

การศึกษาพฤติกรรมรับแรงอัดของผนังมอร์ตาร์มวลเบาเสริมเหล็ก

เกียรติภูมิ แก้วเทพ

ภาณุ ไข่เฉลิม

โครงการทางวิศวกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิต

ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา

ปีการศึกษา 2560

The behavior of lightweight reinforced mortar wall under compression load

Kiatipoom kaewthep

Phanu phaichalerm

An Engineering Project Submitted in Partial fulfillment of Requirements

For the Degree of Bachelor of Engineering

Department of Civil Engineering

Burapha University 2017

ตั้งชื่อโครงการ การศึกษาเพื่อพัฒนาระบบรองรับข้อมูลของหน่วยงาน อัครราชบัณฑิตยสถานเสริมชีวิต

โดย นายเกรียงศักดิ์ มิ้วทอง

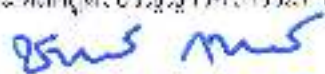
นายภาณุ ไผ่ละอิม

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. เจริญ ศรีชัย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ออุมัติโครงการทาง วิศวกรรม
นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ภาควิชา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา



หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

(ดร. จาตุรยุทธ นานาบุญ)



อาจารย์ที่ปรึกษา

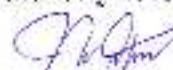
(ดร. เจริญ ศรีชัย)

คณะกรรมกรสอบโครงการ



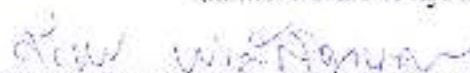
ประธานกรรมการ

(ดร. เจริญ ศรีชัย)



กรรมการ

(ร.ร. พิชัย สำนัญญา)



กรรมการ

(ดร. วิมล หงษ์พิบูลย์)

บทคัดย่อ

โครงการนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษากำลังรับแรงอัดของผนังมอร์ตาร์เสริมเหล็กและพลาสติกโฟมในห้องปฏิบัติการโดยพิจารณาแรงกระทำของตัวอย่างในแนวระนาบเท่านั้น ตัวอย่างทดสอบที่ใช้มีขนาดโดยประมาณเท่ากับ $9.84 \times 39.9 \times 40$ ซม. จำนวนทั้งสิ้น 13 ตัวอย่างซึ่งทำมาจากมอร์ตาร์สองประเภทคือปูนซีเมนต์ชนิดก่อ ฉาบ เทแบบผสมและปูนซีเมนต์ชนิดก่อสำเร็จรูป โดยตัวอย่างทดสอบที่ทำจากปูนซีเมนต์แต่ละชนิดมีรูปแบบการเสริมพลาสติกโฟมต่างกันสองแบบคือพลาสติกโฟมตัดเป็นสี่เหลี่ยม และพลาสติกโฟมตัดเป็นสามเหลี่ยม มีการเสริมเหล็กตะแกรงขนาด 0.5 มม. สองรูปแบบคือเสริมเหล็กตะแกรงชั้นเดียว และเสริมเหล็กตะแกรงนำมาซ้อนทับกันเป็นสองชั้น ในส่วนของการทดสอบตัวอย่างทดสอบที่อายุ 35 วัน ได้มีการศึกษาวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดตลอดเวลาทำการทดสอบสองแบบ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดโดยรวม และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเฉพาะจุดเพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมการวิบัติและความเสียหายของตัวอย่างทดสอบ

จากผลการทดสอบพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดสูงสุดของตัวอย่างทดสอบได้แก่ชนิดของปูนซีเมนต์ที่ใช้หล่อตัวอย่างและปริมาณเหล็กเสริมของตัวอย่าง ซึ่งกำลังรับแรงอัดสูงสุดของตัวอย่างที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมมีกำลังสูงกว่าปูนซีเมนต์สำเร็จสามเท่า ส่งผลให้ค่าค่าอีลาสติกโมดูลัสหรือค่าความแกร่งของตัวอย่างที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมสูงกว่าด้วย ในการเสริมพลาสติกโฟมในรูปแบบที่ต่างกันั้นไม่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดสูงสุดของตัวอย่างทดสอบ ตัวอย่างทดสอบที่ทำจากปูนซีเมนต์ประเภทสำเร็จจะมีค่าความเหนียวมากกว่าปูนซีเมนต์ประเภทผสมและมีความเหนียวมากกว่าอิฐมวลเบา รวมไปถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดโดยรวมและความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเฉพาะจุดของตัวอย่างบ่งบอกถึงพฤติกรรมการหดตัวที่สอดคล้องกัน แต่ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดบ่งบอกถึงพฤติกรรมที่ชัดเจนและถูกต้องแม่นยำมากกว่า ในส่วนของรูปแบบการวิบัติและความเสียหายของตัวอย่างทดสอบพบว่ามีความเสียหายรูปแบบเดียวในทุกๆตัวอย่างซึ่งตัวอย่างที่ทำการทดสอบมีความแข็งแรงแต่เปราะ

คำสำคัญ : ปูนก่อ / กำลังรับแรงอัด / มอร์ตาร์ / ผนังมวลเบา

Abstract

This project focuses on the experimental study on the compressive strength of reinforced mortar with plastic foam core under in-plane loading. 14 specimens with 9.84x39.9*40 cm in dimension were tested in this study. Two types of mortar, traditional mortar and ready-mixed mortar. Were used two layouts of plastic foam placing are considered. The first one is a square shape plastic foam and the other one us a triangle shape. There are two steel reinforcement patterns including single and double layer of 0.5 mm diameter steel wire-mesh are inserted on both faces of the specimens. The tests were performed on the day that specimen age is equal to 35 days. To investigate the damage and failure behavior of specimen, both local and global stress-strain relations were measured all times during the test.

The test results showed that the factors that affected the compressive strength of the tested specimen are the type of mortar and steel reinforcement quantity. The highest compressive strength of the specimen made with traditional mortar was 3 times higher than that of the specimen made with ready-mixed mortar. As a result, the elastic modulus of the specimen casting from traditional mortar was considerably higher. The different layout of plastic foam placement are not provide the significant effect on the maximum compressive strength of the test specimens. However, the test specimens made of ready-mixed mortar are more ductile than the other type specimen as well as the wall made of lightweight brick. The both, local and global, relationship between stress and strain of the tested specimen indicates a consistent behavior. However, in the elastic region, the relationship between stress and strain measured in local region indicates a clearer and more accurate. In the case of the failure and damage patterns of the test specimen, there was a single damage pattern in each sample, which was robust but brittle.

Keywords : Compressive strength / Mortar / lightweight bricks

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ดร. จริญญา ศรีชัย ที่ให้คำแนะนำ ปรึกษา
ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม และทำให้โครงการนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนปรับปรุงและแก้ไข
ข้อบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งโครงการเสร็จสิ้น

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบโครงการ ผศ.ดร. ทวีชัย สำราญวานิช และดร. วีรพร
พงศ์ดิณบุตร ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบโครงการ และให้แนวทางในการปรับปรุงโครงการ

ขอขอบคุณ นายยิ่งใหญ่ สามารถ ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือด้านปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับ
โครงการ และเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกคนที่ช่วยเหลือ รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องในคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่คอยเป็นกำลังใจให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

สุดท้ายนี้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์แบบมีได้ ถ้าขาดครอบครัว คณาจารย์ทุกท่าน รวมทั้งพี่
เพื่อน และน้องในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนแก่ผู้จัดทำโครงการ โครงการนี้ล้วนเป็น
ผลมาจากความกรุณาของทุกท่านทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็น
อย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นายเกียรติภูมิ แก้วเทพ

นายภาณุ ไร่เฉลิม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงงาน.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงงานวิศวกรรม.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ผลกระทบของพลังงานอัฐก่อก่อต่อสมรรถนะในการต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร.....	4
2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางกลของพลังงานอัฐก่อก่อ.....	9
2.3 มาตรฐานการทดสอบคอนกรีตและมอร์ตาร์.....	11
2.4 แนวทางการแก้ปัญหาโดยใช้วัสดุทดแทน.....	15
2.5 ผนังมวลเบา.....	16
บทที่ 3 วัสดุที่ใช้ในการทดลองและวิธีการทดสอบ.....	18

3.1 แนวคิดในการออกแบบ และรูปแบบของผนังมวลเบาที่จะใช้ในการศึกษา.....	18
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	18
3.3 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ.....	23
3.4 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ.....	26
3.4.1 การสร้างแม่แบบตัวอย่าง.....	26
3.4.2 การหล่อแบบตัวอย่าง.....	27
3.4.3 การเตรียมผิวหน้าที่ใช้ในการรับแรงของตัวอย่างทดสอบ.....	29
3.5 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลและการเก็บข้อมูลคุณสมบัติเชิงกลของตัวอย่างทดสอบ...	31
3.6 การติดตั้งตัวอย่างและการทดสอบตัวอย่าง.....	32
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	34
4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์.....	34
4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการศึกษา.....	35
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและรูปแบบการวิบัติของผนังอิฐมวลเบาภายใต้แรงอัด.....	37
4.3.1 รูปแบบการวิบัติของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด.....	39
4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดกับรูปแบบการวิบัติในลักษณะต่างๆของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด.....	40
4.4 อีลาสติกโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด.....	61
4.5 ความเหนียว (Ductility) ของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด.....	63
4.6 ผลกระทบของปูนซีเมนต์ เหล็กเสริมและพลาสติกโฟมต่อกำลังอัดของผนัง.....	64
4.7 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับงานวิจัยในอดีต.....	68

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา.....	71
5.1 แนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำการวิจัย.....	73
บรรณานุกรม.....	74
ภาคผนวก ก รูปแบบการวิบัติในตัวอย่าง.....	76

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.5.1	ชั้นคุณภาพตามมาตรฐานตามความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตมวลเบา.....	16
ตารางที่ 2.5.2	ชั้นคุณภาพตามมาตรฐานแบ่งตามความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบา	17
ตารางที่ 3.3	ตัวอย่างทดสอบและสัญลักษณ์ที่ใช้ในตัวอย่างทดสอบแรงอัด.....	24
ตารางที่ 4.2	คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างทดสอบ.....	36
ตารางที่ 4.3	ผลการทดสอบกำลังอัดของผนังอิฐมวลเบา.....	38
ตารางที่ 4.4	ค่าความเค้นและความเครียดที่ร้อยละ 65 ของความเค้นสูงสุดและค่าอีลาสติกโมดูลัส ของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด.....	62
ตารางที่ 4.5	แสดงค่าความเหนียวของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด.....	64
ตารางที่ 4.7.1	แสดงค่าความเหนียวของตัวอย่างทดสอบในแต่ละประเภท.....	70
ตารางที่ 4.7.2	แสดงค่าความเหนียวของตัวอย่างอิฐมวลเบา.....	70
ตารางที่ 4.7.3	แสดงค่าอีลาสติกโมดูลัสของตัวอย่างการทดสอบและตัวอย่างอิฐมวลเบา.....	70

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1.1 ศูนย์กลางแผ่นดินไหวและรอยเลื่อนพะเยา (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,2557).....	5
รูปที่ 2.1.2 ตัวอย่างความเสียหายของอาคารขนาดเล็ก (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,2557).....	6
รูปที่ 2.1.3 อาคารเรียน 4 ชั้นโรงเรียน พานพิทยาคม (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,2557).....	7
รูปที่ 2.1.4 ตามขวางอาคารมีเสาเพียง 2 ต้นในชั้น 1 ในขณะที่ชั้นบนมีเสา 4 ต้น (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,2557).....	7
รูปที่ 2.1.5 รอยร้าวเฉือนเกิดขึ้นด้านบนกำแพงอิฐ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,2557).....	7
รูปที่ 2.1.6 (ก) ความเสียหายด้วยแรงเฉือนที่หัวเสา (ข) เสามุมที่วิบัติรุนแรงของโรงเรียนบ้านเก่า (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,2557).....	9
รูปที่ 2.3.1 วิธีการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต.....	13
รูปที่ 2.3.2 วิธีการหาค่าความเหนียวของตัวอย่างทดสอบ.....	14
รูปที่ 3.2.1 พลาสติกโฟมประเภท EPS.....	19
รูปที่ 3.2.2 (ก.) ปูนซีเมนต์ ก่อ เท ฉาบ (ข.) ปูนซีเมนต์สำเร็จรูป ก่อทั่วไป.....	20
รูปที่ 3.2.3 ตะแกรงเหล็กแบบ สี่เหลี่ยม (Square Wire) หรือกรงไก่.....	20
รูปที่ 3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ.....	21
รูปที่ 3.2.5 (ก.) เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ขนาด 150 ตัน (ข.) เครื่องเก็บข้อมูลการทดสอบ Data logger.....	23
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ สัญลักษณ์ MS,MT,FS และ FT.....	25
รูปที่ 3.4.1 ภาพการประกอบแม่แบบสำหรับหล่อผนัง.....	26

รูปที่ 3.4.2 ภาพประกอบขั้นตอนการหล่อแบบตัวอย่าง.....	29
รูปที่ 3.4.3 ภาพประกอบการเตรียมผิวหน้าการรับแรงของตัวอย่างทดสอบ.....	30
รูปที่ 3.5 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล.....	32
รูปที่ 3.6 รูปแสดงการติดตั้งเครื่องมือสำหรับการทดสอบแรงอัด.....	33
รูปที่ 4.1 แผนภูมิค่าเฉลี่ยของกำลังอัดสูงสุดของมอร์ตาร์ (กก./ตร.ซม.).....	35
รูปที่ 4.3.1 การวิบัติของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด.....	39
รูปที่ 4.3.2.1 แสดงช่วงค่าความเครียดที่ได้ในแต่ละชุดข้อมูล.....	42
รูปที่ 4.3.2.2 หลังจุดวิบัติหรือที่จุดค่าความเครียดที่ร้อยละ 70 ถึง 90 ของค่าความเค้นสูงสุดหลังการวิบัติ ทำให้ค่าความเครียดที่ได้จาก LVDT (L_{02}) มีทั้งยืดและหดตัวโดยไร้ทิศทาง.....	42
รูปที่ 4.3.2.3 กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) กับลักษณะการวิบัติของตัวอย่างประเภท MS1.....	42
รูปที่ 4.3.2.4 กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) กับลักษณะการวิบัติของตัวอย่างประเภท MS2.....	45
รูปที่ 4.3.2.5 กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) กับลักษณะการวิบัติของตัวอย่างประเภท MT1.....	48
รูปที่ 4.3.2.6 กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) กับลักษณะการวิบัติของตัวอย่างประเภท FS1.....	51
รูปที่ 4.3.2.7 กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) กับลักษณะการวิบัติของตัวอย่างประเภท FS2.....	54
รูปที่ 4.3.2.8 กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) กับลักษณะการวิบัติของตัวอย่างประเภท FT2.....	58
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างแสดงการหาค่าอีลาสติโมดูลัส (Elastic Modulus).....	62

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างแสดงการหาค่าความเหนียว.....	63
รูปที่ 4.6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Avg. Stress ตัวอย่างปูนซีเมนต์ผสมแต่ละประเภท.....	64
รูปที่ 4.6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Avg. Stress ตัวอย่างปูนซีเมนต์สำเร็จแต่ละประเภท.....	65
รูปที่ 4.6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Avg.Elastic Modulus ตัวอย่างปูนซีเมนต์ผสมแต่ละ ประเภท.....	66
รูปที่ 4.6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Avg.Elastic Modulus ตัวอย่างปูนซีเมนต์สำเร็จแต่ละ ประเภท.....	66
รูปที่ 4.6.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Avg.Ductility ตัวอย่างปูนซีเมนต์ผสมแต่ละประเภท.....	67
รูปที่ 4.6.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Avg.Ductility ตัวอย่างปูนซีเมนต์สำเร็จแต่ละ ประเภท.....	67
รูปที่ 4.7.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างทดสอบประเภท MS2 และผนังอิฐมวลเบา.....	68
รูปที่ 4.7.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างทดสอบประเภท FS2 และผนังอิฐมวลเบา.....	69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ผนังอาคารบ้านเรือนเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง ซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวแบ่งกั้นพื้นที่ใช้สอย ภายในอาคารให้เป็นสัดส่วน หรือใช้ภายนอกอาคารเพื่อทำหน้าที่ป้องกันผู้ใช้สอยจากสภาพแวดล้อม ภายนอก ผนังมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ผนังรับน้ำหนัก และผนังที่ไม่ได้รับน้ำหนัก ซึ่งจะแบ่งย่อยๆตามวัสดุ ที่นำมาใช้สร้าง ตัวอย่างเช่น ผนังรับน้ำหนัก จะสร้างโดยใช้วัสดุเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กและผนังอิฐก่อเสริมเหล็ก ส่วนผนังที่ไม่ได้รับน้ำหนัก จะสร้างโดยใช้วัสดุจำพวก อิฐมวลเบา อิฐมวลเบา อิฐบล็อก เป็นต้น และเนื่องด้วยในปัจจุบันมีพื้นที่บางส่วนของประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวถึงแม้ว่าเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ผ่านมาจะเป็นแผ่นดินไหวขนาดเล็กถึงขนาดกลางแต่สามารถส่งผลกระทบต่อคอนกรีตฐานของบ้านเรือนและอาคารจนบางครั้งก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนโครงสร้างจนถึงขั้นวิบัติ หนึ่งในสาเหตุหลักๆก็คือผนังไม่สามารถรับแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหวได้และเกิดความเสียหายแบบเปราะ กล่าวคือจะเกิดการวิบัติแบบทันทีทันใด ซึ่งจะส่งผลให้โครงสร้างส่วนอื่นๆของอาคารได้รับความเสียหายและวิบัติไปด้วย อีกทั้งวิศวกรมักจะไม่พิจารณาผลกระทบของผนังอิฐก่อในแบบจำลองโครงสร้างที่ใช้ในขั้นตอนวิเคราะห์และออกแบบเนื่องจากขาดข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกลของผนังอิฐก่อ ส่งผลให้โครงสร้างส่วนต่างๆของอาคารเช่น เสา คาน ไม่ได้รับการออกแบบอย่างถูกต้องเหมาะสม หรือเจ้าของงานต้องการที่จะประหยัดงบประมาณจึงให้ออกแบบเป็นผนังที่ไม่ได้รับน้ำหนัก เพราะมีราคาที่น้อยกว่าผนังรับน้ำหนักมาก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของผนังจากผลกระทบของแรงแผ่นดินไหว และคิดค้นวัสดุทดแทนในการสร้างผนังชนิดรับน้ำหนักโดยมีเป้าประสงค์หลักคือ เป็นผนังที่มีความแข็งแรงสามารถต้านทานแรงได้ดี มีน้ำหนักเบา และต้นทุนในการผลิตต่ำ จากปัจจัยนี้ผู้วิจัยได้คิดค้นและออกแบบวัสดุที่จะนำมาสร้างผนังคือ ผนังมอร์ตาร์เสริมพลาสติกโฟมและเหล็กเพราะคิดว่าวัสดุดังกล่าวนี้สามารถรับกำลังได้ดี มีความเหนียวและน้ำหนักเบา ซึ่งวิจัยนี้เป็นการริเริ่มลองวัสดุใหม่ๆในการสร้างผนังรับน้ำหนัก หากได้ผลการวิจัยเป็นที่น่าพอใจจะสามารถนำไปพัฒนาปรับปรุงต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

การศึกษาพฤติกรรมรับแรงอัดของผนังมอร์ตาร์มวลเบาเสริมเหล็ก โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษากำลังรับแรงอัดของผนังมอร์ตาร์มวลเบาเสริมเหล็ก
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของผนังมอร์ตาร์มวลเบาเสริมเหล็กกับผนังอิฐมวลเบา
3. เพื่อศึกษาวิธีการก่อสร้างผนังที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอาคารที่อยู่ในเขตเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

1.3 ขอบเขตของโครงการวิศวกรรม

การศึกษาความสามารถในการรับแรงอัดของผนังมอร์ตาร์มวลเบาเสริมเหล็กและพลาสติกโฟม โดยการทดสอบชิ้นส่วนของผนังมอร์ตาร์ที่มีความกว้าง×ยาว×หนา เท่ากับ 40×40×10 เซนติเมตรในห้องปฏิบัติการมีขอบเขตของการศึกษาวิจัยโดยสังเขปดังนี้

1. ใช้พลาสติกโฟมทั่วไป เป็นแกนกลางของผนัง
2. ใช้ตะแกรงเหล็กกรงไก่ เป็นเหล็กเสริมในผนัง
3. ใช้มอร์ตาร์ปูนผสมที่มีอัตราส่วน ซีเมนต์ : หิน : น้ำ (C:S:W) เท่ากับ 1 : 2.75 : 0.62
4. ใช้มอร์ตาร์ปูนสำเร็จที่มีอัตราส่วน ซีเมนต์ : น้ำ (C:W) เท่ากับ 1 : 0.294
5. ทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยกำหนดให้แรงกระทำในแนวระนาบของตัวอย่างทดสอบเท่านั้น (ไม่พิจารณาผลกระทบของแรงนอกระนาบ)
6. เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของผนังน้ำหนักเบา กับผนังอิฐก่อจากงานวิจัยในอดีต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วัสดุและวิธีการก่อสร้างผนังมวลเบาที่เหมาะสมเพื่อนำมาทดแทนผนังอิฐก่อสำหรับอาคารในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว
2. ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมและความสามารถในการต้านทานแรงอัดของผนังมอร์ตาร์มวลเบาเสริมเหล็กและพลาสติกโฟม

3. ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติเชิงกลของผนังมอร์ตาร์มวลเสริมเหล็กและพลาสติกโฟม รวมไปถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างที่จำเป็นต้องพิจารณาผลของผนังในแบบจำลองโครงสร้าง

1.5 แผนการดำเนินงาน

ลำดับที่	กิจกรรม	ปีการศึกษา 2560				
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	เลือกหัวข้อโปรเจกต์ที่สนใจ					
2	ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทดสอบ					
3	จัดทำรายงานโครงงานบทที่ 1-3					
4	เตรียมวัสดุ-อุปกรณ์ เพื่อทำการทดสอบ					
5	สอบโครงร่างโครงงาน					
6	เตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ					

ลำดับที่	กิจกรรม	ปีการศึกษา 2560				
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1	เตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ					
2	ทำการทดสอบตัวอย่าง					
3	จัดทำรายโครงการฉบับสมบูรณ์					
4	สอบโครงงาน					
5	แก้ไขรายงานฉบับสมบูรณ์					

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลกระทบของผนังอิฐก่อต่อพฤติกรรมในการต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร แนวทางการแก้ไขและปรับปรุงโดยใช้วัสดุทดแทน และข้อมูลต่างๆที่จำเป็นจากงานวิจัยในอดีตรวมไปถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลกระทบของผนังอิฐก่อต่อสมรรถนะในการต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร

ปัจจุบันการเกิดเหตุแผ่นดินไหวในประเทศไทยสามารถส่งผลกระทบที่รุนแรงและก่อความเสียหายมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะความเสียหายที่เกิดกับอาคารบ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้างในเขตพื้นที่เสี่ยงภัย ดังนั้นจึงมีการกำหนดข้อบังคับหรือมาตรฐานขั้นต่ำเพื่อให้การก่อสร้างอาคารและสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่ดังกล่าวให้มีความมั่นคงแข็งแรง สามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากเหตุแผ่นดินไหวขั้นต่ำตามที่กฎหมายกำหนด อย่างไรก็ตามยังมีอาคารจำนวนมากที่ไม่ได้รับการออกแบบอย่างถูกต้องเนื่องจากอาคารดังกล่าวนี้มีการก่อสร้างก่อนที่กฎหมายจะประกาศใช้ เมื่อเกิดแผ่นดินไหวอาคารดังกล่าวจึงได้รับความเสียหายที่รุนแรง เช่น เหตุการณ์แผ่นดินไหวในเขต อ.พาน และอ.แม่ลาว จ.เชียงราย เมื่อวันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ภายหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.3 ตามมาตราริกเตอร์ ศูนย์กลางที่ ต.ทรายขาว อ.พาน อยู่ลึกลงไปใต้ดินประมาณ 6 กม. เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าว เป็นแผ่นดินไหวในประเทศไทยที่มีขนาดใหญ่เป็นอันดับที่สอง รองจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ จ.น่าน เมื่อ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2478 ที่มีขนาด 6.5 ตามมาตราริกเตอร์ โดยแรงสั่นสะเทือนทำให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งปลูกสร้างในระยะ 30 กิโลเมตรจากจุดศูนย์กลาง และมีแผ่นดินไหวตามมากว่า 730 ครั้ง โดยเหตุการณ์แผ่นดินไหวใน อ.พาน จ.เชียงราย นั้นได้เคยเกิดขึ้นแล้วเมื่อประมาณ 20 ปีก่อน แต่แผ่นดินไหว มีขนาด 5.1 ริกเตอร์ เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2537 ศูนย์กลาง อ.เวียงป่าเป้า แต่ส่งผลให้โรงพยาบาลพาน ต้องทุบทิ้งและสร้างใหม่ แผ่นดินไหวทั้งสองเหตุการณ์นี้เกิดจากรอยเลื่อนพะเยา ซึ่งเป็นรอยเลื่อนย่อยที่ยังมีพลังอยู่ ความยาวรวมกันประมาณ 90 กม. (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) ดังแสดงในรูปที่ 2.1.1



รูปที่ 2.1.1 ศูนย์กลางแผ่นดินไหวและรอยเลื่อนพะเยา (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2557)

ผลกระทบที่ก่อให้เกิดความเสียหายมากที่สุดได้แก่ อาคาร บ้านเรือน รวมทั้งสิ้น 7 อำเภอ 47 ตำบล 478 หมู่บ้าน บ้านเรือนเสียหายรวม 8,935 หลัง (ศูนย์อำนวยการเฉพาะกิจแผ่นดินไหว) ดังรูปที่ 2.1.2 ผลการสำรวจความเสียหายภายหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหว ชี้ว่าอาคารเหล่านี้ได้รับความเสียหายเนื่องจากมีข้อบกพร่องหรือจุดที่อ่อนแอในโครงสร้างของอาคารหลายรูปแบบ เช่น มีรูปทรงของอาคารหรือรูปแบบของโครงสร้างที่ไม่เหมาะสมต่อการต้านทานแผ่นดินไหว นอกจากนี้อาคารเหล่านี้มักมีผนังอิฐก่อซึ่งในบางกรณีสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของอาคารทำให้ต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ดีขึ้น แต่ในบางกรณีกลับส่งผลเสียทำให้อาคารเกิดความเสียหายที่รุนแรงขึ้น (สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์ และเป็นหนึ่ง วาณิชชัย, 2557)



รูปที่ 2.1.2 ตัวอย่างความเสียหายของอาคารขนาดเล็ก (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2557)

ถึงแม้ว่าอาคารขนาดเล็กและขนาดกลางเหล่านี้ จะมีลักษณะการก่อสร้างและเสริมเหล็กที่ไม่เอื้อกับการต้านทานแรงด้านข้างและไม่ได้ออกแบบให้ต้านทานแรงจากแผ่นดินไหวโดยตรง แต่อาคารเหล่านี้ อาจจะมีกำลังเสริมจากปัจจัยต่างๆ เช่น มีการใช้ผนังก่ออิฐซึ่งมีความแข็งแรงในตัว หรือวัสดุต่างๆ อาจจะมีกำลังสูงกว่าที่ระบุ หรือที่การใช้งานทำให้อาคารมีกำลังในการต้านทานแรงด้านข้างได้ระดับหนึ่ง ในทางกลับกันผนังอิฐก่ออาจก่อให้เกิดความเสียหายเฉพาะจุดที่รุนแรงต่อโครงสร้างหลักได้ เช่น อาคารของโรงเรียนพานพิทยาคม อ.พาน จ.เชียงราย ตั้งอยู่ห่างจากศูนย์กลางแผ่นดินไหวประมาณ 15 กม. เป็นอาคารเรียนสูง 4 ชั้นประกอบด้วยห้องเรียน 24 ห้องเรียน รองรับนักเรียน 1,200 คน อาคารดังกล่าวมีการต่อเติมชั้นที่ 1 โดยก่อผนังปิดในชั้นที่ 1 ดังรูปที่ 2.1.3 เพื่อปรับปรุงเป็นห้องสมุด ความเสียหายที่พบเป็นความเสียหายเนื่องจากแรงเฉือนในเสา ความอ่อนแอของอาคารนี้เกิดขึ้นจาก ตามแบบเดิมต้องการให้ชั้นล่างเป็นพื้นที่โล่งเพื่อให้นักเรียนทำกิจกรรม ทำให้ชั้นล่างอ่อน เสาชั้นล่างในทิศตามขวาง มีเพียง 2 ต้น ในขณะที่เสาชั้น 2 ถึงชั้น 4 มี 4 ต้นในทิศตามขวาง ทำให้ขาดความต่อเนื่องของเสาจากชั้นบนลงมาถึงชั้นล่าง ดังรูปที่ 2.1.4 เมื่อเกิดแรงกระทำทางข้างจากแผ่นดินไหวขึ้น อาคารที่มีชั้นล่างที่เปิดโล่งและมีชั้นบนที่ค่อนข้างแข็งแรงจากการใช้ผนังอิฐกันเป็นห้องๆ บวกกับเสาที่จำนวนน้อย ทำให้การเสียรูปไปกระจุกตัว ที่ชั้นล่างของอาคาร จึงเกิดการวิบัติแบบเฉือนในเสาเกือบทุกต้นในชั้นล่าง เหนือตำแหน่งที่ก่อผนังขึ้น รูปที่ 2.1.5



รูปที่ 2.1.3 อาคารเรียน 4 ชั้นโรงเรียน พานพิทยาคม (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,2557)



รูปที่ 2.1.4 ตามขวางอาคารมีเสาเพียง 2 ต้นในชั้น 1 ในขณะที่ชั้นบนมีเสา 4 ต้น (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,2557)



รูปที่ 2.1.5 รอยร้าวเฉือนเกิดขึ้นด้านบนกำแพงอิฐ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,2557)

นอกจากนี้ในบทความ เรื่องพัฒนาการของวิศวกรรมแผ่นดินไหวในประเทศไทยจากอดีตสู่อนาคต (ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์,2557) ได้รวบรวมประวัติและบทเรียนจากแผ่นดินไหวครั้งสำคัญในประเทศไทยรวมถึงเหตุการณ์แผ่นดินไหวล่าสุดที่อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ผนังอิฐก่อในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทั่วไปถึงแม้จะไม่ได้รับการออกแบบมาเพื่อต้านทานแรง แต่ภายใต้แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวพบว่าผนังดังกล่าวจะให้ประโยชน์ในองค์รวมของโครงสร้าง โดยจะส่งผลให้อาคารมีความแข็งแรงมากขึ้นในกรณีที่มีผนังอิฐก่อมีจำนวนและตำแหน่งที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามในบางกรณีผนังอิฐก่อก็อาจส่งผลกระทบในทางลบต่อโครงสร้างได้หากมีจำนวนมาก หรือน้อยเกินไป หรือผนังวางตัวอยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม

จากบทความดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าจะต้องพิจารณาผลของแรงมหาศาลที่เกิดขึ้นระหว่างผนังและเสา รวมไปถึงจุดต่อระหว่างเสาและคานด้วย มิเช่นนั้นอาจเกิดความเสียหายที่รุนแรงต่อชิ้นส่วนโครงสร้างหลักดังเช่น ตัวอย่างในอาคารเรียนของโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม ซึ่งเสาคอนกรีตเสริมเหล็กถูกเฉือนจนเกือบหลุดออกจากจุดต่อเสาคาน ดังแสดงในรูปที่ 2.1.6 (ก) แต่น่าสนใจตรงที่ผนังอิฐก่อสามารถถ่ายแรงในแนวตั้ง(ชั่วคราว)ได้ ช่วยป้องกันการพังทลายทันทีทันใด ในขณะที่ในระบบโครงสร้างด้านโมเมนต์โดยทั่วไป หากเสาวิบัติดังเช่นในรูปที่ 2.1.6 (ข) โครงสร้างก็จะอันตรายกว่ากันมาก เพราะไม่มีเส้นทางถ่ายแรงอื่นมาช่วยได้ จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าจำเป็นต้องพิจารณาผลของส่วนประกอบที่ไม่ใช่ส่วนโครงสร้าง เช่น ผนังอิฐก่อ ซึ่งมีผลต่อสติฟเนสของโครงสร้างโดยรวม หรือมีผลต่อการเหนียวรั้งเสา ทำให้เสากลายเป็นเสาสั้น ส่งผลให้วิบัติโดยการเฉือนได้ง่ายขึ้น และพิจารณาแรงปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กและผนังอิฐก่อด้วย



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.1.6 (ก) ความเสียหายด้วยแรงเฉือนที่หัวเสา (ข) เสามุมที่วิบัติรุนแรงของโรงเรียนบ้านเก่า
(สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,2557)

2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางกลของผนังอิฐก่อ

2.2.1) ผลกระทบของปูนฉาบและปูนก่อต่อกำลังรับแรงอัดของผนังอิฐก่อ

(สุปรานี สัมฤทธิ์ และชัยรัตน์ นาคสินธุ์ ,2557) เป็นการศึกษากำลังรับแรงอัดของอิฐก่อโดยใช้ตัวอย่างทดสอบขนาดมาตรฐาน และพิจารณาผลของคุณสมบัติเชิงกลของปูนก่อและปูนฉาบรวมไปถึงมุมระหว่างแนวแรงที่กระทำกับแนวปูนก่อของตัวอย่างทดสอบ โดยใช้ปูนก่อสองประเภทคือ ปูนก่อแบบผสมเอง และปูนก่อแบบสำเร็จรูป ใช้ปูนฉาบสามประเภทคือ ปูนฉาบแบบผสมเองที่มีอัตราส่วนผสมต่างกันสองแบบ และปูนฉาบแบบสำเร็จรูป ในส่วนของมุมระหว่างแนวแรงที่กระทำกับแนวปูนก่อของตัวอย่างทดสอบกำหนดให้มีสองรูปแบบ คือ 30 องศา และ 90 องศา จากผลการทดสอบสามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

1) ปูนก่อและปูนฉาบแบบผสมเอง ที่ทำการผสมโดยใช้อัตราส่วนผสมที่นิยมใช้กันในทางปฏิบัตินั้นมีกำลังอัดประลัยสูงกว่าปูนก่อและปูนฉาบแบบสำเร็จรูปที่ทำการผสมโดยใช้อัตราส่วนผสมตามคำแนะนำของผู้ผลิตที่ระบุไว้ข้างทดสอบ

2) มุมระหว่างแนวแรงที่มากระทำกับแนวปูนก่อของตัวอย่างทดสอบมีผลกระทบต่อกำลังอัดของอิฐก่อ จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา ที่มีการฉาบผิวหน้าด้วยมอร์ตาร์

โดยส่วนใหญ่จะมีกำลังอัดสูงกว่ารูปแบบ 90 องศา และมีค่าอีลาสติคโมดูลัสหรือค่าความแข็งแรงที่สูงกว่าอีกด้วย

3) จากผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดของปูนฉาบและปูนก่อไม่มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของผนังอิฐก่ออย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งการฉาบผิวหน้าอิฐก่อด้วยมอร์ตาร์ยังไม่ใช้ปัจจัยที่จะทำให้กำลังอัดของอิฐก่อสูงขึ้น เนื่องจากมอร์ตาร์ที่ฉาบไว้นั้นจะเกิดการวิบัติหรือหลุดออกจากอิฐก่อก่อนที่ความเค้นอัดในตัวอย่างทดสอบจะถึงจุดสูงสุด

4) รูปแบบการวิบัติของอิฐก่อที่พบมีสองรูปแบบขึ้นอยู่กับมุมระหว่างแนวแรงและแนวปูนก่อเป็นหลัก ในตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา พบว่าเกิดการวิบัติในรูปแบบเดียวกันทั้งหมดคือปูนฉาบหลุดออกจากอิฐก่อก่อนตามด้วยการวิบัติของปูนก่อและอิฐ แต่ในตัวอย่างทดสอบแบบ 30 องศา พบว่าเกิดการวิบัติในรูปแบบเดียวกับตัวอย่างทดสอบแบบ 90 องศา ร้อยละ 40 และเกิดการวิบัติโดยปูนฉาบและอิฐเกิดการแตกร้าวในเวลาใกล้เคียงกันร้อยละ 60 จากตัวอย่างทดสอบทั้งหมด

2.2.2) การศึกษากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงเฉือนของอิฐมวลเบาภายใต้แรงในระนาบ

(จิรเดช อัครผล และวสันต์ สุขประโคน, 2558) โครงการนี้ได้ทำการศึกษากำลังรับแรงอัดและแรงเฉือนของผนังอิฐก่อที่ใช้อิฐมวลเบา โดยใช้ตัวอย่างทดสอบขนาดเล็ก ในส่วนของการทดสอบกำลังอัดจะพิจารณาผลกระทบของแรง ทิศทางของแรงที่มากระทำเมื่อเทียบกับทิศทางของแนวปูนก่อ โดยกำหนดให้ มุมระหว่างแนวแรงกับแนวปูนก่อของตัวอย่างทดสอบมีค่าแตกต่างกันสามรูปแบบ คือ 0 องศา 45 องศา และ 90 องศา ในส่วนของการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของผนังอิฐก่อจะคำนึงถึงผลกระทบของความเค้นตั้งฉากกับระนาบเฉือนต่อกำลังรับแรงเฉือน โดยกำหนดให้ค่าความเค้นตั้งฉากมีค่าแตกต่างกัน 3 ค่า คือ 0, 1.75 และ 5.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตัวอย่างอิฐก่อทั้งหมดได้รับการฉาบผิวหน้าด้วยปูนฉาบที่มีความหนา 1 เซนติเมตร ทั้งสองด้าน โดยใช้ปูนก่อและปูนฉาบแบบสำเร็จรูป ในการทดสอบจะพิจารณาถึงผลของ แรงในระนาบเท่านั้น จากผลการทดสอบสามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

1) ทิศทางของแรงที่มากระทำเมื่อเทียบกับแนวปูนก่อของตัวอย่างทดสอบมีผลกระทบ ต่อกำลังอัดของอิฐก่อที่ฉาบผิวหน้าด้วยมอร์ตาร์ โดยผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างทดสอบที่มีมุมระหว่างแรงและแนวปูนก่อเท่ากับ 0 องศา มีกำลังอัดซึ่งสูงกว่ารูปแบบ 90 องศา และ 45 องศา ตามลำดับ และมีค่าอีลาสติคโมดูลัสที่สูงกว่า

2) รูปแบบการวิบัติของอิฐก่อที่พบมีสามรูปแบบขึ้นอยู่กับมุมระหว่างแนวแรงและแนว ปูนก่อเป็นหลัก ในตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา และ 90 องศา พบว่าเกิดการวิบัติในรูปแบบเดียวกันทั้งหมดคือปูนฉาบจะเกิดการแตกร้าวตามแนวรับแรงก่อน ตามด้วยการวิบัติของปูนก่อและอิฐ แต่ในตัวอย่างทดสอบแบบ 45 องศา พบว่าเกิดการวิบัติในรูปแบบเดียวกับตัวอย่างทดสอบแบบ 0 องศา

และ 90 องศา ร้อยละ 33 และเกิดการวิบัติโดยปูนฉาบหลุดออกจากอิฐ ร้อยละ 66 จากตัวอย่างทดสอบทั้งหมด

3) การเพิ่มความเค้นตั้งฉากกับระนาบเฉือนขึ้น จะส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนของผนัง อิฐ ก่อสูงขึ้นเช่นกัน โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 67.6

4) รูปแบบการวิบัติมีสองรูปแบบหลักๆคือการวิบัติตรงระนาบของรอยต่อระหว่างอิฐ กับ มอร์ตาร์ในลักษณะเลื่อนหลุดออกจากกันและวิบัติที่ตัวอิฐเอง

5) ค่าแรงยึดเหนี่ยวของรอยต่อในอิฐก่อ (c) มีค่าเท่ากับ 3.12 และค่ามุมเสียดทาน ภายในของผนังอิฐก่อ (ϕ) ของเส้นกราฟมีค่าเท่ากับ 50.33 และสามารถนำมาสร้าง สมการที่ใช้ในการ คำนวณกำลังต้านทานแรงเฉือนของผนังอิฐก่อได้

2.3 มาตรฐานการทดสอบคอนกรีตและมอร์ตาร์

● การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์

เพื่อหาลำกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ ซึ่งผลได้ที่จะเป็นข้อมูลบ่งชี้ถึงคุณภาพของปูนซีเมนต์ มีการทดสอบโดยย่อคือ นำปูนซีเมนต์ที่ต้องการทดสอบ 1 ส่วน ผสมกับทราย 2.75 ส่วน โดยน้ำหนัก จากนั้นผสมกับน้ำสะอาดตามปริมาณที่กำหนดสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ถ้าเป็นปูนซีเมนต์ชนิดอื่น (เช่นปูนซีเมนต์ผสม ปูนซีเมนต์ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็ก เป็นต้น) ให้ใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมที่ทำให้มอร์ตาร์มีค่าการไหลแผ่ (Flow) เท่ากับ 110 ± 5 จากนั้นหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์ ขนาด $5 \times 5 \times 5$ ซม. และปล่อยทิ้งไว้ 24 ชม. จึงถอดแบบ นำมอร์ตาร์ไปบ่มในน้ำปูนขาวอิ่มตัว และทดสอบกำลังอัดตามอายุที่ต้องการโดยใช้เครื่องทดสอบ UTM จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบในแต่ละอายุ ต้องมี 2 หรือ 3 ตัวอย่างเพื่อหาเป็นค่าเฉลี่ย ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงใช้ 3 ตัวอย่างในการทดสอบแต่ละอายุเพื่อหาเป็นค่าเฉลี่ย โดยทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ ที่อายุ 7, 14, 28 และ 35 วัน รวมทั้งสิ้น 12 ตัวอย่าง

การคำนวณค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบ

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

σ = ความเค้น (กก./ตร.ซม.)

P = แรงที่กระทำต่อตัวอย่างทดสอบ (กก.)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการรับแรง (ตร.ซม.)

ซึ่งการทดสอบเป็นไปตาม ASTM C 109 [1] และคล้ายกับการทดสอบตามมาตรฐานมอก.

15 เล่ม 12 [2]

การคำนวณค่าความเครียดของตัวอย่างทดสอบ

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

ϵ = ความเครียด

ΔL = ระยะหดตัวของตัวอย่างทดสอบ (ซม.)

L_0 = ความสูงของตัวอย่างทดสอบ (ซม.)

● การทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (Modulus of Elasticity)

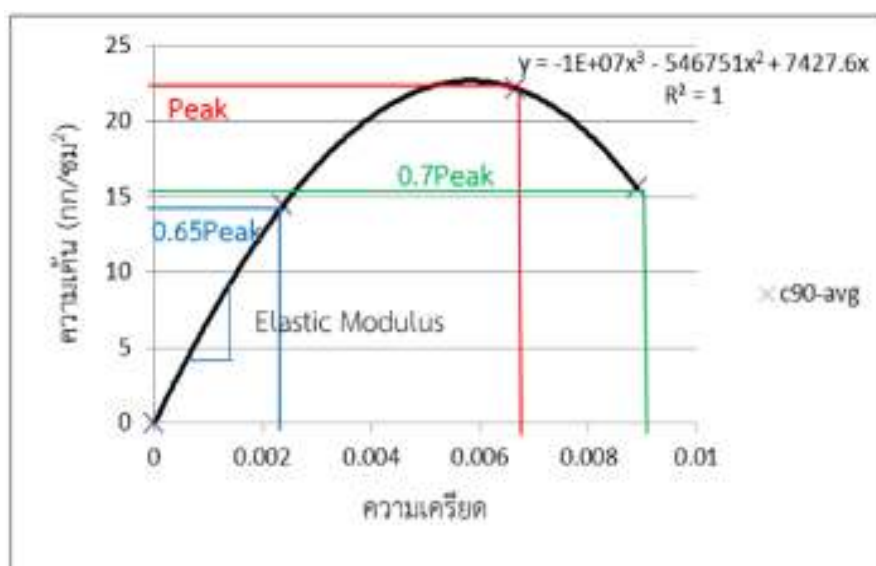
โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหรือโมดูลัสยืดหยุ่นของยัง (Young's Modulus of Elasticity of Concrete) เป็นการศึกษาจากอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต ในช่วงที่มีพฤติกรรมเป็นแบบเส้นตรง ซึ่งเป็นตัวชี้ถึงความต้านทานต่อการเสียรูปของวัสดุ โดยหาจากอัตราส่วนของหน่วยแรงต่อหน่วยการหดตัวซึ่งเกิดจากการกระทำของหน่วยแรงดังแสดงในรูปที่ 2.3.1 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหาได้จากเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยแรงการหดตัวของคอนกรีต เมื่อทำการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยทั่วไปเส้นสัมพันธ์นี้มีลักษณะเป็นรูปพาราโบลาและจะเห็นได้ว่าค่า Young's Modulus ของการยืดหยุ่นนั้นเกิดขึ้นบริเวณช่วงเริ่มต้นในขณะที่เส้นความเครียดและความเค้นยังเป็นเส้นตรงอยู่ การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตสามารถหาได้จาก

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

โดยที่ E = ค่าอิลาสติกโมดูลัส (กก./ตร.ซม.)

σ = ความเค้น (กก./ตร.ซม.)

ϵ = ความเครียด



รูปที่ 2.3.1 วิธีการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

- การทดสอบความเหนียว (ความเหนียวช่วยให้สามารถลดแรงที่กระทำต่อโครงสร้างได้)

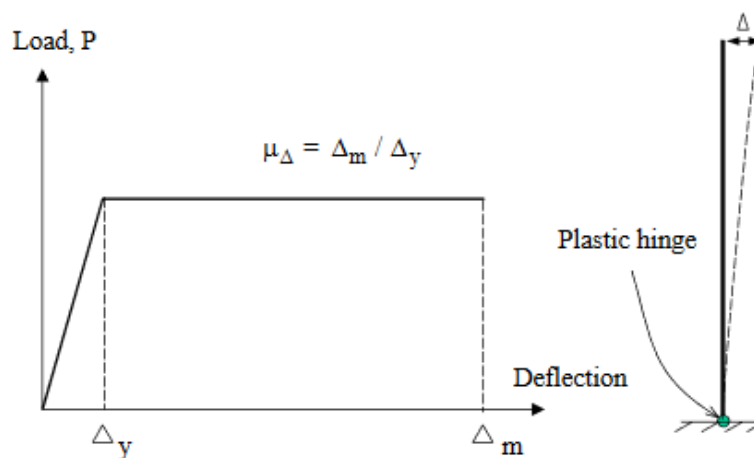
หากเรายอมให้โครงสร้างเกิดความเสียหายได้บ้าง เช่น ยอมให้เกิดรอยร้าวในคอนกรีต หรือ ยอมให้เหล็กเสริมครากในระหว่างที่มีแผ่นดินไหวมากระทำ ก็จะทำให้เราสามารถลดขนาดของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างได้ ซึ่งก็จะทำให้การออกแบบประหยัดขึ้น ทั้งนี้ทั้งนั้นการที่ยอมให้โครงสร้างเกิดความเสียหายได้นั้น ไม่ได้หมายความว่าโครงสร้างจะพังทลายลงมา ถ้าหากว่าเราออกแบบให้โครงสร้างมีความเหนียวมากพอ โครงสร้างก็จะไม่พังทลายลงมา ความเหนียวจึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากของโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหว

ความเหนียวหมายถึงความสามารถที่โครงสร้างจะเปลี่ยนรูปได้มากโดยไม่สูญเสียกำลังรับน้ำหนัก ความเหนียวของโครงสร้างวัดได้จากอัตราส่วนความเหนียว (Ductility ratio) ดังแสดงในรูปที่ 2.3.2

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_m}{\Delta_y}$$

โดยที่ Δ_m คือระยะเคลื่อนตัวขณะที่เกิดการวิบัติ (ระยะเคลื่อนตัวสูงสุด)

Δ_y คือระยะเคลื่อนตัวขณะที่เหล็กเสริมคราก



รูปที่ 2.3.2 วิธีการหาค่าความเหนียวของตัวอย่างทดสอบ

2.4 แนวทางการแก้ปัญหาโดยใช้วัสดุทดแทน

เนื่องจากผนังรับน้ำหนักในปัจจุบัน เช่น ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กและผนังรับแรงอัด เมื่อ นำไปใส่ในโครงสร้างแล้วทำให้โครงสร้างของอาคารบ้านเรือนมีภาระเพิ่มขึ้น จากน้ำหนักของตัววัสดุที่ นำมาใช้สร้างผนัง ทำให้ต้องมีการออกแบบโครงสร้างที่มีการพิจารณาผลกระทบของผนังด้วย การ ออกแบบและก่อสร้างโดยวิธีดังกล่าวนี้จะมีราคาต้นทุนในการสร้างที่สูงกว่าปกติ ในปัจจุบันจึงมีการ ทำผนังมวลเบามาใช้ในอาคาร เช่น ผนังอิฐมวลเบา อิฐมวลเบามีมากมายหลายประเภท หากมองเพียง ภายนอกอาจแทบไม่แตกต่างกัน แต่แท้จริงแล้ว อิฐมวลเบาแต่ละแบบใช้วัตถุดิบและกระบวนการผลิต ต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของอิฐมวลเบาแตกต่างกัน ราคาที่แตกต่างกันไปด้วย อิฐมวลเบาโดยทั่วไป อาจแบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.4.1) การผลิตอิฐมวลเบาแบบ Autoclave Aerated Concrete (AAC)

การผลิตอิฐมวลเบาแบบ Autoclave Aerated Concrete (AAC) คือ การผลิตอิฐ มวลเบาในระบบ ระบบบอมน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System) โดย เป็น ประเภท cement best ซึ่งการผลิตอิฐมวลเบา แบบนี้ จำเป็นจะต้องใช้เครื่องอบ โดยจุดเด่น อยู่ที่ การไล่ความชื้นออกไปจากตัวอิฐ ทำให้มีความทนทานและแข็งแรงเพิ่มขึ้นและมีการหด ตัวน้อยทำให้เมื่อฉาบผนังแล้วจะไม่ดูดความชื้นจากปูนฉาบทำให้ผนังแตกได้

2.4.2) การผลิตอิฐมวลเบา ระบบ CLC (Cellular Lightweight Concrete)

อิฐมวลเบา C-Lite ระบบ CLC (Cellular Lightweight Concrete) ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, ทราย, น้ำ และน้ำยา Foaming Agent ที่นำมาผสมกันในอัตราส่วน โดยนำน้ำยา Foaming Agent มาผ่านเครื่องอัดอากาศที่มีแรงดันสูงทำให้เกิดฟองอากาศ ขนาดเล็กมาก มีความสมดุลผสมและแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา ด้วยคุณลักษณะพิเศษที่เหนือกว่าคอนกรีตมวลเบาทั่วไป คือ มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำมาก สามารถก่อ-ฉาบ ได้ด้วยปูนก่อ-ปูนฉาบธรรมดาทั่วไป ตอกตะปูได้ ไม่เกิดเชื้อรา ประหยัดเวลาและค่าแรงงาน

2.5 ผนังมวลเบา

คอนกรีตมวลเบาสามารถแบ่งชั้นคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้ตามความต้านทานแรงอัด เป็น 4 ชั้นคุณภาพ ดังตารางที่ 2.5.1 และแบ่งตามความหนาแน่นเชิงปริมาตรเป็น 7 ชนิด ดังตารางที่ 2.5.2

ตารางที่ 2.5.1 ชั้นคุณภาพตามมาตรฐานตามความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตมวลเบา

ชั้นคุณภาพ	ความต้านทานแรงอัด (N/m ²)	ชนิดความหนาแน่น	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ย
	ค่าเฉลี่ย		
2	2.5	0.4	0.31 – 0.40
		0.5	0.41 – 0.50
4	5.0	0.6	0.51 – 0.60
		0.7	0.61 – 0.70
		0.8	0.71 – 0.80
6	7.5	0.7	0.61 – 0.70
		0.8	0.71 – 0.80
8	10.0	0.8	0.71 – 0.80
		0.9	0.81 – 0.90
		1.0	0.91 – 1.00

เพื่อประโยชน์สูงสุดของผู้เลือกใช้คอนกรีตมวลเบาชั้นคุณภาพ 2 (G2) และชั้นคุณภาพ 4 (G4)
 ชั้นคุณภาพ 2 (G2) เหมาะสำหรับโครงสร้างอาคารระบบเสา-คาน (Non Load Bearing Walls)
 สามารถกันความร้อนได้ดีกว่า
 ชั้นคุณภาพ 4 (G4) เหมาะสำหรับโครงสร้างอาคารระบบใ้เสา-ใ้คาน (Load Bearing Walls)

ตารางที่ 2.5.2 ชั้นคุณภาพตามมาตรฐานแบ่งตามความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบา

ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา			
คุณสมบัติ	ชั้นคุณภาพ		รายละเอียดเปรียบเทียบ
	Class 2 (G2)	Class 4 (G4)	
1. ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) (kg/ m3)	500	700	G2 เบากว่า G4 40% เพราะมีฉนวนฟองอากาศมากกว่า
2. น้ำหนักผืนความหนา 7.5 ซม. (ไม่รวมฉาบ)	45	60	G2 น้ำหนักน้อยกว่า G4 จะประหยัดโครงสร้างอาคารได้มากกว่า
น้ำหนักผืนความหนา 7.5 ซม. (รวมฉาบ)	90	105	G2 น้ำหนักน้อยกว่า G4 จะประหยัดโครงสร้างอาคารได้มากกว่า
3. ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) (ksc.)	>30	>45	G2 แข็งแรงมากเกินพอ ในโครงสร้างอาคารระบบเสา-คาน
4. อัตราการกันไฟ (Fire Rating) มีความหนา 10 ซม. (ชั่วโมง)	4	4	G2 และ G4 ทนไฟได้ไม่แตกต่างกัน
5. อัตราการกันเสียง (STC Rating) (dB)	42	43	G2 และ G4 กันเสียงได้ไม่แตกต่างกัน
6. อัตราการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) (%)	35	38	G2 จะดูดซึมน้ำน้อยกว่า G4
7. ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) (W/ mK)	0.124	0.178	G2 กันความร้อนได้ดีกว่า G4 เพราะมีฉนวนฟองอากาศมากกว่า

บทที่ 3

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบและวิธีการทดสอบ

การศึกษาพฤติกรรมกำลังรับแรงอัดของผนังมอร์ตาร์น้ำหนักเบาเสริมเหล็กและพลาสติกโฟมครั้งนี้ จะทำการศึกษาโดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตัวอย่างทดสอบขนาดเล็กเพื่อทำการทดสอบกำลังอัด ในบทนี้จะกล่าวถึง แนวคิดในการออกแบบรูปแบบของผนังที่จะใช้ในการศึกษาวิจัย และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำตัวอย่างทดสอบ รวมไปถึงวิธีการทดสอบ

3.1 แนวคิดในการออกแบบ และรูปแบบของผนังมวลเบาที่จะใช้ในการศึกษา

จากการสืบค้นข้อมูลและการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าผนังรับน้ำหนัก จะแบ่งย่อยตามวัสดุที่นำมาใช้สร้างผนัง โดยทั่วไปที่นิยมคือผนังรับน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งตัวคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นจะมีน้ำหนักที่มากและราคาค่อนข้างสูง ปัจจุบันมีการนำผนังมวลเบาใช้ในอาคารเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตามผนังมวลเบาที่มีขายในท้องตลาดนั้น ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อใช้เป็นผนังรับแรงและไม่มีการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างในการวิจัยนี้จึงต้องการจะหาวัสดุที่สามารถนำมาสร้างผนังรับน้ำหนักทดแทนผนังคอนกรีตเสริมเหล็กแต่น้ำหนักเบาและราคาต่ำลง โดยมีแนวคิดที่จะใช้วัสดุเป็นมอร์ตาร์ พร้อมทั้งเว้นช่องว่างไว้ใส่พลาสติกโฟมเพื่อลดน้ำหนักและสามารถเก็บเสียงได้และเสริมด้วยตะแกรงเหล็กกรงไก่ เพื่อเพิ่มความเหนียว (Ductility) ให้กับผนัง

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1) พลาสติกมีอยู่มากมายหลายประเภท หากประเภทที่ผ่านกระบวนการที่ใช้สารขยายตัว (Blowing Agent) ก็จะทำให้พลาสติกนั้น กลายเป็นโฟมได้ ซึ่งเรียกกันทั่วไป ว่า Foam Plastic ตัวอย่างของโฟมพลาสติกที่รู้จักกันทั่วไปเช่น ฟองน้ำ กล่องโฟมใส่อาหาร โฟมแผ่น โฟมฉีดยาเพื่อเป็นฉนวนเป็นต้น ซึ่งโฟมพลาสติกเหล่านี้ล้วนแต่ผลิตจากพลาสติกต่างประเภทกันไป ในที่นี้จะกล่าวถึง โฟม ซึ่งผลิตจากพลาสติก ประเภท Polystyrene /PS เท่านั้น

โฟมพลาสติกประเภท Polyurethane/PS มี 2 ประเภท ประเภทแรก Polystyrene Paper / PSP โดยทั่วไป โฟม PSP จะขยายตัวประมาณ 20 เท่าฉีดออกเป็นแผ่น แล้วม้วนเข้าคล้ายม้วนกระดาษ จากนั้นก็จะนำม้วนโฟม PSPที่ได้ไปขึ้นรูปด้วยความร้อนตามลักษณะแม่พิมพ์ (Thermal Forming) เช่น เป็นกล่องใส่อาหารหรือถาด แต่การศึกษาในครั้งนี้ใช้พลาสติกโฟมประเภทที่สอง พลาสติกโฟม ประเภท EPS ขนาด 17x17x5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูป 3.2.1 เนื่องจากมีน้ำหนักที่เบา รองรับแรงกระแทกได้ดี เก็บเสียง และยังรองรับถ่ายเทน้ำหนักในแนวดิ่งโดยไม่เสียรูปทรง น่าจะเป็นวัสดุทดแทนที่ดีกว่าอิฐได้ แต่จะใช้รูปแบบของพลาสติกโฟม 2 รูปแบบ รูปแบบแรกที่ใช้คือ วางพลาสติกโฟมตามระนาบปกติ โดยจะใช้สัญลักษณ์อักษรย่อเป็น S รูปแบบที่สองที่ใช้คือ แบ่งพลาสติกโฟมสี่เหลี่ยมจัตุรัส เป็นพลาสติกโฟมสามเหลี่ยม 2 ชิ้นตามแนวทแยง และเว้นช่องว่างตามแนวทแยงเอาไว้ โดยจะใช้สัญลักษณ์อักษรย่อเป็น T



รูปที่ 3.2.1 พลาสติกโฟมประเภท EPS

3.2.2) ปูนก่อ ในการศึกษานี้จะใช้ปูนซีเมนต์ทั้งหมด 2 ประเภท โดยประเภทแรกที่ใช้คือ ปูนซีเมนต์ชนิดก่อ ฉาบ เท (ตราเสือชนิดซีเมนต์ ก่อ ฉาบ เท) ดังแสดงในรูป 3.2.2 (ก.) เพื่อนำมาผสมเป็นปูนก่อแบบผสมเองที่อัตราส่วนผสม ปูน : ทราย : น้ำ คือ 1 : 2.75 : 0.62 โดยจะใช้สัญลักษณ์อักษรย่อเป็น M ประเภทที่สองคือปูนซีเมนต์ชนิดก่อสำเร็จรูป (ตราเสือ มอร์ตาร์ก่อทั่วไป ชนิด 50) ดังแสดงในรูป 3.2.2 (ข.) เพื่อผสมเป็นปูนก่อสำเร็จรูปที่อัตราส่วนผสม ปูน : น้ำ คือ 1 : 0.294 โดยจะใช้สัญลักษณ์อักษรย่อเป็น F ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ นี้เป็นอัตราส่วนที่ได้ทำการทดลองผสม เพื่อที่จะให้ได้กำลังอัดที่สูงและเพื่อความสะดวกในการทำงาน



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 3.2.2 (ก.) ปูนซีเมนต์ ก่อ เท ฉาบ (ข.) ปูนซีเมนต์สำเร็จรูป ก่อทั่วไป

3.2.3) ตะแกรงเหล็ก มีหลายรูปแบบ เช่น ตะแกรงเหล็กฉีก เป็นการนำเหล็กแผ่นมาฉีกถ่างออกเป็นตาของตะแกรงเหล็กฉีก โดยไม่มีรอยเชื่อมต่อ ทำให้ตะแกรงเหล็กฉีกเป็นเนื้อเดียวกันทั้งแผ่น โดยทั่วไปในท้องตลาด จะมีความหนาอยู่ที่ 1.2-8 mm. หรือตะแกรงเหล็กแบบ Wire mesh คือ เหล็กเส้นกลมหรือเหล็กเส้นข้ออ้อย ที่นำมาเชื่อมติดกันเป็นตารางเพื่อใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น ใช้ปูพื้นก่อนเทคอนกรีต เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงคอนกรีต โดยทั่วไปในตลาดจะมีความหนาอยู่ที่ 3-6 mm. แต่ในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้ตะแกรงเหล็กแบบสี่เหลี่ยม (Square Wire) หรือกรงไก่ ดังแสดงในรูป 3.2.3 ซึ่งแบ่งรูปแบบของตะแกรงเหล็กออกเป็น 2 รูปแบบ แบบแรกที่ใช้คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร 1 ชั้น โดยจะใช้สัญลักษณ์เป็นเลข 1 และแบบที่สอง ที่ใช้คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร 2 ชั้นซ้อนกันโดยจะใช้สัญลักษณ์เป็นเลข 2



รูปที่ 3.2.3 ตะแกรงเหล็กแบบ สี่เหลี่ยม (Square Wire) หรือกรงไก่

3.2.4) อุปกรณ์ที่ใช้ในเตรียมตัวอย่างทดสอบมีดังนี้ เครื่องชั่งน้ำหนัก ดังแสดงในรูป 3.2.4 (ก.) , ถังน้ำพลาสติก ดังแสดงในรูป 3.2.4 (ข.) , เกรียงก่อ ดังแสดงในรูป 3.2.4 (ค.) , เกรียงฉาบ ดังแสดงในรูป 3.2.4 (ง.) , ระดับน้ำ ดังแสดงในรูป 3.2.4 (จ.) , ตลับเมตร ดังแสดงในรูป 3.2.4 (ฉ.) , ปูนปลาสเตอร์ ดังแสดงในรูป 3.2.4 (ช.) ,แม่แบบสำหรับหล่อผนัง ดังแสดงในรูป 3.2.4 (ซ.) ,อุปกรณ์วัดการยืหดตัว LVDT ดังแสดงในรูป 3.2.4 (ณ.) และตะปู ขนาด 3 นิ้ว ดังแสดงในรูป 3.2.4 (ญ.)



(ก.)



(ข.)



(ค.)



(ง.)



(จ.)



(ฉ.)



(ช.)



(ซ.)



(ณ.)



(ญ.)

รูปที่ 3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ (ก.) เครื่องชั่งน้ำหนัก (ข.) ถังน้ำพลาสติก (ค.) เกรียงก่อ (ง.) เกรียงฉาบ (จ.) ระดับน้ำ (ฉ.) ตลับเมตร (ช.) ปูนปลาสเตอร์ (ซ.) แม่แบบ สำหรับหล่อผนัง (ณ.) LVDT (ญ.) ตะปูขนาด 3 นิ้ว

3.2.5) เครื่องทดสอบกำลังอัดและเครื่องเก็บข้อมูลการทดสอบ การศึกษานี้จะใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ขนาด 150 ตันและใช้เครื่องเก็บข้อมูลการทดสอบ Data logger ดังแสดงในรูปที่ 3.2.5 ในการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างทดสอบ



(ก.)



(ข.)

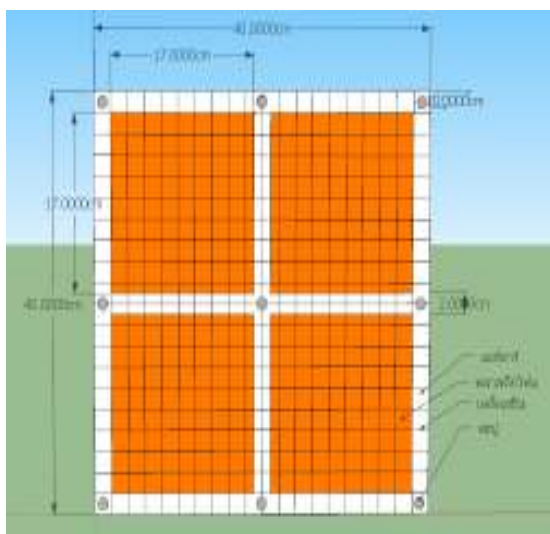
รูปที่ 3.2.5 (ก.) เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ขนาด 150 ตัน (ข.) เครื่องเก็บข้อมูลการทดสอบ Data logger

3.3 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

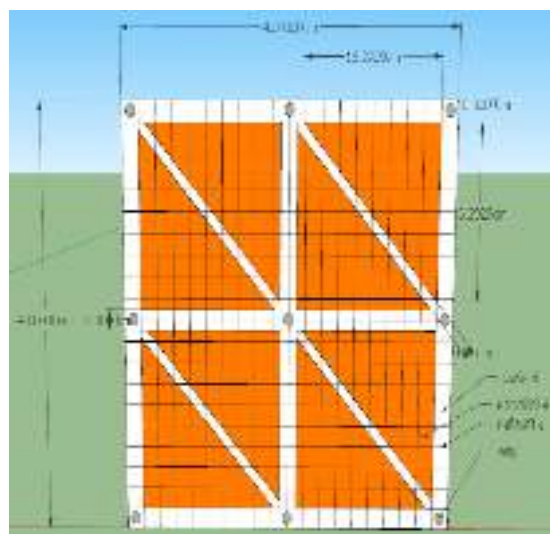
ในการทดสอบ จะใช้ตัวอย่างทดสอบที่มีการใช้ ส่วนผสมของปูนก่อ ขนาดของตะแกรงเหล็ก และรูปแบบของพลาสติกโฟม ที่แตกต่างกัน ดังที่ได้แสดงไว้แล้วข้างต้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างทดสอบและสัญลักษณ์ที่ใช้ในตัวอย่างทดสอบแรงอัด

รูปแบบ	ประเภทปูนก่อ	รูปแบบของ พลาสติกโฟม	รูปแบบของ ตะแกรงเหล็ก	ตัวอย่าง ที่	ขนาดของ ตัวอย่าง (เซนติเมตร)	สัญลักษณ์
แรงอัด	ปูนก่อผสม 1 : 2.75 : 0.62 (M)	ตามระนาบ ปกติ (S)	0.5 มม. 1 ^{ชั้น} (1 ^{ชั้น})	1	40*40*10	MS1-1
				2		MS1-2
				3		MS1-3
			0.5 มม. 2 ^{ชั้น} (2)	1		MS2-1
				2		MS2-2
				3		MS2-3
		เว้นช่องว่าง ตามแนว ทแยง (T)	0.5 มม. 1 ^{ชั้น} (1)	1		MT1-1
				2		MT1-2
				3		MT1-3
	ปูนก่อสำเร็จรูป 1 : 0.294 (F)	ตามระนาบ ปกติ (S)	0.5 มม. 1 ^{ชั้น} (1)	1		FS1-1
				2		FS1-2
				3		FS1-3
			0.5 มม. 2 ^{ชั้น} (2)	1		FS2-1
				2		FS2-2
				3		FS2-3
		เว้นช่องว่าง ตามแนว ทแยง (T)	0.5 มม. 1 ^{ชั้น} (1)	1		FT1-1
				2		FT1-2
				3		FT1-3



(ก.)



(ข.)



(ค.)



(ง.)

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ สัญลักษณ์ MS,MT,FS และ FT (ก.) สัญลักษณ์ MS,FS แบบ 2 มิติ (ข.) สัญลักษณ์ MT,FT แบบ 2 มิติ (ค.) สัญลักษณ์ MS,FS จากการทดสอบ (ง.) สัญลักษณ์ MT,FT จากการทดสอบ

3.4 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบจะใช้วัสดุและอุปกรณ์ตามหัวข้อ 3.1 และมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้

3.4.1 การสร้างแม่แบบตัวอย่าง

- 1.) นำไม้อัดบางๆมาตัดตาม Dimension ของตัวอย่างที่ออกแบบไว้
- 2.) ทำการขีดเส้นระบุตำแหน่งของรายละเอียดต่างๆ เช่น ตำแหน่งโฟม ความหนาหน้าก่อนใส่เหล็กเสริม
- 3.) นำไม้อัดมาประกอบให้เป็นรูปร่างตามที่ออกแบบไว้ และยึดด้วยตะปู

สามารถดูภาพประกอบการสร้างแม่แบบตัวอย่างได้ดังแสดงในรูปที่ 3.4.1



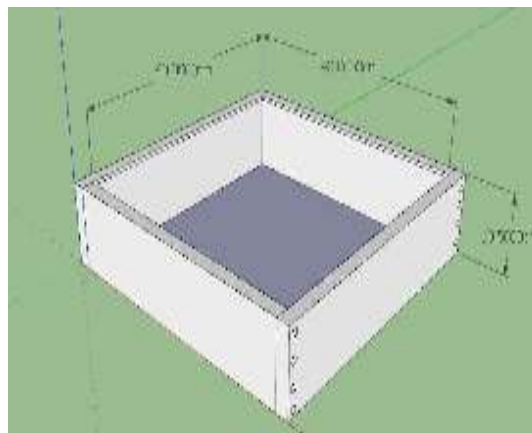
(ก.)



(ข.)



(ค.)



(ง.)

รูปที่ 3.4.1 ภาพการประกอบแม่แบบสำหรับหล่อผนัง (ก.) นำไม้อัดบางๆมาตัดตาม Dimension ของตัวอย่างที่ออกแบบไว้ พร้อมทั้งขีดเส้นระบุตำแหน่งของรายละเอียดต่างๆ (ข.) ประกอบแบบให้รูปร่างตามตัวอย่างที่ออกแบบไว้ (ค.) รูปภาพแม่แบบหลังประกอบเสร็จ (ง.) ขนาดความกว้าง ความสูงของแม่แบบ

3.4.2 การหล่อแบบตัวอย่าง

- 1.) เตรียมอุปกรณ์และตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ใน การทำตัวอย่างทดสอบ โดยให้อุปกรณ์และเครื่องมืออยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี เช่น เกรียง ถังน้ำ เครื่องชั่งน้ำหนัก เป็นต้น
- 2.) ทำการชั่งส่วนผสมของปูนซีเมนต์ หินทราย น้ำ จากนั้นผสมให้เข้ากันตามอัตราส่วนที่ออกแบบ
- 3.) ทำการเทปูนใส่แม่แบบ 1 เซนติเมตรตามรอยเส้นที่ระบุตำแหน่งไว้
- 4.) ใส่เหล็กเสริม จากนั้นเทปูนใส่แม่แบบอีก 1.5 เซนติเมตรตามรอยเส้นที่ระบุไว้ รวมความหนาในชั้นแรกเท่า 2.5 เซนติเมตร
- 5.) ทิ้งให้ปูนเซตตัว 3-4 ชั่วโมง แล้วทำการวางพลาสติกโฟม ตามตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้

6.) ปักตะปูให้หัวตะปูลึกไปในมอร์ตาร์ที่เซตตัวแล้วประมาณ 1-1.5 เซนติเมตร ประมาณ 9 ตัว เพื่อกันตัวอย่างทดสอบที่หล่อในชั้นแรกและชั้นที่สองที่กำลังจะหล่อเกิดการ Split แยกออกจากกัน

7.) เทปูนลงแม่แบบจนท่วมพลาสติกโฟม

8.) ใส่เหล็กเสริม แล้วเทปูนให้เต็มเพื่อปิดแบบ และใช้เกรียงฉาบตกแต่งผิวให้เรียบร้อย

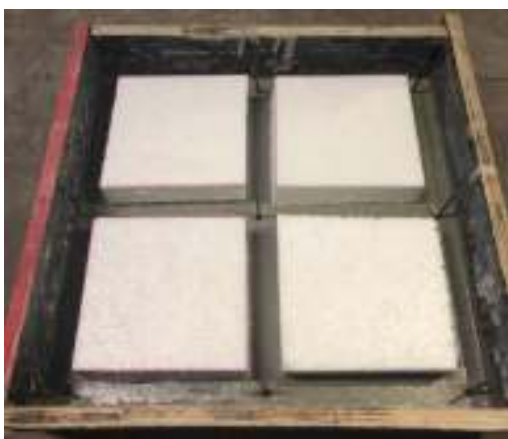
สามารถดูภาพประกอบขั้นตอนการหล่อแบบตัวอย่างได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.4.2



(ก.)



(ข.)



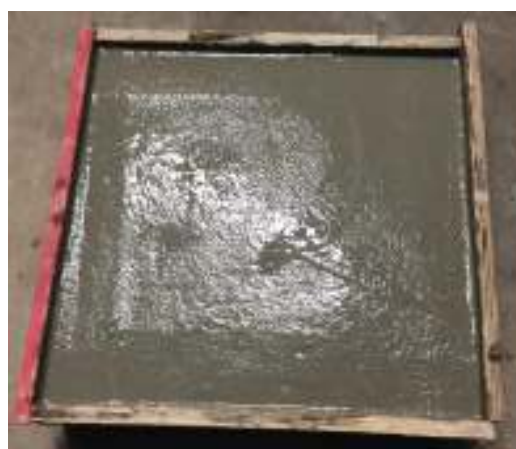
(ค.)



(ง.)



(จ.)



(ฉ.)

รูปที่ 3.4.2 ภาพประกอบขั้นตอนการหล่อแบบตัวอย่าง (ก.) เทปูนใส่แม่แบบ 1 เซนติเมตรและใส่เหล็กเสริมชั้นล่าง (ข.) เทปูนใส่แม่แบบอีก 1.5 เซนติเมตรตามรอยเส้นที่ระบุไว้ พร้อมกับทิ้งให้ปูนเซตตัวประมาณ 3-4 ชั่วโมง (ค.) วางพลาสติกโฟม ตามตำแหน่งที่ออกแบบ พร้อมปักตะปู 9 ตัว ลึกลงไปในมอร์ตาร์ที่เซตตัวแล้วประมาณ 1-1.5 เซนติเมตร (ง.) เทปูนลงแม่แบบจนท่วมพลาสติกโฟม (จ.) ใส่เหล็กเสริมชั้นบนเหนือพลาสติกโฟม (ฉ.) เทปูนให้เต็มเพื่อปิดแบบและใช้เกรียงฉาบตกแต่งผิวให้เรียบร้อย

3.4.3 การเตรียมผิวหน้าที่ใช้ในการรับแรงของตัวอย่างทดสอบ

ก่อนทำการเตรียมผิวหน้าที่ใช้ในการรับแรงของตัวอย่างทดสอบ จะต้องนำตัวอย่างไปวัดขนาด ความกว้าง ความยาว ความสูง และชั่งน้ำหนัก ในการทดสอบแรงอัดพื้นที่รับแรงของตัวอย่างทดสอบนั้น ต้องมีความสม่ำเสมอและมีผิวที่เรียบ เพื่อให้แรงกดกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ โดยในการศึกษานี้จะการใช้การเคลือบผิวหน้าของตัวอย่างทดสอบด้วยปูนพลาสติกโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.) นำตัวอย่างที่ได้จากขั้นตอน 3.4.2 มาทำการเคลือบผิวหน้าส่วนที่ต้องรับแรงกด โดยใช้ปูนพลาสติกผสมน้ำ โดยก่อนจะทำการเคลือบผิวจะต้องนำระดับน้ำมาวัดระดับทั้ง 4 ด้านของตัวอย่างทดสอบเพื่อให้ได้ระดับทั้งแนวราบและแนวตั้ง เสร็จแล้วก็ทำการเคลือบผิวตัวอย่างทดสอบ

2.) ทำการเคลือบผิวหน้าอีกด้านของตัวอย่างทดสอบโดยทำตามขั้นตอนในข้อ 1.) อีกหนึ่งรอบ

3.) ในกรณีที่ผิวหน้าตัวอย่างทดสอบไม่ได้ระดับตามที่ต้องการจะต้องทำการแก้ไขโดยการนำตัวอย่างไปตัดปูนพลาสติกออกแล้วทำการเคลือบใหม่ โดยให้ได้ระดับ และปล่อยให้ตัวอย่างแห้ง และนำไปเรียงรอทำการทดสอบ

สามารถดูภาพประกอบการเตรียมผิวหน้าการรับแรงของตัวอย่างได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.4.3



(ก.)



(ข.)



(ค.)

รูปที่ 3.4.3 ภาพประกอบการเตรียมผิวหน้าการรับแรงของตัวอย่างทดสอบ (ก.) นำระดับน้ำมาวัดระดับทั้ง 4 ด้านของตัวอย่างทดสอบเพื่อให้ได้ระดับทั้งแนวราบและแนวตั้ง (ข.) ทำการเคลือบผิวหน้าส่วนที่ต้องรับแรงกด ทั้งสองด้าน โดยใช้ปูนพลาสติกผสมน้ำ (ค.) รูปภาพตัวอย่างทดสอบที่ทำการเคลือบผิวหน้าทั้งสองด้านเสร็จแล้ว

3.5 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลและการเก็บข้อมูลคุณสมบัติเชิงกลของตัวอย่างทดสอบ

ในการทดสอบตัวอย่างในการศึกษานี้ ใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลสองตัว คือ เครื่องทดสอบเอนกประสงค์และ Data logger โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. หลังจากการเคลือบผิวหน้าที่ใช้ในการรับแรงของตัวอย่างทดสอบเสร็จแล้ว ทำการขีดเส้นระบุตำแหน่งช่วงที่จะติดตั้ง LVDT แนวตั้งโดยมีระยะประมาณ 20 เซนติเมตร ห่างจากขอบตัวอย่างทดสอบด้านบนและล่าง ด้านละประมาณ 10 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (ก.)
2. ทำการติดตั้ง LVDT แนวตั้งตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้ และติดตั้ง LVDT แนวราบ ด้านข้างตัวอย่างทดสอบที่กึ่งกลางหน้าตัดด้านข้างของตัวอย่างทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (ข.)
3. ทำการต่อสายข้อมูล LVDT ทั้งแนวตั้งและแนวราบเข้ากับเครื่อง Data logger และต่อสายข้อมูล Load จากเครื่องทดสอบเอนกประสงค์เข้ากับเครื่อง Data logger เพื่อดึงข้อมูล Load และระยะการเคลื่อนตัวของตัวอย่างทดสอบ(ทั้งแนวตั้งและแนวราบ)ในช่วงที่ติดตั้ง LVDT ในตัวอย่างทดสอบเป็นข้อมูลชุดที่สอง หลังจากเซตเครื่องและทดสอบตัวอย่างทดสอบจนวิบัติ
4. สำหรับเครื่องเอนกประสงค์ สามารถดึงข้อมูล Load และระยะการเคลื่อนตัวของตัวอย่างทดสอบ(แนวตั้ง)ได้จากเครื่องทดสอบโดยตรงเลยหลังจากเซตเครื่องและทดสอบตัวอย่างจนวิบัติเป็นข้อมูลชุดที่หนึ่ง

ในการทดสอบตัวอย่างในการศึกษานี้ แบ่งการเก็บข้อมูลเป็นสองส่วน คือ

1. ข้อมูล Load (กก.) และระยะการเคลื่อนตัวหัวกดของเครื่อง UTM (มิลลิเมตร) ที่ได้จากเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (UTM)
2. ข้อมูล Load (กก.) ที่ได้จากเครื่องทดสอบเอนกประสงค์และระยะการเคลื่อนตัวของ LVDT ที่ได้จาก Data logger เนื่องจาก ข้อมูล Load (กก.) ที่ได้จาก Data logger มีค่า Error ต่างจากค่า Load (กก.) ที่ได้จากเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ ผู้จัดทำจึงทำการจับข้อมูล Load (กก.) ที่ได้จากเครื่องทดสอบเอนกประสงค์คู่กับระยะการเคลื่อนตัวอย่าง LVDT ที่ได้จาก Data logger โดยการเทียบเวลาที่ตรงกัน



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 3.5 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล (ก.) ทำการขีดเส้นระบุตำแหน่งช่วงที่จะติดตั้ง LVDT แนวตั้งโดยมีระยะประมาณ 20 เซนติเมตร ห่างจากขอบตัวอย่างทดสอบด้านบนและล่าง ด้านละประมาณ 10 เซนติเมตร (ข.) ทำการติดตั้ง LVDT แนวตั้งตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้ และติดตั้ง LVDT แนวราบด้านข้างตัวอย่างทดสอบที่กึ่งกลางหน้าตัดด้านข้างของตัวอย่างทดสอบ

3.6 การติดตั้งตัวอย่างและการทดสอบตัวอย่าง

ในการทดสอบจะใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ดังแสดงในรูป 3.2.5 การติดตั้งตัวอย่างและก่อนทำการทดสอบจะต้องตรวจสอบตัวอย่างก่อน โดยจะต้องให้ตัวอย่างทดสอบอยู่ในสภาพสมบูรณ์ จากนั้นจึงเริ่มดำเนินการทดสอบโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

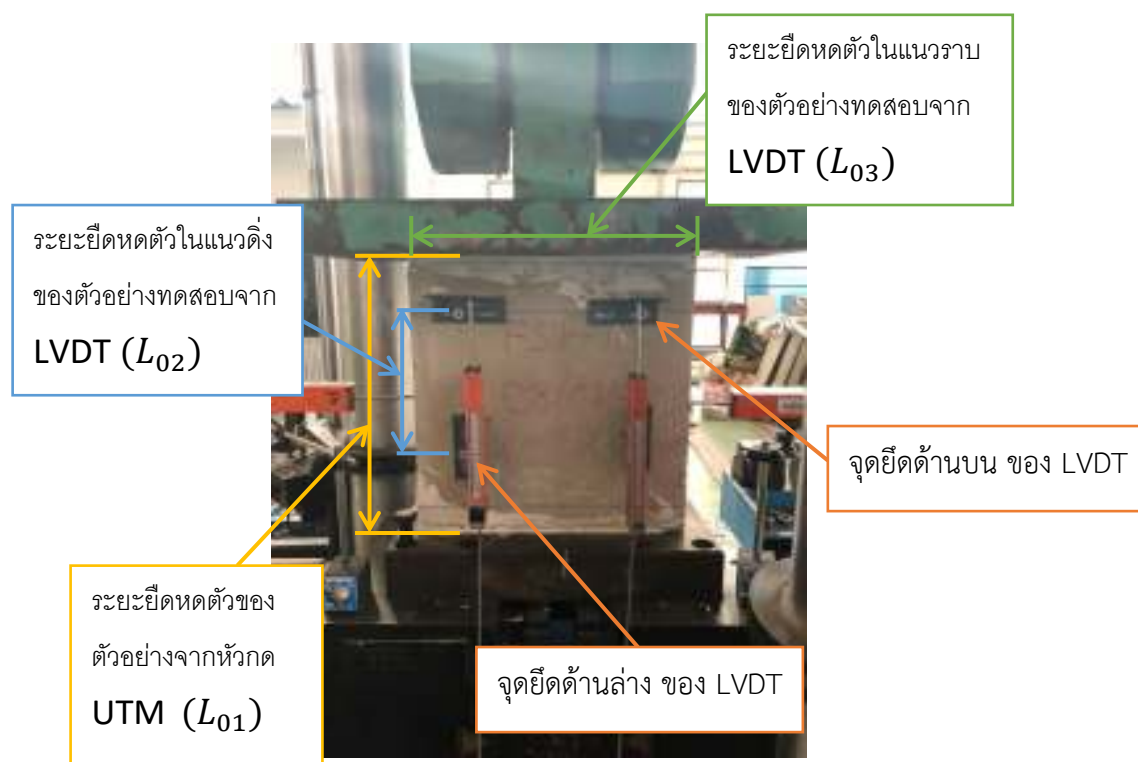
- 1.) การติดตั้งตัวอย่างทดสอบ ทำโดยการนำเหล็กที่มีความหนาตามกำหนดและมีขนาดใหญ่กว่าตัวอย่างทดสอบมาวางรองไว้ด้านล่าง 1 แผ่นและด้านบนตัวอย่าง 1 แผ่น(หน้าตัดหัวกดของเครื่องทดสอบเอนกประสงค์) เพื่อที่จะรับแรงกดจากหัวกดของเครื่องทดสอบกระจายตัวไปยังตัวอย่างทดสอบสม่ำเสมอเต็มพื้นที่รับแรง ดังแสดงในรูปที่ 3.6
- 2.) นำตัวอย่างทดสอบที่ติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล ดังแสดงในบทที่ 3.5 มาติดตั้งในเครื่องทดสอบ
- 3.) ทำการทดสอบโดยการให้แรงกดกับตัวอย่างทดสอบจนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ โดยจะทำการบันทึกค่าตลอดเวลาที่ใช้ในการทดสอบ(ทั้งจาก Data logger และเครื่อง UTM)

ได้ข้อมูลออกมาสองชุด แล้วนำค่าที่ได้จากการทดสอบ มาหาค่าความเค้น (Stress)

ความเครียด (Strain) อีลาสติกโมดูลัสและค่าความเหนียว ต่อไป

- 4.) บันทึกและถ่ายรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบต่อไป
- 5.) ผลการทดสอบที่คาดว่าจะได้รับ

ในการทดสอบผนังมวลเบามอร์ตาร์เสริมเหล็กและพลาสติกโฟมผู้ทำการทดลองคาดหวังว่าผลการทดลองและพารามิเตอร์ต่างๆที่ควรจะได้มีดังนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress – Strain), ค่าอีลาสติกโมดูลัส (Elastic modulus), รูปแบบความเสียหายการแตกร้าว (Failure pattern), ความเหนียว (Ductility), เปรียบเทียบข้อมูลกับผนังอิฐมวลเบาและรูปแบบของผนังอิฐมวลเบาที่เหมาะสม



รูปที่ 3.6 รูปแสดงการติดตั้งเครื่องมือสำหรับการทดสอบแรงอัด

บทที่ 4

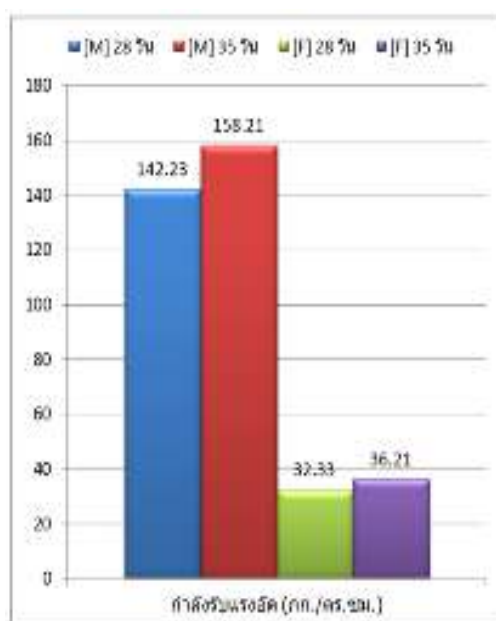
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์

จากการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ ที่ใช้ในการหล่อตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการศึกษานี้ โดยใช้อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์แบบผสมเองและสำเร็จรูปที่ต่างกันดังที่แสดงไว้ในบทที่ 3 ในการทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์จะใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์ที่มีขนาด $5 \times 5 \times 5$ ซม. ที่อายุ 28 วันและ 35 วัน ซึ่งได้ผลการทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์แต่ละประเภท ดังต่อไปนี้

- ปูนซีเมนต์แบบผสม [M] ที่อายุ 28 วัน มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 142.23 กก./ตร.ซม.
- ปูนซีเมนต์แบบผสม [M] ที่อายุ 35 วัน มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 158.21 กก./ตร.ซม.
- ปูนซีเมนต์แบบสำเร็จรูป [F] ที่อายุ 28 วัน มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 32.33 กก./ตร.ซม.
- ปูนซีเมนต์แบบสำเร็จรูป [F] ที่อายุ 35 วัน มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 36.21 กก./ตร.ซม.

รูปที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของกำลังอัดสูงสุดของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์แต่ละประเภท จะเห็นว่ามอร์ตาร์ที่มีกำลังรับแรงอัดสูงสุดคือปูนซีเมนต์แบบผสม [M] โดยความแตกต่างอัตราส่วนร้อยละที่อายุ 28 วันกับ 35 วัน อยู่ที่ร้อยละ 111 และมอร์ตาร์ที่มีกำลังรับแรงอัดน้อยที่สุดคือปูนซีเมนต์แบบสำเร็จรูป [F] โดยความแตกต่างอัตราส่วนร้อยละที่อายุ 28 วันกับ 35 วัน อยู่ที่ร้อยละ 112 และค่าความแตกต่างอัตราส่วนร้อยละระหว่างปูนซีเมนต์แบบผสมกับปูนซีเมนต์แบบสำเร็จรูป อยู่ที่ร้อยละ 440



รูปที่ 4.1 แผนภูมิค่าเฉลี่ยของกำลังอัดสูงสุดของมอร์ตาร์ (กก./ตร.ชม.)

4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการศึกษา

คุณสมบัติเบื้องต้นที่จำเป็นต่อการนำไปใช้คำนวณหาคุณสมบัติเชิงกลของตัวอย่างทดสอบในภายหลัง เช่น การชั่งน้ำหนัก การวัดขนาดของตัวอย่างทดสอบ และการวัดระยะยึดหดของตัวอย่างทดสอบด้วย LVDT ทั้งแนวดิ่งและแนวราบ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2 จากขั้นตอนการวัดขนาดเบื้องต้นพบว่าขนาดโดยเฉลี่ย เท่ากับ $9.85 \times 39.9 \times 40$ ซม. ระยะยึดหดตัวของตัวอย่างทดสอบด้วย LVDT แนวดิ่ง 18.75-25.2 ซม. ระยะ LVDT แนวราบ 39.99-40.2 ซม. การติดตั้งตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบและวิธีการติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องมือทดสอบ รวมไปถึงการติดตั้ง เครื่องมือวัดต่างๆ ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 3

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างทดสอบ

ประเภท ปูนซีเมนต์	ตัวอย่าง ทดสอบ	น้ำหนัก (กก.)	น้ำหนัก เฉลี่ย (กก.)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูงหรือ L_{01} (ซม.)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	L_{02} (ซม.)	L_{03} (ซม.)
MS1	MS1-1	24.2	24.35	10	40.2	40	402	21.75	40.2
	MS1-2	24.5		10	40	40	400	22.45	40
MS2	MS2-1	25.68	25.23	10.3	40.2	40	414.06	19.84	40.2
	MS2-2	24.78		10	40	40	400	20.25	40
MT1	MT1-1	26.08	25.66	9.8	40	40	392	20.8	40
	MT1-2	25.24		9.9	40	40	396	21.25	40
FS1	FS1-1	19.12	18.62	10	40	40	400	20.7	40
	FS1-2	18.12		9.4	39	40	366.6	23.35	39
FS2	FS2-1	20.02	20.06	10	40	40	400	20.35	40
	FS2-2	20.08		10.1	39.9	40	402.99	19.75	39.9
	FS2-3	20.08		9.8	40	40	392	18.75	40
FT1	FT1-1	20.46	20.53	9.5	39.9	40	379.05	25.2	40
	FT1-2	20.60		9.3	40	40	372	25.1	40

*หมายเหตุ เนื่องจากในระหว่างการทดสอบมีตัวอย่างทดสอบบางตัว เกิดการ Split ระหว่างรอยต่อช่วงพลาสติกโฟมกับปูนซีเมนต์ก่อนที่จะวัดตัวอย่างจะวิบัติ ผู้ทำการทดสอบจึงตัดค่าการทดสอบของบางตัวอย่างทดสอบออก จากข้อมูล 18 ตัวอย่างเหลือ 13 ตัวอย่างทดสอบ

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและรูปแบบการวิบัติของผนังอิฐมวลเบาภายใต้แรงอัด

ในการทดสอบกำลังอัดของผนังอิฐมวลเบานั้น ได้มีการตรวจวัดค่าแรงกดและค่าการหดตัวของตัวอย่างทดสอบตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ จากนั้นจึงนำค่าแรงกดสูงสุดที่ตัวอย่างทดสอบสามารถรับได้มาหาค่าความเค้น (stress) และหาค่าความเครียด (strain) ที่จุดที่ตัวอย่างทดสอบมีค่าความเค้นสูงสุด โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยจากการทดสอบพบว่ากำลังอัดเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบมีความแตกต่างกันพอสมควรขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์, ขนาดของตะแกรงกรงไก่, รูปแบบการจัดวางพลาสติกโฟม และการ Split ของตัวอย่างทดสอบ ในกรณีตัวอย่างทดสอบประเภทปูนซีเมนต์มอร์ตาร์แบบผสม [M] พบว่าตัวอย่างทดสอบที่ใช้ตะแกรงกรงไก่สองชั้น รูปแบบพลาสติกโฟมแบบสี่เหลี่ยม [MS2] มีกำลังอัดเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 89.4 กก./ตร.ม ในขณะที่ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ตะแกรงกรงไก่หนึ่งชั้น รูปแบบพลาสติกโฟมแบบสี่เหลี่ยม [MS1] ให้กำลังอัดเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 85.15 กก./ตร.ม และในกรณีตัวอย่างทดสอบประเภทปูนซีเมนต์มอร์ตาร์แบบสำเร็จ [F] พบว่าตัวอย่างทดสอบที่ใช้ตะแกรงกรงไก่สองชั้น รูปแบบพลาสติกโฟมแบบสี่เหลี่ยม มีกำลังอัดเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 24.91 กก./ตร.ม. ในขณะที่ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ตะแกรงกรงไก่หนึ่งชั้น รูปแบบพลาสติกโฟมแบบสี่เหลี่ยม ให้กำลังอัดเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 21.78 กก./ตร.ม. อย่างไรก็ตามพบว่าตัวอย่างทดสอบบางตัวในการทดสอบมีการ Spit ในระหว่างการทดสอบจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบอย่างทีกล่าวไปข้างต้น ทำให้ตัวอย่างทดสอบบางตัวมีกำลังอัดเฉลี่ยที่ต่ำกว่าตัวอย่างในประเภทเดียวกัน ผู้ทำการทดสอบจึงตัดค่าตัวอย่างทดสอบบางตัวที่มีการ Split ออกจากผลการทดสอบ จากค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่ได้กล่าวมานี้สามารถสรุปได้ว่า ขนาดของตะแกรงเหล็กมีส่วนช่วยให้กำลังอัดของตัวอย่างทดสอบเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างทดสอบที่การวางพลาสติกโฟมแบบเดียวกัน [MS1] ,ประเภทปูนซีเมนต์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก ทั้งนี้เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภท จะก่อให้เกิดกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ หรือจะกล่าวได้ว่าคุณสมบัติของวัสดุผสมที่แตกต่างกันส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่แตกต่างกัน และรูปแบบการวางพลาสติกโฟมแบบสามเหลี่ยมมีส่วนช่วยให้กำลังอัดของตัวอย่างทดสอบเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างมากนักเมื่อเทียบกับขนาดตะแกรงเหล็กที่เท่ากัน [MS1] เป็นผลมาจากปริมาตรพลาสติกโฟมที่ลดลง แต่แทนที่ด้วยปริมาตรของมอร์ตาร์ที่เพิ่มขึ้น หรือจะกล่าวได้ว่าเป็น ปริมาตรของวัสดุผสมที่แตกต่างกันส่งผลต่อกำลังอัดเฉลี่ยที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกำลังอัดของผนังอิฐมวลเบา

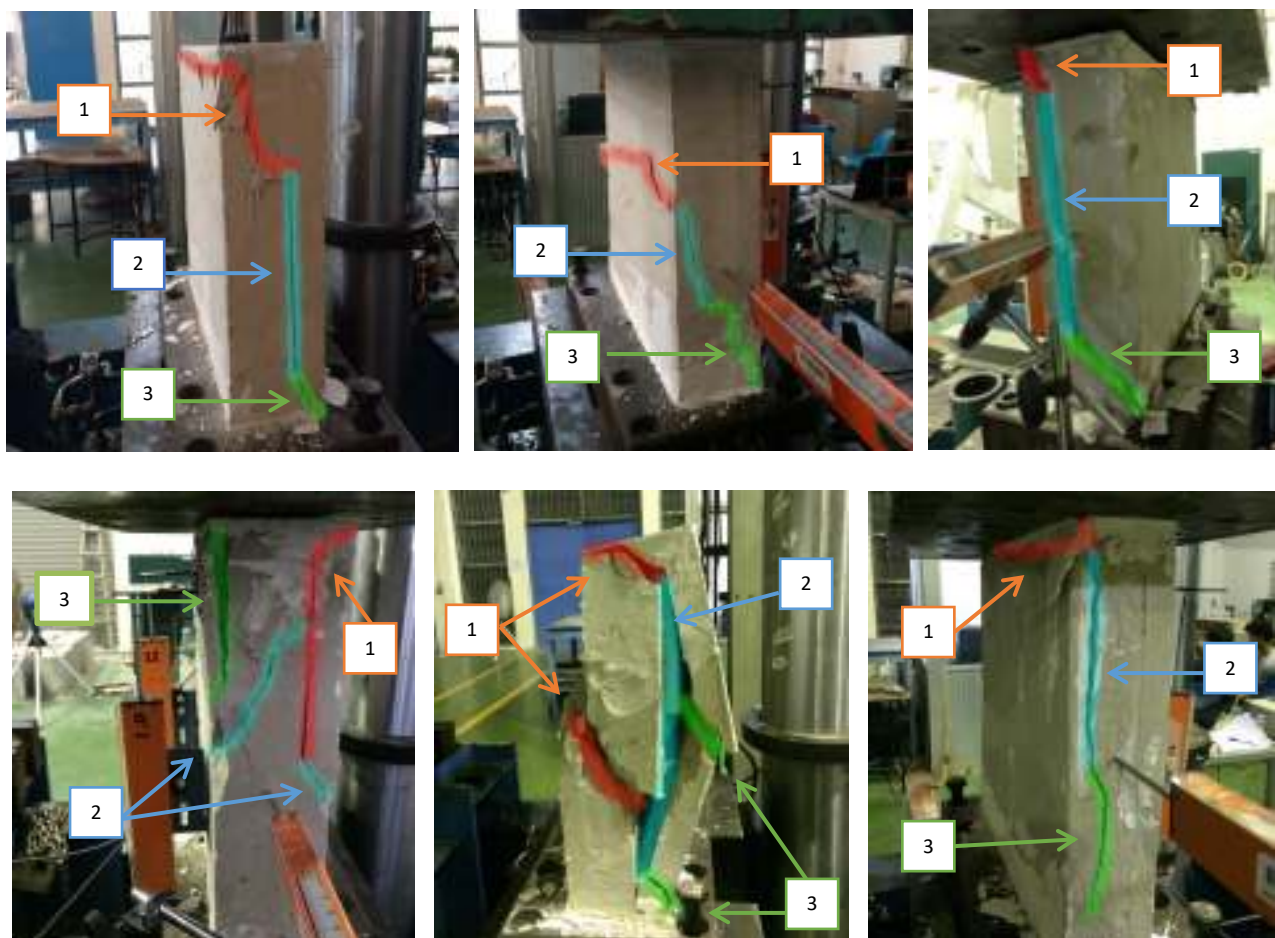
ผลการทดสอบและคำนวณของตัวอย่างทดสอบ							
ตัวอย่าง ทดสอบ	จุด Peak (กก.)	Stress (กก. /ตร.ม.)	Avg.Stress (กก. /ตร.ม.)	Strain จาก LVDT data (แนวตั้ง)	Avg.Strain จาก LVDT data	Strain จาก UTM (แนวตั้ง)	Avg.Strain จาก UTM
MS1	30889	76.84	85.15	0.0079	0.0093	0.0049	0.0047
	37384	93.46		0.0107		0.0044	
MS2	41402	99.99	89.40	0.0126	0.0130	0.0065	0.0062
	31520	78.80		0.0134		0.0058	
MT1	35360	90.20	87.83	0.0034	0.0052	0.0057	0.0051
	33838	85.45		0.0070		0.0045	
FS1	9627	24.07	20.97	0.0021	0.0014	0.0043	0.0048
	7145	17.86		0.0006		0.0052	
FS2	9811	24.53	24.91	0.0045*	0.0012	0.0045	0.0047
	9683	24.03		0.0014		0.0048	
	10254	26.16		0.0009		0.0047	
FT1	8600	22.69	21.38	0.0008	0.0008	0.0044	0.0045
	7467.4	20.07		-0.0006*		0.0045	

ปล. *ชุดข้อมูลที่ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ส่วนอื่นได้ โดยผู้ทำวิจัยจะอธิบายในข้อมูลส่วนนี้ใน

หัวข้อ 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดกับรูปแบบการวิบัติในลักษณะต่างๆ
ของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด

4.3.1 รูปแบบการวิบัติของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบของตัวอย่างภายใต้แรงอัดทั้งหมด 13 ตัวอย่าง พบว่า ตัวอย่างทดสอบมีรูปแบบการวิบัติแบบเดียวกันทั้งหมด คือตัวอย่างทดสอบมีการแตกร้าวที่ขึ้นส่วนของตัวอย่างบางจุดดังแสดงในหมายเลขที่ 1 ก่อนที่รอยร้าวนั้นจะมีทิศทางไปในทางที่เป็นรอยร้าวตามยาวของช่วงรอยต่อระหว่างปูนซีเมนต์และพลาสติกโฟมของตัวอย่างทดสอบดังแสดงในหมายเลขที่ 2 จนตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ (กำลังการรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบลดลง) หลังจากการวิบัติ จะเกิดการขยายตัวของรอยร้าวหรือรอยร้าวมีลักษณะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงรอยต่อระหว่างปูนซีเมนต์และพลาสติกโฟมจนเกิดการแยกชั้นดังแสดงในหมายเลขที่ 3 จะเรียกลักษณะการวิบัติแบบนี้ว่า Shear and split ดังรูปที่ 4.3.1 เป็นผลเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพลาสติกโฟมกับปูนซีเมนต์มีน้อย ในตำแหน่งที่เป็นจุดเชื่อมขอบของพลาสติกโฟมกับปูนซีเมนต์จึงเกิดความเสียหาย และยังบ่งบอกได้อีกว่าตะปูที่ใส่เชื่อมระหว่างการหล่อแบบเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพลาสติกโฟมกับปูนซีเมนต์นั้นไม่สามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดเหนี่ยวได้



รูปที่ 4.3.1 การวิบัติของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดกับรูปแบบการวิบัติในลักษณะต่างๆของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด

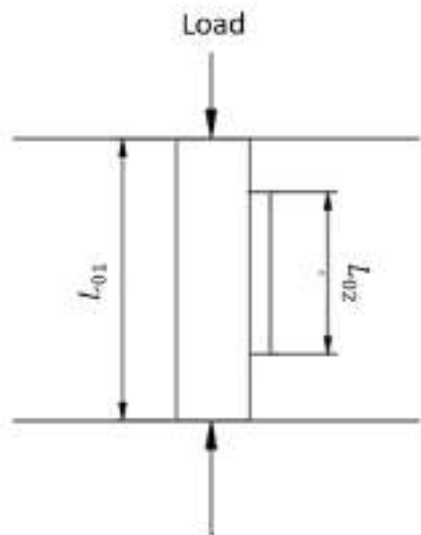
ในขั้นตอนการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างในการศึกษานี้ได้ทำการวัดค่าของแรงที่กระทำและการเสียรูปในแนวแรงของตัวอย่างทดสอบตลอดเวลา ได้ข้อมูลการทดสอบตัวอย่างแบ่งออกเป็นสองชุด ซึ่งรูปที่ 4.3.2.1 แสดงช่วงค่าความเครียดที่ได้ในแต่ละชุดข้อมูล โดยชุดแรกเป็นข้อมูล Stress (กก./ตร.ม.) และ Strain ที่ได้จากเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ UTM (L_{01}) ดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.3 (ก.) – 4.3.2.8 (ก.) ข้อมูลที่สองเป็นข้อมูลที่เกิดจากการจับข้อมูล Stress (กก./ตร.ม.) ที่ได้จากเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (UTM) คู่กับ Strain ของ LVDT ที่ได้จาก Data logger (L_{02}) โดยเทียบเวลาที่ตรงกันดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.3 (ข.) – 4.3.2.8 (ข.) ซึ่งสามารถนำข้อมูลทั้งสองชุดมาสร้างความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) พร้อมลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.3 ถึง 4.3.2.8 โดยที่รูปที่ 4.3.2.3 – 4.3.2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดพร้อมลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบประเภท [M] และรูปที่ 4.3.2.6 – 4.3.2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดพร้อมลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบชนิด [F]

จากรูปที่ 4.3.2.3 (ก.) – 4.3.2.8 (ก.) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทั้งหมด จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นเฉพาะช่วงที่ความเค้นมีค่าน้อย (ประมาณร้อยละ 20-70 ของความเค้นสูงสุด) กำลังอัดของตัวอย่างทดสอบจะขึ้นถึงค่าสูงสุดแล้วลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 70 ถึง 90 ของค่าเค้นสูงสุดหลังการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ ค่าความเค้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นผลมาจากการแยกชั้นของพลาสติกโฟมและปูนซีเมนต์ หลังจากการวิบัติของตัวอย่างในลักษณะ Shear and split ที่กล่าวมาในบทที่แล้ว และจากผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดของตัวอย่างทดสอบนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ ในส่วนของรูปแบบการวางพลาสติกโฟมและขนาดตะแกรงเหล็กนั้นพบว่าส่งผลโดยรวมที่ไม่ต่างกันมากนัก

จากรูปที่ 4.3.2.3 (ข.) – 4.3.2.8 (ข.) พบว่าเนื่องจากมีลักษณะการติดตั้ง LVDT ของตัวอย่างในช่วงๆหนึ่ง ไม่ใช่ตลอดความสูงตัวอย่างทดสอบ เป็นการวัดระยะการยืดหดตัวในช่วงกึ่งกลางตัวอย่างทดสอบ สามารถดูรูปประกอบระยะการติดตั้งการยืดหดของ LVDT (L_{02}) ได้ดัง

แสดงในรูปที่ 4.3.2.1 จึงทำให้ค่าความเครียดในช่วงแรกมีค่าน้อยมากของทุกตัวอย่าง เป็นผลเกิดจากการหดตัวในช่วงเหนือจุดที่จะทำการวัดค่าการยืดหดตัวของ LVDT ส่งผลให้ในช่วงแรกการหดตัวของตัวอย่างทดสอบเกิดขึ้นน้อย หลังจากนั้นค่าความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ จะพบว่าในช่วงที่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าแตกต่างกันเมื่อเทียบจุดต่อจุดกับกราฟจากรูปที่ 4.3.2.3 (ก.) – 4.3.2.8 (ก.) โดยที่ตัวอย่างทดสอบประเภทปูนซีเมนต์แบบผสมวางรูปแบบพลาสติกโฟมสี่เหลี่ยม [MS1,MS2] มีการหดตัวหรือค่าความเครียดที่สูงในช่วงกึ่งกลางตัวอย่างทดสอบ แต่ตัวอย่างทดสอบประเภทปูนซีเมนต์แบบผสมวางรูปแบบพลาสติกโฟมแบบสามเหลี่ยม [MT1] มีการหดตัวหรือค่าความเครียดอย่างต่อเนื่องในช่วงตลอดความสูงของตัวอย่างทดสอบ เป็นผลเนื่องมาจากปริมาตรปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีมากกว่าในช่วงกึ่งกลางของตัวอย่างประเภท [MS1,MS2] เมื่อเทียบกับตัวอย่างประเภท [MT1] แต่กับพบว่าในตัวอย่างประเภทปูนซีเมนต์แบบสำเร็จ [FS1,FS2 และ FT1] กับมีลักษณะหดตัวหรือค่าเครียดอย่างต่อเนื่องในช่วงตลอดความสูงของตัวอย่างทดสอบ [$Strain(L_{01}) > Strain(L_{02})$] เป็นผลที่บ่งบอกว่าปูนซีเมนต์ประเภทสำเร็จมีการยุบตัวที่สูงกว่าปูนซีเมนต์ประเภทผสม และยังพบว่าตัวอย่างทดสอบเกิดการแยกชั้นระหว่างพลาสติกโฟมกับปูนซีเมนต์ทั้งหลังจุดวิบัติและค่าความเค้นที่ร้อยละ 70 ถึง 90 ของค่าความเค้นสูงสุดหลังการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ ทำให้ค่าความเครียดที่ได้จาก LVDT (L_{02}) มีทั้งยืดและหดตัวโดยไร้ทิศทาง ดังแสดงในภาพอย่างง่ายที่ 4.3.2.2 แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ในกราฟนี้ ผู้ทำการทดสอบสนใจแค่ในช่วงการทดสอบจนถึงจุดวิบัติ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลในชุดแรก

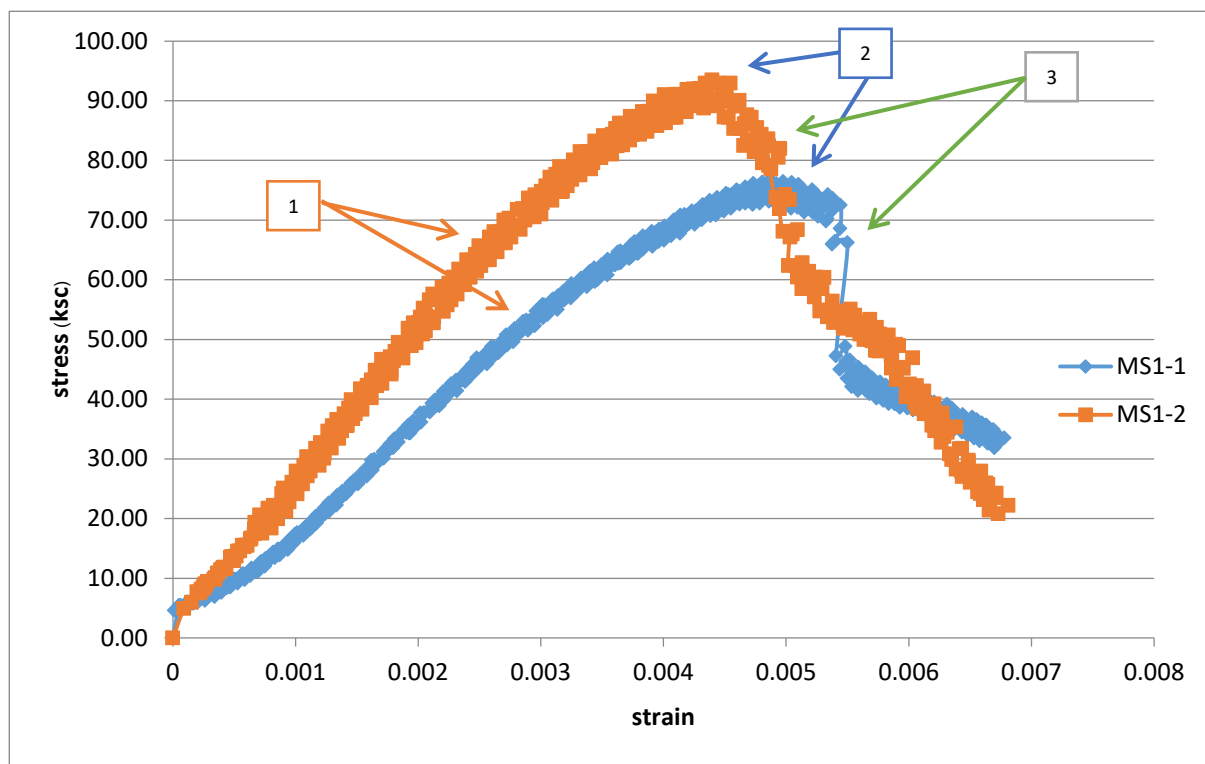
*หมายเหตุ เนื่องจากตัวอย่างทดสอบมีการวิบัติในลักษณะ Shear and split แยกชั้นระหว่างพลาสติกโฟมกับปูนซีเมนต์ ดังที่ได้กล่าวไปในบทที่แล้ว จึงทำให้ค่า Strain ในแนวราบของตัวอย่างทดสอบมีค่าน้อยมาก เพราะตัวอย่างทดสอบเกิดการแยกชั้นระหว่างพลาสติกโฟมกับปูนซีเมนต์ก่อนที่จะยืดตัวออกด้านข้าง ผู้ทำการทดสอบจึงไม่ได้จัดทำ Stress-Strain ในแนวราบและค่าปัวซอง



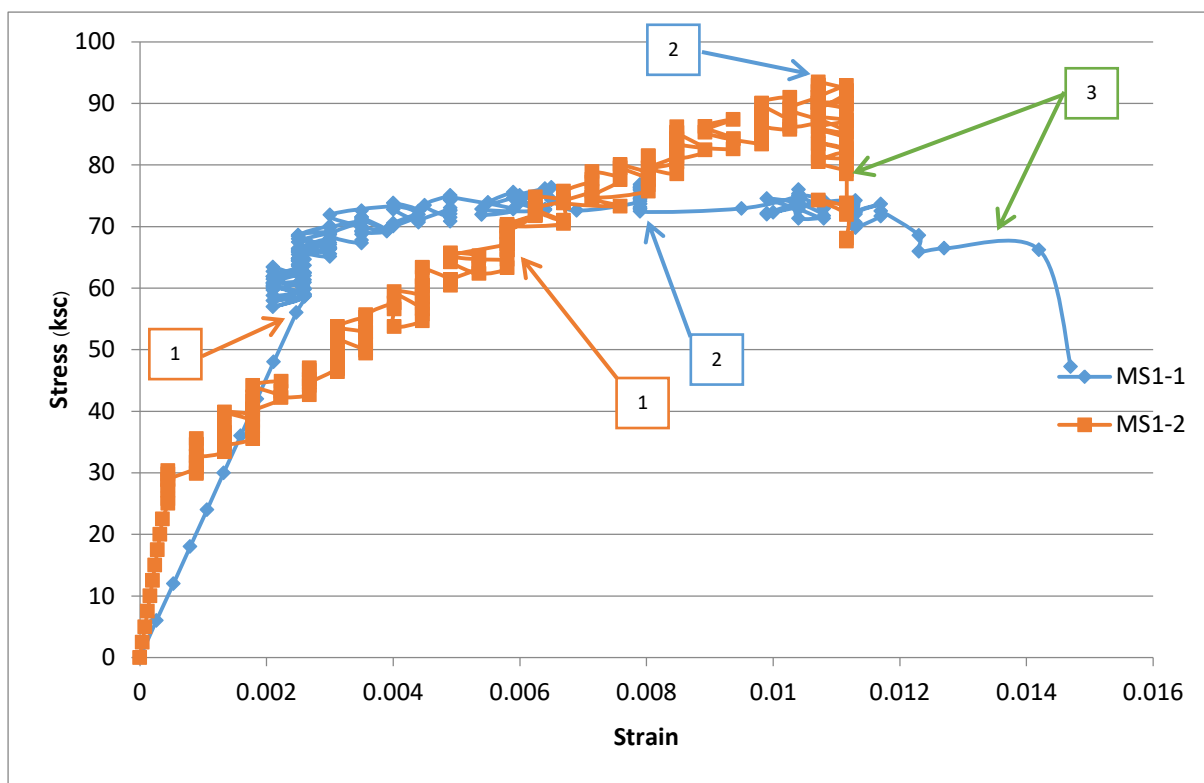
รูปที่ 4.3.2.1 แสดงช่วงค่าความเครียดที่ได้ในแต่ละชุดข้อมูล



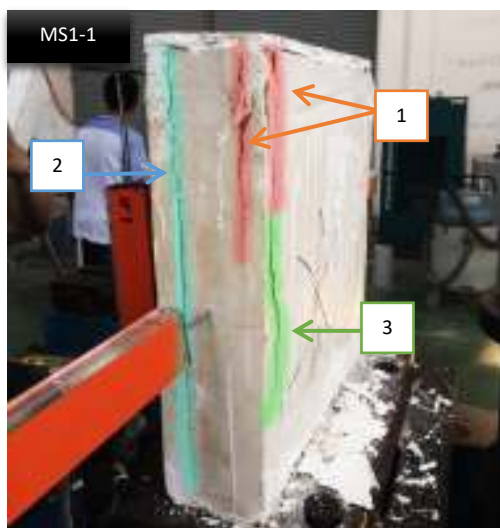
รูปที่ 4.3.2.2 หลังจุดวิบัติหรือที่จุดค่าความเครียดที่ร้อยละ 70 ถึง 90 ของค่าความเค้นสูงสุดหลังการวิบัติ ทำให้ค่าความเครียดที่ได้จาก LVDT (L_{02}) มีทั้งยืดและหดตัวโดยไร้ทิศทาง



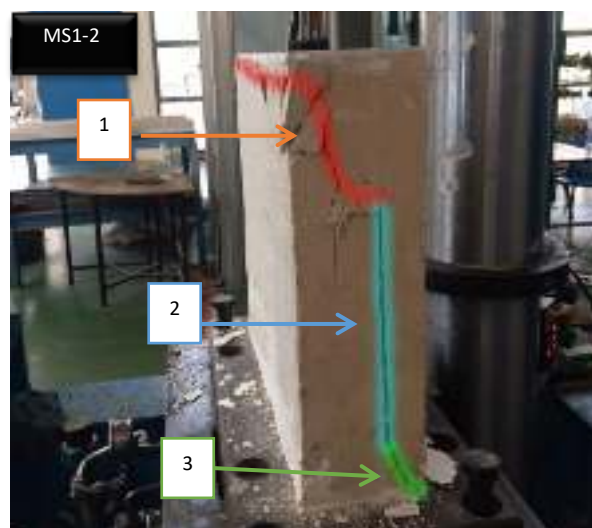
(ก.)



(ข.)



(ค.)



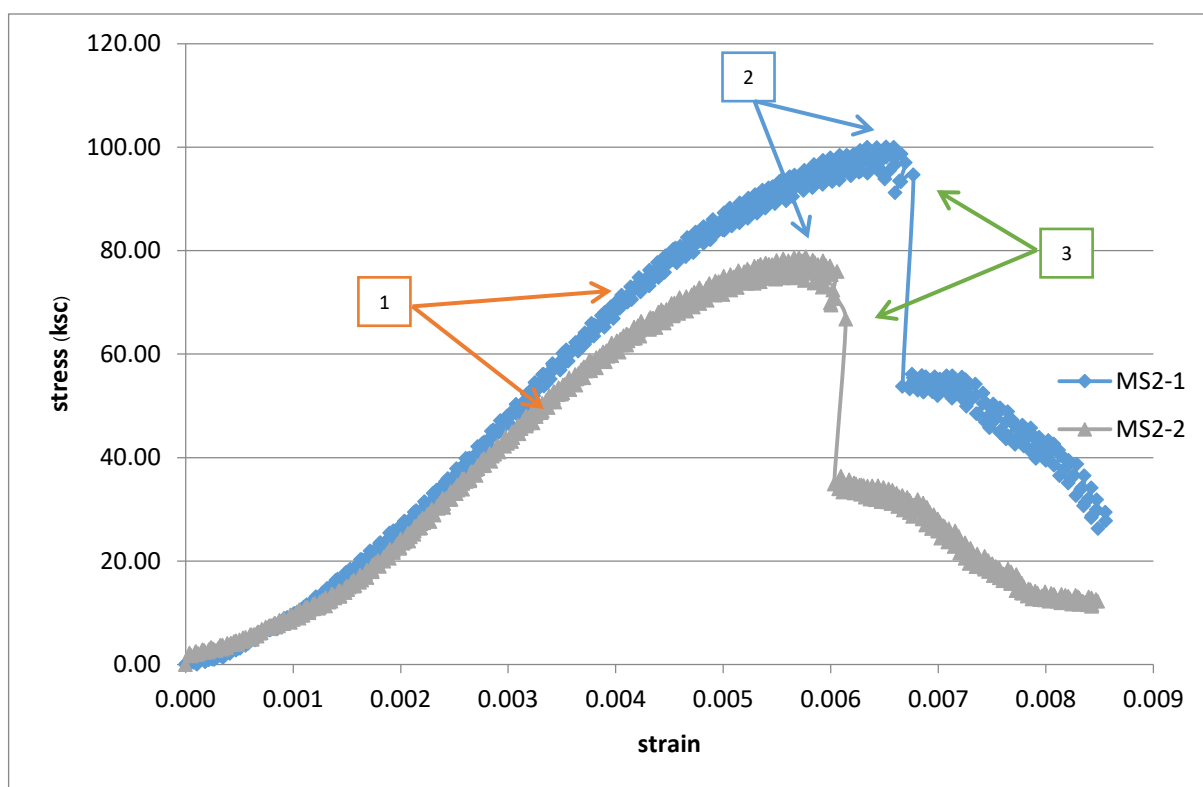
(ง.)

รูปที่ 4.3.2.3 (ก.) กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของตัวอย่างประเภท MS1 (ข.) กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของตัวอย่างประเภท MS1 จากข้อมูลชุดที่สอง (ค.) ลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง MS1-1 (ง.) ลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง MS1-2

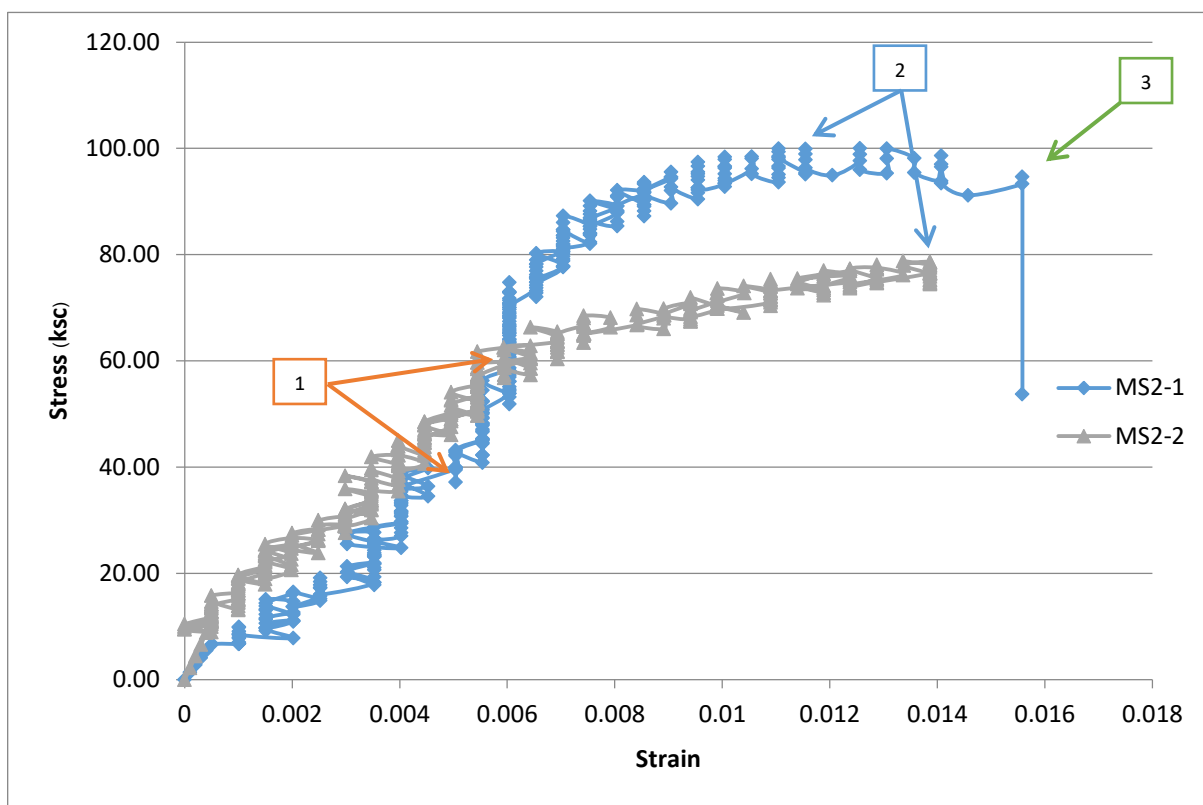
จากรูปที่ 4.3.2.3 (ก.) พบว่าในช่วงแรกค่าความเค้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งที่ค่าความเค้นมีค่าประมาณร้อยละ 20-70 ของความเค้นสูงสุด ค่าความเค้นจะเพิ่มขึ้นคงที่อย่างต่อเนื่อง และค่าความเครียดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ และยังพบอีกว่าในช่วงที่ความเค้นมีค่าประมาณร้อยละ 60-70 ของความเค้นสูงสุด ตัวอย่างการทดสอบจะเริ่มเกิดรอยร้าวขึ้นดังแสดงในหมายเลขที่ 1 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.3 (ค.)และ(ง.) จากนั้นรอยร้าวจะมีทิศทางไปในทางที่เป็นรอยร้าวตามยาวของช่วงรอยต่อระหว่างปูนซีเมนต์และพลาสติกโฟมของตัวอย่างทดสอบดังแสดงในหมายเลขที่ 2 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.3 (ค.)และ(ง.) จนตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ (กำลังการรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบลดลง) ซึ่งได้ค่าความเค้น เฉลี่ยสูงสุดของตัวอย่างประเภท MS1 เท่ากับ 85.15 กก./ตร.ม. หลังจากค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 80 ถึง 85 ของค่าเค้นสูงสุดหลังการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ ค่าความเค้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ค่าความเครียดยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องพร้อมทั้งเกิดการขยายตัวของรอยร้าวและรอยร้าวมีลักษณะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงรอยต่อระหว่างปูนซีเมนต์และพลาสติกโฟมจนเกิดการแยกชั้นดังแสดงในหมายเลขที่ 3 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.3 (ค.)และ(ง.)

และจากกราฟรูปที่ 4.3.2.3 (ข.) มีแนวโน้มลักษณะการวิบัติ 1,2และ3 ตามลำดับคล้ายกับกราฟรูปที่ 4.3.2.3 (ก.) และพบว่าค่าความเครียดในช่วงแรกมีค่าน้อยมากของตัวอย่างทดสอบ เป็นผลเกิดจากการหดตัวในช่วงเหนือจุดที่จะทำการวัดค่าการยืดหดตัวของ LVDT ดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.1 ส่งผลให้ในช่วงแรกการหดตัวของตัวอย่างทดสอบเกิดขึ้นน้อย หลังจากนั้น ค่าความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ จะพบว่าในช่วงที่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าแตกต่างกันเมื่อเทียบจุดต่อจุดกับกราฟจากรูปที่ 4.3.2.3 (ก.) โดยตัวอย่างทดสอบประเภท MS1 มีค่าความเครียดเฉลี่ยที่จุดความเค้นสูงสุด เท่ากับ 0.0047 จากกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.3 (ก.) แต่มีค่าความเครียดที่จุดความเค้นสูงสุด เท่ากับ 0.0093 จากกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.3 (ข.) เป็นผลที่บ่งบอกว่าตัวอย่างการทดสอบไม่ได้หดตัวอย่างต่อเนื่องในช่วงตลอดความสูงของ

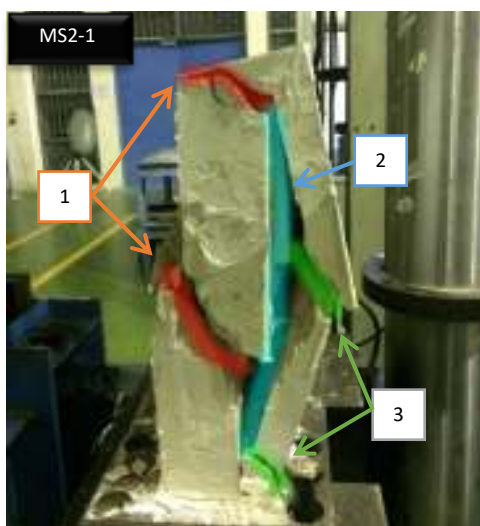
ตัวอย่างทดสอบ แต่ตัวอย่างทดสอบมีการหดตัวสูงในช่วงกึ่งกลางตัวอย่างทดสอบ และหลังจากค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 80 ถึง 85 พบว่าค่าความเครียดจะมีทิศทางไร้เชิงเส้น เนื่องมาจากการแยกชั้นของตัวอย่างทดสอบดังที่กล่าวมาข้างต้น เป็นผลให้ตัวอย่างทดสอบรับแรงอัดได้ไม่ตลอดทั้งหน้าตัด ทำให้ค่าความเครียดที่ได้จาก LVDT มีทั้งยืดและหดตัวโดยไร้ทิศทาง ผู้ทำการทดสอบจึงทำการตัดค่าหลังจากช่วงนี้ออก



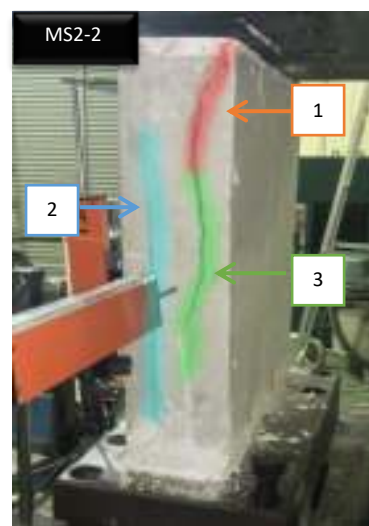
(ก.)



(ආ.)



(ක.)



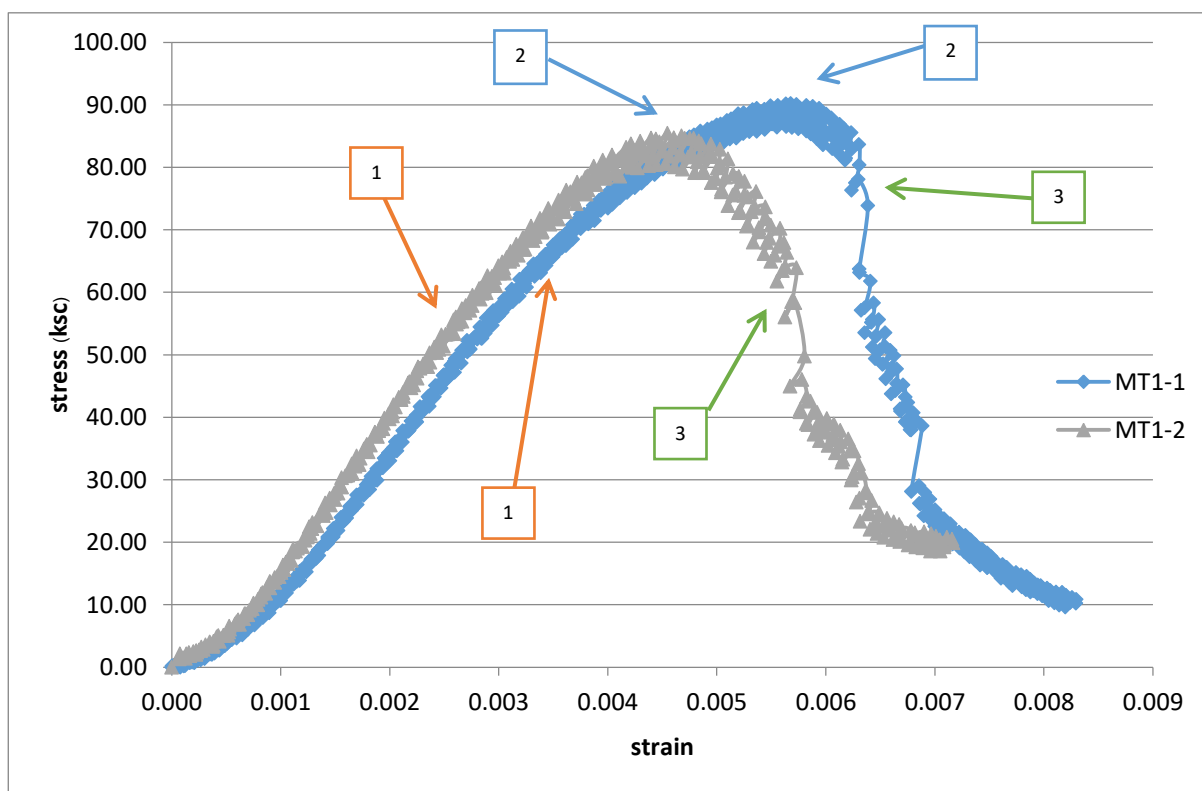
(ඈ.)

รูปที่ 4.3.2.4 (ก.) กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของตัวอย่างประเภท MS2 (ข.) กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของตัวอย่างประเภท MS2 จากข้อมูลชุดที่สอง (ค.) ลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง MS2-1 (ง.) ลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง MS2-2

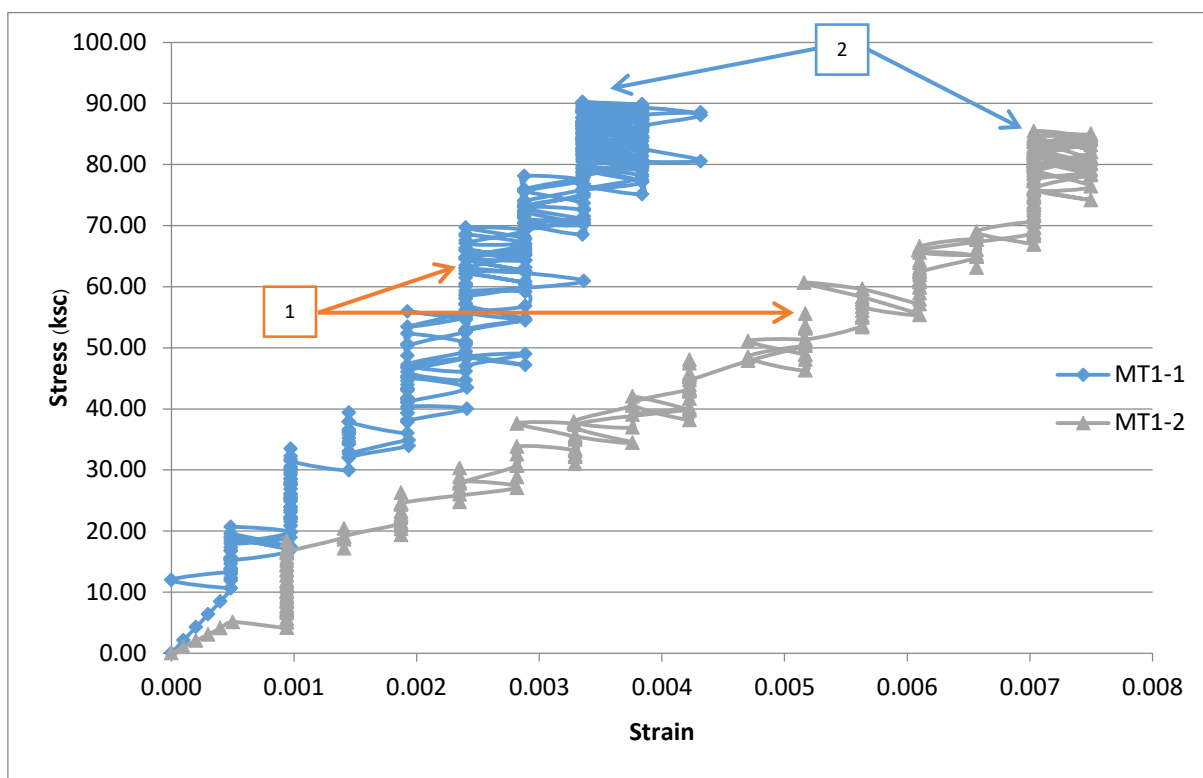
จากรูปที่ 4.3.2.4 (ก.) พบว่าในช่วงแรกค่าความเค้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งที่ค่าความเค้นมีค่าประมาณร้อยละ 20-70 ของความเค้นสูงสุด ค่าความเค้นจะเพิ่มขึ้นคงที่อย่างต่อเนื่อง และค่าความเครียดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ และยังพบอีกว่าในช่วงที่ความเค้นมีค่าประมาณร้อยละ 60-70 ของความเค้นสูงสุด ตัวอย่างการทดสอบจะเริ่มเกิดรอยร้าวขึ้นดังแสดงในหมายเลขที่ 1 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.4 (ค.)และ(ง.) จากนั้นรอยร้าวจะมีทิศทางไปในทางที่เป็นรอยร้าวตามยาวของช่วงรอยต่อระหว่างปูนซีเมนต์และพลาสติกโฟมของตัวอย่างทดสอบดังแสดงในหมายเลขที่ 2 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.4 (ค.)และ(ง.) จนตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ (กำลังการรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบลดลง) ซึ่งได้ค่าความเค้น เฉลี่ยสูงสุดของตัวอย่างประเภท MS2 เท่ากับ 89.40 กก./ตร.ม. หลังจากค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 85 ถึง 90 ของค่าเค้นสูงสุดหลังการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ ค่าความเค้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ค่าความเครียดยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องพร้อมทั้งเกิดการขยายตัวของรอยร้าวและรอยร้าวมีลักษณะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงรอยต่อระหว่างปูนซีเมนต์และพลาสติกโฟมจนเกิดการแยกชั้นดังแสดงในหมายเลขที่ 3 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.4 (ค.)และ(ง.)

และจากกราฟรูปที่ 4.3.2.4 (ข.) มีแนวโน้มลักษณะการวิบัติ 1,2และ3 ตามลำดับคล้ายกับกราฟรูปที่ 4.3.2.4 (ก.) และพบว่าค่าความเครียดในช่วงแรกมีค่าน้อยมากของตัวอย่างทดสอบ เป็นผลเกิดจากการหดตัวในช่วงเหนือจุดที่จะทำการวัดค่าการยืดหดตัวของ LVDT ดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.1 ส่งผลให้ในช่วงแรกการหดตัวของตัวอย่างทดสอบเกิดขึ้นน้อย หลังจากนั้น ค่าความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ จะพบว่าในช่วงที่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าแตกต่างกันเมื่อเทียบจุดต่อจุดกับกราฟจากรูปที่ 4.3.2.4 (ก.) โดยตัวอย่างทดสอบประเภท MS2 มีค่าความเครียดเฉลี่ยที่จุดความเค้นสูงสุด เท่ากับ 0.0062 จากกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.4 (ก.) แต่มีค่าความเครียดที่จุดความเค้นสูงสุด เท่ากับ 0.0130 จากกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.4 (ข.) เป็นผลที่บ่งบอกว่าตัวอย่างการทดสอบไม่ได้หดตัวอย่างต่อเนื่องในช่วงตลอดความสูงของ

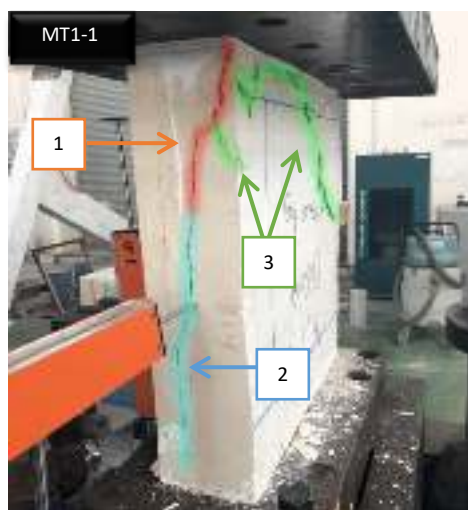
ตัวอย่างทดสอบ แต่ตัวอย่างทดสอบมีการหดตัวสูงในช่วงกึ่งกลางตัวอย่างทดสอบ และหลังจากค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 85 ถึง 90 พบว่าค่าความเครียดจะมีทิศทางไร้เชิงเส้น เนื่องมาจากการแยกชั้นของตัวอย่างทดสอบดังที่กล่าวมาข้างต้น เป็นผลให้ตัวอย่างทดสอบรับแรงอัดได้ไม่ตลอดทั้งหน้าตัด ทำให้ค่าความเครียดที่ได้จาก LVDT มีทั้งยืดและหดตัวโดยไร้ทิศทาง ผู้ทำการทดสอบจึงทำการตัดค่าหลังจากช่วงนี้ออกสำหรับตัวอย่างทดสอบ MS2-1 แต่ในตัวอย่างที่ MS2-2 กับพบค่าความเครียดไร้เชิงเส้นหลังจุดวิบัติ ผู้ทำการทดสอบจึงทำการตัดค่าหลังจากจุดวิบัติออก



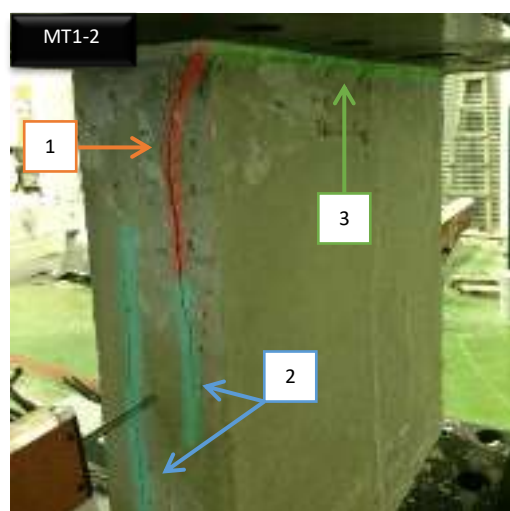
(ก.)



(ข.)



(ค.)



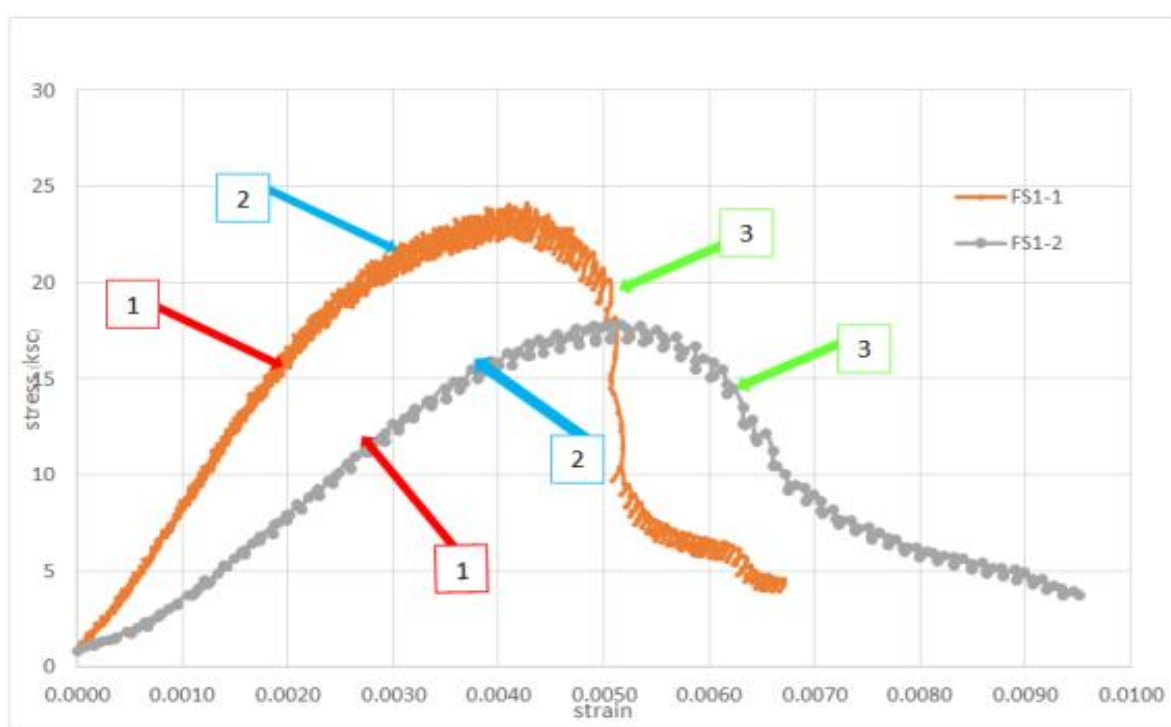
(ง.)

รูปที่ 4.3.2.5 (ก.) กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของตัวอย่างประเภท MT1 (ข.) กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของตัวอย่างประเภท MT1 จากข้อมูลชุดที่สอง (ค.) ลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง MT1-1 (ง.) ลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง MT1-2

จากรูปที่ 4.3.2.5 (ก.) พบว่าในช่วงแรกค่าความเค้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งที่ค่าความเค้นมีค่าประมาณร้อยละ 20-70 ของความเค้นสูงสุด ค่าความเค้นจะเพิ่มขึ้นคงที่อย่างต่อเนื่อง และค่าความเครียดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ และยังพบอีกว่าในช่วงที่ความเค้นมีค่าประมาณร้อยละ 60-70 ของความเค้นสูงสุด ตัวอย่างการทดสอบจะเริ่มเกิดรอยร้าวขึ้นดังแสดงในหมายเลขที่ 1 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.5 (ค.)และ(ง.) จากนั้นรอยร้าวจะมีทิศทางไปในทางที่เป็นรอยร้าวตามยาวของช่วงรอยต่อระหว่างปูนซีเมนต์และพลาสติกโฟมของตัวอย่างทดสอบดังแสดงในหมายเลขที่ 2 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.5 (ค.)และ(ง.) จนตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ (กำลังการรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบลดลง) ซึ่งได้ค่าความเค้นเฉลี่ยสูงสุดของตัวอย่างประเภท MT1 เท่ากับ 87.83 กก./ตร.ม. หลังจากค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 70 ถึง 80 ของค่าเค้นสูงสุดหลังการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ ค่าความเค้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ค่าความเครียดยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องพร้อมทั้งเกิดการขยายตัวของรอยร้าวและรอยร้าวมีลักษณะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงรอยต่อระหว่างปูนซีเมนต์และพลาสติกโฟมจนเกิดการแยกชั้นดังแสดงในหมายเลขที่ 3 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.5 (ค.)และ(ง.)

และจากกราฟรูปที่ 4.3.2.5 (ข.) มีแนวโน้มลักษณะการวิบัติ 1,2และ3 ตามลำดับคล้ายกับกราฟรูปที่ 4.3.2.5 (ก.) และพบว่าค่าความเครียดในช่วงแรกมีค่าน้อยมากของตัวอย่างทดสอบ เป็นผลเกิดจากการหดตัวในช่วงเหนือจุดที่จะทำการวัดค่าการยืดหดตัวของ LVDT ดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.1 ส่งผลให้ในช่วงแรกการหดตัวของตัวอย่างทดสอบเกิดขึ้นน้อย หลังจากนั้น ค่าความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ จะพบว่าในช่วงที่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าแตกต่างกันเมื่อเทียบจุดต่อจุดกับกราฟจากรูปที่ 4.3.2.5 (ก.) โดยตัวอย่างทดสอบประเภท MT1 มีค่าความเครียดเฉลี่ยที่จุดความเค้นสูงสุด เท่ากับ 0.0051 จากกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.5 (ก.) แต่มีค่าความเครียดที่จุดความเค้นสูงสุด เท่ากับ 0.0052 จากกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.5 (ข.) ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันถ้าเทียบกับตัวอย่างประเภทอื่นที่ค่าแตกต่างกันถึงสองเท่าตัว เป็น

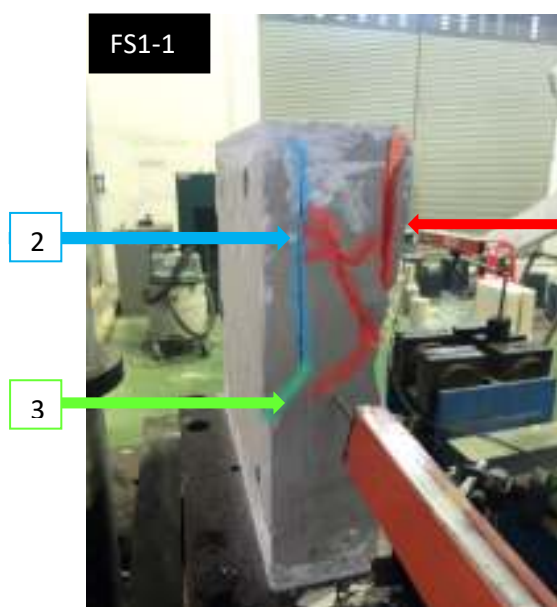
ผลที่บ่งบอกว่าตัวอย่างการทดสอบมีการหดตัวอย่างต่อเนื่องในช่วงตลอดความสูงของตัวอย่างทดสอบ ไม่ได้มีการหดตัวสูงในช่วงกึ่งกลางตัวอย่างทดสอบ และหลังจากตัวอย่างทดสอบวิบัติ พบค่าความเครียดไร้เชิงเส้นหลังจุดวิบัติ เนื่องมาจากการแยกชั้นของตัวอย่างทดสอบดังที่กล่าวมาข้างต้น เป็นผลให้ตัวอย่างทดสอบรับแรงอัดได้ไม่ตลอดทั้งหน้าตัด ทำให้ค่าความเครียดที่ได้จาก LVDT มีทั้งยืดและหดตัวโดยไร้ทิศทาง ผู้ทำการทดสอบจึงทำการตัดค่าหลังจากจุดวิบัติออก



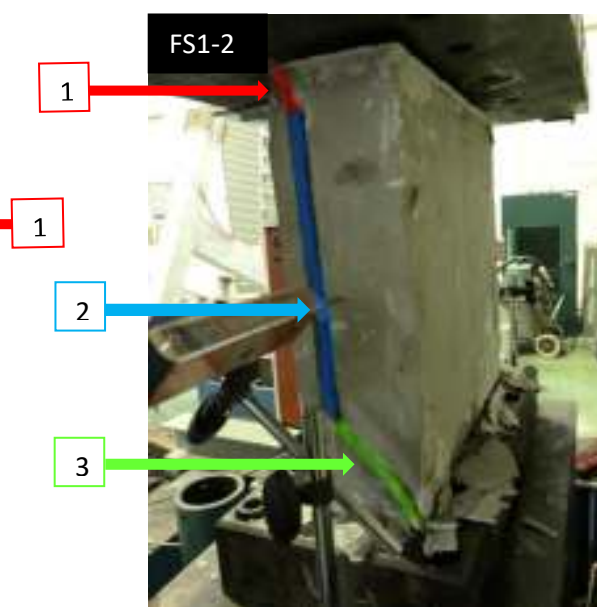
(ก.)



(ඉ.)



(ආ.)



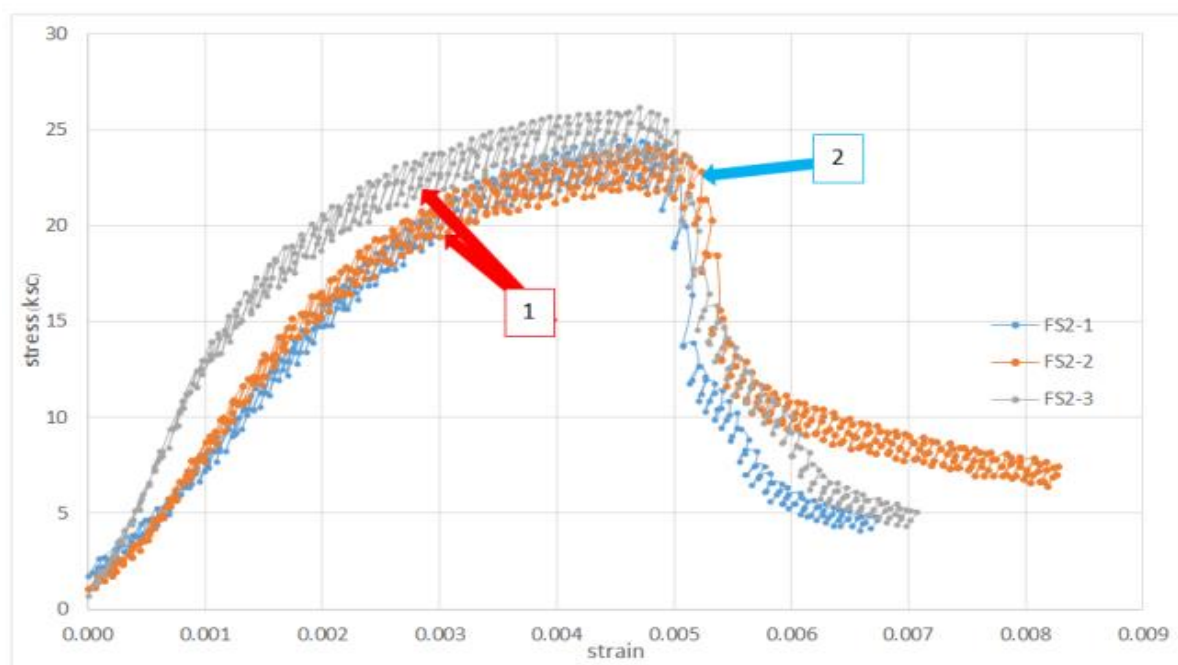
(ඇ.)

รูปที่ 4.3.2.6 (ก.) กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของตัวอย่างประเภท FS1 (ข.) กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของตัวอย่างประเภท FS1 จากข้อมูลชุดที่สอง (ค.) ลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง FS1-1 (ง.) ลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง FS1-2

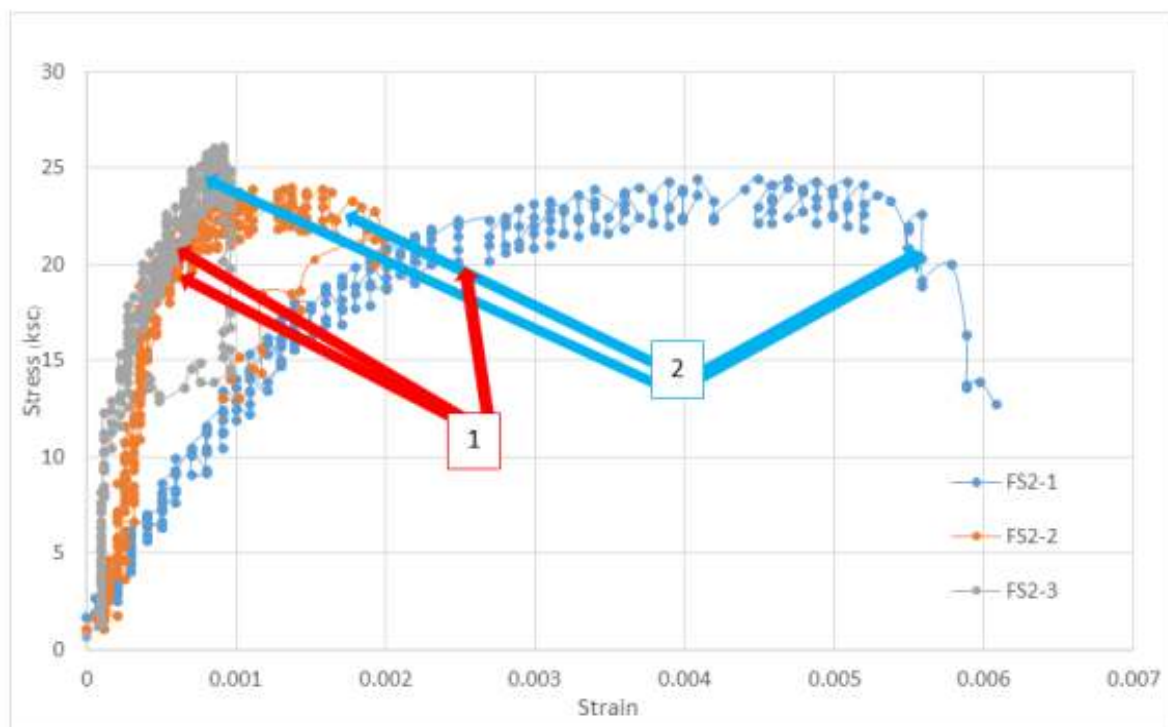
จากรูปที่ 4.3.2.6 (ก.) พบว่าช่วงแรงค่าความเค้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งที่ค่าความเค้นมีค่าประมาณร้อยละ 20-70 ของความเค้นสูงสุดค่าความเค้นจะเพิ่มขึ้นคงที่อย่างต่อเนื่อง และค่าความเครียดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ และยังพบอีกว่าในช่วงที่ความเค้นมีค่าประมาณร้อยละ 60-70 ของความเค้นสูงสุด ตัวอย่างการทดสอบจะเริ่มเกิดรอยแตกร้าวขึ้นดังแสดงในหมายเลขที่ 1 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.6 (ค.)และ(ง.) เกิดขึ้นต่อไปจนกระทั่งหยุดทดสอบ จากนั้นรอยร้าวจะมีทิศทางไปในทางที่เป็นรอยร้าวตามยาวของช่วงรอยต่อระหว่างปูนซีเมนต์และพลาสติกโฟมจนเกิดเป็นการแยกตัวขึ้นของตัวอย่างทดสอบระหว่างชิ้นส่วนที่ทำการหล่อครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สอง ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของความเค้นสูงสุดตัวอย่าง ดังแสดงในหมายเลขที่ 2 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.6 (ค.)และ(ง.) จนตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ (กำลังการรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบลดลง) หลังจากค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 80 ถึง 85 ของค่าเค้นสูงสุดหลังการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ ค่าความเค้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ค่าความเครียดยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องพร้อมทั้งเกิดการขยายตัวของรอยร้าวและรอยร้าวมีลักษณะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงรอยต่อระหว่างปูนซีเมนต์และพลาสติกโฟมจนเกิดการแยกชั้นดังแสดงในหมายเลขที่ 3 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.6 (ค.)และ(ง.) อาจเนื่องมาจากจุดดังกล่าวมีปริมาณมอร์ตาร์ที่น้อยทำให้เมื่อเกิดรอยร้าวบริเวณนี้ความเสียหายของตัวอย่างทดสอบจึงเป็นไปดังรูปแล้วทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงอย่างรวดเร็ว

และจากกราฟรูปที่ 4.3.2.6 (ข.) มีแนวโน้มความสัมพันธ์และลักษณะการวิบัติ 1,2และ3 ตามลำดับคล้ายกับกราฟรูปที่ 4.3.2.6 (ก.) และพบว่าค่าความเครียดในช่วงแรกมีค่าน้อยมากของตัวอย่างทดสอบ เป็นผลเกิดจากการหดตัวในช่วงเหนือจุดที่จะทำการวัดค่าการยืดหดตัวของ LVDT ดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.1 ส่งผลให้ในช่วงแรกการหดตัวของตัวอย่างทดสอบเกิดขึ้นน้อย หลังจากนั้นค่าความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ จะพบว่าในช่วงที่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าแตกต่างกันเมื่อเทียบจุดต่อจุดกับกราฟจากรูปที่ 4.3.2.6 (ก.)

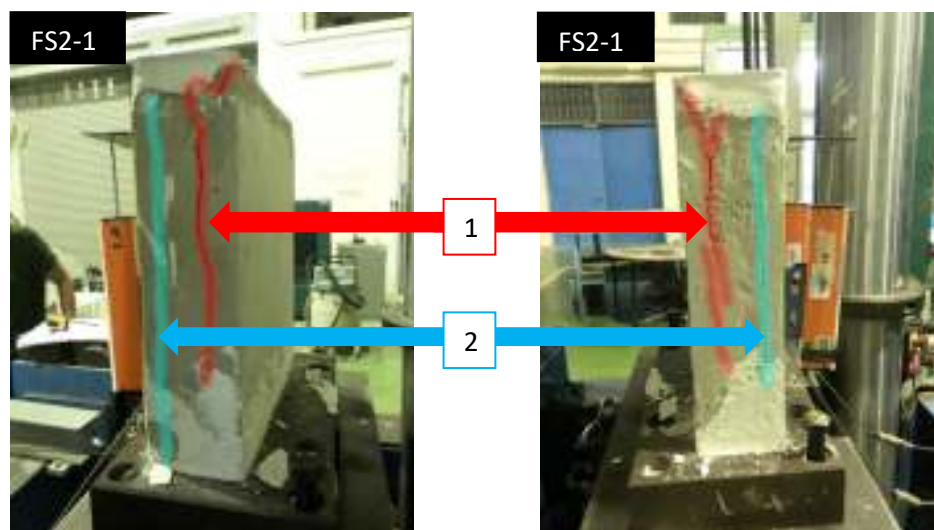
โดยตัวอย่างทดสอบประเภท FS1 มีค่าความเครียดที่จุดความเค้นเท่ากันตลอดของกราฟความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน เป็นผลที่บ่งบอกว่าตัวอย่างการทดสอบมีการหดตัวเท่าๆกันในช่วงตลอดความสูงของตัวอย่างทดสอบ ตัวอย่างทดสอบไม่ได้มีการหดตัวสูงในช่วงกึ่งกลางตัวอย่างทดสอบแต่อย่างใด และหลังจากค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 80 ถึง 85 พบว่าค่าความเครียดจะมีทิศทางไร้เชิงเส้น เนื่องมาจากการแยกชั้นของตัวอย่างทดสอบดังที่กล่าวมาข้างต้น เป็นผลให้ตัวอย่างทดสอบรับแรงอัดได้ไม่ตลอดทั้งหน้าตัด ทำให้ค่าความเครียดที่ได้จาก LVDT มีทั้งยืดและหดตัวโดยไร้ทิศทาง



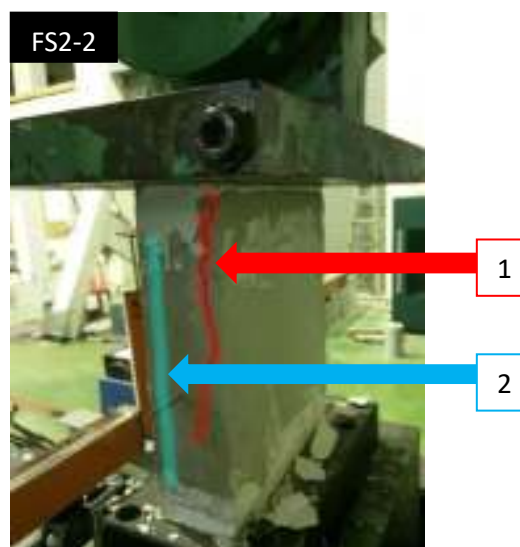
(ก.)



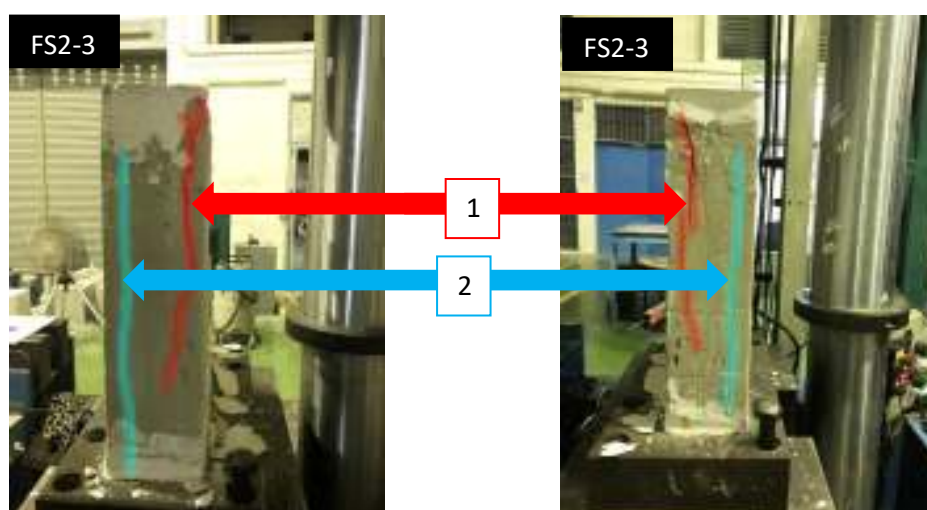
(ข.)



(ค.)



(ง.)



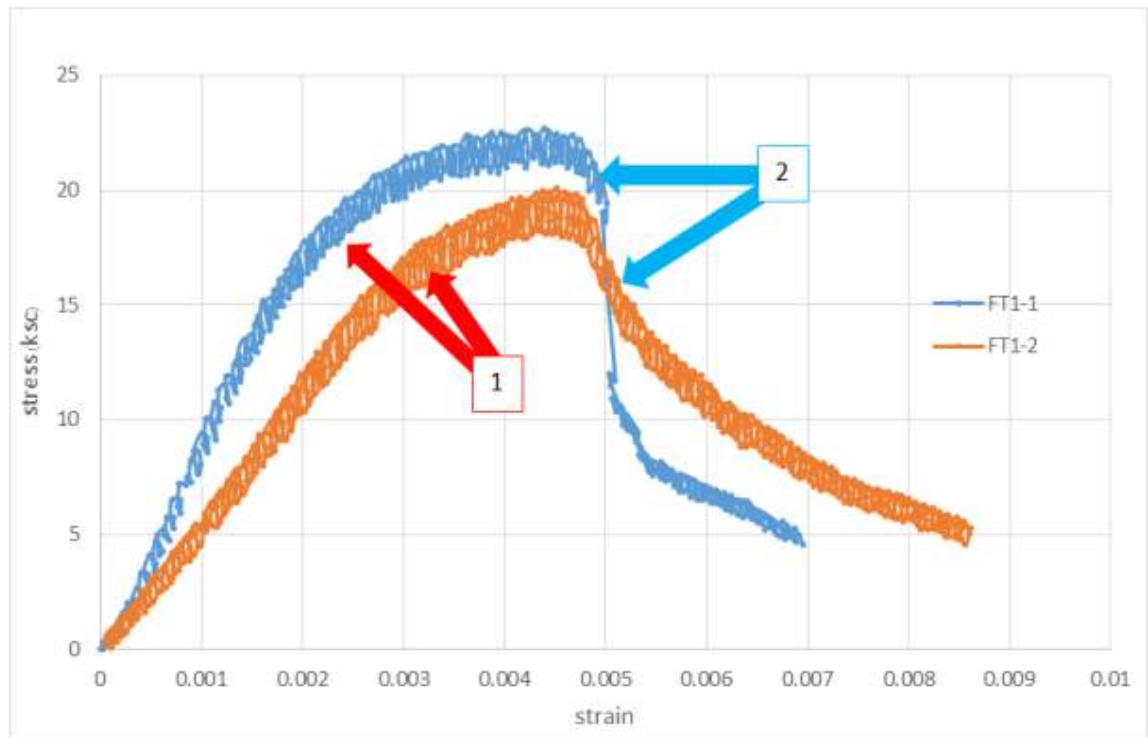
(จ.)

รูปที่ 4.3.2.7 (ก.) กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของตัวอย่างประเภท FS2 จากข้อมูลชุดแรก (ข.) กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของตัวอย่างประเภท FS2 จากข้อมูลชุดที่สอง (ค.) ลักษณะการวิบัติ ของตัวอย่าง FS2-1 (ง.) ลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง FS2-2 (จ.) ลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง FS2-3

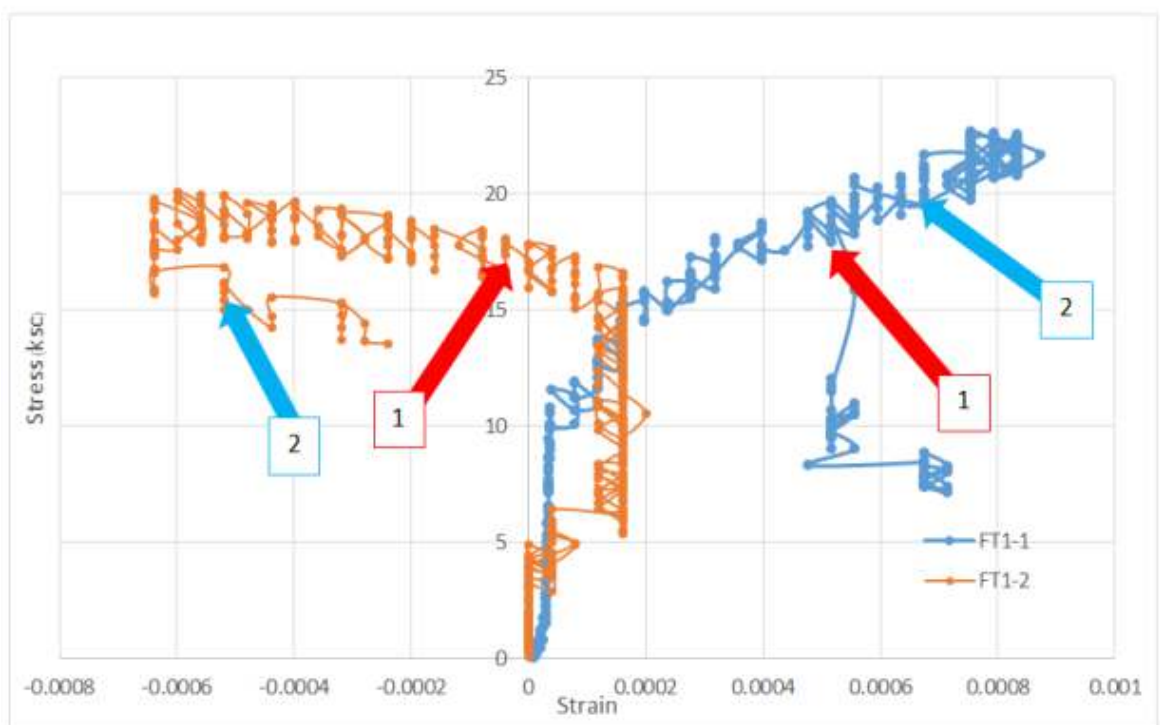
จากรูปที่ 4.3.2.7 (ก.) พบว่าช่วงแรงค่าความเค้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งที่ค่าความเค้นมีค่าประมาณร้อยละ 20-70 ของความเค้นสูงสุดค่าความเค้นจะเพิ่มขึ้นคงที่อย่างต่อเนื่อง และค่าความเครียดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ และยังพบอีกว่าในช่วงที่ความเค้นมีค่าประมาณร้อยละ 60-70 ของความเค้นสูงสุด ตัวอย่างการทดสอบจะเริ่มเกิดรอยแตกกว้างขึ้นดังแสดงในหมายเลขที่ 1 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.7 (ค.), (ง) และ (จ.) เกิดขึ้นต่อไปจนกระทั่งหยุดทดสอบ จากนั้นรอยร้าวจะมีทิศทางไปในทางที่เป็นรอยร้าวตามยาวของช่วงรอยต่อระหว่างปูนซีเมนต์และพลาสติกโฟมจนเกิดเป็นการแยกตัวขึ้นของตัวอย่างทดสอบระหว่างชั้นส่วนที่ทำการหล่อครั้งแรกและครั้งที่สอง ที่ประมาณประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของความเค้นสูงสุดตัวอย่าง ดังแสดงในหมายเลขที่ 2 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.7 (ค.), (ง) และ (จ.) จนตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ (กำลังการรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบลดลง) หลังจากค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 80 ถึง 85 ของค่าเค้นสูงสุดหลังการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ ค่าความเค้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ค่าความเครียดยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องพร้อมทั้งเกิดการขยายตัวของรอยร้าวอย่างชัดเจนมากขึ้น กราฟรูปที่ 4.3.2.7 (ก.) ของตัวอย่างทั้งสามมีความใกล้เคียงกันมาก

และจากกราฟรูปที่ 4.3.2.7 (ข.) มีแนวโน้มความสัมพันธ์และลักษณะการวิบัติ 1 และ 2 ตามลำดับคล้ายกับกราฟรูปที่ 4.3.2.7 (ก.) และพบว่าค่าความเครียดในช่วงแรกมีค่าน้อยมากของตัวอย่างทดสอบ เป็นผลเกิดจากการหดตัวในช่วงเหนือจุดที่จะทำการวัดค่าการยืดหดตัวของ LVDT ดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.1 ส่งผลให้ในช่วงแรกการหดตัวของตัวอย่างทดสอบเกิดขึ้นน้อย หลังจากนั้นค่าความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ จะพบว่าในช่วงที่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าแตกต่างกันเมื่อเทียบจุดต่อจุดกับกราฟจากรูปที่ 4.3.2.7 (ก.) โดยตัวอย่างทดสอบประเภท FS2 มีค่าความเครียดที่จุดความเค้นเท่ากันตลอดของกราฟความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน เป็นผลที่บ่งบอกว่าตัวอย่างการทดสอบมีการหดตัวเท่าๆกันในช่วงตลอดความสูงของตัวอย่างทดสอบ ตัวอย่างทดสอบไม่ได้มีการหดตัวสูงในช่วงกึ่งกลางตัวอย่างทดสอบแต่อย่างใด และหลังจากค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 80 ถึง 85 พบว่าค่าความเครียดจะมีทิศทางไร้เชิงเส้น เนื่องมาจากการแยกชั้นของตัวอย่างทดสอบดังที่กล่าวมาข้างต้น เป็นผลให้ตัวอย่างทดสอบรับแรงอัดได้ไม่ตลอดทั้งหน้าตัด ทำให้ค่าความเครียดที่ได้จาก LVDT มีทั้งยืดและหดตัวโดยไร้ทิศทาง ยกเว้น FS2-1 มีค่าความเครียดที่ความเค้นเท่ากันดังแสดงในกราฟ 4.3.2.7 (ก.) และกราฟ 4.3.2.7 (ข.) ใกล้เคียงกันบ่งบอกว่ามีการหดตัวตลอดความสูงที่เท่าๆกัน

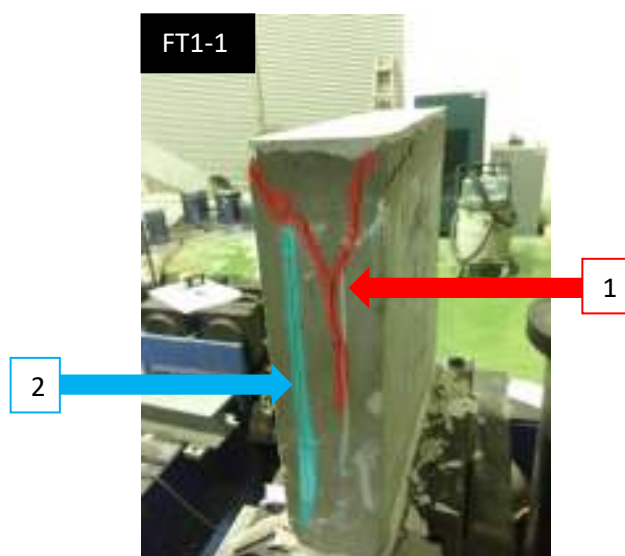
แต่ไม่สามารถบอกเหตุผลที่แน่ชัด อาจเนื่องมาจากผู้ทำการทดลองขาดความชำนาญในการตั้งค่าอุปกรณ์ LVDT ผิดพลาดทำให้ค่าที่ได้ไม่เป็นไปตามจริง



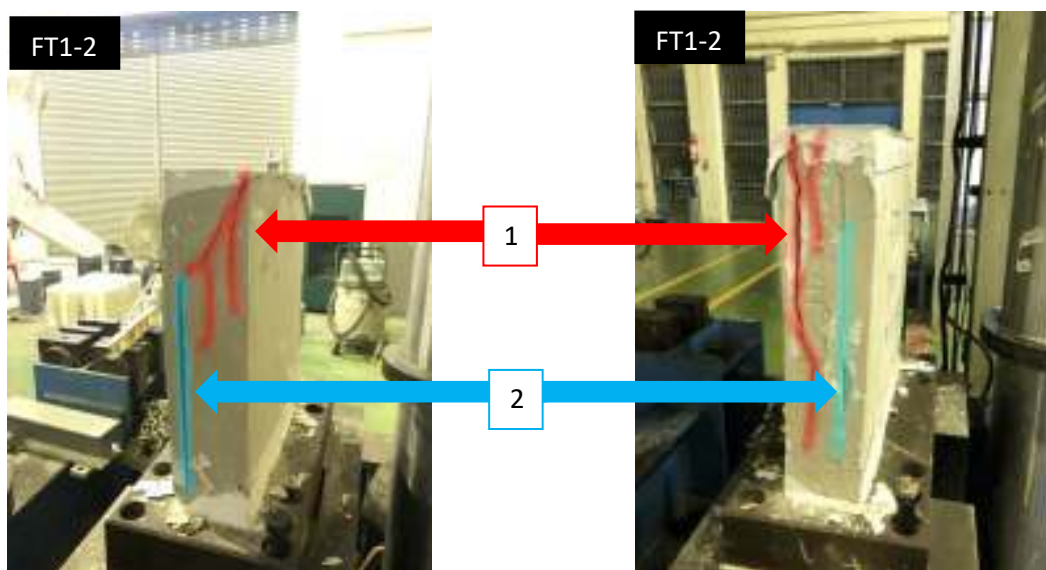
(ก.)



(ข.)



(ค.)



(ง.)

รูปที่ 4.3.2.8 (ก.) กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของตัวอย่างประเภท FT1 จากข้อมูลชุดแรก (ข.) กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของตัวอย่างประเภท FT1 จากข้อมูลชุดที่สอง (ค.) ลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง FT1-1 (ง.) ลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง FT1-2

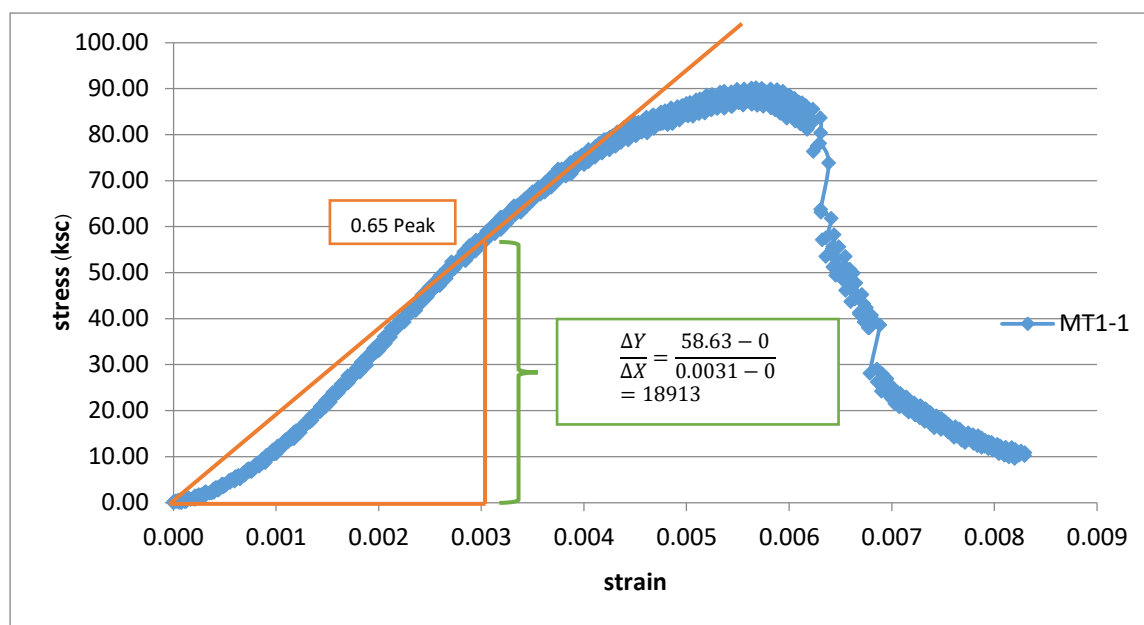
จากรูปที่ 4.3.2.8 (ก.) พบว่าช่วงแรงค่าความเค้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งที่ค่าความเค้นมีค่าประมาณร้อยละ 20-70 ของความเค้นสูงสุดค่าความเค้นจะเพิ่มขึ้นคงที่อย่างต่อเนื่อง และค่าความเครียดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ และยังพบอีกว่าในช่วงที่ความเค้นมีค่าประมาณร้อยละ 60-70 ของความเค้นสูงสุด ตัวอย่างการทดสอบจะเริ่มเกิดรอยแตกกว้างขึ้นดังแสดงในหมายเลขที่ 1 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.8 (ค.)และ(ง.) เกิดขึ้นต่อไปจนกระทั่งหยุดทดสอบ จากนั้นรอยร้าวจะมีทิศทางไปในทางที่เป็นรอยร้าวตามยาวของช่วงรอยต่อระหว่างปูนซีเมนต์และพลาสติกโฟมจนเกิดเป็นการแยกตัวขึ้นของตัวอย่างทดสอบระหว่างชั้นส่วนที่ทำการหล่อครั้งที่แรกและครั้งที่สอง ที่ประมาณประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของความเค้นสูงสุดตัวอย่าง ดังแสดงในหมายเลขที่ 2 ในรูปลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง 4.3.2.8 (ค.)และ(ง.) จนตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ (กำลังการรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบลดลง) หลังจากค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 80 ถึง 85 ของค่าเค้นสูงสุดหลังการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ ค่าความเค้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ค่าความเครียดยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องพร้อมทั้งเกิดการขยายตัวของรอยร้าวอย่างชัดเจนมากขึ้น

และจากกราฟรูปที่ 4.3.2.8 (ข.) พบว่าค่าความเครียดในช่วงแรกมีค่าน้อยมากของตัวอย่างทดสอบ เป็นผลเกิดจากการหดตัวในช่วงเหนือจุดที่จะทำการวัดค่าการยืดหดตัวของ LVDT ดังแสดงในรูปที่ 4.3.2.1 ส่งผลให้ในช่วงแรกการหดตัวของตัวอย่างทดสอบเกิดขึ้นน้อย หลังจากนั้น ค่าความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ จะพบว่าในช่วงที่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าแตกต่างกันเมื่อเทียบจุดต่อจุดกับกราฟจากรูปที่ 4.3.2.8 (ก.) โดยตัวอย่างทดสอบ FT1-1 มีค่าความเครียดที่แตกต่างกันตลอดของกราฟ เป็นผลที่บ่งบอกว่าตัวอย่างการทดสอบมีการหดตัวเท่าๆกันในช่วงตลอดความสูงของตัวอย่างทดสอบ ตัวอย่างทดสอบไม่ได้มีการหดตัวสูงในช่วงกึ่งกลางตัวอย่างทดสอบแต่อย่างใด และหลังจากค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 80 ถึง 85 พบว่าค่าความเครียดจะมีทิศทางไร้เชิงเส้น เนื่องมาจากการแยกชั้นของตัวอย่างทดสอบดังที่กล่าวมาข้างต้น เป็นผลให้ตัวอย่างทดสอบรับแรงอัดได้ไม่ตลอดทั้งหน้าตัด ทำให้ค่าความเครียดที่ได้จาก LVDT มีทั้งยืดและหดตัวโดยไร้ทิศทาง แต่ตัวอย่าง FT1-2 จากรูปการวิบัติ 4.3.2.8 (ง.) จะเห็นว่าการแตกร้าวหมายเลข 1 เกิดขึ้นเฉพาะชั้นส่วนที่ไม่ได้ทำการติดตั้ง LVDT ส่งผลให้เกิดการหดตัวที่ชั้นส่วนนี้มากแล้วทำให้ตัวอย่าง

ทดสอบเกิดการโก่งตัว buckling ส่งผลให้ LVDT ยึดขึ้น และกราฟความสัมพันธ์จึงมีทิศทางตรงกันข้ามกับที่ควรจะเป็น

4.4 อีลาสติกโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเค้นและความเครียดที่ความเค้นมีค่าประมาณร้อยละ 65 ของความเค้นสูงสุด และค่าอีลาสติโมดูลัส (Elastic Modulus) ซึ่งสามารถหาได้จากค่าความชันของกราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างทดสอบ โดยในการศึกษาวิจัยนี้ใช้วิธีการหาค่าอีลาสติโมดูลัสจากความชันของกราฟ Stress-Strain ที่ได้ข้อมูลจาก UTM โดยการคำนวณความชันของเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดที่มีความเค้นเท่ากับ 0 และจุดที่ความเค้นมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 65 ของความเค้นสูงสุด (0.65Peak) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ตัวอย่างแสดงการหาค่าอีลาสติโมดูลัส (Elastic Modulus) จากผลการทดสอบพบว่า ค่าอีลาสติโมดูลัสโดยเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบประเภท MS1,MS2,MT1 จะมีค่าอยู่ในช่วง 16650-20948 กก./ตร.ซม. , 15521-17565 กก./ตร.ซม. และ 18913-19836 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18450 ,16603 และ 19030 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งค่าอีลาสติโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบประเภท FS1,FS2,FT1 จะมีค่าอยู่ในช่วง 4465-8237 กก./ตร.ซม. , 6508-9444 กก./ตร.ซม.และ 5438-8676 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5926,7359 และ 6619 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าอีลาสติโมดูลัสของตัวอย่างประเภท [M] นั้น ตัวอย่าง MT1 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 19030 กก./ตร.ซม.และค่าอีลาสติโมดูลัสของตัวอย่างประเภท F นั้น ตัวอย่าง FS2 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 7359 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ประเภทของปูนซีเมนต์มีผลต่อค่าอีลาสติโมดูลัสเป็นอย่างมาก,ขนาดตะแกรงเหล็ก ส่งผลต่อค่าอีลาสติโมดูลัสไม่มากนักสำหรับตัวอย่างประเภท [M] แต่ส่งผลต่อค่าอีลาสติโมดูลัสของตัวอย่างประเภท [F] และรูปแบบของพลาสติกโฟมมีผลต่อค่าอีลาสติโมดูลัส ยิ่งปริมาณของพลาสติกโฟมน้อย ปริมาตรของปูนซีเมนต์ที่แทนที่ในตัวอย่างยิ่งเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าอีลาสติโมดูลัสเพิ่มขึ้นไปด้วย



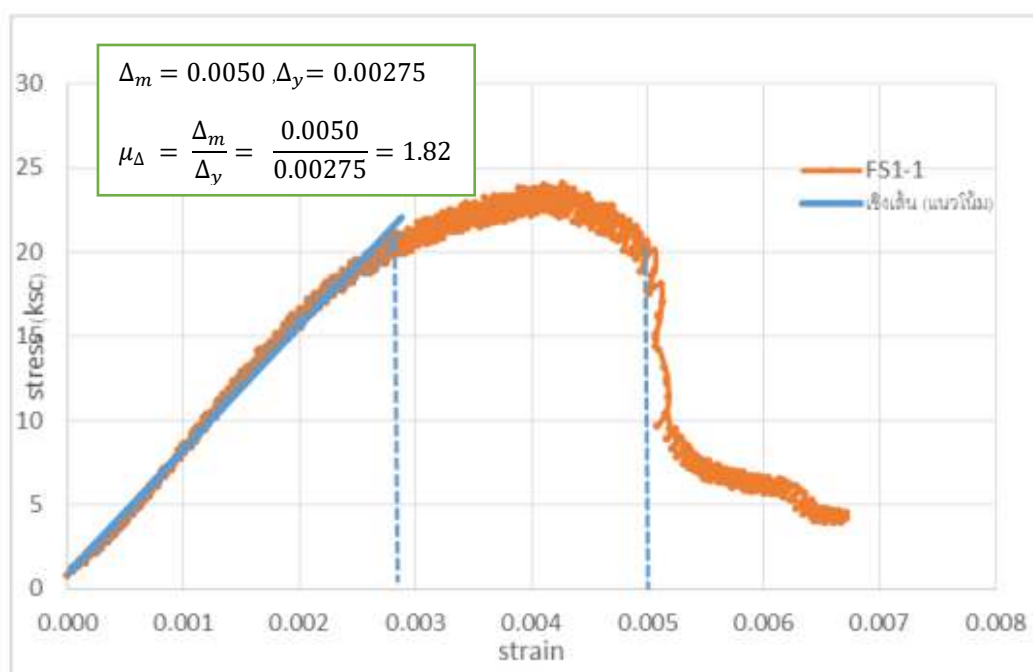
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างแสดงการหาค่าอีลาสติโมดูลัส (Elastic Modulus)

ตารางที่ 4.4 ค่าความเค้นและความเครียดที่ร้อยละ 65 ของความเค้นสูงสุดและค่าอีลาสติโกโมดูลัสของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด

ค่าเฉลี่ยและมอดูลัสยัง						
ประเภท ของตัวอย่าง	ตัวอย่าง ทดสอบ	0.65 Peak	Ave. 0.65 Peak	Strain at 0.65 Peak	Ave. Strain at 0.65 Peak	อีลาสติโกโมดูลัสเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
MS1	MS1-1	49.95	55.35	0.0030	0.0030	18450
	MS1-2	60.75		0.0029		
MS2	MS2-1	64.99	58.11	0.0037	0.0035	16603
	MS2-2	51.22		0.0033		
MT1	MT1-1	58.63	57.09	0.0031	0.0030	19030
	MT1-2	55.54		0.0028		
FS1	FS1-1	15.65	13.63	0.0019	0.0023	5926
	FS1-2	11.61		0.0026		
FS2	FS2-1	15.94	16.19	0.0023	0.0022	7359
	FS2-2	15.62		0.0024		
	FS2-3	17.00		0.0018		
FT1	FT1-1	14.75	13.90	0.0017	0.0021	6619
	FT1-2	13.05		0.0024		

4.5 ความเหนียว (Ductility) ของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด

ตัวอย่างแสดงการหาค่าความเหนียวดังแสดงในรูปที่ 4.5 และจากตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเหนียวของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด พบว่าปูนซีเมนต์ประเภทสำเร็จ [F] มีความเหนียวมากกว่าปูนซีเมนต์ประเภทผสม [M] บ่งบอกถึงว่าปูนซีเมนต์ผสม [M] มีความแข็งแรงแต่เปราะเสียหายเร็ว ในขณะที่ปูนซีเมนต์สำเร็จให้กำลังต่ำกว่ามากแต่ความเสียหายที่เกิดขึ้นทำให้ผนังสามารถรับน้ำหนักไปได้อีก ไม่พังทลายทันทีทันใดโดย FS2 มีค่าความเหนียวสูงที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกับ FT1



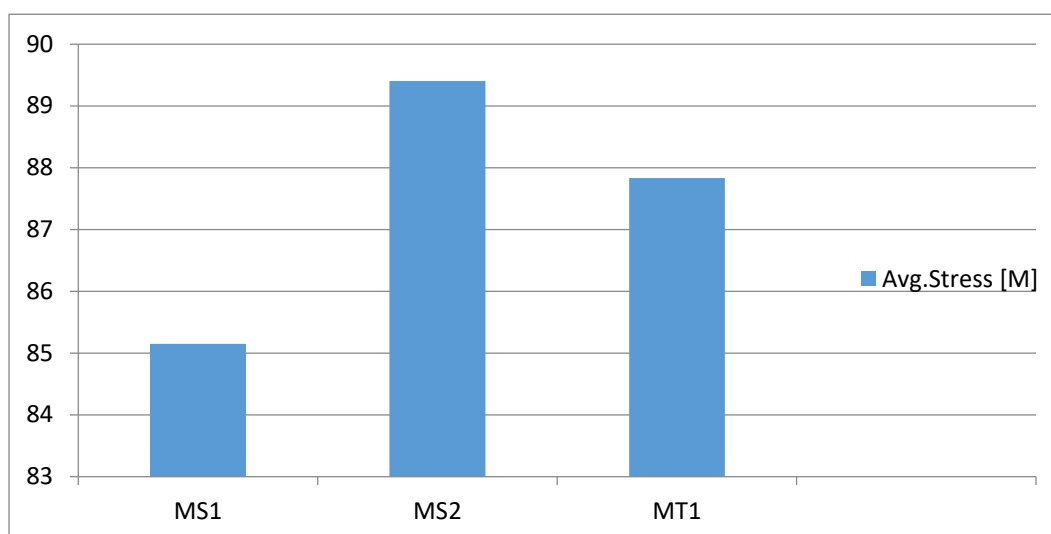
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างแสดงการหาค่าความเหนียว

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเหนียวของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด

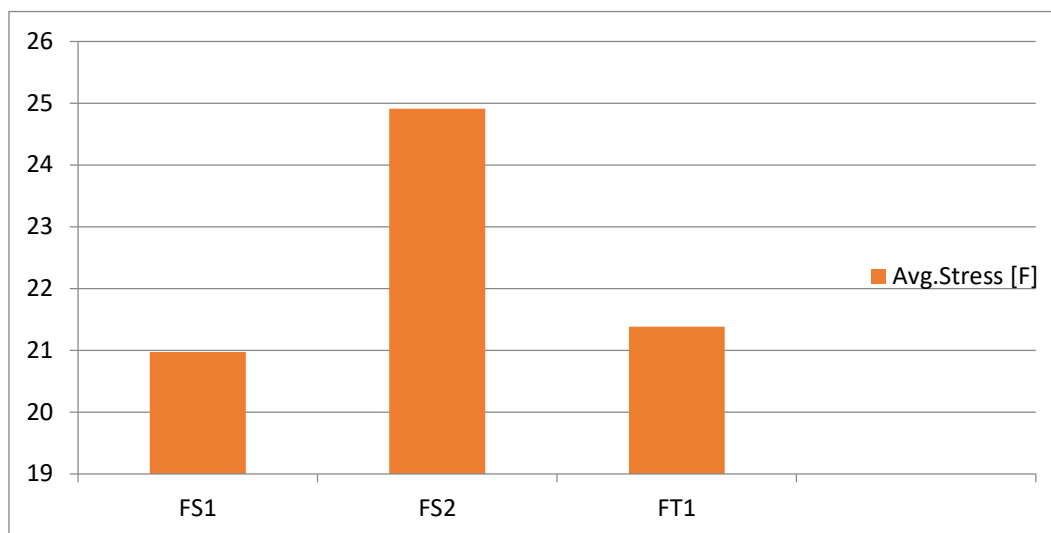
ประเภทของตัวอย่าง	AVG. μ_{Δ}
MS1	1.455
MS2	1.365
MT1	1.620
FS1	1.685
FS2	2.210
FT1	2.110

4.6 ผลกระทบของปูนซีเมนต์ เหล็กเสริมและพลาสติกโฟมต่อกำลังอัดของผนัง

จากผลการทดสอบกำลังอัดของผนังมอร์ตาร์มวลเบาเสริมเหล็กและพลาสติกโฟม ในรูปแบบที่แตกต่างกัน คือ พลาสติกโฟมสามเหลี่ยม พลาสติกโฟมสี่เหลี่ยม ตะแกรงเหล็กกรงไก่ชั้นเดียว ($A_s=5.03$ ลบ.ซม.) และตะแกรงเหล็กกรงไก่สองชั้น ($A_s=10.05$ ลบ.ซม.) จะพบว่าตัวอย่างทดสอบที่ทำจากปูนผสมจะให้กำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างทดสอบที่ทำจากปูนสำเร็จ ตัวอย่างทดสอบที่วางรูปแบบพลาสติกโฟมสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมรับน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุดใกล้เคียงกัน แต่กลับเป็นส่วนของเหล็กเสริมสองชั้นที่มีปริมาณเหล็กเสริมที่รับน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุดได้สูงที่สุดของทั้งปูนซีเมนต์ผสมและปูนซีเมนต์สำเร็จ ที่แสดงดังรูปที่ 4.6.1 - 4.6.2 สรุปได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังอัดของผนังขึ้นอยู่กับเหล็กเสริม ส่วนรูปแบบของพลาสติกโฟมไม่มีผลใดๆต่อกำลังอัดของผนัง

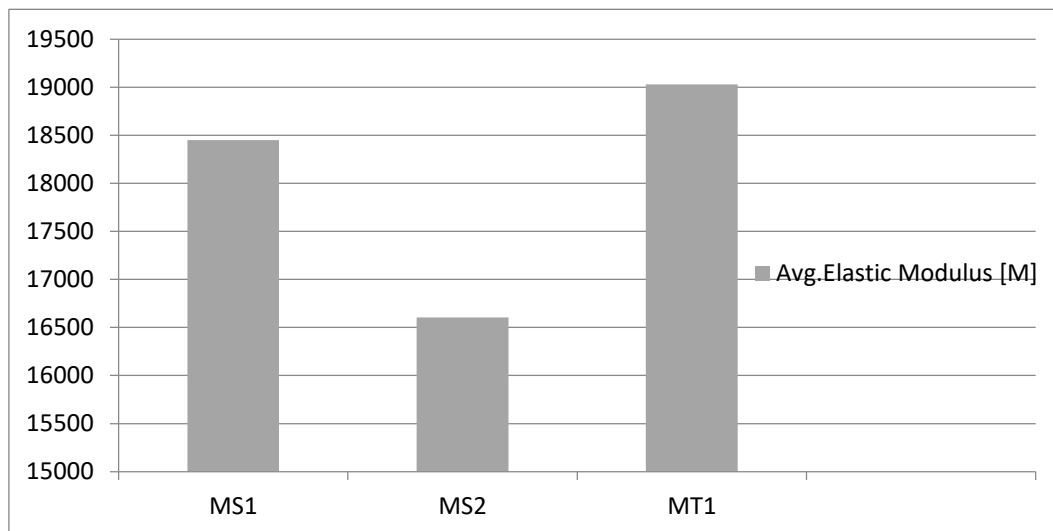


รูปที่ 4.6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Avg. Stress ตัวอย่างปูนซีเมนต์ผสมแต่ละประเภท

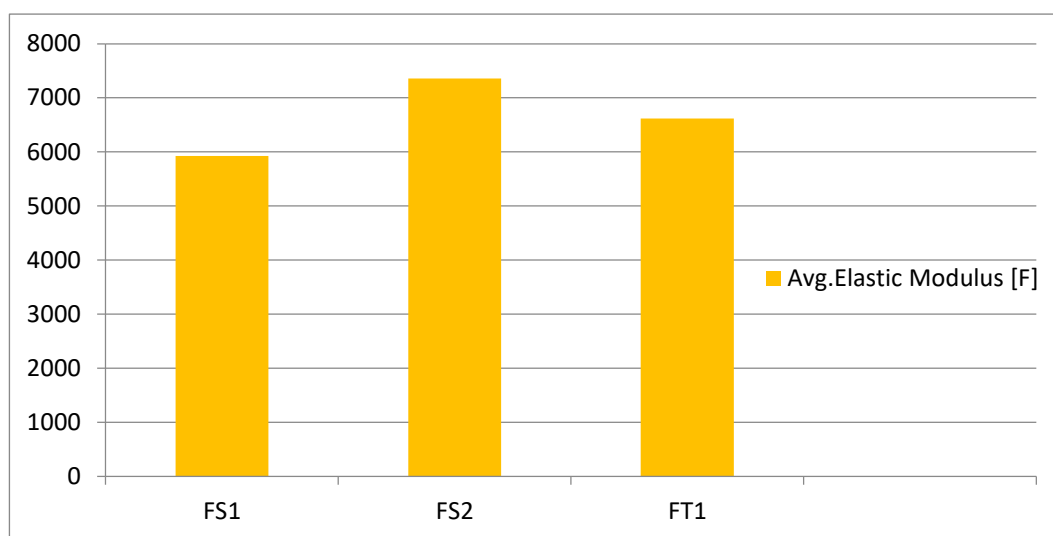


รูปที่ 4.6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Avg. Stress ตัวอย่างปูนซีเมนต์สำเร็จแต่ละประเภท

ในส่วนของคุณค่าอีลาสติคโมดูลส์ดังแสดงในรูปที่ 4.6.3 - 4.6.4 จะพบว่าตัวอย่างทดสอบที่ทำจากปูนผสมจะให้ค่าอีลาสติคโมดูลส์สูงกว่าตัวอย่างทดสอบที่ทำจากปูนสำเร็จ สำหรับปูนผสมนั้น เป็นตัวอย่างประเภท MT1 มีค่าอีลาสติคโมดูลส์มากที่สุด และเป็นตัวอย่างประเภท MS2 มีค่าอีลาสติคโมดูลส์น้อยที่สุด บ่งบอกว่ารูปแบบการวางพลาสติกโฟมนั้นมีส่วนทำให้ตัวอย่างที่ทำจากปูนผสมนั้น มีค่าอีลาสติคโมดูลส์เพิ่มขึ้น แต่ขนาดของตะแกรงเหล็กนั้นไม่ค่อยส่งผลต่อค่าอีลาสติคโมดูลส์ของตัวอย่างทดสอบ แต่สำหรับปูนสำเร็จ จะเห็นได้ว่าตัวอย่างประเภท FS2 มีค่าอีลาสติคโมดูลส์มากที่สุด และเป็นตัวอย่างประเภท FS1 ที่ค่าอีลาสติคโมดูลส์น้อยที่สุด บ่งบอกว่าขนาดตะแกรงเหล็กนั้นมีส่วนช่วยให้ตัวอย่างที่ทำจากปูนสำเร็จนั้น มีค่าอีลาสติคโมดูลส์ที่เพิ่มขึ้น ส่วนรูปแบบการวางพลาสติกโฟมนั้นก็มีส่วนช่วยให้ค่าอีลาสติคโมดูลส์เพิ่มขึ้นเหมือนกัน แต่ไม่มากนัก

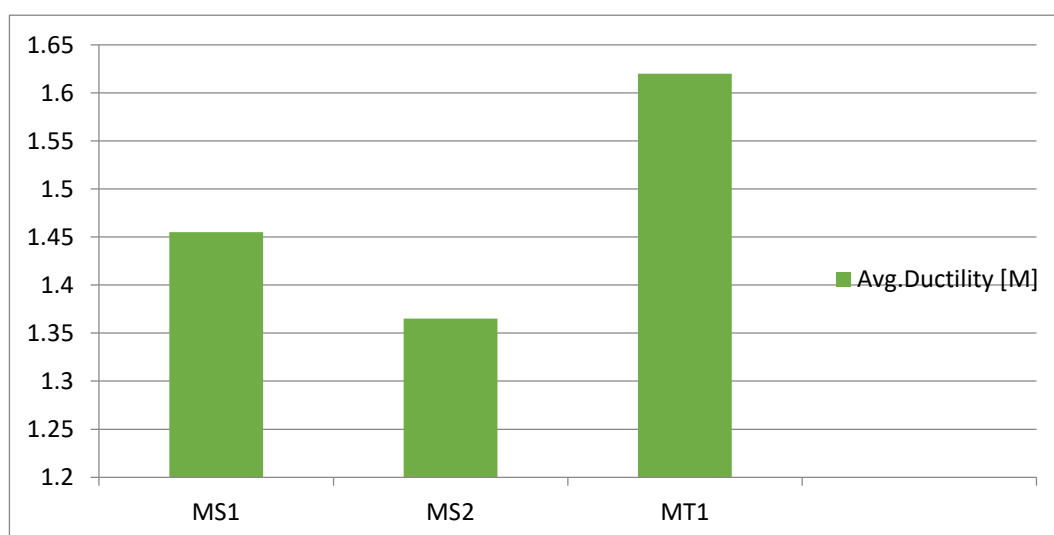


รูปที่ 4.6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Avg.Elastic Modulus ตัวอย่างปูนซีเมนต์ผสมแต่ละประเภท

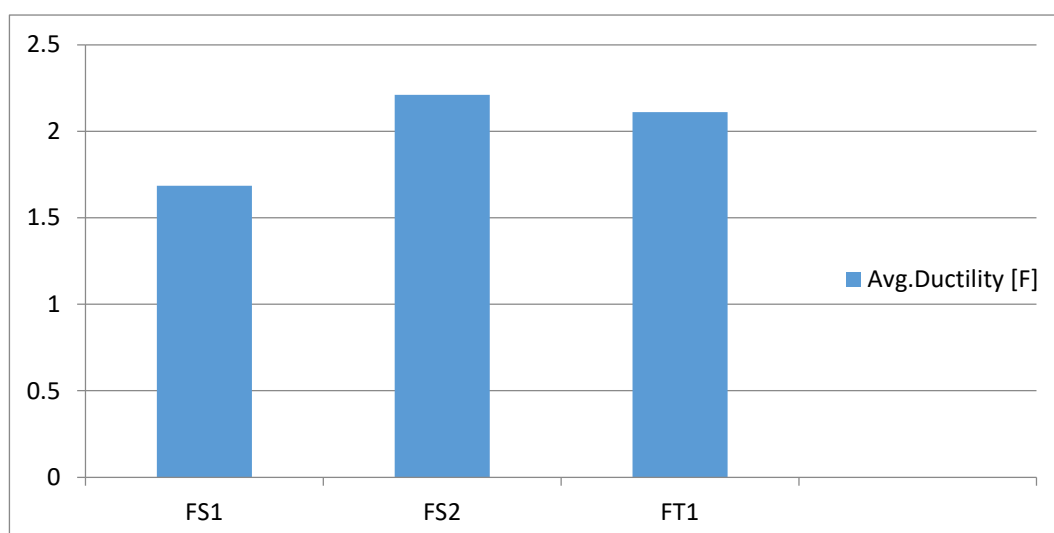


รูปที่ 4.6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Avg.Elastic Modulus ตัวอย่างปูนซีเมนต์สำเร็จแต่ละประเภท

ในส่วนของค่าความเหนียว (Ductility) ดังแสดงในรูปที่ 4.6.5 - 4.6.6 จะพบว่าตัวอย่างทดสอบที่ทำจากปูนสำเร็จถึงจะมีค่ากำลังรับแรงอัดและค่าอีลาสติคโมดูลส์ที่น้อยกว่าตัวอย่างที่ทำจากปูนผสม แต่กลับมีความเหนียวสูงกว่าตัวอย่างทดสอบที่ทำจากปูนผสม สำหรับปูนผสมนั้น เป็นตัวอย่างประเภท MT1 มีค่าความเหนียวมากที่สุด และเป็นตัวอย่างประเภท MS2 มีค่าความเหนียวน้อยที่สุด บ่งบอกว่ารูปแบบการวางพลาสติกโพนนั้นมีส่วนทำให้ตัวอย่างที่ทำจากปูนผสมนั้น มีค่าความเหนียวที่เพิ่มขึ้น แต่ขนาดของตะแกรงเหล็กนั้นไม่ค่อยส่งผลต่อค่าความเหนียวของตัวอย่างทดสอบ แต่สำหรับปูนสำเร็จ จะเห็นได้ว่าตัวอย่างประเภท FS2 มีค่าความเหนียวมากที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับตัวอย่างทดสอบประเภท FT1 และเป็นตัวอย่างประเภท FS1 ที่ค่าความเหนือน้อยที่สุด บ่งบอกว่าขนาดตะแกรงเหล็กและรูปแบบการวางพลาสติกโพนนั้นมีส่วนช่วยให้ตัวอย่างที่ทำจากปูนสำเร็จนั้น มีค่าความเหนียวที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.6.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Avg.Ductility ตัวอย่างปูนซีเมนต์ผสมแต่ละประเภท

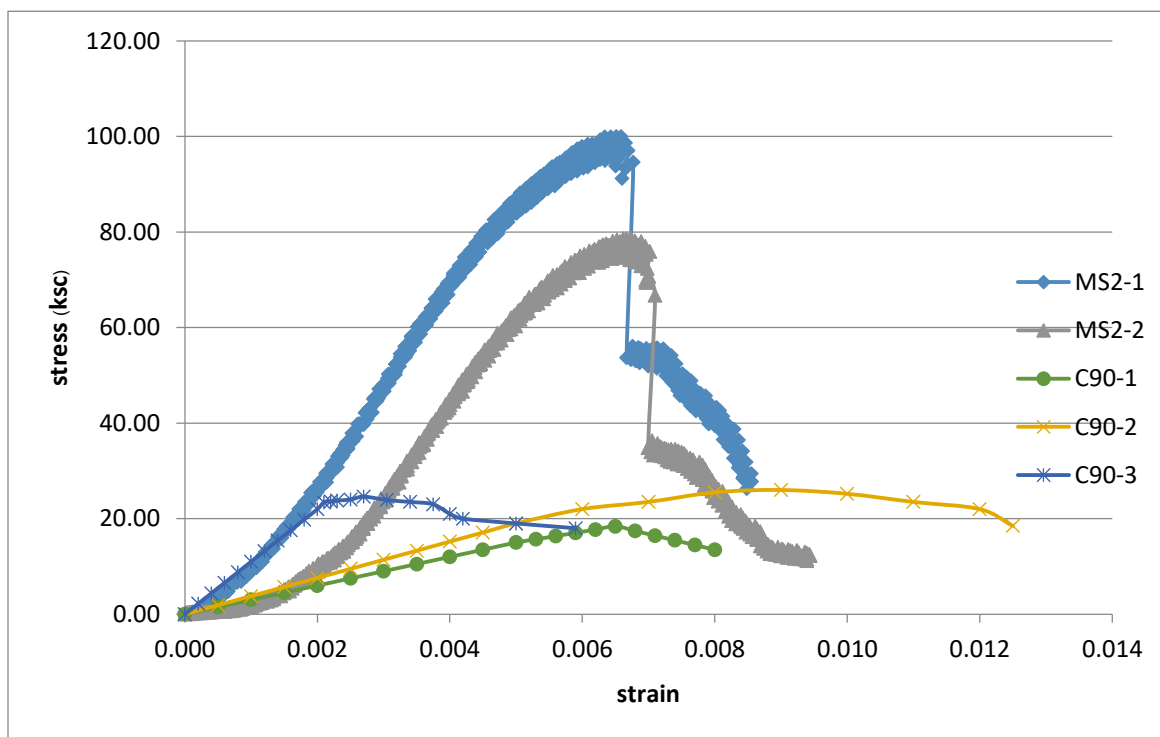


รูปที่ 4.6.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Avg.Ductility ตัวอย่างปูนซีเมนต์สำเร็จแต่ละประเภท

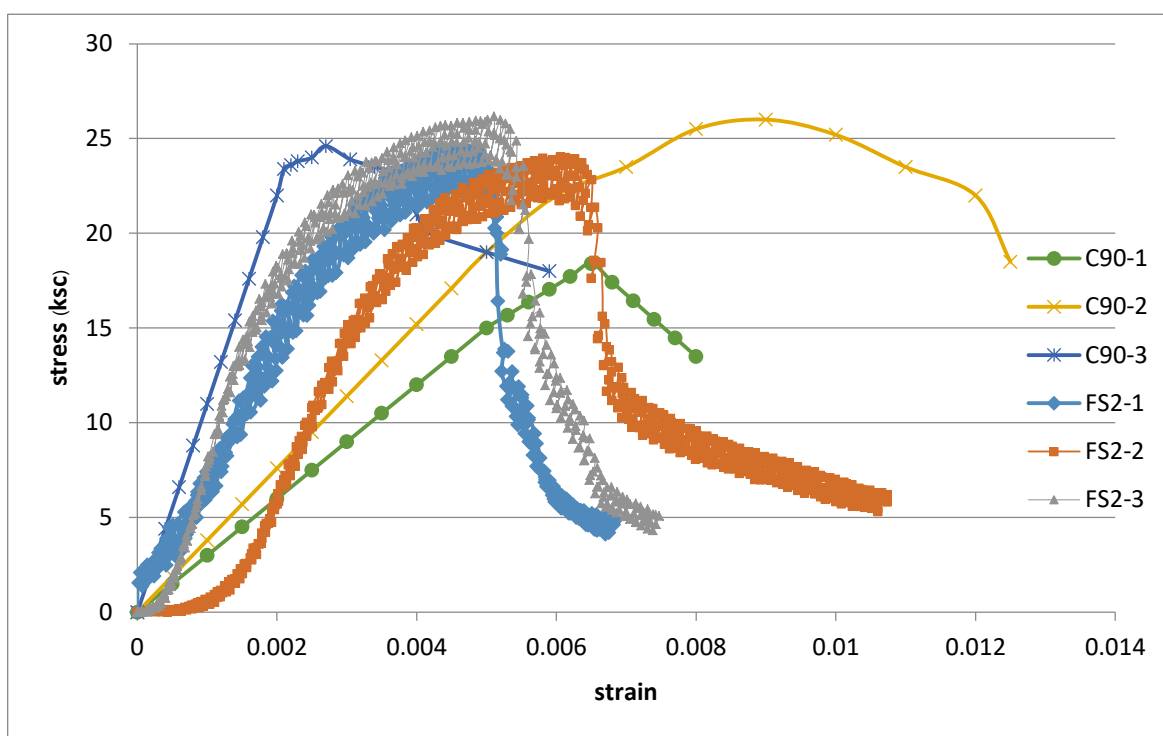
4.7 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับงานวิจัยในอดีต

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีตด้านกำลังแรงอัดภายใต้แรงในระนาบ ความเหนียว และค่าอีลาสติคโมดูลัสของอิฐมวลเบา

ด้านกำลังรับแรงอัดจะเลือกตัวอย่างที่มีรูปแบบเป็นเหล็กเสริมสองชั้นมาเปรียบเทียบ เพราะว่าตัวอย่างรูปแบบดังกล่าวรับกำลังอัดได้สูงสุดเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่นๆ พบว่าตัวอย่างทดสอบที่ทำจากปูนผสม [M] รับกำลังอัดสูงสุดได้มากกว่าผนังอิฐมวลเบา 2-3 เท่า แต่มีความเปราะกว่าส่งผลให้กำลังรับแรงอัดเมื่อขึ้นไปถึงจุดสูงสุดแล้วลดลงอย่างรวดเร็วดังแสดงในรูปที่ 4.7.1 ส่วนตัวอย่างทดสอบที่ทำจากปูนสำเร็จ [F] รับกำลังอัดสูงสุดได้ใกล้เคียงกับผนังอิฐมวลเบาดังแสดงในรูปที่ 4.7.2 และเปราะกว่าเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ทำจากปูนผสม [M] แต่ในส่วนของน้ำหนักรวมผนังมอร์ตาร์เสริมเหล็กและพลาสติกโฟมมีน้ำหนักที่มากกว่าผนังอิฐมวลเบา 1 เท่าตัว



รูปที่ 4.7.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างทดสอบประเภท MS2 และผนังอิฐมวลเบา



รูปที่ 4.7.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างทดสอบประเภท FS2 และผนังอิฐมวลเบา

ด้านความเหนียวจากตารางที่ 4.7.1 - 4.7.2 ของตัวอย่างทดสอบทั้งหมดจะพบว่าตัวอย่างทดสอบปูนซีเมนต์สำเร็จ [F] ประเภท FS2 และ FT1 มีค่าความเหนียวที่สูงกว่าอิฐมวลเบา ส่วน FS1 มีความเหนียวที่ใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา แต่ตัวอย่างทดสอบที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสม [M] ทั้งหมดจะมีค่าความเหนียวน้อยกว่าอิฐมวลเบาทั้งหมด ซึ่งสรุปได้ว่า ปูนซีเมนต์แบบสำเร็จ [F] มีความเหนียวมากกว่า ปูนซีเมนต์แบบผสม [M] และมากกว่าอิฐมวลเบา

ตารางที่ 4.7.1 แสดงค่าความเหนียวของตัวอย่างทดสอบในแต่ละประเภท

ประเภทของตัวอย่าง	AVG. μ_{Δ}
MS1	1.455
MS2	1.365
MT1	1.620
FS1	1.685
FS2	2.210
FT1	2.110

ตารางที่ 4.7.2 แสดงค่าความเหนียวของตัวอย่างอิฐมวลเบา

ตัวอย่างทดสอบ	Δ_m	Δ_y	μ_{Δ}	AVG. μ_{Δ}
C90-1	0.008	0.0050	1.60	1.87
C90-2	0.012	0.0055	2.18	
C90-3	0.004	0.0022	1.82	

ด้านค่าอีลาสติคโมดูลัส จากตารางที่ 4.7.3 พบว่าตัวอย่างการทดสอบ ประเภท MT1 มีค่าอีลาสติคโมดูลัสมากที่สุด และยังพบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีค่าอีลาสติคโมดูลัสสูงกว่าอิฐมวลเบา บ่งบอกว่าตัวอย่างทดสอบผนังมอร์ตาร์มีความแข็งแรงกว่าอิฐมวลเบามาก โดยเฉพาะตัวอย่างการทดสอบปูนซีเมนต์แบบผสม [M]

ตารางที่ 4.7.3 แสดงค่าอีลาสติคโมดูลัสของตัวอย่างการทดสอบและตัวอย่างอิฐมวลเบา

ประเภทของตัวอย่าง	อีลาสติคโมดูลัสเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
MS1	18450
MS2	16603
MT1	19030
FS1	5926
FS2	7359
FT1	6619
C90	3504

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมรับแรงอัดของผนังมอร์ตาร์มวลเบาเสริมเหล็ก โดยใช้ตัวอย่างทดสอบขนาดเล็กและพิจารณาผลเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลกับผนังอิฐมวลเบา ในส่วนของการทดสอบกำลังอัดจะพิจารณาผลกระทบของแรงที่มากระทำเมื่อเทียบกับชนิดของปูนซีเมนต์ ขนาดตะแกรงเหล็ก รูปแบบของพลาสติกโฟม โดยกำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์ก่อสองประเภท คือปูนซีเมนต์ก่อบบสม และปูนซีเมนต์ก่อบสำเร็จ ขนาดของตะแกรงเหล็กสองขนาด คือ 0.5 มม. หนึ่งชั้น และ 0.5 มม. สองชั้น รูปแบบของพลาสติกโฟมสองรูปแบบ คือ แบบสี่เหลี่ยมและแบบสามเหลี่ยม จากผลการทดสอบสามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

- 1.) ตัวอย่างทดสอบผนังมอร์ตาร์มวลเบาเสริมเหล็กที่สามารถรับกำลังแรงอัดได้ดีที่สุดคือรูปแบบพลาสติกโฟมสี่เหลี่ยมเสริมเหล็กสองชั้น [MS2,FS2]
- 2.) ตัวอย่างทดสอบผนังมอร์ตาร์มวลเบาเสริมเหล็กทำจากปูนบสม [M] จะให้ค่าอึลาสติกโมดูลัสสูงกว่าตัวอย่างทดสอบที่ทำจากปูนสำเร็จ [F] สำหรับตัวอย่างทดสอบปูนบสม [M] นั้นประเภท MT1 มีค่าอึลาสติกโมดูลัสเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 19030 กก./ตร.ซม. ส่วนตัวอย่างทดสอบปูนสำเร็จ [F] ประเภท FS2 มีค่าอึลาสติกโมดูลัสเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 7359 กก./ตร.ซม.
- 3.) ตัวอย่างทดสอบผนังมอร์ตาร์มวลเบาเสริมเหล็กทำจากปูนสำเร็จ [F] จะให้ค่าความเหนียวสูงกว่าตัวอย่างทดสอบที่ทำจากปูนบสม [M] สำหรับตัวอย่างทดสอบปูนสำเร็จ [F] นั้นประเภท FS2 มีค่าเฉลี่ยความเหนียวสูงที่สุดเท่ากับ 2.210 ซึ่งใกล้เคียงกับประเภท FT1 ส่วนตัวอย่างทดสอบปูนบสม [M] ประเภท MT มีค่าเฉลี่ยความเหนียวสูงที่สุดเท่ากับ 1.620
- 4.) ผลกระทบของปูนซีเมนต์มีผลต่อการรับกำลังอัด ค่าอึลาสติกโมดูลัส และความเหนียวของตัวอย่างทดสอบ โดยผลการทดสอบพบว่า ปูนซีเมนต์ประเภทก่อบบสม [M] มีกำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยถึง 89.40 กก./ตร.ซม. และค่าอึลาสติกโมดูลัสสูงสุดเฉลี่ย 19030 กก./ตร.ซม. ซึ่งสูงกว่าปูนซีเมนต์ประเภทก่อบสำเร็จ [F] ที่มีกำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยแค่ 24.91 กก./ตร.ซม. และค่าอึลาสติกโมดูลัสสูงสุดเฉลี่ย 7359 กก./ตร.ซม. แต่สำหรับความเหนียว ตัวอย่างทดสอบประเภทก่อบบสม [M] มีค่าความเหนียวเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 1.620 ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างทดสอบประเภทก่อบสำเร็จ [F] ที่มีค่าความเหนียวเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ 2.210

5.) ผลกระทบของขนาดตะแกรงเหล็กมีผลต่อการรับกำลังและค่าอีลาสติกโมดูลัสของ ตัวอย่างทดสอบ โดยผลการทดสอบพบว่า ไม่ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภท [M] หรือ [F] ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ตะแกรงเหล็กขนาด 0.5 มม. สองชั้น (MS2,FS2) มีกำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างทดสอบประเภทอื่นๆ แต่ในส่วนของคุณค่าอีลาสติกโมดูลัสและความเหนียวจะส่งผลให้ค่าที่เพิ่มขึ้นสำหรับ ตัวอย่างประเภทปูนสำเร็จ [F] แต่ไม่ส่งผลในตัวอย่างประเภทปูนผสม [M]

6.) รูปแบบของพลาสติกโฟมมีผลต่อการรับแรงอัด ความเหนียว และค่าอีลาสติกโมดูลัสของ ตัวอย่างทดสอบ โดยผลการทดสอบพบว่า ตัวอย่างทดสอบที่ใช้รูปแบบพลาสติกโฟมเป็นสามเหลี่ยม [MT1,FT1] จะให้กำลังอัดไม่ต่างกับปูนซีเมนต์ที่ใช้รูปแบบพลาสติกโฟมเป็นสี่เหลี่ยมและขนาดเหล็กสองชั้น [MS2,FS2] และยังส่งผลให้ตัวอย่างทดสอบมีค่าความเหนียวและค่าอีลาสติกโมดูลัสที่เพิ่มขึ้น

7.) รูปแบบการวิบัติของตัวอย่างมีรูปแบบเดียว คือ Shear and split เป็นผลเนื่องมาจากการยึดเหนี่ยวช่วงรอยต่อระหว่างพลาสติกโฟมกับปูนซีเมนต์มีน้อย และตะปูไม่สามารถช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพลาสติกโฟมและปูนซีเมนต์ได้ และรูปแบบการวิบัตียังส่งผลต่อกำลังรับแรงอัด ค่าอีลาสติกโมดูลัส และความเหนียวของตัวอย่างทดสอบที่น้อยลงกว่าที่ควรจะเป็น

8.) ตัวอย่างทดสอบผนังมอร์ตาร์มวลเบาเสริมเหล็กที่ทำจากปูนผสม [M] ประเภท MS1 และ MS2 จะมีการหดตัวสูงในช่วงกึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด เป็นผลเนื่องมาจากช่วงกึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบทั้งสองประเภทนั้นมีปริมาตรพลาสติกโฟมที่เยอะ แตกต่างกับประเภท MT1 ที่มีการแทนที่มอร์ตาร์ที่เพิ่มขึ้น พลาสติกโฟมที่ลดลง ทำให้ตัวอย่างทดสอบมีการหดตัวตลอดช่วงความสูงของตัวอย่างทดสอบ แต่ถ้าเป็นผนังที่ทำจากปูนสำเร็จ [F] ทุกประเภทจะมีการยุบตัวตลอดช่วงความสูงของตัวอย่างทดสอบ เนื่องจากปูนสำเร็จ [F] มีค่าการยุบตัวที่สูงกว่าปูนผสม [M]

9.) การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลระหว่างตัวอย่างทดสอบและผนังอิฐมวลเบา น้ำหนักของผนังมอร์ตาร์มวลเบาเสริมเหล็กและพลาสติกโฟมมีน้ำหนักมากกว่าผนังอิฐมวลเบาประมาณเท่าตัว ผนังมอร์ตาร์ปูนผสม [M] รับกำลังได้สูงกว่าอยู่ประมาณ 2-3 เท่า แต่มีความเหนียวน้อยกว่าผนังอิฐมวลเบา ส่วนผนังมอร์ตาร์ปูนสำเร็จ [F] รับกำลังได้ใกล้เคียงกับผนังอิฐมวลเบาและมีความเหนียวน้อยกว่า แต่ในด้านความแกร่งผนังมอร์ตาร์ทั้งปูนผสม [M] และปูนสำเร็จ [F] มีค่าอีลาสติกโมดูลัสที่มากกว่าผนังอิฐมวลเบา แสดงว่าตัวอย่างทดสอบมอร์ตาร์มีความแกร่งมากกว่าผนังอิฐมวลเบา

5.1 แนวทางการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นขณะทำการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงปัญหาที่พบเจอขณะทำการวิจัย จากการทดสอบตัวอย่างพบปัญหาคือ

1.) ตัวอย่างเกิดการแยกตัวออกจากกันในช่วงรอยต่อระหว่างพลาสติกโฟมและปูนซีเมนต์ หลังจากการวิบัติ ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณตะปูที่เชื่อมต่อระหว่างรอยต่อของแบบหล่อชั้นแรกและชั้นที่สองนั้นน้อยเกินไป แนวทางในการแก้ไขปัญหาคือเพิ่มปริมาณตะปูหรือเปลี่ยนวัสดุให้มีพื้นที่ในการยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นส่วนเพิ่มขึ้น อาจจะมีการดัดเหล็กเป็นตัว U หรือ Z ฝังไปในชั้นงาน เป็นต้น จากปัญหาลักษณะนี้ส่งผลให้ตัวอย่างทดสอบขณะทำการทดสอบแยกตัวกันส่งผลให้ LVDT เกิดการยืดออกแทนที่ควรจะหดตัวลงเนื่องจากแรงกด

2.) การปรับระดับของพื้นที่รับแรง จำเป็นต้องปรับระดับของตัวอย่างทดสอบให้ได้ทั้งแนวราบและแนวดิ่ง ซึ่งก่อนจะเริ่มทำการปรับระดับควรหาพื้นที่ที่เหมาะสมที่ได้ระดับทั้งระนาบ และทำการตรวจสอบระดับของพื้นที่ทุกครั้งก่อนทำการปรับระดับตัวอย่าง ควรศึกษาวิธีใช้เครื่องมือในการวัดระดับอย่างถูกต้อง

บรรณานุกรม

สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์ และเป็นหนึ่ง วานิชชัย. (2557). บทเรียนจากความเสียหายที่เกิดกับอาคารขนาดเล็กและขนาดกลางในเหตุการณ์แผ่นดินไหวแม่ลาว จังหวัดเชียงใหม่

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์. (2557). พัฒนาการของวิศวกรรมแผ่นดินไหวในประเทศไทยจากอดีตสู่อนาคต

ผลกระทบของปูนฉาบและปูนก่อต่อกำลังรับแรงอัดของผนังก่ออิฐ. (2557). โครงการทางวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. (2557). รูปแบบความเสียหายในจังหวัดเชียงราย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thaiseismic.com/chr_damage/. (วันที่ค้นข้อมูล : 22 กันยายน 2560).

การศึกษากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงเฉือนของอิฐมวลเบาภายใต้แรงในระนาบ. (2558). โครงการทางวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

โรงพยาบาลธัญญารักษ์สงขลา. (2551). “โฟม” คืออะไร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.sdtc.go.th/paper/195>. (วันที่ค้นข้อมูล : 25 กันยายน 2560).

บริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชันโปรดักส์ จำกัด (มหาชน). (2556). **ความรู้เกี่ยวกับอิฐมวลเบา**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://qcon.co.th/knowledge/>. (วันที่ค้นข้อมูล : 26 กันยายน 2560).

วีรชาติ และชัย. (2556). “การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์” คู่มือการทดสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ มวลรวม และคอนกรีต, 102-127

วีรชาติ และชัย. (2556). “การทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต” คู่มือการทดสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ มวลรวม และคอนกรีต, 248-262

บวร. (2553). “โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)” คุณสมบัติและพฤติกรรมการรับแรงของคอนกรีต, 200-204

การประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กปราศจากความเหนียวที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยของประเทศไทย. (2556). โครงการทางวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ภาคผนวก ก

รูปแบบการวิบัติในตัวอย่าง

รูปการวิบัติของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงอัด



ตัวอย่างทดสอบ MS1-1 (วิบัติแบบ Shear and split)



ตัวอย่างทดสอบ MS1-2 (วิบัติแบบ Shear and split)



ตัวอย่างทดสอบ MS2-1 (วิธีแบบ Shear and split)



ตัวอย่างทดสอบ MS2-2 (วิธีแบบ Shear and split)



ตัวอย่างทดสอบ MT1-1 (วิธีแบบ Shear and split)



ตัวอย่างทดสอบ MT1-2 (วิธีแบบ Shear and split)

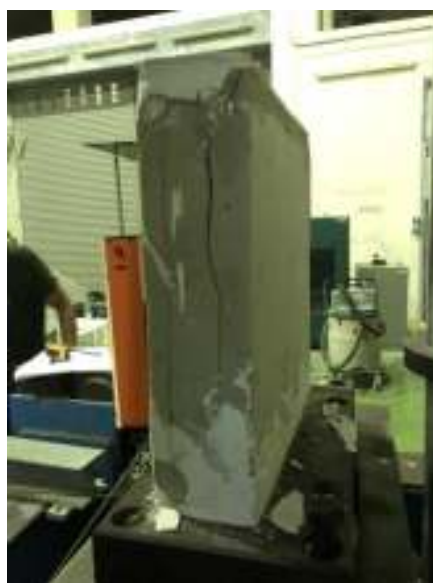


ตัวอย่างทดสอบ FS1-1 (วิธีแบบ Shear and split)





ตัวอย่างทดสอบ FS1-2 (วิธีแบบ Shear and split)



ตัวอย่างทดสอบ FS2-1 (วิธีแบบ Shear and split)



ตัวอย่างทดสอบ FS2-2 (วิธีแบบ Shear and split)





ตัวอย่างทดสอบ FS2-3 (วิธีแบบ Shear and split)



ตัวอย่างทดสอบ FT1-1 (วิธีแบบ Shear and split)



ตัวอย่างทดสอบ FT1-2 (วิธีแบบ Shear and split)

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ-นามสกุล	นายเกียรติภูมิ แก้วเทพ
วัน/เดือน/ปี	เกิด 3 ธันวาคม 2538
ปัจจุบันศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา พ.ศ. 2560
การศึกษา	ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ เตรียม อุดมศึกษาพัฒนาการ สมุทรปราการ
ที่อยู่	109/27 ม.17 ต.บางเสาธง อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ 10540
E-mail	jokekiatipoom@hotmail.co.th

ชื่อ-นามสกุล	นายภาณุ ไผ่เฉลิม
วัน/เดือน/ปี	เกิด 24 พฤศจิกายน 2538
ปัจจุบันศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา พ.ศ. 2560
การศึกษา	ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสุราษฎร์ธานี
ที่อยู่	44 ม.2 ต.ทุ่งเตา อ.บ้านนาสาร จ.สุราษฎร์ธานี 84120
E-mail	phanu241138@hotmail.com