

กำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ก่อสร้างด้วยผนังอิฐมอญเสริมแรงด้วยวัสดุไฟเบอร์กลาส

Earthquake Resistance of Reinforced Concrete Building Structure

Model using Construction with Brick Wall Reinforced with Glass Fiber Material

ศุภกร ไชยพร^{1,*} อนุชาติ ลีอนันต์ศักดิ์ศิริ² เอกรินทร์ สุรินอุต³ และ วรวิทย์ โพธิ์จันทร์⁴

¹นักศึกษานิเทศศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

^{2,4}ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

³อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

*Corresponding author; supasornchaiyaporn@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการรับแรงอัดของผนังอิฐมอญก่อนเสริมกำลังและหลังเสริมกำลังโดยใช้วัสดุเสริมแรงไฟเบอร์กลาสด้วยเทคนิคเฟอร์โรซีเมนต์ และประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ก่อสร้างด้วยผนังอิฐมอญเสริมแรงด้วยวัสดุไฟเบอร์กลาสเปรียบเทียบกับเสริมด้วยเหล็กเส้น โดยผนังอิฐมอญทดสอบจำนวน 10 ตัวอย่าง การทดสอบภายใต้แรงกระทำในแนวแกน จากการศึกษาพบว่า ตัวอย่างผนังที่เสริมกำลังด้วยวัสดุเสริมแรงไฟเบอร์กลาสตามแนวตั้งและแนวนอนทั้ง 2 ด้านของผนังอิฐมอญ (WLC-HVG2) ให้ค่ากำลังรับแรงสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้มีการเสริมกำลัง (CT-PB) แสดงให้เห็นว่าการเสริมกำลังด้วยเทคนิคเฟอร์โรซีเมนต์ทำให้กำลังรับแรงอัดที่ได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกตัวอย่าง CT-PB ซึ่งเป็นตัวอย่างผนังอิฐมอญแบบฉาบเป็นตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างการทดสอบ WLC-HVG2 ที่ได้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด มาทำการประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ก่อสร้างด้วยผนังอิฐมอญเสริมแรงด้วยวัสดุไฟเบอร์กลาสด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ภายใต้วิธีสถิตศาสตร์ไม่เป็นเชิงเส้น จากการศึกษาพบว่าผนังอิฐมอญที่มีการเสริมกำลังด้วยวัสดุเสริมแรงไฟเบอร์กลาส มีความสามารถรับกำลังได้เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างผนังอิฐมอญที่ไม่มีการเสริมกำลัง และโครงข้อแข็งเปล่า การเสริมกำลังด้วยวัสดุเสริมแรงไฟเบอร์กลาสมีความสามารถในการเพิ่มกำลังและค่าสลิปของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เฟอร์โรซีเมนต์, ผนังอิฐมอญ, ไฟเบอร์กลาส

Abstract

This research aims to investigate the compressive strength of brick walls before and after reinforcement using glass fiber material with ferrocement techniques. It also aims to evaluate

the seismic resistance of reinforced concrete frame structures constructed with glass fiber material reinforced brick walls compared to those reinforced with steel bars. Ten samples of brick walls were tested under axial loads. The study found that the wall sample reinforced with glass fiber in both vertical and horizontal directions on both sides of the concrete block wall (WLC-HVG2) exhibited the highest compressive strength compared to the control sample without reinforcement (CT-PB). This indicates that reinforcement using ferrocement techniques significantly increases compressive strength. However, in this research, the CT-PB sample, which is a plastered block wall, was selected as the control sample, and the WLC-HVG2 sample, which showed the highest compressive strength, was used to evaluate the seismic resistance of reinforced concrete frame structures with glass fiber material reinforced brick walls using a finite element program under Nonlinear Static Methods. The study revealed that the fiberglass-reinforced brick walls exhibited increased load-bearing capacity compared to unreinforced masonry walls and bare frames. Fiberglass reinforcement was found to effectively enhance the strength and stiffness of reinforced concrete frame structures.

Keywords: Ferrocement, Brick walls, Glass fiber material

1. คำนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตที่มีรอยเลื่อนสำคัญหลายรอย เช่น รอยเลื่อนแม่ฮ่องสอน แม่จัน แพร่ แม่ทา เจดีย์สามองค์ ศรีสวัสดิ์ เมย ระนอง และคลองมะลู๋ ซึ่งหากเกิดแผ่นดินไหวจากรอยเลื่อนเหล่านี้ อาคารอาจได้รับความเสียหายตามระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว ส่งผลให้ประชาชนรู้สึก

ไม่ปลอดภัย ก่อนที่กฎหมายควบคุมอาคารตามประกาศกระทรวง พ.ศ. 2550 จะออกมานั้น ยังไม่มีการออกแบบอาคารโดยคำนึงถึงแรงจากแผ่นดินไหว เนื่องจากประเทศไทยไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวบ่อยนัก และพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบก็มีไม่มาก รวมถึงข้อมูลและสถิติการเกิดแผ่นดินไหวที่ยังมีจำกัดอย่างไรก็ตาม ปัจจุบันการเก็บข้อมูลแผ่นดินไหวมีความละเอียดมากขึ้น ทำให้พบว่าแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศข้างเคียงเกิดบ่อยขึ้น และพื้นที่ได้รับผลกระทบก็ขยายตัวมากขึ้น จึงทำให้เห็นว่าการเกิดแผ่นดินไหวสามารถสร้างความเสียหายต่อทั้งชีวิตและทรัพย์สินในอาคารเก่าที่ไม่ได้ออกแบบให้ต้านทานแรงแผ่นดินไหว ดังนั้นการเสริมกำลังให้กับอาคารเดิมที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวจึงมีความสำคัญ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาวิธีการเสริมกำลังผนังอิฐมวลด้วยวัสดุไฟเบอร์กลาสเพื่อเพิ่มกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากเหตุการณ์ดังกล่าว [1]

สำหรับงานวิจัยการเสริมกำลังผนังอิฐก่อในอดีตที่ผ่านมา เป็นการปรับปรุงการเสริมกำลังเฉพาะที่ให้กับผนังอิฐก่อเพื่อให้ตัวของผนังมีพฤติกรรมของโครงสร้างที่มีความสามารถในการรับกำลังที่เพิ่มขึ้นประกอบกับการทำให้ตัวโครงสร้างของผนังมีความเหนียว (Ductility) เพื่อให้สามารถต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวได้ และทนต่อการโยกไหวภายใต้แรงกระทำในลักษณะกลับไปได้ (Cyclic) อย่างมีประสิทธิภาพ เทคนิคการเสริมกำลังผนังอิฐก่อโดยใช้เหล็กแผ่นซึ่งให้ค่ากำลังต้านทานแรงทางด้านข้างสูงชันและมีค่าสตีเฟนส์ที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเสริมกำลัง [2] และยังมีงานวิจัยเสริมกำลังผนังอิฐก่อด้วยวัสดุ CFRP การเสริมกำลังด้วย CFRP ให้ค่ากำลังต้านทานแรงทางด้านข้างสูงชันเช่นกันแต่ในด้านราคาวัสดุ CFRP ยังคงมีราคาสูง [3-5] เทคนิคการเสริมกำลังโดยใช้เหล็กเสริมกำลังพันด้วยข้อดกริต การเสริมกำลังทำให้ค่ากำลังต้านทานแรงทางด้านข้างสูงชันเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้มีการเสริมกำลัง [6] สำหรับงานวิจัยเสริมกำลังผนังอิฐก่อด้วยตะแกรงเหล็กฉีกพบว่า การเสริมกำลังผนังอิฐก่อด้วยตะแกรงเหล็กฉีกเพิ่มความสามารถในการรับกำลังด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเพิ่มสูงขึ้น [7]

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ก่อสร้างด้วยผนังอิฐมวลเสริมแรงด้วยวัสดุไฟเบอร์กลาสและเหล็กเส้น เนื่องจากการใช้วัสดุดังกล่าวมาเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์ยังมีน้อย โดยงานวิจัยใช้โปรแกรม Etabs2021 ในการจำลองพฤติกรรมด้วยวิธีสถิตศาสตร์ไม่เป็นเชิงเส้น (Pushover analysis) การทดสอบกำลังรับแรงอัดดังกล่าวเพื่อให้ได้คุณสมบัติพื้นฐานจากการทดสอบผนังอิฐก่อซึ่งเรียกผนังที่ทดสอบว่า การทดสอบปริซึมอิฐก่อ จะได้คุณสมบัติพื้นฐาน ได้แก่ กำลังรับแรงอัด ค่าอิลาสติคโมดูลัส และอัตราส่วนปัวซอง มาทำการประยุกต์ในการจำลองพฤติกรรมของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กก่อนจะพิจารณาแรงต้านข้างกระทำโครงเฟรมคอนกรีตเสริมเหล็กต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุที่ใช้ในการทำผนังอิฐ ใช้ อิฐมวล ขนาด 60 x 60 x 150 มม. ซึ่งมีขายตามท้องตลาดทั่วไปในจังหวัดขอนแก่น วัสดุเสริมแรง GFRP ชนิดเส้น ขนาด 6 มม. มอก. 2973 – 2562 ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 อิฐมวล ขนาด 60 x 60 x 150 มม. และวัสดุเสริมแรง GFRP ชนิดเส้น ขนาด 6 มม.

ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่ออิฐ ประกอบด้วย ปูนก่ออิฐมวลใช้ปูนก่อสำเร็จรูป ทีพีโอ (M300), ปูนซีเมนต์สำหรับงานฉาบอิฐ ประกอบด้วย ปูนฉาบอิฐมวลใช้ปูนฉาบสำเร็จรูปทั่วไป ทีพีโอ (M200), เหล็กเส้นขนาด 6 มม. ขึ้นฉนวนรูป SR 24

2.2 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

- 1) การทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐมวล ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C170 – 90 [8] โดยเลือกตัวอย่างอิฐจำนวน 5 ก้อน แล้วทำการกดตัวอย่าง จำนวน 3 ชุด เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดของอิฐมวล
- 2) กำลังรับแรงอัดของปริซึมอิฐก่อได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1314 – 07 [9] โดยการนำอิฐมาก่อโดยมีปูนก่อเป็นตัวเชื่อมประสานจำนวน 5 ก้อน แล้วทำการฉาบตัวอย่างให้เสมือนกับการก่อและฉาบในงานก่อสร้างทั่วไป
- 3) การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ ที่ใช้ทำปูนก่อ และ ปูนฉาบ วิธีทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C349-97 [10] ควบคุมความสามารถทำงานได้ บนแท่นทดสอบการไหลแม่ (Flow Table) เท่ากับ 110 มม. ± 5 มม. และน้ำที่ใช้ผสมปูนซีเมนต์เป็นน้ำประปา ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน

2.3 การทดสอบผนังอิฐก่อ

การทดสอบผนังอิฐก่อภายใต้กำลังรับแรงในแนวดิ่ง ดังรูปที่ 2 โดยการนำผนังอิฐก่อที่ทำการเตรียมตัวอย่างขนาด 600 x 600 มม. โดยมีสัญลักษณ์ตัวอย่างดังตารางที่ 1 เข้าทดสอบกำลังรับแรงอัดจนขึ้นตัวอย่างผนังอิฐก่อเกิดการวิบัติ และนำผลที่ได้จากการทดสอบมาทำการเปรียบเทียบตัวอย่างผนังอิฐก่อที่ไม่ได้เสริมกำลัง กับผนังอิฐก่อที่เสริมกำลัง

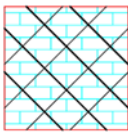
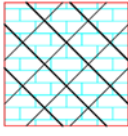
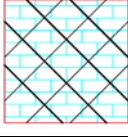
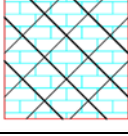
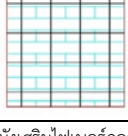
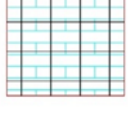
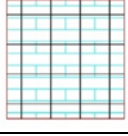
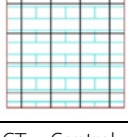
ด้วยวัสดุเสริมแรงไฟเบอร์กลาสและเหล็กเส้นกลมด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์หุ้ม สำหรับการเตรียมตัวอย่างการทดสอบผนังอิฐก่อ จำนวน 3 ก้อน ทั้ง ตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมง ให้ปูนก่อเซตตัว หลังจากนั้นจะทำการเสริมกำลังผนัง อิฐก่อด้วยวัสดุเสริมแรงไฟเบอร์กลาสและเหล็กเส้นกลมด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์ หลังจากนั้นทำการฉาบตัวอย่างให้ได้ตามความหนาที่ 120 มม. การควบคุมขนาดของตัวอย่างจะใช้เข็มสำเร็จในการจับฉากก่อนที่จะทำการ ฉาบตัวอย่างเพื่อให้ตัวอย่างมีระนาบที่ได้ฉากก่อนการทดสอบกำลังรับ แรงอัดของตัวอย่างทดสอบ ทำการทิ้งตัวอย่างไว้ที่อายุ 28 วันรอการ ทดสอบด้วยเครื่องกด Universal Testing Machine



รูปที่ 2 การทดสอบผนังอิฐก่อ

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ตัวอย่างผนังอิฐก่อที่ใช้ในงานวิจัย

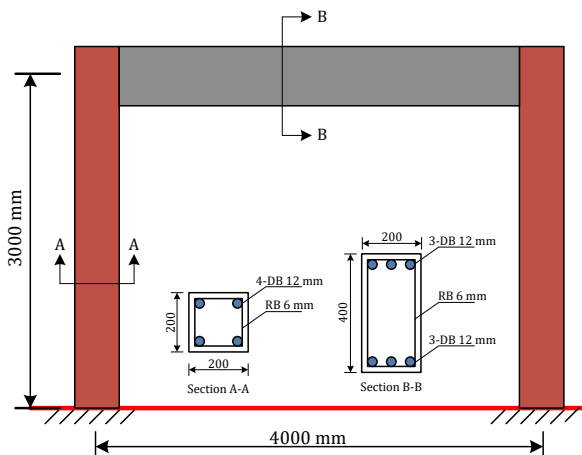
ตัวอย่างผนังอิฐก่อ	สัญลักษณ์	ขนาด กว้างxยาวxหนา (มม.)
ผนังเปล่าที่ไม่ได้ฉาบปูน	CT-B	600 x 600 x 60
ผนังอิฐก่อที่ฉาบปูน	CT-PB	620 x 620 x 120
ผนังเสริมไฟเบอร์กลาส ในแนวทแยง 1 ด้าน	WB-DG1	620 x 620 x 120

		
ผนังเสริมไฟเบอร์กลาส ในแนวทแยง 2 ด้าน	WB-DG2	620 x 620 x 120
		
ผนังเสริมเหล็กกลม ในแนวทแยง 1 ด้าน	WB-DR1	620 x 620 x 120
		
ผนังเสริมเหล็กกลม ในแนวทแยง 2 ด้าน	WB-DR2	620 x 620 x 120
		
ผนังเสริมไฟเบอร์กลาส ในแนวตั้งและแนวนอน 1 ด้าน	WB-HVG1	620 x 620 x 120
		
ผนังเสริมไฟเบอร์กลาส ในแนวตั้งและแนวนอน 2 ด้าน	WB-HVG2	620 x 620 x 120
		
ผนังเสริมเหล็กกลม ในแนวตั้งและแนวนอน 1 ด้าน	WB-HVR1	620 x 620 x 120
		
ผนังเสริมไฟเบอร์กลาส ในแนวตั้งและแนวนอน 2 ด้าน	WB-HVR2	620 x 620 x 120
		

หมายเหตุ CT = Control , W = Wall , G = Glass fiber
B = Brick , R = Rebar , D = Diagonal pattern
H = Horizontal , V = Vertical, P = Plastering

2.4 การประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในขั้นตอนนี้ จะนำคุณสมบัติพื้นฐานจากการทดสอบผนังอิฐก่อมาใช้ในการจำลองพฤติกรรมของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยพิจารณาแบบโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีพฤติกรรมคานแข็งเสาอ่อน (strong beams and weak columns) ซึ่งโครงข้อแข็งที่ใช้ในการศึกษามีอัตราส่วนการเสริมเหล็กต่อหน้าตัดคอนกรีตเท่ากับ 1.13% สำหรับคาน คอนกรีตเสริมเหล็กมีอัตราส่วนการเสริมเหล็กต่อหน้าตัดคอนกรีตเท่ากับ 1.00% โดยในการศึกษานี้ ใช้กำลังรับแรงอัดคอนกรีตและค่าอิลาสติกโมดูลัสที่เท่ากับ 20 MPa และ 19,019.04 MPa ตามลำดับ สำหรับเหล็กที่ใช้ในการจำลองนั้นมีค่ากำลังที่จุดครากและค่าอิลาสติกโมดูลัสที่เท่ากับ 445 MPa และ 200,000 MPa ตามลำดับ ดังรูปที่ 3 การจำลองพฤติกรรมของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมด้วยผนังอิฐมอญและวัสดุเสริมแรงไฟเบอร์กลาสและเหล็กเส้นกลม ด้วยเทคนิคเฟอร์โรซีเมนต์หุ้ม จะใช้วิธีสถิตศาสตร์ไม่เป็นเชิงเส้น (Pushover analysis) ในการผลัดโครงสร้าง จนเกิดการวิบัติตามระดับสมรรถนะของการป้องกันการพังทลาย (Collapse Prevention Level – CP) เพื่อหาค่าแรงกระทำสูงสุดที่โครงสร้างสามารถรับได้



รูปที่ 3 โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลการทดสอบการรับกำลังอัดของอิฐมอญ

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐมอญได้ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C170 – 90 [8] โดยเลือกตัวอย่างอิฐจำนวน 5 ก้อนและทำการกดเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัด ผลการทดสอบได้กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 3.11 MPa และมีค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยที่ 15.66 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.153 - 2540 พบว่าอิฐมอญลูกวงก่อผนังไม่รับน้ำหนักจัดอยู่ในชั้นคุณภาพระดับ ค ตามที่แสดงในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐแดงตามที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด

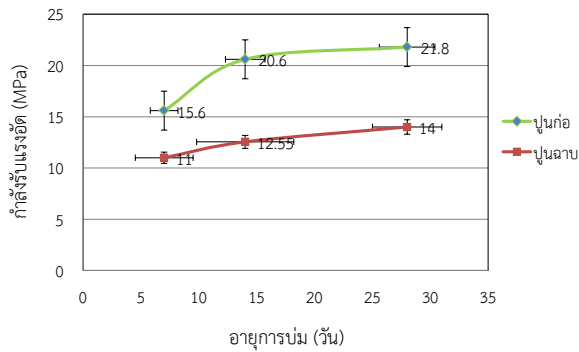
ชั้นคุณภาพ	ค่าดูดกลืนน้ำสูงสุด %	
	เฉลี่ย 5 ก้อน	แต่ละก้อน
ก	10 %	12 %
ข	14 %	16 %
ค	20 %	24 %

3.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของปริซึมอิฐก่อ

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของปริซึมอิฐก่อได้ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C1314 – 07 [9] โดยการนำอิฐจำนวน 5 ก้อนมาก่อร่วมกับปูนก่อเป็นตัวเชื่อมประสาน ทดสอบกำลังรับแรงอัดของปริซึมอิฐก่อ 3 ตัวอย่างด้วยเครื่อง UTM (Universal Testing Machine) ผลการทดสอบได้ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 3.46 MPa

3.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ ที่ใช้ทำปูนก่อ และ ปูนฉาบผล

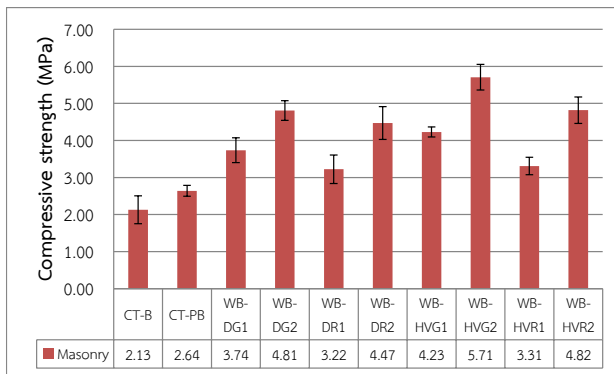
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อและงานฉาบ โดยปูนก่อและปูนฉาบมีการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (water-cement ratio, w/c) เท่ากับ 0.35 สำหรับปูนก่อ และ 0.40 สำหรับปูนฉาบ ทำการทดสอบที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า ปูนซีเมนต์งานก่อมีค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน เท่ากับ 15.6, 20.1 และ 21.8 MPa ตามลำดับ ส่วนปูนซีเมนต์งานฉาบมีค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน เท่ากับ 11.0, 12.55 และ 14.0 MPa ตามลำดับ ดังรูปที่ 4 ทั้งปูนก่อและปูนฉาบมีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า 2.5 MPa ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังรับแรงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [11] ที่กล่าวว่า ระยะเวลาในการบ่มส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ที่ช่วยพัฒนากำลังอัดให้เพิ่มขึ้นตามระยะเวลา และงานก่อมีค่ากำลังอัดสูงกว่าปูนฉาบ เนื่องจากปูนก่อมี w/c ที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม งานฉาบมักใช้ w/c ที่สูงกว่าเพื่อให้ได้ความสามารถในการทำงาน (workability) ที่ดีกว่า ซึ่งเหมาะสมกับการฉาบผนังอิฐก่อ โดยไม่ควรให้ผิวปูนฉาบแห้งหรือเหลวจนเกินไป เพื่อป้องกันการแตกร้าวขณะแข็งตัว



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

3.4 ผลการทดสอบผนังอิฐก่อ

ผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของผนังอิฐก่อที่เสริมด้วยไฟเบอร์กลาสและเหล็กเส้นกลม โดยใช้ตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง (ชุดละ 3 ตัวอย่าง) ที่อายุ 28 วัน ขนาดเฉลี่ย 600 × 600 มิลลิเมตร ผลการทดสอบสรุปในตารางที่ 3 และการเปรียบเทียบกำลังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของผนังอิฐก่อ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงกระทำในแนวแกนของผนังอิฐก่อ

Samples	Compressive strength (MPa)	Poisson's ratio	Elastic Modulus (MPa)
CT-B	2.13	0.32	1597.50
CT-PB	2.64	0.26	1980.00
WB-DG1	3.74	0.19	2802.56
WB-DG2	4.81	0.14	3605.30
WB-DR1	3.22	0.20	2417.21
WB-DR2	4.47	0.16	3353.07
WB-HVG1	4.23	0.22	3170.90
WB-HVG2	5.71	0.13	4279.91
WB-HVR1	3.31	0.21	2482.27
WB-HVR2	4.82	0.17	3612.30

จากรูปที่ 5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบผนังอิฐก่ออยู่ระหว่าง 1.35 – 4.44 แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังอัดเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบ 3 ตัวอย่างมีความแตกต่างกันไม่เกิน 15% เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (CT) กับตัวอย่าง CT-PW พบว่าการฉาบปูนช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดขึ้น 1.24 เท่า เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวและความหนาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้วัสดุประสานสามารถกระจายแรงเข้าสู่หน้าตัดของวัสดุก่อได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [7] ที่ระบุว่ามอร์ตาร์ปูนฉาบช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงของผนังอิฐก่อ

เมื่อเปรียบเทียบผนังอิฐก่อที่เสริมกำลังด้วยไฟเบอร์กลาสและเหล็กเส้นกับตัวอย่าง CT-PB ซึ่งมีความหนาของชั้นปูนฉาบเท่ากัน พบว่าผนัง WB-DG1, WB-DG2, WB-DR1, WB-DR2, WB-HVG1, WB-HVG2, WB-HVR1 และ WB-HVR2 มีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเป็น 1.41, 1.82, 1.22, 1.70, 1.60, 2.16, 1.25 และ 1.82 เท่าตามลำดับ การเสริมกำลังด้วยไฟเบอร์กลาสและเหล็กเส้นโดยเทคนิคเฟอร์โรซีเมนต์ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงของผนังอิฐก่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ [7] ที่ระบุว่า การเสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กฉีกสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงของผนังอิฐก่อได้ดี จากตารางที่ 3 พบว่าอัตราส่วนปัวซองของผนังอิฐก่ออยู่ระหว่าง 0.13 – 0.32 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเสริมกำลังส่งผลให้อัตราส่วนปัวซองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

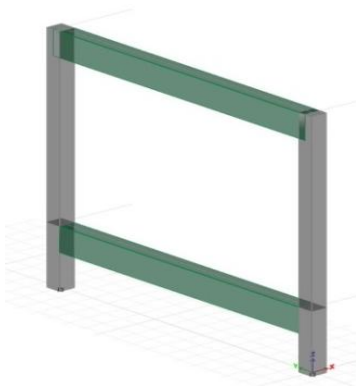
การเสริมกำลังด้วยไฟเบอร์กลาสให้ค่ากำลังของผนังอิฐก่อสูงกว่าการเสริมด้วยเหล็กเส้น ทั้งในรูปแบบแนวทแยงและแนวตั้ง-แนวนอน โดยตัวอย่าง WB-HVG2 มีค่ากำลังสูงสุดที่ 5.71 MPa ขณะที่ WB-HVR2 มีกำลังอัด 4.82 MPa ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าไฟเบอร์กลาสเป็นวัสดุเสริมกำลังที่มีประสิทธิภาพ สำหรับการวิบัติของผนังอิฐก่อ ตัวอย่างควบคุม (CT และ CT-PW) เกิดการวิบัติจากแรงอัดโดยตรง ส่วนตัวอย่างที่เสริมกำลังด้วยไฟเบอร์กลาสและเหล็กเส้น เมื่อได้รับแรงกระทำพบว่าชั้นปูนฉาบเกิดการแตกร้าวและแยกออกเป็นชั้น ๆ โดยลักษณะการวิบัตินี้เกิดขึ้นเหมือนกันในทุกตัวอย่างที่เสริมกำลังภายใต้แรงอัด ตัวอย่างการวิบัติของผนัง WB-HVG2 แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การวัดตัวของตัวอย่างทดสอบ

3.4 ผลการประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในงานวิจัยนี้ เลือกตัวอย่าง CT-PB ซึ่งเป็นผนังอิฐมวลเบาฉาบปูนเป็นตัวอย่างควบคุม และตัวอย่าง WB-HVG2 และ WB-HVR2 ซึ่งเสริมด้วยไฟเบอร์กลาสและเหล็กเส้น และมีกำลังรับแรงอัดสูงสุดจากการทดสอบ เพื่อนำมาประเมินระดับสมรรถนะของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก การประเมินใช้คุณสมบัติจากตารางที่ 3 ได้แก่ กำลังรับแรงอัด โมดูลัสยืดหยุ่น และอัตราส่วนปัวซอง จากนั้นนำค่าดังกล่าวไปใช้จำลองพฤติกรรมการรับแรงแผ่นดินไหวของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยโปรแกรม Etabs 2021 โดยใช้วิธีวิเคราะห์หศาสตร์ศาสตร์ไม่เป็นเชิงเส้น (Pushover Analysis) สำหรับโครงเฟรมคอนกรีตเสริมเหล็กเปล่า (Bare Frame) ดังรูปที่ 7

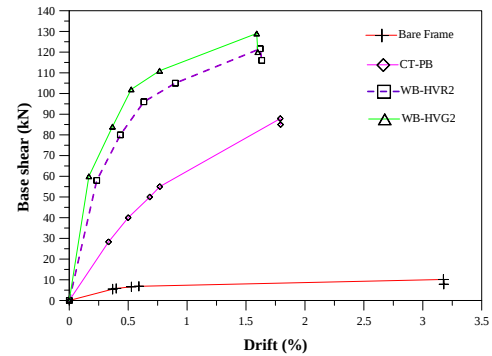


รูปที่ 7 ต้นแบบจำลองโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

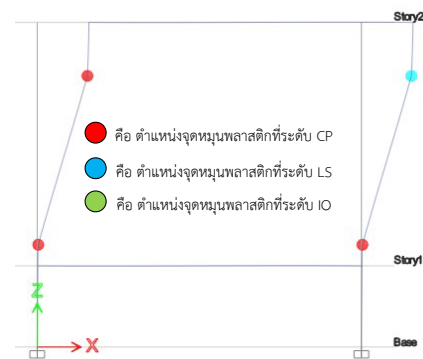
ผลการประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กสรุปไว้ในตารางที่ 4 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำที่ฐานกับการเคลื่อนตัวของโครงสร้างในรูปที่ 8 จากการศึกษาพบว่าโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเปล่า (Bare Frame) เกิดการวิบัติที่จุดหมุนพลาสติกบริเวณเสาของคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามที่แสดงในรูปที่ 9 ซึ่งบ่งชี้ว่าโครงสร้างมีพฤติกรรมแบบคานแข็ง-เสาอ่อน (Strong Beams and Weak Columns) ซึ่งไม่ได้ออกแบบมาเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

Samples	Max.Base shear (kN)	Displacement (mm)	Stiffness (kN/mm)
Bare Frame	10.15	95.25	2.12
CT-PB	87.89	53.71	16.44
WB-HVR2	121.63	48.61	24.52
WB-HVG2	129.01	47.72	27.34



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำที่ฐานและการเคลื่อนตัวของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 9 การวิบัติที่ตำแหน่งจุดหมุนพลาสติกของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเปล่า Bare Frame

การประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้คุณสมบัติของผนัง CT-PB, WB-HVR2 และ WB-HVG2 พบว่ากำลังรับแรงเพิ่มขึ้น 8.66, 11.92 และ 12.71 เท่าตามลำดับ เมื่อเทียบกับโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเปล่า (Bare Frame) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผนังอิฐก่อช่วยเสริมกำลังของโครงสร้างได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบ WB-HVR2 และ WB-HVG2 กับ CT-PB พบว่าการเสริมกำลังด้วยเหล็กเส้นและไฟเบอร์กลาสช่วยเพิ่มกำลังรับแรงกระทำด้านข้างขึ้น 1.37 และ 1.46 เท่าตามลำดับ

การเสริมกำลังผนังด้วยเหล็กเส้นและไฟเบอร์กลาสให้ค่ากำลังรับแรงแผ่นดินไหวใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบในขั้นตอนที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าไฟเบอร์กลาสเป็นวัสดุเสริมกำลังที่มีประสิทธิภาพ สำหรับค่าสถิติของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่าการเสริมกำลังด้วยไฟเบอร์กลาสและเหล็กเส้นช่วยเพิ่มค่าสถิติโดยรวมของอาคารอย่างมีนัยสำคัญ จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าความชันของกราฟในช่วงอีลาสติกเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเสริมกำลัง และการใช้ไฟเบอร์กลาสให้ค่าสถิติสูงกว่าการใช้เหล็กเส้น แต่เนื่องจากการเสริมกำลังทำให้ค่าความเหนียว ductility ของอาคารลดลงซึ่งเป็นผลมาจากค่าความแข็งหรือสตีฟเนสที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาแรงแผ่นดินไหวของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้

4. บทสรุป

1. การเสริมกำลังผนังอิฐก่อด้วยวัสดุไฟเบอร์กลาสและเหล็กเส้นโดยเทคนิคเฟอร์โรซีเมนต์ช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการเสริมกำลังในแนวตั้งและแนวนอนทั้งสองด้านซึ่งให้ค่ากำลังรับแรงสูงกว่ารูปแบบการเสริมกำลังอื่นๆ

2. การวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กพบว่า โครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเปลือย (Bare Frame) เกิดการวิบัติที่จุดหมุนพลาสติกบริเวณเสา แสดงให้เห็นพฤติกรรมคานแข็ง-เสาอ่อน และในกรณีที่มีการเสริมกำลังก็ยังคงแสดงลักษณะการวิบัติในรูปแบบเดียวกัน

3. การใช้วัสดุเสริมแรงไฟเบอร์กลาสในการเสริมกำลังที่ผนังก่ออิฐจากผลการวิเคราะห์แบบจำลองแสดงให้เห็นว่าวัสดุดังกล่าวสามารถใช้ทดแทนเหล็กเสริมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการเสริมกำลังผนังอิฐก่อด้วยวัสดุดังกล่าว โดยการนำวิธีเฟอร์โรซีเมนต์มาประยุกต์ใช้ในการทำงานร่วมกับวัสดุเสริมแรงไฟเบอร์กลาสและเหล็กเส้น ดังนั้นในงานวิจัยในอนาคตจำเป็นต้องศึกษาวิเคราะห์อาคารประเภทต่างๆ เช่น อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก อาคารที่ก่อสร้างด้วยเหล็กต่อไป เพื่อให้นักวิจัยครอบคลุมเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่อนุญาตให้ใช้พื้นที่ อุปกรณ์และห้องทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Meteorological Department. (2017). Earthquake Report in Thailand and Adjacent Areas in June 2017 Seismological Bureau. <https://earthquake.tmd.go.th/report/file/seismo-report-1504512433.pdf>

- [2] Taghdi, M., Bruneau, M. and Saatcioglu, M. (2000). Seismic Retrofitting of Low-Rise masonry and concrete walls using steel strips. *Journal of Composites for Construction*, 126, pp.1017-1025.
- [3] Ghobarah, A. and El Mandooh Galal, K. (2004). Out-of-Plane Strengthening of Unreinforced Masonry Walls with Openings. *Journal of Composites for Construction*, 8, pp. 298-305.
- [4] Elgawady, M.A., Lestuzzi, P. and Badoux, M. (2005). A seismic retrofitting of unreinforced masonry walls using FRP. *Composites Part B engineering*, 37, pp.148-162.
- [5] Anil, O. and Altin, S. (2007). An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames. *Engineering Structures*, 29, pp.449-460.
- [6] Teymur, P., Yuksel, E., Yahaya, A. & Pala, S., (2008). Wet-Mixed Shotcrete Walls to Retrofit Low Ductile RC Frames. *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering 2008*, Beijing, 12-17 October, China.
- [7] Leeanansaksiri, A., Panyakapo, P. and Ruangrassamee, A. (2018). Seismic Capacity of Masonry Infilled RC Frame Strengthening with Expanded Metal Ferrocement. *Engineering Structures*, 159, pp.110-127.
- [8] Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone. American Society for Testing and Materials. ASTM C170-90.
- [9] Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms. American Society for Testing and Materials. ASTM C1314-07.
- [10] Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. American Society for Testing and Materials. ASTM C349-97.
- [11] Lea, F.M. (2019). The Chemistry of Cement and Concrete. (5th ed). Butterworth-Heinemann.