตามลำดับ

แรงค้ำยันของแผ่นผนังส่วนบน ส่วนกลางและส่วนล่างมีขนาดความกว้าง w_1, w_2 และ w_3 สมมุติว่า หน่วยแรงที่กระทำต่อผิวสัมผัสระหว่างผนังอิฐและหน้าเสามีขนาดความกว้าง $\alpha_c h_1, \alpha_c h_2$ และ $\alpha_c h_3$ ตามลำดับ ตามที่เสนอโดย Saneinejad และ Hobbs [6] ดังนั้น ขนาดความกว้างของแรงค้ำยันเทียบเท่า คำนวณได้ ดังนี้

$$w_1 = \alpha_c h_1 \frac{l_m}{\sqrt{h_1^2 + l_m^2}} = \alpha_c h_1 \cos \theta_1 \quad (5)$$

$$w_2 = \alpha_c h_2 \frac{l_m}{\sqrt{h_2^2 + l_m^2}} = \alpha_c h_2 \cos \theta_2 \quad (6)$$

$$w_3 = \alpha_c h_3 \frac{l_m}{\sqrt{h_3^2 + l_m^2}} = \alpha_c h_3 \cos \theta_3 \quad (7)$$

$$\alpha_c = \frac{1}{h} \sqrt{\frac{2M_{pj} + 2\beta_c M_{pc}}{\sigma_c t}} \quad (8)$$

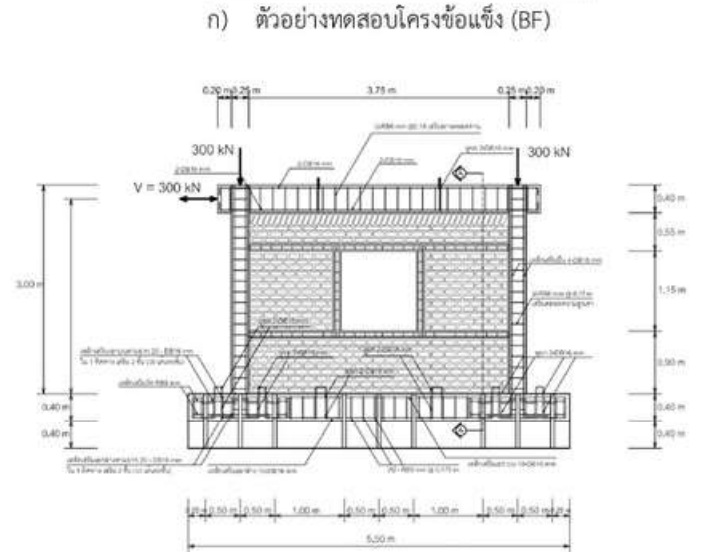
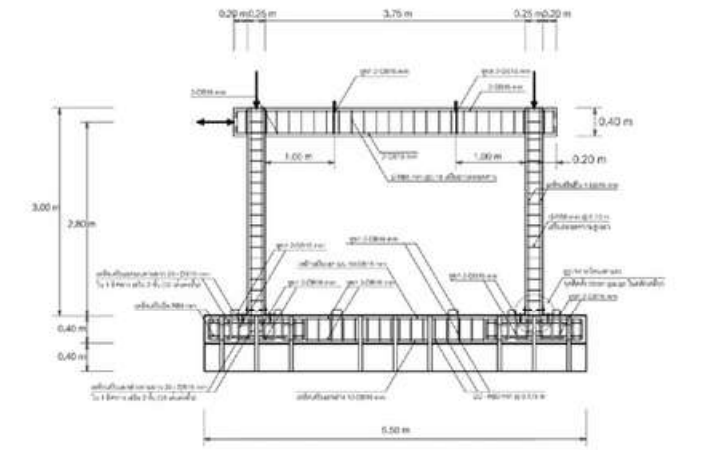
$$\sigma_c = \frac{f'_m}{\sqrt{1 + 3\mu^2 r^4}} \quad (9)$$

M_{pj} คือ ค่าโมเมนต์พลาสติกที่น้อยสุดระหว่างโมเมนต์ของเสาคานและข้อต่อเสาคาน, M_{pc} คือ ค่าโมเมนต์พลาสติกของเสาคาน μ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสโครงสร้าง

และผนังอิฐ, r คือ อัตราส่วนระหว่างความสูงและความยาวของโครงสร้าง ($r = h/l$), β_c คือ ตัวประกอบลดกำลังสำหรับเสา ซึ่งใช้ค่าเท่ากับ 0.2

4. การทดสอบโครงผนังก่อตันแบบ

การสร้างโครงข้อแข็งต้นแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มีขนาดความกว้างช่วงคาน 4.00 เมตร และความสูงของเสา 2.80 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 เสามีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.25x0.25 เมตร คานมีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.20x0.40 เมตร โครงข้อแข็งต้นแบบสร้างขนาดเท่าของจริงในอัตราส่วน 1:1 ประกอบด้วย ตัวอย่างโครงข้อแข็งที่ไม่มีผนังอิฐก่อ (BF) และตัวอย่างโครงข้อแข็งที่มีผนังอิฐแบบช่องเปิดหน้าต่างสมมาตร (WF)

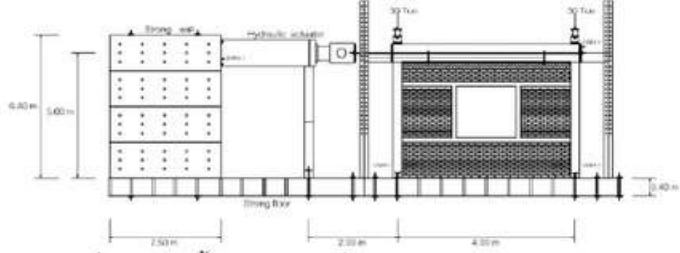


รูปที่ 2 โครงผนังก่ออิฐต้นแบบเพื่อการทดสอบ

โครงผนังก่อมีช่องเปิดแบบหน้าต่างตรงกลางมีขนาดกว้าง 1.00 เมตร สูง 1.15 เมตร สำหรับการก่ออิฐ ใช้การก่ออิฐมอญขนาด 50×60×160 มม. แบบครึ่งแผ่น โดยก่อตามแนวนอนตลอดความสูงของผนัง ในงานวิจัยนี้ วัสดุคอนกรีตมีกำลังอัดประลัยรูปทรงกระบอก 21 MPa เหล็กเสริมตามยาวสำหรับเสาและคานใช้เหล็กข้ออ้อยเกรด SD40 เหล็กปลอกใช้เหล็กกลม SR24 อิฐมอญมีกำลังอัดประลัย 3.5 MPa ปูนก่อมีอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1 : 4.0 ส่วนปูนฉาบใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1 : 2.0 สำหรับช่องเปิดหน้าต่าง ทำคานเอ็นและเสาเอ็นขนาด 10×15 ซม. โดยรอบบริเวณช่องเปิดตำแหน่งบริเวณส่วนกลางของผนังอิฐก่อเพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับโครงสร้าง

ผลการคำนวณด้วยแบบจำลองที่นำเสนอนี้ ได้ค่ากำลังต้านทานของโครงข้อแข็ง (R_{BF}) 65.27 kN กำลังต้านทานของผนังก่อส่วนบน ($F_1 \cos \theta_1$) 18.44 kN ผนังก่อส่วนกลาง ($2F_2 \cos \theta_2$) 11.97 kN ผนังก่อส่วนล่าง ($F_3 \cos \theta_3$) 12.45 kN คิดเป็นกำลังต้านทานรวม (P) 108.13 kN ซึ่งจะนำไปสอบเทียบกับผลการทดสอบต่อไป

การติดตั้งตัวอย่างโครงผนังก่อได้ทำการยึดติดกับพื้นคอนกรีตด้วยเหล็กเส้นอัดแรง เพื่อให้สามารถต้านทานแรงด้านข้างได้โดยไม่เลื่อนไถล การทดสอบแรงกระทำทางด้านข้าง ใช้การถ่ายแรงกระทำด้วยเครื่องไฮดรอลิกส์ ตามแนวราบโดยยึดติดกับผนังรับกำลังดังแสดงในรูปที่ 3 สำหรับการให้แรงในทิศทางบวก (loading) จะผลักด้วยเครื่องไฮดรอลิกส์ ส่วนการให้แรงในทิศทางลบ (reloading) ตัวอย่างการทดสอบจะดึงกลับด้วยเหล็กเส้นกำลังสูง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 32 มิลลิเมตร และตัวอย่างโครงข้อแข็งจะมีน้ำหนักกดลงที่หัวเสาทั้ง 2 ต้น ขนาดต้นละ 300 kN เพื่อจำลองค่าน้ำหนักบรรทุกทุกในแนวตั้ง วิธีการทดสอบตัวอย่างโครงผนังก่อ ใช้วิธีการผลักแบบไป-กลับ โดยมีการกำหนดให้มีการเคลื่อนที่ตามระยะที่กำหนดไว้ ด้วยวิธีการควบคุมการเคลื่อนที่ (Displacement Control) ที่ค่าอัตราส่วนการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นแนะนำโดย FEMA 461 [7]



รูปที่ 3 การติดตั้งโครงผนังก่อเพื่อการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

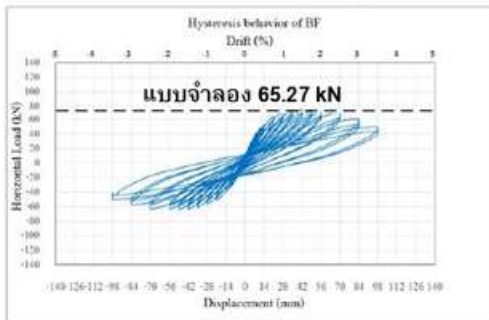
5. ผลการวิจัย

เมื่อแรงกระทำ ทำให้โครงตัวอย่างมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Drift) 0.50% ผนังบริเวณมุมบนของช่องเปิดเริ่มปรากฏรอยปริแตก ผนังด้านข้างทั้งสองของช่องเปิดเริ่มมีรอยร้าวในทิศทางการผลัก (loading) ลักษณะแนวทแยงมุม และเมื่อโครงอาคารถูกดึงกลับ (reloading) ทำให้เกิดรอยร้าวแนวทแยงมุมอีกทิศทางหนึ่งที่ตั้งกับรอยร้าวทแยงเดิมเป็นลักษณะกากบาท เมื่อแรงกระทำค่อยๆ เพิ่มขึ้น คานเอ็นเกิดรอยร้าวขึ้น ผนังบริเวณมุมระหว่างคานกับผนังเกิดการปริแตกของปูนฉาบคอนกรีตของคานเอ็นส่วนบนปริแตกออกจนเห็นเหล็กเสริมรอยปริแตกของผนังบริเวณมุมช่องเปิดทั้ง 4 มุมเกิดเสียหายมาก ขณะเดียวกัน รอยแตกของคานเอ็นส่วนล่างขยายมาบรรจบตลอดตามยาวของผนัง แผ่นผนังทั้งสองด้านของช่องเปิดเริ่มไม่มีเสถียรภาพ มีการแยกตัวกันระหว่างผนังกับเสา เมื่อการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Drift) 2.00% คานเอ็นส่วนบนเสียหายทั้งหมดไม่สามารถรับแรงได้ ช่องเปิดมีการเสียรูปตามทิศทางการให้แรงกระทำ ผนังทั้งสองด้านของช่องเปิดไม่มีเสถียรภาพพร้อมจะมีการวิบัติลงมาได้ โครงผนังก่อไม่สามารถใช้งานได้

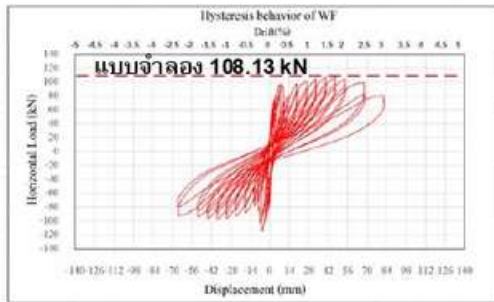


รูปที่ 4 การวิบัติของโครงผนังก่อแบบช่องเปิดหน้าต่าง (WF)

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างและการเคลื่อนที่ของโครงข้อแข็ง BF และโครงผนังก่อแบบช่องเปิดหน้าต่าง WF แสดงดังรูปที่ 5ก - 5ข ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า โครงผนังก่อแบบช่องเปิดหน้าต่าง WF มีกำลังต้านทานสูงสุด 107.25 kN เพิ่มขึ้นมากกว่าโครงข้อแข็ง BF ซึ่งมีกำลังต้านทานสูงสุด 70.25 kN ถึง 53% แต่ความสามารถในการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงผนังก่อ WF ลดลง เนื่องจากผนังก่อมีส่วนเพิ่มสติฟเนสของโครงสร้างคิดเป็น 24.50 kN/mm เทียบกับโครงข้อแข็ง 3.93 kN/mm ค่าสติฟเนสเพิ่มขึ้น 6.23 เท่า ทำให้ค่าความเหนียวของโครงผนังก่อ WF ลดลงถึง 58% เมื่อเทียบกับโครงข้อแข็ง



ก) โครงข้อแข็ง (BF)



ข) โครงผนังก่อแบบช่องเปิดหน้าต่าง (WF)

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างและการเคลื่อนที่

6. อภิปรายผล

ผลการทดสอบนำไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองที่นำเสนอ แสดงในตารางที่ 1 สำหรับกำลังต้านทานของผนังก่อจากผลการวิเคราะห์ (42.86 kN) และผลการทดสอบ (37.00 kN) คิดเป็นสัดส่วน 39.64% และ 34.50% ของกำลังต้านทานรวม ตามลำดับ และความแตกต่าง

ระหว่างกำลังต้านทานรวมของผลการวิเคราะห์ (108.13 kN) และผลการทดสอบ (107.25 kN) เท่ากับ 0.82% แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่นำเสนอ นำไปใช้เพื่อการประเมินกำลังต้านทานของโครงผนังก่อแบบช่องเปิดสมมาตรได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์สำหรับโครงผนังก่ออิฐ

โครงอาคาร	ผลการทดสอบ	ผลการวิเคราะห์
กำลังต้านทานของโครงข้อแข็ง (kN)	70.25	65.27
กำลังต้านทานของผนังก่อ (kN)	37.00	42.86
กำลังต้านทานรวม (kN)	107.25	108.13
ความแตกต่าง	0.82 %	

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการศึกษานี้กับกำลังต้านทานของผนังก่อที่มีช่องเปิดซึ่งคำนวณโดยแบบจำลองที่เสนอโดย Mondal และ Jain [4] พบว่า แบบจำลองที่เสนอโดย Mondal และ Jain [4] ให้ค่ากำลังต้านทานถึง 240 kN สูงกว่าผลการทดสอบจริงมาก ดังนั้น ผลการคำนวณตามแบบจำลองที่เสนอนี้จึงให้ค่ากำลังต้านทานที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมที่แท้จริงมากกว่าผลการศึกษาที่ผ่านมา

7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผล

ก) แบบจำลองแรงค้ำยันแนวทแยงสำหรับโครงผนังก่อแบบมีช่องเปิดที่เสนอนี้ ได้มีการสอบเทียบกับผลการทดสอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รูปแบบความเสียหายของโครงผนังก่อแบบช่องเปิดสอดคล้องกับแบบจำลองที่นำเสนอ ค่ากำลังต้านทานรวมจากการวิเคราะห์เท่ากับ 108.13 kN มีค่าใกล้เคียงกับค่าผลการทดสอบ 107.25 kN ซึ่งแตกต่างกันเพียง 0.82% ดังนั้น แบบจำลองที่เสนอนี้ จึงมีสามารถใช้ในการประเมินค่ากำลังต้านทานของโครงผนังก่อที่มีช่องเปิดได้

ข) โครงผนังก่อที่มีช่องเปิดหน้าต่างตรงกลาง สำหรับกรณีตัวอย่างในงานวิจัยนี้ มีค่ากำลังต้านทานและสติฟเนส

เพิ่มขึ้นเป็น 1.53 เท่าและ 6.23 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับโครงข้อแข็ง ผลการทดสอบพบว่า สัดส่วนกำลังต้านทานของผนังก่อซึ่งมีช่องเปิดแบบหน้าต่าง คิดเป็น 34.5% ของกำลังต้านทานรวมทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า ผนังก่อแบบช่องเปิดมีส่วนสำคัญต่อกำลังต้านทานของโครงอาคาร

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

งานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างโครงผนังก่อที่มีช่องเปิดหน้าต่างสมมาตรเป็นต้นแบบในการเทียบกับ แบบจำลองแรงค้ำยันแนวทแยง ควรมีการวิเคราะห์และทดสอบกำลังต้านทานของโครงสร้างอาคารผนังก่อที่มีรูปแบบช่องเปิดที่แตกต่างกัน เช่น ช่องเปิดหน้าต่างไม่สมมาตร ช่องเปิดประตูสมมาตร ช่องเปิดประตูไม่สมมาตร เป็นต้น เพื่อการนำไปใช้สำหรับโครงสร้างอาคารในสภาพงานจริง ที่มีรูปแบบผนังก่อช่องเปิดที่หลากหลาย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ และคณะทำงานในห้องปฏิบัติการที่ทำให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Dolsek, M. and Fajfar, P. (2008) The Effect of Masonry Infill on the Seismic Response of a Four-Storey Reinforced Frame—A Deterministic Assessment. *Engineering Structures*, 30, pp. 1991-2001.

- [2] Yuen , Y.P. and Kuang J.S. (2015) Nonlinear seismic responses and lateral force transfer mechanisms of RC frames with different infill configurations, *Engineering Structures*, 91, pp. 125-140.
- [3] Niyompanitpattana S., Warnitchai P. (2017). Effects of masonry infill walls with openings on seismic behavior of long-span GLD RC frames. *Magazine of Concrete Research*. 69(21), pp. 1-21.
- [4] Mondal, G. and Jain S.K. (2008) Lateral stiffness of masonry infilled reinforced concrete (RC) frames with central opening. *Earthquake Spectra*; 24(3), pp. 701–723.
- [5] Kurmi, P.L. and Haldar, P. (2022) Modeling of opening for realistic assessment of infilled RC frame buildings, *Structures*, 41, pp. 1700-1709.
- [6] Saneinejad, A. and Hobbs, B. (1995). Inelastic design of infilled frames. *Journal of Structural Engineering*. ASCE;6682, pp. 634-50.
- [7] Federal Emergency Management Agency. (2007). FEMA. Interim Testing Protocol for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components. *Report no. FEMA 461*. Redwood City.