บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

ในการศึกษาวิจัยนี้จะดำเนินการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกลของอิฐโบราณและผนังก่ออิฐโบราณ ตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบและวัสดุอเมริกัน (American Society for Testing and Materials) : ASTM C67

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

4.1.1 การวัดขนาดและการทดสอบหาน้ำหนักของอิฐตัวอย่าง

จากการทดสอบหาขนาดของอิฐตัวอย่าง พบว่า อิฐโบราณซึ่งได้มาจากโรงงานแห่งเดียวกันทั้งหมด แต่ล่ะก้อนมีขนาดที่ใกล้เคียงกันมาก จากตัวอย่างอิฐจำนวน 10 ตัวอย่าง มีขนาดเฉลี่ยความยาว 29.16 เซนติเมตร ความกว้าง 14.74 เซนติเมตร ความหนา 4.62 เซนติเมตรเป็นผลมาจากการเผาอิฐในอุณหภูมิเท่ากันจะทำให้อิฐหดตัวใกล้เคียงกัน

จากการทดสอบอิฐจำนวน 10 ตัวอย่าง ได้เฉลี่ยค่าน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ 0.0067 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ของอิฐแต่ละก้อนมีขนาดใกล้เคียงกัน แล้วทำการอบที่อุณหภูมิเดียวกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ได้ค่าน้ำหนักแห้งของอิฐตัวอย่างใกล้เคียงกัน ดูได้จากตารางผนวกที่ ข2 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักของอิฐตัวอย่างโดยการอบแห้ง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการวัดขนาดและน้ำหนักของอิฐตัวอย่างโบราณ

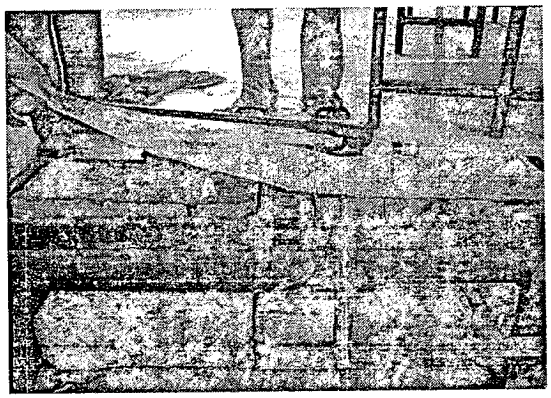
อิฐ	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ความเว้า (cm)	น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ kg/ cm^2
1	29.18	14.65	4.58	0.5	0.0068
2	28.90	14.70	4.68	0.2	0.0071
3	28.90	14.73	4.58	0.4	0.0066
4	29.23	14.78	4.80	0.6	0.0073
5	29.20	14.85	4.73	0.4	0.0068

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการวัดขนาดและน้ำหนักของอิฐตัวโบราณ (ต่อ)

อิฐ	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ความเว้า (cm)	น้ำหนักต่อหน่อยพื้นที่ kg/ cm^2
6	29.08	14.75	4.58	0.5	0.0065
7	29.45	14.80	4.20	0.4	0.0059
8	29.45	14.73	4.65	0.3	0.0072
9	29.15	14.58	4.68	0.4	0.0067
10	29.48	14.85	4.75	0.4	0.0067
เฉลี่ย	29.16	14.74	4.62	0.41	0.0067

4.2 กรณีการวิบัติของชิ้นงาน

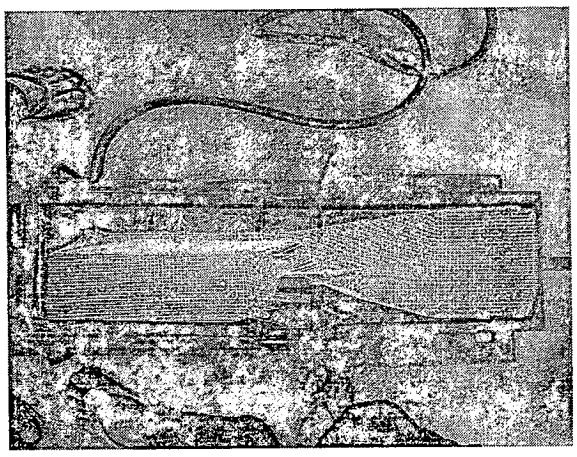
4.2.1 การวิบัติโดยการหลุดออกของGFRPกับอิฐ



รูปที่ 4.1 การวิบัติโดยการหลุดออกของGFRPกับอิฐ

การวิบัติกรณีนี้เป็นการวิบัติแบบเกิดแรงเฉือนทำให้ GFRP หลุดจากอิฐที่ติดไว้ด้วยเรซิ่น สำหรับการวิบัติในกรณีนี้ GFRP ต้องมีความสามารถในการรับแรงดึงที่มาก ในการดึงจึงทำให้วัสดุหลุดก่อนที่วัสดุจะขาด

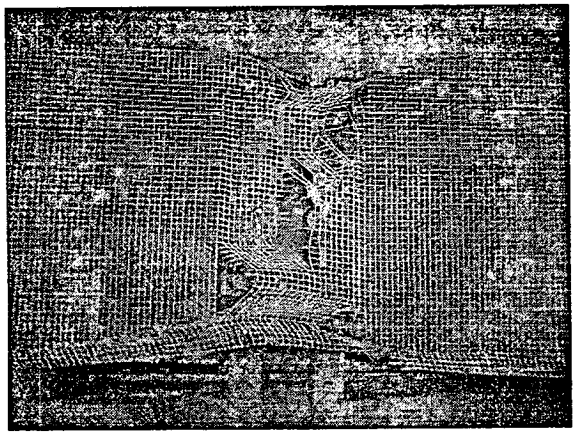
4.2.2 การวิบัติแบบ GFRP หลุดออกจากอิฐ และเกิดการขาดของ GFRP ด้วย



รูปที่ 4.2 การวิบัติแบบGFRPหลุดออกจากอิฐและเกิดการขาดของGFRPด้วย

การวิบัติในกรณีนี้จะเกิดการหลุดของ GFRP ที่ติดไว้กับอิฐด้วยเรซิ่นยังไม่หมดแต่จะเกิดการฉีกขาดของ GFRP ด้วย แสดงว่าความสามารถในการรับแรงในพื้นที่ที่ติดไว้กับความสามารถในการรับแรงของ GFRP มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อรับแรงในเท่ากันทั้งสองอย่างก็จะวิบัติพร้อมกัน

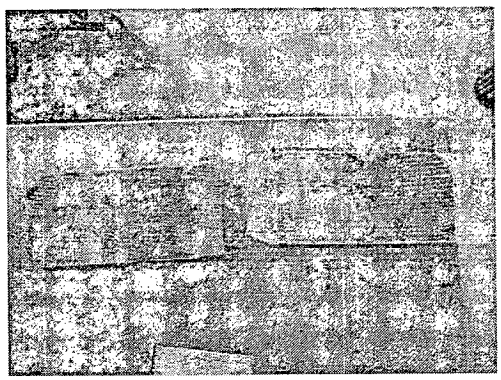
4.2.3 การวิบัติโดยการขาดของGFRPหลายจุดหลายรอยขาด



รูปที่ 4.3 การวิบัติโดยการขาดของGFRPหลายจุดหลายรอยขาด

การวิบัติในกรณีนี้จะเกิดการขาดของ GFRP หลายจุดด้วยกันบนพื้นที่ที่รับแรงมาก โดยที่บริเวณที่ติด GFRP กับอิฐด้วยเรซิ่น มีความสามารถที่สูงพอที่จะรับแรงที่เกิดขึ้นได้ แต่อาจเป็นเพราะทาเรซิ่นได้ไม่ดีพอหรือไม่ได้ทาเรซิ่นบริเวณที่เว้นระยะห่างไว้ระหว่างอิฐโบราณจึงเกิดการวิบัติในรูปแบบนี้

4.2.4 การวิบัติโดยการขาดตรงส่วนปลายของอิฐที่ติดเรซิ่น



รูปที่ 4.4 การวิบัติโดยการขาดตรงส่วนปลายของอิฐที่ติดเรซิ่น

การวิบัติกรณีนี้ เกิดจากการบริเวณรอยต่อมีผลกระทบจากแรงเฉือนมากกว่าบริเวณอื่น และเนื่องจากเป็นบริเวณรอยต่อ ที่ปกติแล้วจะขาดเมื่อรับแรงเข้าไปบริเวณนี้ และเกิดการขาดก่อนบริเวณอื่น ซึ่งบริเวณที่ติด GFRP กับอิฐโบราณก็รับแรงได้มากกว่า ส่วนนี้จึงมีผลกระทบมาก

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล

ผลการทดสอบกำลังกำลังรับแรงดึง

ค่าแรงดึงที่ได้จากการทดสอบสามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณในสมการที่ 3.1 เพื่อหาค่าแรงเฉือนของอิฐก่อโบราณเสริมด้วย GFRP ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของอิฐก่อโบราณ

Cycle	Dry		Wet		Wet-Dry	
	No.	Shear; τ (ksc)	No.	Shear; τ (ksc)	No.	Shear; τ (ksc)
0	1	0.3900	1	0.3900	1	0.3900
	2	0.3900	2	0.3900	2	0.3900
	3	0.4450	3	0.3900	3	0.4450
	Mean	0.4083	Mean	0.3900	Mean	0.4083
7	1	0.3600	1	0.3325	1	0.3325
	2	0.4175	2	0.3900	2	0.2775
	3	0.4450	3	0.2775	3	0.3600
	Mean	0.4075	Mean	0.3333	Mean	0.3233
21	1	-	1	0.3325	1	0.3325
	2	0.4175	2	0.3050	2	0.2775
	3	0.3900	3	0.3325	3	-
	Mean	0.4038	Mean	0.3233	Mean	0.3050

การทดลองโดยนำอิฐก่อโบราณเสริมด้วยไฟเบอร์กลาสแล้วทิ้งไว้ 3 สถานะ คือ สภาวะแห้ง สภาวะเปียก และสภาวะเปียกสลับแห้ง ในช่วง 7 วัน (0 Cycle) หลังจากติดไฟเบอร์กลาส (GFRP) ค่าที่ได้จากการทดสอบ สภาวะแห้ง และสภาวะเปียกสลับแห้ง มีค่าเฉลี่ยที่เท่ากันคือ 0.4083 ksc ส่วนในสภาวะเปียกนั้นค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.3900 แล้วเมื่อดูในช่วง 14 วัน (7 Cycle) พบว่าค่าแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบในสภาวะแห้ง มีค่ามากกว่าสภาวะเปียก และสภาวะ

เปียกสลับแห้ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.4075 ksc ,0.3333 ksc และ 0.3233 ksc ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในสภาวะแห้งสามารถรับแรงเฉือนได้ดีกว่าสภาวะเปียกและเปียกสลับแห้ง และเมื่อดูในช่วง 28 วัน (21 Cycle) พบว่าอิฐบ่มในสภาวะแห้งมีค่าแรงเฉือนมากกว่าสภาวะเปียกและเปียกสลับแห้ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.4038 ksc , 0.3233 ksc และ 0.3050 ksc ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในสภาวะแห้งสามารถรับแรงเฉือนได้ดีกว่าสภาวะเปียกและสภาวะเปียกสลับแห้ง วิเคราะห์ได้ว่าเส้นใยสามารถคงสภาพได้นานในกรณีที่ไม่โดนน้ำ ส่วนเส้นใยเปียกอาจเกิดจากการยุ่ย เพราะการซึมของน้ำเข้าในเส้นใยจึงทำให้ขาดได้ง่ายกว่าเดิมเกิดกำลังรับแรงที่น้อยลง และเส้นใยเปียกสลับแห้งเมื่อโดนน้ำสลับกับแสงแดด และความร้อนจากแสงแดด ทำให้เกิดการเปราะสามารถขาดได้ง่ายและรับแรงเฉือนได้น้อยลงกว่าเดิมเช่นเดียวกัน ดังนั้นในการใช้อิฐก่อโบราณเสริมด้วยไฟเบอร์กลาส จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในสภาวะที่เกิดน้ำขัง และไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในสภาวะที่เกิดน้ำขังสลับกับแสงแดดบ่อยๆ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบ % Decay

Conditioning type	% Decay		
	0 Cycle	7 Cycle	21 Cycle
	%	%	%
Dry	0	0.20	1.10
Wet	0	14.54	17.10
Wet - Dry	0	20.82	25.30

จากตารางผลการทดสอบ % Decay เห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 7 Cycle (14 วัน) ความสามารถในการรับแรงเฉือนของไฟเบอร์กลาสเสริมอิฐก่อโบราณในสภาวะแห้ง มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในสภาวะเปียกมีค่า % Decay ร้อยละ 14.54 ซึ่งถือว่าไฟเบอร์กลาสเสริมอิฐก่อโบราณมีการรับแรงเฉือนที่น้อยลง ส่วนไฟเบอร์กลาสเสริมอิฐโบราณในสภาวะเปียกสลับแห้งมีค่า % Decay ลดลง ร้อยละ 20.82 มีค่า % Decay ลดลง และเมื่อผ่านไป 21 Cycle (28 วัน)

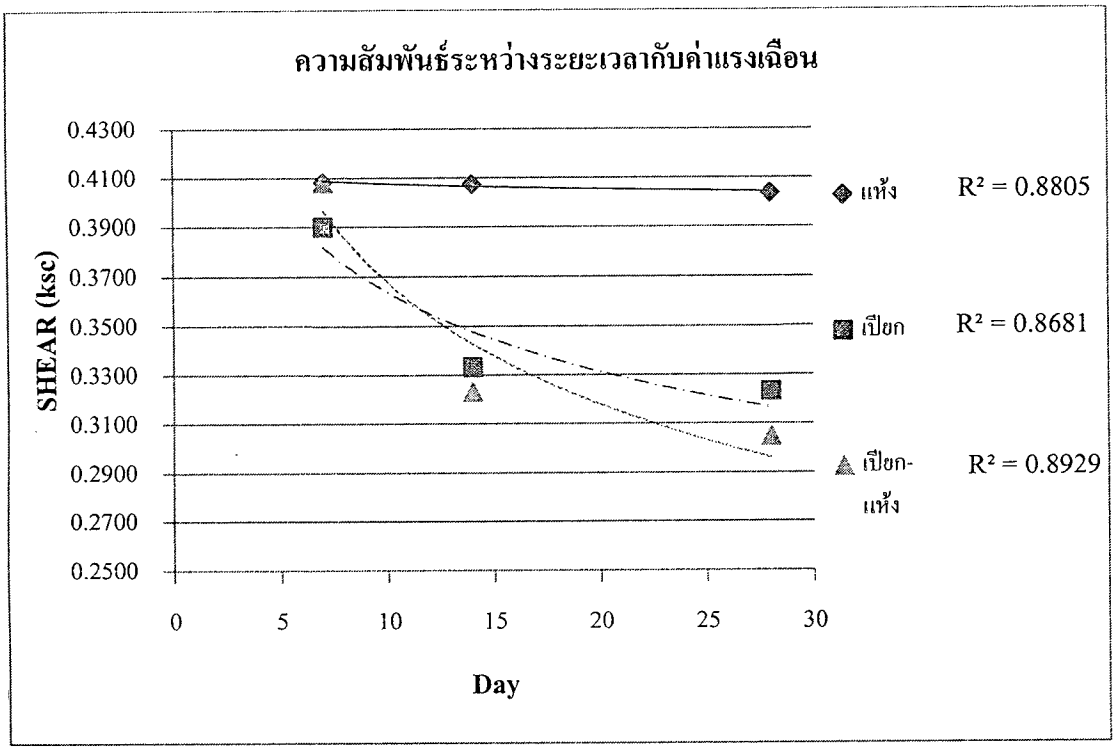
ความสามารถในการรับแรงเฉือนของไฟเบอร์กลาสเสริมอิฐก่อโบราณในสภาวะแห้งลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีค่า %Decay ร้อยละ 1.10 แสดงให้เห็นว่าไฟเบอร์กลาสเสริมอิฐก่อโบราณมีประสิทธิภาพในการรับแรงเฉือนได้ค่อนข้างน้อยลง ส่วนในไฟเบอร์กลาสเสริมอิฐก่อโบราณสภาวะเปียก % Decay ลดลง ร้อยละ 17.10 ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพในการรับแรงเฉือนได้ไม่ดี และไฟเบอร์กลาสเสริมอิฐก่อโบราณในสภาวะเปียกสลับแห้ง %Decay ลดลง ร้อยละ 25.30 ซึ่งค่าที่ลดลงนั้นบ่งบอกว่าอิฐก่อโบราณเสริมไฟเบอร์กลาสเมื่ออยู่ในสภาวะที่โดนน้ำ และ แสงแดดสลับกันไปอยู่บ่อยๆ ประสิทธิภาพในการรับแรงเฉือนก็จะด้อยลงมาก

แสดงว่าเมื่อชิ้นตัวอย่างผ่านไปในระยะเวลาหนึ่งทำให้ความสามารถในการรับแรงลดลง ซึ่งในสภาพเปียกสลับแห้ง มีประสิทธิ์ภาพในการรับแรงเฉือนที่น้อยลง และรับแรงเฉือนน้อยที่สุด รองลงมาก็ในสภาวะเปียกและสภาวะแห้งตามลำดับ ซึ่งในสภาพเปียกที่มีประสิทธิภาพในการรับแรงเฉือนน้อย ก็อาจเป็นเพราะต้องอยู่ในสภาพเปียกตลอดเวลาเป็นเวลานานจึงทำให้ไฟเบอร์กลาสเกิดการเปื่อยหลุดลุ่ย เรซิ่นซึ่งเป็นตัวประสานอยู่ในน้ำตลอดเวลา ส่งผลทำให้กำลังในการประสานระหว่าง GFRP กับอิฐก่อโบราณลดน้อยลง เมื่อนำมาทดสอบจึงหลุดและขาดง่าย และในสภาพเปียกสลับแห้งซึ่งมีประสิทธิ์ภาพในการรับแรงเฉือนที่น้อยที่สุด โดยการแช่น้ำแล้วสลับมาตากแดดทำให้ไฟเบอร์กลาสเกิดการหลุดลุ่ยเพราะแช่น้ำ และ กรอบเพราะโดนแสงแดดจึงทำให้อิฐก่อโบราณ ผุพังได้ง่าย ส่วนสภาพแห้งเมื่อวางทิ้งไว้เฉยๆ พบว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบกับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

สำหรับค่า R^2 คือ ความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์

R^2 = 0-0.2	ไม่ดีความน่าเชื่อถือน้อย
R^2 = 0.2-0.5	ความน่าเชื่อถือในระดับปานกลาง
R^2 = 0.5-0.8	อยู่ในระดับความน่าเชื่อถือที่ดี
R^2 = 0.8-1	ความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีมาก



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบกับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

จากกราฟการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบการจำลองสภาวะธรรมชาติที่จะกระทบกับชิ้นงานที่ต้องการทดสอบกับค่าแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้น และ ทำให้ชิ้นงานเกิดการวิบัติ จะเห็นได้ว่าการทดสอบครั้งแรกวัสดุทั้ง 3 สภาวะคือ สภาวะเปียก สภาวะแห้ง และสภาวะเปียกสลับแห้ง จะเริ่มต้นด้วยการทดสอบวัสดุเริ่มตัวเดียวกันซึ่งค่าที่ได้โดยเฉลี่ย เท่ากับ 0.4083 ksc และเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน (7 Cycle) การจำลองสภาวะวัสดุแห้ง จะมีความสามารถในการรับแรงลดลงเพียงน้อยนิด ซึ่งค่าที่ได้โดยเฉลี่ย เท่ากับ 0.4075 ksc อิฐเปียกเมื่อทิ้งไว้ครบ 14 วัน (7 Cycle) ความสามารถในการรับแรงลดลงเหลืออยู่ที่ค่าเฉลี่ย 0.3333 ksc ส่วนอิฐเปียกสลับแห้งจะลดลงซึ่งค่าที่ได้โดยเฉลี่ย เท่ากับ 0.3233 ksc และเมื่อทิ้งจนเป็นเวลาจำนวน 28 วัน (21 Cycle) การจำลองสภาพอากาศ อิฐแห้งจะมีความสามารถในการรับแรงลดลงอีกนิดหน่อย ซึ่งค่าที่ได้โดยเฉลี่ย เท่ากับ 0.4038 ksc อิฐเปียกค่าที่ได้โดยเฉลี่ย เท่ากับ 0.3233 ksc ส่วนอิฐเปียกสลับแห้งค่าที่ได้โดยเฉลี่ย เท่ากับ 0.3050 ksc

ส่วนค่าความน่าเชื่อถือของอิฐชนิดต่างๆสรุปได้คือ

ชนิดแห้ง $R^2 = 0.8805$ มีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีมาก

ชนิดเปียก $R^2 = 0.8681$ มีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีมาก

ชนิดเปียกสลับแห้ง $R^2 = 0.8929$ มีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีมาก

ดังนั้นชิ้นงานในสภาวะแห้งเมื่อเวลาผ่านไปความสามารถในการรับแรงค่อนข้างคงที่มีการลดลงบ้างเล็กน้อย แสดงว่าในสภาวะนี้จะมีผลกระทบต่อ GFRP น้อยมาก ส่วนชิ้นงานในสภาวะเปียกเมื่อเวลาผ่านไปความสามารถในการรับแรงจะลดลงมาก และเริ่มที่จะคงสภาพการรับแรงนั้นไว้ให้ความสามารถในการรับแรงลดลง จากนั้นไม่เปลี่ยนแปลงเยอะ อาจเกิดจากการที่น้ำซึมเข้าไปใน GFRP ทำให้เส้นใยอ่อนลง เรซิ่นมีกำลังประสานระหว่างอิฐโบราณกับ GFRP น้อยลง และเกิดการเปื่อย แต่การเปื่อยจะคงตัวอยู่กับที่ระดับหนึ่ง ทำให้การถดถอยของความสามารถของวัสดุจะไม่มากแล้ว และชิ้นงานในสภาวะเปียกสลับกับแห้งเมื่อเวลาผ่านไปความสามารถในการรับแรงจะลดลงมาก และจากนั้นจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า GFRP เมื่อมีการโดนน้ำจนเปียก และเจอสภาวะแห้งก็จะเกิดการเปราะยิ่งเจอบ่อยนานๆ จะทำให้การถดถอยของความสามารถในการรับแรงจะมากขึ้นวัสดุจะเสียหายเรื่อยๆ เช่นเดียวกันกับโครงสร้างที่มีการซ่อมแซมด้วยอิฐก่อโบราณผสานไฟเบอร์กลาส (GFRP) ควรนำไปใช้ในส่วนที่โครงสร้างไม่โดนฝน และ แสงแดดสลับกันไป เพราะรับแรงเฉือนได้ไม่ดี

4.5 การวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลองกำลังรับแรงของผนังก่ออิฐโบราณในสภาวะธรรมชาติ

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงของผนังก่ออิฐโบราณในสภาวะธรรมชาติคือ แห้ง เปียกและแห้งสลับ ผลการทดสอบที่ได้บ่งบอกว่า GFRP ที่ทำการเสริมผนังก่ออิฐโบราณช่วยในการรับแรงได้มากขึ้นกว่าผนังก่ออิฐโบราณที่ไม่ได้เสริมอะไรและเมื่อนำไปทดสอบในสภาวะที่กำหนดสามารถที่จะบ่งบอกกำลังรับแรงทางด้านข้างได้ การรับกำลังของผนังอิฐก่อโบราณก็จะลดลงตามสภาวะที่ต้องเผชิญแสดงว่าเมื่อผนังอิฐก่อโบราณผ่านไปในระยะเวลาหนึ่งทำให้ความสามารถในการรับแรงลดลง ซึ่งในสภาพเปียกสลับแห้ง มีประสิทธิ์ภาพในการรับแรงที่น้อยลงและรับแรงน้อยที่สุด รองลงมาก็ในสภาวะเปียกและสภาวะแห้งตามลำดับ ซึ่งในสภาพเปียกที่มีประสิทธิภาพในการ

รับแรงน้อย ก็อาจเป็นเพราะต้องอยู่ในสภาพเปียกตลอดเวลาเป็นเวลานานจึงทำให้ไฟเบอร์กลาสเกิดการเปื่อยหลุดลุ่ย เรซิ่นซึ่งเป็นตัวประสานอยู่ในน้ำตลอดเวลา ส่งผลทำให้กำลังในการประสานระหว่าง GFRP กับผนังอิฐก่อโบราณลดน้อยลง เมื่อนำมาทดสอบจึงหลุดและขาดง่าย และในสภาพเปียกสลับแห้งซึ่งมีประสิทธิภาพในการรับแรงที่น้อยที่สุด โดยการแช่น้ำแล้วสลับมาตากแดดทำให้ไฟเบอร์กลาสเกิดการหลุดลุ่ยเพราะแช่น้ำ และ กรอบเพราะโดนแสงแดดจึงทำให้อิฐก่อโบราณ ผุพังได้ง่าย ส่วนสภาพแห้งเมื่อวางทิ้งไว้เฉยๆ พบว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยซึ่งมีความสอดคล้องกับการทดสอบแบบโมเดล อาจจะกล่าวได้ว่า GFRP เพิ่มกำลังรับแรงของผนังก่ออิฐโบราณได้จริง แต่เมื่อนำมาใช้จริงต้องคำนึงในสภาวะที่เกิดขึ้นจริงด้วยโดยอาจจะทำให้กำลังรับแรงลดลงไปอีกจากสภาวะในห้องปฏิบัติการ