

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกลของอิฐโบราณ ตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบและวัสดุอเมริกัน(American Society for Testing and Materials) : ASTM C67 โดยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบได้ถูกจัดเก็บไว้ในส่วนของภาคผนวก

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

4.1.1 การวัดขนาด

จากการทดสอบหาขนาดของอิฐตัวอย่าง พบว่า อิฐโบราณซึ่งมาจากโรงงานแห่งเดียวกันทั้งหมด ซึ่งแต่ละก้อนมีขนาดที่ใกล้เคียงกันมาก จากตัวอย่างอิฐจำนวน 10 ตัวอย่างมีขนาดเฉลี่ยความยาว 29.16 เซนติเมตร ความกว้าง 14.74 เซนติเมตร ความหนา 4.62 เซนติเมตรเป็นผลมาจากการเผาอิฐในอุณหภูมิเท่ากันจะทำให้อิฐหดตัวใกล้เคียงกัน

4.1.2 การทดสอบหาน้ำหนักของอิฐตัวอย่าง

จากการทดสอบอิฐจำนวน 10 ตัวอย่างได้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ 0.0067 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ของอิฐแต่ละก้อนมีขนาดใกล้เคียงกัน แล้วทำการอบที่อุณหภูมิเดียวกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมงทำให้ได้ค่าน้ำหนักแห้งของอิฐตัวอย่างใกล้เคียงกัน

4.1.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำเป็นปัจจัยบ่งชี้ถึงความทนทาน (Durability) ปัจจัยหนึ่งของอิฐดินเผา เนื่องจากเป็นปัจจัยที่แสดงถึงความพรุนหรือช่องว่างของอิฐ ถ้าอิฐดินเผามีการดูดซึมน้ำมากแล้วอิฐนั้นก็จะมีความพรุนสูง และจะผุกร่อนจากการกระทำของสภาวะแวดล้อมและการเสียดสีได้ง่าย อิฐดินเผาที่มีการดูดซึมน้ำสูงจะเป็นอิฐที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่ำ เป็นเวลาที่ไม่นานพอที่อิฐจะสุก การทดสอบนี้มีพื้นฐานมาจากแนวความคิดที่ว่า ก้อนอิฐจะดูดซึมน้ำส่วนหนึ่งจากการที่จุ่มก้อนอิฐในน้ำเย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และก้อนอิฐจะอิมตัวด้วยน้ำเมื่อถูกต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

จากการผลการทดสอบ ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก3 จะเห็นว่าอิฐมีค่าการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน แสดงว่าอิฐตัวอย่างถูกผลิตขึ้นมาด้วยการเผาสุกที่อุณหภูมิเท่ากัน

4.1.4 การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้น

การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นเป็นตัวชี้ถึงการดูดซึมน้ำจากปูนก่อหรือปูนฉาบของก้อนอิฐดินเผา ถ้ามีค่ามากแสดงว่าอิฐชนิดนั้นจะดูดซึมน้ำจากปูนก่อและปูนฉาบมาก ซึ่งจะมีผลทำให้การยึดติดกัน (Bond) ของอิฐแต่ละก้อนไม่ดีและก่อให้เกิดการแตกร้าวของปูนฉาบ จากการทดสอบของสถาบันอิฐแห่งสหรัฐอเมริกา (Brick Institute of America) พบว่า อิฐดินเผาจะมีการยึดติดกันโดยปูนก่อที่ดีที่สุดเมื่ออัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นของอิฐมีค่าน้อยกว่า 30 กรัม /193.55 ตารางเซนติเมตร

จากผลการทดสอบที่ได้ค่าอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นของอิฐตัวอย่างทั้ง 5 ก้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.2 กรัม /193.55 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่า 30 กรัม /193.55 ตารางเซนติเมตร อยู่ 14.53% ดังนั้นถ้าอิฐมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำเริ่มต้นมากกว่าค่าดังกล่าว เราควรที่จะทำให้อิฐมีความชื้นก่อนที่จะทำการก่ออิฐ

4.1.5 การทดสอบการวัดความบิดเบี้ยว

จากผลการทดสอบได้ค่าเฉลี่ยความบิดเบี้ยวของอิฐตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่างเท่ากับ 0.41 เซนติเมตร ซึ่งจะเป็นด้านบนของก้อนอิฐที่เกิดความเว้าเป็นผลมาจากการอัดดินลงแม่แบบด้วยมือ

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล

4.2.1 ผลการทดสอบโมดูลัสแตกร้าว

จากผลการทดสอบ ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก7 จะเห็นได้ว่า อิฐตัวอย่างมีค่ากำลังรับแรงดึงเนื่องจากการดัดหรือโมดูลัสของการแตกร้าวระหว่าง 25 – 36 MPa โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 29.98 MPa

4.2.2 ผลการทดสอบกำลังต้านแรงอัด

จากผลการทดสอบ ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก8 จะเห็นได้ว่าอิฐตัวอย่างมีกำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 16.651 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร อิฐที่มีลักษณะตันและมีเนื้ออิฐที่แน่น จะเป็นอิฐที่มีกำลังอัดเฉลี่ยสูง ส่วนอิฐที่มีรูโพรงนั้น จะช่วยในการลดน้ำหนักของก้อนอิฐ และลดระยะเวลาในการเผาอิฐให้น้อยลง แต่ข้อเสียคือ อิฐดังกล่าวจะมีกำลังอัดเฉลี่ยที่ต่ำ

4.2.3 ผลการทดสอบกำลังต้านแรงอัดของวัสดุก่อ (มอร์ต้าร์)

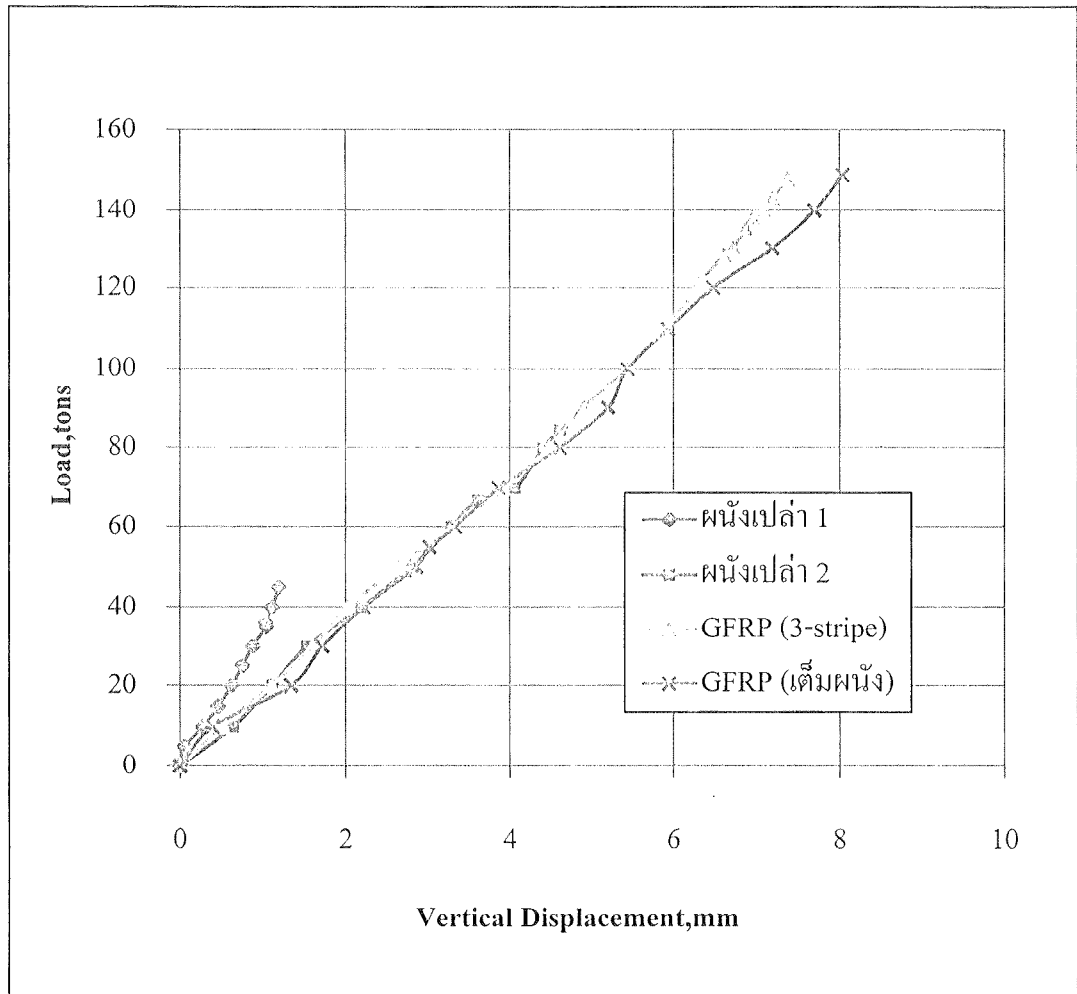
กำลังต้านแรงอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 7 วันเท่ากับ 26.80 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

กำลังต้านแรงอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 14 วันเท่ากับ 28.27 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

กำลังต้านแรงอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 28 วันเท่ากับ 28.67 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

4.3 ผลการทดสอบผนังอิฐก่อโบราณ

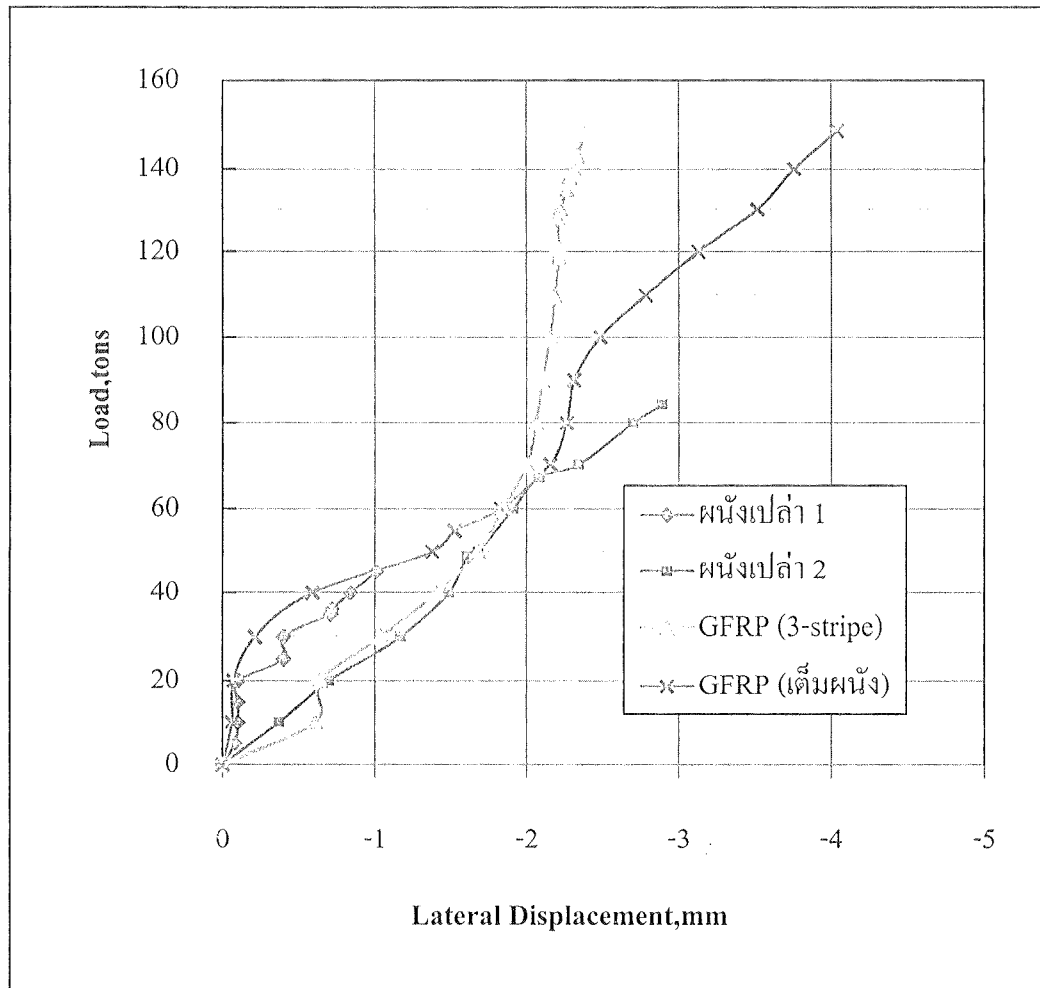
4.3.1 ติดตั้ง LVDT ด้านบนของผนัง



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Vertical Displacement

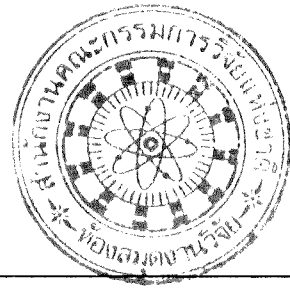
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ชัดว่าผนังที่เสริม GFRP ทั้งสองผนังสามารถรับแรงได้มากกว่าผนังเปล่าทั้งสองผนัง โดยที่ผนังเสริม GFRP แบบเต็มผนังรับแรงสูงสุดได้เท่ากับ 148.89 tons จึงเกิดการวิบัติ ส่วนค่าการยุบตัวเมื่อมีแรงมากกระทำทางด้านบนมากขึ้นการยุบตัวของผนังก็มากขึ้นตามไปด้วย ผนังเสริม GFRP แบบเต็มผนังมีค่ายุบตัวสูงสุดเท่ากับ 8.03 มิลลิเมตร

4.3.2 ติดตั้ง LVDT ด้านข้างของผนัง

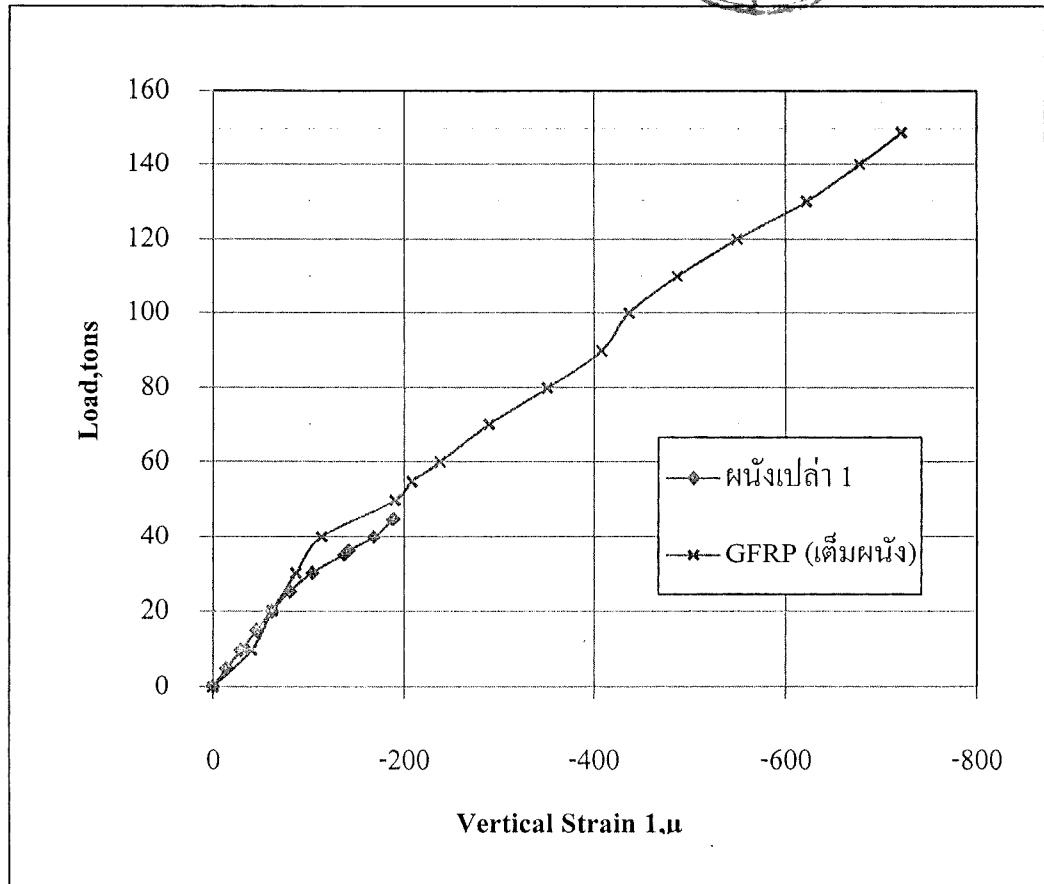


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Lateral Displacement

จากรูปที่ 4.2 ค่า Horizontal Displacement ติดลบแสดงว่าผนังเมื่อได้รับแรงจะเกิดการขยายตัวทางด้านข้าง ผนังที่ติด GFRP แบบเต็มผนังที่มีการรับแรงสูงสุด 148.89 tons มีการขยายตัวสูงสุดเท่ากับ 4.04 มิลลิเมตร ส่วนผนังที่ติด GFRP แบบ 3-stripe รับแรงได้ 148 tons แต่การขยายตัวเท่ากับ 2.38 มิลลิเมตร แสดงว่าผนังเกิดการเสียรูปน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการติด GFRP แบบเต็มผนัง

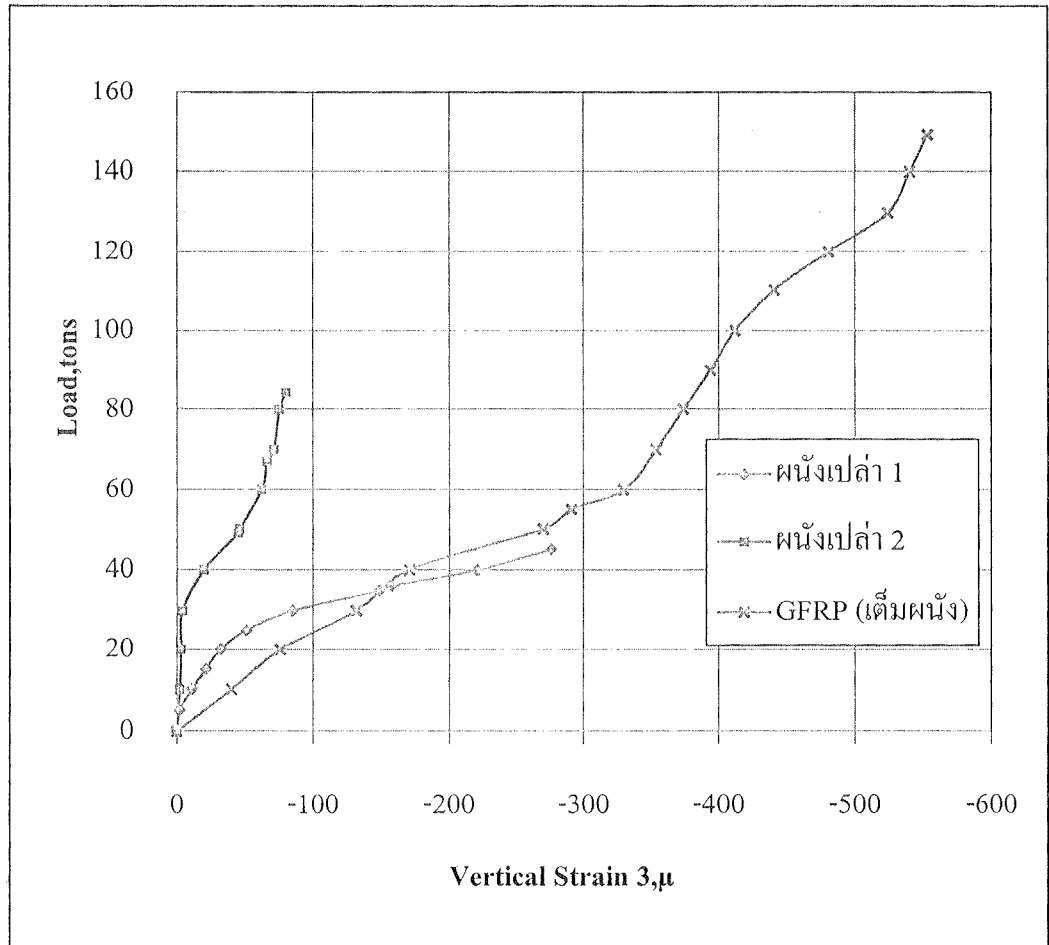


4.3.3 ติดตั้ง strain Gauge ในแนวตั้ง



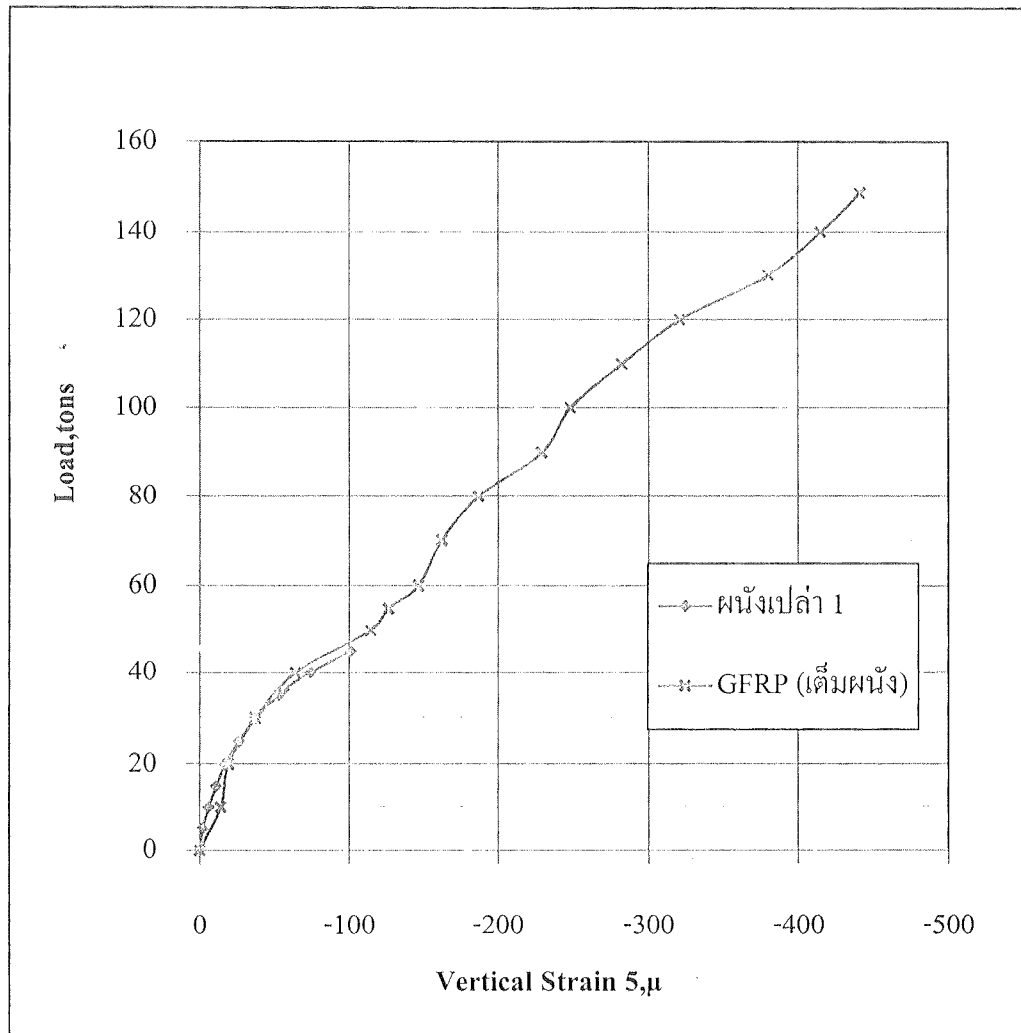
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Vertical Strain 1

จากรูปที่ 4.3 Strain Gauge เป็นตัวชี้วัดการเสถียรภาพของโครงสร้าง จะเห็นว่าเมื่อมีแรงมากระทำกับโครงสร้าง การติดตั้ง Strain Gauge ในแนวตั้งค่าที่ได้จะเป็นลบเนื่องจาก Strain Gauge เกิดการหดตัว Vertical Strain 1 เป็นการติดตั้งบริเวณตรงกลางของผนังจากข้อมูลที่ได้แสดงว่าผนังบริเวณนั้นมีการขยายตัว ซึ่งผนังที่เสริม GFRP แบบเติมผนัง Vertical Strain มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 721μ เนื่องจากว่าเมื่อมีแรงมากระทำกับผนังมากขึ้นการขยายตัวของผนังก็จะมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Vertical Strain 3

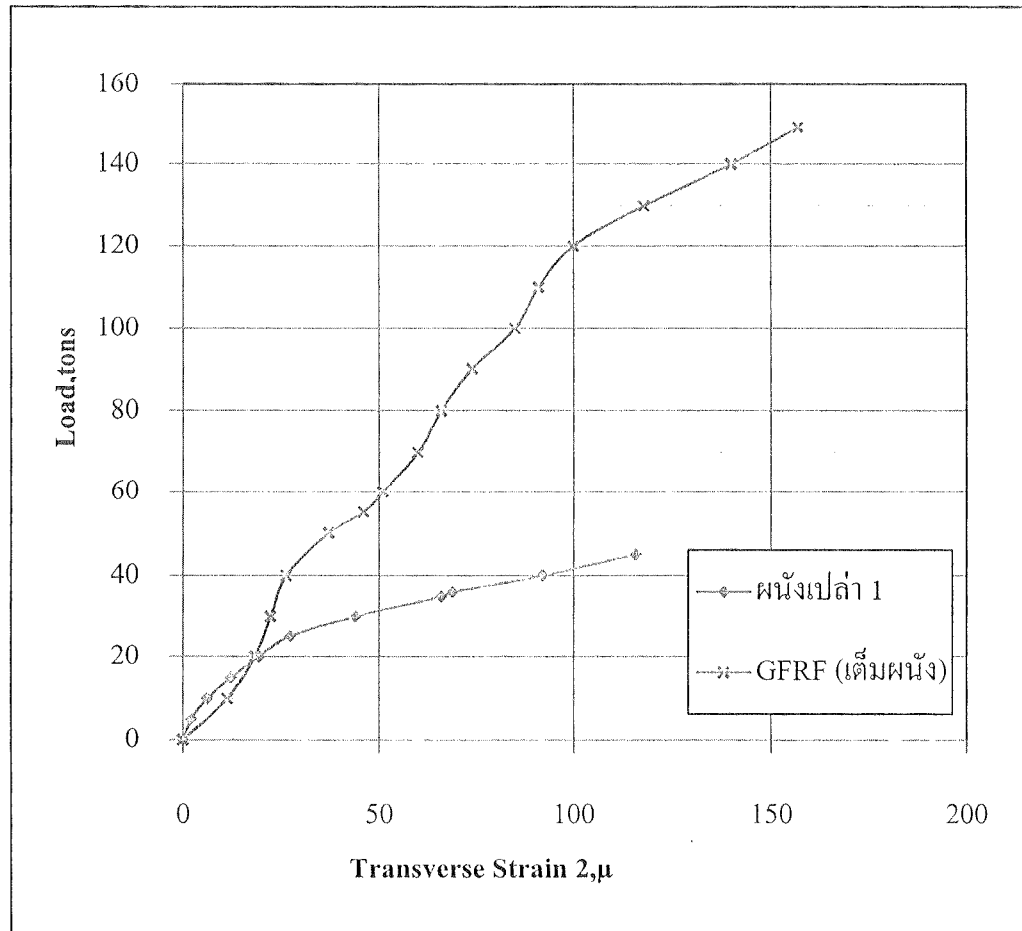
จากรูปที่ 4.4 ข้อมูลที่ได้เป็นการติดตั้ง Strain Gauge บริเวณด้านซ้ายของผนัง เมื่อมีแรงกระทำทำให้ผนังเกิดการขยายตัว ผนังที่เสริม GFRP แบบเต็มผนังมีการขยายตัวมากที่สุด ค่า Vertical Strain มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 553 μ เนื่องจากแผ่น GFRP ทำให้ผนังมีความแข็งแรงขึ้นเมื่อแรงที่กระทำมากขึ้นการขยายตัวก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Vertical Strain 5

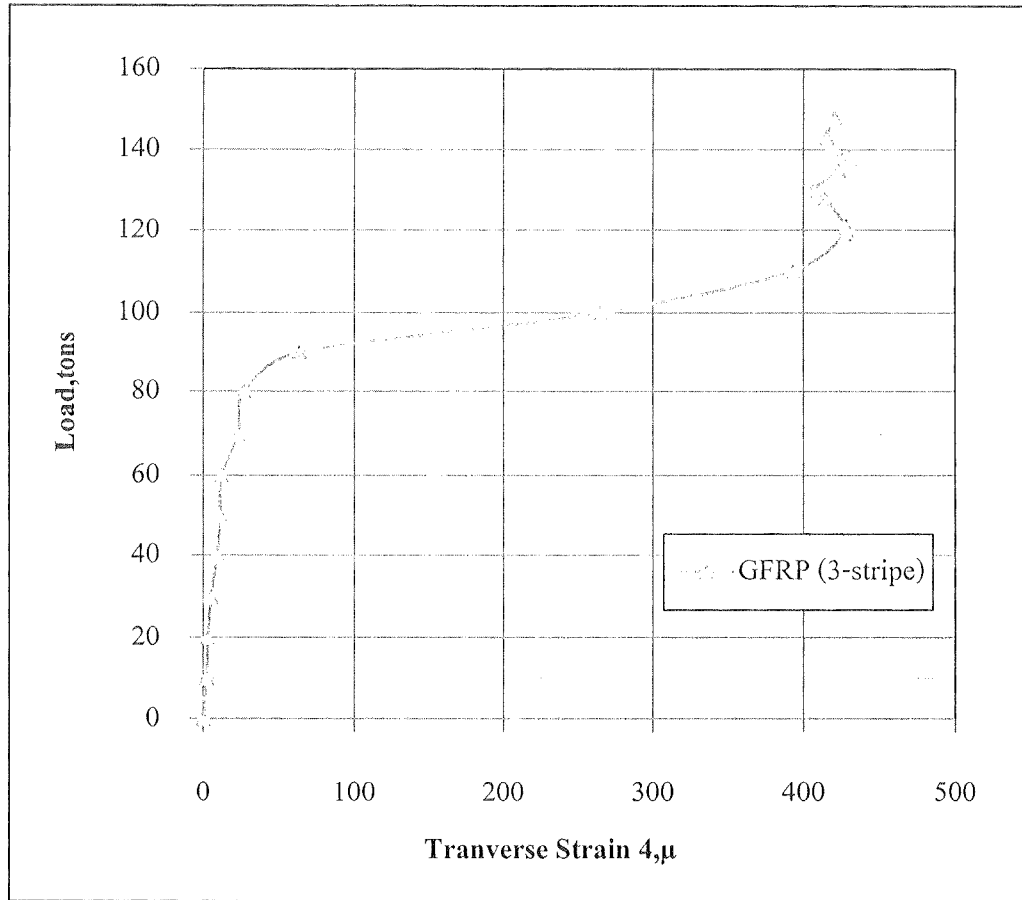
จากรูปที่ 4.5 เป็นการติด Strain Gauge บริเวณด้านขวาของผนัง จะเห็นว่าผนังอิฐก่อเมื่อรับแรงมากขึ้นการขยายตัวของผนังก็มีมากตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบผนังปล้ำ 1 ผนังที่เสริม GFRP แบบเต็มผนังมีการขยายตัวมากกว่าอย่างชัดเจน เนื่องจากผนังติด GFRP ทำให้สามารถรับแรงได้มากขึ้น

4.3.4 ติดตั้ง strain Gauge ในแนวนอน



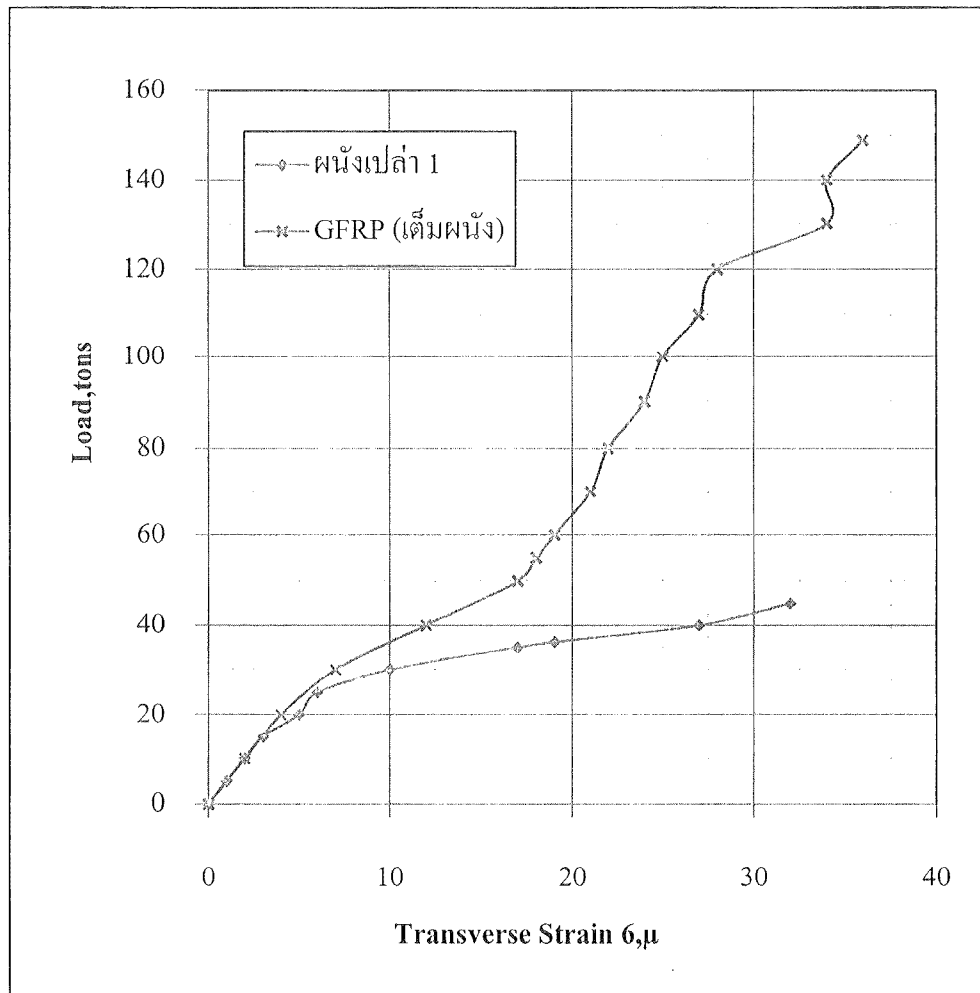
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Transverse Strain 2

จากรูปที่ 4.6 แสดงการติดตั้ง Strain Gauge ในแนวนอนบริเวณตรงกลางของผนังอิฐก่อโบราณ เมื่อรับแรงมากขึ้นจะสังเกตเห็นว่าผนังที่ติด GFRF แบบเต็มผนังจะสามารถรับแรงได้มากกว่าเมื่อเทียบกับผนังเปล้า 1 สังเกตที่ผนังทั้งสองรับแรงเท่ากันที่ 40 tons ผนังเสริม GFRF แบบเต็มผนังที่มีความแข็งแรงกว่าจะมีการขยายตัวน้อยกว่าผนังเปล้ามาก



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Transverse Strain 4

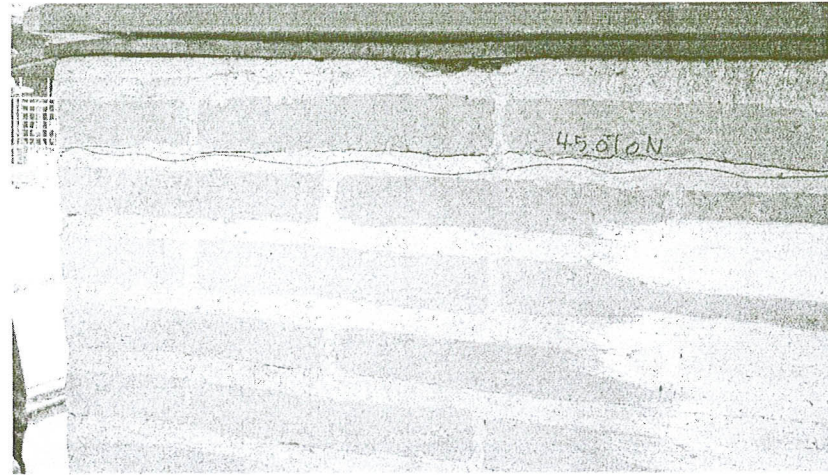
จากรูปที่ 4.7 แสดงการติดตั้ง Strain Gauge ในแนวนอนจากรูปจะเห็นว่ามีข้อมูลเพียงจุดเดียวคือ ผนังที่เสริม GFRP แบบ 3-stripe เนื่องจาก Strain Gauge ของผนังอื่นมีข้อมูลไม่สมบูรณ์ จากกราฟจะพบว่าผนังเสริม GFRP แบบ 3-stripe จะขยายตัวเล็กน้อยในช่วง 80 tons แรกและจะขยายตัวมากขึ้นในช่วง 80-120 tons และหลังจากนั้นจะขยายตัวเล็กน้อยเหมือนในช่วงแรก ซึ่งเกิดจากลักษณะการติดตั้ง GFRP แบบ 3-stripe จึงทำให้การขยายตัวในแต่ละช่วงไม่สัมพันธ์กัน



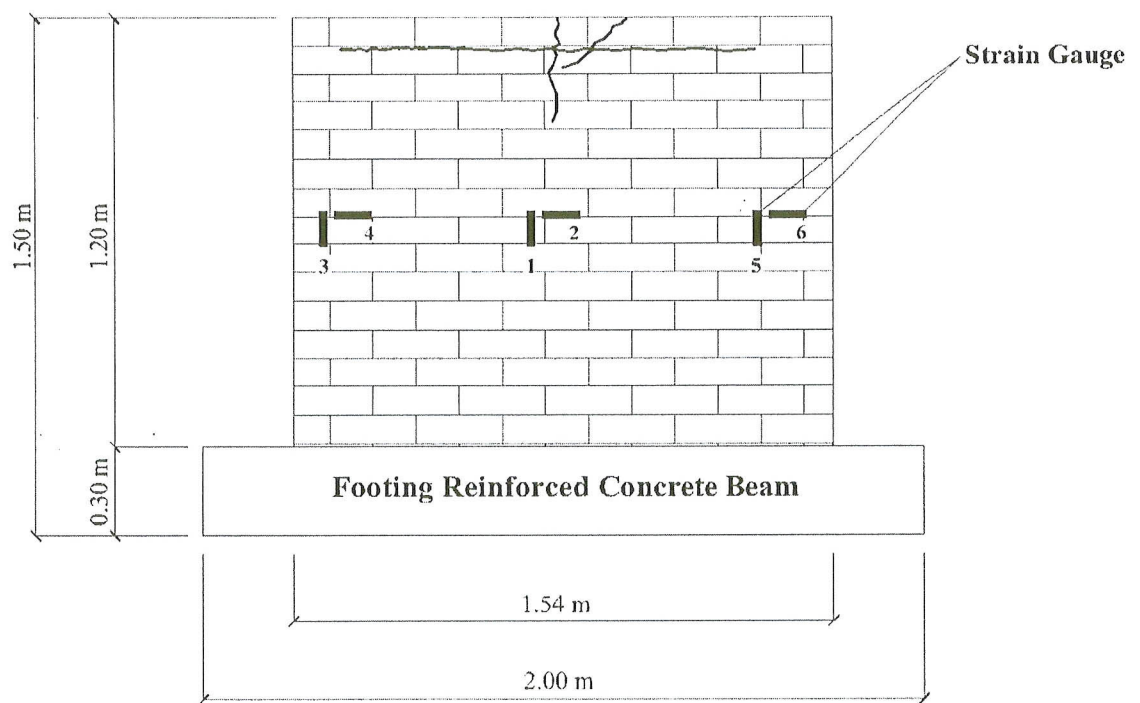
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Transverse Strain 6

จากรูปที่ 4.8 ผนังที่เสริม GFRP แบบเต็มผนังเมื่อได้รับแรงสูงสุดการขยายตัวมีค่าเท่ากับ 36 μ ส่วนผนังเปล่า 1 ขยายตัวสูงสุดเท่ากับ 32 μ สังเกตได้ว่าการขยายตัวของผนังทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าบริเวณที่ติด Strain Gauge นั้นมีความแข็งแรงมาก

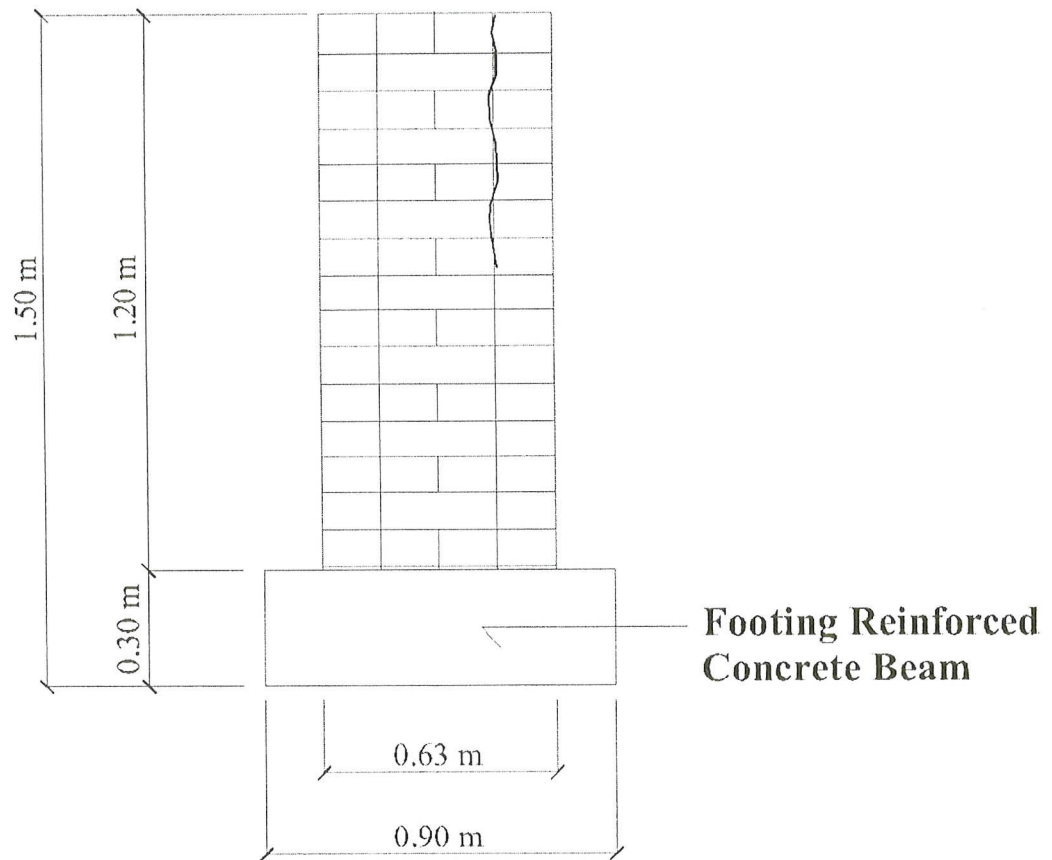
4.3.5 การ Crack ของผนัง



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการ Crack ของผนังเปล่า 1



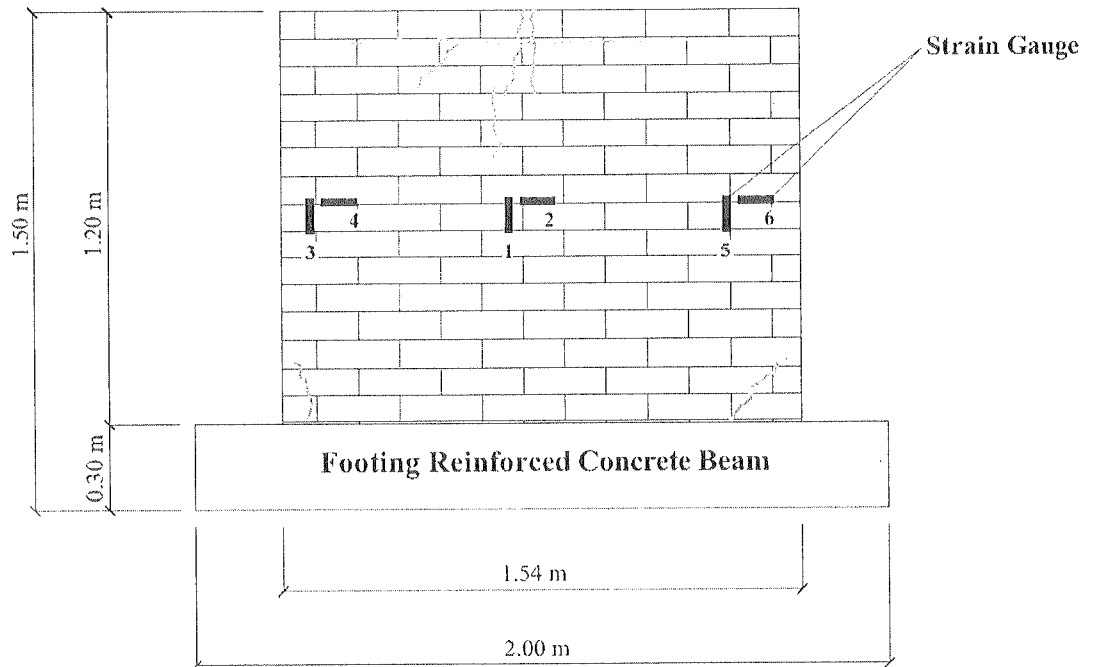
รูปที่ 4.10 การ Crack ของผนังเปล่า 1 (Front View)



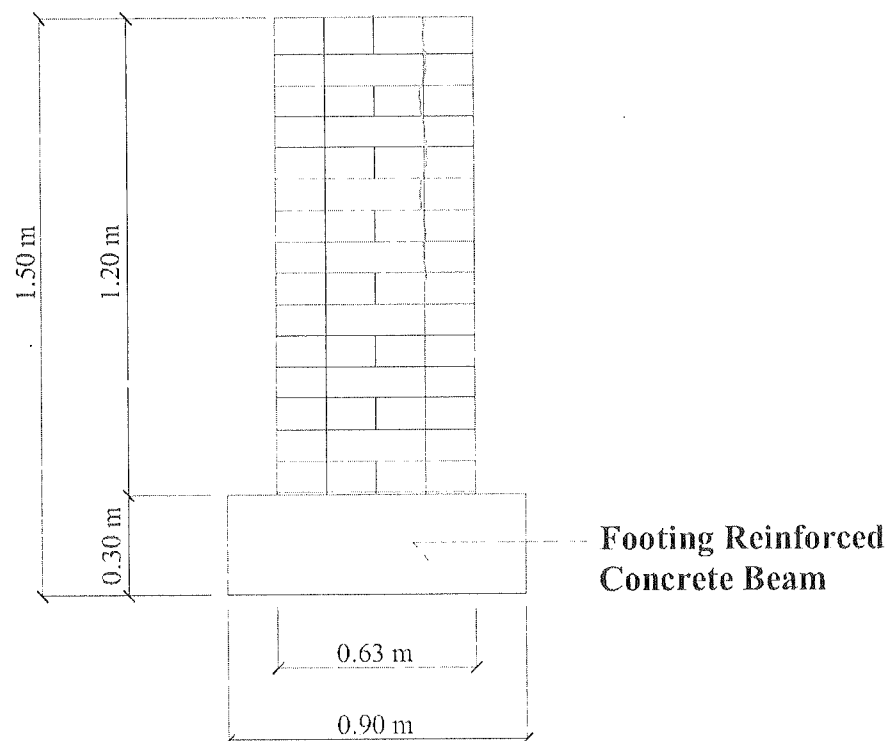
รูปที่ 4.11 การ Crack ของผนังเปล่า 1 (Side View)



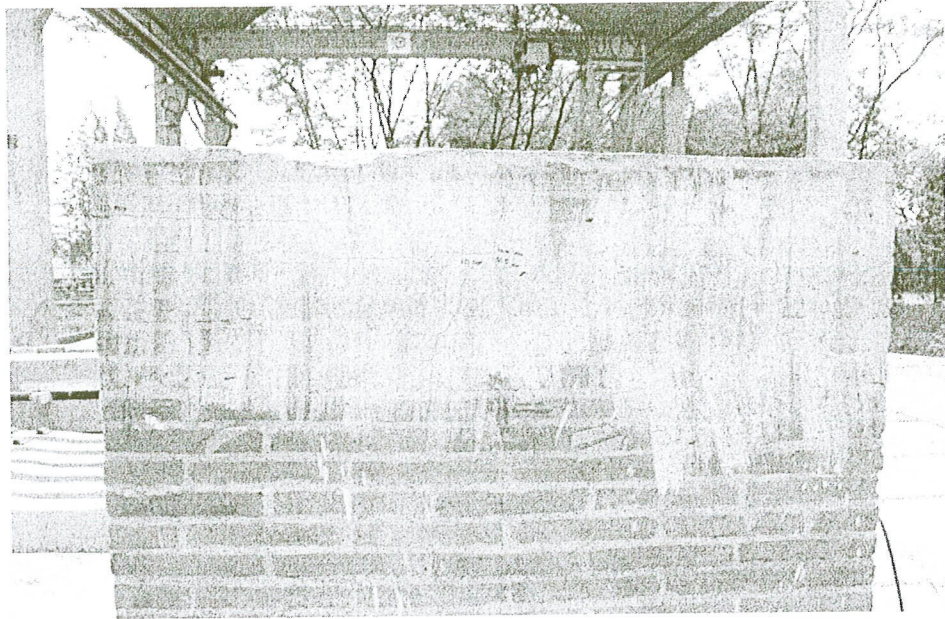
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการ crack ของผนังเปล่า 2



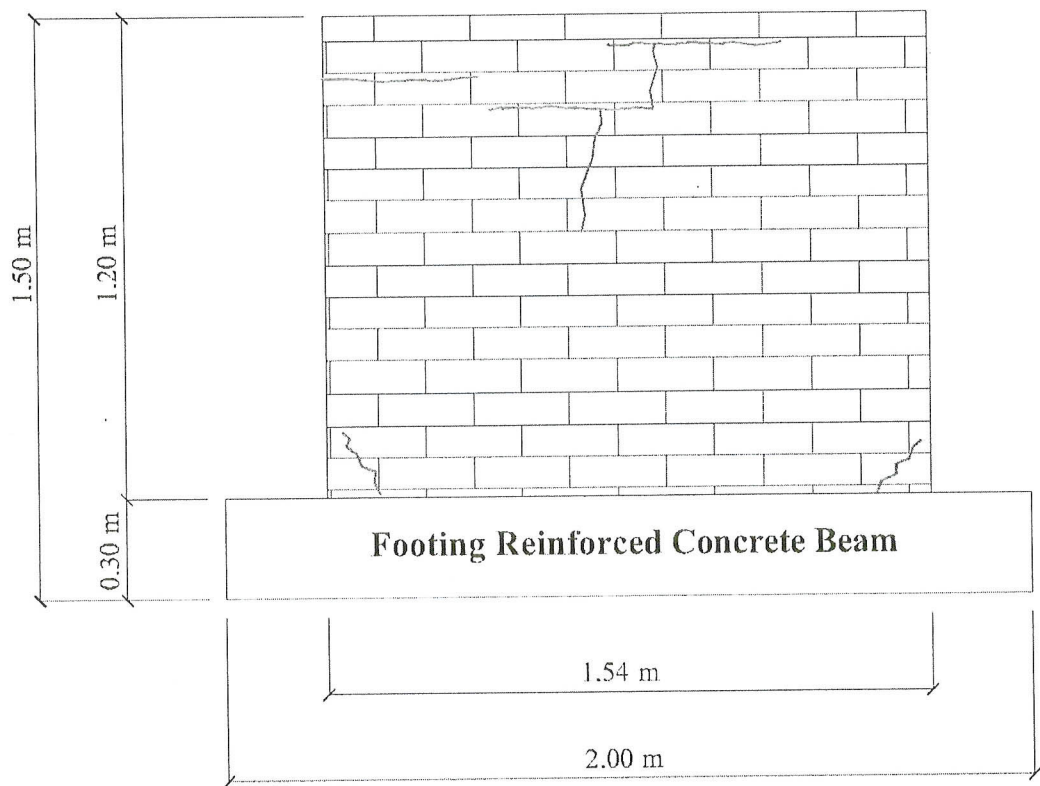
รูปที่ 4.13 การ Crack ของผนังเปล่า 2 (Front View)



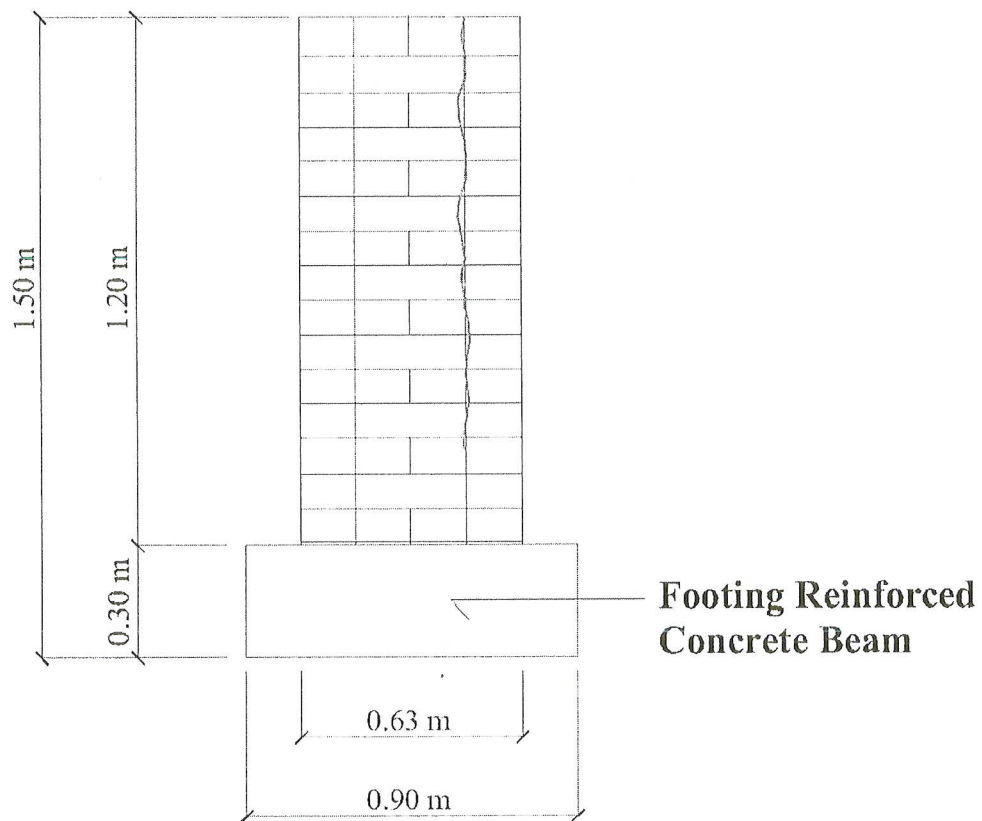
รูปที่ 4.14 การ Crack ของผนังเปล่า 2 (Side View)



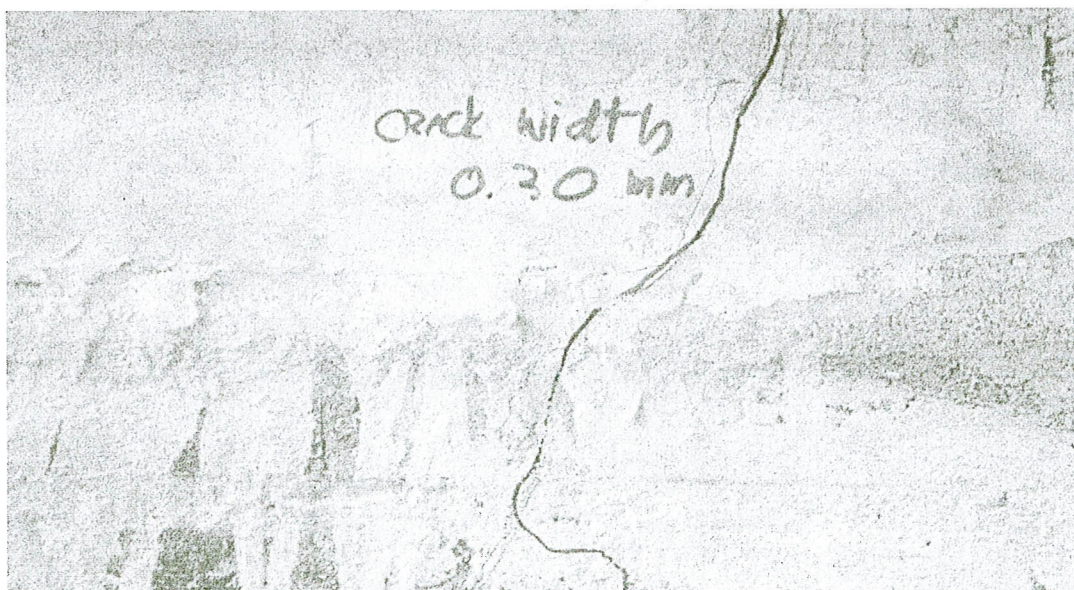
รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการ crack ของผนังเสริม GFRP (3-stripe)



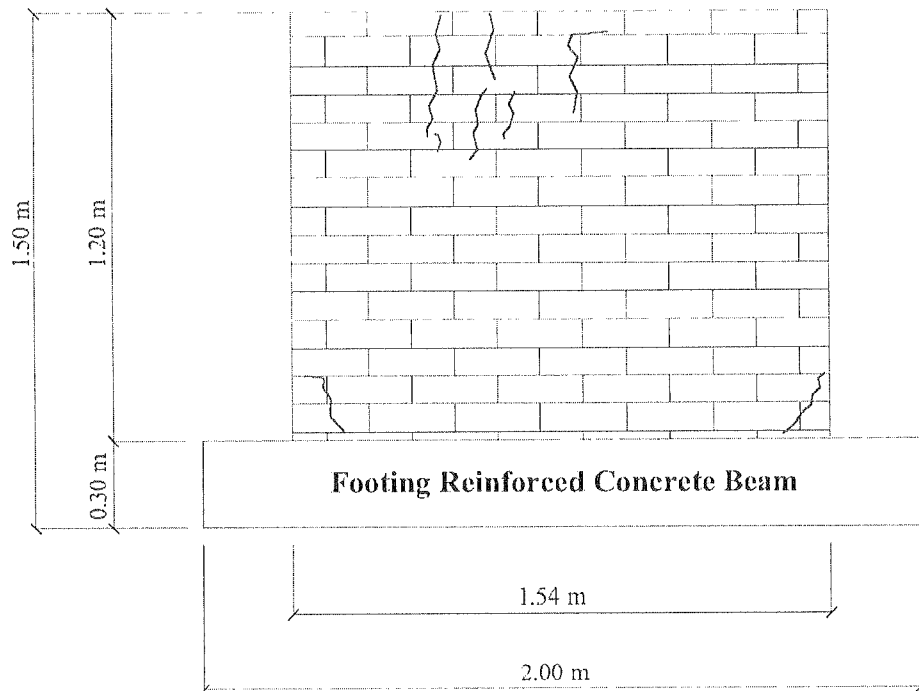
รูปที่ 4.16 การ Crack ของผนังเสริม GFRP แบบ 3-stripe (Front View)



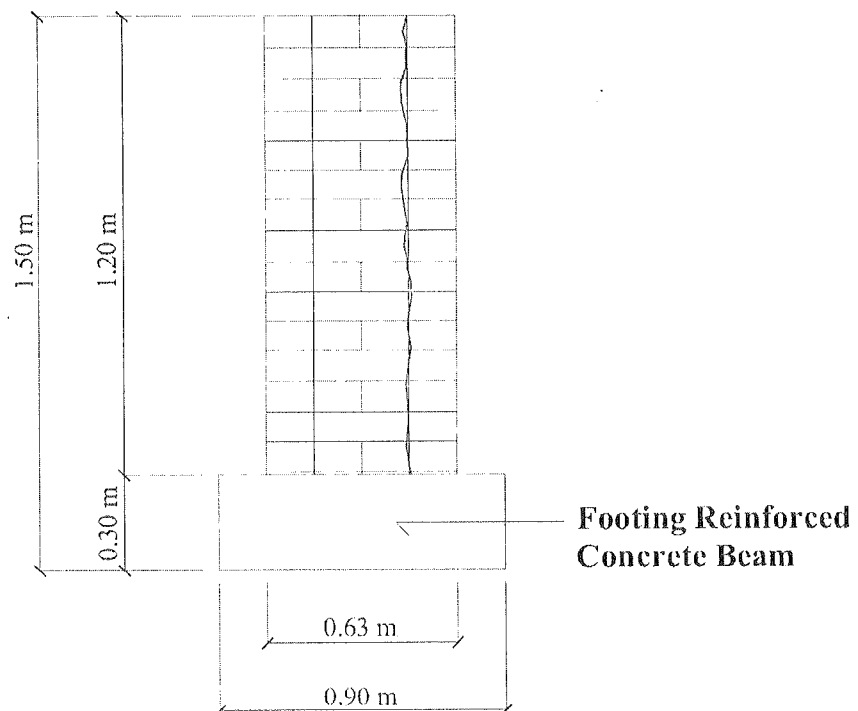
รูปที่ 4.17 การ Crack ของผนังเสริม GFRP แบบ 3-stripe (Side View)



รูปที่ 4.18 ตัวอย่างการ Crack ของผนังเสริม GFRP แบบเต็มผนัง



รูปที่ 4.19 การ Crack ของผนังเสริม GFRP แบบเต็มผนัง (Front View)



รูปที่ 4.20 การ Crack ของผนังเสริม GFRP แบบเต็มผนัง (Side View)

การ crack ของผนังเปล่าทั้งสองส่วนใหญ่จะเกิดรอย crack บริเวณรอยต่อของอิฐและจะเกิดบริเวณด้านบนลงมาเนื่องจากการได้รับแรงกระทำทางด้านบน ขนาดของรอย crack จะกว้างเมื่อสังเกตจากทางด้านข้างของผนัง รอย crack มีความยาวไม่มากนักเนื่องจากผนังรับแรงที่กระทำได้แค่ 45 tons จึงเกิดการวิบัติ

สำหรับการ crack ของผนังที่เสริม GFRP รอย crack จะมีขนาดความกว้างน้อยกว่าผนังที่เปล่ามาก และจะเป็นลักษณะการ crack ที่ไม่ต่อเนื่องก็จะมีกระจายตำแหน่งการ crack ไปตามจำนวนแรงที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนลักษณะการ crack ที่สังเกตได้จากทางด้านข้างของผนังจะมีความยาวมากเนื่องจากผนังที่มีการเสริม GFRP มีความสามารถในการรับแรงได้สูงมากจึงทำให้รอย crack มีความยาวเพิ่มขึ้นตามแรงที่กระทำจนผนังรับแรงได้สูงสุดหรือเกิดการวิบัตินั่นเอง

4.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 ผนังเปล่าที่ไม่ได้เสริม GFRP รับแรงได้น้อยมาก อาจเป็นเพราะปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง เช่น อิฐแต่ละก้อนมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน การเว้นช่องระหว่างอิฐกับมอร์ตาร์ไม่เท่ากัน เป็นต้น ทำให้ความสามารถในการรับแรงไม่ดีพอและการเสียรูปของผนังหรือการ crack ของผนังเปล่าที่มีขนาดกว้างทำให้การยึดเกาะระหว่างอิฐเสียไปทำให้ผนังเกิดการวิบัติง่ายยิ่งขึ้น

สำหรับผนังที่เสริม GFRP ซึ่งแผ่น GFRP มีความสามารถในการรับแรงดึงสูง เมื่อมีแรงมากระทำด้านบนทำให้ผนังเกิดการขยายตัวในบริเวณด้านข้างได้มาก ซึ่งจะเห็นได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Vertical Strain และ Load กับ Transverse Strain เมื่อเปรียบเทียบผนังอิฐก่อเสมือนโบราณสถาน หากต้องมีการซ่อมแซมโบราณสถาน การใช้วัสดุ GFRP เป็นอีกวิธีหนึ่งในหลายๆวิธีที่ใช้ในการซ่อมแซม โดยการทดสอบในครั้งนี้ ได้ทำการเสริม GFRP ทั้ง 2 แบบ ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการนำวัสดุ GFRP มาใช้ในโครงสร้างซึ่งมีข้อดี-ข้อเสียต่างกันดังนี้

ข้อดีของการเสริม GFRP แบบ 3-stripe

- 1) ความสามารถในการรับแรงสูง
- 2) มีความประหยัดเนื่องจากใช้แผ่น GFRP ในปริมาณน้อย
- 3) สะดวกต่อการนำมาใช้กับโครงสร้าง เนื่องจากไม่ต้องปรับแต่งพื้นผิวของโครงสร้าง

ทั้งหมด

ส่วนการเสริม GFRP แบบเต็มผนังสามารถทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงขึ้นและมีการขยายตัวบริเวณที่เสริม GFRP ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่มีข้อเสียคือ

- 1) ใช้แผ่น GFRP ในปริมาณมากทำให้สิ้นเปลืองมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการติดแบบ 3-stripe ซึ่งมีความสามารถในการรับแรงที่ใกล้เคียงกัน
- 2) ต้องปรับแต่งพื้นผิวของโครงสร้างทั้งหมดทำให้เสียเวลาในการซ่อมแซม