

การศึกษาผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ภายใต้การทดสอบแบบค้อนเหวี่ยง

The Study of the Reinforced Masonry Walls with Bamboo under the Pendulum Test

อนุชาติ ลีอนันต์ศักดิ์ศิริ¹ ไพฑูรย์ นาแซง^{1*} วรวิทย์ โพธิ์จันทร์¹ วีระชัย หิรัญวัฒนเกษม¹
และเฉลิมศักดิ์ นามเชียงใหม่¹

Anuchat Leraanansaksiri¹ Phaithun Nasaeng^{1*} Worawit Projan¹
Weerachai Hirunwattanakasem¹ and Chalernsak Namchiangtai¹

Received: October 5, 2023; Revised: November 9, 2023; Accepted: December 20, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการรับแรงของผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ภายใต้การทดสอบด้วยค้อนเหวี่ยง ผนังอิฐก่อที่ทดสอบมีทั้งหมด 6 ตัวอย่าง โดยมีขนาดเฉลี่ย 600 x 600 มิลลิเมตร ประกอบด้วยผนังอิฐมอญแบบไม่ฉาบ (CT1) ผนังอิฐมอญแบบฉาบ (CT2) ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 50 มิลลิเมตร (W1) ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 100 เซนติเมตร (W2) ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 150 มิลลิเมตร (W3) และผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 200 มิลลิเมตร (W4) การทดสอบกระทำภายใต้แรงกระแทกแบบค้อนเหวี่ยงโดยมีมุมมองในการให้แรงตั้งแต่ 5 ถึง 90 องศา ผลการทดสอบพบว่าตัวอย่าง CT1 CT2 W1 W2 W3 และ W4 มีค่ากำลังรับแรงกระแทกเท่ากับ 9.04 21.33 39.2 34.28 26.92 และ 25.01 นิวตันเมตร ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างควบคุม CT2 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง CT1 แสดงให้เห็นว่าการฉาบปูนที่ผนังอิฐก่อทำให้กำลังรับแรงกระแทกสูงขึ้น 2.36 เท่า นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างผนังอิฐก่อที่ทำการเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ตามระยะ 50 ถึง 200 มิลลิเมตรเทียบกับตัวอย่าง CT2 พบว่าผนัง W1 W2 W3 และ W4 ให้กำลังรับแรงกระแทกสูงขึ้น 1.83 1.61 1.26 และ 1.17 เท่า ตามลำดับ การเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ทำให้กำลังรับแรงกระแทกที่ได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : ไม้ไผ่; อิฐก่อ; การทดสอบด้วยค้อนเหวี่ยง

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น

¹ Faculty of Engineering, Northeastern University, Khonkaen

* Corresponding Author; Tel. 06 5354 5350, E - mail: phaithun.nas@neu.ac.th

Abstract

The objective of this research was to study the reinforced masonry walls with bamboo under the pendulum test. A total of 6 samples of masonry walls were tested, with an average size of 600 x 600 mm, consisting of 1) non-plastered Mon brick wall (CT1), 2) plastered Mon brick wall (CT2), 3) reinforced masonry wall with bamboo at a distance of 50 mm (W1), 4) reinforced masonry wall with bamboo at a distance of 100 mm (W2), 5) reinforced masonry wall with bamboo at a distance of 150 mm (W3), and reinforced masonry wall with bamboo at a distance of 200 mm (W4). Assessments were performed using the pendulum test with application angles ranging from 5 to 90 degrees. The results found that samples CT1, CT2, W1, W2, W3 and W4 had impact load values of 9.04, 21.33, 39.2, 34.28, 26.92, and 25.01 N.m, respectively. For the control sample CT2, it was shown that plastering the masonry wall resulted in a 2.36 times higher impact load when compared with sample CT1. In addition, when comparing the masonry wall samples reinforced with bamboo at a distance of 50 to 200 mm with the CT2 sample, it was found that walls W1, W2, W3, and W4 had 1.83, 1.61, 1.26, and 1.17 times higher impact load, respectively. Thus, it can be concluded that reinforcement using the reinforced masonry walls with bamboo significantly increased the impact load.

Keywords: Bamboo; Masonry; Pendulum Test

บทนำ

ประเทศไทยอยู่ในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับหลายประเทศใกล้เคียง เช่น พม่า และจีน เป็นต้น ทั้งนี้ประเทศไทยมีรอยเลื่อนที่มีพลังที่สำคัญในภาคเหนือ ได้แก่ รอยเลื่อนแม่จัน รอยเลื่อนแม่ฮ่องสอน รอยเลื่อนแม่ทา และรอยเลื่อนแพร่ ส่วนรอยเลื่อนในภาคตะวันตก คือ รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ รอยเลื่อนเมย และภาคใต้ ได้แก่ รอยเลื่อนระนอง และรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย เมื่อเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวจากรอยเลื่อนเหล่านี้ เป็นผลให้อาคารเกิดการสั่นไหว ทำให้เกิดความตื่นตัวจากประชาชนทั่วไปในความปลอดภัยของอาคารต่าง ๆ โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครที่มีอาคารสูงมากมาย ในช่วงเวลาหลายปีที่ผ่านมาอาคารได้ถูกสร้างขึ้นเป็นจำนวนมากและการออกแบบไม่ได้คำนึงถึงผลของแรงแผ่นดินไหวต่อโครงสร้างเป็นหลัก ยกตัวอย่างเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 เวลา 18.08 น. ตามเวลาของประเทศไทยได้เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวคานวณศูนย์กลางในเบื้องต้นพบว่าจุดศูนย์กลางอยู่บริเวณตำบลทรายขาว อำเภอพวน จังหวัดเชียงราย ละติจูด 19.685°N ลองจิจูด 99.687°E ขนาดแผ่นดินไหว 6.3 ความลึก 7 กิโลเมตร ความรุนแรงระดับ VIII ตามมาตราเมอร์คัลลี จากเหตุการณ์ครั้งนี้มีผู้เสียชีวิต 1 คน ที่จังหวัดเชียงราย บาดเจ็บมากกว่า 100 คน พบความเสียหายเกิดขึ้นแก่บ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้างเป็นจำนวนมาก และเป็นบริเวณกว้าง มีผลกระทบถึง 7 จังหวัด และการเกิดแผ่นดินไหวในครั้งนั้นทำให้เกิดแผ่นดินไหวตาม (Aftershock) กระจายตัวหลายบริเวณ ในเขตอำเภอแม่ลาว อำเภอพวน อำเภอแม่สรวย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างตลอดแนวรอยเลื่อนพะเยา [1] ทำให้อาคารบ้านเรือนพร้อมสิ่งปลูกสร้างได้รับความเสียหายเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะผนังอิฐก่อ

ผนังอิฐก่ออาคารโดยทั่วไปแล้วจะเป็นแค่การก่อเพื่อใช้ในการสถาปัตยกรรม สามารถแบ่งเป็นผนังภายนอกและผนังภายใน โดยที่ผนังภายนอกมีหน้าที่ป้องกันตัวอาคารจากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น พายุฝน แสงแดด

หรือความร้อน ส่วนผนังภายในจะใช้แบ่งพื้นที่ออกเป็นโซนใช้งานต่าง ๆ ภายในตัวอาคารและยังใช้เป็นที่พักเก็บเสียงกันการรบกวน อีกทั้งตัวผนังบางส่วนยังทำหน้าที่ในการรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็ก และบางส่วนไม่ได้รับน้ำหนัก ซึ่งในการก่อสร้างผนังวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการก่อผนังประกอบด้วย อิฐมวลเบา เป็นต้น และเนื่องจากผนังอิฐในโครงสร้างอาคาร (Infill Wall) เดิมไม่ได้มีการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีผนังที่มีช่องเปิดด้วยบานประตูและหน้าต่าง จะมีกำลังต้านทานต่ำมาก ดังนั้น การศึกษาวิธีการเสริมกำลังและพฤติกรรมต้านทานแผ่นดินไหวของผนังอิฐจึงเป็นประโยชน์ต่ออาคารเป็นอย่างมาก

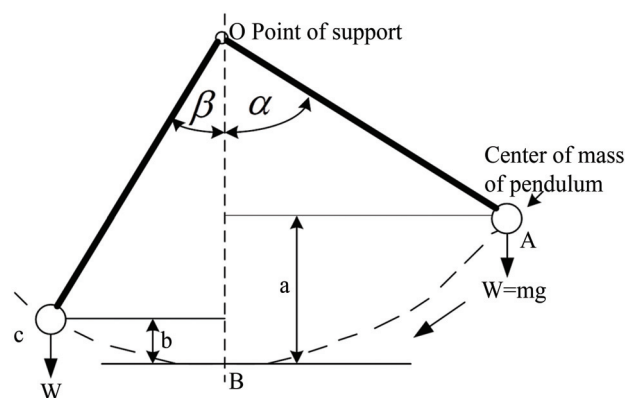
จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา [2] - [7] ได้ทำการศึกษาการเสริมกำลังผนังอิฐก่อโดยใช้วัสดุเสริมกำลัง Fiber Reinforced Polymer (FRP) และวัสดุเสริมกำลัง Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) ภายใต้การทดสอบแบบเพนดูลัมเทส ผลการศึกษาพบว่าการเสริมกำลังผนังอิฐก่อด้วยไฟเบอร์ทำให้กำลังรับแรงของผนังอิฐก่อสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้มีการเสริมกำลัง นอกจากนี้ [8] - [9] ได้ศึกษาผนังอิฐก่อเสริมกำลังโดยใช้วัสดุ Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) ผลการศึกษาที่ได้มีความสอดคล้องกับการเสริมกำลังผนังอิฐก่อด้วย FRP และ CFRP เช่นกัน และยังมีการศึกษาการเสริมกำลังผนังอิฐก่อโดยการใส่คอนกรีตพ่นซึ่งเป็นงานวิจัยของ [10] ผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตพ่นทำหน้าที่ปกป้องผนังอิฐก่อ รวมถึงทำให้เกิดขึ้นความหนาของคอนกรีตเสมือนเป็นเกาะป้องกันผนังอิฐก่อทำให้ผนังอิฐก่อมีความสามารถรับกำลังได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้มีการเสริมกำลัง

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นถึงการเสริมกำลังผนังอิฐก่อเพื่อให้มีความแข็งแรงในการรับแรงกระแทกที่เกิดจากภัยธรรมชาติ อันเกิดจากแรงแผ่นดินไหวที่เข้ากระทำในทิศทางตั้งฉากกับผนังอิฐก่อรวมถึงแรงลม เป็นต้น และจากฝีมือมนุษย์ที่เกิดจากความประมาท เช่น อุบัติเหตุจากการขับรถชนผนัง การกระแทกจากเครื่องจักรต่าง ๆ โดยนำเอาวัสดุที่มีในธรรมชาติหรือในท้องถิ่นได้แก่ ไม้ไผ่ ซึ่งมีทั่วไปในแต่ละท้องถิ่นของประเทศไทย มาทำการเสริมกำลังผนังอิฐก่อเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุจำพวกคาร์บอนไฟเบอร์ซึ่งมีราคาสูง โดยการทดสอบผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ภายใต้การทดสอบด้วยค้อนเหวี่ยงทำตามมาตรฐาน มอก. 2226-2548 [11] โดยเสริมกำลังผนังอิฐก่อด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์ (Ferrocement)

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

1. การทดสอบแบบค้อนเหวี่ยง (Pendulum Test)

การทดสอบโดยแรงกระแทก ส่วนใหญ่เพื่อต้องการหาความสามารถในการดักกลืน พลังงานของวัสดุภายใต้แรงกระแทก ซึ่งทำได้โดยใช้พลังงานกระแทกขึ้นทดสอบนั้น ต้องใช้ค้อนเหวี่ยง (Pendulum Hammer) ตีชิ้นงานภายใต้ภาวะที่กำหนดดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการทดสอบโดยการกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าหลักการเหมือนแบบลูกตุ้มนาฬิกา ซึ่งสามารถที่จะคำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้กระแทกขึ้นทดสอบ ได้จากผลต่างของระดับสูงของลูกตุ้ม เมื่อเริ่มแกว่งและหลังจากที่แกว่งไปกระแทกขึ้นทดสอบให้หักแล้ว ในการทดสอบโดยวิธีค้อนเหวี่ยงกระแทกนี้ จะเห็นได้ว่าพลังงานศักย์ของค้อนเหวี่ยง ก่อนปล่อยจากตำแหน่ง A คือ mga หลังจากปล่อยพลังงานศักย์จะลดลง และพลังงานจลน์เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดก่อนการกระแทกที่ตำแหน่ง B พลังงานศักย์มีค่าเหลือศูนย์ส่วนพลังงานจลน์จะมีค่าที่มากที่สุดเมื่อค้อนเหวี่ยงมาถึงจุดไกลที่สุดคือตำแหน่ง C ซึ่งพลังงานศักย์มีค่าเป็น mgb ดังนั้นผลต่างระหว่างพลังงานศักย์ที่ตำแหน่ง A และ C คือพลังงานกระแทกที่ทำให้ขึ้นทดสอบแตกหัก [12] โดยคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$\text{พลังงานกระแทกขึ้นทดสอบ} = mgr (\cos\beta - \cos\alpha) \quad (1)$$

เมื่อ

m = กำหนดให้มีหน่วยกิโลกรัม (kg)

g = 9.806 m/s^2

α = มุมยกขึ้นก่อนการกระแทกเป็นองศา

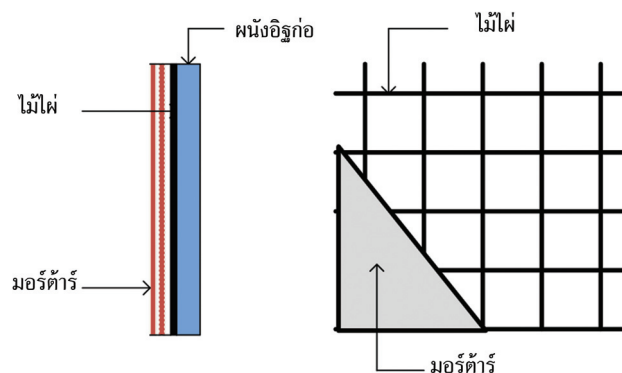
β = มุมยกขึ้นภายหลังการกระแทกเป็นองศา

r = รัศมีความยาวจากจุดศูนย์กลางหมุนถึงตำแหน่งตี

สำหรับพลังงานกระแทกขึ้นทดสอบ จะมีค่าเป็น จูล (J) ซึ่งในเครื่องทดสอบส่วนมาก จะอ่านค่าพลังงานนี้ได้โดยตรงจากสเกลที่ถูกแบ่งเป็นหน่วยพลังงานไว้เป็นจูลด้วยเหมือนกัน

2. เทคนิคในการเสริมกำลังผนังอิฐก่อโดยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์ (Ferrocement)

เทคนิคในการเสริมกำลังผนังอิฐก่อจะการใช้การเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์ (Ferrocement) โดยทั่วไปแล้วซีเมนต์มอร์ตาร์เป็นวัสดุที่แข็งแรง เมื่อนำมาใช้กับวัสดุที่มีการกระจายแรง เช่น ลวดตาข่าย จะทำให้คุณสมบัติดีขึ้นเนื่องจากการกระจายตัวของแรงจึงทำให้ต้านทานการแตกร้าว กำลังรับแรงดึง แรงดัด ต้านทานแรงกระแทกและการล้าได้ดี โดยมีลักษณะการเสริมดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบการเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์

เฟอร์โรซีเมนต์ โดยทั่วไปจะใช้ลวดตาข่ายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ถึง 1.0 มิลลิเมตร และช่องว่างของตาข่าย 5 ถึง 25 มิลลิเมตร โดยมีสัดส่วนปริมาตรเหล็กต่อปริมาตรคอนกรีต ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 8 ความหนาของเฟอร์โรซีเมนต์อยู่ในช่วง 10 ถึง 40 มิลลิเมตร ระยะหุ้มใช้ 1.5 ถึง 2 มิลลิเมตร โดยมอร์ตาร์จะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 น้ำและมวลรวมละเอียด (ทรายธรรมชาติ) ขนาดประมาณ 5 ถึง 7 มิลลิเมตร เฟอร์โรซีเมนต์ใช้สำหรับโครงสร้างที่มีความบางได้ แต่มีความทนทานเท่ากับคอนกรีตเสริมเหล็ก เพราะมีพฤติกรรมเป็นวัสดุยืดหยุ่นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Elastic) ทำให้มีช่วงยืดหยุ่นกว้างกว่าคอนกรีตทั่วไป การกระจายตัวของลวดตาข่ายและอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของคอนกรีต (Specific Surface) ส่งผลให้มีคุณสมบัติด้านการแตกร้าวดี

วิธีดำเนินการศึกษา

1. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

อิฐที่ใช้ในการศึกษาเป็นอิฐมอญขนาด 60 x 135 x 60 มิลลิเมตร เป็นอิฐชนิดมอญคู่ วัสดุประสานงานก่อและฉาบใช้ปูนซีเมนต์สำเร็จ ตามมาตรฐาน มอก. 15-2555 [13] ไม้ไผ่ที่ใช้เป็นไม้ไผ่ต้นหรือไม้ค้ำขวานเตรียมตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร รวมความหนาไม้ไผ่ 2 ด้านโดยประมาณ 10 มิลลิเมตรจากพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงวัสดุในงานวิจัยดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

รูปวัสดุ	รายการวัสดุ	หมายเหตุ
	อิฐมอญ ขนาด 60 x 135 x 60 มม.	อิฐจากพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
	ปูนก่อและปูนฉาบ	ตราเสือ มอก. 15-2555
	ไม้ไผ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม.	ชนิดไผ่ตัน แบบตากแห้ง

2. การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 การทดสอบการรับกำลังอัดของอิฐมอญ ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C170-90 [14] โดยเลือกตัวอย่างอิฐจำนวน 5 ก้อน เรียงกันแล้วทำการกดตัวอย่างจำนวน 3 ชุด เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดของอิฐมอญ

2.2 กำลังรับแรงอัดของปริซึมอิฐก่อได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1314-07 [15] โดยการนำอิฐมาก่อโดยมีปูนก่อเป็นตัวเชื่อมประสานจำนวน 5 ก้อน แล้วทำการฉาบตัวอย่างให้เสมือนกับการก่อและฉาบในงานก่อสร้างทั่วไป

2.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์สำเร็จที่ใช้ทำปูนก่อและปูนฉาบ วิธีทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C349-97 [16] ทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water-Cement Ratio w/c) เท่ากับ 0.35 สำหรับปูนซีเมนต์สำเร็จงานก่อ และควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water-Cement Ratio w/c) เท่ากับ 0.40 สำหรับปูนซีเมนต์สำเร็จงานฉาบ น้ำที่ใช้ผสมปูนซีเมนต์เป็นน้ำประปา ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 14 และ 28 วัน

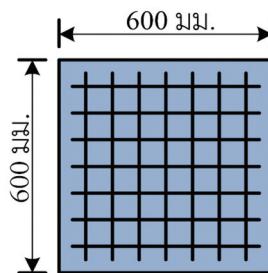
2.4 กำลังรับแรงดึงของไม้ไผ่ ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5034-21 [17] โดยการทดสอบเตรียมโดยการดึงด้วยเครื่อง UTM

3. การทดสอบผนังอิฐก่อภายใต้เพนดูลัมทดสอบหรือวิธีค้อนเหวี่ยง

การทดสอบเพนดูลัมหรือการทดสอบการรับการกระแทกด้านข้างของผนังอิฐก่อด้วยวิธีค้อนเหวี่ยงตามมาตรฐาน มอก. 2226-2548 [11] ดังรูปที่ 3(ก) โดยการนำผนังอิฐก่อที่ทำการเตรียมตัวอย่างขนาด 600 x 600 มม. โดยมีสัญลักษณ์ตัวอย่างดังตารางที่ 2 เข้าทดสอบที่ชุดทดสอบเพนดูลัมทดสอบและทำการทดสอบ

จะให้น้ำหนักที่ตุ้ม 3 กิโลกรัม เริ่มต้นเหวี่ยงแขนเหวี่ยงทำมุมที่ 5 องศา และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ครั้งละ 5 องศา จนชิ้นงานเกิดการวิบัติ และนำผลที่ได้จากการทดสอบความทนการกระแทกที่ไม่ทำให้เกิดรอยร้าวที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผนังอิฐก่อ ทำการเปรียบเทียบตัวอย่างผนังอิฐก่อที่ไม่ได้เสริมกำลังกับผนังอิฐก่อที่เสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์

สำหรับการเตรียมตัวอย่างการทดสอบจะทำการก่อตัวอย่างแถวละ 4 ก้อน จำนวน 8 ชั้น ดังรูปที่ 3(ค) ทั้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมง ให้ปูนก่อเซตตัว หลังจากนั้นจะทำการเสริมกำลังผนังอิฐก่อด้วยไม้ไผ่ตามระยะห่างที่กำหนดคือ 50 ถึง 200 มม. นำมาวางทับกันเสมือนเป็นเหล็กตะแกรงตามระยะที่กำหนดแล้วใช้ลวดในการยึด ดังรูปที่ 2 และ 3(ข) โดยในการยึดไม้ไผ่เข้ากับผนังต้องทำการกีดผนังให้เป็นร่องตามระยะที่กำหนดและฝังไม้ไผ่เข้าไปในผนังอิฐก่อ หลังจากนั้นทำการฉาบปูนให้มีความหนาแน่นด้านละ 10 มม. ทั้งตัวอย่างไว้ที่อายุ 28 วันรอการทดสอบ



(ก) ชุดเครื่องมือทดสอบ เพนดูลัมเทส (ข) ขนาดตัวอย่าง ผนังอิฐก่อ (ค) การเตรียมตัวอย่าง ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่
รูปที่ 3 ชุดเครื่องมือทดสอบเพนดูลัมเทสและการเตรียมตัวอย่างผนังอิฐก่อในงานวิจัย

ตารางที่ 2 สัญลักษณ์ตัวอย่างอิฐที่ใช้ในงานวิจัย

ชนิดของผนังอิฐก่อ	สัญลักษณ์แทนตัวอย่างทดสอบ	ขนาดของตัวอย่าง (มม.) กว้าง x ยาว x หนา
ผนังอิฐมอญแบบไม่ฉาบ	CT1	600 x 600 x 60
ผนังอิฐมอญแบบฉาบ	CT2	620 x 620 x 75
ผนังอิฐก่อเสริมไม้ไผ่ระยะห่าง 50 มม.	W1	620 x 620 x 80
ผนังอิฐก่อเสริมไม้ไผ่ระยะห่าง 100 มม.	W2	620 x 620 x 80
ผนังอิฐก่อเสริมไม้ไผ่ระยะห่าง 150 มม.	W3	620 x 620 x 80
ผนังอิฐก่อเสริมไม้ไผ่ระยะห่าง 200 มม.	W4	620 x 620 x 80

ผลการศึกษา

1. ผลการทดสอบการรับกำลังอัดของอิฐมอญ

ผลการทดสอบการรับกำลังอัดของอิฐมอญ ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C170-90 [14] โดยเลือกตัวอย่างอิฐจำนวน 5 ก้อน เรียงกันแล้วทำการกดตัวอย่างจำนวน 3 ชุด จากการทดสอบได้ผลการรับกำลังอัดเฉลี่ย 55.75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.24 และมีค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยร้อยละ 8.76 โดยเทียบเกณฑ์ที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 153-2540 [18] กำหนดอิฐมอญกลวงก่อผนังไม่รับน้ำหนักจัดอยู่ในชั้นคุณภาพระดับ ก ดังแสดงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมตามตารางที่ 3 และเมื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐ 1 ก้อน ได้ผลการรับกำลังอัดเฉลี่ย 3 ก้อน เท่ากับ 41.66 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.816

ตารางที่ 3 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐแดงตามที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด

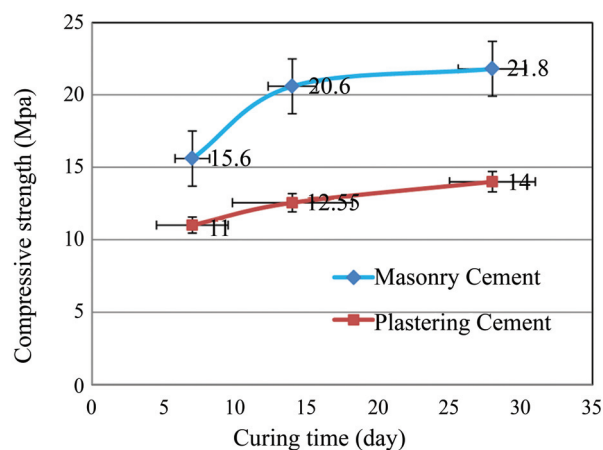
ชั้นคุณภาพ	ค่าดูดกลืนน้ำสูงสุด % เฉลี่ย 5 ก้อน	ค่าดูดกลืนน้ำสูงสุด % เฉลี่ย 1 ก้อน
ก	10	12
ข	14	16
ค	20	24

2. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของปรีซิมอิฐก่อ

กำลังรับแรงอัดของปรีซิมอิฐก่อได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1314-07 [14] โดยการนำอิฐมาก่อโดยมีปูนก่อเป็นตัวเชื่อมประสานจำนวน 5 ก้อน แล้วทำการฉาบตัวอย่างให้เสมือนกับการก่อและฉาบในงานก่อสร้างทั่วไป จากการทดสอบได้ผลการรับกำลังอัดเฉลี่ย 3 ก้อน เท่ากับ 33.97 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.13 เมื่อเทียบกับกำลังรับแรงอัดของอิฐ 1 ก้อนพบว่ากำลังอัดปรีซิมอิฐก่อมีกำลังรับแรงอัดลดลงเนื่องจากผลของอัตราส่วนชะลุดซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [19] ได้กล่าวไว้ว่าอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความสูงหรือที่เรียกว่า อัตราส่วนความชะลุดส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดที่ลดลงของผนังอิฐก่อ

3. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์สำเร็จที่ใช้ทำปูนก่อและปูนฉาบ

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์สำเร็จที่ใช้ทำปูนก่อและปูนฉาบ วิธิตดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C349-97 ทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water-Cement Ratio w/c) เท่ากับ 0.35 สำหรับปูนซีเมนต์สำเร็จงานก่อ และควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water-Cement Ratio w/c) เท่ากับ 0.40 สำหรับปูนซีเมนต์สำเร็จงานฉาบ ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 14 และ 28 วัน จากผลการทดสอบดังรูปที่ 4 ปูนซีเมนต์สำเร็จงานก่อได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 14 และ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 15.6 20.1 และ 21.8 Mpa ตามลำดับ สำหรับปูนซีเมนต์สำเร็จงานฉาบได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 14 และ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 11.0 12.55 และ 14.0 Mpa ตามลำดับ ซึ่งกำลังทั้งปูนก่อและปูนฉาบผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ต้องมากกว่า 2.5 Mpa ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงการพัฒนากำลังรับแรงที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการบ่มซึ่งสอดคล้องกับ [20] ได้กล่าวไว้ว่าระยะเวลาในการบ่มเกิดจากกลไกปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ โดยเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เป็นหลัก อนุภาคปูนซีเมนต์สัมผัสกับน้ำ ซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเรียกว่า ไฮเดรชัน ผลของปฏิกิริยาดังกล่าวจะก่อให้เกิดสารที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน คือ Calcium Silicate Hydrate (CSH), Calcium Aluminate Hydrate (CAH) และ Calcium Hydroxide, Ca(OH)_2 เป็นผลทำให้กำลังอัดที่ได้มีการพัฒนาไปตามระยะเวลาของการบ่ม และงานก่อให้ค่ากำลังอัดสูงกว่า เนื่องจาก w/c ต่ำกว่า ปูนฉาบอย่างไรก็ตามงานฉาบนิยมใช้ w/c ที่สูงกว่าเนื่องจากต้องการความสามารถทำงานได้ (Work Ability) ที่ดีกว่าปูนก่อ



รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์สำเร็จงานก่อและงานฉาบที่อายุการบ่ม 7 14 และ 28 วัน

4. ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของไม้ไผ่

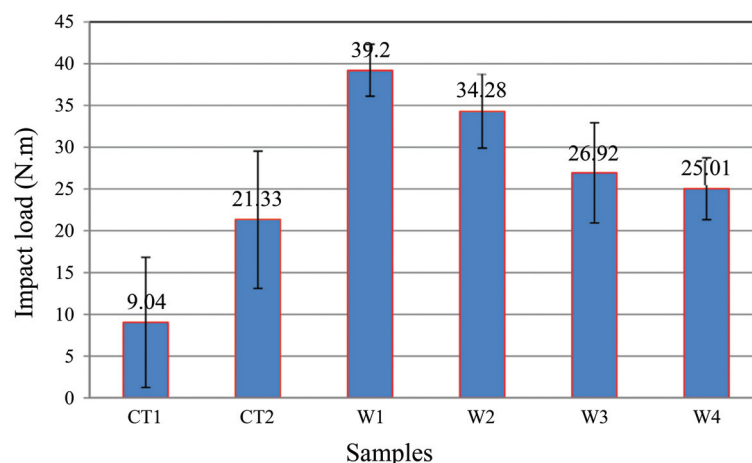
ผลกำลังรับแรงดึงของไม้ไผ่ชนิดไม้ไผ่ด้ามขวานได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5034-21 [17] โดยการทดสอบเตรียมโดยการดึงด้วยเครื่อง UTM จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยจำนวน 3 ตัวอย่างเท่ากับ 83.36 กิโลนิวตัน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.13 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ไผ่ด้ามขวานแบบแห้งมีค่าเท่ากับ 77.8 MPa ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ [21] ได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ไผ่ในช่วง 52.64 - 87.69 MPa

5. ผลการทดสอบผนังอิฐก่อภายใต้เพนดูลัมเทสหรือวิธีค้อนเหวี่ยง

ผลการทดสอบผนังอิฐก่อภายใต้เพนดูลัมเทสหรือวิธีค้อนเหวี่ยง ตามมาตรฐาน มอก. 2226-2548 [11] ทดสอบตัวอย่างที่อายุ 28 วัน จำนวนชุดละ 3 ตัวอย่าง ในการทดสอบตัวอย่างผนังอิฐก่อประกอบด้วย ผนังอิฐมอญแบบไม่ฉาบ (CT1) ผนังอิฐมอญแบบฉาบ (CT2) ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 50 มม. (W1) ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 100 มม. (W2) ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 150 มม. (W3) และผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 200 มม. (W4) จากผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4 และแสดงผลการเปรียบเทียบกำลังของผนังอิฐก่อดังรูปที่ 5

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบผนังอิฐก่อภายใต้แรงกระทำแบบค้อนเหวี่ยง

สัญลักษณ์แทน ตัวอย่างทดสอบ	ความสูงตกกระทบ (มิลลิเมตร)	มุมเหวี่ยง (องศา)	กำลังรับแรงกระแทก (นิวตัน-เมตร)
CT1	370.00	35.00	9.04
CT2	725.00	55.00	21.33
W1	1332.05	77.50	39.20
W2	1165.08	71.66	34.28
W3	915.05	62.50	26.92
W4	850.00	60.00	25.01



รูปที่ 5 กำลังรับแรงกระแทกของตัวอย่างผนังอิฐก่อที่อายุ 28 วัน

จากรูปที่ 5 แสดงกำลังรับแรงกระแทกของตัวอย่างผนังอิฐก่อที่อายุ 28 วัน พบว่าตัวอย่าง CT1 CT2 W1 W2 W3 และ W4 มีค่ากำลังรับแรงกระแทกเท่ากับ 9.04 21.33 39.2 34.28 26.92 และ 25.01 นิวตันเมตรตามลำดับ สำหรับตัวอย่างควบคุม CT2 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง CT1 แสดงให้เห็นว่าการฉาบปูนที่ผนังอิฐก่อทำให้กำลังรับแรงกระแทกสูงขึ้น 2.36 เท่า เป็นผลมาจากแรงยึดเหนี่ยวและความหนา

ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อกำลังรับแรงกระแทกของวัสดุประสานทำหน้าที่กระจายแรงเข้าหน้าตัดของตัววัสดุก่อ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [22] ได้กล่าวไว้ว่ามอร์ตาร์ปูนฉาบทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุก่อส่งผลทำให้ความสามารถของผนังอิฐก่อรับกำลังได้เพิ่มขึ้น

สำหรับการเปรียบเทียบตัวอย่างผนังอิฐก่อที่ทำการเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ตามระยะ 50 ถึง 200 มิลลิเมตร กับตัวอย่าง CT2 พบว่าผนัง W1 W2 W3 และ W4 ให้กำลังรับแรงกระแทกสูงขึ้น 1.83 1.61 1.26 และ 1.17 เท่า ตามลำดับ ตัวอย่าง W1 ให้ค่ากำลังสูงสุดแสดงให้เห็นว่าระยะของการเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ส่งผลกระทบท่อกำลังรับแรงกระแทกที่ลดลง กล่าวคือ ระยะที่กว้างขึ้นทำให้ผนังอิฐก่อลดลงอย่างมีนัยสำคัญซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [22] เป็นการเสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กฉีก ได้กล่าวไว้ว่าการเสริมกำลังที่มีช่องตาข่ายที่ใหญ่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดและแรงยึดเหนี่ยวที่ลดลง ผลกระทบดังกล่าวส่งผลกระทบท่อดังกล่าวโดยตรงของการเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์หรือที่เรียกว่า ผนังบาง ซึ่งต้องการแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์และวัสดุเชื่อมแรงยึดเหนี่ยวจำพวกวัสดุทอ เช่น ตะแกรงเหล็กฉีก ตะแกรงกรงไก่ เหล็กไวซ์เมช เป็นต้น และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของวัสดุเสริมคานไม้ไผ่กับวัสดุอื่น ซึ่งมีงานวิจัยในต่างประเทศ โดยการใช้วัสดุพวกไฟเบอร์ เช่น Fiber Reinforced Polymer (FRP) วัสดุเสริมกำลัง Cabon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) และวัสดุเสริมกำลัง Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) เมื่อเสริมกำลังผนังอิฐก่อให้แรงกระแทกเพิ่มขึ้น 2.0 ถึง 3.0 เท่า แสดงให้เห็นว่าการใช้ไม้ไผ่เสริมกำลังผนังอิฐก่อมีขีดความสามารถความสามารถไม่เท่ากับวัสดุไฟเบอร์เสริมกำลัง

6. รูปแบบการวิบัติของผนังอิฐก่อ

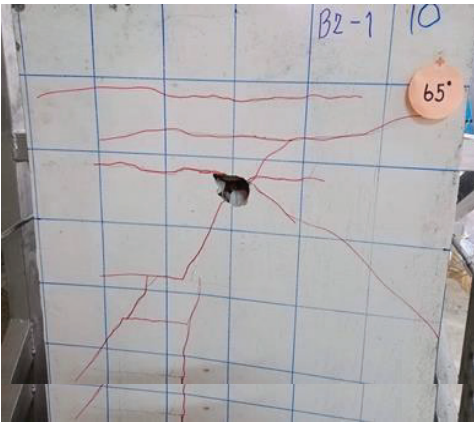
ผนังอิฐมอญแบบไม่ฉาบ CT1 เมื่อเริ่มทำการทดสอบที่ 5 องศา ไม่เกิดรอยร้าว และเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 องศา พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่จะเกิดรอยร้าวที่ 10 องศา ของการเหวี่ยงค้อนในการกระแทกรอยร้าวเกิดขึ้นที่จุดกระแทกและรอยร้าวจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงที่องศาเฉลี่ย 35 องศา ซึ่งขึ้นงานเกิดการวิบัติที่วัสดุก่อและระหว่างอิฐกับปูนก่อ โดยผนังแตกออกจากกัน เป็นลักษณะการวิบัติด้วยแรงกระแทกทำให้ตัวอย่างเกิดการแยกตัวของวัสดุก่อ

ผนังอิฐมอญแบบฉาบ CT2 และผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ W1 W2 W3 และ W4 เมื่อเริ่มทำการทดสอบที่ 5 องศา ไม่เกิดรอยร้าว และเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 องศา พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่จะเกิดรอยร้าวที่ 40 องศา ของการเหวี่ยงค้อนในการกระแทกรอยร้าวเกิดขึ้นที่จุดกระแทกและรอยร้าวจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงที่องศาเฉลี่ย 55.0 - 77.5 องศา ซึ่งขึ้นงานเกิดการวิบัติที่วัสดุก่อและระหว่างอิฐกับปูนก่อ โดยผนังแตกออกจากกัน เป็นลักษณะการวิบัติด้วยแรงกระแทกทำให้ตัวอย่างเกิดการทะลุเช่นเดียวกันกับตัวอย่าง CT1 ลักษณะการวิบัติดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รูปแบบการวิบัติของผนังอิฐก่อ

	
ผนังอิฐมอญแบบไม่ฉาบ (CT1)	ผนังอิฐมอญแบบฉาบ (CT2)

ตารางที่ 5 รูปแบบการวิบัติของผนังอิฐก่อ (ต่อ)

	
ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 50 มม. (W1)	ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 100 มม. (W2)
	
ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 150 มม. (W3)	ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 200 มม. (W4)

สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ภายใต้การทดสอบแบบค้อนเหวี่ยง ซึ่งตัวอย่างผนังอิฐก่อทั้ง 6 ตัวอย่าง ได้แก่ ผนังอิฐมอญแบบไม่ฉาบ (CT1) ผนังอิฐมอญแบบฉาบ (CT2) ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 50 มม. (W1) ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 100 มม. (W2) ผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 150 มม. (W3) และผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ระยะห่าง 200 มม. (W4) ได้ผลสรุปดังนี้

1. การฉาบและไม่ฉาบผนังอิฐก่อด้วยวัสดุประสานมีผลกระทบโดยตรงกับการรับแรงกระแทกของผนังอิฐก่อ โดยผนังอิฐก่อที่มีการฉาบปูนฉาบจะส่งผลโดยตรงต่อผนังอิฐก่อโดยเพิ่มกำลังและความแข็งแรงให้กับผนังอิฐก่อ

2. ผลการทดสอบเพนดูลัมเทสของผนังอิฐก่อสำหรับผนังอิฐก่อที่ทำการเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่ตามระยะ 50 ถึง 200 มิลลิเมตร เปรียบเทียบกับตัวอย่างผนังอิฐมอญแบบฉาบ (CT2) พบว่าผนัง W1 W2 W3 และ W4 ให้กำลังรับแรงกระแทกสูงขึ้น 1.83 1.61 1.26 และ 1.17 เท่า ตามลำดับ

3. ระยะการวางเสริมไม้ไผ่ส่งผลกระทบท่อกำลังรับแรงกระแทกที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยระยะวางยิ่งห่างมากเท่าไรกำลังรับแรงกระแทกก็จะลดลงตามไปด้วย เนื่องจากการเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์ไรโซเมนต์ซึ่งต้องการแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์และวัสดุเชื่อมแรงยึดเหนี่ยวจำพวกกาวสูกทอเพื่อสร้างชั้นผนังบางทำหน้าที่รับแรงกระแทก ดังนั้นวัสดุทอยังมีระยะที่ถี่มากเท่าไรก็ส่งผลต่อกำลังรับแรงได้ดีขึ้น

4. การวิบัติของผนังอิฐก่อที่ไม่มีการเสริมกำลังจะวิบัติแบบเลื่อนไถลในผนังอิฐก่อโดยจะเกิดการแตกหักของอิฐแยกออกจากมอร์ตาร์เมื่อได้รับแรงกระทำแบบคั่นเหวี่ยงเกิดความเสียหายที่ปูนฉาบและตัวของอิฐก่อ ส่วนการวิบัติของผนังอิฐก่อที่มีการเสริมกำลังด้วยไม้ไผ่จะวิบัติแบบการกระทำทำให้ตัวอย่างเกิดการทะลุ อย่างไรก็ตามตัวอย่างผนังอิฐก่อไม่เกิดการแยกตัวของผนังเหมือนตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการเสริมกำลัง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่อนุเคราะห์ให้ใช้พื้นที่ อุปกรณ์และห้องทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้

References

- [1] Meteorological Department. (2017). **Earthquake Report in Thailand and Adjacent Areas in June 2017 Seismological Bureau**. Access (23 July 2023). Available (<https://earthquake.tmd.go.th/report/file/seismo-report-1504512433.pdf>) (in Thai)
- [2] Albert, M. L., Elwi, A. E., and Cheng, J. J. R. (2001). Strengthening of Unreinforced Masonry Walls using FRPs. **Journal of Composite for Construction**. Vol. 5, No. 2, pp.76-84. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2001)5:2(76)
- [3] Ghobarah, A. and El Mandooh Galal, K. (2004). Out-of-Plane Strengthening of Unreinforced Masonry Walls with Openings. **Journal of Composites for Construction**. Vol. 8, No. 4, pp. 298-305. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2004)8:4(298)
- [4] Gilstrap, J. M. and Dolan, C. W. (1998), Out-of-plane Bending of FRP-Reinforced Masonry Walls. **Composites Science and Technology**. Vol. 58, No. 8, pp. 1277-1284. DOI:10.1016/S0266-3538(98)00007-4
- [5] Hamilton, H. R. and Dolan, C. W. (2001). Flexural Capacity of Glass FRP Strengthened Concrete Masonry Walls. **Journal of Composites for Construction**. Vol. 5, No. 3, pp.170-178. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2001)5:3(170)
- [6] Hamoush, S. A., McGinley, M. W., Mlakar, P., Scott, D., and Murray, K. (2001). Out-of-Plane Strengthening of Masonry Walls with Reinforced Composites. **Journal of Composites for Construction**. Vol. 5, No. 3, pp. 139-145. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2001)5:3(139)
- [7] Kiss, R. M., Kollar, L. P., Jai, J., and Krawinkler, H. (2002). Masonry Strengthened with FRP Subjected to Combined Bending and Compression, Part II: Test Results and Model Predictions. **Journal of Composite Materials**. Vol. 36, No. 9, pp. 1049-1063. DOI: 10.1177/0021998302036009475
- [8] Saileysh Sivaraja, S., Thandavamoorthyb, T. S., Vijayakumarc, S., Mosesaranganathana, S., Rathnasheelad, P. T., and Dasarathye, A. K. (2013). GFRP Strengthening and Applications of Unreinforced Masonry Wall (UMW). **Procedia Engineering**. Vol. 54, pp. 428-439. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.03.038
- [9] Kahn, L. F. (1984). Shotcrete Strengthening of Brick Masonry Walls. **Concrete International: Design and Construction**. Vol. 6, No. 7, pp. 34-39
- [10] Schmidt, M. E. and Cheng, L. (2009). Impact Response of Externally Strengthened Unreinforced Masonry Walls using CFRP. **Journal of composites for Construction**. Vol. 13, No. 4, pp. 252-261. DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000011

- [11] Standard of Precast Concrete Wall Panels. **Thai Industrial Standard Institute**. TISI 2226/2005.
- [12] James, E. (2000). **The Simple Pendulum**. Access (15 May 2023). Available (<http://www.phys.utk.edu/labs/simplependulum.pdf>)
- [13] Standard Portland Cement. **Thai Industrial Standard Institute**. TISI 15/2019.
- [14] Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone. **American Society for Testing and Materials**. ASTM C170-90.
- [15] Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms. **American Society for Testing and Materials**. ASTM C1314-07.
- [16] Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. **American Society for Testing and Materials**. ASTM C349-97.
- [17] Standard Test Method for Breaking Strength and Elongation of Textile Fabrics (Grab Test). **American Society for Testing and Materials**. ASTM D5034-21.
- [18] Standard of Structural Clay Nonloadbearing Screen Tiles. **Thai Industrial Standard Institute**. TISI 153/1997.
- [19] Leeanansaksiri, A. (2022). A Study of Compressive Strength on Masonry Infilled Walls under Pendulum Test. In **The 9th National and the 7th International Conference on Research and Innovation Development for the Next Normal Society: Transition from the New Normal**. pp. 503-514. (in Thai)
- [20] Lea, F. M. (2019). **The Chemistry of Cement and Concrete**. (5th ed). Butterworth-Heinemann
- [21] Ounjaijom, T., Maneeinta, N., and Punyacum, W. (2017). Mechanical Properties of Five Species Dried Bamboo. **Srinakharinwirot University Engineering Journal**. Vol. 12, No. 2, pp. 8-14 (in Thai)
- [22] Leeanansaksiri, A., Panyakapo, P., and Ruangrassamee, A.(2018). Seismic Capacity of Masonry Infilled RC Frame Strengthening with Expanded Metal Ferrocement. **Engineering Structures**. Vol. 159, pp. 110-127. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.12.034