

พฤติกรรมของผนังอิฐก่อที่เสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพ่น  
ภายในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

BEHAVIOR OF MASONRY WALL INFILLED RC FRAME  
STRENGTHENED  
WITH SPRAYED GLASS FIBER REINFORCED POLYMER

ประจักษ์ เปรมจิตต์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2562  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พฤติกรรมของผนังอิฐก่อที่เสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว  
ระบบพ่นภายในโครงสร้างคานกรีตเสริมเหล็ก

ประจักษ์ เปรมจิตต์


วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2562  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

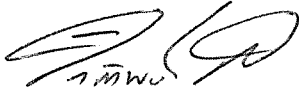


หัวข้อวิทยานิพนธ์ พฤติกรรมของผนังอิฐก่อที่เสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพ่น  
ภายในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก  
Behavior of Masonry Wall Infilled RC Frame Strengthened with  
Sprayed Glass Fiber Reinforced Polymer

ชื่อ - นามสกุล นายประจักษ์ เปรมจิตต์  
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.  
ปีการศึกษา 2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

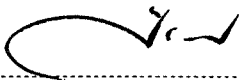
  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ปิติศานต์ กร้ามาตร, ปร.ด.)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์รักติพงษ์ สหมิตรมงคล, Ph.D.)

นิรชร นกแก้ว  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์นิรชร นกแก้ว, วศ.ม.)

จตุพล ตั้งปกาศิต  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)  
วันที่ 10 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พฤติกรรมของผนังอิฐก่อที่เสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพ่นภายในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก Behavior of Masonry Wall Infilled RC Frame Strengthened With Sprayed Glass Fiber Reinforced Polymer
ชื่อ - นามสกุล	นายประจักษ์ เปรมจิตต์
วิชาเอก	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.
ปีการศึกษา	2562

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ประสิทธิภาพของการใช้วัสดุเสริมแรงประเภทพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพ่น 2) เปรียบเทียบพฤติกรรมการรับแรงของผนังอิฐก่อที่ทำการเสริมกำลังกับพฤติกรรมดั้งเดิม

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับแรงและรูปแบบความเสียหายของผนังอิฐก่อที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว โดยการจำลองแรงผลึกแบบวิภูจักรกระทำต่อผนังอิฐก่อที่มีขนาดคล้ายคลึงกับผนังจริงที่ใช้ในอาคารพักอาศัย เพื่อให้พฤติกรรมที่เกิดขึ้นมีความใกล้เคียงกับผนังจริงภายใต้แรงแผ่นดินไหว ในการศึกษาี้เลือกรูปแบบผนังอิฐก่อที่มีประตู โดยให้แรงผลึกด้านข้างของผนังอิฐก่อ (In-plane lateral load) ในขณะที่มีน้ำหนักกดทับในแนวตั้งเหมือนน้ำหนักกระทำจากโครงสร้าง โดยมีการทดสอบ 3 แบบ คือ ผนังอิฐก่อที่ไม่ได้ทำการเสริมกำลัง ผนังอิฐก่อที่ทำการซ่อมแซมและเสริมกำลังหลังจากเผชิญแรงกระทำจนวิบัติแล้ว และผนังอิฐก่อที่ทำการเสริมกำลังภายหลังก่อสร้างเสร็จ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุเสริมแรงดังกล่าวและการซ่อมแซมผนังอิฐก่อด้วยการอัดฉีดอีพ็อกซีเรซินสามารถฟื้นฟูสมรรถนะของกำแพงอิฐก่อให้กลับไปเทียบเท่ากับสมรรถนะเดิมได้

**คำสำคัญ:** แรงผลึกแบบวิภูจักร พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพ่น การเสริมกำลัง ผนังอิฐก่อ การอัดฉีดอีพ็อกซีเรซิน

**Thesis Title** Behavior of Masonry Wall Infilled RC Frame Strengthened with Sprayed Glass Fiber Reinforced Polymer  
**Name–Surname** Mr.Prachark Premchit  
**Major Subject** Civil Engineering  
**Thesis Advisor** Assistant Professor Jatuphon Tangpagasit, Ph.D.  
**Academic Year** 2019

## ABSTRACT

The objectives of this research were to 1) Investigate performance of the strengthening with Sprayed Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) in a rehabilitation of damaged masonry wall 2) Compare it with the original performance of the wall

This research is a comparison of behaviors against lateral load and pattern of failure of the masonry wall under seismic loading. The seismic action is simulated by applying lateral cyclic loading the masonry walls. The size of wall sample was selected to be similar to ordinary masonry wall in residential building in order for reproducing behaviors of a real building. In this experimental study, masonry wall with perforated door was tested is under lateral cyclic loading while a constant and uniform gravity loading is continuously applied to simulate vertical loading in the real structure. The test program consists of three tests; the test of bare masonry wall, the test of masonry wall strengthened after damaged from the first test and the test of masonry wall strengthened after construction.

The results show that strengthened masonry wall with sprayed GFRP and repair with epoxy injection method can restore the structural performance against lateral load to be equivalent to the original one.

**Keyword:** cyclic loading, sprayed glass fiber-reinforced polymer (GFRP), strengthening, masonry wall, epoxy injection

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความช่วยเหลือของนายจาตุรนต์ แร่เพชร สำหรับคำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ทดสอบ และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ภาควิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับเครื่องมือการทดสอบในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมไปถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และเจ้าหน้าที่บริษัท เอส ซี พี เอ็นจิเนียริง จำกัด ทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวก และให้คำแนะนำรวมข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการวิจัยจนกระทั่งการวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ประจักษ์ เปรมจิตต์



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย.....	11
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	11
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	11
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	13
2.1 วัสดุที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในครั้งนี้.....	13
2.2 การวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ.....	21
3.1 การเตรียมการขั้นตอนการดำเนินงานทดสอบ.....	21
3.2 การเตรียมตัวอย่างผนังอิฐก่อ.....	22
3.3 การติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ.....	25
3.4 การดำเนินการทดสอบ.....	27
3.5 การซ่อมแซม และเสริมกำลังผนังอิฐก่อภายหลังที่เกิดการวิบัติจากการ..... ทดสอบ W.....	28
3.6 การเตรียมผนังอิฐก่อสำหรับการทดสอบ W-G.....	31
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	32
4.1 ผนังอิฐก่อที่ทำการทดสอบ W.....	32
4.2 ผนังอิฐก่อที่ทำการทดสอบ W-RG.....	34
4.3 ผนังอิฐก่อที่ทำการทดสอบ W-G.....	36
4.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบ W และการทดสอบ W-RG.....	38
4.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบ W และการทดสอบ W-G.....	38
4.6 การสลายพลังงานสะสม (Cumulative Energy Dissipation).....	39
4.7 ค่าความแข็งเกร็ง (Stiffness).....	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	41
5.1 สรุปผลการทดสอบ.....	41
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	41

## สารบัญ (ต่อ)

บรรณานุกรม.....	42
ภาคผนวก.....	43
ภาคผนวก ก เครื่องมือการทดสอบ.....	44
ภาคผนวก ข ภาพรวมการทดสอบ.....	51
ประวัติผู้เขียน.....	63



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของวัสดุอิฐก่อ.....	14
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของเรซิน.....	16
ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดสอบ.....	39



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุพอลิเมอร์แต่ละประเภท.....	13
รูปที่ 2.2 แบบการติดตั้ง GFRP กับตัวอย่างทดสอบแบบเต็มพื้นและแบบ 3-stripe.....	17
รูปที่ 2.3 ความเสียหายของผนังอิฐก่อที่ไม่ได้ทำการเสริมกำลัง และผนังอิฐก่อที่ทำการเสริมกำลังด้วยวิธี Ferrocement.....	19
รูปที่ 2.4 แบบขอผนังอิฐก่อสำหรับการทดสอบ และผลลัพธ์จากการทดสอบ.....	20
รูปที่ 3.1 แผนผนังขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ.....	21
รูปที่ 3.2 แบบเขียนขนาดและการเสริมเหล็กของโครงสร้างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก..	22
รูปที่ 3.3 แบบเขียนผนังตัวอย่างสำหรับการทดสอบ W.....	22
รูปที่ 3.4 ผนังตัวอย่างสำหรับการทดสอบ W.....	23
รูปที่ 3.5 แบบเขียนผนังตัวอย่างสำหรับการทดสอบ W-RG และ W-G.....	23
รูปที่ 3.6 ผนังตัวอย่างสำหรับการทดสอบ W-RG.....	24
รูปที่ 3.7 ผนังตัวอย่างสำหรับการทดสอบ W-G.....	24
รูปที่ 3.8 แบบเขียนตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือการทดสอบ.....	25
รูปที่ 3.9 โครงเหล็กสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ทำการทดสอบ.....	26
รูปที่ 3.10 เครื่องมือบันทึกข้อมูลการทดสอบ (Data Logger).....	26
รูปที่ 3.11 ระยะเวลาเคลื่อนที่ของผนังอิฐก่อตัวอย่างแบบวงจักร.....	27
รูปที่ 3.12 การซ่อมแซมผนังอิฐก่อโดยอัดฉีดอิพ็อกซีเรซินหลังจากการวิบัติ.....	28
รูปที่ 3.13 การซ่อมแซมผนังอิฐก่อเพื่อเตรียมการทดสอบ W-RG.....	29
รูปที่ 3.14 การยึดรอยแยกของผนังอิฐก่อด้วยตาข่ายประเภทเส้นใยแก้ว.....	29
รูปที่ 3.15 การติดตั้งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพัน.....	30
รูปที่ 3.16 ผนังอิฐก่อสำหรับการทดสอบ W-RG .....	30
รูปที่ 3.17 ผนังอิฐก่อสำหรับการทดสอบ W-G .....	31
รูปที่ 4.1 ผนังอิฐก่อตัวอย่างภายหลังการทดสอบ W .....	32
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและระยะเวลาเคลื่อนที่..... (การทดสอบ W).....	33
รูปที่ 4.3 ผนังอิฐก่อตัวอย่างภายหลังการทดสอบ W-RG .....	34
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและระยะเวลาเคลื่อนที่..... (การทดสอบ W-RG).....	35
รูปที่ 4.5 ผนังอิฐก่อตัวอย่างภายหลังการทดสอบ W-G .....	36
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและระยะเวลาเคลื่อนที่..... (การทดสอบ W-G).....	37



## สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบการสลายพลังงานสะสมระหว่าง การทดสอบ W การทดสอบ..... W-RG และการทดสอบ W-G.....	39
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงระหว่าง การทดสอบ W การทดสอบ W-RG ....	40



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ในประเทศไทยระบบการก่อสร้างส่วนใหญ่จะเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังเป็นกำแพงอิฐก่อ อาคารลักษณะดังกล่าวไม่ว่าจะเป็นสำนักงานราชการ สถานศึกษา ฯลฯ ล้วนเกิดความเสียหายขึ้น โดยจะเกิดขึ้นที่ผนังอิฐก่อเมื่อเผชิญแรงแผ่นดินไหว ตัวผนังอิฐก่อนี้ทำหน้าที่เสมือนส่วนค้ำยันโครงสร้างหลัก (คานคอนกรีตเสริมเหล็ก และเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก) ซึ่งความเสียหายของผนังอิฐก่อนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือรอยแตกตามรอยต่อของอิฐก่อ (Shear sliding failure) รอยแตกผ้าอิฐก่อ (Diagonal tension shear failure) และการวิบัติจากการโยกของโครงสร้าง (Rocking mode failure) (2-3)

การฟื้นฟูสภาพให้กับผนังอิฐก่อให้มีความแข็งแรงนั้นเป็นสิ่งที่มีความสำคัญและการเลือกวัสดุเสริมกำลังให้กับโครงสร้างนั้น ควรจะพิจารณาวัสดุที่มีน้ำหนักเบาจะได้ไม่เป็นการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกของอาคารจนมากเกินไป วัสดุเสริมกำลังที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วแบบพัน ซึ่งสามารถติดตั้งได้รวดเร็ว มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง และสามารถทนแรงดึงได้ดี โดยทำการศึกษาระงะกระทำด้านข้าง (In-plane lateral load) แบบวัฏจักรที่มีผลต่อผนังอิฐก่อที่ก่อภายในโครงสร้างเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้วัสดุเสริมแรงประเภทพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพัน

1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับแรงของผนังอิฐก่อที่ทำการเสริมกำลังกับพฤติกรรมของผนังอิฐก่อดั้งเดิม

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพและพฤติกรรมการรับแรงกระทำแผ่นดินไหวของผนังอิฐก่อที่ได้ทำการเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพัน โดยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1.3.1 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความต้านทานของแรงกระทำด้านข้างกับระยะการเคลื่อนที่ของผนังอิฐก่อ 3 การทดสอบ ประกอบด้วย

1.3.1.1 ผนังอิฐก่อที่ไม่ได้ทำการเสริมกำลัง

1.3.1.2 ผนังอิฐก่อที่ทำการซ่อมแซมและเสริมกำลังหลังจากเผชิญแรงกระทำจนวิบัติแล้ว

1.3.1.3 ผนังอิฐก่อที่ทำการเสริมกำลังหลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จ

1.3.2 ผนังอิฐก่อที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด สูง 2.5 เมตร กว้าง 3.8 เมตร และ หนา 0.064 เมตร (อิฐก่อขนาด 60 มิลลิเมตร และปูนฉาบผิวบางด้านละ 2 มิลลิเมตร) ในการทดสอบที่มีการเสริมกำลังจะมีความหนาของ พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพันด้านละ 5 มิลลิเมตร จะมีความหนาของผนังอิฐก่อรวม 0.074 เมตร



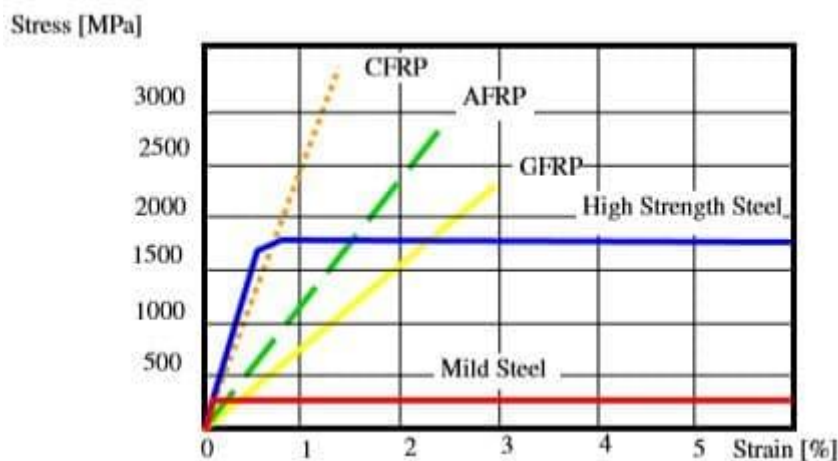
## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 วัสดุที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในครั้งนี้

##### 2.1.1 วัสดุ FRP (Fiber Reinforced Plastic)

FRP เป็นวัสดุประกอบ (Composite material) ที่ผลิตขึ้นมาจากวัสดุสองชนิดขึ้นไป ที่มีคุณสมบัติที่ต่างกัน นำมาขึ้นรูปในกระบวนการผลิตหลากหลายวิธีการ โดยวัสดุทั้งสองชนิดยังคงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี โดยทั่วไปนิยมใช้เส้นใย (Fiber) ที่กำลังแรงดึงและค่าโมดูลัสสูงเป็นวัสดุหลักในการรับแรง ตัวอย่างเส้นใยที่นำมาใช้ได้แก่ เส้นใยแก้ว (Glass fiber), เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) จึงทำให้วัสดุ FRP มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ที่สามารถนำมาใช้กับงานได้หลากหลาย ทั้งอุตสาหกรรมงานทางวิศวกรรมโยธา งานตกแต่ง อุตสาหกรรมเคมีและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น



รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุพอลิเมอร์แต่ละประเภท

พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว (Glass Fiber)

GFRP เป็นสารประกอบออลูมิเนียมอนินทรีย์และอนินทรีย์ที่ไม่ใช่โลหะผสมประกอบกับชิ้นส่วนวัสดุและเสริมสร้างความแข็งแรงของชิ้นส่วน GFRP มีประสิทธิภาพการฉนวนกันความร้อนที่ดี และประสิทธิภาพพันธะความแข็งแรงเชิงกลสูงและความต้านทานความร้อนมีความแข็งแรงมากขึ้นและการขึ้นรูปอัตราการหดตัวมีขนาดเล็กน้ำหนักเบาการก่อสร้างจะสะดวก

## 2.1.2 อิฐมอญ (Brick)

เป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการนำดินเหนียวมาเผาเพื่อให้ได้วัสดุที่คงรูป และมีความแข็งแรง โดยมีการใช้อิฐมอญในระบบการก่อสร้างมายาวนานหลายสิบปี จึงเป็นวัสดุที่เป็นที่รู้จักและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากความเชื่อมั่นในความคงทน และเป็นวัสดุที่ผลิตได้เองในประเทศ จากโรงงานท้องถิ่นที่มีกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศที่ใช้มาก เช่น อิฐอยุธยา (อ่างทอง) และอิฐพานทองที่จะเป็นอิฐที่ขนาดใหญ่กว่าอิฐอยุธยา การเผาที่ใช้ไม้ฟืนในการเผา ส่วนอิฐอยุธยาใช้แกลบในการเผา และก้อนอิฐก็จะมีขนาดเล็กกว่าอิฐพานทอง ราคาอิฐของอยุธยาจึงถูกกว่าอิฐพานทอง คุณสมบัติของอิฐมอญเป็นวัสดุที่ยอมให้ความร้อนถ่ายเทเข้า-ออกได้ง่าย และยังดูดเก็บความร้อนไว้ในตัวเองเป็นเวลานานกว่าจะเย็นตัวลง จะสังเกตได้จากเมื่อใช้มือสัมผัสผนังภายในบ้านในตอนบ่ายที่ถูกแดดร้อนจัด ผนังจะร้อนมาก และยังคงร้อนอยู่จนถึงช่วงหัวค่ำแล้วจึงเย็นลงใกล้เคียงกับอากาศปกติ เนื่องจากอิฐมอญมีความจุความร้อนสูงทำให้สามารถกักเก็บความร้อนไว้ในเนื้อวัสดุได้มาก ก่อนที่จะค่อยๆ ถ่ายเทสู่ภายนอก จึงเหมาะกับการใช้กับบริเวณที่ใช้งานเฉพาะช่วงกลางวัน คุณสมบัติเฉพาะของอิฐมอญ ดังตารางด้านล่างนี้

### ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของวัสดุอิฐก่อ

รูปแบบกายภาพ	หน่วย
ราคาต่อหน่วย (บาท)	0.60
ราคาต่อตร.ม (บาท).	100 – 190
ค่าวัสดุ+ค่าแรง/ ตรม. (บาท)	425 – 440
ขนาด (Volume) (cm. <sup>3</sup> )	7x16x3.5
ความหนาแน่น (kg./m <sup>2</sup> )	1615 – 1650
จำนวนก้อนต่อตร.ม. (ก้อน, แผ่น)	145
น้ำหนักต่อตร.ม. (kg./m <sup>2</sup> )	130
น้ำหนักรวมปูนฉาบต่อตร.ม. (kg./m <sup>2</sup> )	200
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม “Q” (Thermal Transfer) (Watt/m <sup>2</sup> )	30 – 45
ค่าการนำความร้อน “K” (Conductivity – K value) (W/m.K)	0.473
ค่าการต้านทานความร้อน “R” (Resistivity – R value) (m <sup>2</sup> K/W)	0.15
ค่าความจุความร้อน “C” (Thermal Capacity) (J/kg.K)	800 – 1000
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว “Q” (Thermal Expansion / °C)	4.6x10 <sup>-6</sup>
การหดตัวเมื่อแห้ง	-
การต้านทานแรงอัด (kg./cm <sup>2</sup> )	1.8
	35 kg./cm <sup>2</sup>

## ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของวัสดุอีฐูก่อ (ต่อ)

รูปแบบกายภาพ	หน่วย	
ความแข็งแรงทางกล (kg/cm <sup>2</sup> )	-	
การกันเสียง (dB)	36-40	
การทนไฟ (ชั่วโมง)	0.5 – 2	
การปลดคกิ้น	ไม่มีคกิ้น	
ความต้านทานแมลง เชื้อรา และความ ปลอดภัยต่อธรรมชาติ	-	
อัตราการซึมน้ำ (%)	30-40%	
การยึดหดตัวของวัสดุ (มม./ม.)	+0.18	
จำนวนผู้ผลิต	มาก	
ปริมาณการผลิตเทียบกับความต้องการ	เพียงพอ	
ขั้นตอนการก่อสร้าง	ง่าย	
การบำรุงรักษา	ง่าย	
อายุใช้งาน	มากกว่า 50 ปี	
ข้อดี		
- เป็นที่ยอมรับทั่วไป	- ราคาถูก	- ช่างชำนาญ
- แข็งแรง, ทน	- หาซื้อง่าย	- ไม่เป็นพิษ
- มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน		
ข้อเสีย		
- คุณภาพและขนาดไม่แน่นอน		
- ใช้เวลานานในการก่อสร้าง		- เสียหายขณะขนส่ง
- น้ำหนักมาก		- ขาดแคลนช่วงฤดูฝน

### 2.1.3 น้ำยาสำหรับใช้กับเส้นใย GFRP

1) เรซิน หรือ พอลิเอสเทอร์เรซิน เป็นพลาสติกเหลวชนิดหนึ่ง มีลักษณะคล้ายน้ำมันก๊ลิน ฉุนแฉ้งตัวด้วย ความร้อนสูง เป็นวัตถุไวไฟชนิดหนึ่ง มีอัตราการหดตัว 2-8% หลังเซ็ดตัวเต็มที่ เรซิน หรือชื่อทางการค้า Polynt Composites HI001 สามารถหล่อขึ้นรูปได้มากมายหลายรูปแบบเรซิน สำหรับหล่องานทั่วไป เรซินสำหรับหล่องานไฟเบอร์กลาสและเรซินสำหรับงานเคลือบ เช่น งานเคลือบ กรอบรูปวิทยาศาสตร์ เรซินสามารถแยกตามเกรดของคุณสมบัติของเนื้อเรซิน คือ

- เกรด ortho – phthalic type คือ ชนิดเกรดใช้งานได้ทั่วไป
- เกรด isophthalic type คือ ชนิดที่ทนกรด – ต่างได้ดี
- เกรด bisphenol type คือ ชนิดที่ทนกรด – ต่างสูง
- เกรด vinyl ester คือ ชนิดที่ทนกรด - ต่างสูงมาก แข็งแรง

2) ตัวเร่งปฏิกิริยา(Hardener) หรือ ตัวคะตะลิสต์ (Catalyst) หรือตัวทำให้แข็งมีลักษณะเป็นสีใส กลิ่นฉุน เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เปลี่ยนสภาพเรซินจากพลาสติกเหลวเป็นพลาสติกแข็งโดยการผสมลงในอัตราส่วนที่เหมาะสม

**ตารางที่ 2.2** คุณสมบัติของเรซิน

---

Polynt Composites HI001  
CURED RESIN PROPERTIES AS NON-REINFORCED

---

LIQUID RESIN PROPERTIES

Specific gravity at 25°C	:1.12
Solid content	:56 – 64 %
Acid value	: 17 – 29 mg KOH/g
Flash point	: 31.8°C
Stability in the dark at 25°C	: 6 months
Thixo index at 25°C	: Minimum 2.0
Viscosity at 25°C (LVT/Sp 3/60rpm)	: 650-750 cps

MECHENICAL PROPERTIES

Barcol hardness	: 45
Water absorption 7 days at 25°C	: 43.1 mg
Tensile strength	: 65 MPa
Tensile Modulus	: 3600 MPa
Elongation at break	: 3.3 %
Deflection Temperature under load (1.8 MPa)	: 63 °C
Glass content	: 32 %
Tensile strength	: 122 MPa
Tensile Modulus	: 8500 MPa
Elongation at break	: 1.7 %
Flexural strength	: 183 MPa
Flexural modulus	: 6300 MPa

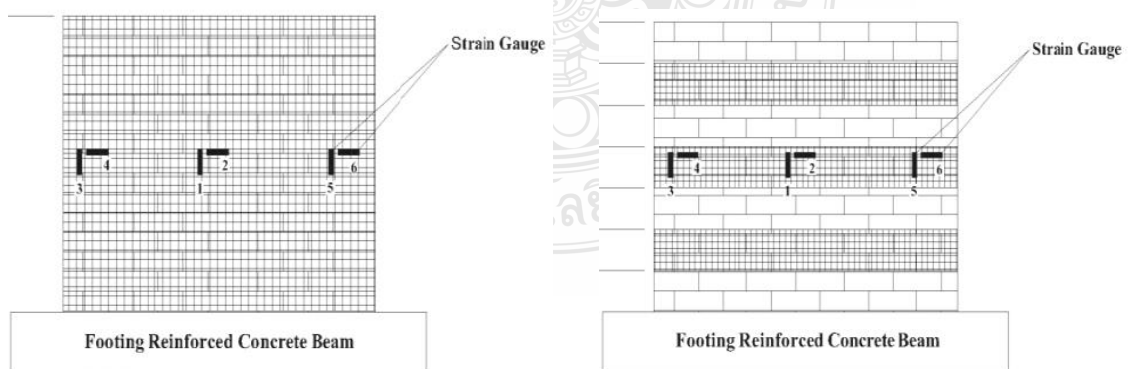
---

## 2.2 การวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกี่ยวข้องการทำวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างแบบวิถัจกรของผนังอาคารที่มีช่องเปิดสำหรับประตู ใน 3 กรณี อันได้แก่ พฤติกรรมของผนังอิฐก่อเมื่อรับแรงกระทำแบบผนังเปล่า (การทดสอบ W) ผนังอิฐก่อที่เผชิญแรงกระทำด้านข้างจนเกิดการวิบัติและทำการซ่อมแซมและเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพ่น Sprayed Glass Fiber-Reinforced Polymer (การทดสอบ W-RG) ผนังอิฐก่อที่ทำการเสริมกำลังหลังจากการก่อสร้างเสร็จ (การทดสอบ W-G) แล้วเปรียบเทียบพฤติกรรมของการทดสอบทั้ง 3 กรณีเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการซ่อมแซมอาคารที่เกิดความเสียหายต่อไปในอนาคต

การวิจัยในครั้งนี้ใช้วิธีที่ใช้ในการทดสอบ เป็นวิธีใหม่สำหรับการก่อสร้างทั่วไปที่มีการผลิตใช้ตามท้องตลาดทั่วไป แต่มีคุณภาพที่เหมาะสมและทราบแหล่งที่ผลิตที่แน่นอน โดยได้ทำการศึกษาให้เสมือนจริงตามรูปแบบของการก่อสร้างอาคารพักอาศัยโดยทั่วไปที่ต้องมีช่องเปิดสำหรับประตูหรือหน้าต่าง โดยทำการศึกษเกี่ยวกับแนวคิด ทฤษฎี วรรณกรรม บทความ หรืองานวิจัยที่ใกล้เคียงหรือเกี่ยวข้องกับวัสดุที่ทำการศึกษา รวมถึงงานวิจัยที่มีรูปแบบองค์อาคารใกล้เคียง ดังผลงานวิจัยวัสดุและงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องดังนี้

หมิง จิ่ง, อมเรศ บกสุวรรณ, วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ และนิติ วิทยาวิโรจน์ (2553) พฤติกรรมของผนังอิฐโบราณเสมือนจริงเสริมด้วย FIBER-REINFORCED POLYMER ภายใต้แรงกระทำทางด้านบนพบว่า พฤติกรรมของผนังอิฐโบราณภายใต้แรงกระทำด้านบน ผนังเกิดการยุบตัวและเกิดการขยายตัวขึ้นบริเวณด้านข้างของผนังแต่ความสามารถในการรับแรงน้อยมากซึ่งรับได้สูงสุดเท่ากับ 84.27 Tons พฤติกรรมของผนังอิฐโบราณเสริม Fiber Reinforce (FRP) แบบ 3-stripe เมื่อผนังได้รับแรงพฤติกรรมของผนังจะเหมือนกับผนังเปลาคือเกิดการยุบตัวตามแนวแรงและเกิดการขยายตัวที่บริเวณด้านข้าง แต่ที่แตกต่างกันคือความสามารถในการรับแรงของผนังเมื่อเสริม GFRP แล้วสามารถรับแรงได้ถึง 148.00 tons การขยายตัวของผนังจะน้อยกว่าการติดแบบเต็มผนัง



รูปที่ 2.2 แบบการติดตั้ง GFRP กับตัวอย่างทดสอบแบบเต็มผิวและแบบ 3-stripe



Toshiyuki Kanakubo, Tomoki Furuta, Keisuke Takahashi, และ Takeshi Nemoto (2005) ได้ศึกษาเรื่อง Sprayed Fiber Reinforced Polymers for Strengthening of Concrete Structure โดยการพัน GFRP หรือ SFRP ไปที่ผิวคานารูปตัว T กับเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก และทำการทดสอบคานาด้วยวิธีการดึงด้วยสมอยึด และทดสอบเสาด้วยแรงอัด ซึ่งสรุปได้ดังนี้

- 1) การเสริมสร้างความแข็งแรงด้วยวิธีการพันสเปรย์คาร์บอนหรือใยแก้วกับโวนิลเอสเตอร์เรซินสามารถใช้ได้งานโครงสร้างคอนกรีต
- 2) การทดสอบไม่มีค่าแตกต่างกันมากในการเสียรูป, ultimate strengths, และค่าความเครียดระหว่าง SFRP กับเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการฉีดพ่นอย่างต่อเนื่อง
- 3) ผลที่เกิดขึ้นจากการดึงด้วยสมอยึด การทดสอบคานารูปตัว T จะมีประสิทธิภาพสำหรับการดึงด้วยสมอยึดของ SFRP ที่คอนกรีต ความลึกของช่องที่ 5 mm. จะเพียงพอที่จะทำให้ไฟเบอร์กลาสเกิดการแตกตัว
- 4) ความผิดพลาดของการใช้ SFRP ที่พบ คือบริเวณที่มุมระหว่างคานาและพื้น ซึ่งไม่สามารถสังเกตได้โดยตัว SFRP จะแตกหักที่บริเวณมุมของคานา ทำมุม 1/50 เรเดียน ซึ่งเป็นมุมที่เล็กมากๆ

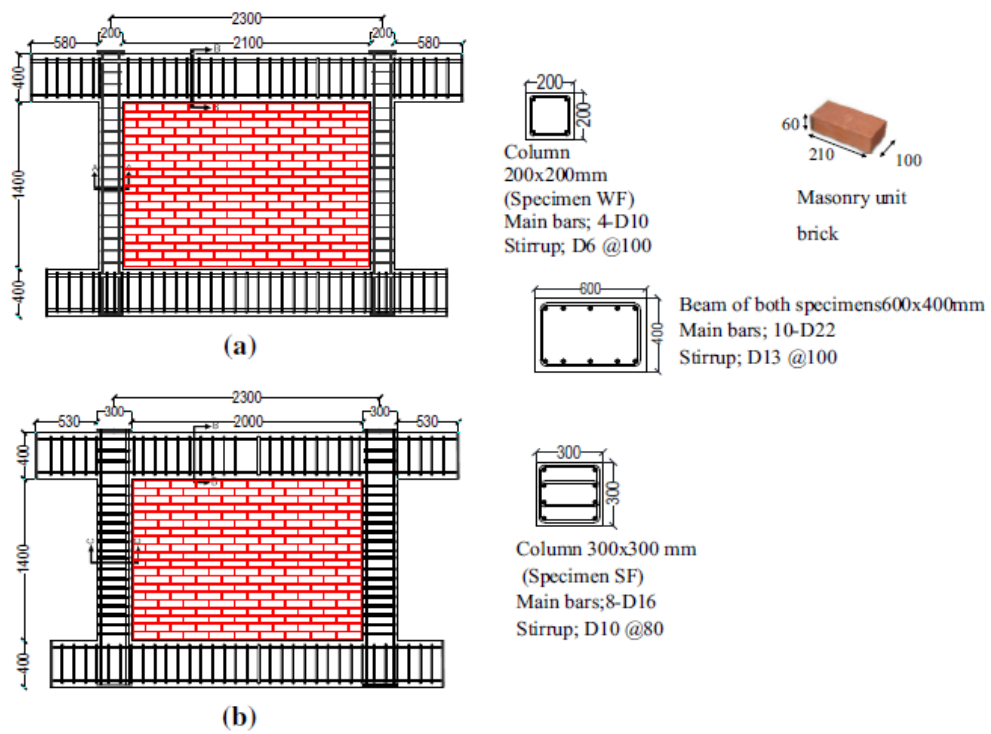
H.K. Lee, L.R. Hausmann และ W.C. Seaman (2008) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการซ่อมแซมโครงสร้างและการสร้างความแข็งแรงจากความเสียหายของคานาปกติและคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการฉีดพ่น FRP โดยมีวิธีการพัน FRP บนคานาคอนกรีตที่เสียหายและคานาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสียหายเช่นกัน และได้ทำการทดสอบแรงดัดบนคานาดังกล่าวแล้วนำมาเปรียบเทียบกับวัสดุซ่อมแซมอื่นๆ เช่น Fiber Reinforced Mortar พบว่า ความสามารถของโหลด ระหว่าง SFRP กับคานาคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็กก็มีประสิทธิภาพอย่างมากในเพิ่มความแข็งแรงตลอดจนความเหนียวและมีประสิทธิภาพในการเสริมสร้างและซ่อมแซมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นอย่างดี

Anuchat L., Phai boon P., Anat R., (2017) ได้ศึกษาการเสริมกำลังผนังอิฐก่อภายในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธี Ferrocement โดยเปรียบเทียบกับผนังอิฐก่อที่ได้ที่ไม่ได้ทำการเสริมกำลัง โดยจำลองให้ผนังอิฐก่อเผชิญแรงกระทำจากแผ่นดินไหวที่มากระทำในบริเวณด้านข้างของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ พบว่า จากทดสอบตัวอย่างควบคุม ผนังอิฐก่อจะเกิดความรอยร้าวในแนวทแยง (Diagonal crack) และตามมาด้วย ความเสียหายจากการเลื่อนไถลของอิฐก่อ (bed-joint sliding shear) สำหรับตัวอย่างที่เสริมกำลังด้วยวิธี Ferrocement พบว่า เหล็กตะแกรงที่ใช้ในการเสริมกำลังสามารถเพิ่มความสามารถในการรับกำลัง (lateral strength) อย่างมีนัยสำคัญ และสามารถป้องกันความเสียหายจากการเลื่อนไถลของอิฐก่อ (bed-joint sliding shear) และ ความเสียหายจากแรงอัดที่บริเวณมุมเสา (corner crushing mode)



รูปที่ 2.3 ความเสียหายของผนังอิฐก่อที่ไม่ได้ทำการเสริมกำลัง และผนังอิฐก่อที่ทำการเสริมกำลังด้วยวิธี Ferrocement

H. Alwashali, Y. Torihata, K. Jin, M. Maeda, (2017) ได้ทำการวิจัย ในหัวข้อExperimental observations on the in-plane behavior of masonry wall infilled RC frames; focusing on deformation limits and backbone curve พบว่าความสามารถในการรับกำลังของผนังอิฐก่อจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อก่อสร้างภายในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีแข็งแรงน้อยกว่า ผลลัพธ์นี้บ่งชี้ว่าการรับกำลังของผนังอิฐก่อไม่ควรจะคำนวณจากผลการทดสอบของวัสดุอิฐก่อเพียงอย่างเดียวเนื่องจากการรับกำลังและค่าความแข็งแรงโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่รอบนอกนั้นมีส่วนกับการรับกำลังของผนังอิฐก่ออย่างมีนัยสำคัญ



Specimen name	Experiment $V_{max}$ (kN)		$V_f$ (kN) Eq. (3)	Experiment $V_{inf}$ (kN) by Eq. (4)		Maximum shear strength $\tau_{inf}$ (N/mm <sup>2</sup> )	
	Positive loading	Negative loading		Positive loading	Negative loading	Positive loading	Negative loading
WF	285	230	71	214	159	1.07	0.80
SF	571	582	280	291	302	1.46	1.51

รูปที่ 2.4 แบบของผนังอิฐก่อสำหรับการทดสอบ และผลลัพธ์จากการทดสอบ

# บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

## 3.1 การเตรียมการขั้นตอนการดำเนินงานทดสอบ

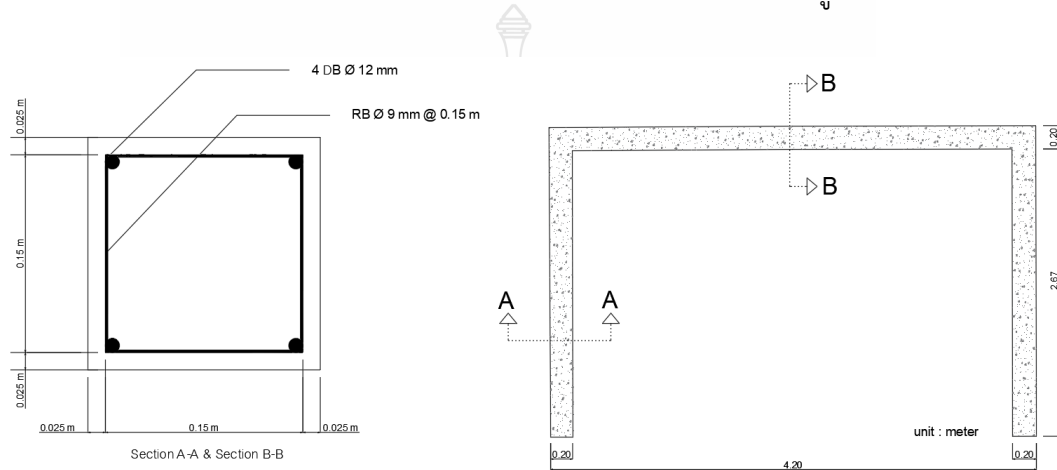
การวิจัยนี้ประกอบไปด้วยการทดสอบผนังอิฐก่อภายใต้แรงกระทำจำลองจากแผ่นดินไหว 3 การทดสอบ ประกอบด้วย การทดสอบผนังอิฐก่อที่สภาพสมบูรณ์และปราศจากการเสริมกำลัง (การทดสอบ W) การทดสอบผนังอิฐก่อที่ได้รับการซ่อมแซมและเสริมกำลังภายหลังที่เกิดการวิบัติไปแล้วจากการทดสอบครั้งแรก (การทดสอบ W-RG) และหลังจากการทดสอบครั้งที่ 2 ทำการก่อสร้างผนังอิฐก่อเสา และคานคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่จากนั้นทำการเสริมกำลังผนังอิฐก่อจะเป็นการทดสอบผนังอิฐก่อที่ได้รับการเสริมกำลังภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ (W-G) โดยจะมีแผนการดำเนินการตามแผนผังดังภาพที่ 3.1



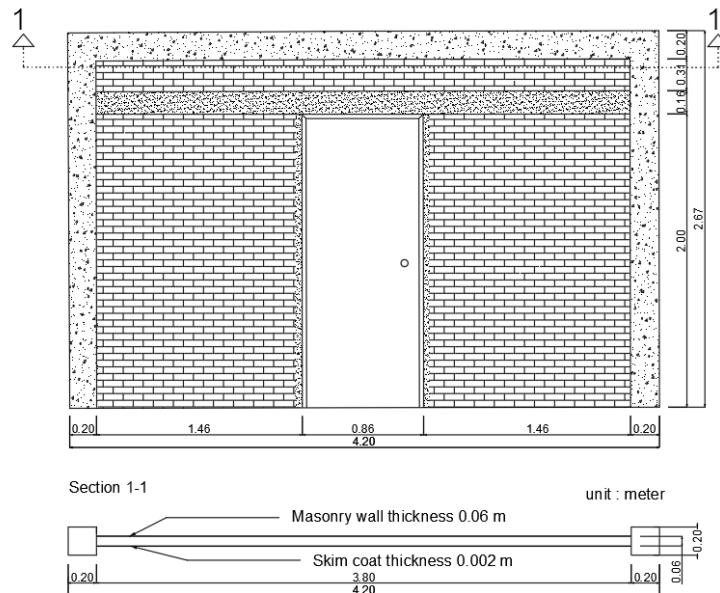
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

### 3.2 การเตรียมตัวอย่างผนังอิฐก่อ

เตรียมผนังอิฐก่อตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาด สูง 2.5 เมตร กว้าง 2.5 เมตร หนา 64 มิลลิเมตร (อิฐก่อขนาดกว้าง 60 มิลลิเมตร และ ปูนฉาบผิวบางด้านละ 2 มิลลิเมตร) ดังรูปที่ 3.3-3.4 ซึ่งจะเป็นผนังอิฐก่อสำหรับการทดสอบครั้งแรก (การทดสอบ W) ส่วนการทดสอบ W-RG และการทดสอบ W-G จะมีความหนา 74 มิลลิเมตร เนื่องจากการเสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้วด้านละ 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.5-3.7 ผนังอิฐก่อสำหรับการทดสอบจะถูกก่อสร้างภายในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีรายละเอียดการเสริมเหล็กและขนาดของโครงสร้างคานและโครงสร้างเสา ดังรูปที่ 3.2



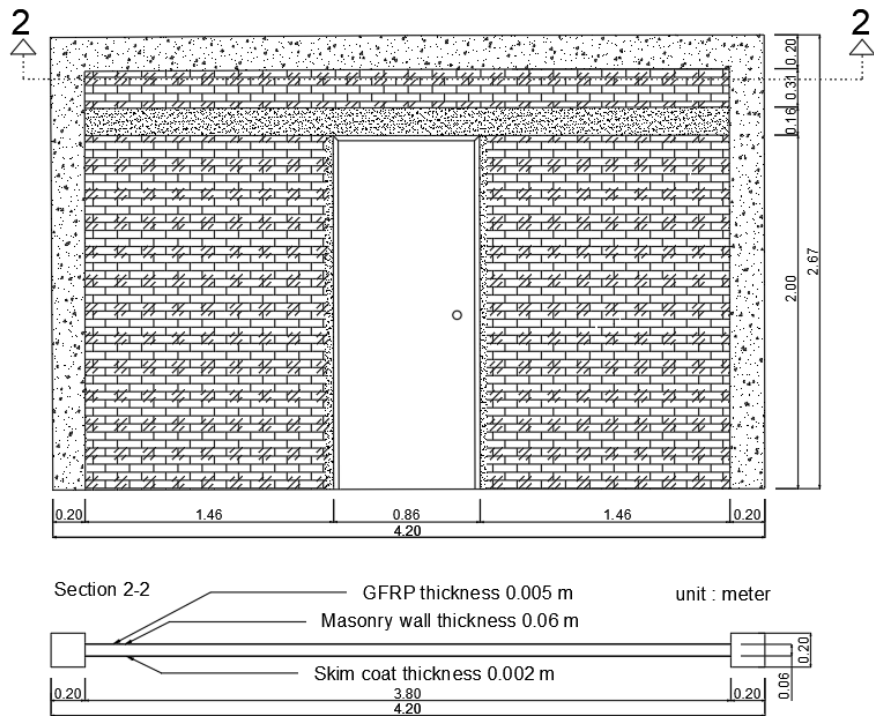
รูปที่ 3.2 แบบเขียนขนาดและการเสริมเหล็กของโครงสร้างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 3.3 แบบเขียนผนังตัวอย่างสำหรับการทดสอบ W



รูปที่ 3.4 ผนังตัวอย่างสำหรับการทดสอบ W



รูปที่ 3.5 แบบเขียนผนังตัวอย่างสำหรับการทดสอบ W-RG และ W-G





รูปที่ 3.6 ผนังตัวอย่างสำหรับการทดสอบ W-RG



รูปที่ 3.7 ผนังตัวอย่างสำหรับการทดสอบ W-G

### 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ

การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อจำลองแรงกระทำจากแผ่นดินไหว ยึดฐานแม่แรงไฮดรอลิก (Hydraulic Jack) บนโครงเหล็กทดสอบ (Load Steel Frame) และด้านข้างของตัวอย่างทดสอบ โดยยึดต่อกับเซลล์วัดแรง (Load Cell) เพื่อเป็นแรงกระทำในแนวตั้ง (Vertical Loading) และแรงกระทำด้านข้างแบบวัฏจักร (Lateral Cyclic Loading) ดังรูปที่ 3.8-3.9

การติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบ ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบ LVDT (Linear Variable Displacement Transducers) ในตำแหน่งดังรูปที่ 3.8

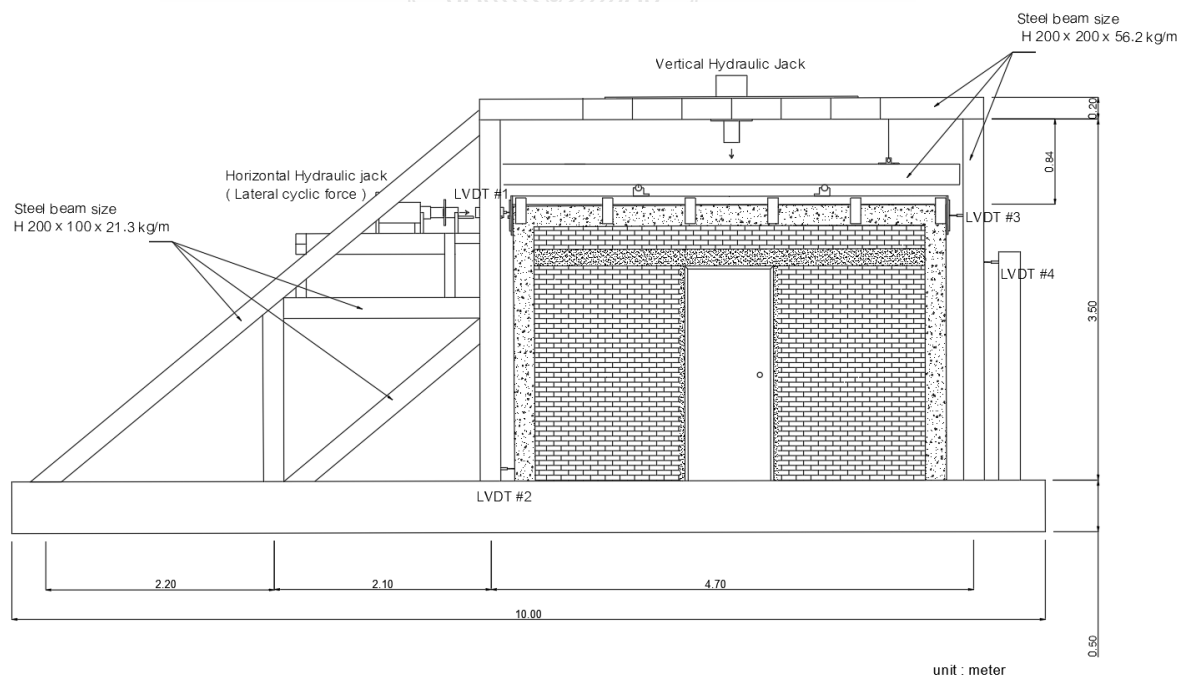
LVDT # 1 สำหรับการวัดค่าการเคลื่อนที่ของผนังอิฐก่อตัวอย่าง

LVDT # 2 สำหรับการตรวจสอบว่าเสาโครงข้อแข็งมีการหลุดจากฐานรองรับหรือไม่

LVDT # 3 สำหรับการวัดค่าการเคลื่อนที่ของผนังอิฐก่อตัวอย่าง (สำรอง LVDT # 1)

LVDT # 4 สำหรับการตรวจสอบว่าโครงเหล็กสำหรับการทดสอบมีการเคลื่อนตัวหรือไม่

ในการบันทึกผลจากเครื่องมือวัดเซลล์วัดแรงและเครื่องมือวัดการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบจะใช้เครื่องมือบันทึกข้อมูล (Data logger) โดยควบคุมและแสดงผลขณะทดสอบผ่านทางคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.8 แบบเขียนตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือการทดสอบ





รูปที่ 3.9 โครงเหล็กสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ทำการทดสอบ



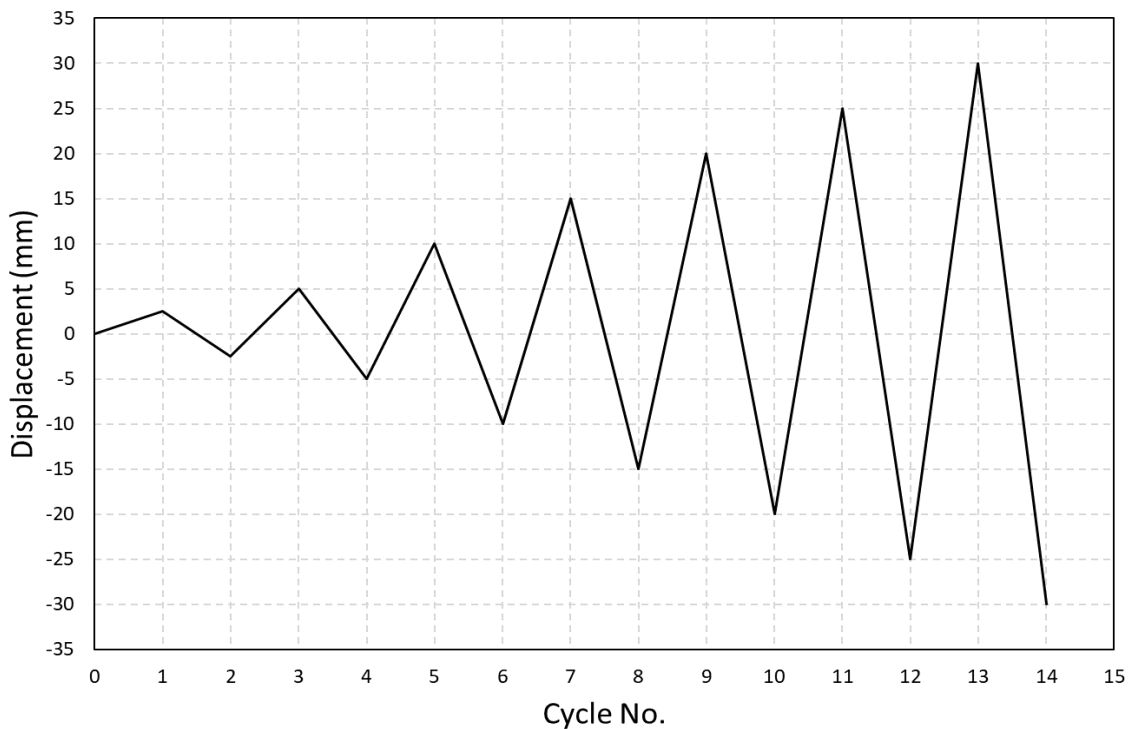
รูปที่ 3.10 เครื่องมือบันทึกข้อมูลการทดสอบ (Data Logger)

### 3.4 การดำเนินการทดสอบ

การดำเนินการทดสอบ โดยให้แรงกระทำทางด้านข้างแบบวัฏจักร (Cyclic Loading) กับผนังอิฐก่อ โดยมีรายละเอียดดังนี้

การให้แรงกระทำต่อผนังอิฐก่อนั้นจะมีแรงกระทำอยู่ 2 ส่วนประกอบด้วย แรงกระทำด้านข้างแบบวัฏจักร (Lateral Cyclic Loading) และแรงกระทำแนวตั้ง (Vertical Loading) ซึ่งการให้แรงกระทำแนวตั้งนั้นจะเป็นแรงคงที่และมีการพยายามในการกระจายแรงลงเท่าๆกันตลอดทั้งความยาวผนังด้วยขนาด 50 กิโลนิวตัน เพื่อจำลองการแบกรับน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนอื่นๆของอาคาร ส่วนแรงกระทำด้านข้างนั้นจะเป็นการให้แรงที่มีการควบคุมโดยแม่แรงไฮดรอลิก โดยจะมีรอบและระยะการเคลื่อนที่ของตัวอย่าง ตามรูปที่ 3.11

การบันทึกความเสียหายของตัวอย่างผนังอิฐก่อนั้นประกอบด้วย การบันทึกแผนผังรอยร้าว ภาพนิ่ง และ ภาพเคลื่อนไหว ขณะทำการทดสอบโดยทำการบันทึกทุกรอบระยะการเคลื่อนที่ของตัวอย่าง



รูปที่ 3.11 ระยะการเคลื่อนที่ของผนังอิฐก่อตัวอย่างแบบวัฏจักร

### 3.5 การซ่อมแซมและเสริมกำลังผนังอิฐก่อภายหลังที่เกิดการวิบัติจากการทดสอบ W

หลังจากการทดสอบ W ผนังอิฐก่อและโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กจะเกิดความเสียหาย ทำการซ่อมแซมโครงสร้างโดยใช้วิธีการอัดฉีดอีพ็อกซีเรซิน (Epoxy Injection Method) ซึ่งเป็นวิธีการซ่อมแซมโครงสร้างที่อัดฉีดอีพ็อกซีเรซินเข้าไปในรอยร้าวของโครงสร้างเพื่อเติมเต็มและผสานช่องว่างระหว่างผิวคอนกรีตที่เกิดขึ้นจากความเสียหาย ดังรูปที่ 3.12-3.13 ทั้งนี้สารอีพ็อกซีเรซิน เป็นสารซึ่งประกอบด้วยของเหลวสองชนิดขึ้นไป ที่ทำปฏิกิริยาแล้วกลายเป็นของแข็ง อีพ็อกซีเรซินเมื่อแข็งตัวจะมีกำลังรับน้ำหนักและค่าโมดูลัสสูงและยึดเกาะกับโครงสร้างเดิมและทำการยึดรอยแยกของผนังตัวอย่างด้วยตาข่ายประเภทเส้นใยแก้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.14 จากนั้นทำการเสริมกำลังผนังอิฐก่อที่ซ่อมแซมแล้วเสร็จด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพ่นโดยใช้อีพ็อกซีเรซินเป็นน้ำยาผสานเส้นใยแก้วเข้ากับผนังอิฐก่อ ดังภาพที่ 3.15-3.16 จากนั้นจะได้ผนังอิฐก่อสำหรับการทดสอบ W-RG



รูปที่ 3.12 การซ่อมแซมผนังอิฐก่อโดยอัดฉีดอีพ็อกซีเรซินหลังจากการวิบัติ





รูปที่ 3.13 การซ่อมแซมผนังอิฐก่อเพื่อเตรียมการทดสอบ W-RG



รูปที่ 3.14 การยึดรอยแยกของผนังอิฐก่อด้วยตาข่ายประเภทเส้นใยแก้ว



รูปที่ 3.15 การติดตั้งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพ่น



รูปที่ 3.16 ผนังอิฐก่อสำหรับการทดสอบ W-RG



### 3.6 การเตรียมผนังอิฐก่อสำหรับการทดสอบ W-G

ภายหลังจากการทดสอบ W และ W-RG เสร็จสิ้น ผนังอิฐก่อตัวอย่างและโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมจะถูกรื้อถอนและทำการสร้างผนังอิฐก่อตัวอย่างขึ้นมาใหม่ ภายหลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จทำการเสริมกำลังผนังอิฐก่อด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพ่นโดยจะมีกรรมวิธีเหมือนกับการเสริมกำลังผนังอิฐก่อสำหรับการทดสอบ W-RG ที่ได้กล่าวมาข้างต้น รูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ผนังอิฐก่อสำหรับการทดสอบ W-G



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 ผนังอิฐก่อที่ทำการทดสอบ W

##### 4.1.1 การวิบัติของผนังอิฐก่อ

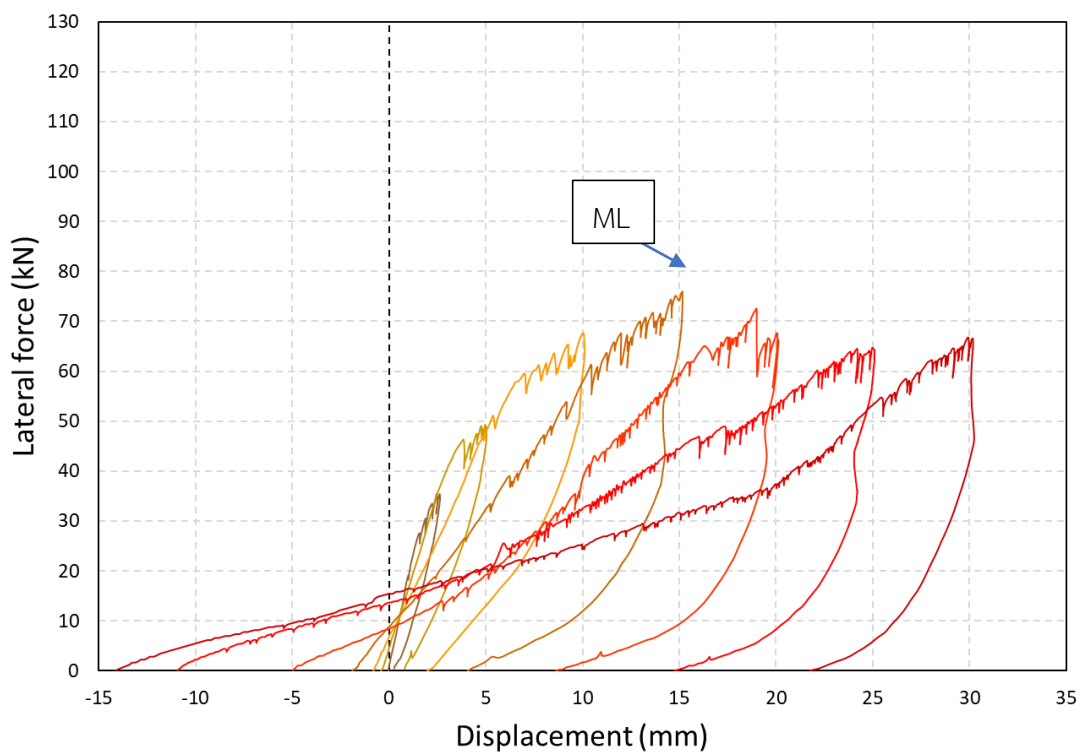
ผนังเกิดความเสียหายในลักษณะรอยร้าวแรกที่บริเวณด้านบนของประตูในรอบการเคลื่อนที่ระยะ 10 มิลลิเมตร เสาทางด้านขวามุมล่างของโครงสร้างเริ่มมีการแยกตัวออกจากผนังอิฐก่อ เฝิชูแรงกระทำด้านข้างสูงสุด 75.95 กิโลนิวตัน เมื่อรอบการเคลื่อนที่ระยะ 15 มิลลิเมตร ผนังอิฐก่อเกิดความเสียหายรอยร้าวแนวทแยงในผนังอิฐก่อและเกิดรอยร้าวแนวทแยงในเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจากแรงเฉือนเมื่อการเคลื่อนที่มีค่าประมาณ 20 มิลลิเมตร เมื่อดำเนินการทดสอบต่อพบว่า โครงสร้างเกิดการวิบัติและเกิดความเสียหายรอยแตกตามรอยต่อของผนังอิฐก่อตัวอย่างเมื่อรอบการเคลื่อนที่ระยะ 30 มิลลิเมตร ภาพรวมของความเสียหายหลังจากการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผนังอิฐก่อตัวอย่างภายหลังการทดสอบ W

#### 4.1.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและระยะการเคลื่อนที่ของผนังอิฐก่อ

ในรอบการเคลื่อนที่ระยะ 2.5 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร พบว่าความชันของกราฟ รูปที่ 4.2 จะลดลงเล็กน้อยในรอบระยะการเคลื่อนที่ 10 มิลลิเมตร และเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเริ่มแยกตัวออกจากผนังอิฐก่อ ในรอบระยะการเคลื่อนที่ 15 มิลลิเมตร ความชันของกราฟลดลงมากกว่ารอบระยะการเคลื่อนที่ก่อนหน้านี้ และพบความเสียหายรอยร้าวแนวทแยงในผนังอิฐก่อ และ รอยร้าวในแนวทแยงจากแรงเฉือนในเสาคอนกรีตเสริมเหล็กและเป็นรอบการเคลื่อนที่ที่ผนังอิฐก่อเผชิญแรงกระทำด้านข้างสูงสุด เมื่อดำเนินการทดสอบต่อจะพบว่าความชันของกราฟในรอบระยะการเคลื่อนที่ 20 25 และ 30 มิลลิเมตร ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากผนังอิฐก่อมีความเสียหายเพิ่มขึ้นอย่างมากจนมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้ลดลง



ML (Maximum Lateral force): แรงกระทำด้านข้างสูงสุด

รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและระยะการเคลื่อนที่ (การทดสอบ W)



## 4.2 ผนังอิฐก่อที่ทำการทดสอบ W-RG

### 4.2.1 การวิบัติของผนังอิฐก่อ

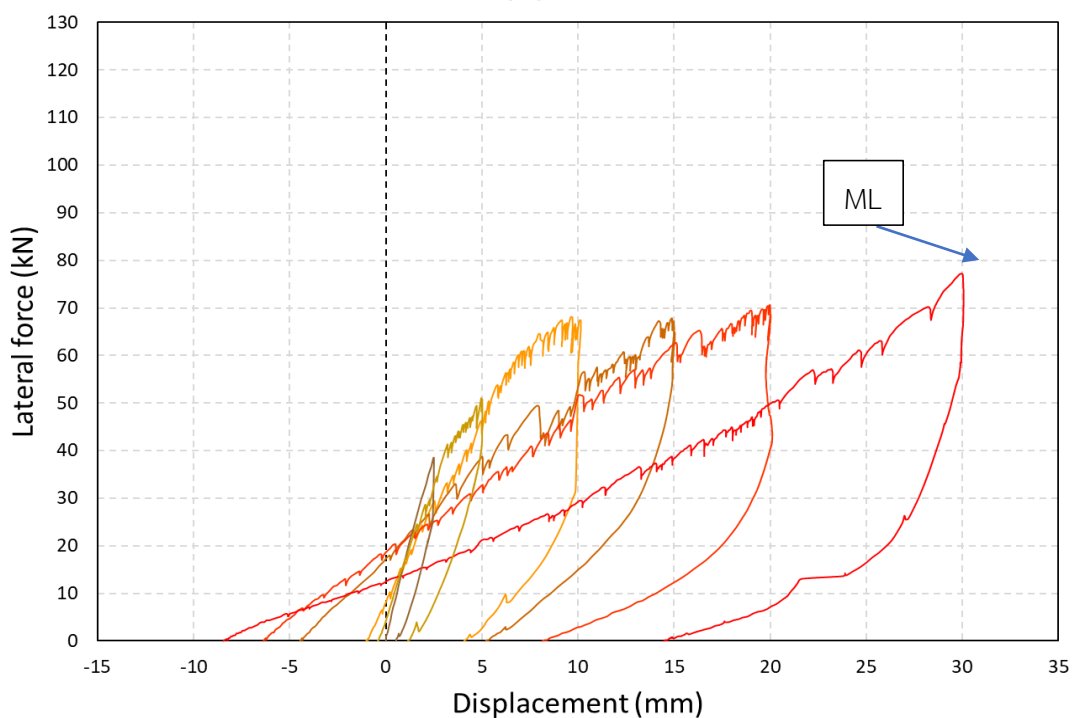
การให้แรงด้านข้างและอุปกรณ์วัดการเสียหายของโครงสร้างในการทดสอบนี้เหมือนกับการทดสอบตัวอย่างผนังอิฐก่อครั้งแรก ระหว่างการทดสอบครั้งนี้ (W-RG) ผนังอิฐและเสาเกิดการแยกออกจากพื้น ซึ่งเป็นพฤติกรรมการโยกของโครงข้อแข็งและตัวอย่างทดสอบพร้อมกัน (Rocking mode) เมื่อรอบระยะเวลาการเคลื่อนที่ 15 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ได้รับการซ่อมแซมและเสริมกำลังแล้วสามารถรับแรงกระทำด้านข้างได้สูงสุด 77.13 กิโลนิวตัน และโครงสร้างเกิดการวิบัติและไม่สามารถรับแรงกระทำด้านข้างได้ เมื่อรอบการเคลื่อนที่ระยะ 30 มิลลิเมตร ลักษณะการวิบัติที่เกิดขึ้นคือ การวิบัติจากการโยก (Rocking mode failure) ภาพรวมของความเสียหายภายหลังจากการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผนังอิฐก่อตัวอย่างภายหลังการทดสอบ W-RG

#### 4.2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและระยะการเคลื่อนที่ของผนังอิฐก่อ

ในรอบการเคลื่อนที่ระยะ 2.5 มิลลิเมตร ถึง 10 มิลลิเมตร พบว่าความชันของกราฟรูปที่ 4.4 จะลดลงเล็กน้อยในรอบระยะการเคลื่อนที่ 15 มิลลิเมตร เกิดการยกตัวของเสาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและผนังอิฐก่อแยกตัวจากโครงสร้างกรอบ ในช่วงการเคลื่อนที่ระยะ 2.5 มิลลิเมตร ถึง 10 มิลลิเมตร ความชันของกราฟจะลดลงมากขึ้นในรอบระยะการเคลื่อนที่ก่อนหน้านี้ และมากขึ้นในรอบระยะการเคลื่อนที่ 20 มิลลิเมตร ถึง 30 มิลลิเมตร เนื่องจากภาพแบบการวิบัติของผนังอิฐก่อเปลี่ยนจากการวิบัติจากรอยแตกผ้าอิฐก่อในแนวทแยงเป็นการวิบัติจากแรงถอนเนื่องจากการโยกของโครงข้อแข็งและผนังอิฐก่อ



ML (Maximum Lateral force): แรงกระทำด้านข้างสูงสุด

รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและระยะการเคลื่อนที่ (การทดสอบ W-RG)

### 4.3 ผนังอิฐก่อที่ทำการทดสอบ W-G

#### 4.3.1 การวิบัติของผนังอิฐก่อ

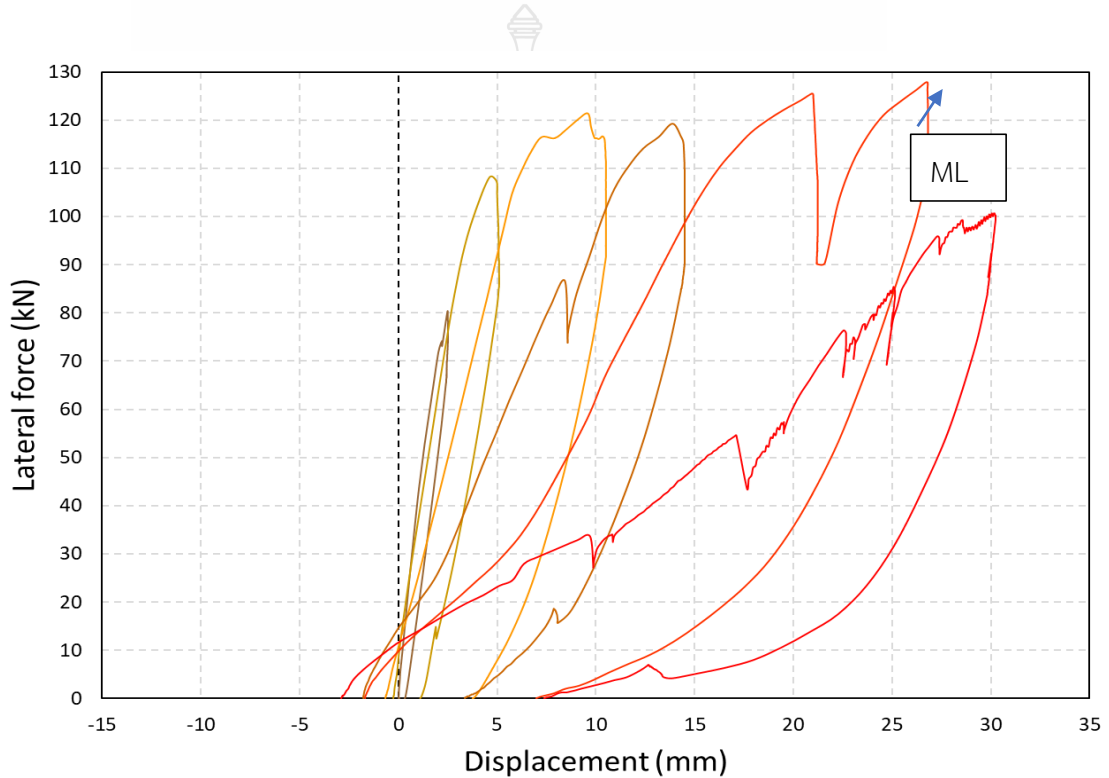
ในรอบระยะเวลาการเคลื่อนที่ 2.5 และ 5 มิลลิเมตร ผนังอิฐก่อและโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ยังไม่เกิดความเสียหายที่ชัดเจน จากนั้นในรอบระยะเวลาการเคลื่อนที่ 10 มิลลิเมตร เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก และกำแพงอิฐก่อเริ่มเกิดการแยกออกจากพื้นในลักษณะของการโยก (Rocking mode) และเมื่อตัวอย่างทดสอบเคลื่อนที่ไปถึง 15 มิลลิเมตร เสาคอนกรีตเสริมเหล็กของโครงข้อแข็งและผนังอิฐก่อบริเวณที่ติดกับเสาเกิดการแยกตัวและมีการแยกตัวระหว่างอิฐก่อกับคานทับหลัง ในรอบระยะเวลาการเคลื่อนที่ 20 และ 25 มิลลิเมตร เป็นรอบระยะเวลาการเคลื่อนที่ผนังอิฐก่อเผชิญแรงกระทำด้านข้างมากที่สุด เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก และผนังอิฐก่อแยกตัวออกจากพื้นมากขึ้นและเสาคอนกรีตเสริมเหล็กกับผนังอิฐก่อแยกตัวจากกันมากขึ้น ตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติในรอบการเคลื่อนที่ระยะ 30 มิลลิเมตร ลักษณะการวิบัติที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะคล้ายกับการทดสอบ W-RG ซึ่งได้แก่ การวิบัติจากการโยก (Rocking mode failure) ภาพรวมของความเสียหายหลังจากการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผนังอิฐก่อตัวอย่างภายหลังการทดสอบ W-G

#### 4.3.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและระยะการเคลื่อนที่ของผนังอิฐก่อ

ในรอบการเคลื่อนที่ระยะ 2.5 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร พบว่าความชันของกราฟ รูปที่ 4.6 มีค่าสูงกว่าการทดสอบ W และ W-RG จากนั้นความชันของกราฟจะลดลงในรอบการเคลื่อนที่ 10 15 และ 20 มิลลิเมตรตามลำดับ เนื่องจากเสาคอนกรีตเสริมเหล็กและผนังอิฐก่อเกิดการยกตัวจากพื้น ทำให้ใช้แรงกระทำด้านข้างลดลงในการเคลื่อนที่ผนังอิฐก่อ และความชันของกราฟจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากรอบการเคลื่อนที่ 20 มิลลิเมตร ไปที่ 30 มิลลิเมตร เนื่องจากผนังอิฐก่อและโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กแยกตัวกันอย่างชัดเจน



ML (Maximum Lateral force): แรงกระทำด้านข้างสูงสุด

รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและระยะการเคลื่อนที่ (การทดสอบ W-G)



#### 4.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบ W และ การทดสอบ W-RG

ในรอบระยะเวลาเคลื่อนที่ 2.5 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร การทดสอบ W-RG จะมีความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและระยะเวลาเคลื่อนที่ใกล้เคียงการทดสอบ W เนื่องจากผนังอิฐก่อกับเสาคอนกรีตทั้ง 2 การทดสอบยังคงมีการยึดเกาะ (Bonding) ที่ดีและเคลื่อนตัวไปพร้อมกัน ต่อมาในรอบระยะเวลาเคลื่อนที่ 15 มิลลิเมตร 20 มิลลิเมตร การทดสอบ W-RG จะมีความชันของกราฟน้อยกว่าการทดสอบ W อย่างชัดเจน ในรอบการเคลื่อนที่ระยะ 15 มิลลิเมตร การทดสอบ W ผนังอิฐก่อดังกล่าวได้รับแรงกระทำด้านข้างมากที่สุดการทดสอบ W-RG ผนังอิฐก่อดังกล่าวได้สูญเสียการยึดเกาะระหว่างผนังอิฐก่อกับโครงข้อแข็งบริเวณกลางช่วงของเสาฝั่งซ้ายและบริเวณกลางคานด้านบนและเสาคอนกรีตเริ่มยกตัวจากพื้น เนื่องมาจากพฤติกรรมของโครงสร้างที่เปลี่ยนไป การเสริมกำลังผนังอิฐก่อก่อทำให้ผนังอิฐก่อก่อรวมกับวัสดุเสริมกำลังมีขนาดใกล้เคียงกับเสาคอนกรีต ส่วนในรอบระยะเวลาเคลื่อนที่ 20 มิลลิเมตร การทดสอบ W เกิดความเสียหายเนื่องจากแรงเฉือนในแนวทแยงและความสามารถในการรับแรงกระทำด้านข้างเริ่มลดลง เสาคอนกรีตฝั่งซ้ายเกิดความเสียหายรอยร้าวในแนวทแยงจากแรงเฉือนส่วนการทดสอบ W-RG ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ในรอบระยะเคลื่อนที่ 25 mm. และ 30 mm. ความชันของกราฟจากการทดสอบทั้งสองจะมีความใกล้เคียงกัน

#### 4.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบ W และ การทดสอบ W-G

ในรอบการเคลื่อนที่ระยะ 2.5 และ 5 มิลลิเมตร ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและระยะเวลาเคลื่อนที่ ของการทดสอบ W-G จะมีค่าสูงกว่า การทดสอบ W อย่างมีนัยสำคัญเนื่องจาก การทดสอบ W-G เป็นการทดสอบที่นำผนังอิฐก่อก่อกที่ไม่เคยเผชิญแรงกระทำด้านข้างมาก่อนมาเสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพ่นทำให้การยึดเกาะของเส้นใยแก้วผนังอิฐก่อก่อกมีสภาพที่ดีกว่าผนังอิฐก่อก่อกที่การทดสอบ W-RG ต่อมาในรอบระยะเวลาเคลื่อนที่ 10 15 และ 20 มิลลิเมตร ความชันของกราฟสำหรับการทดสอบ W-G จะลดลงมากขึ้น แต่ก็ยังมีค่าความชันของกราฟมากกว่าการทดสอบ W เหตุเนื่องจากเสาคอนกรีตเสริมเหล็กของโครงข้อแข็งและผนังอิฐก่อก่อกเริ่มเกิดการยกตัวขึ้นจากพื้น พร้อมทั้งการแยกตัวของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กกับผนังอิฐก่อก่อกด้านข้างบริเวณที่เชื่อมต่อกับเสา และการแยกตัวของอิฐก่อก่อกกับคานทับหลังบริเวณช่องเปิดสำหรับติดตั้งประตู สูดท้ายในรอบการเคลื่อนที่ระยะ 30 มิลลิเมตรความชันของกราฟ W-G จะลดลงอย่างชัดเจนและมากที่สุดกว่าทุกระยะที่ผ่านมาและมีค่าสูงกว่าการทดสอบ W เล็กน้อย เนื่องจาก เสาและผนังอิฐก่อก่อกแยกตัวพร้อมทั้งยกตัวขึ้นจากพื้นมากขึ้นทำให้ใช้แรงกระทำด้านข้างลดลงในการเคลื่อนที่ตัวอย่างที่ทำการทดสอบ การสรุปการเปรียบเทียบ 3 การทดสอบดังตารางที่ 4.1

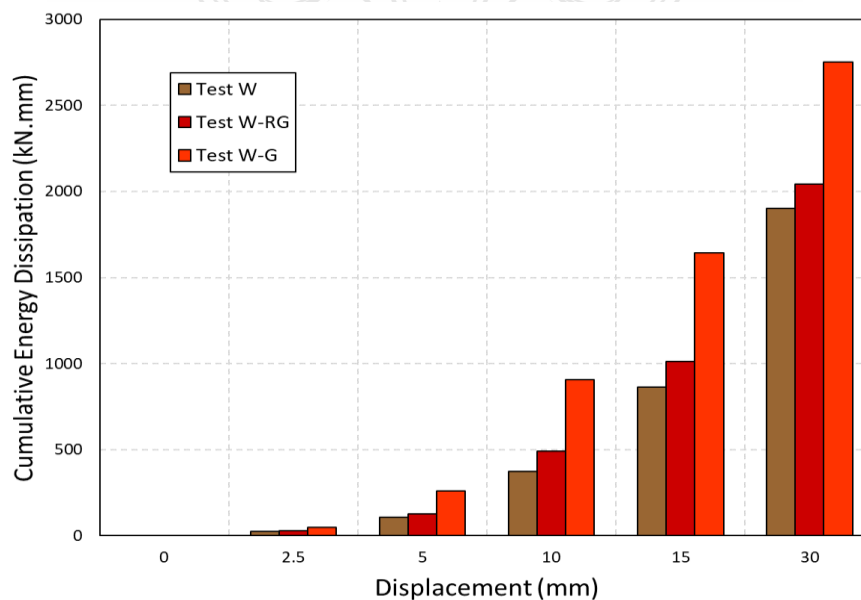
#### ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดสอบ

วิธีการทดสอบ	แรงกระทำด้านข้าง สูงสุด (kN)	ระยะการเคลื่อนที่ของ ตัวอย่างที่ทำการ ทดสอบเมื่อมีแรง กระทำด้านข้างสูงสุด (mm)	ระยะการเคลื่อนที่ สูงสุดของตัวอย่างที่ทำ การทดสอบ (mm)	การสลายพลังงาน สะสม (kN.mm)
W	75.95	15	30	1903.78
W-RG	77.13	30	30	2043.34
W-G	127.96	26.7	30	2754.25

#### 4.6 การสลายพลังงานสะสม (Cumulative Energy Dissipation)

การคำนวณการสลายพลังงานของตัวอย่างผนังอิฐก้อนนั้นจะสามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟเส้นโค้งฮิสเทอรีซิส ในแต่ละรอบระยะการเคลื่อนที่ของตัวอย่าง

จากการทดสอบพบว่า การสลายพลังงานของการทดสอบ W-G นั้นมีค่าสูงที่สุดและตามด้วยการทดสอบ W-RG และ การทดสอบ W ตามลำดับ เนื่องจากการเสริมกำลังของผนังอิฐก้อนด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใย แก้วระบบพ่นนั้นช่วยยึดจับผนังอิฐก้อนกับโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กได้ดีขึ้น จึงสามารถช่วยในการกระจายพลังงานได้ขึ้น และการเสริมกำลังโครงสร้างที่ยังไม่เคยเผชิญแรงกระทำด้านข้างจนเกิดการวิบัติมาก่อนจะเพิ่มประสิทธิภาพของการรับแรงกระทำด้านข้างได้ดีขึ้น ดังรูปที่ 4.7

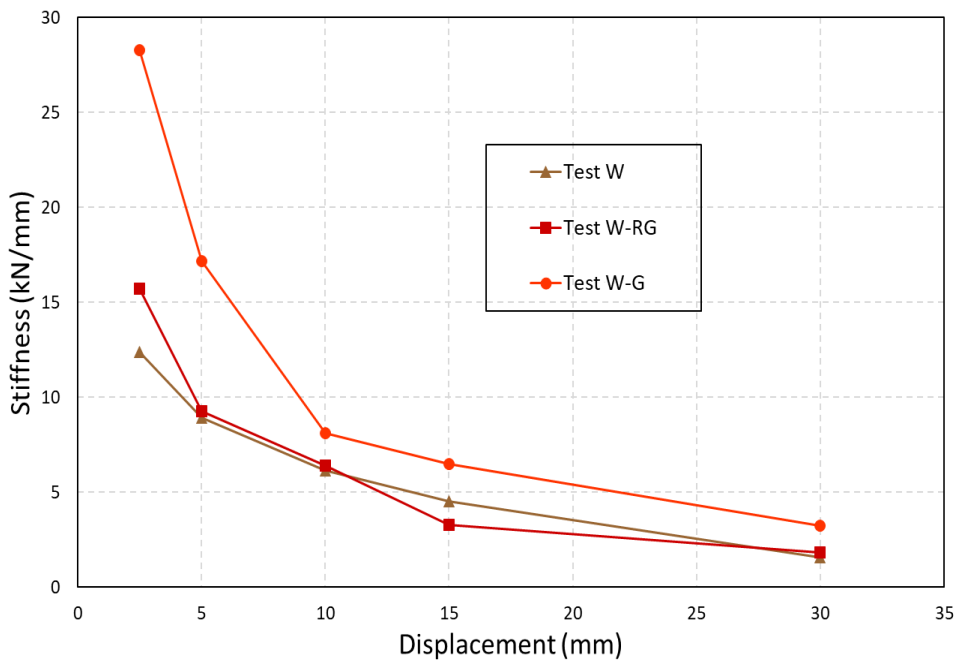


รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบการสลายพลังงานสะสมระหว่าง การทดสอบ W การทดสอบ W-RG และ การทดสอบ W-G

#### 4.7 ค่าความแข็งเกร็ง (Stiffness)

สำหรับค่าความแข็งเกร็งของตัวอย่างที่ทดสอบนั้นสามารถสร้างกราฟได้จากความชันของกราฟเส้นโค้งฮิสเทอรีซิส ในระยะการเคลื่อนที่แต่ละรอบและระยะการเคลื่อนที่ของตัวอย่างที่ทดสอบ

ค่าความแข็งเกร็งของผนังที่วัดได้จากผลการทดสอบทั้งสองครั้งมีค่าลดลงเมื่อระยะทางมีค่ามากขึ้น สำหรับการทดสอบ W และ W-RG นั้นกราฟค่าความแข็งเกร็งแนวโน้มมีความคล้ายคลึงกัน สำหรับการทดสอบ W-G จะมีค่าความแข็งเกร็งสูงกว่าการทดสอบ W และ W-RG อย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อผนังอิฐก่อเกิดและโครงข้อแข็งเกิดการยกตัวขึ้นจากเพิ่มเป็นผลทำให้ค่าความแข็งเกร็งของการทดสอบ W-G ลดลงอย่างมากจนมีใกล้เคียงการทดสอบ W และ W-RG ที่ได้กล่าวมาในรอบระยะการเคลื่อนที่ 10 15 20 25 และ 30 มิลลิเมตร แต่ก็ยังคงมีค่าสูงกว่าการทดสอบ W และ W-RG ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่าความแข็งเกร็งระหว่างการทดสอบ W การทดสอบ W-RG

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลของการทดสอบโครงสร้างผนังก่ออิฐที่มีประตูดัดภายใต้แรงกระทำด้านข้างแบบวัฏจักรพบว่าข้อสรุปดังนี้

1. การซ่อมแซมผนังอิฐก่อที่เกิดความเสียหายจากแรงกระทำด้านข้างด้วยวิธีการอัดฉีดอีพ็อกซีเรซิน (Epoxy Injection) และ เสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพ่น (Sprayed Glass Fiber-Reinforced Polymer) สามารถฟื้นฟูสมรรถนะให้กับผนังอิฐก่อได้ ดังตารางที่ 1 จากการทดสอบ W แรงกระทำด้านข้างสูงสุดคือ 75.95 กิโลนิวตัน การทดสอบ W-RG พบว่าแรงกระทำด้านข้างสูงสุดคือ 77.13 กิโลนิวตัน และการทดสอบ W-G พบว่าแรงกระทำด้านข้างสูงสุดคือ 127.96 กิโลนิวตัน

2. การเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพ่น (Sprayed Glass Fiber-Reinforced Polymer) สามารถเพิ่มความสามารถในการสลายพลังงานสะสมให้กับผนังอิฐก่อได้ จากการทดสอบ W การสลายพลังงานสะสมที่ได้คือ 1903.78 กิโลนิวตันมิลลิเมตร. และการทดสอบ W-RG การสลายพลังงานสะสมที่ได้คือ 2043.34 กิโลนิวตันมิลลิเมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นจากการทดสอบ W คิดเป็น 7.3 % และการทดสอบ W-G การสลายพลังงานสะสมที่ได้คือ 2754.25 กิโลนิวตันมิลลิเมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นจากการทดสอบ W คิดเป็น 55.27 %

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบพบว่า การซ่อมแซมและเสริมกำลังให้กับผนังอิฐก่อที่เสียหายด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วระบบพ่นสามารถฟื้นฟูสมรรถนะให้กับผนังอิฐก่อได้ แต่รูปแบบการวิบัติของผนังอิฐก่อเปลี่ยนไปจาก รอยแตกตามรอยต่อของอิฐก่อ (Shear sliding failure) และ รอยแตกผ้าอิฐก่อ (Diagonal tension shear failure) เป็น การวิบัติจากการโยกของโครงสร้าง (Rocking mode failure) เป็นเพราะผนังอิฐก่อตัวอย่างที่ซ่อมแซมและเสริมกำลังแล้วมีขนาดความหนาใกล้เคียงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กของโครงสร้างข้อข้าง ถ้าเสาหรือคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีขนาดที่ใหญ่กว่านี้ การเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมใยแก้วแบบพ่นน่าจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่านี้และประเด็นดังกล่าวควรจะได้รับการศึกษาเพิ่มในอนาคต



## บรรณานุกรม

- Anuchat L., Phalboon P., Anat R., (2017) **Seismic capacity of masonry infilled RC frame strengthening with expanded metal ferrocement**. ScienceDirect Engineering Structures 159 (2018) 110–127
- H. Choi, B. Bae, C. Choi, (2016) **Lateral Resistance of Unreinforced Masonry Walls Strengthened with Engineered Cementitious Composite**. Iran University of Science and Technology 2016. Int J Civ Eng (2016) 14:411–424
- FEMA. (1998) **Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall building**. Federal Emergency Management Agency. FEMA 307, Washington D.C.;
- กรมโยธาธิการและผังเมือง (2551) **มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต มยพ. 1901-51**, 49-53
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2016) **Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete: ASTM Standard No. ASTM C881/C881M-15**;
- A. J. Boyd, N. Banthia, S. Mindess (2009) **Retrofit of shear strength deficient RC beams with sprayed GFRP**. Proc. Int. Symp. "Brittle Matrix Composites 9" A.M. Brandt, J. Olek and I. H. Marshall, eds. Warsaw, October 25-28, 2009 IFTR and Woodhead Publ., Warsaw 2009
- H. Alwashali, Y. Torihata, K. Jin, M. Maeda, (2017) **Experimental observations on the in-plane behavior of masonry wall infilled RC frames; focusing on deformation limits and backbone curve**. Bull Earthquake Eng (2018) 16:1373–1397
- หมิง จิ่ง, อมเรศ บกสุวรรณ, วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ และนิติ วิทยาวิโรจน์ (2553) **พฤติกรรมของผนังอิฐโบราณเสมือนจริงเสริมด้วย Fiber-reinforced polymer ภายใต้แรงกระทำทางดัดบน**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- Toshiyuki Kanakubo, Tomoki Furuta, Keisuke Takahashi, และ Takeshi Nemoto (2005) **Sprayed Fiber-Reinforced Polymers for Strengthening of Concrete Structures**, University of Tsukuba
- H.K. Lee, L.R. Hausmann และ W.C. Seaman (2008) **Bond Strength Evaluation of The Sprayed FRP on Concrete Subjected to Different Surface Conditions** , Korea Advanced Institute of Science & Technology

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
เครื่องมือการทดสอบ



## เครื่องมือเซลล์วัดแรง (Load Cell)



รูปที่ ก.1 เซลล์วัดแรงสำหรับวัดแรงที่กระทำในแนวตั้ง



รูปที่ ก.2 เซลล์วัดแรงสำหรับวัดแรงที่กระทำด้านข้าง

### การสอบเทียบเครื่องมือเซลล์วัดแรง (Load Cell Calibration)



รูปที่ ก.3 การสอบเทียบเครื่องมือเซลล์วัดแรง

### แม่แรงไฮดรอลิกสำหรับการให้แรง (Hydraulic Jack)



รูปที่ ก.4 ปุ่มไฟฟ้าสำหรับให้แรงกระทำกับแม่แรงไฮดรอลิก



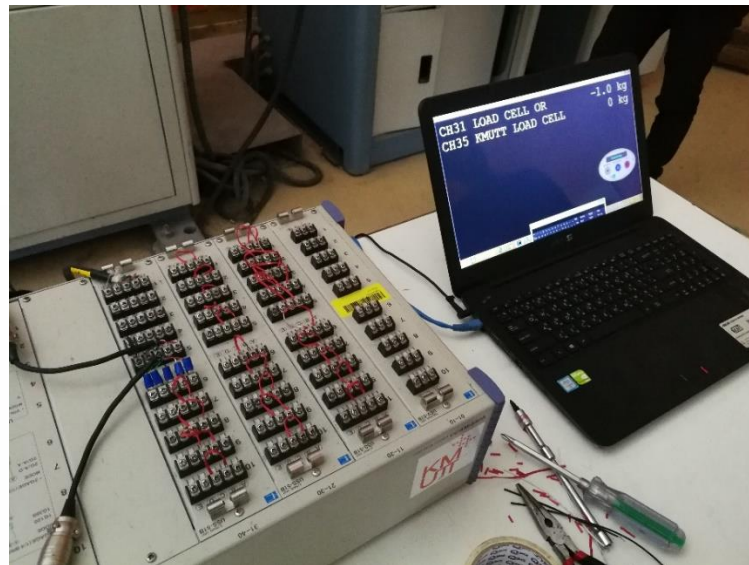


รูปที่ ก.5 แม่แรงไฮดรอลิคสำหรับการให้แรงกระทำในแนวดิ่ง



รูปที่ ก.6 แม่แรงไฮดรอลิคสำหรับการให้แรงกระทำด้านข้าง

### เครื่องมือเก็บข้อมูล (Data Logger)



รูปที่ ก.7 เครื่องมือจัดเก็บข้อมูลที่วัดได้จากการทดสอบ

### เครื่องมือวัดการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบ LVDT (Linear Variable Displacement Transducers)



รูปที่ ก.8 เครื่องมือวัดการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบ LVDT #3





รูปที่ ก.9 เครื่องมือวัดการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบ LVDT #2



รูปที่ ก.10 เครื่องมือวัดการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบ LVDT #4





รูปที่ ก.11 เครื่องมือวัดการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบ LVDT #1



ภาคผนวก ข  
ภาพรวมการทดสอบ



การทดสอบ W



รูปที่ ข.1 การทดสอบ W ระยะการเคลื่อนตัวที่ 2.5 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.2 การทดสอบ W ระยะการเคลื่อนตัวที่ 5 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.3 การทดสอบ W ระยะการเคลื่อนตัวที่ 10 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.4 การทดสอบ W ระยะการเคลื่อนตัวที่ 15 มิลลิเมตร





รูปที่ ข.5 การทดสอบ W ระยะการเคลื่อนตัวที่ 20 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.6 การทดสอบ W ระยะการเคลื่อนตัวที่ 25 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.7 1 การทดสอบ W ระยะการเคลื่อนตัวที่ 30 มิลลิเมตร





การทดสอบ W-RG



รูปที่ ข.8 การทดสอบ W-RG ระยะการเคลื่อนตัวที่ 2.5 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.9 การทดสอบ W-RG ระยะการเคลื่อนตัวที่ 5 มิลลิเมตร



รูปที่ -10 การทดสอบ W-RG ระยะการเคลื่อนตัวที่ 10 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.11 การทดสอบ W-RG ระยะการเคลื่อนตัวที่ 15 มิลลิเมตร





รูปที่ ข.12 การทดสอบ W-RG ระยะการเคลื่อนตัวที่ 20 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.13 การทดสอบ W-RG ระยะการเคลื่อนตัวที่ 25 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.14 การทดสอบ W-RG ระยะการเคลื่อนตัวที่ 30 มิลลิเมตร





การทดสอบ W-G



รูปที่ ข.15 การทดสอบ W-G ระยะการเคลื่อนตัวที่ 2.5 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.16 การทดสอบ W-G ระยะการเคลื่อนตัวที่ 5 มิลลิเมตร





รูปที่ ข.17 การทดสอบ W-G ระยะการเคลื่อนตัวที่ 10 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.18 การทดสอบ W-G ระยะการเคลื่อนตัวที่ 15 มิลลิเมตร





รูปที่ ข.19 การทดสอบ W-G ระยะการเคลื่อนตัวที่ 20 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.20 การทดสอบ W-G ระยะการเคลื่อนตัวที่ 30 มิลลิเมตร

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายประจักษ์ เปรมจิตต์
วัน เดือน ปีเกิด	22 มิถุนายน 2504
ที่อยู่	32/107 หมู่ 16 ถนน พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์ทำงาน	ผู้จัดการทั่วไป บริษัท เอสซีบีเอ็นจีเนียริง จำกัด
เบอร์โทรศัพท์	081-9145698
อีเมล	praeharce_p@mail.rmutt.ac.th

