

ส่วนที่ 2 เนื้อหาโครงการ

บทคัดย่อ

โบราณสถานในประเทศไทยเป็นสิ่งก่อสร้างที่มีอารยธรรมมาช้านาน ส่วนใหญ่จะใช้อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างหลักด้วยลักษณะของโครงสร้างเป็นผนังอิฐก่อและไม่ได้คำนึงถึงแรงสั่นสะเทือน การต้านทานแรงสั่นสะเทือนทางด้านข้างจึงไม่สามารถที่จะต้านทานได้ดีพอ ทำให้เกิดความชำรุดเสียหายได้ง่าย จึงเป็นที่มาในการทำวิจัยในครั้งนี้เพื่อการซ่อมแซมเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างโดยวัสดุแผ่นพลาสติกเสริมใยแก้ว (Glass Fiber Reinforced Polymer:GFRP)

ผนังอิฐก่อโบราณใช้ทดสอบมีจำนวน 4 ผนัง ขนาดกว้าง 1.50 ม. สูง 1.50 ม.หนา 0.60 ม. แบ่งออกเป็นผนังที่ไม่เสริมวัสดุ GFRPจำนวน 1 ผนัง ผนังที่เสริมวัสดุ GFRP 2 ผนัง และผนังที่ซ่อมแซมเสริมด้วยวัสดุ GFRP จำนวน 1 ผนังโดยให้แรงกระทำด้านข้างแบบซ้ำไปซ้ำมา จนกว่าผนังไม่สามารถรับแรงกระทำได้อีกพร้อมตรวจสอบขนาดความกว้างและความยาวของรอยร้าวที่เกิดขึ้น

การศึกษาผนังอิฐก่อโบราณผนังที่ไม่เสริมวัสดุ GFRP สามารถรับแรงกระทำด้านข้างได้สูงสุด 12.31 กิโลนิวตัน ผนังที่เสริมวัสดุ GFRP สามารถรับแรงกระทำด้านข้างได้สูงสุด 26 กิโลนิวตัน ผนังที่ซ่อมแซมเสริมด้วยวัสดุ GFRP สามารถรับแรงกระทำด้านข้างได้สูงสุด 24.02 กิโลนิวตัน จะเห็นได้ว่าผนังที่เสริมด้วยวัสดุ GFRP สามารถรับแรงกระทำด้านข้างได้มากกว่าผนังที่ไม่เสริมด้วยวัสดุ GFRP จึงเป็นแนวทางในการซ่อมแซมผนังก่ออิฐโบราณต่อไป

คำสำคัญ ผนังก่ออิฐโบราณ , วัสดุเสริมแรง Fiber-Reinforced Polymer (FRP), แรงกระทำทางด้านข้างแบบวัฏจักร (Cyclic Lateral Loading)

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จาก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ ทดสอบต่างๆ รวมทั้งบริษัทอิตาเลียนไทยที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบขนาดใหญ่และ งบประมาณประจำปี 2555 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ใช้สำหรับเป็นค่าใช้จ่าย ในการดำเนินงานวิจัยในโครงการ โดยตลอดจนโครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆอย่างมากมายหลายด้าน ทำให้คณะผู้จัดทำสามารถนำ ความรู้เหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป โดยขอยกส่วนดีของโครงการนี้ทั้งหมด ให้แก่ผู้ที่มีพระคุณทุกท่านที่ช่วยส่งเสริมให้งานวิจัยนี้ สำเร็จขึ้นมาได้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ความหมายของวัสดุก่อ	7
2.2 ขนาดและคุณลักษณะของอิฐก่อ	7
2.3 ส่วนผสมและวิธีทำอิฐก่อ	12
2.4 คุณสมบัติของมอร์ต้า	14
2.5 รอยต่อของผนังอิฐก่อ	15
2.6 การวางอิฐและรูปแบบการเรียงอิฐ	15
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการรับแรงอัดของวัสดุก่อ	16
2.8 อิฐที่ใช้ในการก่อสร้างและบูรณะโบราณสถาน	17
2.9 มอร์ต้าที่ใช้ในการก่อสร้างและบูรณะโบราณสถาน	21
2.10 การเสื่อมสภาพของมอร์ต้า	22
2.11 วัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย (Fiber-Reinforced Polymer Composite หรือ FRP Composite)	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.12 ชนิดของเส้นใย (Fiber Reinforcement Type)	23
2.13 เรซิน (Resin)	26
2.14 การออกแบบและข้อกำหนดรายละเอียด FRP	29
2.15 ข้อควรระวังในการออกแบบติดตั้ง Fiber-Reinforced Polymer (FRP)	29
2.16 พฤติกรรมของผนังอิฐก่อ (Masonry Wall) รับแรงกระทำด้านข้างแบบซ้ำไปซ้ำมา	31
2.17 การทดสอบผนังอิฐก่อ (Masonry Wall) รับแรงกระทำด้านข้างแบบซ้ำไปซ้ำมา	32
2.18 การตรวจสอบความกว้างของรอยร้าว	37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	40
3.1 แผนการดำเนินงาน	40
3.2 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Property) ของอิฐโบราณตัวอย่าง	41
3.3 ทดสอบคุณสมบัติทางกล (Mechanical Property) ของอิฐโบราณตัวอย่าง	46
3.4 การเตรียมผนังอิฐก่อโบราณทดสอบ	50
3.5 การดำเนินการทดสอบผนังอิฐก่อโบราณ	54
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์	56
4.1 ผลการทดลองกายภาพของอิฐ	56
4.2 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐ	57
4.3 ผลการทดสอบทางกลของอิฐ และ มอร์ต้า	59
4.4 ผลการทดสอบของผนังอิฐก่อแบบโบราณ	60
4.5 การวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง	68
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	72
5.1 สรุปผลงานวิจัย	72
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม	74
ภาคผนวก	
ก. ผลการทดลองของผนังทั้ง 3 ผนัง โดยแบ่งเป็น 4 ชุดข้อมูล	76
ข. ภาพบรรยายประกอบขั้นตอนการทำวิจัย	84

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขนาดความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้และขีดจำกัดในการทดสอบ	8
2.2 แรงอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	9
2.3 กำลังอัดของวัสดุก่อคืดเนื้อที่รวมสำหรับวัสดุก่อชนิดก้อนตัน	10
2.4 หน่วยแรงเฉือนและหน่วยแรงดึงที่เกิดจากการตัดสำหรับงานวัสดุก่อคอนกรีต ไม่เสริมเหล็ก	11
2.5 ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่างอิฐโบราณ	18
2.6 สรุปค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของอิฐโบราณจากการทดสอบ	19
2.7 คุณสมบัติของอิฐโบราณแยกตามกลุ่มอายุ	20
2.8 สภาพความเสียหายของอาคารจำแนกตามความกว้างของรอยร้าวของผนังอิฐก่อ	37
2.9 ความกว้างของรอยร้าวที่ยอมให้ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	38
3.1 แผนการดำเนินงานของโครงการ	41
3.2 ข้อมูลทางด้านเทคนิคของ GFRP	49
3.3 สรุปชนิดของผนังที่ใช้ทดสอบ	50
4.1 การวัดขนาดและน้ำหนักอิฐจากการสุ่มตัวอย่างจากแหล่งบ้านลุมพลี จำนวน 10 ตัวอย่าง	56
4.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Absorption Test)	58
4.3 การทดสอบการต้มเดือด (Boiling Test)	58
4.4 การทดสอบการรับกำลังอัดของอิฐทดแทน	59
4.5 การทดสอบการรับกำลังอัดของผนังทั้ง 4 ตัวอย่าง	60

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รอยต่อของผนังก่ออิฐ	15
2.2 แบบการวางอิฐก่อ	16
2.3 รูปแบบการเรียงอิฐก่อ	16
2.4 ลักษณะเส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber), เส้นใยเคฟลาร์ (Kevlar fiber), เส้นใยแก้ว (Glass fiber)	24
2.5 Stress-Strain เส้นใย (Fiber Reinforcement)	24
2.6 ลักษณะ Fiber Sheet	25
2.7 ลักษณะ Laminate	25
2.8 ลักษณะ Rod & Grid	25
2.9 ลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยแบบ Unidirectional (0°), Bidirectional ($0^{\circ}+90^{\circ}$), Bidirectional (45°)	25
2.11 การติดตั้ง Fiber-Reinforced Polymer (FRP) อย่างมีประสิทธิภาพ	28
2.12 การติดตั้งโดยเส้นใย (Fiber Reinforcement) อยู่ด้านล่าง เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการเสริมกำลังลดลง	28
2.13 ฟองอากาศในเรซิน เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการเสริมกำลังลดลง	28
2.14 ลักษณะการ Debonding บริเวณมุมงอด้านใน	30
2.15 ก. Shear Sliding failure, ข. Diagonal tension shear failure	31
2.16 ก. bond-tensile failure, ข. shear failure in the bed joint (bond shear failure), ค. tension failure of the bricks, ง. compression failure of masonry	32
2.17 การเสียรูปเนื่องจากแรงกระทำด้านข้างของผนังอิฐก่อทดสอบ	33
2.18 ลักษณะผนังอิฐก่อในการทดสอบแบบต่างๆ	34
2.19 ลักษณะผนังอิฐก่อทดสอบวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน	35
2.20 ก. ลักษณะการทดสอบผนังอิฐก่อรับแรงด้านข้าง โดย Simms, ข. ลักษณะการทดสอบผนังอิฐก่อรับแรงด้านข้าง โดย Murthy	35
2.21 ลักษณะการเสริมเหล็กเส้นกลม (rebar, rods) ในแนวตั้ง เพื่อป้องกันการหมุนของผนังอิฐก่อทดสอบ โดย Monk	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 ทดสอบผนังอิฐก่อ ด้วยการเสริมกรอบ (frame) โดยรอบผนังอิฐก่อ	
ทดสอบโดย Benjamin ,Williams และ Wood	36
3.1 ตัวอย่างของอิฐที่ใช้ในการทดสอบ	42
3.2 การวัดขนาดของอิฐที่ใช้ในการทดสอบ	42
3.3 การทดสอบการหาน้ำหนักโดยการอบแห้ง	43
3.4 การทดสอบการหาน้ำหนักหลังจากการอบแห้ง	44
3.5 การทดสอบการดูดซึมน้ำโดยการแช่น้ำ	45
3.6 การทดสอบการดูดซึมน้ำโดยการต้มเดือดแบบ 2 ชั่วโมง	46
3.7 การทดสอบการรับแรงกดอัด	47
3.8 ผนังที่ AMW01 และ AMW01_FRP.A	50
3.9 ผนังที่ AMW04_FRP.D	51
3.10 ผนังที่ AMW05_FRP.E	51
3.11 ผนังตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	52
3.12 การติดตั้งผนังอิฐก่อ โบราณสำหรับการทดสอบ Test setup	54
3.13 Loading sequence for static cyclic loading	55
4.1 รอยร้าวที่เกิดขึ้นภายหลังการทดสอบของผนัง AMW 01	61
4.2 รอยร้าวที่เกิดขึ้นภายหลังการทดสอบของผนัง AMW 01_FRP.A	63
4.3 รอยร้าวที่เกิดขึ้นภายหลังการทดสอบของผนัง AMW 05_PR.P.E	65
4.4 รอยร้าวที่เกิดขึ้นภายหลังการทดสอบของผนัง AMW 04_PR.P.D	67
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของผนังก่ออิฐ โบราณกับการรับแรงกระทำแบบซ้ำไปซ้ำมาของผนัง AMW 01	68
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของผนังก่ออิฐ โบราณกับการรับแรงกระทำแบบซ้ำไปซ้ำมาของผนัง AMW 01_FRP.A	69
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของผนังก่ออิฐ โบราณกับการรับแรงกระทำแบบซ้ำไปซ้ำมา AMW 05_FRP.E	70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของผนังท่ออิฐโบราณกับการรับแรงกระทำ แบบซ้ำไปซ้ำมา AMW 04_FRP.D	71
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของผนังท่ออิฐโบราณกับการรับแรงกระทำ แบบซ้ำไปซ้ำมา	71