

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 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 อีฐที่ใช้ในการก่อสร้างและบูรณะโบราณสถาน	5
2.3 วัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย (Fiber-Reinforced Polymer Composite หรือ FRP Composite)	13
2.4 การติดตั้ง Fiber-Reinforced Polymer (FRP)	17
2.5 สภาพอากาศประเทศไทยที่มีผลกระทบต่ออีฐโบราณ	23
2.6 การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing)	27
2.7 แรงเฉือน	29
2.8 พฤติกรรมของผนังก่อรับแรงกระทำด้านข้างแบบซ้ำไปซ้ำมา	29
2.9 การทดสอบผนังอีฐก่อรับแรงกระทำด้านข้างแบบซ้ำไปซ้ำมา	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	32
3.1 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Property) ของอีฐโบราณ ตัวอย่าง	32
3.2 ออกแบบเครื่องทดสอบแรงดึง	35
3.3 ไฟเบอร์กลาส (GFRP)	36
3.4 เรซิน (Epoxy Resin)	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ทดสอบคุณสมบัติทางกล(Mechanical Property) ของอิฐโบราณตัวอย่าง	39
3.6 ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกำลังของผนังก่ออิฐโบราณในสถานะ ธรรมชาติ	43
3.7 การดำเนินการทดสอบผนังอิฐก่อโบราณ	45
3.8 การดำเนินการวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ	47
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	48
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ	48
4.2 กรณีการวิบัติของชิ้นงาน	49
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล	52
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบกับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น	54
4.5 การวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลองกำลังรับแรงของผนังก่ออิฐโบราณ ในสถานะธรรมชาติ	56
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุป	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก ก	62
รูปแสดงเครื่องมืออุปกรณ์และการทดสอบ	63
ภาคผนวก ข	73
ผลการทดสอบกำลังรับแรงของอิฐก่อโบราณเสริมไฟเบอร์กลาส	74

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่างอิฐโบราณ	6
2.2	สรุปค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของอิฐโบราณจากการทดสอบ	8
2.3	คุณสมบัติของอิฐโบราณแยกตามกลุ่มอายุ	8
2.4	กำลังอัดของวัสดุก่อ	10
3.1	การพิจารณาทางเทคนิค ของ GFRP*	36
3.2	ข้อมูลของอีพอกซีเรซิน	38
3.3	รายละเอียดจำนวน อายุ ตัวอย่างแต่ละชนิด	41
4.1	ผลการทดสอบการวัดขนาดและน้ำหนักของอิฐตัวอย่างโบราณ	49
4.2	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของอิฐก่อโบราณ	52
4.3	ผลการทดสอบ % Decay	53

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยแบบ Unidirectional (0°), Bidirectional ($0^{\circ}+90^{\circ}$), Bidirectional (45°)	14
2.2	เรซินแบบงานหล่อทั่วไป	18
2.3	เรซินแบบงานหล่อใส	18
2.4	การติดตั้ง Fiber-Reinforced Polymer (FRP) อย่างมีประสิทธิภาพ	21
2.5	การติดตั้งโดยเส้นใย (Fiber Reinforcement) อยู่ด้านล่างเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการเสริมกำลังลดลง	21
2.6	ฟองอากาศในเรซิน เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการเสริมกำลังลดลง	22
2.7	การเสียรูปเนื่องจากแรงกระทำด้านข้างของผนังอิฐก่อทดสอบ	30
2.8	ลักษณะผนังอิฐก่อในการทดสอบแบบต่างๆ	30
3.1	การทดสอบการวัดขนาด	32
3.2	ลักษณะของก้อนตัวอย่าง	33
3.3	การทดสอบการวัดความบิดเบี้ยว	34
3.4	การทดสอบการหาน้ำหนัก	35
3.5	รูปเครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ระบบ (Hydraulic Jack) ที่พร้อมทำการทดสอบ	36
3.6	แผ่นไฟเบอร์กลาส (GFRP)	37
3.7	เรซินและตัวเร่งปฏิกิริยาแข็งเร็ว	39
3.8	รูปลักษณะอิฐตัวอย่างจะอยู่ในสภาพแห้ง	41
3.9	รูปลักษณะอิฐตัวอย่างจะอยู่ในสภาพเปียก	41
3.10	รูปลักษณะอิฐตัวอย่างจะอยู่ในสภาพเปียกสลับแห้ง โดยการสลับนี้จะสลับทุก 12 ชั่วโมง	42
3.11	แสดงการเตรียมผนังก่ออิฐโบราณเพื่อใช้ในการทดสอบ	43
3.12	แสดงการเตรียมผนังก่ออิฐโบราณเพื่อใช้ในการทดสอบเสริมด้วย GFRP	44
3.13	แสดงการนำผนังก่ออิฐโบราณทั้งหมดไปทำการแช่ในน้ำ	44
3.14	Loading sequence for static cyclic loading	47
4.1	การวิบัติโดยการหลุดออกของGFRPกับอิฐ	49
4.2	การวิบัติแบบGFRPหลุดออกจากอิฐและเกิดการขาดของGFRPด้วย	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	การวิบัติโดยการขาดของGFRPหลายจุดหลายรอยขาด	50
4.4	การวิบัติโดยการขาดตรงส่วนปลายของอิฐที่ติดเรซิน	51
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบกับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น	55
ก1	อิฐตัวอย่างเต็มก้อน	63
ก2	ไฟเบอร์กลาส (FRP)	63
ก3	เรซินและตัวเร่งปฏิกิริยาให้แข็งเร็ว	64
ก4	เครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ระบบ (Hydraulic Jack)	64
ก5	เครื่อง Hydraulic Jack	65
ก6	ลักษณะเกรงวัดของเครื่อง Hydraulic Jack	65
ก7	โครงเหล็กเชื่อม	66
ก8	โครงเหล็กเชื่อม	66
ก9	ลักษณะของเครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ระบบ Hydraulic เมื่อมาประกอบกับ โครงเหล็ก	67
ก10	ขั้นตอนการผสมเรซิน	67
ก11	ขั้นตอนการทาเรซิน	68
ก12	ลักษณะของอิฐตัวอย่างที่ทาเรซินเสร็จแล้วใช้วัสดุเสริมแรง ไฟเบอร์กลาส (FRP) ด้านข้าง 1 ด้านแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง	68
ก13	นำอิฐตัวอย่างขึ้นเครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ระบบ Hydraulic แล้วทำการดึง อิฐตัวอย่าง	69
ก14	ลักษณะการขาดของอิฐตัวอย่างหลังทำการดึงโดยเครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ ระบบ Hydraulic ที่มองจากด้านบน	69
ก15	ลักษณะการขาดของอิฐตัวอย่างหลังทำการดึงโดยเครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ ระบบ Hydraulic ที่มองจากด้านข้าง	70
ก16	แสดงการทำการแช่ผนังอิฐก่อบนบ่อน้ำที่จัดเตรียมไว้โดยเฉพาะ ขนาดผนังอิฐสูง 0.4 เมตร กว้าง 0.20 เมตร ยาว 0.20 เมตร จำนวน 40 ผนัง	70
ก17	แสดงการขนย้ายตัวอย่างของผนังอิฐก่อบนบ่อน้ำไปตากแห้ง	71

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก18	แสดงการตากแห้งผนังอิฐก่อก่อนนำไปทดสอบด้านกำลัง	71
ก19	แสดงลักษณะของการติดตั้ง Load Cell ขณะยึดโครงเหล็กกับผนังโบราณ	72
ก20	แสดง Struts ที่ใช้ต่อเชื่อมอุปกรณ์และถ่ายแรง	72