

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของผนังอิฐก่อโบราณ ภายใต้แรงกระทำทางด้านข้างแบบวัฏจักร เปรียบเทียบกับพฤติกรรมของผนังอิฐก่อโบราณเสริมด้วย Fiber Reinforced Polymer (FRP) ภายใต้แรงกระทำทางด้านข้างแบบวัฏจักร และต้องศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกลของอิฐโบราณก่อน ซึ่งอิฐโบราณที่นำมาทดสอบหาคุณสมบัติในครั้งนี้ เป็นอิฐใหม่สำหรับการก่อสร้างและบูรณะโบราณสถาน ที่มีการผลิตในปัจจุบันที่ตำบลลุมพินี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแนวความคิด ทฤษฎีวรรณกรรมหรือผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 ความหมายของวัสดุก่อ

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2553) ได้นิยามความหมายของคำไว้ในมาตรฐานสำหรับอาคารวัสดุก่อไว้ดังนี้

ก้อนวัสดุก่อตัน หมายถึง ก้อนวัสดุก่อซึ่งมีเนื้อที่หน้าตัดในทุกระนาบ ซึ่งขนานกับผิวหน้า ที่รับน้ำหนักตั้งแต่วัสดุ 75 ของเนื้อที่หน้าตัดรวม ซึ่งวัดในระนาบเดียวกันขึ้นไป

มอร์ต้า หมายถึง ส่วนผสมเหลว ๆ ของวัสดุที่เป็นตัวประสานมวลรวมและน้ำ

เกร้าท์ หมายถึง ส่วนผสมของวัสดุที่เป็นเชื้อประสานและมวลรวมซึ่งจัดส่วนปฏิภาคให้มีความข้นเหลวพอดีที่จะเทหรือสูบลได้ โดยวัสดุที่เป็นส่วนผสมไม่เกิดการแยกแยะ

งานวัสดุ หมายถึง งานก่อสร้างที่ประกอบด้วยก้อนวัสดุก่อ ซึ่งวางเรียงกันในมอร์ต้าหรือเกร้าท์

2.2 ขนาดและคุณลักษณะของอิฐก่อ

2.2.1 ขนาดของอิฐก่อ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2517) ได้กำหนดประเภทขนาดของอิฐก่อสร้างสามัญ โดยแบ่งประเภทของอิฐก่อสร้างสามัญไว้ 2 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 อิฐขนาดเล็ก (อิฐมอญ) หมายถึง อิฐที่มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตัน ผิวไม่สู้เรียบ ทำด้วยมือหรือเครื่องจักร เหมาะสำหรับใช้ก่อผนังหรือกำแพงที่ฉาบปูน

ประเภทที่ 2 อิฐขนาดใหญ่ หมายถึง อิฐที่มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตัน ใหญ่กว่าอิฐมอญ ผิวหน้าเรียบ มีร่องสำหรับยึดปูนก่อทำด้วยเครื่องจักร เหมาะสำหรับก่อผนังหรือกำแพง

ขนาดและความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้สำหรับอิฐประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้เป็นไปตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับและขีดจำกัดในการทดสอบ

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2517)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ประเภท ที่	ขนาด			ขีดจำกัดในการทดสอบอิฐจำนวน 20 แผ่น		
	ยาว	กว้าง	หนา	ยาว	กว้าง	หนา
1	140 ± 5	65 ± 3	40 ± 2	2,700 ถึง 2,900	1,240 ถึง 1,360	760 ถึง 840
	160 ± 5	65 ± 3	40 ± 2	3,100 ถึง 3,300	1,240 ถึง 1,360	760 ถึง 840
	190 ± 5	90 ± 3	40 ± 2	3,700 ถึง 3,900	1,740 ถึง 1,860	760 ถึง 840
2	190 ± 5	90 ± 3	65 ± 2	3,700 ถึง 3,900	1,740 ถึง 1,860	1,260 ถึง 1,340
	190 ± 5	90 ± 3	65 ± 2	3,700 ถึง 3,900	1,740 ถึง 1,860	1,740 ถึง 1,860

2.2.2 คุณลักษณะที่ต้องการ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2517) ได้กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของอิฐไว้ดังนี้

1) ผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปต้องมีขนาดตามตารางที่ 2.1 โดยมีลักษณะและคุณสมบัติอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

- เผาสุกและมีสีสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น
- มีความแข็งแรงทนทานตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2
- มุมทุกมุมควรเป็นมุมฉาก
- รูปร่างและขนาดสม่ำเสมอ
- เนื้อแน่นและไม่มีรอยแตกร้าว

2) คุณสมบัติทางกายภาพ

- เผาสุกและมีสีสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น
- แรงอัด (Compressive Strength) ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.2
- การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แรงอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2517)

ประเภท ที่	ยาว × กว้าง × หนา เซนติเมตร	แรงอัดต่ำสุด กก. / ซม. ²	การดูดซึมน้ำสูงสุด ร้อยละของน้ำหนัก อิฐ
1	14.0 × 6.5 × 4.0	35.7	25
	16.0 × 6.5 × 4.0	35.7	25
	19.0 × 9.0 × 4.0	35.7	25
2	19.0 × 9.0 × 6.5	152.8	15
	19.0 × 9.0 × 9.0	152.8	15

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้กำหนดคุณภาพของวัสดุไว้ดังนี้

1) หากมิได้ระบุเป็นอย่างอื่น วัสดุที่ใช้ในงานวัสดุก่อคอนกรีตจะต้องมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรม หรือมาตรฐานสากล

2) มอร์ต้า และ เกร้าท์

- หากมิได้มีการระบุเป็นอย่างอื่น มอร์ต้า และ เกร้าท์ จะต้องมีความสมบัติตรงตามมาตรฐานสากลที่เหมาะสม
- ห้ามใช้แคลเซียมคลอไรด์ หรือสารผสมเพิ่มซึ่งมีแคลเซียมคลอไรด์กับมอร์ต้า หรือ เกร้าท์ ซึ่งมีเหล็กเสริม เหล็กปลอก หรือเหล็กยึดอื่น ๆ ผังอยู่

ในกรณีที่มิได้มีการหาค่ากำลังอัดของวัสดุก่อคอนกรีตโดยวิธีทดสอบล่วงหน้า และก้อนวัสดุก่อมอร์ต้าตลอดจนฝีมือการทำงานตรงตามเกณฑ์กำหนดในมาตรฐานแล้ว อาจคิดค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้โดยเฉลี่ยค่ากำลังอัดของวัสดุก่อทั้งหมดจากค่าตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 กำลังอัดของวัสดุก่อคิณเนื้อที่รวมสำหรับวัสดุก่อชนิดกอนตัน
ที่มา : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

กำลังอัดของกอน (กก./ซม. ²)	กำลังอัดของวัสดุก่อทั้งหมด f'_m (กก./ซม. ²)
70 ถึง 105	63 ถึง 80
106 ถึง 175	81 ถึง 110
176 ถึง 280	111 ถึง 140
281 ถึง 420	141 ถึง 170
เกิน 420	เกิน 170

หน่วยแรงที่ยอมใหในงานวัสดุก่อคอนกรีตไมเสริมเหล็กค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมใหในงาน
วัสดุก่อคอนกรีตไมเสริมเหล็กจะต้องไมเกินค่าต่อไปนี้

หน่วยแรงตามแกน $0.20 f'_m$

หน่วยแรงดัด $0.30 f'_m$

หากไมมีผลทดสอบมาแสดงจนเป็นที่พอใจแล้ค่าหน่วยแรงเนือและแรงดึงอันเกิดจากการดัด
สำหรับงานวัสดุก่อคอนกรีตไมเสริมเหล็กจะต้องไมเกินค่าที่กำหนดใหตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 หน่วยแรงเฉือนและหน่วยแรงดึงที่เกิดจากการตัดสำหรับงานวัสดุคอนกรีต
ไม่เสริมเหล็ก

ที่มา : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2553)

หน่วยแรงที่ยอมให้	งานก่อสร้างด้วยวัสดุก่อ			
	ชนิดก้อนกลวง		ชนิดก้อนตัน หรือ เกร้าท์	
	มอร์ต้า กำลังสูง ^(ก)	มอร์ต้า ธรรมดา ^(ข)	มอร์ต้า กำลังสูง ^(ก)	มอร์ต้า ธรรมดา ^(ข)
หน่วยแรงเฉือน, กก. / ซม. ² หน่วยแรงดึงในการตัด ^(จ)	2.4 ^(ง)	1.6 ^(ง)	2.4 ^(ง)	1.6
ตั้งฉากกับรอยต่อทางราบ ^(ข)	1.6 ^(ง)	1.1 ^(ง)	2.7	1.9
ขนานกับรอยต่อทางราบ ^(ค)	3.2 ^(ง)	2.2 ^(ง)	5.5	3.8

- ในกรณีที่ไม่มีควบคุมงานทางวิศวกรรมหรือสถาปัตยกรรมให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดให้ลดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ต่าง ๆ ลงครึ่งหนึ่ง
- ทิศทางของหน่วยแรงตั้งฉากกับชั้นรอยต่อราบ ตั้งตั้งในงานวัสดุก่อธรรมดา
- ทิศทางของหน่วยแรงขนานกับรอยต่อทางราบซึ่งจะอยู่ในแนวราบในงานวัสดุก่อสร้างธรรมดาในกรณีที่ก่อวัสดุก่อแบบเรียงตามขวางจะยอมให้เกิดหน่วยแรงดึงในแนวราบในวัสดุก่อไม่ได้
- เนื้อที่สุทธิของชั้นมอร์ต้า
- ในการคำนวณความต้านทานแรงดึง จะต้องถือว่าโมดูลัสหน้าตัดของผนังกลวงมีค่าเท่ากับผลรวมของโมดูลัสหน้าตัดของผนังแต่ละแผง
- กำลังอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน ต้องไม่ต่ำกว่า 140 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
- กำลังอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน ต้องไม่ต่ำกว่า 50 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

2.3 ส่วนผสมและวิธีทำอิฐก่อ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2517) ได้อธิบายส่วนผสมของอิฐและวิธีทำอิฐ ตามประเภทของอิฐไว้ดังนี้

ประเภทที่ 1 อิฐขนาดเล็ก (อิฐมอญ) วัสดุที่ใช้ในการทำได้แก่ ดินเหนียว หรือดินโคลน และวัสดุอื่น ๆ เช่น แกลบ ทราช ขี้เถ้า อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลาย ๆ อย่างรวมกันแล้วแต่ความเหมาะสม ถ้าเป็นการทำด้วยมือจะใช้ดินเหนียวผสมกับทราชหรือแกลบหรือใช้ดินโคลนผสมกับแกลบย่ำผสมน้ำอัดลงในแบบพิมพ์ไม้ ซึ่งวางอยู่บนลานดินที่เรียบ โดยโรยแกลบบนลานดิน และภายในแบบพิมพ์ เพื่อกันไม่ให้ดินผสมติดแบบพิมพ์ปาดให้เรียบ ยกแบบพิมพ์ไม่ออกผึ่งไว้กลางลานดินให้แห้งแล้วจึงนำเข้าเตาเผา หากเป็นการทำด้วยเครื่องจักรจะใช้ดินเหนียวผสมกับทราชหรือแกลบนำเข้าเครื่อง พ่นน้ำ นวด อัด ริด ออกมาเป็นแท่งยาว ตัดด้วยลวดเป็นแผ่นอิฐ ผึ่งให้แห้งแล้วจึงนำเข้าเตาเผา

ประเภทที่ 2 อิฐขนาดใหญ่ วัสดุที่ใช้ในการทำได้แก่ ดินเหนียว และวัสดุอื่น ๆ เช่น ทราช โดยใช้ดินเหนียวผสมกับทราช ย่ำผสมน้ำ อัดลงในแบบไม้ ปาดให้เรียบแล้วยกแบบไม่ออก หรือนำเข้าเครื่อง นวด อัด ริด ออกมาเป็นแท่งยาว ตัดด้วยลวดเป็นก้อนขนาดใหญ่กว่าแผ่นอิฐเล็กน้อย ผึ่งก้นดินที่เตรียมไว้เพื่อให้มีความชื้นพอสมควร นำเข้าเครื่องอัดให้แน่นเป็นก้อนอิฐตามขนาดที่ต้องการ ผึ่งให้แห้งแล้วจึงนำเข้าเตาเผา

สิทธิชัย แสงอาทิตย์ (2542) ได้อธิบายถึงกรรมวิธีการผลิตอิฐที่ทำด้วยมือไว้ดังนี้

เป็นการผลิตอิฐที่เก่าแก่ที่สุดในประเทศไทย จะให้ขนาดของอิฐไม่คงที่ เนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น ขนาดของแบบทำอิฐที่ไม่เท่ากัน การอัดดินลงในแบบทำอิฐที่ไม่แน่นพอ และส่วนผสมของดินไม่สม่ำเสมอ ซึ่งทำให้การหดตัวของอิฐในขณะเผาไม่เท่ากัน

1) การเลือกดิน

เป็นดินที่ไม่มีเม็ดทรายเจือปนมากเกินไปและไม่เป็นดินเหนียวมากเกินไปถ้าดินมีทรายมากจะทำให้อิฐนั้นร้อนและร่วน และถ้าดินเป็นดินเหนียวมากเกินไป เมื่อนำไปตากแดดจะเกิดการแตกร้าวค่อนข้างสูง

2) การขุดและการย่ำดิน

ขุดดินและแยกเอาเศษไม้หรือสารอินทรีย์ที่เจือปนอยู่ออกให้หมด จากนั้นทำการผสมแกลบประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรของดินละย่ำดินให้ละเอียดและให้เข้ากันดี ถ้าดินมีลักษณะแห้งจนเกินไปก็ให้เติมน้ำได้ตามสมควร พอที่จะทำการย่ำดินและเทลงในแบบได้สะดวก การผสมแกลบจะช่วยให้เนื้อดินมีความโปร่งมากขึ้น หลังจากที่ถูกความร้อนเผาไหม้ไปจาก

เมื่ออิฐแล้ว จะทำให้อิฐมีน้ำหนักเบาและเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังป้องกันไม่ให้อิฐแตกในเวลตากแดด และป้องกันไม่ให้ดินแม่พิมพ์อีกด้วย

3) การพิมพ์แบบ

แบบที่ใช้หล่อดินให้เป็นแผ่นอิฐจะเป็นแบบที่ทำด้วยไม้ 4 ด้าน โดยจะมีเฉพาะด้านข้าง (ไม่มีส่วนบนและส่วนล่าง) ไม้ที่ทำแบบเป็นไม้ที่ทนทานต่อน้ำและความชื้น ผิวด้านในใส่เรียบ ขนาดของแบบจะใหญ่กว่าขนาดของอิฐที่ต้องการประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากดินที่ตากแห้งแล้วจะมีขนาดที่เล็กลง ในขั้นตอนนี้ เริ่มต้นทำการจุ่มแบบลงในน้ำ แล้ววางแบบลงบนพื้นราบ จากนั้นนำดินเหนียวที่ผสมได้ที่แล้วเทลงในแบบและทำการอัดดินโดยใช้ไม้ตบดินให้แน่นโดยทั่ว สุดท้ายปาดดินส่วนเกินออกให้เรียบเสมอ ไม้แบบและยกแบบออกจากก้อนดิน

4) การตากแดด

เมื่อถอดแบบออกแล้ว นำก้อนดินไปตากแดดให้แห้งสนิท ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการตากแดดจะขึ้นอยู่กับฤดูกาล ถ้าทำในฤดูแล้งอาจใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน ในฤดูอื่นๆ อาจจะต้องใช้เวลาประมาณ 7-8 วัน ในขั้นตอนนี้ต้องระวังอย่าให้ก้อนดินถูกฝน

5) การตากแต่งก้อนดิน

เมื่อก้อนดินแห้งสนิท ด้านข้างก้อนดินจะไม่เรียบ ต้องใช้มีดตากแต่งก้อนดินเพื่อให้ได้ก้อนอิฐที่เรียบสม่ำเสมอ ก่อนจะนำเข้าเตาเผาอิฐ

6) การเผาอิฐ

เมื่อตากแต่งก้อนดินแล้ว นำก้อนดินมาวางเป็นแถว แถวหนึ่งกว้างเท่ากับก้อนดินที่จะทำการเผา โดยเว้นระยะระหว่างแถวให้เท่าๆ กัน เพื่อที่จะใส่เกลบลงในช่องว่างระหว่างแถวได้โดยง่าย โดยทั่วไปแล้ว ก้อนดินจะมีความกว้างประมาณ 4 เมตร ยาวประมาณ 6 ถึง 7 เมตร และสูงประมาณ 1.6 เมตร เมื่อกองเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำก้อนอิฐที่เผาสุกแล้วมาล้อมกองดินทั้ง 4 ด้านเพื่อกันความร้อนไม่ให้กระจายออกไปจากกองดินในขณะเผา จากนั้นเทเกลบลงไปให้เต็มทุกช่องว่างระหว่างแถว จากนั้นจุดไฟให้เกลบไหม้ เมื่อเกลบไหม้และยุบลงให้ค่อยเติมเกลบให้ได้ระดับอยู่เสมอ เผาอิฐเป็นเวลานานประมาณ 15 วัน แล้วรอนอิฐเย็นตัวลงแล้วทำการลำเลียงอิฐไปเข้าโกดังเก็บไว้เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

2.4 คุณสมบัติของมอร์ต้า

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2553) ได้กำหนดคุณสมบัติของมอร์ต้าสำหรับอาคารวัสดุก่อไว้ดังนี้

- 1) การวัดปริมาณวัสดุต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมตามที่กำหนดอยู่ตลอดเวลา ซึ่งอัตราส่วนผสมให้เป็นไปตามมาตรฐานสากลที่กำหนด
- 2) มอร์ต้าผสมจะต้องคลุกวัสดุผสมต่าง ๆ เข้าด้วยกันในเครื่องผสมที่ใช้เครื่องจักรกลเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 3 นาที ความชื้นเหลวของส่วนผสมจะต้องชื้นที่สุดเท่าที่จะใช้งานได้
- 3) ห้ามนำมอร์ต้าซึ่งทิ้งไว้จากการผสมครั้งแรกเริ่มก่อตัว หรือไม่ได้ใช้ภายใน 2.5 ชั่วโมงมาใช้เป็นอันตราย สำหรับมอร์ต้าซึ่งกระด้างเนื่องจากน้ำระเหยออกไป ให้ทำการผสมต่อเพื่อรักษาให้อยู่ในสภาพใช้ได้ แต่ทั้งนี้ต้องอยู่ภายในระยะเวลา 2.5 ชั่วโมง ดังกล่าว

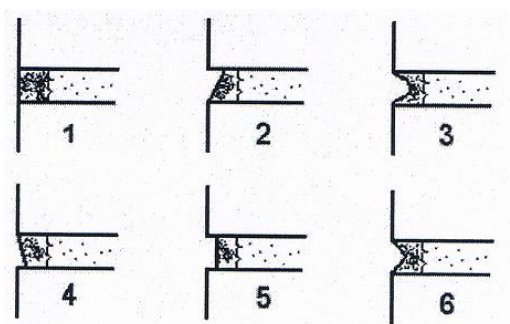
สำหรับชั้นและรอยต่อมอร์ต้าที่ใช้ในก้อนวัสดุต้นให้เรียบโดยขาดมอร์ต้าเต็มหน้า ทั้งรอยต่อทางหัวและทางราบ รอยต่อทางราบและทางตั้งต้องหนาไม่น้อยกว่า 9 มิลลิเมตร นอกจากนี้จะระบุเป็นอย่างอื่น รอยต่อทางตั้งจะต้องอัดให้แน่น สำหรับรอยต่อที่ผิวด้านนอกให้ปาดให้เรียบหลังจากอัดมอร์ต้าให้แน่นด้วยเครื่องมือรูปรีหรือกลม รอยต่อที่ผิวด้านในจะปาดมอร์ต้าให้เรียบหรือกำหนดให้เป็นอย่างอื่นก็ได้ รอยต่อของวัสดุก่อที่ไม่ฉาบปูนได้ระดับดินจะต้องใช้เกรียงอัดมอร์ต้าให้แน่น

Hendry และคณะ (1986) ได้แนะนำมอร์ต้าสำหรับวัสดุก่อว่าควรประกอบด้วยส่วนผสมของ ซีเมนต์ : ปูนขาว : ทราย ผสมเข้าด้วยกันตามมาตรฐาน BS 5628 สำหรับอิฐที่มีกำลังรับแรงค่อนข้างต่ำควรใช้มอร์ต้าที่อ่อน โดยมีส่วนผสม 1 : 2 : 9 โดยปริมาตรการกำหนดปริมาณน้ำที่ใช้ผสม ควรใช้ในปริมาณที่พอเหมาะ โดยให้ความแข็งแรงของมอร์ต้าเพียงพอตามต้องการและเหมาะสมกับการดูดซึมน้ำของอิฐจะทำให้มีประสิทธิภาพของการยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับอิฐต่ำลง นอกจากนี้ปริมาณน้ำยังมีผลกระทบต่อกำลังของมอร์ต้า ซึ่งจะส่งผลไปยังความสามารถในการรับแรงอัดของวัสดุก่อด้วย

2.5 รอยต่อของผนังอิฐก่อ

โดยทั่วไปแล้ว รอยต่อที่ใช้ในผนังอิฐก่อสามารถแบ่งได้เป็น 6 แบบ คือ

- 1) รอยต่อแบบ Flush joint
- 2) รอยต่อแบบ Weather joint
- 3) รอยต่อแบบ Concave tooled joint
- 4) รอยต่อแบบ Struck joint
- 5) รอยต่อแบบ Raked joint
- 6) รอยต่อแบบ “V” tooled joint



รูปที่ 2.1 รอยต่อของผนังก่ออิฐ

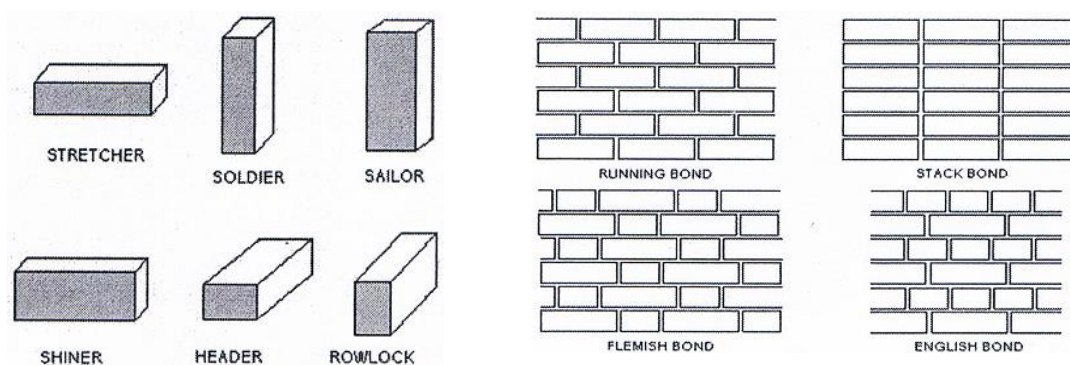
2.6 การวางอิฐและรูปแบบการเรียงอิฐ

2.6.1 การวางอิฐแบ่งออกเป็น 6 แบบ คือ

- 1) Stretcher
- 2) Header
- 3) Rowlock
- 4) Shiner
- 5) Soldier
- 6) Sailor

2.6.2 รูปแบบการเรียงสามารถเรียงได้ 4 แบบ คือ

- 1) Running bond
- 2) Stack bond
- 3) Flemish bond
- 4) English bond



รูปที่ 2.2 แบบการวางอิฐก่อ

รูปที่ 2.3 รูปแบบการเรียงอิฐก่อ

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการรับแรงอัดของวัสดุก่อ

Curtin และคณะ (1995) กล่าวว่า กำลังรับแรงอัดโดยรวมของวัสดุก่อขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ ประกอบด้วย

- 1) ความแข็งแรงของวัสดุได้แก่ ก้อนวัสดุก่อและมอร์ต้า และรวมถึงการควบคุมคุณภาพในการผลิต การก่อสร้าง
- 2) พื้นที่หน้าตัดของวัสดุก่อ
- 3) ความสูงและความหนาหรืออัตราส่วนความหนาของวัสดุก่อที่กำลังรับแรงอัดของก้อนวัสดุที่เท่ากันกำลังรับแรงอัดโดยรวมของวัสดุก่อจะขึ้นอยู่กับกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าโดยหลังรับแรงอัดของวัสดุก่อจะมีค่าใกล้เคียงกับกำลังของมอร์ต้า

ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีผลกระทบต่อกำลังของวัสดุก่อก็คือ ความหนาของรอยต่อ โดยที่ความหนาของรอยต่อที่ประสานด้วยมอร์ต้าที่หนาขึ้น จะทำให้กำลังของวัสดุก่อมีค่าลดลง

2.8 อิฐที่ใช้ในการก่อสร้างและบูรณะโบราณสถาน

ชาติชาย (2539) ได้ศึกษาตัวอย่างอิฐจากโบราณสถานต่างๆ ในเกาะเมืองพระนครศรีอยุธยา พบว่าอิฐส่วนใหญ่ในสมัยอยุธยา มีลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และชนิดทางจุลทรรศน์ ที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าวิธีการทำอิฐและชนิดดิน ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้มีความคล้ายคลึงกัน และมีความต่อเนื่องถ่ายทอดกันมาตลอดสมัยอยุธยา อย่างไรก็ตามมีตัวอย่างอิฐบางตัวอย่างเมื่อพิจารณาทางด้านโบราณคดีและสถาปัตยกรรมของโบราณสถานแล้ว น่าสงสัยว่าอาจจะเป็นอิฐคนละสมัยหรือเป็นอิฐที่นำมาเสริมเติมภายหลัง แต่ก็สามารถตรวจสอบได้อย่างชัดเจนโดยวิธีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ อีกประการหนึ่งคือ ผลการศึกษาองค์ประกอบของอิฐในปัจจุบันที่ยังมีการผลิตอยู่ที่บ้านลุมพลี บริเวณริมคลองสระบัว ซึ่งอยู่ด้านเหนือของเกาะเมืองอยุธยามีลักษณะคล้ายคลึงกับอิฐส่วนใหญ่ในสมัยอยุธยา แสดงให้เห็นถึงเทคโนโลยีการผลิตอิฐที่สืบทอดจากนั้นผลการวิเคราะห์อิฐโดยวิธี Thin Section พบว่าอิฐส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ไมก้า ซึ่งพบว่าเป็นแร่ที่ปะปนในดินชุดท่าม่วง และราชบุรีซึ่งเป็นดินเหนียวที่แพร่กระจายอยู่บริเวณสองฝั่งลำน้ำตอนบนของเกาะเมืองอยุธยาเท่านั้น แสดงให้เห็นชัดเจนว่าแหล่งผลิตอิฐแหล่งใหญ่ที่สุดในสมัยอยุธยาน่าจะเป็นบริเวณริมคลองสระบัว

สุคตชาย (2543) ได้ดำเนินการทดสอบหาความสามารถในการรับแรงของอิฐสมัยต่างๆ ที่ใช้ก่อสร้างโบราณสถานภายในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เพื่อหาแนวโน้มความเปลี่ยนแปลงกำลังแรงอัดของอิฐโบราณที่มีการผลิตในปัจจุบัน บริเวณริมคลองสระบัว ตำบลลุมพลี อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เปรียบเทียบกับตัวอย่างอิฐโบราณที่หลุดร่วงจากโบราณสถานที่สามารถประมาณอายุการก่อสร้างได้ ตามตารางที่ 2.5 และ 2.6

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่างอิฐโบราณ
ที่มา : สุธาชัย (2543) ดำเนินการทดสอบ

แหล่งตัวอย่าง	อายุโดย ประมาณ (ปี)	ขนาด (ซม.)			น้ำหนัก (กรัม)	หมายเหตุ
		กว้าง	ยาว	หนา		
1. อิฐบ้านลุมพินี	1	5.45	5.57	3.89	153	ผลิตในปัจจุบัน
		5.42	5.47	4.13	180	
		5.47	5.29	3.65	142	
2. อิฐภูเขาทอง	50	5.34	5.15	5.65	224	บูรณะในสมัย จอมพล ป. พิบูล สงคราม
		5.17	5.68	5.31	215	
		5.23	5.62	5.79	226	
3. อิฐวัดขุนแสน	130	5.11	5.15	3.86	139	บูรณะในสมัย พระบาทสมเด็จพระ จอมเกล้า เจ้าอยู่หัว
		5.39	5.650	4.43	190	
		5.29	5.50	4.58	185	
4. อิฐวัดหน้าพระเมรุ	145	5.09	5.18	3.83	149	สร้างในสมัย พระบาทสมเด็จพระ จอมเกล้า เจ้าอยู่หัว
		5.33	5.33	5.24	207	
		5.11	5.18	5.24	197	
5. อิฐวัดพระราม	240	4.79	4.51	4.88	121	บูรณะในสมัย พระบาทสมเด็จพระ จอมเกล้า เจ้าอยู่หัว บรมโกศ
		7.89	4.95	5.18	189	
		4.29	4.34	4.76	143	
6. อิฐวัดกุฎีดาว	285	5.57	5.41	4.17	176	เจดีย์ประธาน สร้างในสมัย สมเด็จพระ เจ้าอยู่หัว ท้ายสระ
		5.23	5.39	4.13	176	
		5.45	5.52	4.04	177	

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่างอิฐโบราณ (ต่อ)

ที่มา : สุธชาข (2543) ดำเนินการทดสอบ

แหล่งตัวอย่าง	อายุโดย ประมาณ (ปี)	ขนาด (ซม.)			น้ำหนัก (กรัม)	หมายเหตุ
		กว้าง	ยาว	หนา		
7. อิฐวัดสมณโกฏิ	310	5.31	4.84	4.62	177	สร้างในสมัย
		5.18	5.43	4.24	172	สมเด็จพระ
		4.82	4.90	4.44	160	นารายณ์มหาราช
8. อิฐวัดวรเชษฐาราม	385	4.38	5.95	4.28	166	สร้างในสมัย
		5.45	5.49	5.57	237	สมเด็จพระเอกา
		4.50	5.72	5.31	161	ทศรถ
9. อิฐป้อมเพชร	430	5.12	5.08	4.46	162	สร้างในสมัย
		5.24	5.31	4.48	164	สมเด็จพระมหา
		5.15	5.39	4.10	143	จักรพรรดิ

ตารางที่ 2.6 สรุปค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของอิฐโบราณจากการทดสอบ

ที่มา : สุธชาข (2543) ดำเนินการทดสอบ

แหล่งตัวอย่าง	หน่วย น้ำหนัก (ก./ซม. ³)	กำลังอัด ประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสความ ยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หมายเหตุ
1. อิฐบ้านลุมพินี	1.373	40.12	31,033	
2. อิฐภูเขาทอง	1.383	41.61	41,200	
3. อิฐวัดขุนแสน	1.403	57.19	26,633	
4. อิฐวัดหน้าพระเมรุ	1.359	39.54	42,400	
5. อิฐวัดพระราม	1.463	37.58	32,400	
6. อิฐวัดกุฎีดาว	1.457	44.01	32,450	

ตารางที่ 2.6 สรุปค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของอิฐโบราณจากการทดสอบ (ต่อ)

ที่มา : สุธชาข (2543) ดำเนินการทดสอบ

แหล่งตัวอย่าง	หน่วย น้ำหนัก (กก./ซม. ³)	กำลังอัด ประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสความ ยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หมายเหตุ
7. อิฐวัดสมณโกฏิ	1.475	50.12	37,033	
8. อิฐวัดวรเชษฐาราม	1.387	49.97	32,650	
9. อิฐป้อมเพชร	1.322	39.60	29,876	
10. อิฐพระปฐมเจดีย์	1.690	59.50	75,104	วร ศักดิ์ และ คณะ (2539)
11. อิฐภูเขาทอง (ยุคแรก)	1.584	67.50	25,482	สถาบันเทคโนโลยี แห่งเอเชีย, 2540

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของอิฐโบราณแยกตามกลุ่มอายุ

ที่มา : สุธชาข (2543) ดำเนินการทดสอบ

กลุ่ม	ช่วงอายุ (ปี)	กำลังอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสความยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)
1	1	40.12	31,033
2	50 – 200	46.11	36,744
3	200 – 350	43.90	33,961
4	350 - 410	44.79	31,263

2.9 มอร์ต้าที่ใช้ในการก่อสร้างและบูรณะโบราณสถาน

สมชาติ (2540) ปูนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดสำหรับโบราณสถานก็คือ ปูนแบบโบราณ ซึ่งหมักจากปูนขาวนั่นเอง เพราะมีความแข็งแรงพอประมาณ มีความพรุน และความยืดหยุ่นค่อนข้างสูงพอเหมาะสำหรับกำแพงอิฐโบราณสถาน ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน แตกต่างจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีความแข็งแรงและทึบตันสูง มีการหดตัวมากและขาดความยืดหยุ่น

การเตรียมปูนหมักแบบโบราณ มีขั้นตอนและรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การเตรียมปูนขาวเพื่อใช้ทำปูนหมัก เริ่มจากการเผาหินปูนด้วยความร้อนสูง เพื่อไล่คาร์บอนไดออกไซด์ หินปูนจะแตกออกเป็นก้อนสีขาวใหญ่บ้างเล็กบ้างเรียกว่า ปูนดิบ ซึ่งจะนำไปดำเนินการเป็นมอร์ต้าต่อไป

2) การหมักปูนดิบ ที่ทำให้ปูนดิบดูดน้ำ แล้วกลายสภาพเป็นปูนเหนียว ถ้าปูนดิบที่ได้มาจากโรงงานมีขนาดก้อนใหญ่เกินไป ให้เคาะออกเป็นก้อนเล็กๆ ก่อนหมัก เพื่อลดความรุนแรงจากปฏิกิริยาของก้อนปูนขาวในน้ำ นำปูนดิบไปแช่ในบ่อหมักปูน ใส่ น้ำในบ่อหมักให้สูงกว่าปูนประมาณ 2.5 เซนติเมตรเป็นอย่างน้อย เมื่อใส่ปูนดิบลงในน้ำแล้วจะเกิดปฏิกิริยาปูนแตกตัวอย่างรุนแรง น้ำและปูนร้อนจัดจนอุณหภูมิขึ้นสูงถึงจุดเดือด ให้กวนปูนอยู่เรื่อยๆ จนกว่าปฏิกิริยาหยุด และน้ำในบ่อหมักแห้งจะได้ปูนขาวเหนียว นำปูนขาวเหนียวขึ้นจากบ่อหมัก ล้างน้ำร้อนผ่านตะแกรงขนาดตา 5 มิลลิเมตร เพื่อกรองเอาสิ่งปนเปื้อนหรือก้อนปูนที่ไม่ทำปฏิกิริยาหรือก้อนปูนขนาดใหญ่ออกไป เก็บปูนขาวเหนียวนี้ไว้ได้น้ำ ให้น้ำอยู่สูงจากผิวปูนไม่น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร เป็นอย่างน้อย และหมักทิ้งไว้ประมาณ 14 วัน แต่ถ้าจะให้มีความเหนียวมากขึ้นต้องหมักไว้ 60 วันขึ้นไป ปูนหมักนี้สามารถหมักเก็บไว้เป็นปี ปูนหมักที่มีอายุการหมักนานๆ จะแข็งตัวแต่ก็สามารถนำมาใช้งานได้เมื่อผสมน้ำแล้วทำให้ได้ที่

3) การผสมปูนกับทราย เมื่อหมักปูนจนได้ระยะเวลาตามกำหนดแล้วให้นำปูนหมักมาผสมกับทรายและปูนซีเมนต์ขาวโดยปริมาตรดังนี้

ปูนซีเมนต์ขาว	1	ส่วน
ปูนหมักร่อนแล้ว	2	ส่วน
ทรายหยาบ	9	ส่วน

ผสมน้ำพอให้ปูนทรายเข้ากันดี จึงนำไปใช้ก่ออิฐ

2.10 การเสื่อมสภาพของมอร์ต้า

Bernard (1995) สรุปถึงการเสื่อมสภาพของวัสดุก่อสร้างว่าเกิดขึ้นจากสาเหตุหลายประการ ภูมิอากาศเป็นหนึ่งในสาเหตุพื้นฐานของการเสื่อมสภาพ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ ความเค้นที่เกิดขึ้นในวัสดุอาคารเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ขนาดของความเปลี่ยนแปลงทางมิติ
- 2) ความยืดหยุ่นของวัสดุ (elasticity of material)
- 3) ความสามารถของวัสดุที่จะแผ่ (creep) หรือไหลภายใต้น้ำหนัก
- 4) ค่าความต้านทานการเคลื่อนที่ของวัสดุโดยการเชื่อมต่อกับองค์ประกอบอื่น ๆ ของโครงสร้าง

Ashursi (1989) ได้สรุปวงจรของการเสื่อมสภาพของมอร์ต้าว่า มอร์ต้าที่ใช้ประสานวัสดุก่อที่ไม่มีการฉาบผิวปิดรอยต่อจะเริ่มเสื่อมสภาพในช่วงปีแรก ๆ ของการก่อสร้าง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ และจะเสื่อมสภาพมากขึ้นจากการกัดเซาะของน้ำฝนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หากมีการซ่อมวัสดุประสานอย่างไม่ถูกวิธีจะทำให้เกิดการแตกร้าวบริเวณรอยต่อเนื่องจากการหดตัวที่แตกต่างของมอร์ต้าที่ประสานเข้าไปใหม่

2.11 วัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย (Fiber-Reinforced Polymer Composite หรือ FRP Composite)

วัสดุคอมโพสิต (composite material) เป็นวัสดุที่ประกอบกันมากกว่า 2 ชนิดขึ้นไป สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (macroscopic) วัสดุที่ถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกันนั้นจะต้องมีคุณสมบัติที่ต่างกันอย่างชัดเจน และคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่ได้จะต้องมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากวัสดุที่ถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่ได้จะเป็นคุณสมบัติที่โดดเด่นของวัสดุที่ถูกนำมาประกอบ ถ้าเปรียบเทียบวัสดุคอมโพสิตประเภทพลาสติกเสริมเส้นใย (fiber-reinforced plastic หรือ FRP) กับคอนกรีตเสริมเหล็ก จะพบว่าเส้นใยทำหน้าที่เปรียบเสมือนเหล็กเสริมและพลาสติกทำหน้าที่เปรียบเสมือนคอนกรีต

ในปัจจุบันพลาสติกเสริมเส้นใย (fiber-reinforced plastic หรือ FRP) โดยเฉพาะแบบอีพ็อกซี (epoxy) เสริมเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) หรือเส้นใยเคฟลาร์ (kevlar fiber) หรือเส้นใยแก้ว (glass fiber) ได้ถูกนำมาใช้งานวิศวกรรมโยธาในหลายด้าน เช่น ใช้แทนเหล็กเสริมและเคเบิลใช้ในการเสริมกำลัง (strengthening) และซ่อมแซม (repair) โครงสร้างหรือองค์อาคารคอนกรีต

เสริมเหล็ก และใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างองค์อาคารและโครงสร้างต่างๆ โดยตรงโดยเฉพาะในงานที่ต้องการวัสดุที่มีอัตราส่วนของกำลังต่อน้ำหนักสูง มีน้ำหนักเบา และมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสภาวะแวดล้อมและสารเคมีได้ดี

2.12 ชนิดของเส้นใย (Fiber Reinforcement Type)

วัสดุเส้นใย fiber reinforcement ที่นิยมใช้ในงานเสริมกำลัง โดยทั่วไปคือมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ carbon fiber ,aramid fiber และglass fiber ซึ่งมีคุณสมบัติทางกล และทางเคมีที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.12.1 เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber)

เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีในอุณหภูมิสูง โดยทำให้เกิดการเรียงตัวของโมเลกุลคาร์บอนเป็นเส้นยาว และมีความแข็งแรงสูง มีความสามารถรับแรงดึงได้สูงถึง 10-15 เท่าของเหล็กกล้าที่มีขนาดเท่ากัน แต่จะมีความเปราะแตกหักได้ง่ายและไม่สามารถดัดงอที่มุม 90 องศาได้ เนื่องจากจะหักและไม่สามารถถ่ายแรงได้ เหมาะสมกับการเสริมกำลังโครงสร้างที่มีการบรรทุกน้ำหนักต่อเนื่องยาวนาน, โครงสร้างที่รับ cyclic load เช่นสะพาน, งานที่ต้องควบคุม deflection หรืองานที่ต้องการคุณภาพสูง เป็นต้น ซึ่งเส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) ที่ใช้กันจะมี 2 แบบ คือ

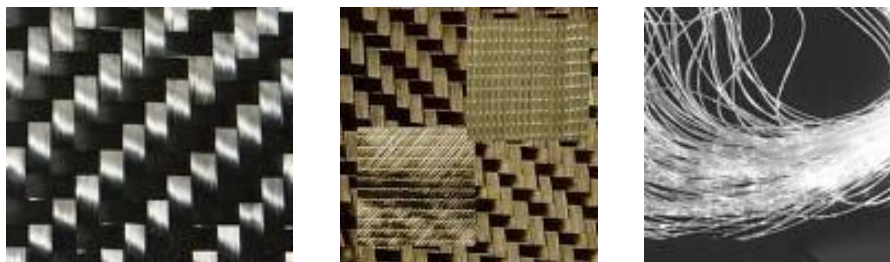
- 1) ชนิด High Tensile Strength จะใช้เสริมในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก
- 2) ชนิด High Modulus จะใช้เสริมในงานโครงสร้างเหล็ก

2.12.1 Aramid fiber หรือเส้นใยเคฟลาร์ (kevlar fiber)

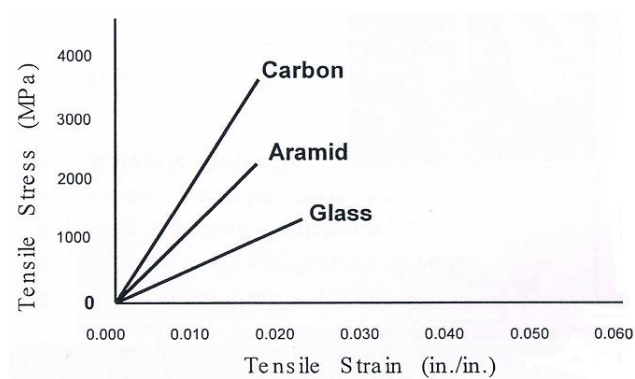
มักใช้งานที่ต้องการทั้งกำลังและความยืดหยุ่น ซึ่ง Aramid fiber จะสามารถทนแรงกระแทกได้ดี และสามารถงอ 90 องศาได้โดยไม่แตกหัก

2.12.2 เส้นใยแก้ว (Glass fiber)

เส้นใยแก้ว (Glass fiber) จะเหมาะสมกับการใช้งานแบบระยะสั้น-กลาง หรือไม่มีการใส่น้ำหนักต่อเนื่องยาวนาน (sustained load) เนื่องจากจะเกิดปัญหาจาก creep หากจะใช้ glass fiber ในงานระยะยาวควรควบคุมให้เกิด stress ไม่เกิน 20% ของ Ultimate tensile strength แต่เส้นใยแก้ว (Glass fiber) จะมีความเปราะแตกหักได้ง่ายและไม่สามารถดัดงอที่มุม 90 องศาได้ เนื่องจากจะหักและไม่สามารถถ่ายแรงได้



รูปที่ 2.4 ลักษณะเส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber), เส้นใยเคฟลาร์ (kevlar fiber), เส้นใยแก้ว (Glass fiber)

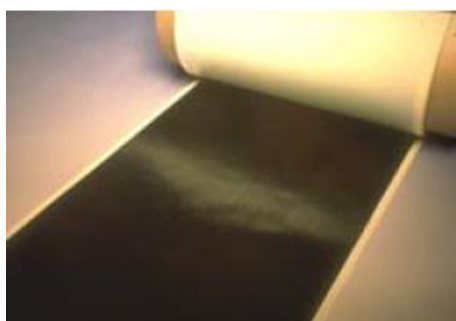


รูปที่ 2.5 Stress – Strain เส้นใย (Fiber Reinforcement)

2.12.3 ลักษณะหรือรูปแบบทั่วไปของเส้นใย (Fiber Reinforcement Form)

รูปแบบของ FRP ที่นิยมใช้งานอยู่ 3 ประเภท คือ

- 1) แบบแผ่นเส้นใย (Fiber Sheet)
- 2) แบบแผ่นแข็ง (Laminate, Plate)
- 3) แบบเส้น (Rod ,Bar)



รูปที่ 2.6 ลักษณะ Fiber Sheet

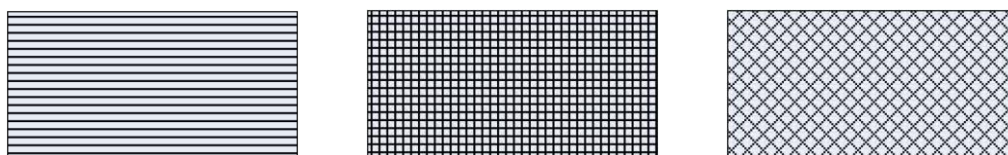


รูปที่ 2.7 ลักษณะ Laminate



รูปที่ 2.8 ลักษณะ Rod & Grid

Fiber Sheet จะมีรูปแบบการทอที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปงานเสริมกำลังคอนกรีตจะใช้รูปแบบจัดเรียงทิศทางเดียว (Unidirectional) เพื่อความสะดวกและประสิทธิภาพในการกำหนดทิศทางการรับแรง แต่ในบางกรณีอาจใช้รูปแบบการจัดเรียงแบบ 2 ทิศทาง (Bidirectional) เพื่อการกระจายแรง หรือเพื่อการรับแรงเฉือน ตามความเหมาะสม



รูปที่ 2.9 ลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยแบบ Unidirectional (0°), Bidirectional ($0^\circ+90^\circ$), Bidirectional (45°)

2.13 เรซิน (Resin)

2.13.1 หน้าที่หลักของเรซิน

เรซิน (Resin) มีหน้าที่หลัก 3 ประการ คือ ทำหน้าที่ยึดประสานเส้นใย (fiber) เข้าด้วยกัน, ถ่ายแรงระหว่างเส้นใย และป้องกันความเสียหายของเส้นใยจากสภาวะแวดล้อม โดยที่เรซินนั้นมีด้วยกัน 2 ประเภท คือ Thermoplastics เป็นเรซินที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ส่วนใหญ่จะใช้งานอุตสาหกรรม และเรซินประเภท Thermosets เป็นเรซินที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ อีกเรซินประเภทนี้จะใช้ในงานเสริมกำลัง

2.13.2 ชนิดของเรซิน (Resin Types)

- 1) Unsaturated Polyesters
 - Vinyl Esters (VE)
 - Orthophthalic Polyesters
 - Isophthalic Polyesters (Iso Polyesters)
- 2) Epoxies
- 3) Polyurethanes
- 4) Phenolics

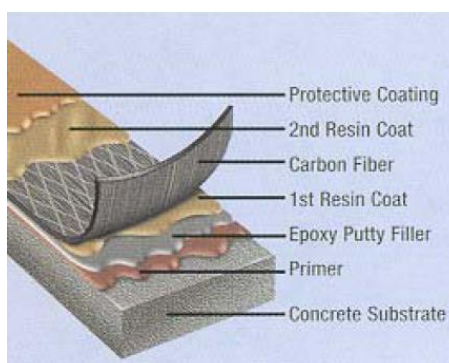
โดยทั่วไป Polyurethanes กับ Vinyl Esters (VE) จะเป็นวัสดุหลักที่ใช้ยึดเกาะใน Grass Fiber และ Polyurethanes กับ Epoxies จะเป็นวัสดุหลักที่ใช้ยึดเกาะใน Carbon Fiber และ Aramid Fiber ซึ่งเรซินชนิด Polyesters ไม่เหมาะสมกับ Carbon Fiber และ Aramid Fiber

2.13.3 การติดตั้ง Fiber-Reinforced Polymer (FRP)

ผิวของเส้นใย fiber จะมีกระบวนการ surface treatment ได้หลายวิธี ประสิทธิภาพในการยึดเกาะ และการเสริมกำลังจะขึ้นอยู่กับการยึดเหนี่ยว และการถ่ายหน่วยแรงระหว่างผิวชิ้นงาน และแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใย ซึ่งตัวแปรดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับการประกอบแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยเข้ากับผิวชิ้นงาน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

- 1) adhesive bonding แผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยที่ถูกลบและบ่มมาจากโรงงาน ถูกยึดเข้ากับผิวชิ้นงานโดยใช้กาวภายใต้ความดัน
- 2) wet lay-up ทาเรซินบนผิวชิ้นงานจากนั้นวางพลาสติกเสริมเส้นใยที่อยู่ในรูปของ fabric และใช้ลูกกลิ้งกลิ้งไปบน fabric เพื่อรีดให้กาวส่วนเกินไหลออกมาเพื่อก่อให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวที่สมบูรณ์

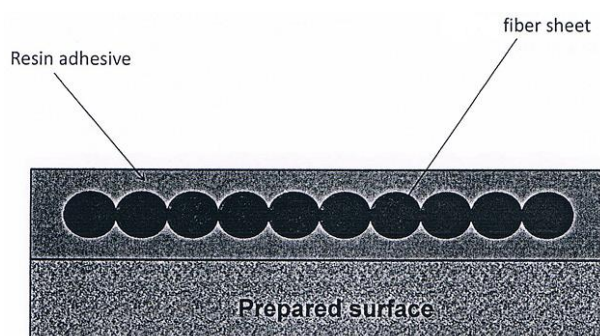
3) resin infusion จัดวาง fabric ลงบนพื้นที่ที่ต้องการเสริมกำลังจากนั้นทำการห่อพื้นที่ดังกล่าวด้วย vacuum bag และอัดเรซินให้ซึมเข้าไปใน fabric และให้ความดันแก่ vacuum bag เพื่อกดอัด fabric ให้สัมผัสกับผิวคอนกรีตอย่างแนบแน่นซึ่งวิธีการนี้จะทำให้เรซินซึมแทรกเข้าไปในรอยแตกของชิ้นงานด้วย



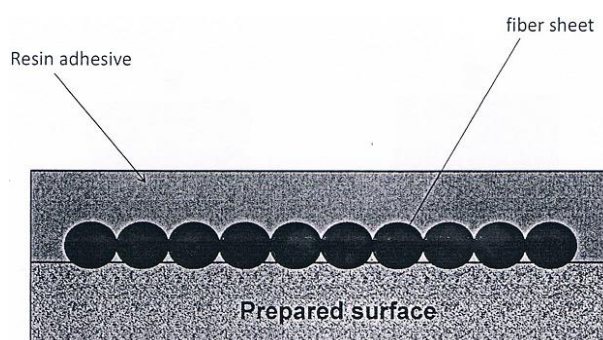
รูปที่ 2.10 การติดตั้ง Fiber-Reinforced Polymer (FRP)

ประสิทธิภาพของการเสริมกำลังในลักษณะนี้ จะขึ้นอยู่กับการใช้ชนิดของกาวยาที่เหมาะสม ซึ่งควรมีค่าความแข็งแรงและสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับชิ้นงาน และพลาสติกเสริมเส้นใยให้มากที่สุด

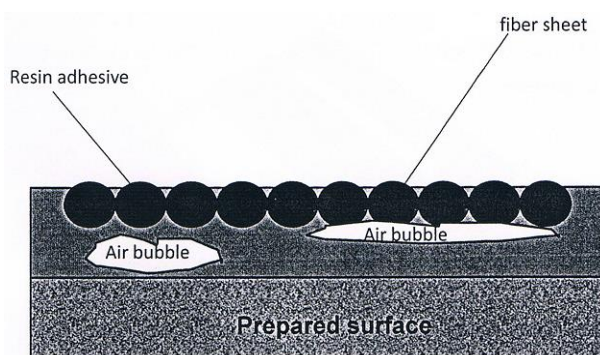
ในสามวิธีการติดตั้งแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยเข้ากับผิวชิ้นงานข้างต้น วิธีที่ซ้ำมากที่สุด เหมาะสมกับการก่อสร้างหน้างานที่สุด และถูกที่สุดคือ วิธี wet lay-up อย่างไรก็ตามเรซินที่ใช้ควรมีปริมาณที่เหมาะสมเพราะถ้ามากเกินไปจะทำให้ fabric ย่นได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพของการเสริมกำลังลดลงอย่างมาก นอกจากนั้นแล้ววิธีการนี้ อาจจะมีฟองอากาศเกิดขึ้นในเนื้อกาวยาได้เป็นจำนวนมากหากไม่มีการรีดกาวยด้วยลูกกลิ้งที่ดี ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้กาวยาเสื่อมสภาพได้ในเวลาอันสั้น วิธี resin infusion ในสนามเป็นวิธีการที่ค่อนข้างใหม่ที่ทำให้กาวยึดติดกับผิวคอนกรีตและ fabric ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.11 การติดตั้ง Fiber-Reinforced Polymer (FRP) อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.12 การติดตั้งโดยเส้นใย (Fiber Reinforcement) อยู่ด้านล่าง
เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการเสริมกำลังลดลง



รูปที่ 2.13 ฟองอากาศในเรซิน เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการเสริมกำลังลดลง

2.14 การออกแบบและข้อกำหนดรายละเอียด FRP

2.14.1 การกำหนดทิศทางของแรง

แรงใน fiber จะเป็นแรงดึง แนวแรงควรจะเป็นเส้นตรงในระนาบให้ มากที่สุด ในการออกแบบควรมีการกระจายแรงไปตาม fiber filament ที่ขนานกันอย่างสม่ำเสมอ การเปลี่ยน ทิศทางของแรงอย่างกะทันหันอาจทำให้เกิดความบกพร่องและเสียหายได้

2.14.2 การใช้ code และการกำหนด parameter ในการออกแบบ

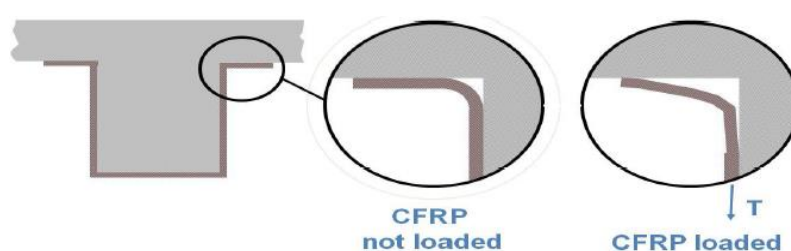
Design Manual ต่างๆ ที่มีในปัจจุบันจะมีลักษณะเป็น Guide line เท่านั้น เนื่องจาก วัสดุและวิธีการเสริมกำลัง มีความหลากหลาย และไม่มีมาตรฐานเป็นอันเดียวกัน นอกจากนี้ เงื่อนไขในการทำงาน (Working Conditions) มีความแตกต่างกันมากมายในแต่ละสถานการณ์ ดังนั้นผู้ออกแบบจึงต้องพิจารณาในการเลือกใช้ parameter ต่างๆให้เหมาะสมกับวัสดุกระบวนการ และสถานการณ์แต่ละกรณี และควรทำการทดสอบสมมติฐานที่ใช้ในการออกแบบทุกครั้ง

2.15 ข้อควรระวังในการออกแบบติดตั้ง Fiber-Reinforced Polymer (FRP)

- 1) จำนวนชั้น Layer ควรมีจำนวนชั้นที่น้อยที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงจากการเกิด Debonding โดยปกติไม่ควรเกิน 3 - 4 ชั้น เมื่อเสริมกำลังด้วย fiber sheet และ 1 ชั้นสำหรับแบบแผ่น laminate
- 2) ควรมีการกระจายแรงอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง โดยที่ stress ที่เกิดขึ้นจากการรับแรง ในแนวนอนกับผิวสัมผัสควรอยู่ในระดับที่ต่ำเท่าที่จะเป็นไปได้
- 3) ระยะ Development length จากตำแหน่งที่ต้องการเสริมกำลัง และการต่อทาบของแต่ละ Layer ต้องเพียงพอต่อการถ่ายเท และกระจายแรง ทั้งใน Flexural Strengthening และ Shear Strengthening
- 4) ควรพิจารณา Strain และ Deflection เพื่อป้องกันการ Debonding ทั้งนี้ Concrete society committee, UK แนะนำว่าโดยทั่วไป Strain ใน composites ไม่ควรเกิน 0.8% เมื่อรับน้ำหนักแบบ Uniformly distribute และ 0.6% เมื่อมี Shear และ Bending moment ในระดับสูง เช่นเมื่อรับน้ำหนัก Concentrate load และมี Hogging region ใกล้กับ support
- 5) ทิศทางของการเสริมกำลัง Unidirectional FRP จะสามารถรับแรงได้ดีเฉพาะใน ทิศทางการจัดเรียงเส้นใยเท่านั้น ส่วนในทิศทางตั้งฉากจะอ่อนแอกว่ามากหรือใช้ไม่ได้เลย
- 6) Bidirectional Fiber Sheet จะควบคุมแนวทิศทางแรงและคุณภาพการทำงานได้ยากกว่า การใช้ Unidirectional 2 ชั้นในทิศทางตั้งฉากกัน

7) โดยทั่วไป fiber จะรับแรงเป็นแนวเส้นตรง ในการออกแบบไม่ควรเปลี่ยนทิศทางของ fiber เช่น การหักมุมหรือดัดโค้งงอ หากจำเป็นก็ควรมีรัศมีความโค้งที่เพียงพอ หรือใช้การแยกส่วนแล้วต่อเข้ากับ fiber ในทิศทางใหม่ที่ต้องการ

8) ไม่ควรติดตั้ง FRP ผ่านมุมงอด้านใน (Inner Corner) เนื่องจากจะเป็นจุดเริ่มของการ Debonding



รูปที่ 2.14 ลักษณะการ Debonding บริเวณมุมงอด้านใน

9) การผสม Part A และ Part B ของ adhesive มักไม่ได้ใช้การชั่งตวงที่ถูกต้อง หรือใช้การประมาณส่วนผสมเอง (บางผู้ผลิตจะระบุอัตราส่วนผสมแบบอัตราส่วนน้ำหนัก ในขณะที่บางผู้ผลิตจะระบุแบบอัตราส่วนปริมาตร) การผสม Part B (Hardener) น้อยเกินไปจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีไม่สมบูรณ์ ในขณะที่ถ้า Part B มากเกินไปจะทำให้ resin แข็งตัวรวดเร็วและเกิดความร้อนสูงในขณะทำปฏิกิริยา ซึ่งอาจเปราะแตกได้

10) การใช้ Adhesive ที่มากเกินไปอาจทำให้แนวเส้นใย Fiber เกิดการเคลื่อนตัว และหย่อนในขณะที่ใช้ Adhesive ไม่เพียงพอ ก็จะทำให้เกิด Unsaturated Area ซึ่งจะทำให้การถ่ายเทแรงไม่สมบูรณ์ หรือเป็นจุดเริ่ม Debonding

11) วิธีการติดตั้งที่ไม่ถูกต้องหรือขาดความชำนาญ อาจทำให้เกิดโพรงช่องว่าง (Void) หรือเส้นใย fiber เกิดการหย่อนงอ ซึ่งอาจเป็นอันตรายโดยเฉพาะในบริเวณที่มี Stress สูง

12) การลบมุมที่ไม่เรียบร้อย หรือมีรัศมีความโค้งที่ไม่เพียงพอ จะทำให้บริเวณมุมมี stress สูง และ fiber อาจหักในขณะติดตั้ง หรือฉีกขาดในขณะรับแรง

2.16 พฤติกรรมของผนังอิฐก่อ (Masonry Wall) รับแรงกระทำด้านข้างแบบซ้ำไปซ้ำมา

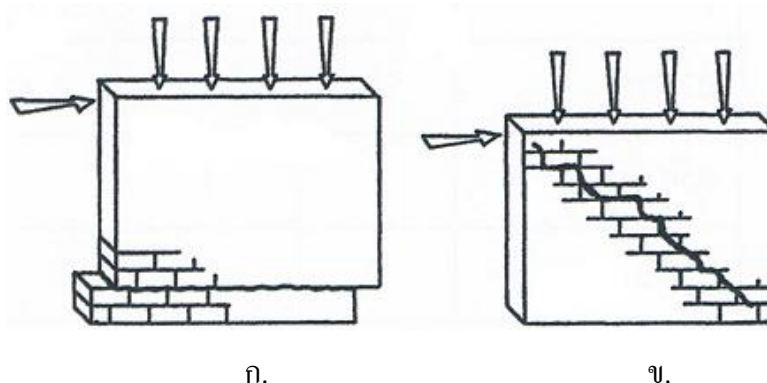
Miha Tomazevic (2008) เมื่อผนังอิฐก่อถูกแรงกระทำรวมกันทั้งทางด้านแนวดิ่งและแนวราบ พฤติกรรมของผนังอิฐก่อ นั้น จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความสูงต่อความกว้างของผนัง (height/length ratio), คุณสมบัติ และกำลังของอิฐก่อ นอกจากนี้ พฤติกรรมของผนังอิฐก่อ ยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress) ในผนังอิฐก่อ กับน้ำหนักที่กระทำ และกำลังอัดของอิฐก่อ เช่นเดียวกันกับผนังอิฐก่อเมื่อรับแรงด้านข้าง พฤติกรรมของผนังอิฐก่อจะขึ้นอยู่กับทิศทาง และขนาด ของแรงกระทำด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาผนังอิฐก่อรับแรงกระทำทางด้านข้าง และตัวแปรต่างๆ ดังกล่าวที่มีผลต่อพฤติกรรมของผนังอิฐก่อแล้ว อาจจะทำให้ผนังอิฐก่อวิบัติจนไม่สามารถต้านแรงกระทำได้ใน 2 กรณี ด้วยกันคือ

1) Shear Sliding failure จะเกิดขึ้นเมื่อเค้นอัดในแนวดิ่ง (Vertical compressive stresses) ที่เกิดขึ้นในผนังมีขนาดต่ำ และมอร์ต้าที่ใช้ในการก่ออิฐไม่มีคุณภาพ ดังรูปที่ 2.15 ก. ลักษณะการวิบัติเช่นนี้ นานๆ ครั้งจึงจะเกิดขึ้น ซึ่งจะพบบ่อยในส่วนล่างของผนัง

2) Diagonal tension shear failure จะเกิดรอยแตกบนผนังอิฐก่อจากด้านล่างของผนังขึ้นไปทางด้านบนผนังในแนวทแยง ดังรูปที่ 2.15 ข. ลักษณะการวิบัติเช่นนี้จะขึ้นอยู่กับ คุณภาพของอิฐก่อ และมอร์ต้า ลักษณะรอยแตกในแนวทแยงนี้อาจแบ่งได้อีกคือ

- รอยแตกตามรอยต่อของอิฐก่อ
- รอยแตกผ่าอิฐก่อ
- มีทั้งรอยแตกตามรอยต่อ และผ่าอิฐก่อ

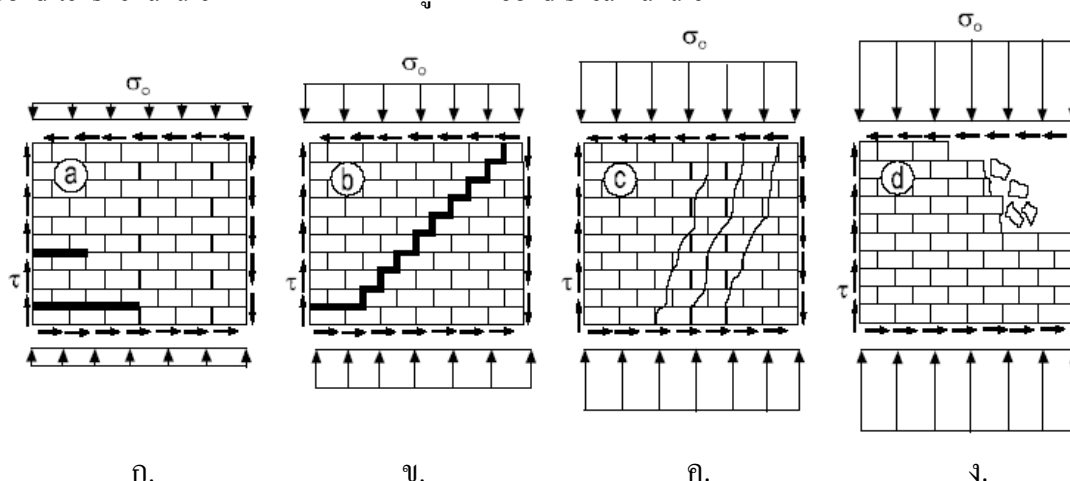


รูปที่ 2.15 ก. Shear Sliding failure, ข. Diagonal tension shear failure

Gero Marzahn (1996) การวิบัติในผนังอิฐก่อเนื่องจากแรงเฉือนสามารถแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะ ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ แรงเค้นเฉือนกับแรงเค้นอัดในแนวดิ่ง

- bond-tensile failure
- shear failure in the bed joint (bond shear failure)
- tension failure of the bricks
- compression failure of masonry

tension failure of the bricks และ compression failure of masonry ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของก้อนอิฐ, bond-tensile failure จะเกิดขึ้นเมื่อมีค่าสูงกว่า bond-shear failure



รูปที่ 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

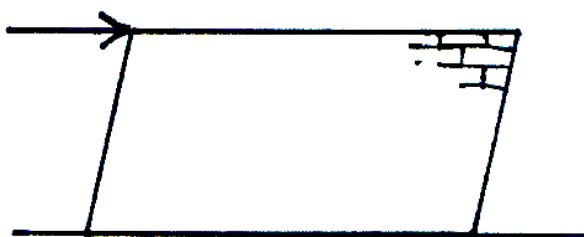
2.17 การทดสอบผนังอิฐก่อ (Masonry Wall) รับแรงกระทำด้านข้างแบบซ้ำไปซ้ำมา

การพิจารณาตัวแปรในการทดสอบผนังอิฐก่อ TNO report (2004) ได้กล่าวถึงตัวแปรหลายๆ ตัวที่พบในการทดสอบผนังอิฐก่อ ซึ่งได้แก่

- 1) ชนิดของอิฐก่อที่ใช้ก่อเป็นผนังอิฐก่อทดสอบ
- 2) ผนังอิฐก่อที่ช่องเปิด
- 3) ผนังอิฐก่อที่มี หรือไม่มีการเสริมกำลัง
- 4) ผนังอิฐก่อที่มี หรือ ไม่มีเฟรม (frame) ล้อมรอบผนังอิฐก่อ
- 5) ทิศทางในการกระจายน้ำหนัก

- 6) เงื่อนไขที่ด้านบนของผนังอิฐก่อ
- 7) ผนังอิฐก่อที่มี หรือไม่มี แรงกระทำกดทับในแนวดิ่ง
- 8) ชนิดของน้ำหนักระทำ (monotonic, cyclic, impact)

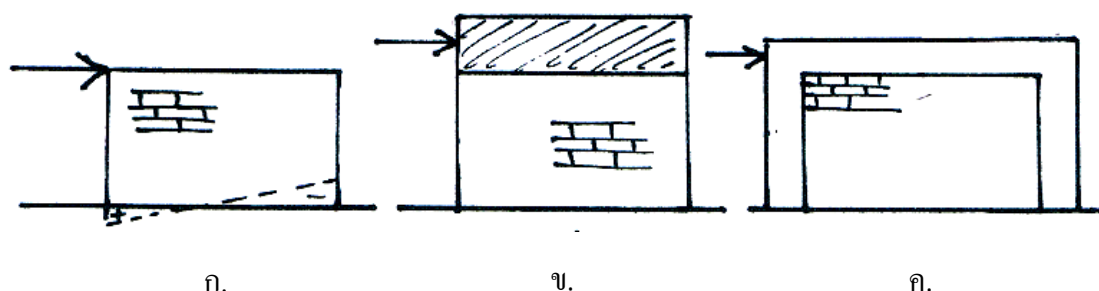
เงื่อนไขต่างๆ เหล่านี้ จะสามารถกำหนดลักษณะของการเกิดแรงเฉือน และการเสียรูปของผนังอิฐก่อทดสอบ ดังรูปที่ 2.17 โดยด้านบนของผนังอิฐก่อทดสอบจะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของแรงที่กระทำในแนวนอน



รูปที่ 2.17 การเสียรูปเนื่องจากแรงกระทำด้านข้างของผนังอิฐก่อทดสอบ

สำหรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในผนังอิฐก่อทดสอบนั้น เกิดจากการหมุนของผนังอิฐก่อทดสอบเนื่องจากแรงกระทำทางด้านข้าง และฐานด้านล่างของผนังอิฐก่อทดสอบยึดแน่น สำหรับการทดสอบจำเป็นต้องประยุกต์ใช้วิธีใดวิธีหนึ่งที่ด้านบนของผนังอิฐก่อทดสอบ ได้แก่วิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

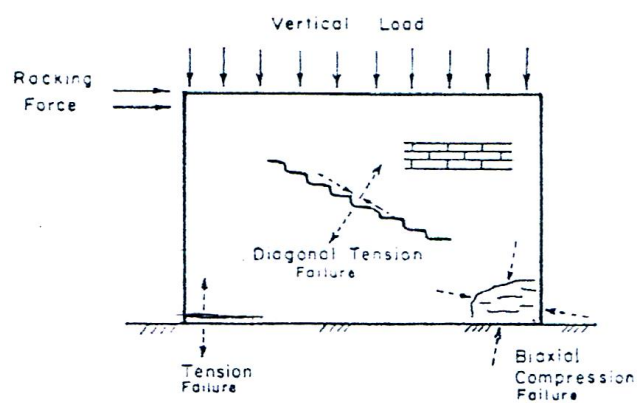
- 1) ให้แรงกระทำแบบจุด (concentrated) ที่ด้านข้างของผนังอิฐก่อ ดังรูปที่ 2.18 ก.
- 2) นำเอาคานที่มีความแข็งแรงมากไว้ที่ด้านบนของผนังอิฐก่อ ลักษณะเช่นนี้สามารถกระจายความเค้นเฉือน (shear stress) ด้านบนของผนังอิฐก่อทดสอบ ดังรูปที่ 2.18 ข.
- 3) ใช้คานที่มีความแข็งต่ำเปรียบเทียบกับให้เห็นความคล้ายกันกับผนังอิฐก่อทดสอบ
- 4) สร้างกรอบ (frame) ล้อมรอบผนังอิฐก่อทดสอบ



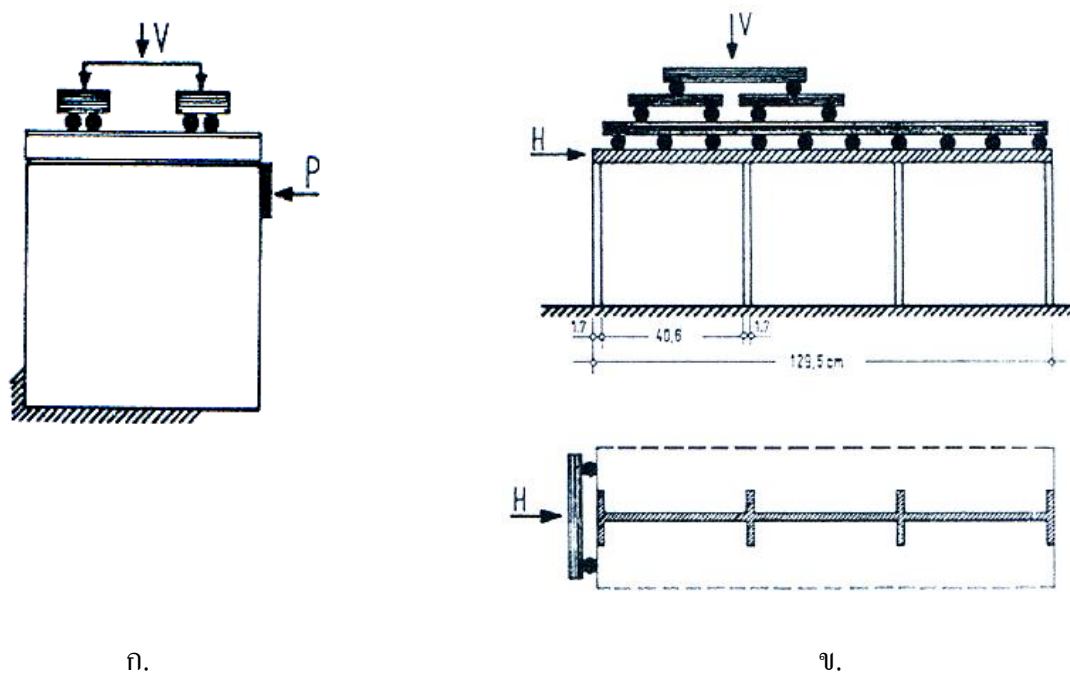
รูปที่ 2.18 ลักษณะผนังอิฐก่อในการทดสอบแบบต่างๆ

รูปที่ 2.18 ก. แสดงการเกิดโมเมนต์ที่ฐานด้านล่างของผนังอิฐก่อทดสอบ เนื่องจากแรงที่กระทำทางข้างกับผนังอิฐก่อทดสอบ การวิบัติเนื่องจากโมเมนต์ดังกล่าวจะเกิดแรงดึง (tensile strength) ที่บริเวณฐานของผนังอิฐก่อทดสอบ ดังรูปที่ 2.19 การวิบัติจากแรงดึง (tensile strength) นี้จะเกิดขึ้นในด้านที่แรงกระทำด้านข้างกระทำกับผนังอิฐก่อทดสอบ ในตำแหน่งใต้แรงกระทำดังกล่าวจากด้านบนถึงด้านล่างของผนังอิฐก่อทดสอบ

Simms และ Murthy ดำเนินการทดสอบผนังอิฐก่อในรูปที่ 2.20 ก. และ ข. ตามลำดับ โดยเป็นการประยุกต์ใช้น้ำหนักกดทับบนผนังอิฐก่อทดสอบเพื่อเป็นการลดทอนแรงเค้นดึง (tensile stress) ที่บริเวณฐานด้านล่างของผนังอิฐก่อทดสอบ หรือเพื่อเป็นการเปลี่ยนรูปจากแรงเค้นดึง (tensile stress) ให้เป็นแรงเค้นอัด (compressive stress) แต่ถ้าหากน้ำหนักที่กดทับบนผนังอิฐก่อทดสอบดังกล่าวมีขนาดมากเกินไป อาจจะทำให้ผนังอิฐก่อทดสอบเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงอัด (compressive strength) ได้ ซึ่งจะเกิดขึ้นด้านฝั่งตรงข้ามกับแรงกระทำด้านข้าง บริเวณตำแหน่งด้านล่างของผนังอิฐก่อทดสอบ

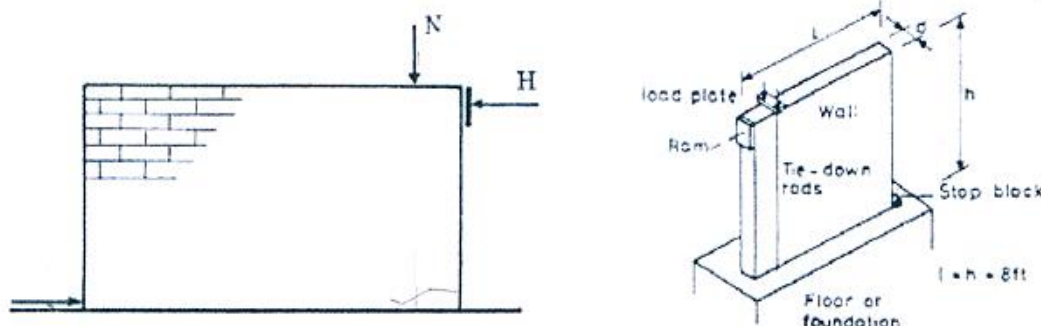


รูปที่ 2.19 ลักษณะผนังอิฐก่อทดสอบวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน



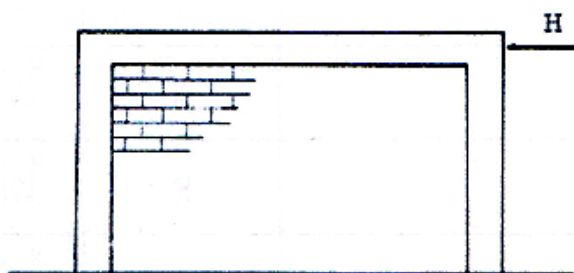
รูปที่ 2.20 ก. ลักษณะการทดสอบผนังอิฐก่อรับแรงด้านข้างโดย Simms,
 ข. ลักษณะการทดสอบผนังอิฐก่อรับแรงด้านข้างโดย Murthy

Monk ทดสอบแรงเฉือนในผนังอิฐก่อ โดยแรง N จะป้องกันการหมุนของผนังอิฐก่อ ทดสอบ ด้วยวิธีการเสริมเหล็กเส้นกลม (rebar, rods) ในแนวดิ่ง และวิ่งเหล็กจากด้านบน จนถึง ด้านล่างของผนังอิฐก่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 72-61 standard shear test ตามรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ลักษณะการเสริมเหล็กเส้นกลม (rebar, rods) ในแนวดิ่ง เพื่อป้องกันการหมุนของผนังอิฐก่อทดสอบ โดย Monk

Benjamin ,Williams และ Wood ทำการทดสอบผนังอิฐก่อ ด้วยการเสริมกรอบ (frame) โดยรอบผนังอิฐก่อทดสอบ ตามรูปที่ 2.22 ด้วยเหล็ก หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นการป้องกันการ หมุนผนังอิฐก่อทดสอบที่เป็นสาเหตุของการแรงเค้นดึง (tensile stress) ในผนังอิฐก่อทดสอบ ซึ่ง กรอบ (frame) ดังกล่าวจะเปลี่ยนรูปไปตามผนังอิฐก่อทดสอบด้วย ตามรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.22 การทดสอบผนังอิฐก่อ ด้วยการเสริมกรอบ (frame) โดยรอบผนังอิฐก่อทดสอบ โดย Benjamin ,Williams และ Wood

2.18 การตรวจสอบความกว้างของรอยร้าว

2.18.1 การตรวจวัดความกว้างของรอยร้าว

1) ความกว้างของรอยร้าว จะวัดโดยเกจวัดความกว้างของรอยร้าว (Crack Width Gauge) ซึ่งมีชนิดที่เป็นแผ่นพลาสติกใสที่มีเส้นขนาดความกว้างต่างๆ ใช้หาบวัดความกว้าง และที่ชนิดเป็นชุดแถบโลหะที่มีความหนาต่างๆ (Feeler Gauge) ใช้เสียบเข้าไปในรอยร้าวเพื่อวัดความกว้างของรอยร้าว

2) การวัดความกว้างของรอยร้าวด้วยเกจชนิดพลาสติกจะทำโดยการเอาแผ่นเกจทับกับรอยร้าวแล้วเลือกขนาดเส้นที่มีขนาดใกล้เคียงกับรอยร้าวมากที่สุด

3) การวัดความกว้างของรอยร้าวด้วยเกจชนิดแถบโลหะ (Feeler Gauge) จะทำโดยการลองเสียบแผ่นเกจ ลงในรอยร้าว โดยเริ่มจากขนาดเล็กไปสู่นขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถเสียบเข้ารอยร้าวได้ ความหนาสุดท้ายของแผ่นเกจที่เสียบได้ จะเป็นขนาดของรอยร้าว นั้น

ตารางที่ 2.8 สภาพความเสียหายของอาคารจำแนกตามความกว้างของรอยร้าวของผนังอิฐก่อ

สภาพความเสียหาย	ลักษณะความเสียหาย	ความกว้างของรอยร้าวโดยประมาณ
ไม่เสียหาย	รอยร้าวขนาดเส้นผม (Hairline Cracks)	< 0.1 มม.
น้อยมาก	รอยร้าวขนาดเล็ก สังเกตเห็นได้ยาก หากไม่ตรวจสอบอย่างดี รอยร้าวนี้ ไม่จำเป็นต้องแก้ไข และสามารถปกปิดได้เมื่อมีการทาสี	< 1 มม.
เล็กน้อย	มีรอยร้าวที่สามารถสังเกตเห็นได้ และอาจจำเป็นต้องตกแต่งโดยการยาปูน หน้าต่างและประตูอาจติดขัด	< 5 มม.
ปานกลาง	มีรอยร้าวที่จำเป็นต้องแก้ไขโดยกะเทาะรอยร้าวออกและยาปูนใหม่ บางครั้งอาจจะต้องรื้อผนังบางส่วนออก แล้วก่ออิฐใหม่ ประตูและหน้าต่างติดขัด และอาจมีการแตกของท่อที่ติดหรือฝังในผนังอากาศภายนอกพัดผ่านเข้าในอาคารผ่านรอยร้าวได้	5-15 มม. หรือมีหลายรอยร้าว กว้างเกิน 3 มม.

ตารางที่ 2.8 สภาพความเสียหายของอาคารจำแนกตามความกว้างของรอยร้าวของผนังอิฐก่อ (ต่อ)

สภาพความเสียหาย	ลักษณะความเสียหาย	ความกว้างของรอยร้าวโดยประมาณ
ร้าวแรง	มีรอยร้าวขนาดใหญ่หลายรอยที่ต้องแก้ไข โดยการทุบผนังทิ้งบางส่วน แล้วสร้างใหม่ โดยเฉพาะส่วนที่อยู่เหนือประตูและหน้าต่าง วงกบประตู และหน้าต่างปิดเบี้ยว สามารถสังเกตเห็นพื้นลาดเอียง ผนังเอียงไม่ได้ตั้งต่อฉาก และคานอาจสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนัก	15-20 มม. และขึ้นอยู่กับจำนวนรอยร้าว
ร้าวแรงมาก	มีรอยร้าวที่ต้องแก้ไขโดยด่วน โดยอาจต้องรื้อสร้างใหม่ทั้งหมดหรือบางส่วน เนื่องจากความสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักและผนังเอียงจนต้องค้ำยัน หน้าต่างแตก และโครงสร้างไม่มั่นคงปลอดภัย	> 25 มม. และขึ้นอยู่กับจำนวนรอยร้าว

ตารางที่ 2.9 ความกว้างของรอยร้าวที่ยอมให้ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

สถานะที่คอนกรีตสัมผัสกับสิ่งแวดล้อม	ความกว้างของรอยแตกที่ยอมให้เกิดขึ้นได้	
	(นิ้ว)	(มม)
อากาศแห้ง, มีการหุ้มป้องกัน	0.016	0.41
อากาศชื้น, ในดิน	0.012	0.30
สัมผัสกับสารเคมีสำหรับละลายน้ำแข็ง	0.007	0.18
น้ำทะเล, ละอองน้ำทะเล, เปียกสลับแห้ง	0.006	0.15
โครงสร้างเก็บกักน้ำ ¹⁾	0.004	0.10

หมายเหตุ 1) ไม่รวมท่อที่น้ำไม่รับแรงดัน

2.18.2 การวัดการขยายตัวและการหดตัวของรอยร้าว

1) การวัดการขยายและการหดตัวของรอยร้าว จะกระทำโดยใช้อุปกรณ์ ซึ่งได้แก่ มาตรวัดการขยายตัวและการหดตัวของรอยร้าว (Tell-Tale Crack Gauge) หรือหมุดวัดระยะที่ฝังอยู่ 2 ข้างของรอยร้าว เพื่อใช้วัดการเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างหมุด อุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีความทนทาน มีความละเอียดของการวัดไม่ต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร สำหรับการวัดด้วยไม้บรรทัด และไม่ต่ำกว่า 0.1 มิลลิเมตร สำหรับการวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และสามารถยึดติดคร่อมรอยร้าวอย่างมั่นคง

2) ไม้วัดการขยายตัวของรอยร้าวจะต้องยึดแน่นกับตัวผนังแต่ละข้างของรอยร้าว ไม่โยกคลอน และต้องให้สายใยอ่านอยู่ในแนวตั้งฉากกับไม้บรรทัดอ่าน

3) หมุดวัดระยะทางจะต้องถูกฝังอยู่ในแต่ละข้างของรอยร้าวอย่างมั่นคงแข็งแรง ไม่โยกคลอน และต้องมีระยะห่างระหว่างหมุดที่สามารถวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์อย่างสะดวก จำนวนหมุดที่วัดแต่ละชุดอาจมี 2 หรือ 3 จุด ขึ้นอยู่กับทิศทางการเคลื่อนที่สัมพันธ์ของโครงสร้างทั้งสองฝั่งของรอยร้าว