

การศึกษากำลังรับแรงอัดของอิฐก่อภายใต้แรงในระนาบแบบ 2 ทิศทาง

ชวลิต อ้อเจริญ

รชพล อันทิพย์

โครงการทางวิศวกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา

ปีการศึกษา 2559

An evaluation of masonry prisms compressive strength under in-plane biaxial forces

Mr.Chawalit Horchareon

Mr.Ratchapol Onthip

An Engineering Project submitted in partial fulfillment of Requirements

For the degree of bachelor of Engineering

Department of Civil Engineering

Burapha University 2016

หัวข้อโครงการ การศึกษากำลังรับแรงอัดของอิฐก่อภายใต้แรงในระนาบแบบ 2 ทิศทาง

โดย นาย ชวลิต ส้อเจริญ
นาย รชพล อันทิพย์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.จรัญ ศรีชัย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติโครงการทางวิศวกรรมนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

.....หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
(ดร. ชานยุท กาพกาญจน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. จรัญ ศรีชัย)

คณะกรรมการคุมสอบโครงการ

.....ประธานกรรมการ
(ดร. จรัญ ศรีชัย)

.....กรรมการ
(ดร. พัทธพงษ์ อาสนจินดา)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร. ทวีชัย สำราญวานิช)

บทคัดย่อ

โครงการนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาความสามารถในการรับแรงอัดและคุณสมบัติเชิงกลของอิฐก่อภายใต้แรงในระนาบแบบสองทิศทางโดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างทดสอบที่ใช้มีขนาดโดยประมาณเท่ากับ 40x40x8.5 เซนติเมตร จำนวน 27 ตัวอย่างซึ่งทำจากอิฐมอญชนิดสองรู โดยใช้รูปแบบการก่อทั้งหมด 3 รูปแบบ คือตัวอย่างทดสอบที่มีแนวปูนก่อทำมุมกับแนวแรงกด (แรงในแนวตั้ง) เท่ากับ 30 องศา, 90 องศา และ 0 องศา ซึ่งในการทดสอบนี้จะใช้ปูนก่อและปูนฉาบสำเร็จรูปเพียงชนิดเดียว

จากผลการทดสอบพบว่าคุณสมบัติเชิงกลของอิฐก่อภายใต้ความเค้นในระนาบแบบทิศทางเดียวและสองทิศทางมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ภายใต้ความเค้นในระนาบแบบสองทิศทางมีคุณสมบัติในการรับแรงอัดได้สูงกว่าความเค้นในระนาบแบบทิศทางเดียว โดยที่ตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา คิดเป็นร้อยละ 56 , แบบ 90 องศา คิดเป็นร้อยละ 77 , แบบ 0 องศา คิดเป็นร้อยละ 78 เนื่องจากการที่กำแพงอิฐก่อยังสามารถรับแรงอัดได้เพิ่มขึ้นเมื่อมีแรงในด้านข้างเข้าไปกระทำทั้งแนวตั้งฉากหรือขนานกับแนวปูนก่อ มุมระหว่างแนวแรงและแนวปูนก่อเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของกำแพงอิฐก่อ จากผลทดสอบพบว่าตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาจะมีกำลังอัดสูงสุดและค่าอีลาสติคโมดูลส์สูงกว่ารูปแบบ 30 องศา, 0 องศา คิดเป็นร้อยละ 33 , ร้อยละ 72 ตามลำดับ และรูปแบบการวิบัติของตัวอย่างทดสอบที่พบมีสองรูปแบบด้วยกัน ได้แก่ แบบ A คือการที่ปูนฉาบเกิดรอยแตกร้าวเล็กน้อยและจากนั้นอิฐก่อก็เริ่มเกิดความเสียหายแตกหักออกมาเนื่องจากการรับแรงอัด , แบบ B คือการที่ปูนฉาบเกิดรอยแตกร้าวขนาดใหญ่และอิฐก่อก็เกิดความเสียหายแตกหักในเวลาใกล้เคียงกันเนื่องจากการรับแรงอัด

คำสำคัญ: คุณสมบัติเชิงกล , อิฐก่อ , กำลังอัด , การทดสอบ

Abstract

This project focus on the experimental evaluation on compressive strength and mechanical property of masonry under in-plane bidirectional loading. The test specimen with 40x40x8.5 cm in dimensions was used 27 masonry prisms, which is made of two-hole clay bricks. 3 patterns of brick orientation, identify by the angle between bed joint mortar and direction of vertical load included 30, 90 well as 0 degrees, were considered.

The results showed that Only one type of ready-mix cement was used for mortar and plaster in this study mechanical properties of brick masonry under plane stress in a single direction and two direction were considerably different. Under bidirectional in-plane stresses, the compressive strength significantly increase, compared with single directional stressed specimens. The increasing of compressive strength of 56%, 77%, and 78% could be observed for 30, 90, and 0 degree specimens, respectively. Because the brick walls can also cause compressive strength has increased pressure on the side to be perpendicular or parallel to the horizontal mortar. The angle between the force and the mortar is another important factor that affects the compressive strength of the brick prisms. The results showed that the specimens tested in 90 degrees had the highest compressive strength. Moreover an elastic modulus of 90-degree specimens of 33% and 72% higher than those of 30 and 0-degree specimens, respectively, were observed. Two failure patterns of tested specimens were observed in this study. Type A is the plaster cracks a bit and then masonry was damaged, broken out due to the compressive stress, Type B is the plaster cracks and large masonry damaged simultaneously due to compressive stress.

Key words: mechanical properties, masonry, compressive strength, experiment.

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.จรัญ ศรีชัย ที่ให้คำแนะนำ ปรึกษาข้อเสนอแนะเพิ่มเติม และทำให้โครงงานนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนการปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งโครงงานเสร็จสิ้น

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบโครงงาน ดร. พัทธพงษ์ อาสนจินดา และ ผศ.ดร. ทวีชัย สำราญวานิช ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการคุมสอบโครงงาน และให้แนวทางในการปรับปรุงโครงงาน

ขอขอบคุณ นายยิ่งใหญ่ สามารถ ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือด้านปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน และเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกคนที่ช่วยเหลือ รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่คอยเป็นกำลังใจให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือตลอดการทำโครงงาน

สุดท้ายนี้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์แบบมีได้ หากขาดคณาจารย์ทุกท่าน รวมทั้งพี่เพื่อนในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนแก่ผู้จัดทำโครงงาน โครงงานนี้ล้วนเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นาย ชวลิต ฮ่อเจริญ

นาย รชพล อันทิพย์

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการวิศวกรรม.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิศวกรรม.....	2
1.4 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการนี้.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 งานผนัง.....	5
2.2 วัสดุที่ใช้ในงานก่ออิฐ.....	6
2.3 รูปแบบการเรียงอิฐ.....	9
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและตัวแปรในการศึกษา.....	12
2.5 ผลกระทบของปูนก่อและปูนฉาบ.....	13
2.6 ผลกระทบของผนังก่ออิฐต่อพฤติกรรมของโครง.....	16
บทที่ 3 วัสดุที่ใช้ในการทดลองและวิธีการทดลอง.....	23
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	23
3.2 ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	26
3.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ.....	28
3.4 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบและการทดสอบ.....	35
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	42
4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์.....	42
4.2 ข้อมูลและผลการทดสอบตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา , 90 องศา , 0 องศา.....	42

4.3 พฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด.....	44
4.4 รูปการวิบัติของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา , 90 องศา , 0 องศา.....	70
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา.....	73
บรรณานุกรม.....	75

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการทดสอบและสัญลักษณ์ที่ใช้ในตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา.....	26
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการทดสอบและสัญลักษณ์ที่ใช้ในตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา.....	27
ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการทดสอบและสัญลักษณ์ที่ใช้ในตัวอย่างทดสอบแบบ 180 องศา.....	27
ตารางที่ 3.4 ตารางการคำนวณ P_y และ P_x แบบ 30 องศา.....	40
ตารางที่ 3.5 ตารางการคำนวณ P_y และ P_x แบบ 90 องศา.....	40
ตารางที่ 3.6 ตารางการคำนวณ P_y และ P_x แบบ 0 องศา.....	41
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา.....	43
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา.....	43
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา.....	44
ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณของรูปแบบ 30 องศา.....	46
ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณของรูปแบบ 90 องศา.....	47
ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณของรูปแบบ 0 องศา.....	48
ตารางที่ 4.7 ค่าอีลาสติกโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา.....	62
ตารางที่ 4.8 ค่าอีลาสติกโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา.....	62
ตารางที่ 4.9 ค่าอีลาสติกโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา.....	63
ตารางที่ 4.10 ค่าอีลาสติกโมดูลัสในแนวตั้ง(Lvdt)ของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา.....	65
ตารางที่ 4.11 ค่าอีลาสติกโมดูลัสในแนวตั้ง(Lvdt)ของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา.....	65
ตารางที่ 4.12 ค่าอีลาสติกโมดูลัสในแนวตั้ง(Lvdt)ของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา.....	66
ตารางที่ 4.13 ค่าอัตราส่วนของปัวซองแบบ 30 องศา.....	68
ตารางที่ 4.14 ค่าอัตราส่วนของปัวซองแบบ 90 องศา.....	69
ตารางที่ 4.15 ค่าอัตราส่วนของปัวซองแบบ 0 องศา.....	69
ตารางที่ 4.16 การวัดของชิ้นงาน.....	72

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 อิฐมอญ.....	7
รูปที่ 2.2 อิฐขาว.....	8
รูปที่ 2.3 อิฐประดับ.....	8
รูปที่ 2.4 อิฐบล็อก.....	9
รูปที่ 2.5 การเรียงอิฐแบบ Stretching Bond.....	10
รูปที่ 2.6 การเรียงอิฐแบบ English Bond.....	11
รูปที่ 2.7 การเรียงอิฐแบบ Flemish Bond.....	11
รูปที่ 2.8 การเรียงอิฐแบบ Garden Bon.....	12
รูปที่ 2.9 พฤติกรรมของผนังอิฐก่อภายใต้แรงด้านข้าง (ก) ผนังรับแรงเฉือน (ข) ผนังที่ทาหน้าทีร่วมกับเฟรม (Hamid et al. 2005).....	14
รูปที่ 2.10 ชิ้นส่วนของผนังในลักษณะองศาต่างๆ ที่ใช้ในทาการทดสอบ (Hamid et al. 2005).....	14
รูปที่ 2.11 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบและอุปกรณ์ (Hamid et al. 2005).....	15
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบในลักษณะต่างๆ (Hamid et al. 2005).....	16
รูปที่ 2.13 อาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลพาน อ.พาน จ.เชียงราย.....	18
รูปที่ 2.14 รอยร้าวทแยงในเสาสั้น.....	18
รูปที่ 2.15 อาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก โรงเรียนแห่งหนึ่ง มีลักษณะชั้นอ่อน และมีความไม่ปกติเชิงบิด เสาแตกร้าวแบบการคด.....	18
รูปที่ 2.16 รอยร้าวทแยงในเสาสั้นที่เกิดจากแผ่นดินไหวลาว โรงเรียนเมืงรายมหาราชวิทยาคม อ.เมือง จ. เชียงราย.....	19
รูปที่ 2.17 โรงเรียนบ้านคอนตัน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย อาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก 4 ชั้น.....	20
รูปที่ 2.18 โรงเรียนบ้านคอนตัน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ผนังอิฐก่อในช่วงเสาปลายสุดด้านขวา.....	20

รูปที่ 2.19 โรงเรียนบ้านคอนตัน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย เสาประชิดผนังอิฐก่อแตกร้าวแบบเนียน.....	20
รูปที่ 2.20 โรงเรียนเทศบาล 1 อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 ชั้น.....	21
รูปที่ 2.21 โรงเรียนเทศบาล 1 อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ชั้นล่างเสาโล่ง ผนังเบา.....	21
รูปที่ 2.22 โรงเรียนเทศบาล 1 อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย เสามุมด้านหลังวิบัติรุนแรง.....	21
รูปที่ 2.23 อาคารโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม อ.แม่ลาว.....	22
รูปที่ 2.24 เสาวิบัติแบบเนียน เนื่องจากแรงมหาศาลส่งถ่ายจากผนังอิฐก่อรูปที่ 2.25 เสาวิบัติแบบเนียน ลักษณะเป็นเสาสั้น- โรงเรียนพานพิทยาคม.....	22
รูปที่ 2.25 เสาวิบัติแบบเนียนลักษณะเป็นเสาสั้น- โรงเรียนพานพิทยาคม.....	22
รูปที่ 3.1.1 อิฐมอญที่ใช้ในการทดสอบ.....	23
รูปที่ 3.1.2 ปูนฉาบสำเร็จรูปและปูนก่อสำเร็จรูป.....	24
รูปที่ 3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบตัวอย่าง (ก) เครื่องชั่งน้ำหนัก (ข) เกรียงก่อ (ค) ตลับเมตร (ง) ถังน้ำ น้ำพลาสติก (จ) ระดับน้ำ (ฉ) เกรียงฉาบ (ช) ปูนปลาสเตอร์.....	25
รูปที่ 3.2.1 (ก) การก่อตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา (ข) การก่อตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา (ค) การก่อ ตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา.....	28
รูปที่ 3.3.1 ราคาน้ำอิฐเพื่อไม่ให้อิฐดูดน้ำ.....	28
รูปที่ 3.3.2 การผสมปูนเพื่อใช้ในการก่อตัวอย่าง.....	29
รูปที่ 3.3.3 ขั้นตอนการก่อตัวอย่าง.....	30
รูปที่ 3.3.4 การตัดตัวอย่างทดสอบในรูปแบบ 30 องศา.....	31
รูปที่ 3.3.5 การฉาบผิวตัวอย่างทดสอบ (ก) เริ่มฉาบผิวหน้าตัวอย่างทดสอบ (ข) ฉาบผิวหน้าให้เรียบ.....	32
รูปที่ 3.3.6 ตัวอย่างทดสอบรูปแบบ 30 องศาที่ฉาบผิวเรียบเรียบร้อยแล้ว.....	33
รูปที่ 3.3.7 การฉาบผิวด้วยปูนปลาสเตอร์.....	33
รูปที่ 3.3.8 เรียงตัวอย่างเพื่อรอการทดสอบ.....	34

รูปที่ 3.4.1 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบที่ไม่มีความเค้นในแนวนราบ (ไม่มีแรง P_x ในแนวนราบ).....	35
รูปที่ 3.4.2 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในแนวนราบ (มีแรง P_x ในแนวนราบ).....	36
รูปที่ 3.4.3 รูปแบบการติดตั้ง LVDT.....	37
รูปที่ 3.4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นในแนวดิ่ง(σ_y) กับ ความเค้นในแนวนราบ(σ_x) ในกรณีความเค้นในแนวนราบสูงสุด $0.1f_m'$	38
รูปที่ 3.4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นในแนวดิ่ง(σ_y) กับ ความเค้นในแนวนราบ(σ_x) ในกรณีความเค้นในแนวนราบสูงสุด $0.2f_m'$	38
รูปที่ 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา ไม่มีความเค้น ด้านข้าง.....	50
รูปที่ 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา มีความเค้น ด้านข้างสูงสุด $0.1 f_m'$	51
รูปที่ 4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา มีความเค้น ด้านข้างสูงสุด $0.2 f_m'$	52
รูปที่ 4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา ไม่มีความเค้น ด้านข้าง.....	53
รูปที่ 4.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา มีความเค้น ด้านข้าง $0.1 f_m'$	54
รูปที่ 4.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา มีความเค้น ด้านข้างสูงสุด $0.2 f_m'$	55
รูปที่ 4.3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา ไม่มีความเค้น ด้านข้าง.....	56

รูปที่ 4.3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา มีความเค้น ด้านข้างสูงสุด $0.1 f_m'$	57
รูปที่ 4.3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา มีความเค้น ด้านข้างสูงสุด $0.2 f_m'$	58
รูปที่ 4.3.10 ตัวอย่างการหาค่าอีลาสติคโมดูลัสด้วยวิธีโมดูลัสซีแคน	61
รูปที่ 4.3.11 การหาค่าอีลาสติคโมดูลัสจาก LVDT ในแนวดิ่ง	64
รูปที่ 4.3.12 กราฟที่ไม่ได้สามารถหาค่าอีลาสติคโมดูลัสจาก LVDT ในแนวดิ่ง	64
รูปที่ 4.3.13 ตัวอย่างการหาค่าปัวซอง	67
รูปที่ 4.3.14 ตัวอย่างกราฟที่หาค่าไม่ได้	68
รูปที่ 4.4.1 รูปแบบการวิบัติของแรงอัด A	70
รูปที่ 4.4.1 รูปแบบการวิบัติของแรงอัด B	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

กำแพงหรือผนังของอาคารบ้านเรือนจะมีทั้งภายนอกและภายใน โดยภายนอกนั้นคอยปกป้องตัวอาคารจากสภาพอากาศต่างๆ ทั้งแสงแดด ความร้อน กระแสลม สายฝน ส่วนผนังภายในนั้นทำหน้าที่เป็นส่วนแบ่งพื้นที่ใช้สอยต่างๆ ภายในอาคารให้เป็นสัดส่วนตามการใช้สอย นอกจากจะแบ่งกำแพงเป็นกำแพงภายนอกและภายในแล้ว กำแพงของอาคารยังถูกแบ่งออกเป็นกำแพงที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง หรือกำแพงที่ใช้รับน้ำหนักที่เป็น คอนกรีตเสริมเหล็ก และกำแพงที่ใช้รับแรงอิฐก่อแบบเต็มแผ่น ซึ่งในงานก่อสร้างนั้นค่อนข้างจะมีราคาสูงกว่ากำแพงทั่วไป และยังมีกำแพงที่ไม่ได้รับแรงหรือเรียกได้ว่าไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง ซึ่งในการก่อสร้างกำแพงนั้นยังมีวัสดุอีกหลายประเภทที่นิยมนำมาใช้กัน อาทิ อิฐตัน อิฐมวลเบา อิฐบล็อก

ในปัจจุบันประเทศไทยได้รับผลกระทบที่ค่อนข้างรุนแรงจากภัยพิบัติแผ่นดินไหว ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างที่ไม่ได้รับการออกแบบและก่อสร้างตามมาตรฐานการก่อสร้างที่ดี ถึงแม้จะมีหน่วยงานและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกำหนดให้ผู้ออกแบบคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวในขั้นตอนการออกแบบอาคาร อย่างไรก็ตามวิศวกรผู้ออกแบบส่วนใหญ่ไม่ได้คำนึงถึงกำแพงหรือผนังก่ออิฐมากนัก โดยปกติมักจะพิจารณาให้กำแพงอิฐก่อเป็นเพียงส่วนประกอบของอาคาร (ไม่ใช่เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุก) สาเหตุที่ผู้คำนวณออกแบบไม่นำกำแพงก่ออิฐมาเป็นส่วนโครงสร้างนั้นมีหลายกรณี เช่น การสร้างแบบจำลองที่ค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากผนังหรือกำแพงอิฐก่อมีพฤติกรรมที่ซับซ้อน รวมไปถึงคุณสมบัติเชิงกลที่จำเป็นต่อการสร้างแบบจำลองนั้นมีอยู่อย่างจำกัด อย่างไรก็ตามในอดีตมีงานวิจัยหลายเรื่องบ่งชี้ว่ากำแพงก่ออิฐนั้นมีผลกระทบต่อโครงสร้างเป็นอย่างมากภายใต้การสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว แม้กระทั่งในเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดกลางที่เกิดขึ้นทางภาคเหนือของประเทศไทยก็พบอาคารที่ได้รับความเสียหายอันเนื่องมาจากผลของผนังอิฐก่อ จากการทบทวนงานวิจัยในอดีตพบว่าภายใต้แรงแผ่นดินไหวจะเกิดความเค้น (stress) ขึ้นในผนังอิฐก่อทั้งสองทิศทาง อย่างไรก็ตามที่ผ่านมามีงานวิจัยส่วนใหญ่มักจะทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเชิงกลของอิฐก่อภายใต้แรงหรือความเค้นในทิศทางเดียวเท่านั้น ซึ่งไม่ค่อยสอดคล้องกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงภายใต้แรงแผ่นดินไหว ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมและคุณสมบัติเชิงกลของผนังอิฐก่อ

ภายใต้ความเค้นในระนาบแบบสองทิศทาง โดยพิจารณาผลของความเค้นทั้งในแนวราบและแนวดิ่งด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเชิงวิศวกรรมในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของอิฐก่อภายใต้ความเค้นในระนาบแบบสองทิศทาง
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของอิฐก่อภายใต้ความเค้นในระนาบแบบทิศทางเดียวและสองทิศทาง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการรับแรงอัดและคุณสมบัติเชิงกลของอิฐก่อภายใต้แรงในระนาบแบบสองทิศทางโดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ใช้ตัวอย่างทดสอบขนาดมาตรฐานตามข้อกำหนดของมาตรฐานการทดสอบ ASTM จำนวน 3 แบบ โดยแบบแรกจะก่ออิฐโดยกำหนดให้ทิศทางของแนวปูนก่อทำมุม 30 องศา กับแนวราบ ส่วนแบบที่สองก่อตัวอย่างทดสอบด้วยอิฐโดยให้แนวก่อทำ มุม 90 องศา กับแนวราบ และแบบที่สามก่ออิฐ โดยกำหนดให้แนวปูนก่ออยู่ในแนวราบ (ทำมุม 0 องศา กับแนวราบ) โดยตัวอย่างทดสอบทั้งสามแบบจะมีการฉาบผิวหน้าทั้งสองด้านด้วยปูนฉาบ ทั้งนี้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบทั้งหมดจะกำหนดให้ชั้นปูนก่อความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร โดยมีรายละเอียดและเงื่อนไขต่างๆ ในการศึกษาวิจัยดังนี้

- ในการศึกษานี้จะใช้อิฐเพียงชนิดเดียวคืออิฐมอญสองรูขนาด 6.5x16.5x3 เซนติเมตร
- ใช้ปูนก่อแบบสำเร็จรูปที่อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ต่อน้ำ เท่ากับ 6:1 และ ปูนฉาบแบบสำเร็จรูปที่อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ต่อน้ำ เท่ากับ 6:1.65
- กำหนดให้ความเค้นในแนวราบ(σ_x) มีสามระดับคือ มีค่าเท่ากับร้อยละ 0 10 และ 20 ของกำลังอัดสูงสุดของอิฐก่อ ($0.0 f_m'$, $0.1 f_m'$ และ $0.2 f_m'$)
- ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐก่อจะไม่พิจารณาผลของความเค้นนอกระนาบ (out-of-plane stress)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติเชิงกลของอิฐก่อภายใต้ความเค้นในระนาบแบบสองทิศทาง
2. ทำให้ทราบถึงความแตกต่างของคุณสมบัติเชิงกลของอิฐก่อภายใต้ความเค้นในระนาบแบบทิศทางเดียวและสองทิศทาง
3. ได้วิธีการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของอิฐก่อที่เหมาะสมสอดคล้องกับพฤติกรรมของผนังอิฐก่อภายใต้แรงแผ่นดินไหว

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานผนัง

ผนัง นั้นเรียกได้ว่าเป็นผิวหนังของบ้าน (skin) สำหรับผนังภายนอกนั้นคอยปกป้องตัวบ้าน จากความเปลี่ยนแปลงของ อากาศ ร้อนหนาว แดด ลม ฝน ภายนอกบ้าน ส่วนผนังภายในนั้น ทำหน้าที่แบ่งส่วนใช้สอยต่าง ๆ ภายในบ้าน ให้เป็นสัดส่วน ตามการใช้สอย ผนังในบ้านนั้นมีทั้งผนัง ที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง หรือที่เราเรียกว่า ผนังรับน้ำหนัก (ซึ่งแยกย่อยไปอีก เป็น ผนังรับน้ำหนัก ที่เป็น คอนกรีตเสริมเหล็ก และผนังรับน้ำหนัก ที่ใช้การก่ออิฐเต็มแผ่น) ผนังลักษณะนี้ให้นึกภาพง่าย ๆ ว่าเป็นเสาที่ยึดยาวออกไปเป็น ผนังนั่นเอง ผนังชนิดนี้จึงมีราคาค่อนข้างแพงกว่า ผนังปกติเล็กน้อย

ส่วนผนังอีกประเภท เป็นผนังที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป คือ ผนังที่ไม่ได้ทำหน้าที่รับน้ำหนัก หรือมิได้ทำตัวเป็นโครงสร้าง ส่วนมากเป็นผนังก่อด้วยอิฐ หรืออาจใช้เป็นแผ่นยิปซัมบอร์ดก็ได้ ตัวผนังเองก็มีหลายชนิด เช่น ผนังก่ออิฐ ผนังหิน ผนังคอนกรีตบล็อก ผนัง Glass Block หรือผนังแก้ว นอกจากนี้ก็ยังมีผนังที่เป็น ผนังกระจก (curtain wall) นิยมใช้กันมากในตึกสูง และมีการนำมาใช้กับ บ้านพักอาศัยในส่วนที่ต้องการเปิดมุมมองสู่ภายนอก เช่น ห้องรับแขก ห้องพักผ่อน เป็นต้น ในวิธีการก่อสร้างนั้นผนังแต่ละอย่างก็มีรายละเอียดปลีกย่อยแตกต่างกันออกไปตามประเภท

2.1.1 ผนังก่ออิฐมี 2 ลักษณะ

(1) ผนังก่ออิฐโชว์แนว

ผนังก่ออิฐโชว์แนว คือผนังที่มีการก่ออิฐเรียงกัน และไม่มีการฉาบทับ เพื่อต้องการโชว์แนวของอิฐ ผนังชนิดนี้ จึงไม่มีปูนฉาบหน้า กันความชื้น ดังนั้นในการก่ออิฐโชว์แนวสำหรับผนัง ด้านนอกอาคาร ไม่ควรก่อโชว์ทั้งสองด้าน เพราะเวลาฝนตก หรือมีความชื้น เข้ากระทบผนัง น้ำจะซึมเข้าด้านในได้โดยง่าย ข้อควรระวัง อีกประการ ก็คือ อย่างก่อในบริเวณที่มีรถวิ่งผ่านหรือวิ่งเฉียด (เช่น โรงรถ ข้างถนน เป็นต้น) เพราะหากมีการกระทบให้อิฐโชว์แนวมีรอย การแก้ไขทำได้ยาก ส่วนใหญ่มักต้องทุบผนังทั้งแผงออก และก่อขึ้นใหม่

(2) ผนังก่ออิฐฉาบปูน

ผนังก่ออิฐฉาบปูน นั้น เป็นผนังที่ใช้อิฐก่อขึ้นมา และฉาบทับด้วยปูน เพื่อความเรียบร้อย สำหรับการก่ออิฐในผนังชนิดนี้ จะต่างจาก การก่ออิฐของ ผนังก่ออิฐโชว์แนว เพราะจะต้องก่ออิฐให้ ผิวคอนกรีตมี

รอยบุ๋ม ลึกประมาณ 3 - 5 มิลลิเมตร เพื่อเวลาฉาบปูน จะได้ยึดเกาะ ผิวคอนกรีตได้แน่นหนา ก่อนฉาบปูนก็ควร ทำความสะอาดผนัง ด้วยไม้กวาด หรือลมเป่า ให้เศษ หรือฝุ่นปูน หลุดออกเสียก่อน และทำการรดน้ำให้ชุ่มเสีย ทั้งไว้ซักรั้วครั้งหน้าที่ ก่อนให้อิฐดูดน้ำให้เต็มที่ ป้องกันไม่ให้อิฐ ดูดน้ำ ไปจากปูน อันจะก่อให้เกิดการแตกร้าวของผนังได้

2.1.2 องค์ประกอบของการก่อผนัง

ลำดับขั้นในการก่ออิฐผนัง ผนังก่ออิฐหรือคอนกรีตบล็อก ความหนาโดยทั่วไปของผนังก่ออิฐฉาบปูน 10 เซนติเมตร ตีเส้นแนวการก่ออิฐที่พื้นเพื่อกำหนดแนวการก่อ หรือ จีงเอ็นแนวระดับทั้งแนวตั้งและแนวนอนไม่ว่าจะก่อด้วยวัสดุชนิดใดก็ตาม ก่อนก่ออิฐมอญ (อิฐแดง) ต้องชุบน้ำให้ชุ่ม เพื่อป้องกันไม่ให้อิฐดูดซึมน้ำจากปูนก่อ ทำให้ปูนแห้งแตกง่าย แนวการก่ออิฐแต่ละชั้นควรมีแนวสลับกันเพื่อการยึดเหนี่ยวให้แข็งแรง หรือก่อตามแบบที่กำหนด โดยมีปูนก่อรองเต็มหน้าหนาไม่น้อยกว่า 2 ซม. การก่อผนังอิฐที่มีขนาดพื้นที่เกินกว่า 9 ตารางเมตร (3 x 3 เมตร) ต้องทำเอ็น คอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 0.10 x 0.10 ม. โดยเหล็กยึดใช้ขนาด 6 มิลลิเมตร จำนวน 2 เส้นและเหล็กปลอกขนาด 6 มิลลิเมตร ระยะห่าง 15 ซม.

กรณีผนังไม่มีช่องเปิด (หน้าต่าง) เมื่อก่อผนังไปครึ่งหนึ่งต้องทำคานเอ็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนในกรณีที่มีช่องเปิดประตูและหน้าต่าง โดยรอบของประตูและ หน้าต่างต้องทำเอ็นคอนกรีตเสริมเหล็กโดยรอบ(ขนาดหน้าตัด 10 x 10 เซนติเมตร) เพื่อป้องกันการแตกร้าวแนวทแยงที่มุมประตูและหน้าต่าง

2.2 วัสดุที่ใช้ในงานก่ออิฐ

ในปัจจุบันได้มีการนำอิฐก่อ มาใช้ในการก่อสร้างอาคารต่างๆ ในหลายรูปแบบ เช่น ผนังภายนอก เพื่อคอยป้องกันผู้อยู่อาศัย และตัวบ้านจากสภาพแวดล้อมภายนอก ผนังภายในมีหน้าที่แบ่งกันส่วนใช้สอยต่างๆภายในตัวอาคาร ให้เป็นสัดส่วนตามความต้องการในการใช้สอย ผนังทั้งสองแบบนี้ก็ยังแบ่งแยกออกได้หลายประเภทขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ก่อผนัง เช่น อิฐมอญ อิฐบล็อก อิฐมวลเบา และอิฐชนิดอื่นๆ ที่มีขายตามท้องตลาด แม้แต่อิฐมอญเองก็ยังมี หลากหลายขนาด หลากหลายรูปทรง ขึ้นอยู่กับแหล่งผลิต อย่างไรก็ตามเนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึง เฉพาะวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันดังนี้

2.2.1 ปูนซีเมนต์ (Cement)

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ เป็นตัว ประสานให้อิฐแต่ละก้อนติดกันเป็นรูปร่างตาม ต้องการ รวมไปถึงยังมีการนำมาใช้ในการตกแต่งผิวหน้าของงานอิฐก่อให้เกิดความสวยงาม โดยที่ ปูนซีเมนต์ในงานอิฐก่อจะแบ่งตามการใช้งานออกได้เป็นสองประเภทหลักๆ คือ ปูนก่อและปูนฉาบ

2.2.1.1 ปูนก่อและปูนฉาบ

ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ โดยมีปูนขาวผสมตามต้องการ เพื่อช่วยให้เหลว
ลื่น ง่ายแก่การก่อและฉาบ แต่ไม่ควรใช้มากเพราะจะเกิดแตกร้าวได้ เนื่องจากปูนขาวยืดหดตัวมาก ในกรณี
ของปูนก่อ เช่น ก่อคอนกรีตบล็อก ไม่จำเป็นต้องผสมปูนขาว

ปูนก่อ นิยมใช้ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ 1 ส่วน กับทรายละเอียดหรือปานกลางที่สะอาด 3 ส่วน ด้วย
การตวงส่วนผสมให้เท่ากัน แต่ใส่น้ำให้มีความชื้นเหลวพอเหมาะที่จะทำงานได้

ปูนฉาบ ใช้ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ : ปูนขาว : ทรายในอัตราส่วน 1:1:3 กับน้ำที่พอเหมาะในการ
ฉาบครั้งแรก และ 1:2:6 หรือ 1:1:6 กับน้ำที่พอเหมาะในการฉาบครั้งที่สอง หรือครั้งที่สาม
ตามลำดับ โดยทั่วไปนิยมตวงปูนขาวและทรายที่ร่อนแล้วในอัตราส่วน 1:3 นำไปคลุกให้เข้ากันดี เติมน้ำให้
พอเหมาะ แล้วนำไปฉาบได้ทันที

2.2.2 อิฐ (Brick)

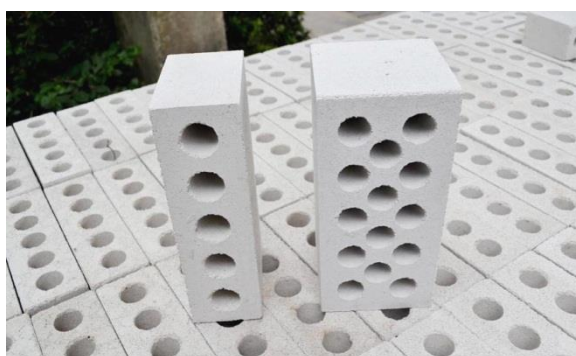
อิฐ (brick) เป็นวัสดุก่อสร้างที่ทำจากทรายและดินเหนียว หรือทรายและหินแข็งคุณสมบัติทาง
ฟิสิกส์ขึ้นอยู่กับสัดส่วนและชนิดของวัสดุต่างๆ ที่ใช้ วิธีที่ใช้และการผลิต เวลาและอุณหภูมิในการเผา
เมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้น อิฐจะมีสีคล้ำ ความพรุนจะลดลง และความแข็งแรงของอิฐจะเพิ่มขึ้น อิฐที่ใช้
ในงานก่อสร้างมีหลายชนิดได้แก่

1.อิฐมอญหรืออิฐดินเผา คืออิฐที่ทำจากดินเหนียวผสมกับแกลบหรือวัสดุอื่นผสมน้ำ นวดเคล้าให้เข้าเนื้อ
เดียวกันแล้วใส่เข้าแม่พิมพ์ โดยโรยแกลบบนลานดินภายในแม่พิมพ์ก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้ดินผสมติด
กับแม่พิมพ์ ปาดให้เรียบ ตัดทำเป็นแผ่น ผึ่งให้แห้งหรือพอบวมแล้วเอาเข้าเตาเผาจนสุก มีขนาดกว้าง 9.5
เซนติเมตร ยาว 20.00 เซนติเมตร และหนา 5.0 เซนติเมตร



รูปที่ 2.1 อิฐมอญ

2.2.2.1 อิฐขาว ทำจากปูนขาวและทรายผสมกัน อัดด้วยเครื่องจักรที่มีความกดดันสูง 500 ตัน แล้วอบด้วยความร้อนสูงอิฐขาวเป็นอิฐที่ใช้ เทคโนโลยีสมัยใหม่ พัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนอิฐมอญและอิฐบล็อก เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทุกชนิด เป็นอิฐที่แพร่หลายมานานกว่า 100 ปีในยุโรปและอเมริกาอิฐขาวเป็นอิฐที่มีความแข็งแรงทนถาวรกว่าอิฐมอญหรืออิฐบล็อกโดยทั่วไป ไม่ต้องฉาบปูน เนื้ออิฐมีความหนาแน่นมาก น้ำจึงไม่สามารถซึมผ่าน ไม่อมความชื้น ป้องกันความร้อนได้ดี มีน้ำหนักเบา ประหยัดโครงสร้าง ผนังอิฐขาวสามารถกันไฟไหม้ให้ลุกลามต่อไปได้ มีความสวยงามตามธรรมชาติโดยไม่ต้องทาสีทับ



รูปที่ 2.2 อิฐขาว

2.2.2.2 อิฐประดับ เป็นการผลิตด้วยหินแกรนิต กรวด ทรายซิลิกาสีต่าง ๆ ซีเมนต์และสารเคมีหลายชนิดผสมกันแล้วอัดด้วยเครื่องอัดแรง มีคุณสมบัติแข็งแรง ไม่แตกง่ายเป็นฉนวนกันความร้อนและเก็บเสียงได้ดี



รูปที่ 2.3 อิฐประดับ

2.2.2.3 อิฐบล็อกและคอนกรีตบล็อก อิฐบล็อกทำจากส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับทราย ซึ่งเป็นอิฐที่มีความนิยมใช้ในงานก่อสร้างเช่นเดียวกับอิฐมอญ เนื่องจากมีราคาถูกและก่อสร้างได้รวดเร็ว ข้อเสียคือไม่ค่อยแข็งแรง ส่วนคอนกรีตบล็อกทำจากส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับหินและทราย สามารถรับแรงอัดได้สูงประมาณ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงเป็นที่นิยมใช้ในงานปูพื้นและทางเข้า การปูพื้นทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว ไม่ทิ้งรอยสกปรกเลอะเทอะ



รูปที่ 2.4 อิฐบล็อก

2.3 รูปแบบการเรียงอิฐ

การก่ออิฐนั้นมีอยู่หลายแบบ ทั้งนี้แล้วแต่ความเหมาะสมตามลักษณะงานนั้นๆ งานเรียงอิฐเป็นงานหัตถกรรมใช้กันมาแต่โบราณ นิยมเรียงกันทางขวาง (Header) และเรียงตามยาว (Stretcher) ซึ่งพอจะแยกออกเป็นแบบของการเรียงได้ดังนี้

1. แบบ Stretching Bond
2. แบบ English Bond
3. แบบ Flemish Bond
4. แบบ Garden Bon

2.3.1 แบบ Stretching Bond

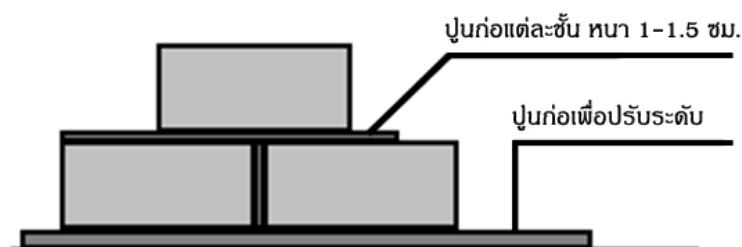
การเรียงอิฐทำได้ง่าย คือแต่ละชั้นสลับรอยต่อกัน รอยต่อจะอยู่ตรงกับกึ่งกลางแผ่นของชั้นต่อไป ตอนสุดท้ายกำแพงชั้นหนึ่งๆ ซึ่งเหมาะสำหรับการก่อผนังของอิฐมวลเบา โดยมีวิธีการดังนี้

-ก่อชั้นแรก โดยการกรีดปูนก่อลงในแนวที่ก่อแล้ว ใช้ปูนทราย (อัตราส่วนผสมปูน : ทราย / 1 : 3) ในการปรับระดับ โดยให้ความหนา กรณิผนังภายนอกและห้องน้ำ ประมาณ 3 – 5 ซม. และ ผนังภายใน ประมาณ 1 - 3 ซม. วางตามแนวเส้นก่อผนังที่กำหนดไว้

-ก่อนคอนกรีตมวลเบาก่อนแรกโดยให้กริดปูนก่อนบริเวณด้านข้างเสาและด้านล่างก่อน ด้วยเกรียงก่อคอนกรีตมวลเบา โดยมีความหนาของปูนก่อประมาณ 5 – 6 มิลลิเมตร ใช้ค้อนยางปรับให้ได้ระดับตามแนวเอ็นที่ขึงไว้ และใช้ระดับน้ำในการช่วยจัดให้ได้ระดับ

-ก่อนต่อไป โดยใช้เกรียงก่อ กริดปูนก่อด้านข้างและด้านล่างของก้อน โดยให้มีความหนาประมาณ 5 – 6 มิลลิเมตร และปรับระดับด้วยค้อนยางให้ได้ระดับเดียวกัน เมื่อจำเป็นต้องตัดตัวก้อนคอนกรีตมวลเบา ให้วัดระยะให้พอดี และใช้เลื่อยตัดคอนกรีตมวลเบาในการตัดตัวก้อน โดยหากตัดแล้วไม่เรียบหรือไม่ได้ฉากให้ใช้เกรียงฟันปลาไสแต่งตัวก้อนและถ้าต้องการขัดอย่างละเอียดเพื่อให้ตัวก้อนเรียบมากขึ้น ให้ใช้เกรียงกระดาษทรายขัดให้เรียบขึ้นได้

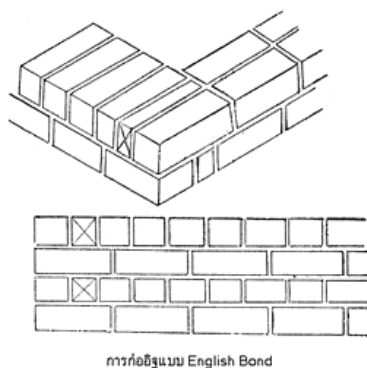
-ก่อนต่อไปโดยต้องก่อในลักษณะสลับแพะระหว่างชั้น และมีการขึงแนวก่อนการก่อ โดยแนวที่เหลื่อมกันมีระยะไม่น้อยกว่า 10 ซม. ปลายก้อนที่ก่อชนเสาโครงสร้าง หรือเสาเอ็นจะต้องยึดด้วยแผ่นเหล็กยึดแรง (Metal strap) ที่งอฉาก ยาวประมาณ 15 – 20 ซม. เข้ากับโครงสร้างด้วยตะปูคอนกรีต หรือพุกสกรู ทำเช่นนี้ทุกระยะ 2 ชั้น ของก้อน หรือทุกระยะความสูง 40 ซม.



รูปที่ 2.5 การเรียงอิฐแบบ Stretching Bond

2.3.2 แบบ English Bond

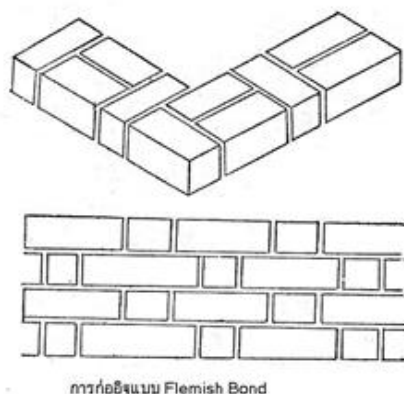
คือการเรียงอิฐยาว โดยเรียงชั้นที่ 1 เรียงตามยาว (Stretcher) อีกชั้นหนึ่งเรียงขวาง (Header) สลับกัน รอยต่อของอิฐทางขวางอยู่ตรงกลางแผ่นอิฐทางยาว มุมสุดกำแพงใช้อิฐ 1/2 แผ่น อิฐ เรียกว่า Closer การเรียงแบบนี้แน่นหนามาก เพราะอิฐทุกชั้นมีการยึดเหนี่ยวกันดี กำแพงแบบนี้รับน้ำหนักได้ดี



รูปที่ 2.6 การเรียงอิฐแบบ English Bond

2.3.3 แบบ Flemish Bond

คือเรียงอิฐชั้นหนึ่งๆไปตามยาวและกว้างสลับกันไป เป็นการก่ออิฐเต็มแผ่น แต่ชั้นสลับรอยต่อกันตลอดกำแพง เมื่อสุดกำแพงให้เสริมด้วย Stretcher การเรียงแบบนี้สวยงามมาก นิยมใช้ในอาคาร ไม่ควรรับน้ำหนักมาก



รูปที่ 2.7 การเรียงอิฐแบบ Flemish Bond

2.3.4 แบบ Garden Bon

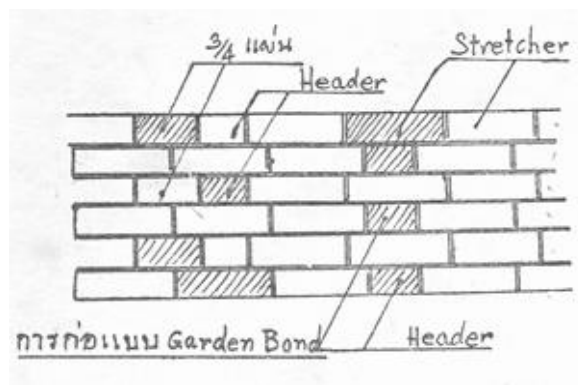
แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

ก. English Garden Wall Bond

เรียงอิฐเหมือนแบบ English Bond ผิดกันที่ให้อิฐยาว 3-6 ชั้น แล้วสลับด้านกว้าง 1 ชั้น อย่างนี้เรื่อยไป

ข. Flemish garden Wall Bond

เรียงอิฐเหมือนแบบ Flemish Bond ผิดกันที่สลับแผ่นอิฐ Flemish Bond สลับแผ่นอิฐทางกว้าง และยาวตามแผ่นต่อแผ่น แต่ Flemish Garden Wall Bond วางทางยาว 3 แผ่น แล้วสลับด้วยทางกว้าง



รูปที่ 2.8 การเรียงอิฐแบบ Garden Bon

2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและตัวแปรในการศึกษา

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐมอญ เพื่อศึกษาผลกระทบของทิศทางของแรงที่มากระทำต่อผนัง โดยพิจารณาผลกระทบของชนิดของปูนฉาบและปูนก่อด้วย โดยมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

การคำนวณค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบ

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{-----}(2.1)$$

σ = ความเค้น (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

P = แรงที่กระทำต่อตัวอย่างทดสอบ (กิโลกรัม)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการรับแรง (ตารางเซนติเมตร)

การคำนวณค่าความเครียดของตัวอย่างทดสอบ

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \text{-----}(2.2)$$

ε = ความเครียด

ΔL = ระยะหดตัวของตัวอย่างทดสอบ (เซนติเมตร)

L_0 = ความสูงของตัวอย่างทดสอบ (เซนติเมตร)

การคำนวณค่า Elastic modulus โมดูลัสของค้ำอย่างทดสอบ

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{-----}(2.3)$$

E = Elastic modulus (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

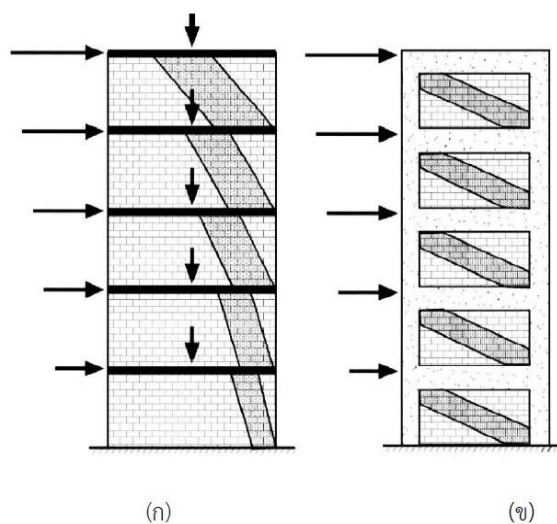
σ = ความเค้น (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

ϵ = ความเครียด

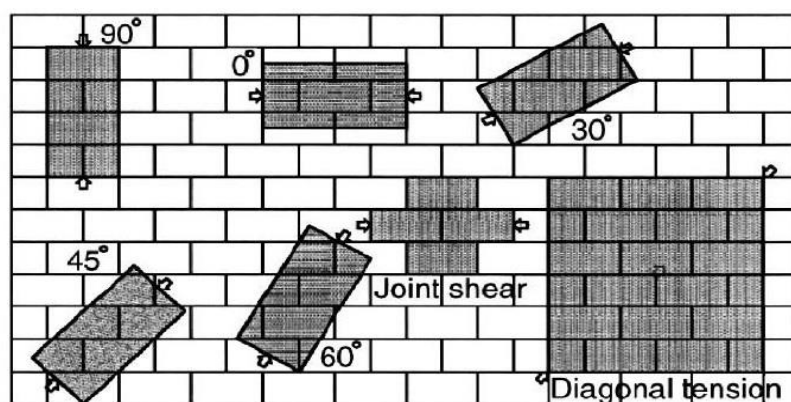
2.5 ผลกระทบของปูนก่อและปูนฉาบ

ในอดีตจนกระทั่งปัจจุบันผนังอิฐก่อเป็นส่วนประกอบของสิ่งปลูกสร้างที่นิยมใช้อย่างมาก ทั้งในอาคารขนาดเล็กและอาคารขนาดใหญ่รวมไปถึงโบราณสถานต่างๆทางประวัติศาสตร์และสถาปัตยกรรม ผนังอิฐก่อเป็นส่วนประกอบโครงสร้างที่มักจะได้รับความเสียหายจากแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว เนื่องจากแรงในแนวราบที่กระทำต่อผนังดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยปกติผนังอิฐก่อถูกออกแบบมาเพื่อด้านทานแรงโน้มถ่วงและแรงลมเพียงเล็กน้อยหรืออาจจะไม่มีการออกแบบให้ด้านทานแรงเฉย อย่างไรก็ตามภายใต้การกระทำของแผ่นดินไหว ผนังมักจะมีปฏิสัมพันธ์กับโครงสร้างอื่นโดยรอบและอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายที่ไม่พึงประสงค์ทั้งในผนังและโครงสร้างโดยรอบ (Hamid และคณะ 2005) ซึ่งพฤติกรรมของผนังอิฐก่อนั้นยากที่จะทำนายอีกทั้งแบบจำลอง

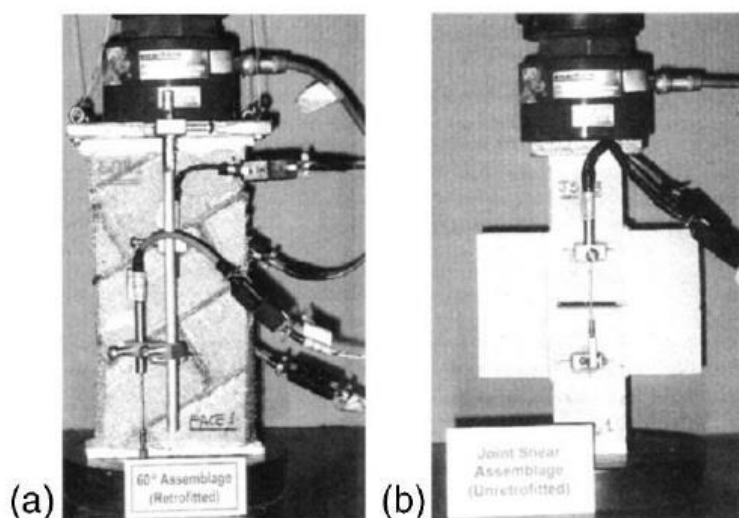
ที่ใช้ในการวิเคราะห์ยังมีความซับซ้อนและให้ผลการวิเคราะห์ที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงอยู่พอสมควร ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลองและวิธีการประเมินพฤติกรรมของผนัง อิฐก่อคือ คุณสมบัติเชิงกลของอิฐก่อ ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงมีการวิจัยจำนวนมากที่ทำการศึกษา คุณสมบัติเชิงกลของอิฐก่อ เช่น Hamid และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของ ชิ้นส่วนอิฐก่อ ในลักษณะต่างๆ ดังแสดงใน รูปที่ 2.10จำนวน 42 ตัวอย่าง โดยที่ตัวอย่างทดสอบถูก กำหนดให้มีทิศทางการรับแรงที่แตกต่างกันเพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมของผนังอิฐก่อภายใต้ แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว และทำการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่ง มีวิธีการติดตั้งและทดสอบดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 2.9 พฤติกรรมของผนังอิฐก่อภายใต้แรงด้านข้าง (ก) ผนังรับแรงเฉือน (ข) ผนังที่ทาหน้าร่วมกับเฟรม (Hamid et al. 2005)

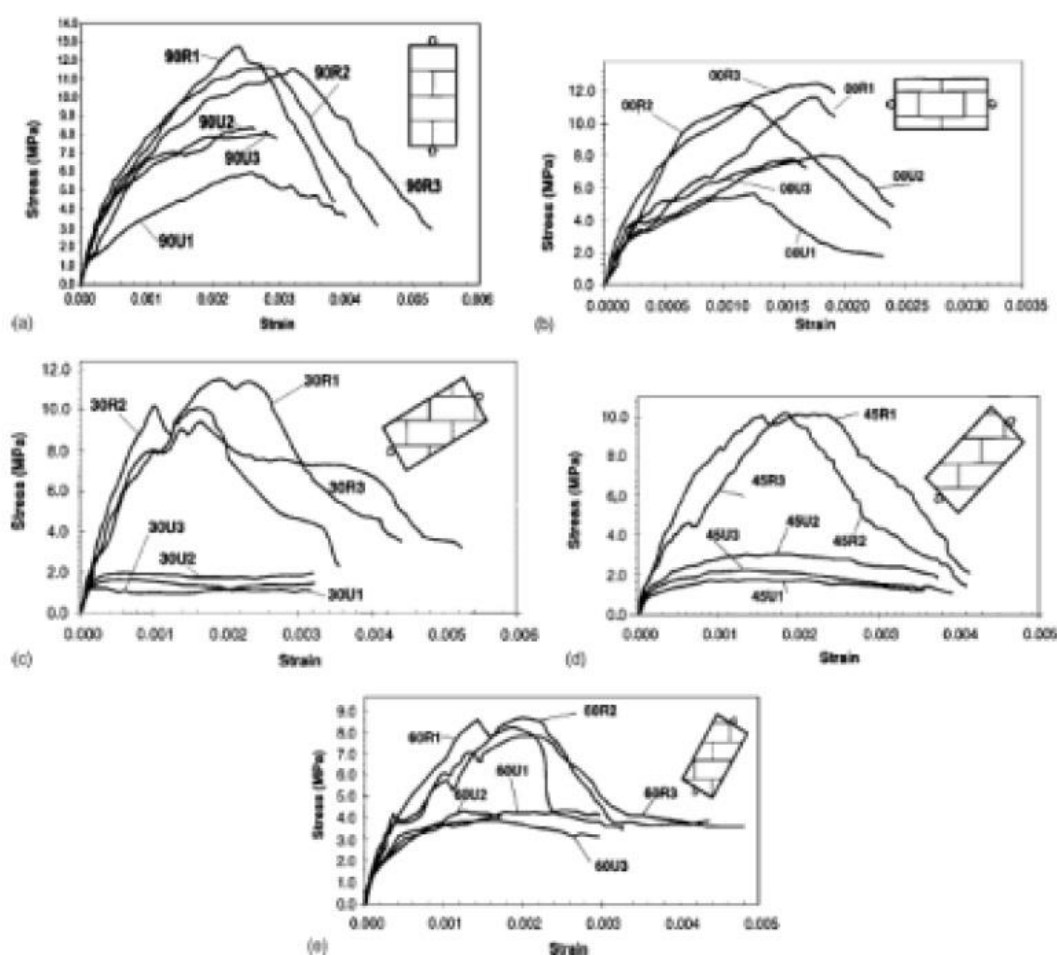


รูปที่ 2.10 ชิ้นส่วนของผนังในลักษณะองศาต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบ (Hamid et al. 2005)



รูปที่ 2.11 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบและอุปกรณ์ (Hamid et al. 2005)

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบในลักษณะต่างๆ มีความแตกต่างกันพอสมควรทั้งในด้านความเค้นสูงสุด ค่า Elastic modulus และค่าความเครียดที่ตำแหน่งความเค้นสูงสุด โดยที่คุณสมบัติดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมระหว่างแนวปูนก่อกับแนวแรงที่มากระทำ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 มุมระหว่างแนวปูนก่อกับแนวแรงที่มากระทำยังเป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดรูปแบบการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ ในกรณีของตัวอย่างทดสอบที่มีแนวปูนก่อกาทามุมกับแนวแรงเท่ากับ 0 และ 90 องศา พบว่าตัวอย่างทดสอบส่วนใหญ่จะวิบัติโดยการแตกเนื่องจากการบดอัดหรือแตกแบบผ่าที่กึ่งกลางความหนาของตัวอย่างทดสอบ ขณะที่ตัวอย่างทดสอบที่มีแนวปูนก่อกาทามุมกับแนวแรงเท่ากับ 30 และ 45 องศา พบว่าตัวอย่างทดสอบส่วนใหญ่จะวิบัติโดยการเลื่อนหลุดตามแนวปูนก่อ ซึ่งเป็นผลมาจากปูนก่อมีแรงยึดเกาะต่ำ รวมทั้งทิศทางของแรงกดก่อให้เกิดแรงเฉือนปริมาณมากขึ้น โดยมีทิศทางขนานกับแนวปูนก่อด้วย



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบในลักษณะต่างๆ (Hamid et al. 2005)

2.6 ผลกระทบของผนังก่ออิฐต่อพฤติกรรมของโครง

นคร ภู่วโรดม และ อมรเทพ จิรศักดิ์จารุญศรี ได้ศึกษาชั้นดินบริเวณที่ตั้งต่อการสั่นสะเทือนในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ที่จังหวัดเชียงรายสร้างความเสียหายต่ออาคารจำนวนมากกว่า 10,000 หลังที่ส่วนใหญ่เป็นอาคารขนาดเล็กและไม่ได้รับการออกแบบตามหลักวิศวกรรม โดยความเสียหายส่วนใหญ่เกิดในพื้นที่ใกล้กับจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว นอกจากนั้นแล้วอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของโรงเรียนหลายแห่งได้รับความเสียหายอย่างรุนแรง โดยมีรายงานของความเสียหายของอาคารจำนวนมากในบางพื้นที่ที่อยู่ห่างออกไปในระยะ 25 กิโลเมตร บริเวณที่ได้รับผลกระทบมีลักษณะเป็นพื้นที่ราบสลับเชิงเขา ผลกระทบจากชั้นดินบริเวณที่ตั้งจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณลักษณะของการสั่นสะเทือน

เนื่องจากแผ่นดินไหวที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ อย่างไรก็ตามก็ตีข้อมูลด้านนี้ยังไม่มีการศึกษาไว้ งานวิจัยนี้
 ทำการศึกษาผลดังกล่าวด้วยการสำรวจคุณสมบัติของชั้นดินด้วยการตรวจวัดคลื่น
 ขนาดเล็กที่ผิวดินและการวิเคราะห์ผลตอบสนองของพื้น โดยทำการสำรวจหาค่าคาบอทธิพลหลักด้วยวิธี
 H/V spectral ratio และความเร็วคลื่นเฉือนด้วยวิธี Spatial Autocorrelation เป็นจำนวน 10 ตำแหน่ง โดยผล
 พบว่าค่าคาบอทธิพลหลักมีค่าอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.7 วินาที และความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยจากผิวถึงระดับความ
 ลึก 30 เมตร มีค่าประมาณ 220 ถึง 400 เมตรต่อวินาที ส่วนผลจากการวิเคราะห์แผ่นดินไหวที่ตำแหน่งต่าง ๆ
 พบว่าค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับบริเวณภายในรัศมี 10 กิโลเมตร มีค่าสูงกว่า 1.0g ผลการ
 ประเมินการขยายขนาดคลื่นแผ่นดินไหวได้ใช้พิจารณาพร้อมกับลักษณะการกระจายตัวของความเสียหายของ
 อาคารในแต่ละพื้นที่ ซึ่งผลได้แสดงว่าความเสียหายต่อโครงสร้างในพื้นที่ที่เป็นบริเวณดินอ่อนกว่าและอยู่
 ห่างจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวไกลกว่า อาจมีความรุนแรงมากกว่าพื้นที่ที่ตั้งอยู่บนดินแข็งที่ตั้งอยู่ในระยะ
 ที่ใกล้กว่า

รศ. ดร.สุทัศน์ ลิลาทวิวัฒน์ และ ศ. ดร.เป็นหนึ่ง วานิชชัย ได้ศึกษาวิจัยความเสียหายที่เกิดกับอาคาร
 ขนาดเล็กและขนาดกลาง ในเหตุการณ์แผ่นดินไหวแม่ลาว จังหวัดเชียงราย เหตุการณ์แผ่นดินไหวแม่ลาว
 จังหวัดเชียงราย ขนาด 6.3 ตามมาตราริกเตอร์ เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคาร
 จำนวนมากโดยเฉพาะอาคารขนาดเล็กและขนาดกลางอาทิเช่น บ้านพักอาศัย ตึกแถว โรงเรียน ผลการสำรวจ
 ความเสียหาย ภายหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว ซึ่งอาคารเหล่านี้มักมีจุดอ่อนในโครงสร้างหลายรูปแบบ มี
 รูปทรงทางสถาปัตยกรรมหรือลักษณะทางโครงสร้างที่ไม่เหมาะสมต่อการต้านทานแผ่นดินไหว และยังมี
 การเสริมเหล็กโดยไม่มีการคำนึงถึงแรงจากแผ่นดินไหว ทำให้อาคารขาดกำลังและความเหนียว นอกจากนี้
 อาคารเหล่านี้มักมีผนังอิฐก่อซึ่งในบางกรณีสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของอาคารทำให้ต้านทานแรง
 แผ่นดินไหวได้ดีขึ้น แต่ในบางกรณีกลับส่งผลเสียให้อาคารเกิดความเสียหาย บทความนี้เป็นสรุปผล
 การสำรวจความเสียหาย ของโครงสร้างจำนวนหนึ่งจากการลงพื้นที่เกิดเหตุในบริเวณใกล้เคียงกับจุด
 ศูนย์กลางแผ่นดินไหว บทเรียนจากความเสียหายเหล่านี้เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงวิธีการออกแบบและ
 ก่อสร้างอาคารในบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ ได้ศึกษาวิจัย การพัฒนาของวิศวกรรมแผ่นดินไหวในประเทศไทยจาก
 อดีตสู่อนาคต แผ่นดินไหว อำเภอฟาน จังหวัดเชียงราย ขนาด 5.1 หน่วยริกเตอร์ วันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2537
 แผ่นดินไหวนี้มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย ทำให้เกิดความเสียหายเล็กน้อยถึงปาน
 กลางแก่อาคารต่างๆ รวมทั้งวัดและโรงเรียนกว่า 50 หลัง ดังรายงานโดยปณิธานและเป็นหนึ่ง แผ่นดินไหวนี้
 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าแม้มีขนาดกลาง (ค่อนข้างเล็ก) ก็สามารถทำให้อาคารที่มีลักษณะอ่อนแอหรือมี
 ความไม่ปกติเชิงโครงสร้าง (structural irregularity) เกิดความเสียหายในส่วนโครงสร้างได้ หากไม่ได้รับการ
 ออกแบบให้ต้านทานแผ่นดินไหว ดังเช่น เสาต้น



รูปที่ 2.13 อาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลพาน อ.พาน จ.เชียงราย

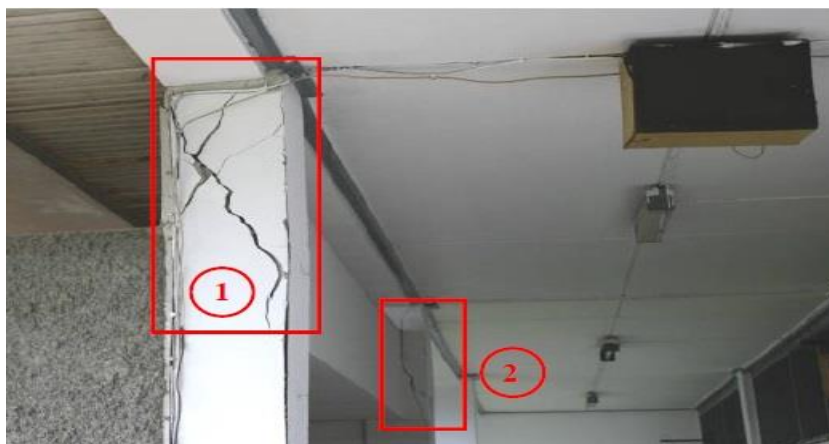


รูปที่ 2.14 รอยร้าวทแยงในเสาสั้น



รูปที่ 2.15 อาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก โรงเรียนแห่งหนึ่ง มีลักษณะชั้นอ่อน และไม่ปกติเชิงบิด

เสาแตกร้าวแบบการค้ำ



รูปที่ 2.16 รอยร้าวทแยงในเสาเอ็นที่เกิดจากแผ่นดินไหวลาว โรงเรียนเม็งรายมหาราชวิทยาคม อ.เมือง จ.เชียงใหม่

ผนังอิฐก่อในโครง คอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทั่วไปจะให้ประโยชน์ในองค์รวม โรงเรียนบ้านคอนตัน และโรงเรียนเทศบาล 1 ในอำเภอพาน มีลักษณะโครงสร้างเหมือนกันเป็นหลัก ดังรูปที่ 2.17 และ 2.20 ระบบโครงสร้างเป็นระบบโครงต้านโมเมนต์ (moment resisting frame system) ช่องบันไดซึ่งมีผนังอิฐก่อภายในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กสตีฟมากและวางเอียงศูนย์ (ไปทางด้านซ้ายของรูป) ทำให้อาคารมีความไม่ปกติเชิงบิดมาก อาคารโรงเรียนเทศบาล 1 จึงเกิดความเสียหายอย่างมาก เสาเสียหายราว 10 ต้น เสามุมต้นหนึ่งเสียหายเลย Life Safety Performance Level ดังแสดงในรูป 2.22 ในขณะที่อาคารโรงเรียนบ้านคอนตันเสียหายน้อยกว่า เพราะมีผนังอิฐก่ออยู่ช่วงเสาด้านขวาสุดของอาคาร ดังแสดงในรูป 2.18 ซึ่งช่วยลดความไม่ปกติเชิงบิดลงมาก เสาทั่วไปไม่เสียหาย ยกเว้นเสา 2 ต้นที่ประชิดผนังที่วิบัติแบบเฉือน ดังแสดงในรูป 2.19 ดังนั้น จะต้องพิจารณาผลของแรงมหาศาลที่ถ่ายจากผนังสู่เสา/ข้อต่อ มิเช่นนั้นอาจเกิดการวิบัติรุนแรงดังเช่นตัวอย่างในอาคารโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม (รูปที่ 9) ซึ่งเสาเกือบหลุดจากข้อต่อ (รูปที่ 9ข) แต่น่าสนใจที่ผนังอิฐก่อก็ได้ให้เส้นทางถ่ายแรงแนวตั้ง(ชั่วคราว) ได้ ช่วยป้องกันการพังทลายทันทีทันใด ในขณะที่ในระบบโครงต้านโมเมนต์ หากเสาวิบัติดังเช่นในรูปที่ 2.22 โครงสร้างก็จะอันตรายกว่ากันมาก เพราะไม่มีเส้นทางถ่ายแรงแนวตั้งอื่นมาช่วยได้ วิธีหนึ่งที่อาจแก้ปัญหาการวิบัติเฉือนในเสาคือ ทาการแยกผนังออกจากโครงข้อแข็ง แต่พึงป้องกันการวิบัติในแนวตั้งจากผนัง



รูปที่ 2.17 โรงเรียนบ้านคอนตัน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย อาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก 4 ชั้น



รูปที่ 2.18 โรงเรียนบ้านคอนตัน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ผนังอิฐก่อในช่วงเสาปลายสุดด้านขวา



รูปที่ 2.19 โรงเรียนบ้านคอนตัน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย เสาประชิดผนังอิฐก่อแตกร้าวแบบเฉือน



รูปที่ 2.20 โรงเรียนเทศบาล 1 อำเภอฟาน จังหวัดเชียงราย อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 ชั้น



รูปที่ 2.21 โรงเรียนเทศบาล 1 อำเภอฟาน จังหวัดเชียงราย ชั้นล่างเสาโค้ง ผนังเบา



รูปที่ 2.22 โรงเรียนเทศบาล 1 อำเภอฟาน จังหวัดเชียงราย เสามุมด้านหลังวิบัติรุนแรง



รูปที่2.23 อาคาร โรงเรียนแม่ลาววิทยาคม อ.แม่ลาว



รูปที่2.24 เสาวิบัติแบบเฉือน เนื่องจากแรงมหาศาลส่งถ่ายจากผนังอิฐก่อ



รูปที่2.25 เสาวิบัติแบบเฉือนลักษณะเป็นเสาสั้น- โรงเรียนพานพิทยาคม

บทที่ 3

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบและวิธีการทดสอบ

การศึกษากำลั้งอัดของอิฐก่อภายใต้แรงในระนาบแบบสองทิศทางครั้งนี้ ทำการศึกษาโดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด 40 x 40 เซนติเมตร เพื่อทำการทดสอบกำลั้งอัด ในบทนี้จะกล่าวถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำ ตัวอย่างทดสอบและวิธีการทดสอบ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบ

1. ใช้อิฐมอญชนิดสองรูที่มีขนาด 6.5x16.5x3 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1.1 เนื่องจากการก่อสร้างอิฐชนิดนี้เป็นที่นิยมและมีคุณภาพที่ดี ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้จะใช้อิฐเพียงชนิดเดียวเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาในการศึกษาวิจัย



รูปที่ 3.1.1 อิฐมอญที่ใช้ในการทดสอบ

2. ปูนก่อและปูนฉาบ ในการศึกษานี้จะใช้ปูนซีเมนต์สำเร็จรูป เพียง 2 ประเภทในการทดสอบ คือ ประเภทที่ 1 ปูนก่อสำเร็จ (ตราเสือ มอร์ตาร์ก่อ ชนิด 50) ดังรูปที่ 3.1.2 อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ต่อน้ำ เท่ากับ 6:1 ประเภทที่ 2 ปูนฉาบสำเร็จรูป (ตราเสือ มอร์ตาร์ ชนิดฉาบทั่วไป) ดังรูปที่ 3.1.2 เพื่อใช้ผสมเป็น ปูนฉาบสำเร็จรูปที่อัตราส่วน ปูนต่อน้ำ คือ 6:1.65 อัตราส่วนผสมต่าง ๆ นี้เป็นอัตราส่วนที่ได้มีการศึกษา มาแล้วว่าเป็นอัตราส่วนที่ผสมได้ง่าย และสามารถใช้ได้โดยทั่วไปในการก่อสร้างจริง



รูปที่ 3.1.2 ปูนฉาบสำเร็จรูปและปูนก่อสำเร็จรูป

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างการทดสอบมีดังนี้ เครื่องชั่งน้ำหนัก ดังรูปที่ 3.1.3(ก) ใช้เพื่อชั่งส่วนผสมต่างๆ เช่น ปูน หิน เป็นต้น, ถังน้ำพลาสติก ดังรูปที่ 3.1.3(ง) ใช้เป็นภาชนะใส่ปูน ทราช น้ำ และใช้ในการผสมปูนก่อและปูนฉาบ, เกรียงก่อและเกรียงฉาบ ดังรูปที่ 3.1.3(ข)และ(ค) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมปูน ทราช น้ำ ให้เข้ากัน, ระดับน้ำ ดังรูปที่ 3.1.3 (จ) ใช้ในการวัดความลาดเอียงของตัวอย่าง, ตลับเมตร ดังรูปที่ 3.1.3(ค) ใช้ในการวัดตัวอย่างทดสอบที่มีขนาดตามที่กำหนดไว้ และปูนปลาสเตอร์ ดังรูปที่ 3.1.3(ข) ใช้สำหรับปรับผิวพื้นที่รับแรงของตัวอย่างทดสอบให้เรียบ โดยจะทำการเคลือบผิวทุกด้านของตัวอย่างการทดสอบ



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)

รูปที่ 3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบตัวอย่าง (ก) เครื่องชั่งน้ำหนัก (ข) เกรียงก่อ (ค) ตลับเมตร
(ง) ถังน้ำพลาสติก (จ) ระดับน้ำ (ฉ) เกรียงฉาบ (ช) ปูนพลาสติก

4. อุปกรณ์สำหรับให้แรงในแนวดิ่ง (P_y) และ แนวนราบ(P_x) การศึกษานี้ใช้เครื่องทดสอบหรือโครงเหล็กที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโครงสร้างรวมถึงอุปกรณ์อื่นๆ ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยนี้

3.2 ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ในการทดสอบจะใช้ตัวอย่างทดสอบที่มีขนาดความ กว้าง ยาว และหนา เท่ากับ 40 40 และ 8.5 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยใช้รูปแบบการก่อกั้นทั้งหมด 3 รูปแบบ คือตัวอย่างทดสอบที่มีแนวปูนก่อทำมุมกับแนวแรงกด (แรงในแนวดิ่ง) แบบ 30 องศา , 90 องศา , 0 องศา ซึ่งในการทดสอบนี้จะใช้ปูนก่อและปูนฉาบสำเร็จรูปเพียงชนิดเดียว ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตาราง 3.1 , 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างทดสอบและสัญลักษณ์ที่ใช้ในตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา

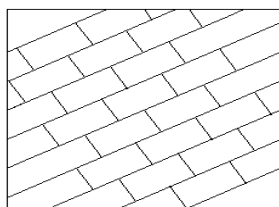
มุม	ความเค้นสูงสุดในแนวนราบ (σ_x)	สัญลักษณ์
30°	0.0f _m '	30-01
	0.0f _m '	30-02
	0.0f _m '	30-03
30°	0.1f _m '	30-11
	0.1f _m '	30-12
	0.1f _m '	30-13
30°	0.2f _m '	30-21
	0.2f _m '	30-22
	0.2f _m '	30-23

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างทดสอบและสัญลักษณ์ที่ใช้ในตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา

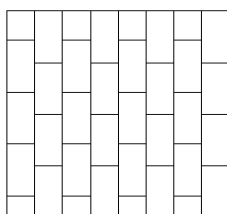
มุม	ความเค้นสูงสุดในแนวราบ (σ_x)	สัญลักษณ์
90°	0.0f _m '	90-01
	0.0f _m '	90-02
	0.0f _m '	90-03
90°	0.1f _m '	90-11
	0.1f _m '	90-12
	0.1f _m '	90-13
90°	0.2f _m '	90-21
	0.2f _m '	90-22
	0.2f _m '	90-23

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างทดสอบและสัญลักษณ์ที่ใช้ในตัวอย่างทดสอบแบบ 180 องศา

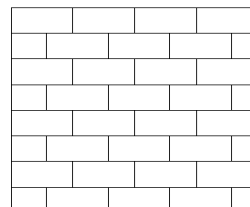
มุม	ความเค้นสูงสุดในแนวราบ (σ_x)	สัญลักษณ์
0°	0.0f _m '	0-01
	0.0f _m '	0-02
	0.0f _m '	0-03
0°	0.1f _m '	0-11
	0.1f _m '	0-12
	0.1f _m '	0-13
0°	0.2f _m '	0-21
	0.2f _m '	0-22
	0.2f _m '	0-23



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.2.1 (ก) การก่อตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา (ข) การก่อตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา
(ค) การก่อตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา

3.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบจะใช้วัสดุและอุปกรณ์ตามหัวข้อ 3.1 และขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างมีดังนี้

3.3.1 การก่อตัวอย่าง

1. เตรียมอุปกรณ์และตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการทำตัวอย่างทดสอบ โดยให้อุปกรณ์และเครื่องมืออยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน เช่น เกรียง ถังน้ำ เครื่องชั่งน้ำหนัก เป็นต้น
2. ตรวจสอบคุณภาพของอิฐที่จะนำมาใช้ทดสอบ และทำการราดน้ำเพื่อให้อิฐเกิดการอมน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้อิฐดูดน้ำในส่วนผสมของปูนก่อ ดังแสดงรูปที่ 3.3.1



รูปที่ 3.3.1 ราดน้ำอิฐเพื่อไม่ให้อิฐดูดน้ำ

3. ชั่งส่วนผสมที่ใช้ในการผสมปูนก่อ จากนั้นผสมเป็นปูนก่อที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ตามกำหนด ดังแสดงรูปที่ 3.3.2 (ก) และ 3.3.2 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3.2 การผสมปูนเพื่อใช้ในการก่อตัวอย่าง

4. ทำการก่อตัวอย่างโดยก่อนจะเริ่มทำการก่อ ให้ปรับพื้นที่ใช้ในการก่อให้ได้ระดับ จากนั้นทำการก่อโดยกำหนดให้ชั้นปูนก่อมีความหนาเท่ากับ 1 เซนติเมตร และทำการก่อแบบ Stretching Bond โดยที่แต่ละชั้นสลับรอยต่อกัน รอยต่อจะอยู่ตรงกับกึ่งกลางแผ่นของชั้นต่อไป ดังรูป (ก) , และทำการก่อเรียงเป็นชั้นๆตามแนวปูนก่อ ดังรูป (ข) , เติมนูนก่อที่ช่องว่างระหว่างอิฐก่อที่วางเรียงกัน ดังรูป (ค) , และทำการก่อต่อไปจนได้ขนาดที่ต้องการ ดังรูป (ง)



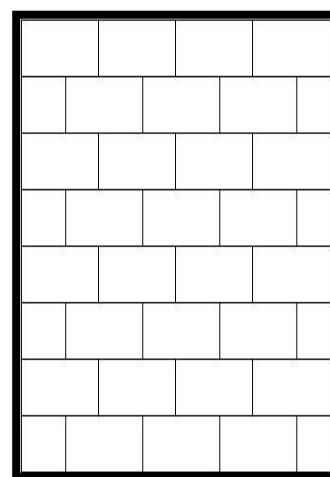
(ก)



(ข)



(ค)



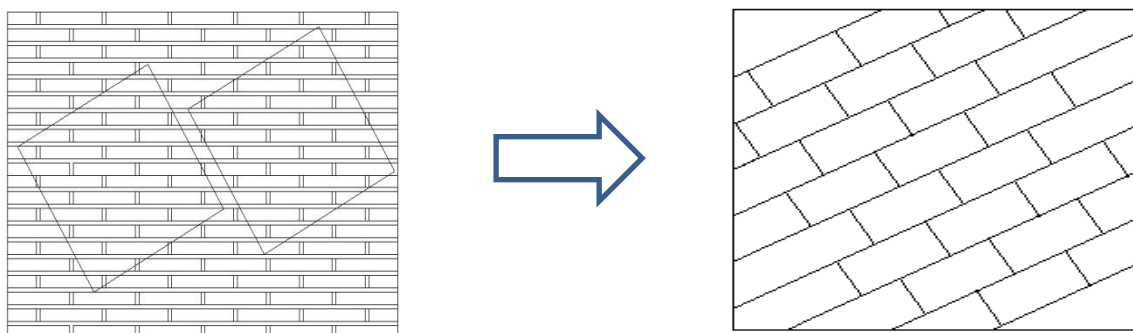
(ง)

รูปที่ 3.3.3 ขั้นตอนการก่อตัวอย่าง

5.ทิ้งตัวอย่างไว้ประมาณ 5-7 วัน เพื่อให้ปูนก่อตัวและยึดติดกับอิฐ

6.ในระหว่างการก่อตัวอย่างนั้น ต้องนำปูนที่ก่อมาใส่ลงในแบบหล่อมอร์ตาร์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตรจำนวน 3 ก้อน แล้วบ่มน้ำไว้ในบ่อบ่มคอนกรีตเป็นเวลา 28 วันนำขึ้นมาผึ่งให้แห้งเป็นเวลาหนึ่งวันจากนั้นทำการทดสอบหาค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C 109

7.ในกรณีของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา เมื่อปูนก่อแข็งตัวแล้ว จะทำการตัดตัวอย่างในรูปแบบ 30 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.3.4 ส่วน 90 องศา และ 0 องศาไม่ต้องนำไปตัดเนื่องจากเป็นแนวของอิฐอยู่แล้ว



รูปที่ 3.3.4 การตัดตัวอย่างทดสอบในรูปแบบ 30 องศา

3.3.2 การฉาบตัวอย่าง

1.นำตัวอย่างที่ก่อเสร็จเรียบร้อยแล้วดังอธิบายในหัวข้อ 3.3.1 มาตรวจสอบว่าตัวอย่างนั้นอยู่ในสภาพสมบูรณ์หรือไม่ หากพบข้อผิดพลาดต้องทำการแก้ไขให้เรียบร้อยก่อนฉาบผิวหน้า

2.ทำการเตรียมปูนฉาบโดยผสมในอัตราส่วนที่ต้องการ

3.ทำการราดน้ำตัวอย่างทดสอบให้ชุ่มเพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุคูดน้ำจากส่วนผสมของปูนฉาบ จากนั้นเริ่มต้นฉาบผิวหน้าตัวอย่างทดสอบโดยที่ชั้นปูนฉาบจะต้องมีความหนา 1.5-2 เซนติเมตร และให้ฉาบตัวอย่างให้เรียบเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3.3.5 (ก) เริ่มฉาบผิวหน้าตัวอย่างทดสอบ (ข) ฉาบผิวหน้าให้เรียบเสมอกัน



(ก)



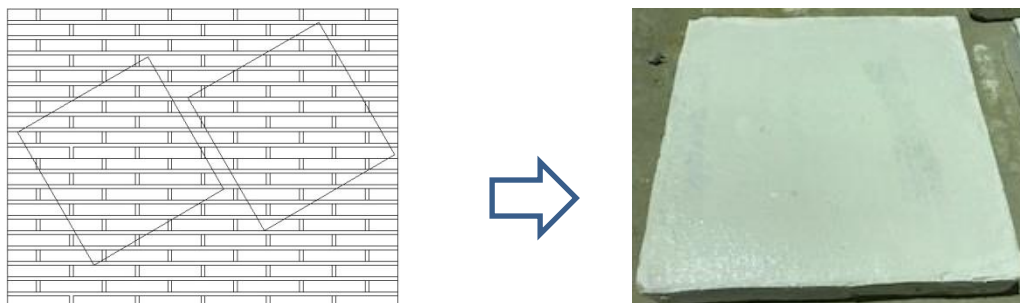
(ข)

รูปที่ 3.3.5 การฉาบผิวตัวอย่างทดสอบ (ก) เริ่มฉาบผิวหน้าตัวอย่างทดสอบ (ข) ฉาบผิวหน้าให้เรียบ

4.ปล่อยให้แห้งและพลิกกลับอีกด้านหนึ่งและปล่อยให้แห้ง 28 วัน

5.ในระหว่างการก่อตัวอย่างนั้น ต้องนำปูนที่ก่อมาใส่ลงในแบบหล่อมอร์ตาร์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตรจำนวน 3 ก้อน แล้วบ่มน้ำไว้ในบ่อบ่มคอนกรีตเป็นเวลา 28 วันนำขึ้นมาผึ่งให้แห้งเป็นเวลาหนึ่งวันจากนั้นทำการทดสอบหาค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C 109

6.ทำการตัดตัวอย่างได้ตามแบบที่ต้องการ 30 องศาโดยในรูปที่ 3.3.6 เป็นการตัดตัวอย่างทดสอบในรูปแบบ 30 องศาเมื่อตัดเสร็จเป็นดังรูปที่ 3.3.6 ส่วน 90 องศา และ 0 องศาไม่ต้องนำไปตัดเนื่องจากเป็นแนวของอิฐอยู่แล้ว



รูปที่ 3.3.6 ตัวอย่างทดสอบรูปแบบ 30 องศาที่ฉาบผิวเรียบร้อยแล้ว

3.3.3 การเตรียมผิวหน้าที่ใช้ในการรับแรงของตัวอย่างทดสอบ

ในการทดสอบแรงอัดพื้นที่รับแรงของตัวอย่างนั้นจะต้องมีความสม่ำเสมอและมีผิวที่เรียบเพื่อที่จะให้แรงที่กระทำนั้น สามารถกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอกัน โดยการทดสอบนี้จะใช้การเคลือบผิวหน้าของตัวอย่างด้วยปูนปลาสเตอร์ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. นำตัวอย่างที่ได้จากขั้นตอน 3.3.1 และ 3.3.2 มาทำการเคลือบผิวหน้าส่วนที่ต้องการรับแรงกด โดยใช้ปูนปลาสเตอร์ผสมน้ำ ซึ่งก่อนจะทำการเคลือบผิวจะต้องนำมาวัดระดับทั้ง 4 ด้าน และทำการฉาบด้วยปูนปลาสเตอร์ทั้ง 4 ด้าน ดังรูปที่ 3.3.7 การฉาบผิวด้วยปูนปลาสเตอร์



รูปที่ 3.3.7 การฉาบผิวด้วยปูนปลาสเตอร์

2. ทำการเคลือบผิวหน้าของอีกด้านของตัวอย่างโดยทำตามขั้นตอนในข้อ 1 อีกหนึ่งรอบ

3. ในกรณีที่ผิวหน้าตัวอย่างทดสอบไม่ได้ตามระดับที่ต้องการ จะต้องทำการแก้ไขโดยการนำตัวอย่างไปตัดปูนปลาสเตอร์ออก และทำการเคลือบใหม่โดยให้ได้ระดับ ปลอยตัวอย่างให้แห้งและนำไปเรียงเพื่อรอทำการทดสอบต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.3.8 จัดเรียงตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3.3.8 เรียงตัวอย่างเพื่อรอการทดสอบ

3.4 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบและการทดสอบ

การติดตั้งตัวอย่างทดสอบในการศึกษาวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

3.4.1 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบที่ไม่มีความเค้นในแนวราบ (ไม่มีแรงในแนวราบ)

การทดสอบในรูปแบบนี้จะกำหนดให้แรงในแนวราบ (P_x) มีค่าเท่ากับ 0 ตลอดการทดสอบ โดยจะทดสอบกำลังอัดภายใต้แรงในแนวดิ่ง (P_y) เพียงอย่างเดียว วิธีการติดตั้งตัวอย่างทดสอบในรูปแบบนี้จะติดตั้งโดยการใช้ฐานรองตัวอย่างทดสอบจากเครื่อง UTM จากนั้นตามด้วยแผ่นยาง และนำตัวอย่างทดสอบไปวางบนแผ่นยาง หลังจากวางตัวอย่างทดสอบเรียบร้อยแล้วก็จะใช้แผ่นยางและเหล็ก H Beam วางด้านบนตัวอย่างทดสอบดังแสดงในรูป 3.4.1 จากนั้นใช้เครื่อง UTM (Universal Testing Machine) เพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัด ในแนวดิ่ง (P_y) วัตถุประสงค์ของการใช้แผ่นยางรองระหว่างคานเหล็กและตัวอย่างทดสอบนั้น เพื่อให้แรงที่กระทำต่อตัวอย่างทดสอบมีความสม่ำเสมอและลดแรงเสียดทานระหว่างเหล็กและตัวอย่างทดสอบ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเลื่อยรูปของตัวอย่างทดสอบ ซึ่งตัวอย่างทดสอบแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ดังอธิบายไว้ก่อนหน้านี้คือ 30 90 และ 0



รูปที่ 3.4.1 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบที่ไม่มีความเค้นในแนวราบ (ไม่มีแรง P_x ในแนวราบ)

3.4.2 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในแนวราบ (มีแรง P_x ในแนวราบ)

การทดสอบในรูปแบบนี้จะกำหนดให้มีแรงในแนวราบ (P_x) ตลอดการทดสอบ โดยจะทดสอบกำลังอัดภายใต้แรงในแนวดิ่ง (P_y) แบบสองทิศทาง วิธีการติดตั้งตัวอย่างทดสอบในรูปแบบนี้จะติดตั้งโดยการใช้ฐานรองตัวอย่างทดสอบจากเครื่อง UTM จากนั้นตามด้วยแผ่นยาง และนำตัวอย่างทดสอบไปวางบนแผ่นยาง หลังจากวางตัวอย่างทดสอบเรียบร้อยแล้วก็จะใช้แผ่น ยางและเหล็ก H Beam วางด้านบนตัวอย่างทดสอบดังแสดงในรูป 3.4.2 จากนั้นใช้เครื่อง UTM (Universal Testing Machine) เพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัด ในแนวดิ่ง (P_y) และติดตั้งตัวอย่างทดสอบในแนวราบโดยใช้ยางและเหล็ก H Beam วางด้านข้างตัวอย่างทดสอบและใช้เหล็กสลักเกลียวเป็นตัวล็อก H-Beam ทั้งหมดไว้ด้วยกัน ดังแสดงในรูป 3.4.2 จากนั้นวาง Load Cell ที่ติดกับ Data Logger และ Hydraulic Jack เพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัด ในแนวราบ (P_x) วัตถุประสงค์ของการใช้แผ่นยางรองระหว่างคานเหล็กและตัวอย่างทดสอบนั้น เพื่อให้แรงที่กระทำต่อตัวอย่างทดสอบมีความสม่ำเสมอและลดแรงเสียดทานระหว่างเหล็กและตัวอย่างทดสอบ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการเสียรูปของตัวอย่างทดสอบ ซึ่งตัวอย่างทดสอบแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังอธิบายไว้ก่อนหน้านี้ คือ 30 90 และ 0

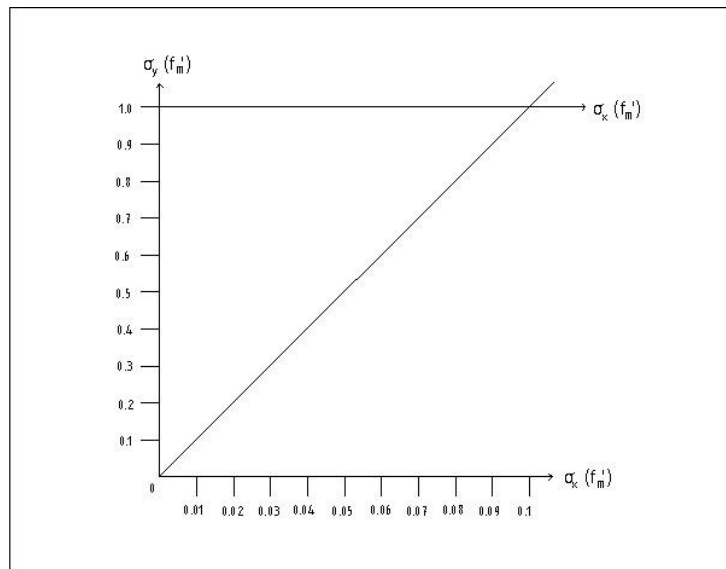


รูปที่ 3.4.2 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในแนวราบ (มีแรง P_x ในแนวราบ)

หลังจากการติดตั้งตัวอย่างแบบที่ไม่มีความเค้นในแนวราบ และ มีความเค้นในแนวราบ เสร็จเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นแบบทดสอบจำเป็นต้องประกอบ LVDT (เป็นทรานสดิวเซอร์ประเภทพาสซีฟ ทำงานโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำตามตำแหน่งที่เคลื่อนที่) และต่อเข้ากับ Data Logger (อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องมือหรือเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในตัวเครื่อง สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลโดยอัตโนมัติ) เพื่อวัดค่าการยืด-หดตัวของกำแพงในขณะเกิดการเสียรูป ดังรูป 3.4.3 โดยมีรูปแบบการติดตั้ง LVDT

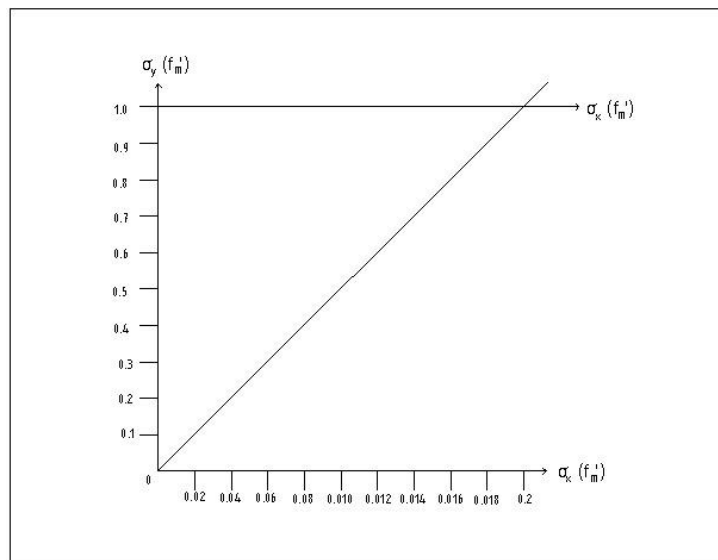


รูปที่ 3.4.3 รูปแบบการติดตั้ง LVDT



รูปที่ 3.4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นในแนวดิ่ง(σ_v) กับ ความเค้นในแนวนอน(σ_h)

ในกรณีความเค้นในแนวนอนสูงสุด 0.1 fm'



รูปที่ 3.4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นในแนวดิ่ง(σ_v) กับ ความเค้นในแนวนอน(σ_h)

ในกรณีความเค้นในแนวนอนสูงสุด 0.2 fm'

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นในแนวดิ่ง(σ_y) กับ ความเค้นในแนวนอน (σ_x) ในกรณีความเค้นในแนวนอนสูงสุด 0.1 fm' และ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นในแนวดิ่ง(σ_y) กับ ความเค้นในแนวนอน (σ_x) ในกรณีความเค้นในแนวนอนสูงสุด 0.2 fm' จะแสดงให้เห็นการเพิ่มแรงด้านข้างเข้าไปที่ตัวอย่างทดสอบ (แรงในแนวนอน) ในขณะที่มีการให้แรงในแนวดิ่งคงที่ตามช่วงจำนวนที่กำหนดขึ้นจนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเกิดการเสียรูป เพื่อศึกษาการรับแรงอัดของอิฐก่อภายใต้แรงในระนาบแบบสองทิศทาง

ในการศึกษานี้เราจะศึกษาการรับแรงอัดของอิฐก่อภายใต้แรงในระนาบแบบสองทิศทาง เราจึงกำหนดการเพิ่มแรงในแนวนอนขึ้นจากการทราบค่ากำลังอัดสูงสุดที่กำแพงอิฐก่อรับได้ โดยจะแบ่งช่วงค่ากำลังอัดสูงสุดของกำแพงอิฐก่อไว้ 2 ช่วง ดังนี้คือช่วงที่ 0.1 fm' และช่วงที่ 0.2 fm' ในกรณีความเค้นในแนวนอนสูงสุด

สำหรับ fm' คือ ค่ากำลังอัดสูงสุดของกำแพงอิฐก่อ ซึ่งได้มาจากการทดสอบกำแพงอิฐก่อทั้ง 3 แบบ โดยจะมีแบบ 30 องศา , 90 องศา และ 0 องศา ที่ไม่มีความเค้นในแนวนอน

โดยช่วงที่ 0.1 fm' และ 0.2 fm' ในการเพิ่มแรงในแนวนอน (แรงในด้านข้าง) เข้าไปที่ตัวอย่างทดสอบนั้น โดยแบ่งช่วงการเพิ่มแรงในแนวนอนเป็น 10 ช่วงของกำลังอัด ซึ่งการแบ่งนี้จะเกิดได้จากการที่ทราบค่ากำลังอัดสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่ไม่มีความเค้นในราบของทั้งแบบ 30 องศา , 90 องศา , 0 องศา หลังจากการแบ่งช่วงการเพิ่มแรงในแนวนอนเสร็จเรียบร้อยแล้ว เราจะทำการทดสอบตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในราบ โดยการเพิ่มแรงในแนวดิ่งให้คงที่ตามที่กำหนดไว้ตามตารางจำนวน P_y และ P_x ของทั้ง 3 แบบ และเมื่อแรงในแนวดิ่งเพิ่มขึ้นมาถึงช่วงที่ได้ทำการแบ่งไว้สำหรับการเพิ่มแรงในแนวนอน ก็จะทำการเพิ่มแรงในแนวนอนเข้าไปที่ตัวอย่างทดสอบตามที่กำหนดไว้ตามตารางจำนวน หลังจากนั้นก็จะรอให้แรงในดิ่งเพิ่มขึ้นจนมาเป็นช่วงในการเพิ่มแรงในแนวนอน จะเพิ่มแรงทั้งสองเป็นสัดส่วนกันจนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเกิดการเสียรูป ดังแสดงในตารางที่ 3.4 , 3.5 , 3.6

ตารางที่ 3.4 ตารางการคำนวณ P_y และ P_x แบบ 30 องศา

ช่วง	มุม 30 องศา					
	0 เปอร์เซ็นต์		10 เปอร์เซ็นต์		20 เปอร์เซ็นต์	
	$P_y(kN)$	$P_x(kN)$	$P_y(kN)$	$P_x(kN)$	$P_y(kN)$	$P_x(kN)$
1	10.99	0	10.99	1.10	10.99	2.20
2	21.98	0	21.98	2.20	21.98	4.39
3	32.96	0	32.96	3.30	32.96	6.59
4	43.95	0	43.95	4.39	43.95	8.79
5	54.94	0	54.94	5.49	54.94	10.99
6	65.92	0	65.92	6.59	65.92	13.18
7	76.91	0	76.91	7.69	76.91	15.38
8	87.90	0	87.90	8.79	87.90	17.58
9	98.88	0	98.88	9.89	98.88	19.78
10	109.87	0	109.87	10.99	109.87	21.97

ตารางที่ 3.5 ตารางการคำนวณ P_y และ P_x แบบ 90 องศา

ช่วง	มุม 90 องศา					
	0 เปอร์เซ็นต์		10 เปอร์เซ็นต์		20 เปอร์เซ็นต์	
	$P_y(kN)$	$P_x(kN)$	$P_y(kN)$	$P_x(kN)$	$P_y(kN)$	$P_x(kN)$
1	12.56	0	12.56	1.26	12.56	2.51
2	25.12	0	25.12	2.51	25.12	5.02
3	37.68	0	37.68	3.77	37.68	7.53
4	50.24	0	50.24	5.02	50.24	10.05
5	62.8	0	62.8	6.28	62.8	12.56
6	75.36	0	75.36	7.53	75.36	15.07
7	87.92	0	87.92	8.79	87.92	17.58
8	100.48	0	100.48	10.05	100.48	20.09
9	113.04	0	113.04	11.30	113.04	22.60
10	125.6	0	125.6	12.56	125.6	25.11

ตารางที่ 3.6 ตารางการคำนวณ P_y และ P_x แบบ 0 องศา

ช่วง	มุม 0 องศา					
	0 เปอร์เซนต์		10 เปอร์เซนต์		20 เปอร์เซนต์	
	P_y (kN)	P_x (kN)	P_y (kN)	P_x (kN)	P_y (kN)	P_x (kN)
1	9.42	0	9.42	0.94	9.42	1.88
2	18.84	0	18.84	1.88	18.84	3.77
3	28.26	0	28.26	2.83	28.26	5.65
4	37.68	0	37.68	3.77	37.68	7.54
5	47.1	0	47.1	4.71	47.1	9.42
6	56.52	0	56.52	5.65	56.52	11.30
7	65.94	0	65.94	6.59	65.94	13.19
8	75.36	0	75.36	7.54	75.36	15.07
9	84.78	0	84.78	8.48	84.78	16.96
10	94.2	0	94.2	9.42	94.2	18.84

จากตารางคำนวณข้างต้นแสดงถึงการเพิ่มแรงระหว่าง P_y (แรงในแนวดิ่ง) และ P_x (แรงในแนวราบ) ในส่วนค่าของ P_y (แรงในแนวดิ่ง) ที่นำมาคำนวณนั้นได้จากการทดสอบกำแพงอิฐที่ไม่มีความเค้นในแนวราบของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา , 90 องศา และ 0 องศา จึงนำค่าที่ได้นั้นมาเฉลี่ยกันทำให้ทราบค่าของ f_m' (ค่ากำลังอัดสูงสุด)ที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นทำการแบ่งช่วงการเพิ่มแรงในแนวราบของ P_x เป็น 10 ช่วงดังแสดงที่ตารางข้างต้น ตารางนี้การแบ่งช่วงการเพิ่มแรงในแนวราบนั้นสร้างขึ้นมาเพื่อให้ง่ายแก่การทดสอบและการเพิ่มแรงในแนวราบของ P_x

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการศึกษากำลังรับแรงอัดของอิฐก่อภายใต้แรงในระนาบแบบ 2 ทิศทาง ดังที่กล่าวมาข้างต้นในบทนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ผลการทดสอบดังนี้

4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ ที่ใช้ในการก่อและฉาบตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้ โดยใช้อัตราส่วนผสมของปูนก่อและปูนฉาบดังที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 ซึ่งในการทดสอบในครั้งนี้ใช้มอร์ตาร์ที่มีขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร ตามมาตรฐานการทดสอบแรงอัดมอร์ตาร์ ASTM ซึ่งได้ผลทดสอบมอร์ตาร์ดังนี้

ปูนก่อสำเร็จรูป มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 106.83 กก/ตร.ซม

ปูนฉาบสำเร็จรูป มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 51.91 กก/ตร.ซม

4.2 ข้อมูลและผลการทดสอบตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา, 90 องศา และ 0 องศา

4.2.1 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบแต่ละแบบ

ก่อนทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกำแพงอิฐก่อจะต้องนำตัวอย่างทดสอบที่เตรียมไว้มาหาค่าคุณสมบัติเบื้องต้นที่จำเป็นต่อการนำไปใช้คำนวณหาคุณสมบัติเชิงกลของตัวอย่างทดสอบในภายหลัง เช่น การวัดขนาดของตัวอย่างทดสอบ ซึ่งรายละเอียดแสดงในตาราง 4.1 , 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา

ขนาดของตัวอย่างทดสอบ 30 องศา				
ตัวอย่าง	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	พื้นที่ (ตร.ซม.)
30-01	8.5	42	39	357
30-02	8.3	41	40.8	340.3
30-03	9	43	41	387
30-11	8.5	42	41.8	357
30-12	8.8	42	43	369.6
30-13	8.4	42.5	42	357
30-21	9	42.5	40.6	382.5
30-22	8.6	41.5	37.8	356.9
30-23	9.2	42	40	386.4

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา

ขนาดของตัวอย่างทดสอบ 90 องศา				
ตัวอย่าง	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	พื้นที่ (ตร.ซม.)
90-01	9.3	44	41	409.2
90-02	9.2	43	40.9	395.6
90-11	8.9	43	41.3	382.7
90-12	9	43	42	387
90-13	9.5	44	39.8	418
90-21	9.1	43	38	391.3
90-22	9.2	43	39.5	395.6
90-23	8.8	42	41	369.6

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา

ขนาดของตัวอย่างทดสอบ 0 องศา				
ตัวอย่าง	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	พื้นที่ (ตร.ซม.)
0-01	8.5	41	40	348.5
0-02	8.2	39.5	41	323.9
0-11	8.7	41	41.7	356.7
0-12	9	40	41	360
0-13	9.1	40.5	39	368.55
0-21	8	40.5	38.4	324
0-22	8.7	41	40.2	356.7
0-23	9	41.5	41.4	373.5

4.3 พฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด

4.3.1 กำลังอัดประลัยของตัวอย่างทดสอบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงพฤติกรรมการรับแรงอัดของตัวอย่างอิฐก่อที่ใช้ในการทดสอบนี้จากการทดสอบกำลังอัดของอิฐก่อพบว่ากำลังอัดเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบมีความแตกต่างกันพอสมควรขึ้นอยู่กับองศาในการก่อและการเพิ่มแรงดันข้าง ในกรณีของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 , 90 และ 0 องศาพบว่าตัวอย่างทดสอบที่ใช้การก่อแบบไม่มีแรงดันข้าง 30 , 90 และ 0 องศา มีกำลังอัดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 41.65 กก./ตร.ซม. , 78.72 กก./ตร.ซม. และ 40.02 กก./ตร.ซม.ตามลำดับ โดยกำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยของแบบ 30 องศาและแบบ 0 องศา คิดเป็นร้อยละ 52 ของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา ในขณะที่ตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในดันข้างอีกสองแบบนั้นที่ใช้แรงดันด้านข้าง 0.1 fm' มีกำลังอัดสูงสุดอยู่เท่ากับ 61.82 กก./ตร.ซม. , 95.71 กก./ตร.ซม. และ 39.63 กก./ตร.ซม.ตามลำดับ โดยกำลังอัดสูงสุดของแบบ 30 องศาคิดเป็นร้อยละ 64 ของตัวอย่างแบบ 90 องศา, กำลังอัดสูงสุดตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาคิดเป็นร้อยละ 63 ของตัวอย่าง

ทดสอบแบบ 30 องศาและคิดเป็นร้อยละ 41 ของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา และในส่วนที่มีแรงดันด้านข้าง 0.2fm' มีกำลังอัดสูงสุดอยู่เท่ากับ 73.36 กก./ตร.ซม. , 101.83 กก./ตร.ซม. และ 51.66 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ โดยกำลังอัดสูงสุดของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาคิดเป็นร้อยละ 72 ของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา, กำลังอัดสูงสุดตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาคิดเป็นร้อยละ 69 ของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา และคิดเป็นร้อยละ 50 ของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา และมีค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุดเฉลี่ยของ 30 องศา เท่ากับ 0.0085 , 0.0114 , 0.0091 ของ 90 องศา เท่ากับ 0.0069 , 0.0068 , 0.0078 และของ 0 องศา เท่ากับ 0.0101 , 0.0061 , 0.0072 ตามลำดับ ดังสรุปได้ว่าเมื่อมีความเค้นในด้านข้างจะส่งผลกับค่าความเครียดของตัวอย่างทดสอบแตกต่างกัน โดยตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา จะมีค่าความเครียดเพิ่มขึ้น, ตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา จะมีค่าความเครียดเพิ่มขึ้น, ทั้งสองแบบที่มีค่าความเครียดเพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากการที่มีความเค้นในด้านข้างมาทำให้มีการรับแรงอัดมากขึ้นจึงส่งผลให้มีการยืด-หดตัวได้มากขึ้นตามไปด้วย แต่ตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา จะมีค่าความเครียดลดลง เพราะเมื่อมีความเค้นในด้านข้างเข้ามา ตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาจะมีกำลังอัดสูงุณ้อยลง จะส่งผลต่อค่าความเครียดให้น้อยลงตามเช่นกัน สำหรับความเค้นอัดเฉลี่ยและความเครียดที่ความเค้นอัดสูงสุดเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา และ 0 องศา ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 ซึ่งจากตารางพบว่าการก่อแบบ 90 องศา ส่งผลให้กำลังอัดได้ดีกว่า 30 องศา และ 0 องศา อย่างไรก็ตามพบว่าตัวอย่างทดสอบที่มีแรงดันด้านข้างและไม่มีแรงดันด้านข้างนั้น มีกำลังอัดที่แตกต่างกันออกไป

ที่กล่าวมานี้พอสรุปได้ว่ากำลังอัดของการก่อขึ้นอยู่กับองศาในการก่อและแรงดันด้านข้างที่เพิ่มเข้าไปช่วยให้กำลังอัดของอิฐก่อเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากแรงดันด้านข้างและแรงยึดเหนี่ยวของปูนก่อเมื่อมีแรงกดมากระทำให้ตัวอย่างเกิดการเสียรูปจากการก่อ จึงส่งผลให้แรงดันด้านข้างช่วยให้กำแพงอิฐก่อมีพฤติกรรมการรับแรงอัดได้อย่างสมบูรณ์

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณของรูปแบบ 30 องศา

ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างทดสอบ 30 องศา					
ตัวอย่าง	ค่าสูงสุด (กก.)	ค่าความเค้น (กก./ตร.ซม.)	ค่าความเค้น เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าความเครียด	ค่า ความเครียด เฉลี่ย
1) ไม่มีความเค้นในแนวราบ					
ตัวทดสอบที่ 1	18071.34	50.62	41.65	0.0067	0.0085
ตัวทดสอบที่ 2	10702.44	31.45		0.0137	
ตัวทดสอบที่ 3	16602.30	42.90		0.0052	
2) ความเค้นในแนวราบเท่ากับ 0.1 fm'					
ตัวทดสอบที่ 1	20120.52	56.36	61.82	0.0086	0.0114
ตัวทดสอบที่ 2	20608.89	55.76		0.0137	
ตัวทดสอบที่ 3	26189.52	73.36		0.0121	
3) ความเค้นในแนวราบเท่ากับ 0.2 fm'					
ตัวทดสอบที่ 1	30259.57	79.11	73.36	0.0110	0.0091
ตัวทดสอบที่ 2	28805.40	80.71		0.0097	
ตัวทดสอบที่ 3	23288.33	60.27		0.0067	

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา เพิ่มแรงในด้านข้างเข้าไปที่ตัวอย่างทดสอบจะทำให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีแรงในด้านข้างเพิ่มขึ้นในขณะที่มีแรงในแนวดิ่งกระทำอยู่ แรงในด้านข้างไปช่วยฟื้นการเสียรูปในด้านข้างของตัวอย่างทดสอบ ทำให้ตัวอย่างทดสอบเสียรูปช้าลงจึงทำให้ตัวอย่างทดสอบสามารถรับแรงอัดได้เพิ่มมากขึ้น และเมื่อตัวอย่างทดสอบสามารถรับแรงอัดได้มากขึ้นจึงทำให้ค่าความเครียดมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน เนื่องจากตัวอย่างทดสอบก็ยังสามารถรับแรงอัดได้เพิ่มขึ้น ตัวอย่างทดสอบจึงสามารถยืด-หดตัวต่อไปได้เช่นกันจนกว่าตัวอย่างทดสอบจะเกิดการเสียรูป

ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณของรูปแบบ 90 องศา

ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างทดสอบ 90 องศา					
ตัวอย่าง	ค่าสูงสุด (กก.)	ค่าความเค้น (กก./ตร.ซม.)	ค่าความเค้น เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าความเครียด	ค่า ความเครียด เฉลี่ย
1) ไม่มีความเค้นในแนวราบ					
ตัวทดสอบที่ 1	25992.87	80.25	78.72	0.0057	0.0069
ตัวทดสอบที่ 2	30532.40	77.18		0.0081	
ตัวทดสอบที่ 3	-	-		-	
2) ความเค้นในแนวราบเท่ากับ 0.1 fm'					
ตัวทดสอบที่ 1	40837.92	106.71	95.71	0.0084	0.0068
ตัวทดสอบที่ 2	37504.17	96.91		0.0055	
ตัวทดสอบที่ 3	34907.18	83.51		0.0067	
3) ความเค้นในแนวราบเท่ากับ 0.2 fm'					
ตัวทดสอบที่ 1	43332.56	110.74	101.83	0.0094	0.0078
ตัวทดสอบที่ 2	37336.73	94.38		0.0067	
ตัวทดสอบที่ 3	37093.06	100.36		0.0073	

จากตารางที่ 4.5 ตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา นั้นเมื่อมีแรงในด้านข้างเพิ่มขึ้น ทำให้ตัวอย่างทดสอบสามารถรับแรงอัดได้มากขึ้นด้วยเช่นกัน และตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา เป็นตัวอย่างทดสอบที่สามารถรับแรงอัดสูงสุดได้มากกว่าทั้งแบบ 30 องศา และ 0 องศา เนื่องจากการก่อกำแพงอิฐก่อแบบ 90 องศา ในขณะที่แรงในข้างเพิ่มขึ้น แรงในด้านข้างนั้นได้เข้าไปกระทำกับตัวอย่างทดสอบแบบแรงตั้งฉากจึงทำให้มีพื้นที่การรับแรงอัดได้มากกว่าทั้งแบบ 30 องศา และ 0 องศา และค่าความเครียดก็มากขึ้นตามความสามารถการรับแรงที่มากขึ้นของตัวอย่างทดสอบ

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณของรูปแบบ 0 องศา

ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างทดสอบ 0 องศา					
ตัวอย่าง	ค่าสูงสุด (กก.)	ค่าความเค้น (กก./ตร.ซม.)	ค่าความเค้น เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าความเครียด	ค่า ความเครียด เฉลี่ย
1) ไม่มีความเค้นในแนวราบ					
ตัวทดสอบที่ 1	16602.54	47.64	40.02	0.0057	0.0101
ตัวทดสอบที่ 2	13253.98	32.39		0.0146	
ตัวทดสอบที่ 3	-	-		-	
2) ความเค้นในแนวราบเท่ากับ 0.1 fm'					
ตัวทดสอบที่ 1	15124.11	42.40	39.63	0.0061	0.0061
ตัวทดสอบที่ 2	15854.42	44.04		0.0064	
ตัวทดสอบที่ 3	11955.76	32.44		0.0058	
3) ความเค้นในแนวราบเท่ากับ 0.2 fm'					
ตัวทดสอบที่ 1	16605.01	51.25	51.66	0.0072	0.0072
ตัวทดสอบที่ 2	18377.18	51.52		0.0068	
ตัวทดสอบที่ 3	19507.91	52.23		0.0078	

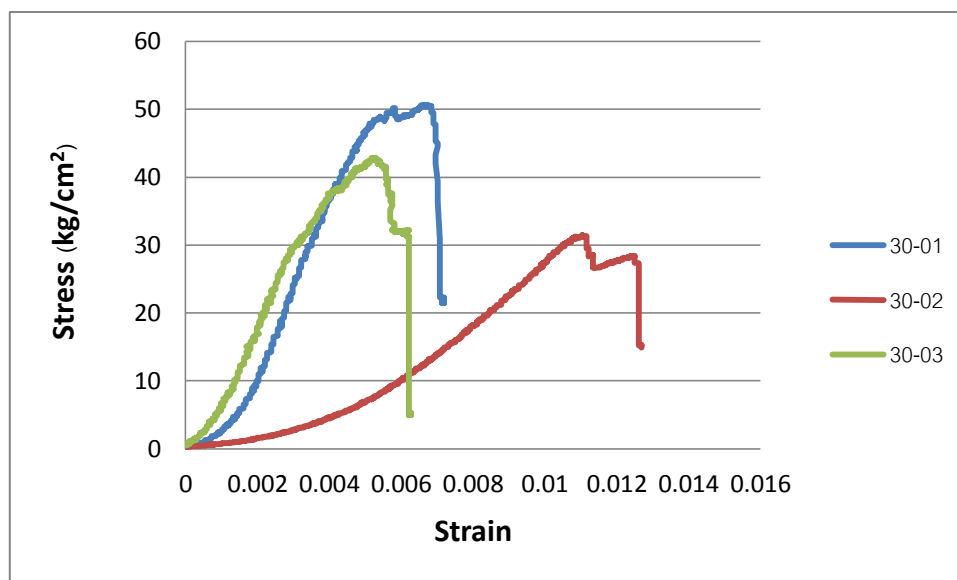
จากตารางที่ 4.6 จะพบว่าตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาที่มีความเค้นในแนวราบที่ 0.1fm' เพิ่มขึ้นจะทำให้การรับแรงอัดได้น้อยลงกว่าเดิมเล็กน้อย เนื่องจากเป็นเพราะการฉาบผิวหน้าที่ไม่เรียบจึงทำให้แรงกดในแนวตั้งไม่สม่ำเสมอและเมื่อมีแรงด้านข้างเข้ามากระทำจึงทำให้ตัวอย่างทดสอบรับแรงได้น้อยลงและค่าความเครียดจึงน้อยลงตาม และในตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาที่มีความเค้นในแนวราบที่ 0.2fm' เข้ามากระทำกับตัวอย่างทดสอบทำให้สามารถรับแรงเพิ่มขึ้นจากเดิม เพราะแรงในด้านข้างที่มากระทำกับตัวอย่างทดสอบในแนวนอนกับปูนก่อทำให้ตัวอย่างทดสอบสามารถรับแรงได้เพิ่มขึ้น จึงทำให้กำลังอัดสูงสุดเพิ่มขึ้นแต่ก็ยังน้อยกว่าตัวอย่างทดสอบอย่าง 30 องศา และ 90 องศา คิดเป็นร้อยละ 69 , ร้อยละ 50 ตามลำดับ เนื่องจากการก่อแบบ 0 องศาเมื่อมีแรงในด้านข้างเข้ามากระทำ แรงในด้านข้างจะเข้ามามีกับตัวอย่างทดสอบในแนวนอนกับแนวก่อจึงทำให้มีพื้นที่ในการรับแรงได้น้อยกว่าการก่อแบบ 30 องศา หรือ 90 องศา ทำให้รับกำลังอัดสูงสุดได้น้อย พื้นที่รับแรงได้น้อยเพราะแรงด้านข้างที่กระทำกับตัวอย่าง

ทดสอบกระทำกับแนวด้านกว้างของอิฐก่อที่มีความยาวน้อยกว่าด้านยาวของอิฐก่อ(แนวนานกับอิฐก่อ) จึงทำให้มีพื้นที่รับแรงลดลง

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบ

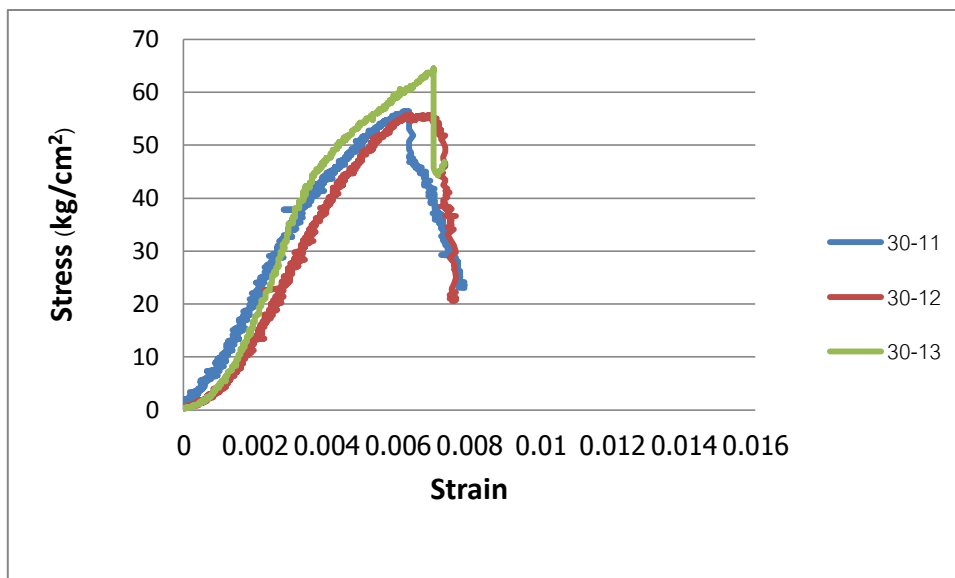
ในขั้นตอนการทดสอบกำลังอัดของอิฐก่อภายใต้ความเค้นในระนาบแบบสองทิศทางในการศึกษานี้ ได้ทำการวัดค่าของแรงที่กระทำและการเสียรูปในแนวแรงของตัวอย่างทดสอบตลอดเวลา ซึ่งสามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของตัวอย่างทดสอบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.3.1 ถึง 4.3.9 โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบที่แนวแรงทำมุมกับแนวปูนก่อ 30 องศา , 90 องศา และ 0 องศา จากผลการทดสอบพบว่าภายใต้แรงอัด ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นในช่วงเริ่มแรก เนื่องจากในขณะทำการทดสอบจะเพิ่มแรงในแนวดิ่งในตัวอย่างทดสอบให้คงที่อย่างช้าๆ เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างทดสอบเมื่อมีแรงเข้ามากระทำ รวมถึงพิจารณาการรับแรงอัดและการยืด-หดของตัวอย่างทดสอบที่มีแรงเข้ามากระทำทั้งในระนาบเดียวและสองระนาบ จนกระทั่งเพิ่มแรงถึงจุดที่สังเกตเห็นการเสียรูปของตัวอย่างทดสอบหรือจุดที่เรียกว่า จุดความเค้นประลัยที่ตัวอย่างทดสอบเกิดการเสียรูป

จากรูปที่แสดงถึงการรับแรงอัดทั้งในระนาบเดียวและสองระนาบนั้น จะพบว่าตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในแนวราบเพิ่มขึ้นมาจะสามารถรับแรงอัดสูงสุดได้มากกว่าตัวอย่างทดสอบที่ไม่มีความเค้นในระนาบ เนื่องจากในขณะทำการทดสอบตัวอย่างที่มีแรงในด้านข้าง แรงในด้านข้างได้เข้าไปกระทำกับตัวอย่างทดสอบไม่ให้เกิดการเสียรูปของด้านข้างตัวอย่างที่มีแรงในแนวดิ่งลดลงมา จึงทำให้แรงในแนวดิ่งจะต้องเพิ่มขึ้นเมื่อตัวอย่างทดสอบมีแรงในด้านข้างเข้ามากระทำ เพื่อจะทำให้ตัวอย่างทดสอบเกิดการเสียรูป จึงทำให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่มีความเค้นในแนวราบจะมีช่วงเชิงเส้นในช่วงแรกมากกว่าปกติ และยังแสดงถึงค่ากำลังอัดสูงสุดที่รับได้มากกว่าเดิม เมื่อมีความเค้นในแนวราบเพิ่มขึ้นมา



รูปที่ 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา ไม่มี
ความเค้นด้านข้าง

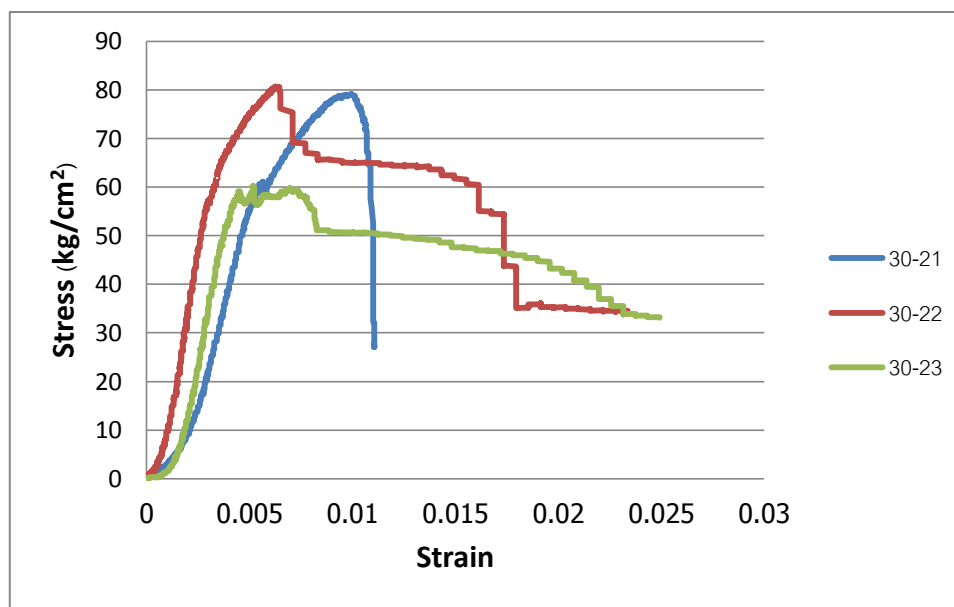
จากรูปที่ 4.3.1 จะพบว่าในช่วงแรกนั้นคือกราฟเชิงเส้น เนื่องจากในขณะทำการทดสอบ จะเพิ่มแรงในแนวตั้งคงที่อย่างช้าๆเพื่อจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างทดสอบเมื่อมีแรงเข้ามากระทำ จึงทำให้กราฟช่วงแรกมีค่าคงที่ซึ่งเป็นกราฟเชิงเส้นในช่วงแรก ต่อมาแรงที่มากระทำกับตัวอย่างทดสอบก็เพิ่มขึ้น ณ ช่วงเวลาที่ผ่านไป จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเริ่มเกิดการเสียรูป ดังสังเกตได้จากการที่ค่า Stress บนกราฟที่จุดความเค้นประลัยและเมื่อตัวอย่างทดสอบเกิดการเสียรูปที่จุดความเค้นประลัย ค่า Stress จะก็มีค่าตกลงมา เพราะวัสดุไม่สามารถรับแรงต่อไปได้ จนวัสดุเสียรูป จากกราฟจะพบว่าเส้นกราฟของตัวอย่างทดสอบตัวที่ 2 นั้นแตกต่างกับตัวอย่างทดสอบตัวที่ 1 และ 3 เนื่องจากในการก่อตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาที่ไม่มีแรงใน
ด้านข้างขึ้นที่ 2 ไม่ค่อยได้มาตรฐานตามขนาดที่กำหนดไว้ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการก่อและการตัดตัวอย่าง
ทดสอบแบบ 30 องศา จึงทำให้ตัวอย่างทดสอบตัวที่ 2 มีพื้นที่การรับแรงที่ไม่สม่ำเสมอจึงทำให้รับแรงอัดได้น้อยกว่าตัวอย่างทดสอบอีกสองตัว



รูปที่ 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา มี
ความเค้นด้านข้างสูงสุด $0.1 f_m'$

จากรูปที่ 4.3.2 จะพบว่าในช่วงแรกนั้นคือกราฟเชิงเส้น เนื่องจากในขณะทำการทดสอบ จะเพิ่มแรงในแนวดิ่งคงที่อย่างช้าๆและทำการเพิ่มแรงในแนวราบเข้ามากระทำกับตัวอย่างทดสอบ เพื่อทำตามสมมติฐานที่ว่า ที่ตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในระนาบแบบสองทิศทางน่าจะมีการรับแรงอัดได้มากกว่าตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในระนาบแบบทิศทางเดียว และเพื่อจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างทดสอบเมื่อมีแรงเข้ามากระทำ จึงทำให้กราฟช่วงแรกมีค่าคงที่จึงเป็นกราฟเชิงเส้นในช่วงแรก

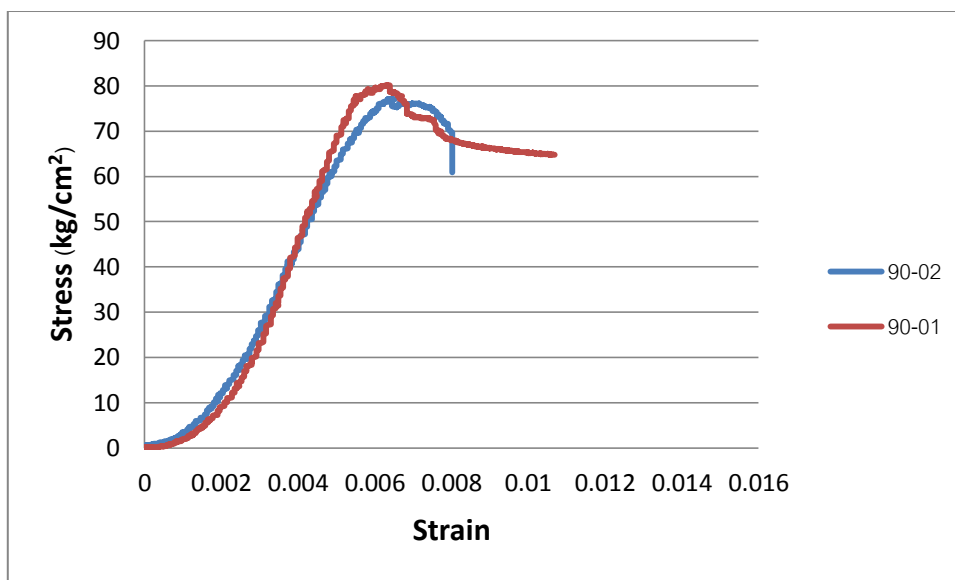
โดยจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาที่มีความเค้นด้านข้างสูงสุด $0.1 f_m'$ จะพบว่าสามารถรับแรงอัดได้มากกว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา ไม่มีความเค้นด้านข้าง โดยพิจารณาจากค่าที่จุดความเค้นประลัยจะมากกว่า ร้อยละ 78 เนื่องจากแรงด้านข้างเข้าไปกระทำกับตัวอย่างทดสอบไม่ให้ตัวอย่างเสียรูปเพียงด้านข้าง จึงทำให้แรงในแนวดิ่งจะต้องเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมเมื่อมีแรงด้านข้างเข้ามากระทำจึงทำให้ตัวอย่างทดสอบเสียรูป จึงเป็นที่มาของการรับแรงอัดได้มากขึ้นเมื่อแรงด้านข้างเข้ามากระทำ



รูปที่ 4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา มีความเค้นด้านข้างสูงสุด $0.2 f_m'$

จากรูปที่ 4.3.3 จะพบว่าในช่วงแรกนั้นคือกราฟเชิงเส้น เนื่องจากในขณะทำการทดสอบ จะเพิ่มแรงในแนวตั้งคงที่อย่างช้าๆและทำการเพิ่มแรงในแนวราบเข้ามามากจะทำกับตัวอย่างทดสอบ เพื่อทำตามสมมติฐานที่ว่า ที่ตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในระนาบแบบสองทิศทางน่าจะมีการรับแรงอัดได้มากกว่าตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในระนาบแบบทิศทางเดียว และเพื่อจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างทดสอบเมื่อมีแรงเข้ามามากจะทำ จึงทำให้กราฟช่วงแรกมีค่าคงที่จึงเป็นกราฟเชิงเส้นในช่วงแรก

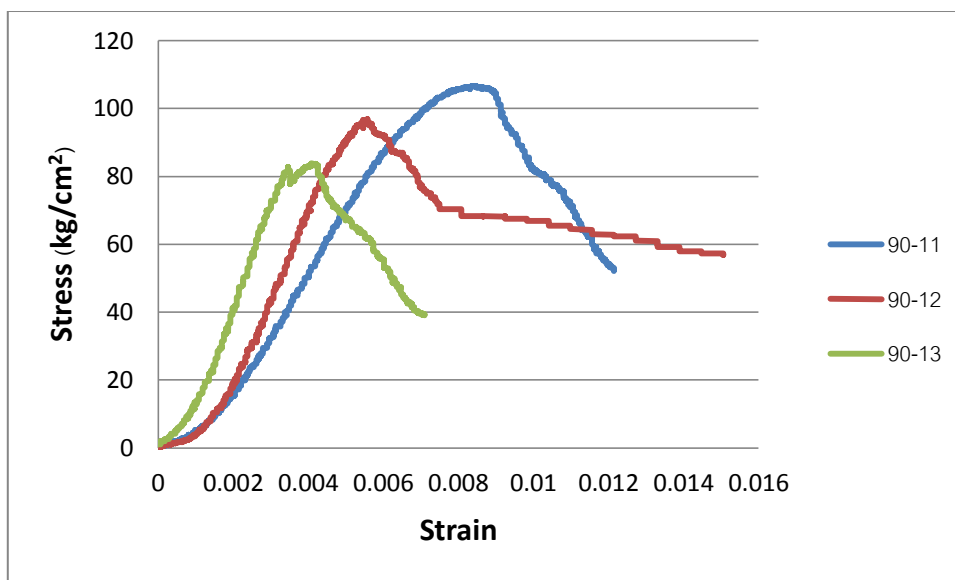
โดยจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาที่มีความเค้นด้านข้างสูงสุด $0.2 f_m'$ จะพบว่าสามารถรับแรงอัดได้มากกว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา ไม่มีความเค้นด้านข้างและตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาที่มีความเค้นด้านข้างสูงสุด $0.1 f_m'$ โดยพิจารณาจากค่าที่จุดความเค้นประลัยจะมากกว่า ร้อยละ 62 , ร้อยละ 77 เนื่องจากแรงด้านข้างเข้าไปกระทำกับตัวอย่างทดสอบไม่ให้ตัวอย่างเสียรูปเพียงด้านข้าง จึงทำให้แรงในแนวตั้งจะต้องเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมเมื่อมีแรงด้านข้างเข้ามามากกระทำจึงจะทำให้ตัวอย่างทดสอบเสียรูป จึงเป็นที่มาของการรับแรงอัดได้มากขึ้นเมื่อแรงด้านข้างเข้ามามากกระทำ



รูปที่ 4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา ไม่มีความเค้นด้านข้าง

จากรูปที่ 4.3.4 สาเหตุที่มีการแสดงแค่สองเส้นนั้น เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างทดสอบมาทำการทดสอบเกิดอุบัติเหตุทำให้ตัวอย่างทดสอบอีกชิ้นหนึ่งเกิดความเสียหาย ไม่สามารถนำมาทดสอบได้

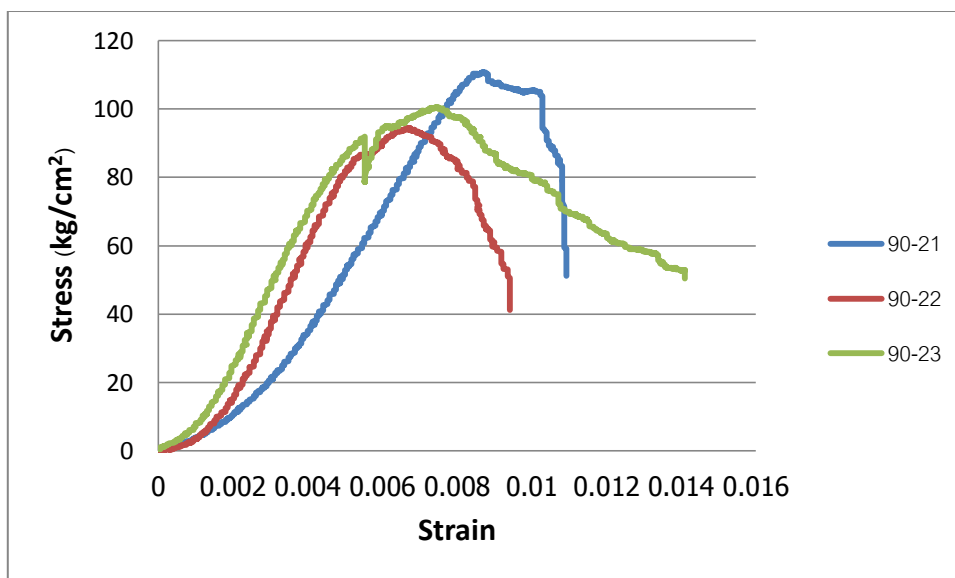
และจะพบว่าในช่วงแรกนั้นคือกราฟเชิงเส้น เนื่องจากในขณะทำการทดสอบ จะเพิ่มแรงในแนวตั้งลงตัวอย่างช้าๆเพื่อจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างทดสอบเมื่อมีแรงเข้ามากระทำ จึงทำให้กราฟช่วงแรกมีค่าคงที่จึงเป็นกราฟเชิงเส้นในช่วงแรก ต่อมาแรงที่มากระทำกับตัวอย่างทดสอบก็เพิ่มขึ้น ณ ช่วงเวลาที่ผ่านไป จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเริ่มเกิดการเสียรูป ดังสังเกตได้จากการที่ค่า Stress บนกราฟที่จุดความเค้นประลัยและเมื่อตัวอย่างทดสอบเกิดการเสียรูปที่จุดความเค้นประลัย ค่า Stress จะก็มีค่าตกลงมา เพราะวัสดุไม่สามารถรับแรงต่อไปได้ จนวัสดุเสียรูป



รูปที่ 4.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา มีความเค้นด้านข้าง $0.1 f_m'$

จากรูปที่ 4.3.5 จะพบว่าในช่วงแรกนั้นคือกราฟเชิงเส้น เนื่องจากในขณะทำการทดสอบ จะเพิ่มแรงในแนวดิ่งคงที่อย่างช้าๆ และทำการเพิ่มแรงในแนวราบเข้ามากระทำกับตัวอย่างทดสอบ เพื่อทำตามสมมติฐานที่ว่า ที่ตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในระนาบแบบสองทิศทางน่าจะมีการรับแรงอัดได้มากกว่าตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในระนาบแบบทิศทางเดียว และเพื่อจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างทดสอบเมื่อมีแรงเข้ามากระทำ จึงทำให้กราฟช่วงแรกมีค่าคงที่จึงเป็นกราฟเชิงเส้นในช่วงแรก

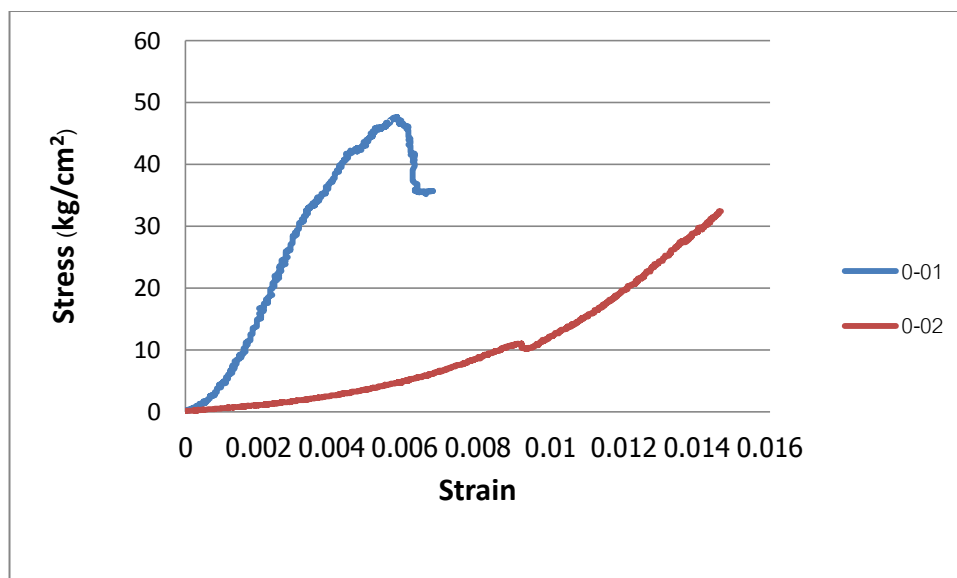
และจากกราฟจะพบว่าตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาที่มีความเค้นในแนวราบ $0.1 f_m'$ สามารถรับแรงอัดได้สูงทั้ง 3 ตัวอย่างและรับแรงอัดได้สูงกว่าตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาที่ไม่มีความเค้นในแนวราบร้อยละ 76 และในกราฟจะแสดงผลตัวอย่างทดสอบตัวที่ 3 อาจจะได้รับแรงอัดได้น้อยกว่าอีกสองตัว อันเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่น การฉาบผิวหน้าการรับแรงที่ไม่เรียบ , การเพิ่มแรงในด้านข้างอาจจะไม่สม่ำเสมอ เพราะเราใช้วิธีการเพิ่มแรงด้านข้างด้วย hydraulic jack ด้วยมือจึงอาจจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดที่ตัวผู้ทดลองบ้างเล็กน้อย จึงมีผลต่อค่า stress เล็กน้อย



รูปที่ 4.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา มีความเค้นด้านข้างสูงสุด $0.2 f_m'$

จากรูปที่ 4.3.6 จะพบว่าในช่วงแรกนั้นคือกราฟเชิงเส้น เนื่องจากในขณะทำการทดสอบ จะเพิ่มแรงในแนวตั้งคงที่อย่างช้าๆ และทำการเพิ่มแรงในแนวราบเข้ามากระทำกับตัวอย่างทดสอบ เพื่อทำตามสมมติฐานที่ว่า ที่ตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในระนาบแบบสองทิศทางน่าจะมีการรับแรงอัดได้มากกว่าตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในระนาบแบบทิศทางเดียว และเพื่อจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างทดสอบเมื่อมีแรงเข้ามากระทำ จึงทำให้กราฟช่วงแรกมีค่าคงที่จึงเป็นกราฟเชิงเส้นในช่วงแรก

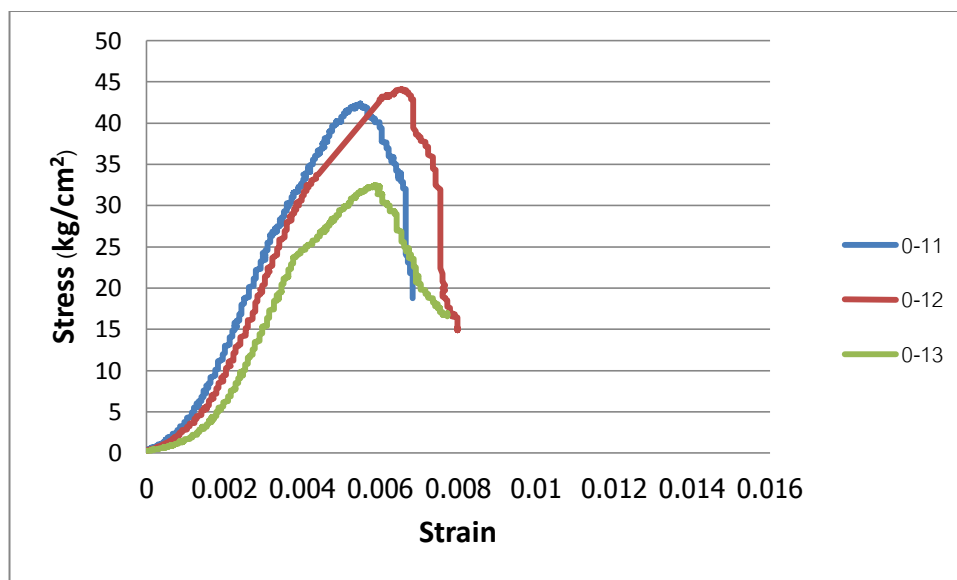
และจากกราฟจะพบว่าตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาที่มีความเค้นในแนวราบ $0.2 f_m'$ สามารถรับแรงอัดได้สูงทั้ง 3 ตัวอย่างและรับแรงอัดได้สูงกว่าตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาที่ไม่มีความเค้นในแนวราบ, ตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาที่มีความเค้นในแนวราบ $0.1 f_m'$ ร้อยละ 72, ร้อยละ 95 ตามลำดับ และในกราฟจะแสดงผลตัวอย่างทดสอบตัวที่ 1 อาจจะได้รับแรงอัดได้มากกว่าอีกสองตัว อันเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่น การฉาบผิวหน้าการรับแรงที่เรียบ, การเพิ่มแรงในด้านข้างอาจจะไม่สม่ำเสมอ เพราะเราใช้วิธีการเพิ่มแรงด้านข้างด้วย hydraulic jack ด้วยมือจึงอาจจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดที่ตัวผู้ทดลองบ้างเล็กน้อย จึงมีผลต่อค่า stress เล็กน้อย



รูปที่ 4.3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา ไม่มี
ความเค้นด้านข้าง

จากรูปที่ 4.3.7 สาเหตุที่มีการแสดงแค่สองเส้นนั้น เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างทดสอบ
มาทำการทดสอบเกิดอุบัติเหตุทำให้ตัวอย่างทดสอบอีกชิ้นหนึ่งเกิดความเสียหาย ไม่สามารถนำมาทดสอบได้

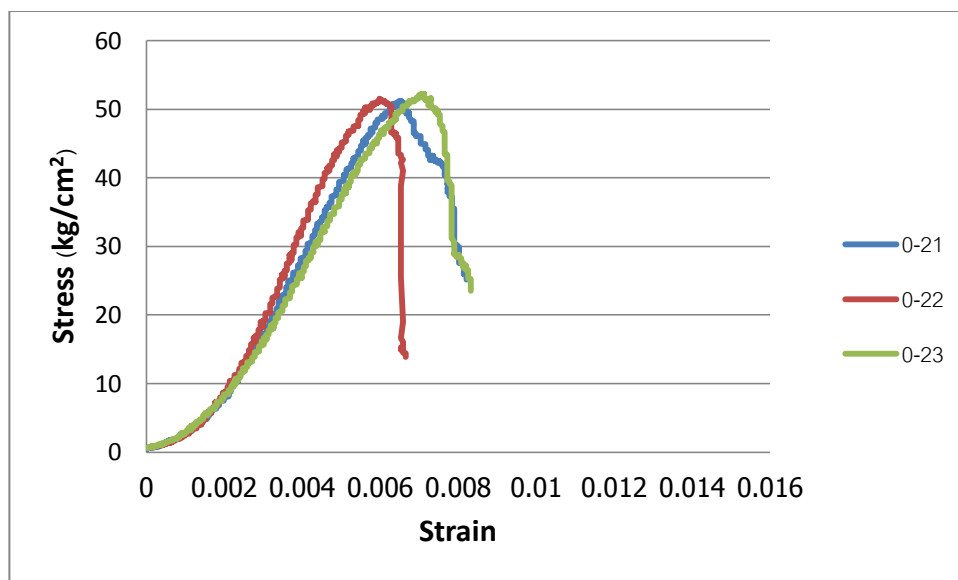
จากกราฟจะพบความผิดปกติของกราฟทั้งสองเส้น เนื่องจากการทดสอบตัวอย่างทดสอบแบบ 0
องศาที่ไม่มีแรงในด้านข้างตัวที่ 2 ระหว่างทดสอบเกิดข้อผิดพลาดในการบันทึกของการรับแรงและการยืด-
หดของตัวอย่าง จึงทำให้ข้อมูลบางช่วงหาย เป็นเหตุให้เกิดภาพที่เส้นกราฟมาถึงจุดๆหนึ่งแล้วก็หายไป
ไม่มีการตกลงค่า stress เหมือนกราฟตัวอย่างทดสอบตัวที่ 1 ซึ่งเป็นข้อผิดพลาดของตัวผู้ทดสอบเองที่ไม่
ระมัดระวัง จึงเป็นเหตุให้เกิดข้อผิดพลาดดังกล่าวเกิดขึ้น



รูปที่ 4.3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา มีความเค้นด้านข้างสูงสุด $0.1 f_m'$

จากรูปที่ 4.3.8 จะพบว่าในช่วงแรกนั้นคือกราฟเชิงเส้น เนื่องจากในขณะทำการทดสอบ จะเพิ่มแรงในแนวดิ่งคงที่อย่างช้าๆ และทำการเพิ่มแรงในแนวราบเข้ามากระทำกับตัวอย่างทดสอบ เพื่อทำตามสมมติฐานที่ว่า ที่ตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในระนาบแบบสองทิศทางน่าจะมีการรับแรงอัดได้มากกว่าตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในระนาบแบบทิศทางเดียว และเพื่อจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างทดสอบเมื่อมีแรงเข้ามากระทำ จึงทำให้กราฟช่วงแรกมีค่าคงที่จึงเป็นกราฟเชิงเส้นในช่วงแรก

โดยจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาที่มีความเค้นด้านข้างสูงสุด $0.1 f_m'$ จะพบว่าสามารถรับแรงอัดได้มากกว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา ไม่มีความเค้นด้านข้างเล็กน้อย โดยพิจารณาจากค่าที่จุดความเค้นประลัย เนื่องจากมีแรงด้านข้างเข้ามากระทำกับตัวอย่างทดสอบ โดยแรงด้านข้างที่มากระทำ จะกระทำในแนวนอนกับตัวอย่างทดสอบ จึงทำให้สามารถรับแรงอัดได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่สูงเท่ากับตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาที่มีแรงด้านข้าง คิดเป็นร้อยละ 42



รูปที่ 4.3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา มี ความเค้นด้านข้างสูงสุด $0.2 f_m'$

จากรูปที่ 4.3.9 จะพบว่าในช่วงแรกนั้นคือกราฟเชิงเส้น เนื่องจากในขณะทำการทดสอบ จะเพิ่มแรงในแนวดิ่งคงที่อย่างช้าๆและทำการเพิ่มแรงในแนวราบเข้ามากระทำกับตัวอย่างทดสอบ เพื่อทำตามสมมติฐานที่ว่า ที่ตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในระนาบแบบสองทิศทางน่าจะมีการรับแรงอัดได้มากกว่าตัวอย่างทดสอบที่มีความเค้นในระนาบแบบทิศทางเดียว และเพื่อจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างทดสอบเมื่อมีแรงเข้ามากระทำ จึงทำให้กราฟช่วงแรกมีค่าคงที่จึงเป็นกราฟเชิงเส้นในช่วงแรก

โดยจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาที่มีความเค้นด้านข้างสูงสุด $0.2 f_m'$ จะพบว่าสามารถรับแรงอัดได้มากกว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา ไม่มีความเค้นด้านข้างเล็กน้อย โดยพิจารณาจากค่าที่จุดความเค้นประลัย แต่เมื่อเทียบกับตัวทดสอบแบบ 30 องศา , แบบ 90 องศา ที่มีความเค้นในแนวราบ $0.2 f_m'$ จะมีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยสุด คิดเป็นร้อยละ 62 , ร้อยละ 48 ตามลำดับ เนื่องจากตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาที่มีแรงด้านข้างเข้ามากระทำในแนวนานกับตัวอย่างทดสอบจึงทำให้พื้นที่ของการรับแรงน้อยลง เพราะในแนวนานนั้นแรงที่กระทำจะกระทำกับพื้นที่ของด้านกว้างของอิฐที่มีความยาวน้อยกว่าด้านยาวอิฐ จึงทำให้ตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาที่มีแรงในด้านข้างรับแรงอัดได้น้อยกว่าตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาและแบบ 90 องศา

จากกราฟที่ได้แสดงไว้นั้นเป็นกราฟกำลังอัด(Compression)ของตัวกำแพงแต่ละแบบและองศาการก่อดังนั้นจะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟนั้นค่อนข้างจะเป็นแนวโน้มในทิศทางเดียวกันแต่จะมีกราฟบางตัวที่ผิดแปลกไปจากตัวอื่น โดยที่มีเหตุผลอธิบายดังนี้

1. จากกราฟที่แสดงไว้ข้างต้น จะพบว่าช่วงแรกนั้นขาดหายไป ที่จริงแล้วกราฟทั้งหมดในช่วงแรกเป็นช่วงกราฟเชิงเส้นทั้งหมด แต่เราทำการย่อกราฟเข้ามาเพื่อให้พิจารณาเห็นจุดสำคัญของปัญหาคือการรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบ เพื่อที่จะได้พิจารณาการรับแรงอัดสูงสุดได้ง่ายยิ่งขึ้น

2. จากรูปที่ 4.3.1 จะพบว่าเส้นกราฟของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาที่ไม่มีความเค้นในแนวราบตัวที่ 3 นั้นไม่เหมือนเส้นกราฟสองเส้นแรก เนื่องจากในช่วงแรกของตัวอย่างทดสอบแบบที่ 3 มีการรับแรงอัดได้ช้ากว่าตัวอย่างทดสอบ 2 แบบแรก จึงทำให้ช่วงแรกเป็นกราฟเชิงเส้นกว่าจะถึงจุดสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่ 3 นั้น ใช้เวลามากกว่าสองตัวอย่างแรก จึงทำให้เส้นกราฟผิดปกติจากสองตัวอย่างแรก

3. จากรูปที่ 4.3.4 คือตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาที่ไม่มีความเค้นในแนวราบ สาเหตุที่มีการแสดงแค่สองเส้นนั้น เนื่องจากในระหว่างการเตรียมตัวอย่างทดสอบมาทำการทดสอบเกิดอุบัติเหตุทำให้ตัวอย่างทดสอบอีกชิ้นหนึ่งเกิดความเสียหาย ไม่สามารถนำมาทดสอบได้ เราจึงมีผลการทดสอบมาเพียงสองตัวอย่างเท่านั้น

4. จากรูปที่ 4.3.7 คือตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา สาเหตุที่มีการแสดงแค่สองเส้นนั้น เนื่องจากในระหว่างการเตรียมตัวอย่างทดสอบมาทำการทดสอบเกิดอุบัติเหตุทำให้ตัวอย่างทดสอบอีกชิ้นหนึ่งเกิดความเสียหาย ไม่สามารถนำมาทดสอบได้

5. สรุปจากกราฟตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาข้างต้นจะพบว่า กราฟตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาที่ไม่มีความเค้นในแนวราบนั้นจะมีค่ากำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยน้อยกว่ากราฟตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาที่มีความเค้นในแนวราบอย่างเห็นได้ชัดเจนจากกราฟ ซึ่งสรุปได้ว่าเมื่อมีแรงในด้านข้างมากระทำกับแนวแรงป้อนก่อนแบบ 30 องศาจะทำให้ตัวอย่างทดสอบสามารถรับแรงได้มากขึ้น

6. สรุปจากกราฟตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาข้างต้นจะพบว่า กราฟตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาที่มีความเค้นในแนวราบนั้นส่งผลต่อกำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยมาก เพราะเมื่อมีแรงในด้านข้างเข้ามากระทำในทิศทางตั้งฉากกับตัวอย่างทดสอบ ทำให้ตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาที่มีความเค้นในแนวราบสามารถรับแรงอัดสูงสุดได้มากที่สุดจากทั้ง 3 แบบที่ทำการทดสอบ

7.สรุปได้จากกราฟตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาข้างต้นจะพบว่า ความเค้นในแนวราบไม่ส่งผลต่อกำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยมากนัก เนื่องจากเมื่อตัวอย่างทดสอบที่มีการเพิ่มแรงในด้านข้างเข้ามามีกำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยที่ค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างทดสอบที่ไม่มีความเค้นในแนวราบ จึงสรุปได้ว่าความเค้นในแนวราบไม่ส่งผลต่อตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา

4.3.3 อีลาสติซิโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบ

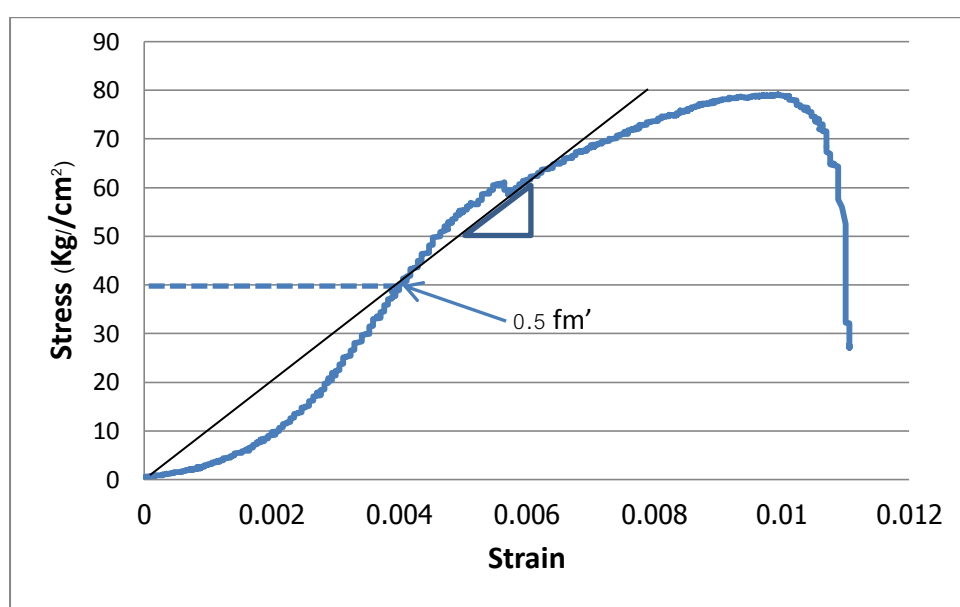
ตารางที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 แสดงค่าความเค้นและความเครียดที่ความเค้น และค่าอีลาสติซิโมดูลัส (Elastic Modulus) ซึ่งสามารถหาได้จากความชันของของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแบบไม่เป็นเส้นตรง จึงจะต้องใช้นิยามวิธีการหาค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นสำหรับวัตถุที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นเส้นโค้งแทนที่จะเป็นเส้นตรง โดยเลือกวิธีการหาค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ด้วยวิธี โมดูลัสซีแคน (secant modulus) จากนิยามของโมดูลัสซีแคน (secant modulus) เป็นความชันของเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด จะทำการคำนวณจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดที่ 0.5 fm' บนเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดนั้น

จากผลการทดสอบพบว่าค่าอีลาสติซิโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาไม่มีแรงด้านข้าง และ ที่มีแรงดันด้านข้าง 0.1 fm' และ 0.2 fm' โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7067 , 6787 และ 4608 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ, ค่าอีลาสติซิโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาไม่มีแรงด้านข้าง และ ที่มีแรงดันด้านข้าง 0.1 fm' และ 0.2 fm' โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8278, 11703, 13809 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ, ค่าอีลาสติซิโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาไม่มีแรงด้านข้าง และ ที่มีแรงดันด้านข้าง 0.1 fm' และ 0.2 fm' โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10500 , 8045 , 10032 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ โดยความเค้นที่ด้านข้างมีผลต่อค่าอีลาสติซิโมดูลัส เมื่อแรงในด้านข้างกระทำในแนวตั้งฉากกับตัวอย่างทดสอบจะทำให้มีค่าอีลาสติซิสูงขึ้นเนื่องจากรับแรงอัดได้มากขึ้น และแรงในด้านข้างกระทำกับตัวอย่างทดสอบในแนวนอนจะทำให้ค่าอีลาสติซิลดลง

ซึ่งพบว่าตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา และ 0 องศา มีค่าอีลาสติซิโมดูลัสเฉลี่ยต่ำกว่าตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา ในขณะที่กำลังอัดสูงสุดของตัวอย่างทดสอบทั้ง 30 องศา และ 0 องศา มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าทิศทางการวางตัวของแนวอิฐก่อเมื่อเทียบกับแนวแรงกดที่มากระทำจะมีผลต่อค่าอีลาสติซิโมดูลัสของกำแพงอย่างมาก จากการทดสอบเมื่อวางแนวอิฐขนานกับแนวแรงรับแรงอัดจะให้ค่า

อีลาสติกโมดูลัสของกำแพงสูงกว่าและพบว่าเมื่อให้แรงด้านข้างกับกำแพงของกำแพงที่มีมุมการก่อแตกต่างกันส่งผลให้ค่าอีลาสติกโมดูลัสเปลี่ยนไป พบว่าแนวการก่อแบบ 30 องศา เมื่อให้แรงด้านข้างเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าอีลาสติกโมดูลัสลดน้อยลงเนื่องจากแรงดันด้านข้างด้านการจัดเรียงตัวของแนวอิฐเดิมทำให้สูญเสียการรับแรง และ แนวการก่อแบบ 90 องศาที่มีการจัดเรียงอิฐแบบตั้งฉากกับแนวแรงด้านข้างส่งผลให้กำลังของอิฐมีกำลังอัดที่สูงขึ้น จึงทำให้ค่าอีลาสติกโมดูลัสเพิ่มขึ้นตามการรับแรงอัดที่มากขึ้นด้วย และ แนวการก่อแบบ 0 องศา เมื่อให้แรงด้านข้างเพิ่มขึ้น แรงด้านข้างที่ไปกระทำกับแนวปูนก่อแบบ 0 องศา จะมีแรงกระทำในแนวนอนกับปูนก่อ จึงทำให้มีค่าอีลาสติกโมดูลัสเปลี่ยนแปลงจากการที่ไม่มีแรงด้านข้างเล็กน้อยแต่ก็ไม่มากเท่ากับแนวการก่อแบบ 30 องศาที่มีค่าอีลาสติกโมดูลัสลดลง

จึงสรุปได้ว่าทิศทางของแรงมีผลต่อค่าอีลาสติกโมดูลัสอย่างสูง เพราะถ้าแรงกระทำในแนวตั้งฉากก็จะให้ค่าอีลาสติกโมดูลัสสูงขึ้นพิจารณาจากค่าตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาที่มีแรงในด้านข้าง แต่ถ้ามีแรงมากระทำในแนวนอนหรือแนวมุมก่ออื่นๆจะทำให้ค่าอีลาสติกโมดูลัสน้อยลงไปได้จากเดิม พิจารณาจากค่าตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา และ 0 องศา จะเห็นได้จากการแตกต่างที่คิดเป็นร้อยละดังนี้ ที่ 0.1 fm' ตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาคิดเป็นร้อยละ 58 ของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา , ตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาคิดเป็นร้อยละ 68 ของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา , ตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาคิดเป็นร้อยละ 84 ของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา และที่ 0.2 fm' ตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาคิดเป็นร้อยละ 33 ของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา, ตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาคิดเป็นร้อยละ 72 ของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา , ตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาคิดเป็นร้อยละ 46 ของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา



รูปที่ 4.3.10 ตัวอย่างการหาค่าอีลาสติกโมดูลัสด้วยวิธี โมดูลัสซีแกน

ตารางที่ 4.7 ค่าอีลาสติคโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา

ชั้นงาน	ค่าความเค้นที่ จุดสูงสุด (Kg/cm ²)	ค่าความเครียดที่ จุดสูงสุด	ค่าความเครียดที่จุด ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยโมดูลัสของสภาพ ยึดหยุ่น (Kg/cm ²)
30-01	50.62	0.0067	0.0070	7067
30-02	31.45	0.0137	0.0153	
30-03	42.90	0.0052	0.0062	
30-11	56.49	0.0086	0.0010	6787
30-12	55.76	0.0137	0.0148	
30-13	73.36	0.0121	0.0120	
30-21	79.11	0.0110	0.0121	4608
30-22	80.71	0.0097	0.026	
30-23	60.26	0.0067	0.037	

ตารางที่ 4.8 ค่าอีลาสติคโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา

ชั้นงาน	ค่าความเค้นที่ จุดสูงสุด (Kg/cm ²)	ค่าความเครียดที่ จุดสูงสุด	ค่าความเครียดที่จุด ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยโมดูลัสของสภาพ ยึดหยุ่น (Kg/cm ²)
90-01	32.39	0.0146	0.0093	8278
90-02	77.18	0.0081	0.0097	
90-11	106.71	0.0083	0.0125	11703
90-12	96.91	0.0055	0.0208	
90-13	83.84	0.0070	0.0109	
90-21	110.74	0.0094	0.0011	13809
90-22	94.46	0.0066	0.0094	
90-23	100.44	0.0075	0.0141	

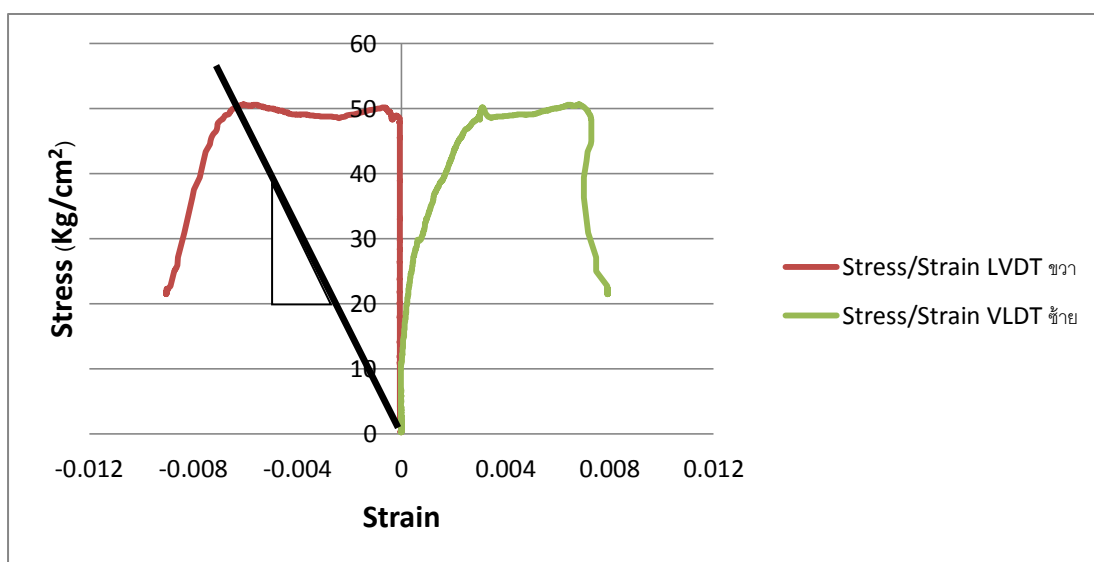
ตารางที่ 4.9 ค่าอีลาสติคโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา

ชั้นงาน	ค่าความเค้นที่ จุดสูงสุด (Kg/cm ²)	ค่าความเครียดที่ จุดสูงสุด	ค่าความเครียดที่จุด ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยโมดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (Kg/cm ²)
0-01	47.64	0.0058	0.0068	10500
0-02	80.25	0.0063	0.0106	
0-11	42.39	0.0062	0.0075	8045
0-12	44.13	0.0065	0.0079	
0-13	32.44	0.0059	0.0077	
0-21	51.25	0.0073	0.0089	10032
0-22	51.52	0.0068	0.0075	
0-23	52.23	0.0078	0.0090	

4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในแนวดิ่ง(LVDT)ของตัวอย่างทดสอบ

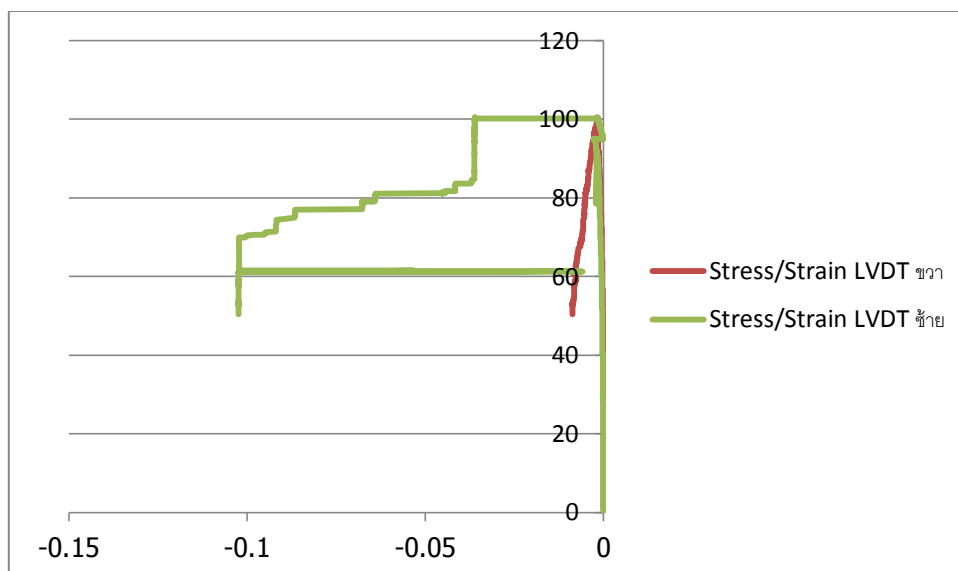
จากการทดสอบกำแพงอิฐก่อพบว่าค่าอีลาสติคโมดูลัสที่ได้จากการพล็อตกราฟความเค้น (Stress) กับ ความเครียด(Strain) โดยที่นำค่าจาก LVDT ในแนวดิ่งทั้งสองข้าง มาแปลงค่าให้เป็นค่าความเครียด(Strain) ดังรูปที่ 4.3.11 นั้น สาเหตุที่ทำให้เกิดค่าจากกราฟด้านซ้ายนั้นเป็นเพราะว่าเป็นค่ากำลังอัด(Compression) ซึ่งสอดคล้องกับ ค่าอีลาสติคโมดูลัสในหัวข้อที่ 4.3.3 เพื่อที่จะเปรียบเทียบแนวโน้มของค่าอีลาสติคโมดูลัส ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการคำนวณดังตารางที่ 4.10 ในรูปการก่อแบบ 30 องศา มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับตารางที่ 4.7 เมื่อให้แรงด้านข้างเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าอีลาสติคโมดูลัสลดน้อยลง ส่วนตารางที่ 4.11 และ 4.12 ในรูปแบบการก่อแบบ 90 องศา และ รูปการก่อแบบ 0 องศา นั้นไม่ได้สามารถเปลี่ยนเทียบค่าอีลาสติคโมดูลัสกับตารางที่ 4.8 และ 4.9 ได้เพราะค่าในตารางที่ 4.11 และ 4.12 ที่มีค่าที่ไม่สามารถหาค่าได้นั้นทำให้ไม่ทราบค่าที่แท้จริงของตัวอย่างทดสอบ สาเหตุที่ทำให้หาค่าไม่ได้นั้นเกิดจากการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ(LVDT) ที่ไม่ได้ตามมาตรฐานและ ตัวอย่างทดสอบที่ก่อไม่ไ้ระดับ ซึ่งทำให้การอ่านค่าของเครื่อง LVDT ผิดพลาดไปส่งผลให้การคำนวณผิดพลาดด้วย ดังรูปที่ 4.3.12 จากกราฟในรูปที่ 4.3.11 คือกราฟการหาค่าอีลาสติคโมดูลัส วิธีการหาค่าอีลาสติคโมดูลัสจะนำค่าความเค้นที่ได้จาก Load จากเครื่อง UTM (Universal Testing Machine) และความเครียดนำมาจาก LVDT ในแนวดิ่งทั้งสองข้าง

และทำการพล็อตกราฟหาค่าอีลาสติค ส่วนกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.3.12 คือกราฟที่จะต้องการแสดงให้เห็นว่าเป็นกราฟในลักษณะที่หาค่าไม่ได้ ความแตกต่างระหว่างกราฟ 4.3.11 และ 4.3.1 – 4.3.9 นั้นคือกราฟในหัวข้อ 4.3.1 – 4.3.9 วิธีการหาค่าความเค้นจะได้มาจาก Load จากเครื่อง UTM (Universal Testing Machine) และส่วนค่าความเครียดจะได้ค่ามาจากเครื่อง UTM (Universal Testing Machine) แล้วนำค่าที่ได้มาแปลออกเป็นค่าความเครียดแล้วนำค่าที่ได้นั้นมาพล็อตกราฟ ซึ่งกราฟความสัมพันธ์ความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ในแนวตั้งนั้นค่าความเครียดจะทำได้จากการนำค่า LVDT ด้านซ้าย และด้านขวา มาคำนวณออกมาเป็นความเครียดเฉลี่ยและ นำไปพล็อตกับค่าความเค้นแล้วทำการหาค่าอีลาสติคที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกราฟที่ 4.3.1 – 4.3.9 นั้นเอง



รูปที่ 4.3.11 การหาค่าอีลาสติคโมดูลัสจาก LVDT ในแนวตั้ง

จากรูปที่ 4.3.11 นั้นคือการแสดงวิธีการหาค่าอีลาสติคโมดูลัสในแนวตั้งโดยการลากจากจุด 0 ไปถึงจุดสูงสุดของค่าความเค้นและทำการหาค่าอีลาสติคโมดูลัส ดังรูป



รูปที่ 4.3.12 กราฟที่ไม่ได้สามารถหาค่าอีลาสติกโมดูลัสจาก LVDT ในแนวดิ่ง

จากรูปที่ 4.3.12 นั้นทำให้เห็นว่าไม่สามารถหาค่าแบบโมดูลัสซีแคน (secant modulus) ได้เพราะว่าการหาแบบวิธี โมดูลัสซีแคน (secant modulus) จากนิยามของโมดูลัสซีแคน (secant modulus) เป็นความชันของเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด จะทำการคำนวณจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดใด ๆ บนเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดนั้น ซึ่งจากรูปข้างต้นนั้นทำให้ไม่ได้สามารถลากเส้นสัมผัสแบบวิธีนี้ได้

ตารางที่ 4.10 ค่าอีลาสติกโมดูลัสในแนวดิ่ง(Lvdt)ของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา

ชิ้นงาน	ค่าความเค้นที่ จุดสูงสุด (Kg/cm ²)	ค่าความเครียดที่ จุดสูงสุด	ค่าความเครียดที่จุด ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยมอดูลัสของ สภาพยืดหยุ่น (Kg/cm ²)
30-01	50.583	0.0064	0.0079	10143
30-02	31.453	0.0003	0.0018	
30-03	42.908	0.0116	0.0064	
30-11	56.494	0.0050	0.0037	5430
30-12	55.767	0.0018	0.0018	
30-13	73.368	0.0145	0.0147	
30-21	78.991	0.0300	0.0400	4603
30-22	80.715	0.0082	0.0054	
30-23	60.267	0.0476	0.0476	

ตารางที่ 4.11 ค่าอีลาสติคโมดูลัสในแนวดิ่ง(Lvdt)ของตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา

ชิ้นงาน	ค่าความเค้นที่ จุดสูงสุด (Kg/cm ²)	ค่าความเครียดที่ จุดสูงสุด	ค่าความเครียดที่จุด ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยมอดูลัสของ สภาพยืดหยุ่น (Kg/cm ²)
90-01	32.397	0.0002	หาค่าไม่ได้	หาค่าไม่ได้
90-02	76.993	0.0022	0.0034	30000
90-11	106.718	0.0051	0.0116	17777
90-12	96.523	0.0054	0.0090	
90-13	83.841	0.0004	0.0048	
90-21	110.351	0.0042	0.0027	40735
90-22	94.464	0.0179	0.0103	
90-23	100.240	0.0361	0.1024	หาค่าไม่ได้

ตารางที่ 4.12 ค่าอีลาสติคโมดูลัสในแนวดิ่ง(Lvdt)ของตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา

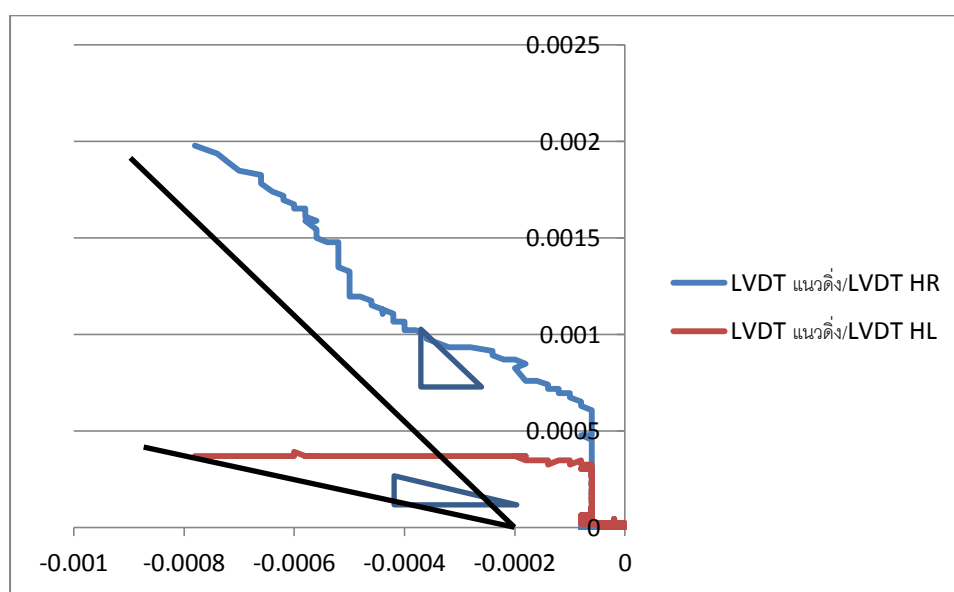
ชิ้นงาน	ค่าความเค้นที่ จุดสูงสุด (Kg/cm ²)	ค่าความเครียดที่ จุดสูงสุด	ค่าความเครียดที่จุด ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยมอดูลัสของ สภาพยืดหยุ่น (Kg/cm ²)
0-01	47.648	0.0116	0.0052	2499
0-02	80.252	0.0002	0.0418	หาค่าไม่ได้
0-11	42.223	0.0002	0.0038	30000
0-12	33.469	4.34609E-05	6.13593E-05	หาค่าไม่ได้
0-13	32.443	0.0038	0.0121	10625
0-21	51.251	0.0031	0.0177	11000
0-22	51.482	0.0002	0.0100	หาค่าไม่ได้
0-23	52.237	0.0026	0.0061	19166

4.3.5 ค่าอัตราส่วนของปัวซองตัวอย่างทดสอบ

อัตราส่วนของปัวซองเป็นอัตราส่วนการหดสั้นสัมพัทธ์ คือ ความเครียด หรือความเครียดตามขวาง (ตั้งฉากกับแรงที่กระทำ)หารด้วยความเครียดที่ขยายออกสัมพัทธ์ (ในทิศเดียวกับแรงที่กระทำ)

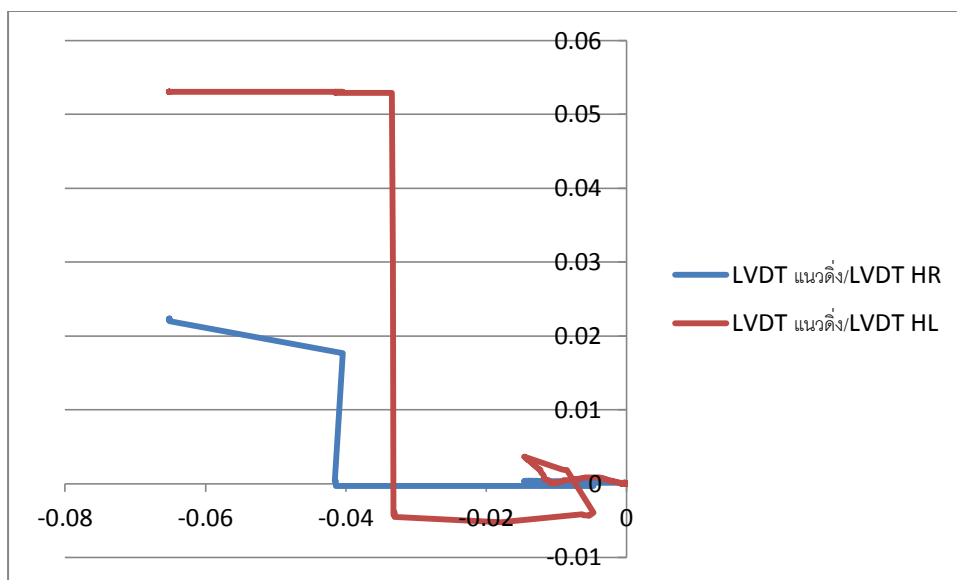
การหาค่าปัวซองหาได้จากการนำค่าความเครียด(Strain) ในแนวดิ่ง มาพล็อตกับความเครียด (Strain) ในแนวนอน โดยจะนำค่าความเครียดในแนวดิ่งจาก LVDT ซ้าย และ LVDT ขวา นำมารวมกันแล้ว หาค่าเฉลี่ยเพื่อจะนำค่าความเครียด(Strain)ในแนวดิ่งเพียงค่าเดียวไปพล็อตกราฟ สาเหตุที่ใช้ค่าความเครียดในแนวดิ่งเพียงค่าเดียวไปพล็อตกราฟ เพื่อที่จะให้สอดคล้องกับนิยามข้างต้น จากนั้นจะนำค่าความเครียดในแนวดิ่งที่ได้มาพล็อตกราฟกับ LVDT ในแนวนอนทั้ง ซ้าย และ ขวา ดังรูปที่ 4.3.13 และทำการลากเส้นหา slope ของทั้งสองเส้น นำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่าปัวซอง

สำหรับค่าที่หาค่าไม่ได้นั้นเนื่องจากการ LVDT ในแนวนอนเกิดการอ่านค่าจากเครื่องที่ผิดพลาดไป ทำให้ผลการคำนวณและการสร้างกราฟนั้นทำให้เห็นว่าไม่สามารถลากเส้นเพื่อหา ความชัน(Slope) ได้ ส่งผลกระทบทำให้ค่านั้นเกิดการผิดพลาดออกไป ดังรูปที่ 4.3.14 และค่าทั้งหมดได้แสดงดังตารางที่ 4.13 , 4.14 และ 4.15



รูปที่ 4.3.13 ตัวอย่างการหาค่าปัวซอง

จากรูปที่ 4.3.13 คือการแสดงวิธีการหาค่าปัวซองโดยที่จะทำการหาค่าปัวซองจากกราฟที่ละเส้น แล้วนำค่าปัวซองที่ได้สองเส้นนั้นนำมาเฉลี่ยกัน และนำค่าที่ได้มาแสดงผลใส่ตารางดังตารางที่ 4.13 – 4.15



รูปที่ 4.3.14 ตัวอย่างกราฟที่หาค่าไม่ได้

จากรูปที่ 4.3.14 คือตัวอย่างกราฟที่หาค่าปัวซองไม่ได้เนื่องจากกราฟลักษณะไม่เป็นเส้นโค้งอย่างที่ควรเป็น จึงไม่สามารถลากเส้นหา slope เพื่อหาค่าได้ ซึ่งเป็นสาเหตุของการหาค่าไม่ได้ ดังตารางที่ 4.13-4.15

ตารางที่ 4.13 ค่าอัตราส่วนของปัวซอง แบบ 30 องศา

ชิ้นงาน	ค่าปัวซอง
30-01	1.66
30-02	0.33
30-03	หาค่าไม่ได้
30-11	0.33
30-12	1.11
30-13	4.16
30-21	3.84
30-22	0.80
30-23	0.83

ตารางที่ 4.14 ค่าอัตราส่วนของปั๊วของ แบบ 90 องศา

ชิ้นงาน	ค่าปั๊วของ
90-01	หาค่าไม่ได้
90-02	1.42
90-11	0.50
90-12	1.66
90-13	4.00
90-21	2.50
90-22	4.16
90-23	0.38

ตารางที่ 4.15 ค่าอัตราส่วนของปั๊วของ แบบ 0 องศา

ชิ้นงาน	ค่าปั๊วของ
0-01	หาค่าไม่ได้
0-02	33.33
0-11	0.18
0-12	หาค่าไม่ได้
0-13	0.50
0-21	0.76
0-22	0.50
0-23	หาค่าไม่ได้

4.4. รูปการวิบัติของตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา , 90 องศา และ 0 องศา

จากการทดสอบกำลังอัดของอิฐก่อพบว่ารูปแบบการวิบัติของตัวอย่างทดสอบมีลักษณะที่ต่างกันในรายละเอียดหลายแบบ อย่างไรก็ตามจากลักษณะการวิบัติดังกล่าวสามารถจำแนกออกเป็นรูปแบบที่สำคัญได้ 2 แบบ ดังนี้

1) การวิบัติเริ่มต้น โดยการที่ปูนฉาบเกิดความเสียหายเพียงเล็กน้อยจากนั้นจะหลุดออกจากอิฐก่อต่อมาอิฐก่อก็จะเกิดการแตกหักเนื่องจากแรงอัดดังแสดงในรูปที่ 4.4.1 ซึ่งต่อไปจะเรียกการวิบัติในลักษณะนี้ว่าเป็นการวิบัติแบบ A

2) การวิบัติเริ่มต้น โดยการที่ปูนฉาบเกิดความเสียหายในลักษณะที่มีรอยแตกขนาดใหญ่ทั่วทั้งแผ่นก่อนที่จะมีชิ้นส่วนปูนฉาบหลุดออกจากอิฐก่อต่อมาอิฐก่อก็จะเกิดการแตกหักหรือเลื่อนหลุดตามแนวปูนก่อเนื่องจากแรงอัดดังแสดงในรูปที่ 4.4.2 ซึ่งต่อไปจะเรียกการวิบัติในลักษณะนี้ว่าเป็นการวิบัติแบบ B



รูปที่ 4.4.1 รูปแบบการวิบัติของแรงอัด A



รูปที่ 4.4.2 รูปแบบการวิบัติของแรงอัด B

จากการทดสอบตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 25 ตัวอย่าง ตัวอย่างทดสอบทั้งหมดมีรูปแบบการวิบัติของชิ้นงานทั้งหมดสองรูปแบบ โดยในแต่ละตัวอย่างทดสอบจะมีการวิบัติที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.16 จากตารางจะพบว่าตัวอย่างทดสอบที่มีแนวปูนก่อทำมุมกับแนวแรงแบบ 30 องศา จะมีการวิบัติในรูปแบบ A ทั้งหมด โดยที่การวิบัติในรูปแบบ A คือการที่ปูนฉาบจะเกิดความเสียหายออกมาเล็กน้อย หลังจากนั้นอิฐก่อจะเกิดการแตกหักตามมาเนื่องจากแรงอัด , และตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา จะมีการวิบัติในรูปแบบ A จำนวน 4 ตัวอย่าง ร้อยละ 50 , รูปแบบ B จำนวน 4 ตัวอย่าง ร้อยละ 50 ของตัวอย่างทดสอบ โดยการวิบัติในรูปแบบ B คือการที่ปูนฉาบและอิฐก่อเกิดความเสียหายแตกหักในเวลาใกล้เคียงกันและมีรอยแตกกว้างขนาดใหญ่ และตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา มีการวิบัติในรูปแบบ A จำนวน 6 จำนวน ร้อยละ 75 , รูปแบบ B จำนวน 2 ตัวอย่าง ร้อยละ 25 ของตัวอย่างทดสอบ จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อปูนฉาบเกิดความเสียหายแตกหักออกมา จะทำให้ตัวอย่างทดสอบมีพื้นที่ที่รับแรงอัดไม่สม่ำเสมอเหมือนตอนที่ตัวอย่างทดสอบยังมีปูนฉาบอยู่ จึงทำให้ตัวอย่างทดสอบเกิดรอยแตกกว้างในขณะที่ตัวอย่างทดสอบยังรับแรงอัด จึงทำให้ตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ

ตารางที่ 4.16 การวิบัติของชิ้นงาน

มุม	ชิ้นงาน	รูปแบบการวิบัติ	มุม	ชิ้นงาน	รูปแบบการวิบัติ	มุม	ชิ้นงาน	รูปแบบการวิบัติ
30	30-01	A	90	90-01	A	180	0-01	A
	30-02	A		90-02	B		0-02	B
	30-03	A		90-11	B		0-11	B
	30-11	A		90-12	B		0-12	A
	30-12	A		90-13	A		0-13	A
	30-13	A		90-21	A		0-21	A
	30-21	A		90-22	B		0-22	A
	30-22	A		90-23	A		0-23	A
	30-23	A						

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติเชิงกลของผนังอิฐก่อภายใต้ความเค้นในระนาบแบบสองทิศทาง โดยใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด 40 x 40 เซนติเมตร และพิจารณาผลของคูณสมบัติเชิงกลของกำแพงอิฐก่อภายใต้ความเค้นในระนาบแบบสองทิศทางรวมไปถึงมุมระหว่างแนวแรงที่กระทำกับแนวปูนก่อของตัวอย่างทดสอบดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยใช้ปูนก่อและปูนฉาบแบบสำเร็จรูป และโดยใช้เครื่อง UTM (Universal Testing Machine) และ Hydraulic Jack เพื่อทำการทดสอบกำลังอัดในทั้งสองระนาบของตัวอย่างทดสอบกำหนดให้มีสามรูปแบบ คือ 30 องศา , 90 องศา และ 0 องศา จากผลการทดสอบสามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

1) มุมระหว่างแนวแรงที่กระทำกับแนวปูนก่อทั้งในระนาบเดียวและสองระนาบของตัวอย่างทดสอบมีผลกระทบต่อกำลังอัดของอิฐก่อ จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา มีกำลังอัดเฉลี่ยสูงกว่าตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาและแบบ 0 องศา ตามลำดับ

2) ความเค้นที่ด้านข้างมีผลต่อค่าอัตราดัดโกศโมดูลัส เมื่อแรงในด้านข้างกระทำในแนวตั้งฉากกับตัวอย่างทดสอบจะทำให้มีค่าอัตราดัดโกศสูงขึ้นเนื่องจากรับแรงอัดได้มากขึ้น และแรงในด้านข้างที่กระทำกับตัวอย่างทดสอบในแนวนอนและแนวอื่นจะทำให้ค่าอัตราดัดโกศที่และลดลง

3) จากผลทดสอบพบว่าเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างกับกำแพงอิฐก่อจะส่งผลให้กำแพงอิฐก่อสามารถรับกำลังอัดได้สูงขึ้นมากกว่ากำแพงอิฐก่อที่ไม่มีแรงในด้านข้างเข้ามากระทำ เนื่องจากแรงในด้านข้างส่งผลกระทบท่อกำแพงอิฐก่อไม่ให้เกิดการเสียรูปตามปกติ

4) จากผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบคูณสมบัติเชิงกลของอิฐก่อภายใต้ความเค้นในระนาบแบบทิศทางเดียวกับสองทิศทาง พบว่าความเค้นในระนาบแบบสองทิศทางส่งผลต่ออิฐก่อในการรับแรงอัดได้สูงกว่าความเค้นในระนาบแบบทิศทางเดียว โดยจะมีตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศาที่มีความเค้นด้านข้างจะมีประมาณการรับแรงอัดเพิ่มขึ้น ร้อยละ 56 , ตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศาที่มีความเค้นด้านข้างจะมีประมาณการรับแรงอัดเพิ่มขึ้น ร้อยละ 77 , ตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศาที่มีความเค้นด้านข้างจะมีประมาณการรับแรงอัดเพิ่มขึ้น ร้อยละ 78

5) จากรูปแบบการวิบัติของอิฐก่อมีสองแบบโดยจะขึ้นอยู่กับมุมระหว่างแนวแรงและแนวปูนก่อ ในตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา จะพบว่าเกิดการวิบัติในรูปแบบเดียวกันทั้งหมด คือ เริ่มจากการที่ปูนฉาบมีรอยแตกร้าวออกมาก่อน หลังจากนั้นอิฐก่อก็จะเกิดรอยแตกร้าวตามมาจนเกิดการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ แต่ในตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา พบว่าเกิดการวิบัติในรูปแบบเดียวกับตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา ร้อยละ 50 และเกิดการวิบัติโดยที่ปูนฉาบและอิฐก่อเกิดการแตกร้าวพร้อมๆกัน คิดเป็นร้อยละ 50 ของรูปแบบวิบัติที่สอง และตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา พบว่าเกิดการวิบัติในรูปแบบเดียวกับตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา ร้อยละ 25 และเกิดการวิบัติโดยที่ปูนฉาบและอิฐก่อเกิดการแตกร้าวพร้อมๆกัน คิดเป็นร้อยละ 75 ของรูปแบบวิบัติที่สอง

บรรณานุกรม

Ahmad A. Hamid1; Wael W. El-Dakhakhni, M.ASCE2; Zeyad H. R. Hakam3; and Mohamed Elgaaly, F.ASCE (2005). Behavior of Composite Unreinforced MasonryFiberReinforcedPolymer Wall Assemblages Under In-Plane Loading

Thammasat W. (2559). รูปแบบของการเรียงอิฐที่เหมาะสม. วันที่สืบค้น 6 ธันวาคม 2559. เข้าถึงได้จาก <http://blokco.blogspot.com/2014/01/blog-post.html>

เจริญพรอินเตอร์กรุ๊ป. (2559). งานก่อผนังและฉาบปูน. วันที่สืบค้น 6 ธันวาคม 2559. เข้าถึงได้จาก <http://www.besthousegroup.com/ด้านโครงสร้าง/110-งานก่อผนังและฉาบปูน.htm>

นคร ภู่วโรดม และอมรเทพ จิรศักดิ์จารุญศรี. (2557) ได้ศึกษาชั้นดินบริเวณที่ตั้งต่อการสั่นสะเทือนในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ แผ่นดินไหว

บุญธรรม ภัทราจารุกุล. (2559). อิฐ (Brick). วันที่สืบค้น 6 ธันวาคม 2559. เข้าถึงได้จาก <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet7/brick.htm>

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์. (2557). พัฒนาการของวิศวกรรมแผ่นดินไหวในประเทศไทย-จากอดีตสู่อนาคต.

ศุภวิศร์ ปัญญาสกุลวงศ์ และกฤษณ์ เข้มสระโส. (2559). ปูนก่อและปูนฉาบ. วันที่สืบค้น 6 ธันวาคม 2559. เข้าถึงได้จาก <http://www.thaihomemaster.com/showinformation.php?TYPE=12&ID=256>

สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์ และเป็นหนึ่ง วานิชชัย. (2557) ได้ศึกษาวิจัยความเสียหายที่เกิดกับอาคารขนาดเล็กและขนาดกลาง.

สุปราณี สัมฤทธิ์ ,ชัยรัตน์ นาคสินธุ์. (2557). ผลกระทบของปูนฉาบและปูนก่อต่อกำลังรับแรงอัดของผนังก่ออิฐ.