บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สิทธิชัย (2547) [1] พลาสติกเสริมเส้นใย โดยเฉพาะพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนถูกนำมาใช้ในการเสริมกำลัง และซ่อมแซมคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างแพร่หลายเนื่องจากความสะดวกและรวดเร็วในการดำเนินการ ไม่ทำให้รูปร่างของโครงสร้างเปลี่ยนแปลงมากนัก และมีความคงทนสูง การจัดวางและติดตั้งแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยเข้ากับองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก นอกจากนั้นแล้วการเสริมกำลังและซ่อมแซมดังกล่าวจะสามารถเพิ่มกำลังให้กับโครงสร้างเป็นอย่างมาก แต่การวิบัติขององค์อาคารที่ถูกเสริมกำลังและซ่อมแซมดังกล่าวจะต้องถูกกำหนดให้มีรูปแบบที่ค่อยเป็นค่อยไปและไม่รุนแรง (gradual and non-catastrophic failure) และจะต้องไม่เกินกำลังที่ยอมให้อย่างปลอดภัยของโครงสร้างเดิม เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับชีวิตและทรัพย์สิน

รัชนีวรรณ (2551) [2] พฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกในแนวแกนของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมกำลังด้วยการหุ้มคาร์บอนไฟเบอร์จะทำให้โครงสร้างเหนียวขึ้นและความสามารถในการรับแรงจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณและทิศทางของคาร์บอนไฟเบอร์ที่ใช้ในกรณีของเสาที่รับแรงในแนวแกนเพียงอย่างเดียว การหุ้มไฟเบอร์เป็นช่วงในแนวดิ่งจะไม่มีผลต่อกำลังมากเท่าการหุ้มในแนวราบ เนื่องจากการหุ้มในแนวราบจะโอบรัดคอนกรีตและทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นจากการถูกโอบรัด (Confinement) เสาจะมีค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนเพิ่มขึ้นประมาณ 14 % ของกำลังเม ในขณะที่การหุ้มเสาทั้งต้นจะให้กำลังที่เพิ่มขึ้นประมาณ 22-60 % ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัดเสา หน้าตัดเสาที่มีขนาดใหญ่จะได้รับผลของการโอบรัดน้อยกว่าหน้าตัดเล็ก เนื่องจากเสาขนาดเล็กเมื่อมีการลบมุมเพื่อติดตั้งคาร์บอนไฟเบอร์แล้วจะมีลักษณะเข้าใกล้เสากลมมากกว่าเสาที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้ประสิทธิภาพในการโอบรัดคอนกรีตมีมากกว่า

การเสริมโครงสร้างด้วยการติดหรือรัดด้วยวัสดุเสริมกำลัง เช่น แผ่นไฟเบอร์พลาสติกเสริมกำลัง วิธีนี้ไม่ทำให้น้ำหนักเดิมเพิ่มขึ้นและไม่ต้องยุ่งยากซับซ้อน ไม่ทำให้รูปร่างของโครงสร้างเปลี่ยนไปจากเดิมและเพิ่มความยืดหยุ่นของโครงสร้างได้ด้วย วัสดุไฟเบอร์ใยแก้วเสริมกำลังประกอบด้วยไฟเบอร์ซึ่งแทรกอยู่ในพอลิเมอร์เมทริกซ์จะแสดงคุณสมบัติหลายอย่าง ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการเสริมกำลังให้กับวัสดุโครงสร้างได้เป็นอย่างดี วัสดุไฟเบอร์พลาสติกเสริมกำลังจะสามารถรับแรงดึงได้สูงในทิศทางการเรียงตัวของไฟเบอร์ อย่างไรก็ตามวัสดุไฟเบอร์พลาสติกเสริมกำลังจะไม่แสดงจุดคราก แต่จะแสดงคุณสมบัติยืดหยุ่นจนกระทั่งฉีกขาด การตอบสนองของวัสดุ

ไฟเบอร์พลาสติกเสริมกำลังต่อแรงดึงในแกนจะเป็นแบบยืดหยุ่นเชิงเส้นกับความเครียดในแนวแกน ส่วนการตอบสนองของวัสดุไฟเบอร์พลาสติกเสริมกำลังต่อแรงอัดในแนวแกนจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของปริมาตรของไฟเบอร์ การวิบัติของวัสดุไฟเบอร์พลาสติกเสริมกำลังภายใต้แรอัดจะเกิดขึ้นเมื่อไฟเบอร์ถูกทำให้เคลื่อนที่ไปทางด้านข้าง ซึ่งพลาสติกเสริมกำลังต่อแรงที่ตั้งฉากกับแรงดึงนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของไฟเบอร์และเมทริกซ์ แรงกระทำระหว่างไฟเบอร์และเมทริกซ์และกำลังของพันธะระหว่างไฟเบอร์และเมทริกซ์ โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการต้านทานแรงที่ตั้งฉากกับแรงดึงนั้นจะมีค่าน้อย ส่วนความสามารถในการต้านทานแรงเฉือนของวัสดุไฟเบอร์พลาสติกเสริมกำลังนั้นไม่สามารถวัดได้โดยตรง โดยส่วนมากแล้วการวิบัติด้วยแรงเฉือนของวัสดุไฟเบอร์พลาสติกเสริมกำลังจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุเมทริกซ์เกิดการเคลื่อนที่ขนานกับไฟเบอร์

พอลิเมอร์เสริมใยคาร์บอน (Carbon Fiber Reinforced Polymer : CFRP) เป็นวัสดุที่มีกำลังดึงสูงมาก ไม่เกิดสนิม น้ำหนักเบา ทำให้มีการนำมาใช้เสริมกำลังโครงสร้างแพร่หลายมากขึ้น เช่น สะพาน อาคาร พื้นที่จอดรถ อย่างไรก็ตาม วัสดุนี้มีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น มีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้นตรง (linear elastic) จนวิบัติ ทำให้มีความเหนียวน้อย และมีราคาสูงกว่าเหล็กมากเมื่อเทียบตามน้ำหนักวัสดุ แต่ถ้าเทียบราคาต่อกำลังแล้วจะต่างกันน้อยลง นอกจากนั้น มีค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนไม่เท่ากับคอนกรีต และเมื่อมีอุณหภูมิสูงอาจเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติหรืออาจวิบัติได้ พอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Fiber-reinforced polymer, FRP) ได้กลายมาเป็นตัวเลือกในการใช้แทนเหล็กเส้นที่เสริมในคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา เนื่องจากวัสดุ FRP ซึ่งอาจเสริมด้วยเส้นใยชนิดต่างๆ เช่น คาร์บอน อารามิด (aramid) และแก้ว ไม่นำกระแสแม่เหล็ก และไม่ผุกร่อนเป็นสนิม จึงขจัดปัญหาเรื่องการเหนี่ยวนำกระแสแม่เหล็กไฟฟ้าและการเป็นสนิม และกำลังดึงที่สูงของมันทำให้เหมาะสำหรับแรงดึง อย่างไรก็ดีพฤติกรรมทางกลของการเสริมแรงด้วย RFP ต่างจากพฤติกรรมของเหล็กเสริมธรรมดา วัสดุ FRP มีพฤติกรรมแบบ anisotropic คือกำลังของมันขึ้นอยู่กับทิศทางกำลังดึงที่สูงของมันอยู่ในทิศทางของเส้นใยเท่านั้น จึงมีผลต่อกำลังเฉือนและแรงแบบเดือย (dowel action) ของแท่ง FRP และต่อการยึดเหนี่ยว (bond) ของแท่ง FRP ต่อคอนกรีต นอกจากนั้นการออกแบบต้องคำนึงถึงการที่แท่ง FRP ไม่คราก (yield) แต่ยืดหยุ่นจนขาดอย่างฉับพลันโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้าด้วย

2.2 อิฐที่ใช้ในการก่อสร้างและบูรณะโบราณสถาน

ชาติชาย (2539) [3] ได้ศึกษาตัวอย่างอิฐจากโบราณสถานต่างๆในเกาะเมือง
พระนครศรีอยุธยา พบว่าอิฐส่วนใหญ่ในสมัยอยุธยามีลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และชนิดทางจุลสัณฐานที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าวิธีการทำอิฐ และชนิดดินซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้มีความคล้ายคลึง

กัน และมีความต่อเนื่องถ่ายทอดกันมาตลอดสมัยอยุธยา อย่างไรก็ตามมีตัวอย่างอิฐบางตัวอย่างเมื่อพิจารณาทางด้านโบราณคดี และสถาปัตยกรรมแล้วน่าสงสัยว่าอาจจะเป็นอิฐคนละสมัยหรือเป็นอิฐที่นำมาเสริมเติมภายหลัง แต่ก็สามารถตรวจสอบได้อย่างชัดเจนโดยวิธีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ อีกประการหนึ่งคือ ผลการศึกษาองค์ประกอบของอิฐในปัจจุบันที่ยังมีการผลิตอยู่ที่บ้านลุมพี บริเวณริมคลองสระบัว ซึ่งอยู่ด้านเหนือของเกาะเมืองอยุธยามีลักษณะคล้ายคลึงกับอิฐส่วนใหญ่ในสมัยอยุธยา แสดงให้เห็นถึงเทคโนโลยีการผลิตอิฐที่สืบทอด นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์อิฐโดยวิธี Thin Section พบว่าอิฐส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ไมก้า ซึ่งพบว่าเป็นแร่ที่ปะปนในดินชุดท่าม่วงและราชบุรี ซึ่งเป็นดินเหนียวที่แพร่กระจายอยู่บริเวณสองฝั่งลำน้ำตอนบนของเกาะเมืองอยุธยาเท่านั้น แสดงให้เห็นชัดเจนว่าแหล่งผลิตอิฐแหล่งใหญ่ที่สุดในสมัยอยุธยาน่าจะเป็นบริเวณริมคลองสระบัว

สุดชาย (2543) [4] ได้ดำเนินการทดสอบหาความสมารถในการรับแรงของอิฐสมัยต่างๆ ที่ใช้ก่อสร้างโบราณสถานภายในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เพื่อหาแนวโน้มความเปลี่ยนแปลงกำลังแรงอัดของอิฐโบราณที่มีการผลิตในปัจจุบัน บริเวณริมคลองสระบัว ตำบลลุมพลี อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เปรียบเทียบกับตัวอย่างอิฐโบราณที่หลุดร่วงจากโบราณสถานที่สามารถประมาณอายุการก่อสร้างได้ ตามตาราง

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่างอิฐโบราณ [4]

แหล่งตัวอย่าง	อายุโดยประมาณ (ปี)	ขนาด (ซม.)			น้ำหนัก (กรัม)	หมายเหตุ
		กว้าง	ยาว	หนา		
1.อิฐบ้านลุมพลี	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	บูรณะในสมัยจอมพล ป. พิบูลสงคราม
		5.17	5.68	5.31	215	
		5.23	5.62	5.79	226	

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่างอิฐโบราณ [4] (ต่อ)

แหล่งตัวอย่าง	อายุโดยประมาณ (ปี)	ขนาด (ซม.)			น้ำหนัก (กรัม)	หมายเหตุ
		กว้าง	ยาว	หนา		
3.อิฐวัดขุนแสน	130	5.11	5.15	3.86	139	บูรณะในสมัย
		5.39	5.65	4.43	215	พระบาทสมเด็จ
		5.29	5.50	4.58	185	พระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว
4.อิฐวัดหน้าพระเมรุ	145	5.09	5.18	3.86	139	สร้างในสมัย
		5.33	5.33	5.24	207	พระบาทสมเด็จ
		5.11	5.18	5.24	197	พระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว
5.อิฐวัดพระราม	240	4.79	4.51	4.88	121	บูรณะในสมัย
		7.89	4.95	5.18	189	พระบาทสมเด็จ
		4.29	4.34	4.76	143	พระเจ้าอยู่หัวบรมโกศ
6.อิฐวัดกุฎีดาว	285	5.57	5.41	4.17	176	เจดีย์ประธานสร้างในสมัย
		5.23	5.39	4.13	176	สมเด็จพระเจ้าอยู่หัว
		5.45	5.52	4.04	177	ท้ายสระ
7.อิฐวัดสมณโกฏิ	310	5.31	4.84	4.62	177	สร้างในสมัย
		5.18	5.43	4.24	172	สมเด็จ
		4.82	4.90	4.44	160	พระนารายณ์มหาราช
8.อิฐวัดวรเชษฐาราม	385	4.38	5.95	4.28	166	สร้างในสมัย
		5.45	5.49	5.57	237	สมเด็จพระเอกาทศรถ
		4.50	5.72	5.31	161	
9.อิฐป้อมเพชร	430	5.12	5.08	4.46	162	สร้างในสมัย
		5.24	5.31	4.48	164	สมเด็จ
		5.15	5.39	4.10	143	พระมหาจักรพรรดิ์

ตารางที่ 2.2 สรุปค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของอิฐโบราณจากการทดสอบ [4]

แหล่งตัวอย่าง	หน่วยน้ำหนัก (ก./ซม.^{3})	กำลังอัดประลัย (กก./ซม.^{2})	โมดูลัสความยืดหยุ่น (กก./ซม.^{2})	หมายเหตุ
1. อิฐบ้านลุมพลี	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	
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	วรศักดิ์ และคณะ (2539)
11. อิฐภูเขาทอง (ยุคแรก)	1.584	67.50	25,482	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, 2540

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของอิฐโบราณแยกตามกลุ่มอายุ [4]

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

2.2.1 คุณสมบัติของอิฐที่ใช้ทดแทนอิฐโบราณ

คุณสมบัติเชิงกล และ ฟิสิกส์

ผศ.ดร.สิทธิชัย (2545) [7] อิฐดินเผาเป็นวัสดุเปราะ ที่มีกำลังรับแรงกดอัดที่ค่อนข้างสูง และมีกำลังรับแรงดึงต่ำโดย ASTMC62 ได้แบ่งอิฐดินเผาที่ใช้ในการก่อสร้างออกเป็น 3 เกรด คือ

1) severe weathering หรือ SW เป็นอิฐดินเผาที่ต้านทานการกัดกร่อนได้ดี และมีกำลังรับแรงกดอัดไม่น้อยกว่า 20.7 MPa จากค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบอิฐดินเผาอย่างน้อย 5 ก้อน

2) moderate weathering หรือ MW เป็นอิฐดินเผาที่ต้านทานการกัดกร่อนได้ปานกลาง และมีกำลังรับแรงกดอัดไม่น้อยกว่า 17.3 MPa จากค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบอิฐดินเผาอย่างน้อย 5 ก้อน

3) noweathering หรือ NW เป็นอิฐดินเผาที่มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนต่ำ มักใช้ภายในอาคาร และมีกำลังรับแรงกดอัดไม่น้อยกว่า 10.3 MPa จากค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบอิฐดินเผาอย่างน้อย 5 ก้อน

กำลังรับแรงอัดของอิฐดินเผาขึ้นอยู่กับชนิดของดินเหนียวที่ใช้ในการผลิตกรรมวิธีการผลิต และระดับการถูกเผา ได้แก่ อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้โดยทั่วไปแล้วกำลังรับแรงอัดของอิฐดินเผา จะมีค่าสูงกว่าที่ได้กำหนดตามมาตาฐาน ASTM มาก และสำหรับอิฐที่ทำจากดินเหนียวชนิดเดียวกัน และกรรมวิธีการผลิตที่เหมือนกันแล้วอิฐที่ถูกเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า และเป็นเวลาที่นานกว่าจะเป็นอิฐที่มีกำลังสูง

เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การอิ่มตัว เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความคงทนแข็งแรง และกำลังของอิฐดินเผา เนื่องจากถ้าอิฐมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การอิ่มตัวที่ต่ำแล้วอิฐดังกล่าวจะมีความพรุนน้อยกว่าอิฐที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและค่าสัมประสิทธิ์การอิ่มตัวที่สูงกว่า โดยทั่วไปแล้วอิฐที่ทำจากดินเหนียวชนิดเดียวกัน และกรรมวิธีการผลิตที่เหมือนกันแล้วอิฐที่ถูกเผาด้วยอุณหภูมิสูงกว่า และเป็นเวลานานกว่าจะเป็นอิฐที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การอิ่มตัว

2.2.2 มาตรฐานขนาดของอิฐ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 77-2545 อิฐก่อสร้างสามัญ (Building Bricks) ไว้ 2 ขนาด คือ อิฐขนาดเล็ก และ อิฐขนาดใหญ่

อิฐขนาดเล็กคือ อิฐที่มีลักษณะทรงสีเหลี่ยมตันทำด้วยมือ หรือ เครื่องจักร ที่ใช้ในงานโครงสร้างทำจากดินในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา หรือจังหวัดอื่นใกล้เคียง

อิฐขนาดใหญ่ คือ อิฐที่มีลักษณะทรงสี่เหลี่ยมตันใหญ่ทำด้วยมือ หรือ เครื่องจักร ที่ใช้ในงานโครงสร้างทำจากดินในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา หรือ จังหวัดอื่นใกล้เคียง แรงอัด (Compressive Strength) ตามเกณฑ์ดังตารางที่ 2.2.4

ตารางที่ 2.4 กำลังอัดของวัสดุก่อ (ที่มา: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 2535) [5]

ประเภทที่	ยาวxกว้างxหนา เซนติเมตร	แรงอัดต่ำสุดกก./ตร.ซม.	การดูดซึมน้ำสูงสุดร้อยละของน้ำหนักอิฐ
1	14.0x6.5x4.0	35.7	25
	16.0x6.5x4.0	35.7	25
	19.0x9.0x4.0	35.7	25
2	19.0x9.0x6.5	152.8	15
	19.0x9.0x9.0	152.8	15

2.2.3 ขั้นตอนการผลิตอิฐ

ผศ.ดร.สิทธิชัย (2542) [7] จากการที่ออกไปสำรวจสถานที่ผลิตอิฐ กรรมวิธีในการผลิตมีขั้นตอนดังนี้

การเลือกดิน

ดินที่ใช้ทำอิฐชนิดนี้จะเป็นดินที่ไม่มีทรายเจือปนมากเกินไป และไม่เป็นดินเหนียวมากเกินไปถ้าดินมีทรายมาก จะทำให้อิฐนั้นร่อน และร่วน และถ้าดินเป็นดินเหนียวมากเกินไปเมื่อนำไปตากแดด จะเกิดการแตกร้าวค่อนข้างสูง

การขุดดินและย่ำดิน

ทำการขุดดิน และทำการแยกเอาเศษไม้หรือสารอินทรีย์ที่เจือปนอยู่ออกให้หมด จากนั้นทำการผสมแกลบ ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรของดิน และย่ำดินให้ละเอียด และให้เข้ากันดีในขั้นตอนนี้ถ้าดินมีลักษณะที่แห้งจนเกินไป ก็ให้เติมน้ำได้ตามสมควรพอที่จะทำการย่ำดิน และเทลงในแบบได้สะดวก

การพิมพ์แบบ

แบบที่ใช้ในการหล่อดินให้เป็นแผ่นอิฐจะเป็นแบบที่ทำด้วยไม้ 4 ด้าน โดยจะมีเฉพาะด้านข้าง (ไม่มีส่วนบนและส่วนล่าง) ไม้ที่ทำแบบเป็นไม้ที่ทนทานต่อน้ำและความชื้นผิวด้านในใส

เรียบขนาดของแบบจะใหญ่กว่าขนาดของอิฐที่ต้องการ ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากดินที่ตากแห้งแล้ว จะมีขนาดที่เล็กลงในขั้นตอนนี้เริ่มต้นทำการจุ่มแบบลงในน้ำแล้ววางแบบลงบนพื้นราบจากนั้นนำดินเหนียวที่ผสมได้ที่แล้วเทลงในแบบ และทำการอัดดินโดยใช้ไม้ตบดินให้แน่นโดยทั่ว สุดท้ายปาดดินส่วนเกินออกให้เรียบเสมอไม้แบบ และยกแบบออกจากก้อนดิน

การตากแดด

เมื่อถอดแบบออกแล้วนำก้อนดินไปตากแดดให้แห้งสนิทซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการตากแดดจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลถ้าทำในฤดูแล้งอาจใช้เวลาประมาณ 3-5 วันในฤดูอื่นๆ อาจจะต้องใช้เวลาประมาณ 7-8 วันในขั้นตอนนี้ต้องระวังอย่าให้ก้อนดินถูกฝน

การถากแต่งก้อนดิน

เมื่อก้อนดินแห้งสนิทแล้วจะเห็นได้ว่าส่วนข้างๆของก้อน จะไม่เรียบจึงต้องใช้มีดถากแต่งก้อนดินก่อนที่จะนำเข้าเตาเผาอิฐเพื่อให้ได้รูปร่างที่เรียบ และสม่ำเสมอกันทุกก้อน

การเผาอิฐ

ตกแต่งก้อนดินแล้วนำก้อนดินมาวางกองเป็นแถวแถวหนึ่งกว้างเท่ากับก้อนดินที่จะทำการเผาโดยเว้นระยะระหว่างแถวให้เท่าๆ กันเพื่อที่จะใส่แกลบลงไปในช่องว่างระหว่างแถวได้โดยง่าย โดยทั่วไปแล้วกองของดินจะมีความกว้างประมาณ 4 เมตรยาวประมาณ 6 ถึง 7 เมตร และสูง ประมาณ 1.6 เมตร เมื่อกองเสร็จเรียบร้อยแล้วนำก้อนอิฐที่เผาสุกแล้วมาล้อมรอบกองดินทั้ง 4 ด้านเพื่อกันความร้อนไม่ให้กระจายออกไปจากกองดิน ในขณะเผาได้ระดับอยู่เสมอทำการเผาอิฐเป็นเวลานานประมาณ 15 วันจากนั้นรอจนอิฐเย็นตัวลงสู่อุณหภูมิปกติแล้วทำการลำเลียงอิฐไปเข้าโกดังเก็บ

นายสุดชาย (2543) [4] วัสดุที่ใช้ในการทำได้แก่ ดินเหนียว และวัสดุอื่นๆ เช่น ทราย โดยใช้ดินเหนียวผสมกับทราย ย่ำผสมน้ำ อัดลงแบบไม้ ปาดให้เรียบ แล้วยกแบบไม้ออก หรือนำเข้าเครื่องนวด อัด รีดออกมาเป็นแท่งยาว ตัดด้วยลวดเป็นก้อนขนาดใหญ่กว่าแผ่นอิฐเล็กน้อย ผึ่งก้อนดินที่เตรียมไว้นี้ให้มีความชื้นพอสมควร นำเข้าเครื่องอัดให้แน่นเป็นก้อนอิฐตามขนาดที่ต้องการ ผึ่งให้แห้งแล้วจึงนำเข้าเตาเผา

คุณลักษณะที่ต้องการของอิฐทดแทนอิฐโบราณดังนี้ คือ

1) เผาสุก และมีสีสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น
2) มีความแข็งแรง ทนทาน ตามเกณฑ์
3) มุมทุกมุมควรเป็นมุมฉาก
4) รูปร่าง และขนาดสม่ำเสมอกัน
5) เนื้อแน่น และไม่มีรอยร้าว

ชาติชาย (2539) [3] ได้ศึกษาตัวอย่างอิฐจากโบราณสถานต่างๆ ในเกาะเมืองพระนครศรีอยุธยา หรือ จังหวัดอื่นใกล้เคียงพบว่าอิฐส่วนใหญ่ในสมัยอยุธยา มีลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และชนิดจุลสัณฐาน ที่ใกล้เคียงกัน อีกประการหนึ่ง ผลการศึกษาองค์ประกอบของอิฐในปัจจุบันที่ยังมีการผลิตอยู่ที่บ้านลุมพลี บริเวณริมคลองสระบัว ซึ่งอยู่ด้านเหนือของเกาะเมืองพระนครศรีอยุธยา หรือ จังหวัดอื่นใกล้เคียง มีลักษณะคล้ายคลึงกับอิฐส่วนใหญ่ในสมัยอยุธยา

สมชาติ (2540) [6] ปูนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดสำหรับโบราณสถานก็คือ ปูนแบบโบราณ ซึ่งหมักจากปูนขาว เพราะมีความแข็งแรงพอประมาณ มีความพรุน และความยืดหยุ่นค่อนข้างสูงพอเหมาะสำหรับกำแพงก่ออิฐโบราณสถาน ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันแตกต่างจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีความแข็ง และทึบตันสูง มีการหดตัวมากอีกทั้งขาดความยืดหยุ่น

การบ่มอิฐ

อายุมาตรฐานของชิ้นงานที่ทดสอบ คือ 28 วัน แต่ถ้าหากได้มีการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของวัสดุก่อที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน แล้ว ก็อาจใช้การทดสอบที่อายุ 7 วันแทนได้

2.2.4 การดูดซึมน้ำของอิฐ

อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นต่อการสร้างอาคาร บ้านพักอาศัย ฯลฯ เนื่องจาก ราคาถูก แข็งแรง ทนทาน และสามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย เพราะวัสดุหลักที่นำมาใช้ทำอิฐ คือ ดินเหนียว ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย อิฐจะถูกนำมาใช้ทำผนังของอาคาร ก่อเรียงกันในแนวตั้ง เพื่อใช้สำหรับบังแดด กันฝน ฯลฯ หากอิฐมีคุณสมบัติที่ไม่ดีพอ จะทำให้น้ำสามารถดูดซึมผ่านเข้าไปในผนัง สร้างความเสียหายให้กับอาคารได้

ความสามารถในการดูดซึมน้ำของอิฐอาจขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลักคือ คุณสมบัติของดินเหนียวที่นำมาใช้ทำอิฐและกรรมวิธีการผลิตอิฐ ในด้านคุณสมบัติของดินเหนียวซึ่งเป็นวัสดุตามธรรมชาติที่มีอยู่ทั่วไปในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย แต่ละแหล่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป เช่น ดินเหนียวปนดินทรายจะสามารถดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าดินเหนียวปนดินโคลน หรืออาจพูดได้ว่าดินเหนียวที่มีช่องว่างในเม็ดดินมากจะสามารถดูดซึมน้ำได้น้อย นั่นก็หมายความว่าน้ำสามารถซึมผ่านได้เร็วขึ้น ส่วนในด้านกรรมวิธีการผลิตอิฐซึ่งสามารทำได้ทั้งด้วยมือ และเครื่องจักร การทำให้อิฐแน่นย่อมมีวิธีที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การดูดซึมน้ำของอิฐที่ทำด้วยวิธีต่างๆ แตกต่างกันออกไปด้วย ในทางวิศวกรรมจึงต้องทำการหาค่าการดูดซึมน้ำของอิฐที่ใช้ในงานก่อสร้างว่าสามารถดูดซึมน้ำได้มากน้อยเพียงใด

อิฐทั่วไปที่มีในประเทศไทยมีหลายประเภท เช่น อิฐมอญ อิฐทนไฟ อิฐมวลเบา ฯลฯ นำไปใช้ประโยชน์ในด้านที่แตกต่างกัน สำหรับในการทดสอบนี้จะกล่าวถึงอิฐมอญต้นที่ทดแทนอิฐโบราณ

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

วัสดุคอมโพสิต (composite material) เป็นวัสดุที่ประกอบกันมากกว่า 2 ชนิดขึ้นไปสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (macroscopic) วัสดุที่ถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกันนั้นจะต้องมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน และคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่ได้จะต้องมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากวัสดุที่ถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่ได้จะเป็นคุณสมบัติที่โดดเด่นของวัสดุที่ถูกนำมาประกอบ ถ้าเปรียบเทียบวัสดุคอมโพสิตประเภทพลาสติกเสริมเส้นใย (fiber-reinforced plastic หรือ FRP) กับคอนกรีตเสริมเหล็กจะพบว่า เส้นใยทำหน้าที่เปรียบเสมือนเหล็กเสริม และพลาสติกทำหน้าที่เปรียบเสมือนคอนกรีต

ในปัจจุบันพลาสติกเสริมเส้นใย (fiber-reinforced plastic หรือ FRP) โดยเฉพาะแบบอีพ็อกซี (epoxy) เสริมเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) หรือเส้นใยเคฟลาร์ (kevlar fiber) หรือเส้นใยแก้ว (glass fiber) ได้ถูกนำมาใช้งานวิศวกรรมโยธาในหลายด้าน เช่น ใช้แทนเหล็กเสริมและเคเบิลใช้ในการเสริมกำลัง (strengthening) และซ่อมแซม (repair) โครงสร้างหรือองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก และใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างองค์อาคาร และโครงสร้างต่างๆ โดยตรงโดยเฉพาะในงานที่ต้องการวัสดุที่มีอัตราส่วนของกำลังต่อน้ำหนักสูง มีน้ำหนักเบา และมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสภาวะแวดล้อม และสารเคมีได้ดี

2.3.1 ชนิดของเส้นใย (Fiber Reinforcement Type)

วัสดุเส้นใย fiber reinforcement ที่นิยมใช้ในงานเสริมกำลังโดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ carbon fiber ,aramid fiber และglass fiber ซึ่งมีคุณสมบัติทางกล และทางเคมีที่แตกต่างกันดังนี้

เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber)

เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีในอุณหภูมิสูง โดยทำให้เกิดการเรียงตัวของโมเลกุลคาร์บอนเป็นเส้นยาว และมีความแข็งแรงสูง มีความสามารถรับแรงดึงได้สูงถึง 10-15 เท่าของเหล็กกล้าที่มีขนาดเท่ากัน แต่จะมีความเปราะแตกหักได้ง่ายและไม่สามารถดัดงอที่มุม 90 องศาได้ เนื่องจากจะหัก และไม่สามารถถ่ายแรงได้ เหมาะสมกับการเสริมกำลังโครงสร้างที่มีการบรรทุกน้ำหนักต่อเนื่องยาวนาน ,โครงสร้างที่รับ cyclic load เช่นสะพาน,

งานที่ต้องควบคุม deflection หรืองานที่ต้องการคุณภาพสูง เป็นต้น ซึ่งเส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) ที่ใช้กันจะมี 2 แบบคือ

ชนิด High Tensile Strength จะใช้ใช้เสริมในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชนิด High Modulus จะใช้เสริมในงานโครงสร้างเหล็ก

เส้นใยแบบ Aramid fiber

มักใช้งานที่ต้องการทั้งกำลัง และความยืดหยุ่น ซึ่ง Aramid fiber จะสามารถทนแรงกระแทกได้ดี และสามารถงอ 90 องศาได้โดยไม่แตกหัก

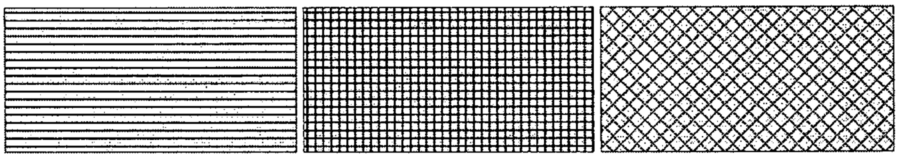
แผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยแก้ว (glass Fiber Reinforced Plastic)

การค้นพบ และ พัฒนาทางด้านพลาสติกเสริมแรงนี้เริ่มต้นจากโพลีเอสเตอร์ก่อนพบในปลาย ปี ค.ศ. 1940 และ ต้น ค.ศ. 1940 ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 จึงทำให้เกิดคำว่า Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP) หรือ Glass Reinforced Plastic (GRP) โดยส่วนใหญ่อ้างถึงโพลีเอสเตอร์ แรซิ่น และเส้นใยแก้ว การใช้งานของวัสดุเสริมแรงนั้นมีมากขึ้นในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 พลาสติกเสริมแรงในสมัยนั้น ถูกนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ด้านอากาศยาน และเกราะป้องกันกระสุน เนื่องจากคุณสมบัติของเส้นใยแก้วมีการพัฒนาให้แข็งแรงขึ้น ในปัจจุบันวัสดุเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย

ลักษณะหรือรูปแบบทั่วไปของเส้นใย (Fiber Reinforcement Form)

รูปแบบของ FRP ที่นิยมใช้งานอยู่ 3 ประเภท คือ แบบแผ่นเส้นใย (Fiber Sheet) แบบแผ่นแข็ง (Laminate, Plate) และแบบเส้น (Rod ,Bar)

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



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยแบบ Unidirectional (0°) ,Bidirectional (0°+90°), Bidirectional (45°) [6]

2.3.2 ข้อพิจารณาเกี่ยวกับเส้นใย

คุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยขึ้นอยู่กับทิศทางในการวัดเทียบกับทิศทางการวางตัวของเส้นใย กำลังรับแรงดึง และมอดูลัสแรงดึงของแผ่นเสริมกำลังชนิดเส้นใยทิศทางเดียว (Unidirectionally Reinforced Laminate) จะมีค่าสูงสุดเมื่อตรวจวัดในทิศทางตามยาวของเส้นใย ในกรณีตรวจวัดในทิศทางอื่นคุณสมบัติดังกล่าวจะมีค่าลดลง และสำหรับคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ จะขึ้นอยู่กับทิศทางการตรวจวัดเช่นเดียวกับกำลังรับแรงดึง และมอดูลัส

คุณสมบัติของแผ่นพลาสติกเสริมใยแก้ว (Glass Fiber Reinforced plastic)

การค้นพบ และพัฒนาทางด้านพลาสติกเสริมแรงนี้ เริ่มต้นจากโพลีเอสเทอร์ก่อนพบในปลายปี ค.ศ.1940 และต้น ค.ศ.1940 ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 จึงทำให้เกิดคำว่า Glass Fiber Reinforced plastic (GFRP) หรือ Glass Reinforced plastic (GRP) โดยส่วนใหญ่อ้างถึงโพลีเอสเทอร์เรซิ่น และเส้นใยแก้ว การใช้งานของวัสดุเสริมแรงนั้นมีมากขึ้นในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 พลาสติกเสริมแรงในสมัยนั้นถูกนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ด้านการป้องกัน เนื่องจากอากาศยานและเกราะป้องกันกระสุน เนื่องจากคุณสมบัติของเส้นใยแก้ว มีการพัฒนาให้แข็งแรงขึ้น ในปัจจุบันวัสดุเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาวัสดุประกอบ (composite material) ชนิดใหม่ๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นมากมายในแวดวงวิศวกรรม วัสดุประกอบชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากจากวิศวกรโยธาในหลายประเทศโดยเฉพาะในยุโรปและสหรัฐอเมริกาคือ พลาสติกเสริมใยแก้ว (Glass fiber-reinforced plastic หรือ GFRP ซึ่งถูกผลิตขึ้นมาโดยวิธี pultrusion process เหตุผลเนื่องจากว่าวัสดุนี้มีคุณสมบัติเด่นเมื่อเทียบกับเหล็ก และอลูมินั่มดังต่อไปนี้ อัตราส่วนของกำลังของวัสดุต่อน้ำหนักที่ค่อนข้างสูง มีน้ำหนักเบา มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสภาวะแวดล้อม และสารเคมีได้ดี โปร่งใสต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และไม่นำความร้อน และกระแสไฟฟ้า วัสดุชนิดนี้ได้ถูกนำมาใช้ในโครงสร้างบางประเภทแล้ว เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเคมี cooling tower และโรงงานบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น อย่างไรก็ตามคุณสมบัติและพฤติกรรมทางกลของวัสดุเสริมใยแก้วมีความแตกต่างไปจากเหล็ก และอลูมินั่ม เนื่องจากวัสดุชนิดนี้เป็นวัสดุ orthotropic และ inhomogeneous ดังนั้นวัตถุประสงค์ของบทความวิจัยนี้ เพื่อทำการศึกษาคุณสมบัติ และการวิบัติของวัสดุพลาสติกเสริมใยแก้วโดยการทดสอบแรงดึง การทดสอบแรงอัดและการทดสอบหา interlaminar shear strength

พลาสติกเสริมใยแก้วเป็นวัสดุประกอบที่ประกอบด้วยใยแก้ว (glass fiber) ที่มีความสามารถรับแรงสูง ซึ่งถูกผสมผสานเข้ากับ thermosetting plastic เช่น polyester เป็นต้น โดยที่

วัสดุทั้งสองชนิดยังคงมีคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีเหมือนเดิม แต่คุณสมบัติของพลาสติกเสริมใยแก้วจะแตกต่างจากวัสดุพื้นฐานทั้งสองชนิดอย่างชัดเจน คุณสมบัติของพลาสติกเสริมใยแก้วที่ทำให้วิศวกรโยธาสนใจในการที่จะนำมาใช้ คือ อัตราส่วนของกำลังของวัสดุต่อน้ำหนักที่ค่อนข้างสูง มีน้ำหนักเบา มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสภาวะแวดล้อม และสารเคมีได้ดี โปร่งใสต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และไม่นำความร้อน และกระแสไฟฟ้า ประกอบเป็นโครงสร้างได้ง่าย วิธีการผลิตพลาสติกเสริมใยแก้วที่ได้รับความนิยมในทางวิศวกรรมโยธาคือ วิธี pultrusion เนื่องจากการผลิตด้วยวิธีนี้จะให้หน้าตัดของพลาสติกเสริมใยแก้วที่ คงที่ ตรง ยาว และต่อเนื่อง ในลักษณะเช่นเดียวกับหน้าตัดของเหล็กโครงสร้าง โดยเริ่มจากการดึงใยแก้วผ่านรางบังคับทิศทางลงสู่อ่างอาบพลาสติก (plastic impregnator) เพื่อให้ใยแก้วอิ่มตัวด้วยพลาสติก จากนั้นชั้นผิวนอกซึ่งจะเพิ่มความเรียบของขอบผิวของวัสดุ และมีความสามารถทนทานการกัดกร่อนได้สูง และทนต่อรังสีอุลตร้าไวโอเลตได้ดี จะถูกรวมเข้ากับเส้นใยแก้วที่อิ่มตัวด้วยพลาสติกก่อนเข้าสู่เครื่องรีด (performer) เพื่อรีดตัวประสานส่วนเกินออก จากนั้นวัสดุจะถูกดึงเข้าสู่แม่พิมพ์ และเครื่องบ่มด้วยแรงอัด และความร้อนสูง สุดท้ายวัสดุจะถูกทำให้เย็นตัว และถูกตัดตามความยาวที่ต้องการ

2.3.3 คุณสมบัติเชิงกล และ ฟิสิกส์

fiber-reinforced plastic หรือ FRP เป็นวัสดุประกอบ (composite material) ที่ประกอบด้วยไฟเบอร์ (fiber) ที่มีกำลัง และความแกร่งสูงถูกยึดเหนี่ยวด้วยโพลิเมอร์เมตริกซ์ (polymer matrix) โดยที่ fibers และ matrix ยังคงมีคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีที่เหมือนเดิม แต่คุณสมบัติของ FRP ที่ได้จะแตกต่างกับคุณสมบัติของตัว fibers และ matrix เองอย่างเด่นชัดในลักษณะดังกล่าว FRP จะมีลักษณะที่เหมือนกับคอนกรีตเสริมเหล็ก (reinforced concrete) ซึ่งเหล็กซึ่งมีกำลังรับแรงดึงสูงจะถูกเสริมให้กับคอนกรีตซึ่งมีกำลังรับแรงดึงต่ำในส่วนของโครงสร้างที่ต้องรับแรงดึงโดยเฉพาะ E-glass fiber จะเป็น fiber ที่นิยมนำมาใช้มากในการทำ FRP สำหรับสำหรับงานก่อสร้างทั่วๆไป เนื่องจากมีราคาถูก และหาง่ายนอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่ยอดเยี่ยมได้แก่ไม้ติดไฟ ,ทนความร้อนได้ดีมาก ,คงรูปเดิมได้ดี ,ไม่มีการยืดหยุ่น ,ไม่เน่าเปื่อยหรือผุกร่อนไม่เป็นสนิม และทนต่อการกัดกร่อน อีกทั้งไม่แข็งตัวจากอากาศหนาวจัด

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล

พลาสติกเสริมเส้นใยให้สัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง อาจเกิดความเสียหายจากรังสีอัลตราไวโอเลตได้ในระยะเวลายาว ทั้งนี้เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลต เป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีในเมตริกซ์โพลิเมอร์ ซึ่งทำให้คุณสมบัติเลวลง แต่การทาสีสามารถช่วยป้องกันรังสีได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดความสวยงาม อีกทั้งวัสดุชนิดนี้มักไม่เกิดการสึกกร่อนในสภาพแวดล้อมที่เป็นด่างอาจทำให้พลาสติกเสริมเส้นใยแก้วเกิดการสึกกร่อนในการใช้งานพื้นที่กับผนังคือ อีพอกซี

ซึ่งนอกจากจะเป็นวัสดุช่วยยึดผนังกับพลาสติกเสริมเส้นใยให้ติดกันแล้วยังช่วยเป็นตัวกั้นระหว่างผนังกับเส้นใยไม่ให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีด้วย การเลือกใช้อีพอกซีต้องไม่เกิดการแตกร้าวเล็ก ๆ อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เพราะการแตกร้าวเล็กๆ จะทำให้เกิดการซึมผ่านของวัสดุที่เป็นด่างไปยังเส้นใยแก้ว

2.4 การติดตั้ง Fiber-Reinforced Polymer (FRP)

2.4.1 น้ำยาสำหรับใช้กับแผ่นพลาสติกเสริมใยแก้ว

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์ (2551) [8] การใช้แผ่นพลาสติกเสริมใยแก้ว จะต้ องใช้ร่วมกับน้ำยาที่ช่วยในการผสานกับวัสดุ

1) โพลิเอสเตอร์แรซิ่น(Unsaturated Polyester Resin)

ความรู้พื้นฐานเรื่องโพลีเอสเตอร์เรซิ่น

เป็นพลาสติกเหลวชนิดหนึ่ง มีลักษณะค้นคล้ายน้ำมันเครื่องกลิ่นฉุนแข็งตัวด้วยความร้อนสูง เป็นวัตถุไวไฟชนิดหนึ่ง มีอัตราการหดตัว 2-8% หลังเซทตัวเต็มที่ เรซิ่นสามารถหล่อขึ้นรูปได้มากมายหลากหลายรูปแบบเรซิ่นสำหรับหล่องานทั่วไป หล่อพระ หล่อของที่ระลึก หล่อตุ๊กตาฯลฯ เรซิ่นสำหรับหล่องานไฟเบอร์กลาสและเรซิ่นสำหรับงานเคลือบ เช่นงานเคลือบกรอบรูปวิทยาศาสตร์ ในขณะทำการหล่อ เรซิ่นจะปล่อยกลิ่นเคมีออกมาซึ่งมีกลิ่นเหม็นฉุน ดังนั้นสถานที่ทำงานควรเป็นที่โปร่งอากาศถ่ายเทสะดวกไม่ควรทำงานในสถานที่ที่เป็นห้องทึบตันและไม่มีการไหลเวียนของอากาศหรือการระบายอากาศที่ดีพอเรซิ่นแยกตามเกรดของคุณสมบัติของเนื้อเรซิ่นคือ

เกรด ortho-phthalic type คือ ชนิดเกรดใช้งานได้ทั่วไป

เกรด isophthalic type คือ ชนิดที่ทนกรด-ด่างได้ดี

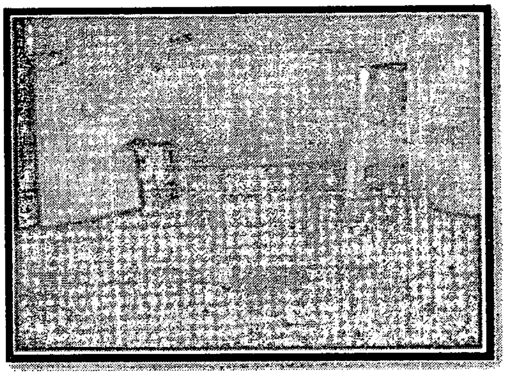
เกรด bisphenol type คือ ชนิดที่ทนกรด-ด่างสูง

เกรด chlorendics type คือ ชนิดทนกรด-ด่าง สูง

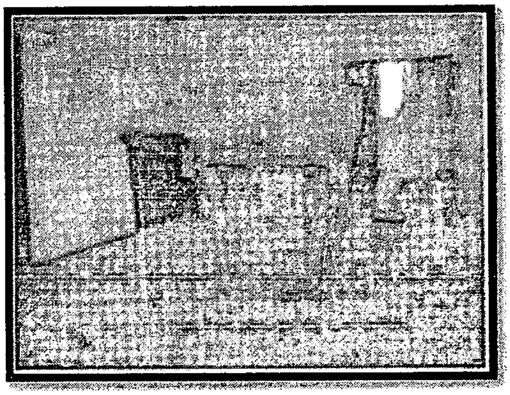
เกรด vinyl ester คือ ชนิดที่ทนกรด-ด่างสูงมาก แข็งแรง มีคุณสมบัติที่เป็นรองแค่ epoxy resin เรซิ่นแยกตามเนื้อเป็น 2 แบบ คือ

Nonpromote คือ เรซิ่นชนิดที่ยังไม่ผสมสารช่วยเร่งปฏิกิริยา ลักษณะของเนื้อเรซิ่นจะเป็นของเหลวค้นคล้ายน้ำมัน มีใสใสอมเหลืองจุดเด่นคือมีอายุการเก็บ 3 เดือน (สำหรับประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อนชื้นควรใช้ให้หมดภายใน 1 เดือน เพราะเมื่อเข้าสู่เดือนที่ 2 และ 3 เรซิ่นจะเริ่มมีความหนืดข้นขึ้นเรื่อยๆ) และยังสามารถประยุกต์สูตรได้อีกมากมาย เพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบงานต่างๆ

Promote คือ เรซิ่นชนิดที่ผสมสารช่วยเร่งฯมาแล้ว ลักษณะของเนื้อเรซิ่นจะเป็นของเหลวค้นคล้ายน้ำมันเครื่องแต่มีสีชมพูบานเย็น เพราะเป็นเรซิ่นที่ได้ผสมสารช่วยเร่งปฏิกิริยาแล้วเมื่อนำมาใช้งานก็แค่เติมสารเร่งฯลงไป ในเรื่องของสีเรซิ่นนั้นบางบริษัทผู้ผลิตอาจมีการใช้สารช่วยเร่งที่แตกต่าง ดังนั้นเรซิ่นชนิดผสมสารช่วยเร่งบางตัวจะมีสีคล้ำคล้ายน้ำเฉาก๊วย และสำหรับชนิดที่ใช้กับงานหล่อใสแล้วเรซิ่นจะมีสี ใสอมน้ำเงินอ่อนๆ จุดเด่น คือใช้งานง่ายและคล่อง ไม่ยุ่งยาก แต่ข้อเสีย คือมีอายุการเก็บสั้นอายุการเก็บไม่เกิน 2 เดือน ในการใช้งานจริงควรใช้ให้หมดภายใน 1 เดือน



รูปที่ 2.2 เรซิ่นแบบงานหล่อทั่วไป



รูปที่ 2.3 เรซิ่นแบบงานหล่อใส

คุณสมบัติของโพลีเอสเทอร์เรซิ่น

คุณสมบัติทางกายภาพ มีคุณสมบัติให้เนื้อแข็ง ใส เงา ทนอุณหภูมิสูงดีกว่าพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก (termoplastic) แต่น้อยกว่าโลหะ เมื่อเสริมแรงด้วยใยแก้ว จะได้ความแข็งแรงที่เพิ่มมากขึ้น มีความเบา แข็งแรงเหนียว ไม่เปราะ

คุณสมบัติทางไฟฟ้า เรซิ่นมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ครบถ้วน สามารถนำไปใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า (insulator) ได้

ลักษณะการใช้งานของโพลีเอสเตอร์เรซิ่น

เรซิ่นนำไปใช้งานได้มากมายหลายกลุ่มงาน แต่แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆที่นิยมใช้ในบ้านเรา ได้แก่

1) กลุ่มงานหล่อ (casting) เช่นหล่อพระ หล่อของชำร่วย หล่อตุ๊กตา หล่อกระดุม หล่อแก้วเทียม
2) กลุ่มงานเคลือบ (laminate) เช่น งานเคลือบกรอบรูปวิทยาศาสตร์
3) กลุ่มงานขึ้นรูปแบบ (molding) เช่น การผลิตงานไฟเบอร์กลาส หรือ FRP (fiberglass reinforce plastic) พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

การแข็งตัวของเรซิ่น

โพลีเอสเทอร์เรซิ่นสามารถแข็งตัวได้หลายวิธีดังนี้

- โดยใช้ตัว catalyst หรือตัวทำให้แข็ง กับ ความร้อน
- โดยใช้ตัว catalyst หรือตัวทำให้แข็ง กับ ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา promote/accelerator ที่อุณหภูมิห้อง
- โดยใช้แสงอุลตร้าไวโอเลต
- โดยใช้อิเลคตรอน
- โดยให้แสงแดด
- โดยใช้ความร้อน

โดยทั่วไปการแข็งตัวของเรซิ่นแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่1 gel time คือช่วงหลังจากเติมตัว catalyst แล้วจนเรซิ่นจับตัวเป็นวุ้น ช่วงที่2.cure time คือช่วงที่เรซิ่นแข็งตัวเต็มที่และเป็นช่วงที่เรซิ่นเย็นตัวลงหลังจากที่มีความร้อนสูงในขณะทำปฏิกิริยา

องค์ประกอบที่มีผลต่อการแข็งตัวของเรซิ่น

- อุณหภูมิ อุณหภูมิสูงเรซิ่นแข็งตัวเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ
- ปริมาณตัวเร่งฯ และ ตัวช่วยเร่งฯ ปริมาณที่มากแข็งตัวเร็วกว่าปริมาณที่น้อย

- ความชื้นหรือน้ำ ความชื้นสูงการแข็งตัวของเรซิ่นจะช้าลง ผิวงานขึ้นฝ้ามัว โดยปกติปริมาณน้ำที่อยู่ในเรซิ่นจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.05%
- ปริมาณออกซิเจน ออกซิเจนเป็นตัวป้องกันการแข็งตัวของเรซิ่น ถ้าปริมาณออกซิเจนสูงเช่นการกวนเรซิ่นมากๆ นานๆ การแข็งตัวของเรซิ่นจะช้าลงและออกซิเจนมีประโยชน์มากในเรื่องการยืดอายุการเก็บของเรซิ่นหากเริ่มเก็บเรซิ่นไว้นานขึ้นควรสร้างออกซิเจนให้เกิดในถังหรือปีบด้วยการกลิ้งถังไปมาเพื่อให้เรซิ่นข้างในเกิดการเคลื่อนไหว จะเกิดออกซิเจนและจะทำให้เรซิ่นมีอายุการเก็บเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย

2) ตัวทำให้แข็ง (Hardener) หรือ ตัวคะตะลิสต์ (Catalyst) หรือตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชั่น เปลี่ยนสภาพโพลิเอสเตอร์เรซิ่นจากพลาสติกเหลวเป็นพลาสติกแข็ง โดยปกติแล้วตัวทำให้แข็ง นิยมใช้สารพวก เปอร์ออกไซด์ (Peroxide)

ตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีโดยเปลี่ยนแปลงจากรูปพลาสติกเหลวเป็นพลาสติกแข็งของ Unsaturated Polyester Resin โดยใช้ตัวทำให้แข็ง (Catalyst) นั้นสามารถทำได้โดยใช้ความร้อนช่วยแต่ช้ามากในทางปฏิบัติจะต้องใช้ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) มาช่วยปรับให้เกิดการแรเงาตัวของพลาสติกเหลวเร็วขึ้น ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ โคบอลท์แนฟทีเนต (Cobalt Naphthenate) มีลักษณะเป็นของเหลวสีม่วง ความเข้มข้นที่ใช้งาน 5% ประมาณ 0.2% ของน้ำหนักของ Unsaturated Polyester Resin

2.4.2 การติดตั้ง

ผิวของเส้นใย fiber จะมีกระบวนการ surface treatment ได้หลายวิธีประสิทธิภาพในการยึดเกาะ และการเสริมกำลังจะขึ้นอยู่กับการยึดเหนี่ยว และการถ่ายหน่วยแรงระหว่างผิวชิ้นงานและแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใย ซึ่งตัวแปรดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับวิธีการประกอบแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยเข้ากับผิวชิ้นงาน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

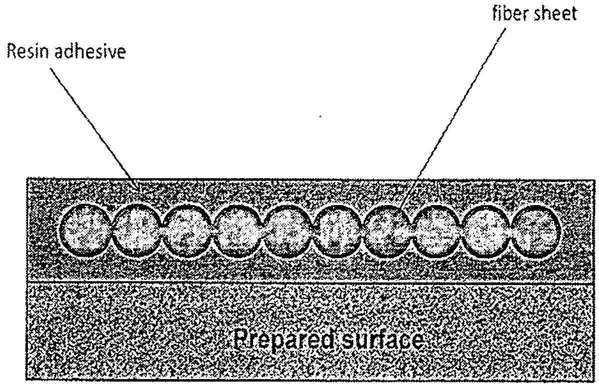
1) adhesive bonding แผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยที่ถูกผลิตและบ่มมาจากโรงงานถูกยึดเข้ากับผิวชิ้นงานโดยใช้กาวภายใต้ความดัน

2) wet lay-up ทาเรซินบนผิวชิ้นงานจากนั้นวางพลาสติกเสริมเส้นใยที่อยู่ในรูปของ fabric และใช้ลูกกลิ้งกลิ้งไปบน fabric เพื่อรีดให้กาวส่วนเกินไหลออกมาเพื่อก่อให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวที่สมบูรณ์

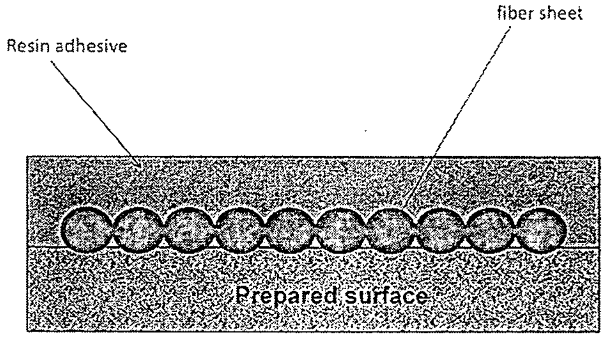
3) resin infusion จัดวาง fabric ลงบนพื้นที่ที่ต้องการเสริมกำลังจากนั้นทำการห่อพื้นที่ดังกล่าวด้วย vacuum bag และอัดเรซินให้ซึมเข้าไปใน fabric และให้ความดันแก่ vacuum bag เพื่อกดอัด fabric ให้สัมผัสกับผิวคอนกรีตอย่างแนบแน่นซึ่งวิธีการนี้จะทำให้เรซินซึมแทรกเข้าไปในรอยแตกของชิ้นงานด้วย

ประสิทธิภาพของการเสริมกำลังในลักษณะนี้จะขึ้นอยู่กับการใช้ชนิดของกาวที่เหมาะสม ซึ่งควรมีค่าความแกร่ง และสัมประสิทธิ์การขยายตัว เนื่องจากอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับชิ้นงาน และพลาสติกเสริมเส้นใยให้มากที่สุด

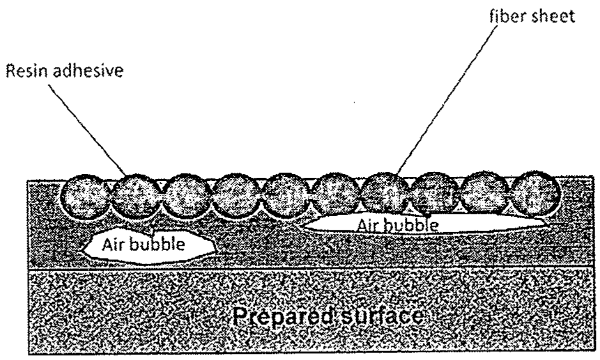
ในสามวิธีการติดตั้งแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยเข้ากับผิวชิ้นงานข้างต้น วิธีที่ใช้มากที่สุด เหมาะสมกับการก่อสร้างหน้างานที่สุด และถูกที่สุด คือวิธี wet lay-up อย่างไรก็ตามเรซินที่ใช้ควรมีปริมาณที่เหมาะสม เพราะถ้ามากเกินไปจะทำให้ fabric ย่นได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพของการเสริมกำลังลดลงอย่างมาก นอกจากนั้นแล้ววิธีการนี้อาจจะมีฟองอากาศเกิดขึ้นในเนื้อกาวได้เป็นจำนวนมากหากไม่มีการรีดกาวด้วยลูกกลิ้งที่ดี ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้กาวเสื่อมสภาพได้ในเวลาอันสั้นวิธี resin infusion ในสนามเป็นวิธีการที่ค่อนข้างใหม่ที่ทำให้กาวยึดติดกับผิวคอนกรีต และ fabric ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.4 การติดตั้ง Fiber-Reinforced Polymer (FRP) อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.5 การติดตั้งโดยเส้นใย (Fiber Reinforcement) อยู่ด้านล่าง
เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการเสริมกำลังลดลง



รูปที่ 2.6 ฟองอากาศในเรซิน เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการเสริมกำลังลดลง

2.4.3 การออกแบบและข้อกำหนดรายละเอียด FRP

1) การกำหนดทิศทางของแรง

แรงใน fiber จะเป็นแรงดึงแนวแรงควรจะเป็นเส้นตรงในระนาบให้มากที่สุดในการออกแบบควรมีการกระจายแรงไปตาม fiber filament ที่ขนานกันอย่างสม่ำเสมอการเปลี่ยนทิศทางของแรงอย่างกะทันหันอาจทำให้เกิดความบกพร่องและเสียหายได้

2) การใช้ code และการกำหนด parameter ในการออกแบบ

Design Manual ต่างๆ ที่มีในปัจจุบันจะ มีลักษณะเป็น Guide line เท่านั้น เนื่องจากวัสดุ และวิธีการเสริมกำลังมีความหลากหลาย และไม่มีมาตรฐานเป็นอันเดียวกัน นอกจากนี้เงื่อนไขในการทำงาน (Working Conditions) มีความแตกต่างกันมากมาย ในแต่ละสถานการณ์ ดังนั้นผู้ออกแบบจึงต้องพิจารณาในการเลือกใช้ parameter ต่างๆ ให้เหมาะสมกับวัสดุกระบวนการและสถานการณ์ แต่ละกรณี และควรทำการทดสอบสมมติฐานที่ใช้ในการออกแบบทุกครั้ง

2.4.4 ข้อควรระวังในการออกแบบติดตั้งFiber-Reinforced Polymer (FRP)

1) จำนวนชั้น Layer ควรมีจำนวนชั้นที่น้อยที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงจากการเกิด Debonding โดยปกติไม่ควรเกิน 3 - 4 ชั้น เมื่อเสริมกำลังด้วย fiber sheet และ 1 ชั้น สำหรับแบบแผ่น laminate

2) ควรมีการกระจายแรงอย่างสม่ำเสมอ และต่อเนื่องโดยที่ stress ที่เกิดขึ้นจากการรับแรงในแนวขนานกับผิวสัมผัส ควรอยู่ในระดับที่ต่ำเท่าที่จะเป็นได้

3) ระยะ Development length จากตำแหน่งที่ต้องการเสริมกำลัง และการต่อทาบของแต่ละ Layer ต้องเพียงพอต่อการถ่ายเท และกระจายแรงทั้งใน Flexural Strengthening และ Shear Strengthening

4) ควรพิจารณา Strain และ Deflection เพื่อป้องกันการ Debonding ทั้งนี้ Concrete society committee; UK แนะนำว่า โดยทั่วไป Strainใน 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 จะสามารถรับแรงได้ดี เฉพาะในทิศทางการจัดเรียงเส้นใยเท่านั้น ส่วนในทิศทางตั้งฉากจะอ่อนแอกว่ามากหรือใช้ไม่ได้เลย

6) Bidirectional Fiber Sheet จะควบคุมแนวทิศทางแรง และคุณภาพการทำงานได้ยากกว่าการใช้ Unidirectional 2 ชั้น ในทิศทางตั้งฉากกัน

7) โดยทั่วไป fiber จะรับแรงเป็นแนวเส้นตรงในการออกแบบ ไม่ควรเปลี่ยนทิศทางของ fiber เช่นการหักมุมหรือดัดโค้งงอหากจำเป็นก็ควรมีรัศมีความโค้งที่เพียงพอ หรือ ใช้การแยกส่วนแล้วต่อทาบกับ fiber ในทิศทางใหม่ที่ต้องการ

8) ไม่ควรติดตั้ง FRP ผ่านมุมงอด้านใน (Inner Corner) เนื่องจากจะเป็นจุดเริ่มของการ Debonding

9) การผสม Part A และ Part B ของ adhesive มักไม่ได้ใช้การชั่งตวงที่ถูกต้องหรือใช้การประมาณส่วนผสมเอาเอง (บางผู้ผลิตจะระบุอัตราส่วนผสมแบบอัตราส่วนน้ำหนักในขณะที่บางผู้ผลิตจะระบุแบบอัตราส่วนปริมาตร) การผสม Part B (Hardener) น้อยเกินไปจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีไม่สมบูรณ์ ในขณะที่ถ้า Part B มากเกินไป จะทำให้เรซินแข็งตัวรวดเร็ว และเกิดความร้อนสูงในขณะทำปฏิกิริยาซึ่งอาจเปราะแตกได้

10)การใช้ Adhesive ที่มากเกินพอดี อาจทำให้แนวเส้นใย Fiber เกิดการเคลื่อนตัวและหย่อนในขณะที่ถ้าใช้ Adhesive ไม่เพียงพอก็จะทำให้เกิด Unsaturated Area ซึ่งจะทำให้การถ่ายเทแรงไม่สมบูรณ์หรือเป็นจุดเริ่ม Debonding

11)วิธีการติดตั้งที่ไม่ถูกต้องหรือขาดความชำนาญอาจทำให้เกิดโพรงช่องว่าง (Void) หรือเส้นใย fiber เกิดการหย่อนงอซึ่งอาจเป็นอันตราย โดยเฉพาะในบริเวณที่มี Stress สูง

12)การลบมุมที่ไม่เรียบร้อย หรือมีรัศมีความโค้งที่ไม่เพียงพอ จะทำให้บริเวณมุมมี stress สูงและ fiber อาจหักในขณะติดตั้งหรือฉีกขาดในขณะรับแรง

2.5 สภาพอากาศประเทศไทยที่มีผลกระทบต่ออิฐโบราณ

ประเทศไทย ตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ภูมิอากาศของประเทศมีลักษณะเป็นแบบร้อนชื้น หรือแบบสะวันนา (Aw) ตามการแบ่งเขตภูมิอากาศแบบเคิปเปน ในขณะที่ภาคใต้และทางตะวันออกสุดของภาคตะวันออกเป็นเขตภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน (Am) ทั่วประเทศมี

อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 19-38 องศาเซลเซียส อากาศจะร้อนที่สุดช่วงกลางเดือนเมษายน หลังจากนั้นภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ประเทศไทยเข้าสู่ฤดูฝน และฤดูหนาวตามลำดับ พื้นที่ทั้งประเทศได้รับปริมาณฝนอย่างเพียงพอ ยกเว้นบางพื้นที่เท่านั้น แต่ระยะเวลาของฤดูฝน และปริมาณฝนมีความแตกต่างกันไปตามภูมิภาค และระดับความสูง

2.5.1 ปัจจัยที่มีผล

1) ที่ตั้งตามละติจูด ตามปกติตำแหน่งที่ตั้งที่มีค่าละติจูดต่ำจะมีอุณหภูมิสูงกว่าตำแหน่งที่ตั้ง ที่มีค่าละติจูดสูงกว่า เพราะอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร

2) ความสูงของพื้นที่: ตามปกติพื้นที่สูงจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นที่ที่เป็นที่ราบ เช่น ยอดดอยอินทนนท์ จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นที่ล่างที่อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

3) แนวทิวเขาที่ขวางกั้นทิศทางลมประจำ การวางตัวของทิวเขาบริเวณจังหวัดกาญจนบุรี ตาก ส่งผลทำให้จังหวัดกำแพงเพชร นครสวรรค์ สุพรรณบุรี มีอุณหภูมิสูง และมีปริมาณน้ำฝนน้อย โดยเรียกพื้นที่นี้ว่า "พื้นที่อับฝน"

4) ระยะห่างจากทะเล: พื้นที่ที่อยู่ใกล้ทะเลจะมีโอกาสได้รับความชื้นและมีฝนตกมากกว่าบริเวณที่ห่างไกลทะเลออกไป เช่น จังหวัดระนองและตราด อยู่ใกล้ทะเล และเป็นด้านรับลม จะมีปริมาณฝนตกมากกว่าจังหวัดที่ลึกเข้าไปในแผ่นดิน

5) ทิศทางของลมประจำ: บริเวณภาคตะวันออกช่วงที่ได้รับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะมีฝนตกชุก แต่เมื่อลมเปลี่ยนทิศเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ปริมาณน้ำฝนจะลดลงจนเห็นความแตกต่างชัดเจน

6) อิทธิพลของลมพายุหมุน: ลมพายุที่พัดผ่านประเทศไทย จะนำฝนมาตกเป็นปริมาณสูงและมักเกิดอุทกภัยอยู่บ่อยครั้ง แต่บางปีที่มีพายุหมุนเข้าน้อยจะมีปริมาณน้ำฝนน้อย อาจถึงการขาดแคลนน้ำ โดยเฉพาะพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2.5.2 ฤดูกาล

ประเทศไทยแบ่งฤดูกาลออกเป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว

1) ฤดูร้อน

เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และเป็นระยะที่ขั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะเดือนเมษายน บริเวณประเทศไทยมีดวงอาทิตย์อยู่เกือบตรงศีรษะ ในเวลาเที่ยงวัน ทำให้ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มที่ สภาวะอากาศจึงร้อนอบอ้าวทั่วไป ในฤดูนี้แม้ว่าโดยทั่วไปจะมีอากาศร้อน และแห้งแล้ง แต่บางครั้งอาจมีมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่ลงมาปกคลุมถึงประเทศไทยตอนบน ทำให้เกิดการปะทะกันของมวลอากาศเย็นกับมวลอากาศร้อนที่ปก

คลุมอยู่เหนือประเทศไทย ซึ่งก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และลมกระโชกแรงหรืออาจมีลูกเห็บตก ก่อให้เกิดความเสียหายได้ พายุฝนฟ้าคะนองที่เกิดขึ้นในฤดูนี้มักเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "พายุฤดูร้อน" ลักษณะของอากาศในฤดูร้อนใช้เกณฑ์อุณหภูมิสูงสุดของแต่ละวัน โดยแบ่งดังนี้

อากาศร้อน จะมีอุณหภูมิระหว่าง 35 - 39.9 องศาเซลเซียส

อากาศร้อนจัด มีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสขึ้นไป

2) ฤดูฝน

เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมเมื่อมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย และร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านประเทศไทย ทำให้มีฝนชุกทั่วไป ร่องความกดอากาศต่ำนี้ปกติจะพาดผ่านภาคใต้ในเดือนพฤษภาคม แล้วจึงเลื่อนขึ้นไปทางเหนือตามลำดับ จนถึงช่วงประมาณปลายเดือนมิถุนายน จะพาดผ่านอยู่บริเวณประเทศจีนตอนใต้ ทำให้ฝนในประเทศไทยลดลงระยะหนึ่ง และเรียกว่าเป็น "ช่วงฝนทิ้ง" ซึ่งอาจนานประมาณ 1 - 2 สัปดาห์หรือบางปีอาจเกิดขึ้นรุนแรงและมีฝนน้อยนานนับเดือน ในเดือนกรกฎาคมปกติร่องความกดอากาศต่ำจะเลื่อนกลับลงมาทางใต้พาดผ่านบริเวณประเทศไทยอีกครั้ง ทำให้มีฝนชุกต่อเนื่อง จนกระทั่งมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดเข้ามาปกคลุมประเทศไทยแทนที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ประมาณกลางเดือนตุลาคมประเทศไทยตอนบน จะเริ่มมีอากาศเย็นและฝนลดลง โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เว้นแต่ภาคใต้ยังคงมีฝนชุกต่อไปจนถึงเดือนธันวาคม และมักมีฝนหนักถึงหนักมาก จนก่อให้เกิดอุทกภัย โดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออก ซึ่งจะมีปริมาณฝนมากกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันตก อย่างไรก็ตามการเริ่มต้นฤดูฝนอาจจะช้าหรือเร็วกว่ากำหนดได้ประมาณ 1 - 2 สัปดาห์ การพิจารณาปริมาณฝนในเวลา 24 ชั่วโมงของแต่ละวัน จะนับตั้งแต่เวลา 07.00 น. จนถึงเวลา 07.00 น. ของวันถัดไป โดยมีเกณฑ์แบ่งดังนี้

ฝนวัดจำนวนไม่ได้ : ปริมาณฝนน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร

ฝนเล็กน้อย : ปริมาณฝนระหว่าง 0.1 - 10.0 มิลลิเมตร

ฝนปานกลาง : ปริมาณฝนระหว่าง 10.1 - 35.0 มิลลิเมตร

ฝนหนัก : ปริมาณฝนระหว่าง 35.1 - 90.0 มิลลิเมตร

ฝนหนักมาก : ปริมาณฝน ตั้งแต่ 90.1 มิลลิเมตร ขึ้นไป

3) ฤดูหนาว

เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือน กุมภาพันธ์ เมื่อมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทยตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม ในช่วงกลางเดือนตุลาคมนานราว 1-2 สัปดาห์ เป็นช่วงเปลี่ยนฤดูจากฤดูฝนเป็นฤดูหนาว อากาศแปรปรวนไม่แน่นอน อาจเริ่มมีอากาศเย็นหรืออาจยังมีฝนฟ้าคะนอง โดยเฉพาะบริเวณภาคกลางตอนล่าง และภาคตะวันออกลงไป

ซึ่งจะหมดฝน และเริ่มมีอากาศเย็นช้ากว่าภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ลักษณะของอากาศในฤดูหนาว ลักษณะของอากาศในฤดูหนาวใช้เกณฑ์อุณหภูมิต่ำสุดของแต่ละวัน โดยแบ่งดังนี้

อากาศหนาวจัด จะมีอุณหภูมิต่ำกว่า 8.0 องศาเซลเซียส

อากาศหนาว มีอุณหภูมิระหว่าง 8.0 - 15.9 องศาเซลเซียส

อากาศเย็น มีอุณหภูมิระหว่าง 16.0 - 22.9 องศาเซลเซียส

4) ปริมาณฝน

โดยทั่วไปประเทศไทยมีฝนอยู่ในเกณฑ์ดี พื้นที่ส่วนใหญ่มีปริมาณฝน 1,200-1,600 มิลลิเมตรต่อปี ปริมาณฝนรวมตลอดปีเฉลี่ยทั่วประเทศมีค่าประมาณ 1,572.5 มิลลิเมตร ปริมาณฝนในแต่ละพื้นที่ผันแปรไปตามลักษณะภูมิประเทศ นอกเหนือจากการผันแปรตามฤดูกาล บริเวณประเทศไทยตอนบนปกติจะแห้งแล้ง และมีฝนน้อยในฤดูหนาว เมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนปริมาณฝน จะเพิ่มขึ้นบ้างพร้อมทั้งมีพายุฟ้าคะนอง และเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนปริมาณฝนจะเพิ่มขึ้นมาก โดยจะมีปริมาณฝนมากที่สุดในเดือนสิงหาคมหรือกันยายน พื้นที่ที่มีปริมาณฝนมาก ส่วนใหญ่จะอยู่ด้านหน้าทิวเขาหรือด้านรับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ได้แก่ พื้นที่ทางด้านตะวันตกของประเทศและบริเวณภาคตะวันออก โดยเฉพาะที่อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด มีปริมาณฝนรวมตลอดปีมากกว่า 4,000 มิลลิเมตร ส่วนพื้นที่ที่มีฝนน้อยส่วนใหญ่อยู่ด้านหลังเขา ได้แก่พื้นที่บริเวณตอนกลางของภาคเหนือและภาคกลาง และบริเวณด้านตะวันตกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับภาคใต้มีฝนชุกเกือบตลอดปียกเว้นช่วงฤดูร้อน พื้นที่บริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันตก ซึ่งเป็นด้านรับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะมีปริมาณฝนมากกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันออกในช่วงฤดูฝน โดยมีปริมาณฝนมากที่สุดในเดือนกันยายน ส่วนช่วงฤดูหนาวบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออก ซึ่งเป็นด้านรับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีปริมาณฝนมากกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันตก โดยมีปริมาณฝนมากที่สุดในเดือนพฤศจิกายน พื้นที่ที่มีปริมาณฝนมากที่สุดของภาคใต้อยู่บริเวณจังหวัดระนอง ซึ่งมีปริมาณฝนรวมตลอดปีมากกว่า 4,000 มิลลิเมตร ส่วนพื้นที่ที่มีฝนน้อยได้แก่ภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน ด้านหลังทิวเขาตะนาวศรี บริเวณจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์

5) ความชื้นสัมพัทธ์

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร จึงมีอากาศร้อนชื้นปกคลุมเกือบตลอดปี เว้นแต่บริเวณที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดินตั้งแต่ภาคกลางขึ้นไปความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงชัดเจนในช่วงฤดูหนาว และฤดูร้อน โดยเฉพาะฤดูร้อนจะเป็นช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำสุดในรอบปี ในบริเวณดังกล่าวมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 73 - 75 เปอร์เซ็นต์ และจะลดลงเหลือ 64 - 69 เปอร์เซ็นต์ในช่วงฤดูร้อน และเคยมีความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำที่สุดเพียง 9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวันที่

25 กุมภาพันธ์ 2526 ที่จังหวัดเลย และเมื่อวันที่ 23 เมษายน 2533 ที่จังหวัดเชียงราย ส่วนบริเวณที่อยู่ติดฝั่งทะเลได้แก่ภาคตะวันออก และภาคใต้จะมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า โดยเฉพาะภาคใต้มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 79 - 80 เปอร์เซ็นต์

2.6 การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing)

สุวันชัย (2535) [9] การทดสอบแรง ถือได้ว่าเป็นประเภทของการทดสอบพื้นฐานที่สุดของการทดสอบสมบัติทางกลสำหรับวัสดุ การทดสอบแรงดึงนั้นง่าย, ค่าใช้จ่ายต่ำ และได้รับการทำให้เป็นมาตรฐานอย่างสมบูรณ์ เมื่อท่านดึงของยางอย่าง ท่านจะสามารถประเมินได้ว่าวัสดุนั้นตอบสนองต่อแรงที่ใช้ดึงอย่างไร ในขณะที่วัสดุถูกดึง ท่านจะพบว่ามีความแข็งแรงมากน้อยเท่าใดพร้อมกับว่ายืดตัวได้มากน้อยเพียงใด

ท่านสามารถรู้จักวัสดุได้มากจากการทดสอบแรงดึง ในขณะที่ท่านให้แรงดึงวัสดุจนเกิดการขาด ท่านจะได้ลักษณะการตอบสนองต่อแรงดึงอย่างสมบูรณ์ เส้นกราฟจะแสดงว่าวัสดุมีการตอบสนองเช่นไรต่อแรงกระทำ จุดที่เกิดการเสียหายนั้นจะได้รับความสนใจมาก และถูกเรียกว่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Strength)

2.6.1 ความต้านทานแรงดึงสูงสุด

หนึ่งในสมบัติของวัสดุที่จะได้ ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดึงสุดท้าย (UTS) ซึ่งเป็นค่าแรงสูงสุดที่ชิ้นงานประสบในระหว่างการทดสอบ อาจจะเท่าหรือไม่เท่ากับค่าความต้านทานสูงสุดที่จุดแตกหัก โดยจะขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุที่ทดสอบว่ามีลักษณะเปราะหรือเหนียวหรือทั้งเปราะและเหนียวบางครั้งวัสดุอาจจะมีลักษณะเหนียวเมื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการ แต่เมื่อนำไปใช้งานจริง อาจจะเปลี่ยนสภาพไปแสดงลักษณะเปราะได้

2.6.2 คุณสมบัติของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึงหรือแรงอัด

เมื่อวัสดุได้รับแรงดึงหรือแรงอัดนั้นจะทำให้เกิดแรงต้านทานภายในของวัสดุที่พยายามต้านทานแรงภายนอกที่มากระทำเพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่าง แรงต้านภายในนี้กระจายอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่รับแรงนั้น ซึ่งแรงต้านนี้เรียกว่า ความเค้น (Stress) และความเค้นนี้คิดได้จากอัตราส่วนของแรงที่กระทำภายนอกต่อหน่วยของพื้นที่ภาคตัดของวัสดุนั้น ลักษณะความเค้นที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุนั้นจะเรียกตามลักษณะแรงที่กระทำ เช่น วัสดุได้รับแรงดึงก็เรียกว่า ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) และวัสดุได้รับแรงอัดก็เรียกว่า ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress)

การคำนวณหาค่าความเค้นแรงดึง (Tensile Stress)

$$\text{ความเค้นแรงดึง} = \frac{\text{แรงดึงภายนอกที่กระทำ}}{\text{พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง}}$$

ดังนั้น $\sigma_t = \frac{F}{A}$ (2.1)

เมื่อ σ_t = ความเค้นแรงดึง

F = แรงอัดภายนอกที่กระทำ

A = พื้นที่หน้าตัดรับแรง

ในขณะเดียวกันเมื่อวัสดุรับแรงภายนอกมากระทำก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างไปตามทิศทางที่แรงกระทำ ในทางวิศวกรรมมักจะระบุเป็นส่วนที่ยืดหรือหด เป็นอัตราส่วนความยาวเดิมของวัสดุก่อนถูกแรงกระทำ และเรียกอัตราส่วนนี้ว่า ความเครียด (Strain) ซึ่งเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$\epsilon = \frac{L-L0}{L0} \quad (2.2)$$

เมื่อ € = ความเครียดเนื่องจากแรงดึงหรือแรงอัด

L0 = ความยาวเดิมหรือความยาวของพิกัด

L = ความยาวใหม่ภายหลังที่ได้รับแรงภายนอกกระทำ

ซึ่งหน่วยของความเครียดไม่นิยมระบุ เพราะมีหน่วยความยาวต่อความยาว มักนิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยเขียนสมการได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นการยืดตัว} = \frac{\text{ความยาวสุดท้าย} - \text{ความยาวเดิม}}{\text{ความยาวเดิม}} \times 100 \quad (2.3)$$

และในขณะเดียวกันพื้นที่หน้าของวัสดุเมื่อรับแรงภายนอกมากระทำก็จะมีขนาดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งการที่พื้นที่ภาคตัดลดลงหรือเพิ่มขึ้นตามแรงที่กระทำ การคิดเป็นร้อยละพื้นที่ที่ภาคตัดขวางเดิมจาการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่เรียกว่า เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัด (Reduction in area) ซึ่งมีวิธีการคำนวณหาดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัด} = \frac{\text{พื้นที่หน้าตัดเดิม} - \text{พื้นที่หน้าตัดที่จุดขาด}}{\text{พื้นที่หน้าตัดเดิม}} \times 100 \quad (2.4)$$

2.7 แรงเฉือน

ความเค้นเฉือนสูงสุดที่วัสดุสามารถทนรับก่อนเกิดความเสียหาย เป็นกำลังประลัยของวัสดุภายใต้แรงเฉือน สามารถพิจารณาจากการทดสอบแรงบิดซึ่งจะ เท่ากับ กำลังบิดแรงเฉือนของพลาสติกเป็นโหลดสูงสุดที่สามารถเฉือนตัวอย่างทำให้ชิ้นส่วนหลุดออกจากอิฐ รายงานผลเป็น ksc ตามพื้นที่ของขอบที่ถูกตัดเฉือน แรงเฉือนของส่วนยึดเกาะโครงสร้างเป็นความเค้นเฉือนสูงสุดของส่วนยึดเกาะก่อนเกิดความเสียหายจากโหลดแรงดึง วิธีการสำหรับระบุแรงเฉือนของ

2.8 พฤติกรรมของผนังอิฐก่อ (Masonry Wall) รับแรงกระทำด้านข้างแบบซ้ำไปซ้ำมา

เมื่อผนังอิฐก่อถูกแรงกระทำรวมกันทั้งทางด้านแนวดิ่งและแนวราบพฤติกรรมของผนังอิฐก่อนั้น จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความสูงต่อความกว้างของผนัง (height/length ratio), คุณสมบัติ และกำลังของอิฐก่อ นอกจากนี้พฤติกรรมของผนังอิฐก่อยังขึ้น อยู่กับอัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress) ในผนังอิฐก่อ กับน้ำหนักที่กระทำ และกำลังอัดของอิฐก่อ เช่นเดียวกันกับผนังอิฐก่อเมื่อรับแรงด้านข้าง พฤติกรรมของผนังอิฐก่อจะขึ้น อยู่กับทิศทาง และขนาด ของแรงกระทำด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาผนังอิฐก่อรับแรงกระทำทางด้านข้าง และตัวแปรต่างๆ ดังกล่าวที่มีผลต่อพฤติกรรมของผนังอิฐก่อแล้ว อาจจะทำให้ผนังอิฐก่อวิบัติจนไม่สามารถต้านแรงกระทำได้ใน 2 กรณี ด้วยกันคือ

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

2) Diagonal tension shear failure จะเกิดรอยแตกบนผนังอิฐก่อจากด้านล่างของผนังขึ้นไปทางด้านบนผนังในแนวทแยง

2.9 การทดสอบผนังอิฐก่อ (Masonry Wall) รับแรงกระทำด้านข้างแบบซ้ำไปซ้ำมา

การพิจารณาตัวแปรในการทดสอบผนังอิฐก่อ TNO report (2004) ได้กล่าวถึงตัวแปรหลายๆ ตัวที่พบในการทดสอบผนังอิฐก่อ ซึ่งได้แก่

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

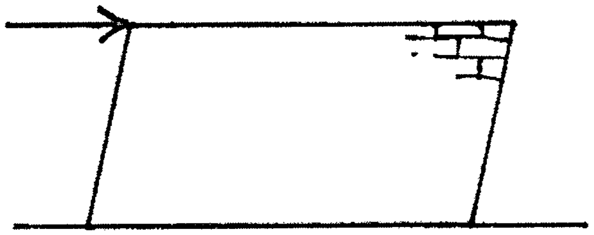
5) ทิศทางในการกระจายน้ำหนัก

6) เงื่อนไขที่ด้านบนของผนังอิฐก่อ

7) ผนังอิฐก่อที่มี หรือไม่มี แรงกระทำกดทับในแนวดิ่ง

8) ชนิดของน้ำหนักกระทำ (monotonic, cyclic, impact)

เงื่อนไขต่างๆ เหล่านี้ จะสามารถกำหนดลักษณะของการเกิดแรงเฉือน และการเสียรูปของผนังอิฐก่อทดสอบ ดังรูปที่ 2.7 โดยด้านบนของผนังอิฐก่อทดสอบจะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของแรงที่กระทำในแนวราบ



รูปที่ 2.7 การเสียรูปเนื่องจากแรงกระทำด้านข้างของผนังอิฐก่อทดสอบ

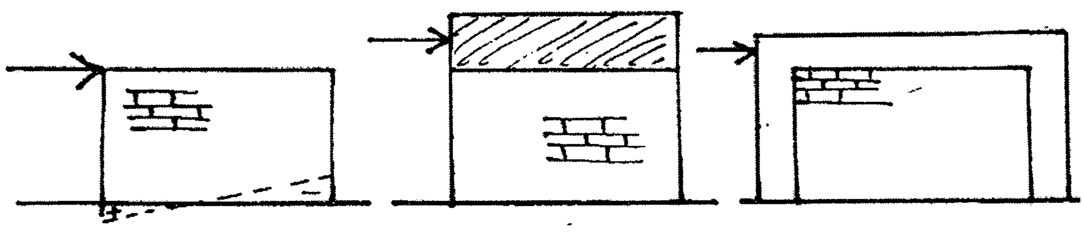
สำหรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในผนังอิฐก่อทดสอบนั้น เกิดจากการหมุนของผนังอิฐก่อทดสอบเนื่องจากแรงกระทำทางด้านข้าง และฐานด้านล่างของผนังอิฐก่อทดสอบยึดแน่น สำหรับการทดสอบจำเป็นต้องประยุกต์ใช้วิธีใดวิธีหนึ่งที่ด้านบนของผนังอิฐก่อทดสอบ ได้แก่วิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

1) ให้แรงกระทำแบบจุด (concentrated) ที่ด้านข้างของผนังอิฐก่อ ดังรูปที่ 2.8 ก.

2) นำเอาคานที่มีความแข็งมากไว้ที่ด้านบนของผนังอิฐก่อ ลักษณะเช่นนี้สามารถกระจายความเค้นเฉือน (shear stress) ด้านบนของผนังอิฐก่อทดสอบ ดังรูปที่ 2.8 ข.

3) ใช้คานที่มีความแข็งต่ำเปรียบเทียบให้เห็นความคล้ายกันกับผนังอิฐก่อทดสอบ

4) สร้างกรอบ (frame) ล้อมรอบผนังอิฐก่อทดสอบ



ก. ข. ค.

รูปที่ 2.8 ลักษณะผนังอิฐก่อในการทดสอบแบบต่างๆ

รูปที่ 2.8 ก. แสดงการเกิดโมเมนต์ที่ฐานด้านล่างของผนังอิฐก่อทดสอบ เนื่องจากแรงที่กระทำทางข้างกับผนังอิฐก่อทดสอบ การวิบัติเนื่องจากโมเมนต์ดังกล่าวจะเกิดแรงดึง (tensile strength) ที่บริเวณฐานของผนังอิฐก่อทดสอบ