



ผลกระทบจากกำลังของผนังก่ออิฐมอญต่อการตอบสนองของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แผ่นดินไหว Effect from Brick Wall Strength on Response of Reinforced Concrete Structure under Earthquake

วัชระ จันทร์อนันต์^{1*}, ดร.สำเนียง ongsุพันธ์กุล²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000

² สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ จังหวัดนครปฐม 73170

*E-mail: chananan.watchara@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แผ่นดินไหวโดยพิจารณากำลังของผนังก่ออิฐมอญร่วมกับโครงสร้างหลัก เนื่องจากการวิเคราะห์โครงสร้างโดยส่วนมากไม่ได้นำผนังก่ออิฐมอญมาพิจารณา สำหรับการวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบการตอบสนองของโครงสร้างอาคารที่นำผนังก่ออิฐมอญ และไม่นำผนังก่ออิฐมอญมาพิจารณา โดยอาคารที่ใช้เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 3 ชั้น และ 10 ชั้น และวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าไม่เชิงเส้น โดยใช้แรงจากแผ่นดินไหวจาก สเปกตรัมผลตอบสนอง ที่ระบุไว้ในกฎกระทรวง พ.ศ. 2550 และเป็นอาคารที่มีรายละเอียดเสริมเหล็กตาม มยพ. 1301-54 จากผลการวิจัยพบว่าผลกระทบจากผนังก่ออิฐมอญทำให้การตอบสนองของโครงสร้างซึ่งประกอบด้วย แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในเสา มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดความสูงอาคารอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างควรคำนึงถึงผลกระทบจากผนังก่ออิฐมอญ

คำสำคัญ : ผนังก่ออิฐมอญ, การตอบสนองของโครงสร้าง, แผ่นดินไหว

Abstract

This research aimed to investigate responses of reinforced concrete structures which considered brick wall with main structures under an earthquake. Owing to, generally the brick wall has not taken in the analysis, for this research, the comparison of the structural responses between the main structures with and without brick wall were conducted. 3-and 10-story RC building, designed following DPT. 1301-54 code, were selected as case studies and were analyzed under nonlinear static analysis (Pushover analysis) process. The response spectrum from B.E. 2550 ministerial regulations is used as lateral seismic forces. The analytical results found that the brick wall strength effects shear forces and bending moment in columns increased through heights importantly. Therefore, brick wall strength should be considered in structural design.

1. ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากการออกแบบอาคารในอดีตนั้นมียังมีความรู้ และเครื่องมือช่วยในการออกแบบที่จำกัด จึงทำให้การออกแบบจึงมิได้พิจารณากำลังผนังก่ออิฐมอญซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอาคารโดยทั่วไปอิฐมอญมีกำลังเพื่อช่วยในการรับแรงอยู่แต่ไม่มากนักแต่หากหลายงานวิจัยพบว่าผนังก่ออิฐมอญมีความสามารถช่วยทำหน้าที่เป็นค้ำยันโครงสร้างระหว่างเสาและคานช่วยทำให้โครงสร้างต้านทานแรงด้านข้างได้ดีขึ้น (Stafford Smith,1967) และ(Mainstone, 1971)

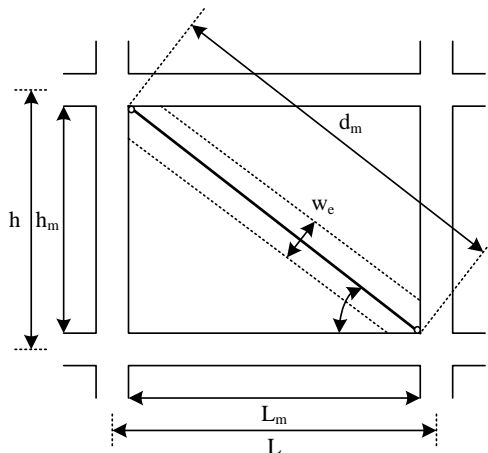
ในการวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบจากผนังก่ออิฐมอญที่มีต่อการตอบสนองของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แผ่นดินไหว โดยทำการเปรียบเทียบการตอบสนองของโครงสร้างจากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์ของอาคารที่พิจารณาผนังก่ออิฐมอญและไม่พิจารณาผนังก่ออิฐมอญโดยใช้สเปคตรัมการตอบสนองในบริเวณกรุงเทพมหานครซึ่งอยู่ในบริเวณที่ 1 ตามที่ระบุไว้ในกฎกระทรวง พ.ศ. 2550 ที่กล่าวถึงการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแรงแผ่นดินไหว และกำหนดให้อาคารตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อน

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลกระทบของกำแพงก่ออิฐต่อโครงสร้างอาคารด้านการตอบสนองต่อแผ่นดินไหว การประเมินความเสียหายของอาคาร และพิจารณาการวิบัติของอาคารเนื่องจากการไม่ต่อเนื่องของกำแพงก่ออิฐในทุกชั้น และสาเหตุอื่น ๆ ของอาคารตัวอย่างอาคารสูง 3 ชั้นและ 10 ชั้น

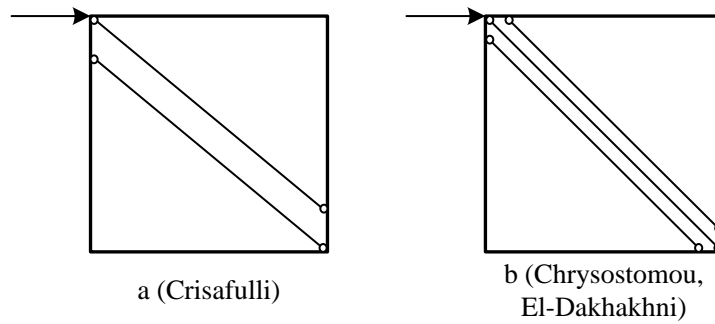
3. การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีหลายงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาพฤติกรรมของผนังอิฐก่อภายใต้แรงกระทำทางด้านข้าง (T. Paulay and M. J. N. Priestley, 1992) พบว่าผนังก่ออิฐมีลักษณะเป็นค้ำยันตามแนวทแยง เมื่อมีแรงดันด้านข้าง จะเกิดรอยแยก (Gap) ระหว่างโครงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กกับผนังอิฐก่อตรงบริเวณส่วนบนและส่วนล่างของผนังอิฐก่อ เป็นสาเหตุทำให้เกิดแนวแรงอัดเป็นลักษณะแนวทแยงจากมุมบนด้านหนึ่งไปผิวมุมล่างของอีกด้านหนึ่ง ซึ่งพฤติกรรมลักษณะนี้สามารถจำลองโดยใช้การค้ำยันแนวทแยงเทียบเท่า (Equivalent Compression Strut) แบบ 1 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 1



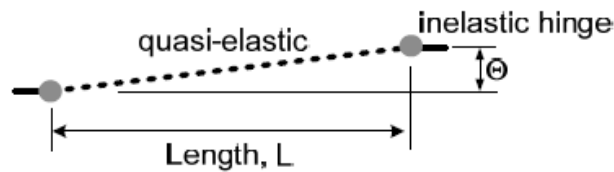
รูปที่ 1: แบบจำลองค้ำยันแนวทแยงเทียบเท่าแบบ 1 ตัว

ซึ่งสามารถจำลองผลของผนังอิฐก่อทางด้านแรงด้านข้างและการเคลื่อนตัวด้านข้างแล้ว แต่ไม่สามารถแสดงผลกระทบระหว่างผนังอิฐก่อกับโครงอาคารได้ถูกต้อง เป็นผลทำให้แรงภายใน (แรงดัด, แรงเฉือน และแรงในแนวแกน) และตำแหน่งจุดหมุนพลาสติก (Plastic Hinge) ของโครงอาคารที่ได้จากการวิเคราะห์ไม่ถูกต้อง จึงไม่สามารถทำนายพฤติกรรมได้อย่างแม่นยำ ในหลายๆกรณีเนื่องจากเหตุผลเหล่านี้ (Crisafulli and Francisco Javier, 1997) จึงได้ปรับปรุงแบบจำลอง ด้วยการเพิ่มความซับซ้อนของแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์มากขึ้นโดยใช้ค้ำยันมากกว่า 1 ตัว (Multiple strut model) ดังแสดงในรูปที่ 2

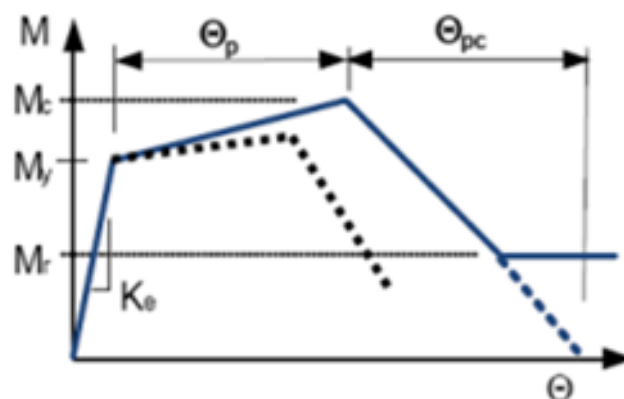


รูปที่ 2 แบบจำลองค้ำยันแนวทแยงเทียบเท่าแบบมากกว่า 1 ตัว

โครงสร้างอาคารประกอบด้วยองค์อาคารที่รับโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และแรงตามแนวแกน ซึ่งจำแนกได้เป็นคาน และเสาโดยการสร้างแบบจำลองใช้แบบจำลองแบบไม่เชิงเส้น (Non Linear) โดยการสร้างแบบจำลองจะใช้ตามรายงานเรื่อง FAMA-356 ซึ่งการตั้งเสา และคานสร้างแบบจำลองใช้การจำลองแบบ Lumped Plasticity Element ประกอบด้วยองค์อาคารที่อยู่ในช่วง อีลาสติก (Elastic) และมี Concentrated Plastic Hinge โดยเป็นแบบ Rotational Springs ที่ปลายทั้งสองข้างที่คาดว่าจะเกิดโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ให้โมเมนต์ถึงค่าที่จุดคราก (M_c) ได้ก่อนตำแหน่งอื่น และมีความสัมพันธ์กับการหมุนไปขององค์อาคารเป็นมุม (Θ) ตามขนาดของโมเมนต์ดัดดังแสดงตามรูปที่ 3



ก.แบบจำลององค์อาคารรับโมเมนต์ดัด



ข. ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและมุม

รูปที่ 3: แบบจำลององค์อาคาร



ผนังก่ออิฐที่ใช้เพื่อการศึกษาเป็นอิฐมอญโดย (เกริกฤทธิ พรหมดวง, 2553) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการทดสอบทดสอบผนังก่ออิฐในห้องปฏิบัติการโดยจำลองมาจากผนังก่ออิฐแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานครซึ่งจำลองผนังอิฐก่อให้มีขนาดเป็น 1/2 เท่าของขนาดจริง และได้ทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกลของอิฐมอญที่ใช้ก่อสร้างจริงประกอบด้วย หน่วยแรงอัดของตามมาตรฐาน ASTM: C170-90 ค่าหน่วยแรงอัดประลัยของปริซึมอิฐมอญทดสอบตามมาตรฐาน ASTM-C1314-07 และกำลังรับแรงเฉือนของผนังอิฐมอญทดสอบตามมาตรฐาน ASTM-E519-07 ดังที่แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง

ตารางที่ 1: ค่าคุณสมบัติเชิงกลของอิฐมอญ

หน่วยแรงอัด (กก./ตร.ม.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ตร.ม.)	หน่วยแรงเฉือน (กก./ตร.ม.)
31.08	76.45	28.13

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าไม่เชิงเส้นตาม FEMA-356 เป็นการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยกำหนดการเคลื่อนที่ทางด้านข้างเป้าหมายของอาคารที่ชั้นบนสุด (δ_t) สามารถหาได้จากสมการที่ 1 ที่เกิดจากแผ่นดินไหวตามสเปกตรัมการตอบสนองในบริเวณกรุงเทพมหานครซึ่งอยู่ในบริเวณที่ 1 ตามที่ระบุไว้ในกฎกระทรวง พ.ศ. 2550

$$\delta_t = C_o C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{\pi^2} g \tag{1}$$

เมื่อ S_a คือค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม

g คือค่าความเร่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก

T_e คือคาบการสั่นพื้นฐานประสิทธิผล เนื่องจากการตอบสนองของอาคารเมื่อเกิดแผ่นดินไหว องค์อาคารอาจมีพฤติกรรมแบบ Inelastic

C_o คือสัมประสิทธิ์ปรับแก้การเคลื่อนที่ทางด้านข้างของอาคารที่มีค่าความอิสระเท่ากับหนึ่ง ให้เป็นอาคารที่มีค่าความอิสระมากกว่าหนึ่ง

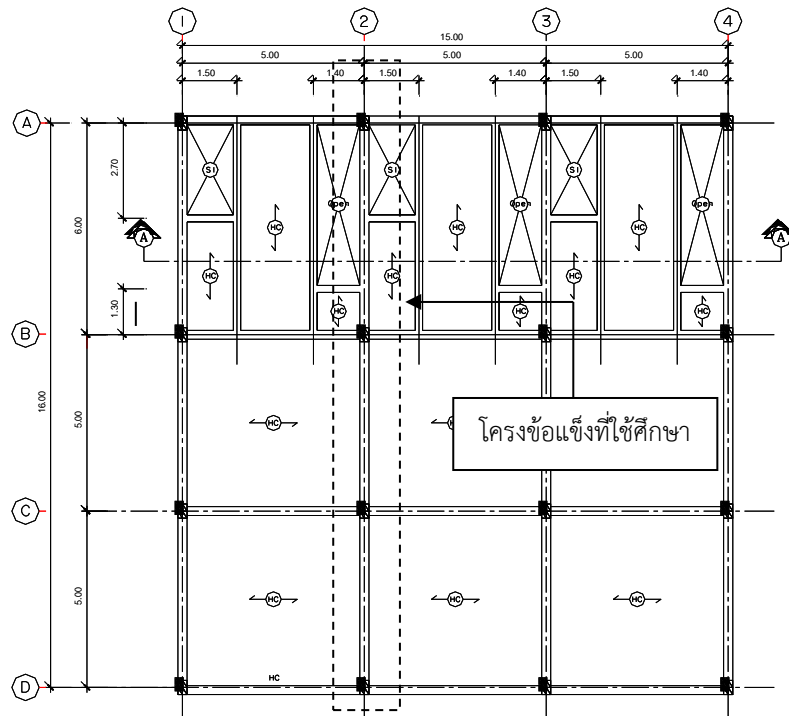
C_1 คือสัมประสิทธิ์ปรับแก้มีสาเหตุจากการเคลื่อนที่ของอาคารอาจจะอยู่ในช่วงไม่เชิงเส้น

C_2 คือสัมประสิทธิ์ปรับแก้ มีสาเหตุเนื่องมาจากการตอบสนองของโครงสร้างที่มี Stiffness ลดลง (Degrading Stiffness) ภายใต้แรงกลับไปกลับมา (Cyclic Loading) โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์จะขึ้นอยู่กับระดับความเสียหายขององค์อาคาร

C_3 สัมประสิทธิ์ปรับแก้ เนื่องมาจากการโก่งของโครงสร้างที่เกิดจากผลของ $P-\Delta$

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาใช้อาคารตัวอย่างสูง 3 ชั้น และ 10 ชั้น พื้นเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป (Hollow Core) ขนาด 80 x 300 มม. เเทคอนกรีตทับหน้า 3 ซม. รับน้ำหนักบรรทุกจร 200 กก./ตร.ม. และน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม 120 กก./ตร.ม. และกำแพงก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นหนัก 180 กก./ตร.ม. ในอาคารสูง 3 ชั้นใช้เหล็กเสริมข้ออ้อย SD 30 เหล็กปลอกใช้ SR 24 และใช้กำลังประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน (ทรงกระบอก) เท่ากับ 210 กก./ตร.ม. ส่วนในอาคารสูง 10 ชั้นใช้เหล็กเสริมข้ออ้อย SD 40 เหล็กปลอกใช้ SR 24 และใช้กำลังประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน (ทรงกระบอก) เท่ากับ 240 กก./ตร.ม. รูปผังโครงสร้างอาคาร 3 ชั้น และ 10 ชั้นแสดงในรูปที่ 4



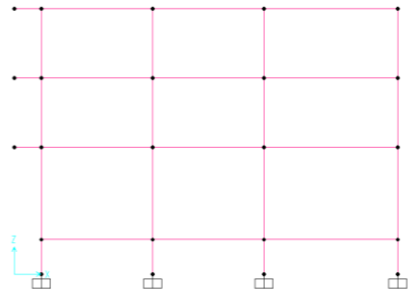
รูปที่ 4: ผังอาคารตัวอย่าง

ค่าของ δ_t จากการคำนวณตามสมการที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.55 ซม. และ 0.50 ซม. สำหรับอาคาร 3 ชั้นที่ไม่พิจารณา และพิจารณาผนังก่ออิฐมวลเบาตามลำดับ ส่วนของอาคาร 10 ชั้นที่ไม่พิจารณา และพิจารณาผนังก่ออิฐมวลเบา มีค่าเท่ากับ 5.60 ซม. และ 9.60 ซม.ตามลำดับ โดยใช้สัมประสิทธิ์ตามตารางที่ 2

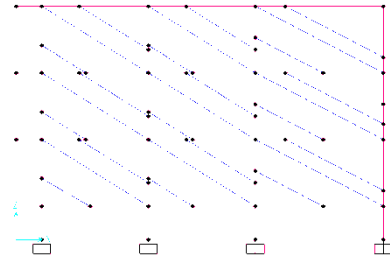
ตารางที่ 2: ค่าสัมประสิทธิ์เพื่อหาค่า δ_t

อาคารตัวอย่าง	C_o	C_1	C_2	C_3	T (วินาที)	S_a (g)	T_e (วินาที)
อาคาร 3 ชั้นไม่พิจารณาผนังก่ออิฐ	1.3	1.3	1	1	0.89	0.033	0.63
อาคาร 3 ชั้นพิจารณาผนังก่ออิฐ	1.3	1.3	1	1	0.66	0.04	0.54
อาคาร 10 ชั้นไม่พิจารณาผนังก่ออิฐ	1.3	1.4	1.2	1.2	2.17	0.022	1.41
อาคาร 10 ชั้นพิจารณาผนังก่ออิฐ	1.3	1.4	1.2	1.2	1.8	0.023	1.26

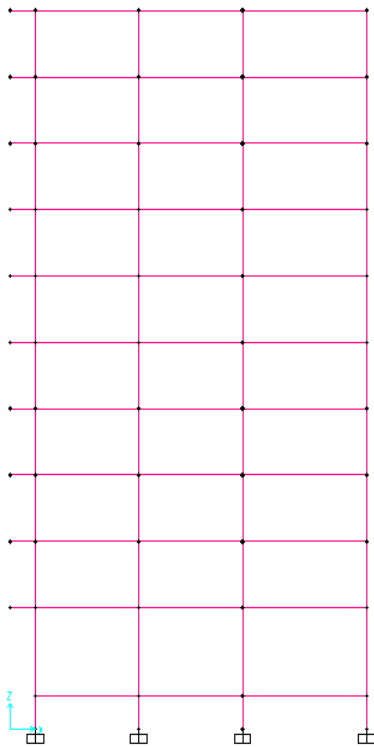
แบบจำลองอาคารประกอบด้วย คาน เสา และ strut จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลจากแบบจำลองพบว่าแบบจำลองแบบ Multiple Strut ที่เสนอโดย Crisafulli and Francisco Javier มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบมากกว่าแบบจำลองอื่น ๆ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้แบบจำลอง Multiple เพื่อใช้จำลองอาคารที่การวิจัยนี้โดยใช้คุณสมบัติทางกลของอิฐมวลเบาตามที่ได้ทดสอบโดย (เกริกฤทธิ์ พรหมดวง, 2553) ส่วนการจำลอง Hinge ที่ปลายเสา คาน และ Strut ที่เป็น Plastic Hinge Axial Hinge และ Shear Hinge ใช้ตามที่กำหนดไว้ใจ FEMA-356 แสดงในรูปที่ 5



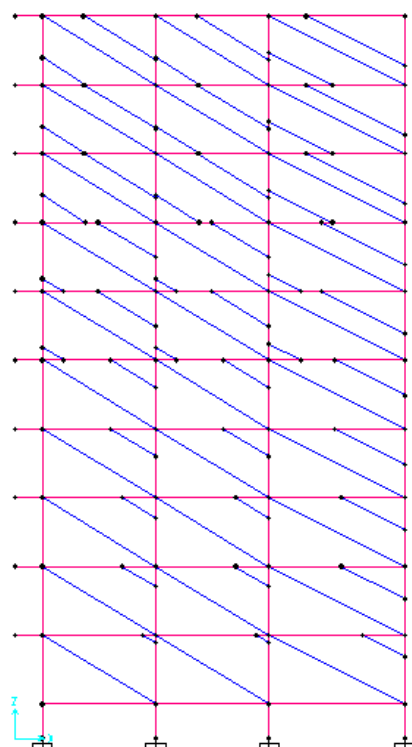
ก. แบบจำลองอาคารสูง 3 ชั้นที่ไม่ได้พิจารณากำแพงก่ออิฐ



ข. แบบจำลองอาคารสูง 3 ชั้นที่พิจารณากำแพงก่ออิฐ



ก. แบบจำลองอาคารสูง 3 ชั้นที่ไม่ได้พิจารณากำแพงก่ออิฐ

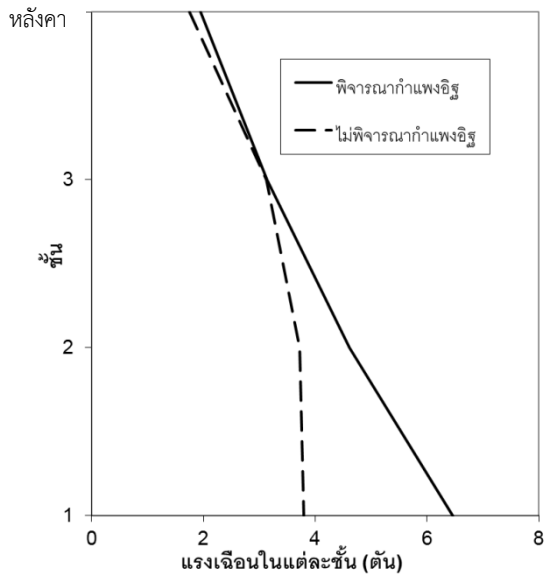


ข. แบบจำลองอาคารสูง 3 ชั้นที่พิจารณากำแพงก่ออิฐ

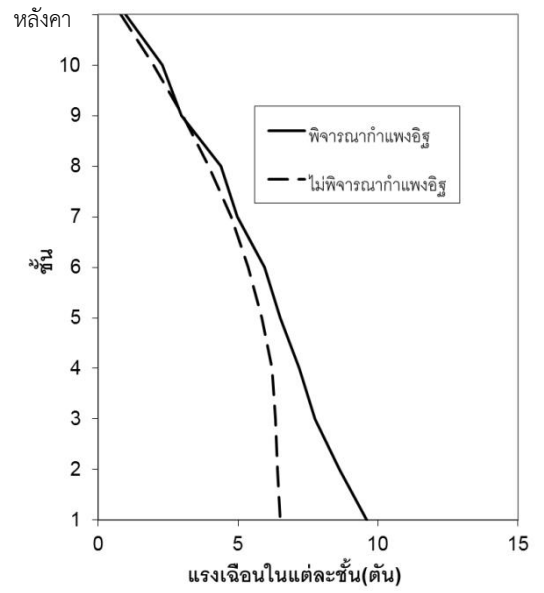
รูปที่ 5 แสดงแบบจำลองอาคาร

5. ผลและวิจารณ์

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างพบว่าแรงเฉือนในแต่ละชั้น (Story Shear) ของทั้งสองอาคารพบว่าเมื่อพิจารณาผลของผนังก่ออิฐมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 50 ในชั้นที่ 1 และลดลงเรื่อยเป็นลำดับจนมีค่าเท่ากับในชั้นที่ 3 ของอาคาร 3 ชั้น และชั้นที่ 7 ของอาคาร 10 ชั้น จนถึงชั้นหลังค่างแสดงในรูปที่ 6 ด้านโมเมนต์ดัด (Bending Moment) ก็ให้ผลที่คล้ายคลึงกับผลของแรงเฉือนในแต่ละชั้นโดยค่าโมเมนต์ของทั้งสองอาคารจากการที่พิจารณาผนังก่ออิฐจะมีค่าเพิ่มขึ้นในชั้นที่ 1 ประมาณร้อยละ 20 และจะมีค่าลดลงเท่ากับค่าโมเมนต์ดัดที่ไม้ได้พิจารณาผนังก่ออิฐที่ชั้นที่ 2 สำหรับอาคาร 3 ชั้น และที่ชั้นที่ 4 สำหรับอาคาร 10 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 7

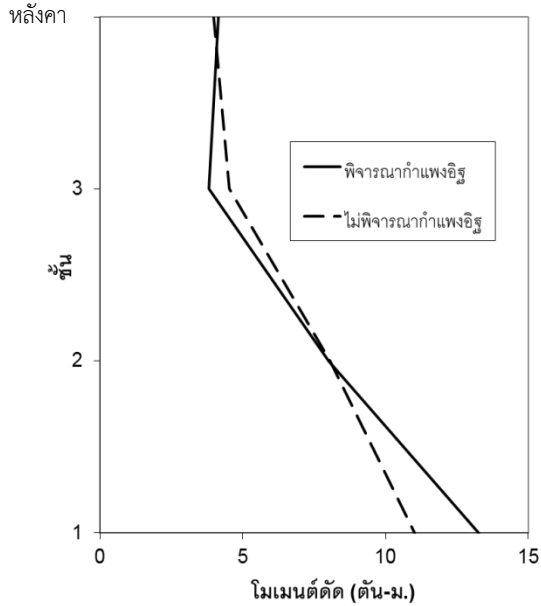


ก. แรงเหวี่ยงแต่ละชั้นของอาคาร 3 ชั้น

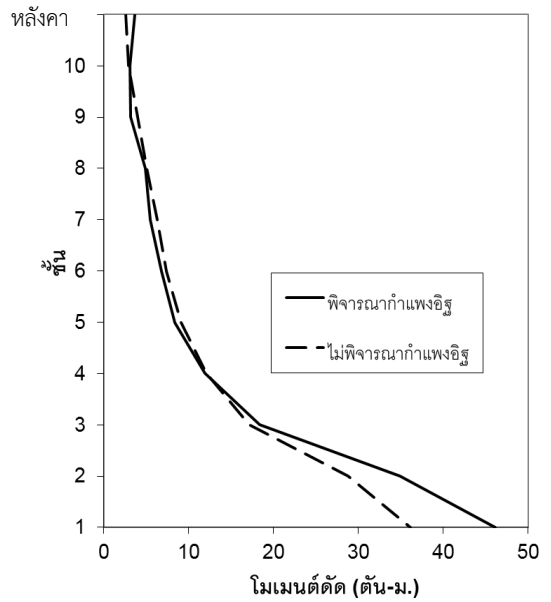


ข. แรงเหวี่ยงแต่ละชั้นของอาคาร 10 ชั้น

รูปที่ 6: แรงเหวี่ยงแต่ละชั้นของอาคาร



ก. โมเมนต์ดัดแต่ละชั้นของอาคาร 3 ชั้น



ข. โมเมนต์ดัดแต่ละชั้นของอาคาร 10 ชั้น

รูปที่ 7: โมเมนต์ดัดแต่ละชั้นของอาคาร



6. สรุปผล

จากการวิจัยพบว่าเมื่อพิจารณากำแพงก่ออิฐเป็นส่วนหนึ่งให้ช่วยรับแรงนอกเหนือจากโครงสร้างหลักแล้ว ผนังอิฐช่วยเพิ่ม Stiffness ของโครงสร้างอาคารส่งผลให้การตอบสนองของโครงสร้างแตกต่างจากอาคารที่ไม่ได้พิจารณาผนังก่ออิฐ โดยค่าแรงเฉือนพบว่าจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Push Over Analysis อาคารที่พิจารณาผนังก่ออิฐมีค่าแรงเฉือน และโมเมนต์ดัดที่ฐานจนกระทั่งถึงชั้นกลาง ๆ มีค่ามากกว่าอาคารที่ไม่ได้พิจารณาเนื่องจากอาคารที่พิจารณากำแพงก่ออิฐเป็นอย่างมาก ดังนั้นมีควมข้อระวังในเสาชั้นต่อม่อ และรวมถึงฐานราก ที่ได้รับการส่งถ่ายแรงจากต่อม่อ เนื่องจากอาคารที่พิจารณาผนังก่ออิฐซึ่งมีพฤติกรรมสอดคล้องกับอาคารจริงมากกว่านั้นมีค่าแรงเฉือน และโมเมนต์ดัด ที่มากกว่าแรงเฉือน และโมเมนต์ของอาคารที่วิเคราะห์โดยไม่ได้พิจารณาผนังก่ออิฐ ดังนั้นผลการวิจัยมีนัยสำคัญว่าหากพิจารณาในด้านการรับแรงจากแรงโน้มถ่วงของอาคารการวิเคราะห์ที่ไม่ได้พิจารณากำแพงอิฐก่อนนั้นอยู่ในสภาวะใช้งานได้ แต่เมื่อพิจารณาถึงการรับแรงทางด้านข้างที่ประกอบด้วยแรงเฉือน และโมเมนต์ดัดแล้วพบว่าการวิเคราะห์โครงสร้างที่ไม่ได้พิจารณากำแพงนั้นให้ค่าแรงดังกล่าวมากกว่าอาคารที่พิจารณากำแพงก่ออิฐซึ่งหากนำแรงนี้ไปทำการออกแบบอาจทำให้อาคารเกิดความเสียหายต่ออาคารจากแรงแผ่นดินไหวได้

8. เอกสารอ้างอิง

เกริกฤทธิ พรหมดวง. 2553. **การทดสอบโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อภายใต้แรงสลับทิศ**. กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Crisafulli and Francisco Javier. 1997. **Seismic behavior of reinforced concrete structures with masonry infills**. Ph.D. Thesis, University of Canterbury. New Zealand.

Federal Emergency Management Agency. 2000. **NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356)**. Washington D.C.

Mainstone, R. J. 1971. **Supplementary note on the stiffness and strength of infilled frames**. CP13 74, Build. Res. Establishment. Londres, Inglaterra.

T. Paulay and M. J. N. Priestley. 1992. **Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings**. A Wiley Interscience Publication.

Stafford-Smith, B. 1962. **Lateral stiffness of infilled frames**. ASCE Journal of Structural Division, v. 88, n. ST6, p. 183-199.